

Jean Paul Louyot

# L'hélice marine

Théorie et application





# Remerciements

## Ce wiki-livre est un ouvrage collaboratif

Il a été initié par l'utilisateur **Goelette Cardabela** en 2006 et augmenté, arrangé, corrigé en collaboration avec des volontaires.

### Merci

#### à tous les wikipédiens volontaires

aux *patrouilleurs* **JackPotte** et **Jean-Jacques MILAN** pour leur collaboration, pour les conseils et les corrections.

#### aux auteurs d'images

notamment au **Dr. Dwayne Meadows**, NOAA/NMFS/OPR, pour l'image de couverture du livre.

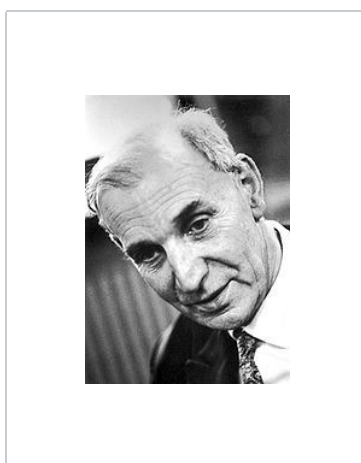
#### aux amis, à ma famille

à **Marie Claude Thomas** pour les corrections, la syntaxe les conseils.

#### à nos professeurs

Merci aux professeurs **Alfred Kastler** et **René Lucas** et à leurs assistants pour leur enseignement de la thermodynamique et la mécanique physique.

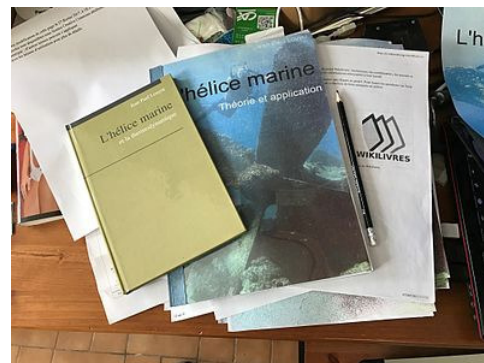
Merci aussi aux professeurs R. Ouziaux et J. Perrier pour leur enseignement de la mécanique des fluides appliquée.



Professeur A. Kastler en  
1966.

# Contenus

Cette version imprimable *L'hélice Marine Théorie et application* est un recueil d'articles et de pages publiés sur wiki-livre entre les années 2006 et 2016. Les redites ont été évitées mais sous ce titre commun vous trouverez des parties inévitablement semblables. Des versions complètes de chacun de ces articles sont disponibles sur wiki-livres.



Contenu	Page
Préambule	3
Discussion:Hélice	5
<b>Recueil d'articles des wiki-livres suivants :</b>	
Hélice. Selon les théories de Isaac Newton et le point de vue thermodynamique.	10
Hélices de navires à déplacement. Application de la théorie.	22
<b>Annexes</b>	
QR-Codes pour télécharger les feuilles de calcul et autres liens pour smartphones.	51
Sources, contributeurs et licences du texte et des images	53
<b>Liens vers des articles complémentaires</b> : <i>Éditer les articles ci-dessous pour les lire ou les imprimer</i>	
Images grand format (A4 paysage) <sup>[1]</sup>	
Aide pour la Compilations des wikilivres <sup>[2]</sup>	
Licence de documentation libre GNU <sup>[3]</sup>	

## Liens

1. [https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices\\_de\\_navires\\_à\\_déplacement/Images\\_grand\\_format](https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices_de_navires_à_déplacement/Images_grand_format)"
2. [https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices\\_de\\_navires\\_à\\_déplacement/Compilations\\_wikilivres](https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices_de_navires_à_déplacement/Compilations_wikilivres)
3. [https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices\\_de\\_navires\\_à\\_déplacement/Version\\_imprimable#Licence\\_de\\_documentation\\_libre\\_GNU](https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices_de_navires_à_déplacement/Version_imprimable#Licence_de_documentation_libre_GNU)

# Préambule

Dans les années 70, alors que je traçais les plans de la goélette Cardabela j'ai été confronté au calcul de la propulsion par hélices.

Les fabricants d'hélices me proposaient des versions très différentes en pas et en diamètre. J'ai alors tenté d'en savoir plus.

Dans les éditions QUILLET des années 60 on proposait des formules tarabiscotées avec des variables à puissances fractionnaires. Ces calculs étaient très probablement obtenus à partir des formules de MOROSI et BIDONE qui ont étudié les percussions de l'eau<sup>[1]</sup> au cours du dix-neuvième siècle. Ces études avaient conduit les auteurs à proposer des formules avec des exposants fractionnaires.

Toujours dans les années 70 paraissait une revue destinée essentiellement aux constructeurs de bateau en amateur. Un numéro spécial était paru avec pour sujets les moteurs et le calcul des hélices, avec des abaques. Il y a eu aussi, ces mêmes années, des abaques proposés par la société VETUS. Rien ne collait vraiment bien avec ce que me proposait le correspondant local pour les hélice RADICE

Lorsque j'ai voulu en savoir plus je me suis souvenu des cours de mécanique physique et de thermodynamique. Les assistants des professeurs LUCAS<sup>[2]</sup> et KASTLER<sup>[3]</sup> étaient très compétents et nous avaient bien inculqué ces notions, entre autres, de mécanique Newtonienne et de mécanique statistique de BOLTZMANN<sup>[4]</sup>.

Voilà; la suite est dans ces pages d'abord publiées et mal perçues dans Wikipédia; le sujet paraissait farfelu et de peu de consistance pour une encyclopédie. Il en reste une trace dans la page de Discussion:Hélice sur Wikipedia.<sup>[5]</sup> J'ai justifié cette théorie dans l'article *Hélice marine* de Wikipédia, par des apports historiques partiellement repris dans ce wiki-livre.

Cent ans après les publications de A. EINSTEIN<sup>[6]</sup> et le décès de L. BOLTZMANN je ne pouvais pas ne pas en parler un peu. Ils ont fait avancer la science à pas de géant grâce à leurs manières de penser. Ils ont été pris pour des *fous* par leurs pairs bien souvent incapables de comprendre ces nouvelles théories; EINSTEIN s'en est moqué, et BOLTZMANN s'est suicidé. Ne manquez pas de lire Sept brèves leçons de physique de Carlos Rovelli<sup>[7]</sup>

---

Exemple de formule avec des exposants fractionnaires <sup>[8]</sup>

$$\text{Pas} = 2,48 \cdot D \cdot V^{0,928}/P^{0,186}/N_t^{0,374}$$

D:diamètre en pouces

V:vitesse max du navire en nœuds

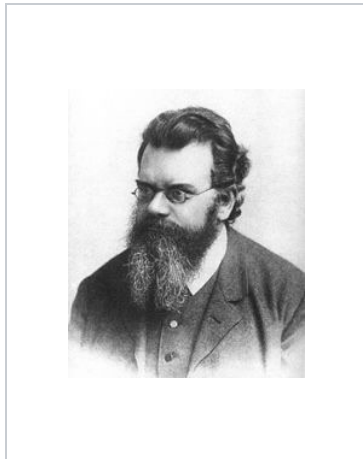
P:Puissance sur l'arbre en chevaux

$N_r$ :Vitesse de rotation de l'hélice en tours par minute

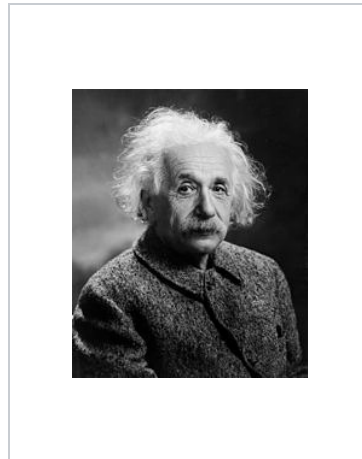
Cardabela (discussion) 20 janvier 2017 à 11:41 (CET)

## Références

1. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Hélice\\_marine#Histoire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hélice_marine#Histoire)
2. [https://fr.wikipedia.org/wiki/René\\_Lucas](https://fr.wikipedia.org/wiki/René_Lucas)
3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Alfred\\_Kastler](https://fr.wikipedia.org/wiki/Alfred_Kastler)
4. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ludwig\\_Boltzmann](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Boltzmann)
5. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Discussion:Hélice>
6. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Albert\\_Einstein](https://fr.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein)
7. Sept brèves leçons de physique : (ISBN 978-2-7381-3312-0)
8. Site web de : [jean.dahec.free.fr/25oct/calcul-helice.html](http://jean.dahec.free.fr/25oct/calcul-helice.html)



Ludwig Boltzmann  
1902



Albert Einstein 1947

# Discussion:Hélice

## Sommaire de la page de discussion

Hélices avant le XXe siècle  
Hélices au XXe siècle  
Liens externes  
Retour d'expérience  
Le recul de l'hélice marine  
L'évidence  
Notes  
Liens

### Traité de l'hélice propulsive de E. PARIS 1855 Capitaine de Vaisseau



Pages 28-29 Le hasard  
fait bien les choses.  
L'hélice se casse et tout  
va mieux ! <sup>[1]</sup>



Pages 40-41 fait  
référence aux travaux  
de Morosi et Bidone sur  
les jets. <sup>[2]</sup>



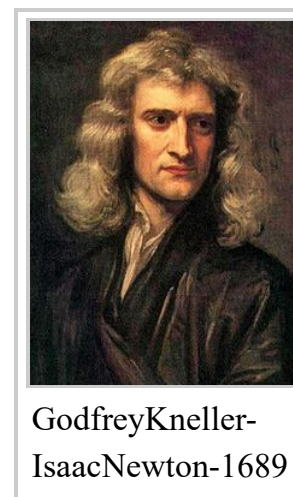
Pages 42-43 reprise des  
travaux sur les forces de  
frottement d'une surface  
plane dans l'eau. <sup>[3]</sup>

1. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traité\\_de\\_l'hélice\\_propulsive-2p-1.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traité_de_l'hélice_propulsive-2p-1.jpg)
2. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traité\\_de\\_l'hélice\\_propulsive-2p-2.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traité_de_l'hélice_propulsive-2p-2.JPG)
3. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traité\\_de\\_l'hélice\\_propulsive-2p-3.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traité_de_l'hélice_propulsive-2p-3.JPG)

## Hélices avant le XX<sup>e</sup> siècle

Le calcul de l'hélice marine est décrit dans la page *Hélice* de *Wikilivre* d'un point de vue macroscopique. On interprète globalement ce qui entre dans l'hélice et ce qui en sort, sans se préoccuper de ce qui se passe entre les deux, à proximité de l'hélice, de ses pales.

Les calculs des hélices, pas et diamètres, que nous décrivons auraient pu être réalisés dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle car les mathématiques de la mécanique physique que nous utilisons ont été établis aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècle par Isaac Newton.



Cardabela (discussion) 7 mars 2016 à 13:00 (CET)

-

## Hélices au XX<sup>e</sup> siècle

**Oserons nous ?**

**Sommes nous prêts à voir les choses autrement ?**

Au cours de ce siècle les physiciens et des philosophes ont complètement bouleversé les sciences et notre façon de penser. Au début du siècle l'humanité ne connaissait même pas les ondes radio, la radioactivité et les rayons X, on commençait à installer les générateurs électriques.

Aujourd'hui, oserons nous parler de l'espace-temps où la longueur de la quatrième dimension est le vecteur  $\vec{vt}$ ; produit de la vitesse par le temps.

Morosi et Bidone seraient bien étonnés d'apprendre que la chute d'eau de leurs expériences était mue par cette quatrième dimension et non par une force mystérieuse telle que définie dans l'espace de Newton, de même pour la fameuse pomme de Newton qui suit un chemin semblable à la chute d'eau.

La terre tourne autour du soleil parce qu'elle va tout droit dans un espace courbe, *comme une bille qui roule dans un entonnoir : il n'y a pas de forces mystérieuses générées par le centre de l'entonnoir, c'est la courbure des parois qui fait tourner la bille.*<sup>[1]</sup>...

- La théorie d'attraction des masses<sup>[2]</sup> de Newton est la partie émergente compréhensible de l'espace-temps. Elle explique notre monde par la force d'attraction des masses, mais elle n'explique pas la déviation des photons, *du flux lumineux*, au voisinage des corps massiques. On cherche à relier les deux notions



par de nouvelles théories telle la *théorie des cordes* aussi appelée *théorie de la gravité quantique à boucle*<sup>[3]</sup>.

Cardabela (discussion) 28 mars 2017 à 11:10 (CEST)

Oserons nous faire part du mouvement brownien dans notre conception du fonctionnement de l'hélice propulsive ?

Oserons nous dire que le rendement et le recul, sont dus à une augmentation de l'entropie de l'Univers ?

- Les molécules d'eau qui traversent l'hélice sont dans un certain état vibratoire, en équilibre de collisions, très en amont de l'hélice; elles doivent retourner dans ce même état très en aval du flux. Il faut bien que cette énergie dispersée dans la mer ou la rivière se retrouve quelque part ... sous forme de chaleur ?

Cardabela (discussion) 10 mars 2016

## Liens externes

1. Carlo Rovelli, Sept brèves leçons de physique, Odile Jacob  
(ISBN 978-2-7381-3312-0)
2. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi\\_universelle\\_de\\_la\\_gravitation](https://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_universelle_de_la_gravitation)
3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Théorie\\_des\\_cordes](https://fr.wikipedia.org/wiki/Théorie_des_cordes)

---

## Retour d'expérience

Revenons les pieds sur terre.

Selon les retours d'expérience de la page de conclusions du wikilivre *Hélices de navires à déplacement*<sup>[1]</sup> : « Curieusement nous devons utiliser le même recul théorique dans deux expériences, une expérience avec un moteur de 50 chevaux et une autre avec un moteur de 75 chevaux, avec le même bateau, pour avoir des résultats cohérents avec les essais (recul = 0,27 ou 0,28) »

**Attention ; le recul défini ici s'entend lorsque le moteur est à sa puissance maximale pour une vitesse de bateau égale à la vitesse optimale de l'hélice.**

### Dans les deux cas

- Le rendement à la vitesse optimale d'hélice, par temps calme, se situe aux environs de 0,62; avec une perte d'énergie approximative d'un tiers de la puissance.

- La consommation en carburant est à peu près la même pour la même vitesse de déplacement, avec des moteurs différents et des hélices différentes.

Cardabela (discussion) 10 mars 2016 à 19:25 (CET)

-

---

## Le recul de l'hélice marine

On perçoit le recul de l'hélice comme un *foirage du pas de l'hélice* par rapport au pas de construction. On lui donne une valeur, un coefficient de *foirage*.

Dans la réalité, l'eau se précipite vers le vide créé par l'hélice. Les molécules d'eau subissent une dépression et la température partielle de l'eau diminue dans son flux. Cette dépression peut même atteindre une valeur très faible et provoquer la cavitation. La température d'ébullition de l'eau peut atteindre 10°C à 0,01 bar [2]

Au refoulement la surpression devient bien plus importante que la pression atmosphérique et la température partielle de l'eau augmente dans son flux. Par exemple; à deux atmosphères la température partielle peut augmenter de 20°C alors qu'à l'aspiration, à 0,5 atmosphère, la température peut baisser de 20°C, par rapport à la température locale de l'eau.

Le passage dans l'hélice provoque un désordre moléculaire avec une perte d'entropie[3].  
Au final :

**La variation de vitesse du flux dans l'hélice provoque une perte d'entropie qui se traduit par ce que nous nommons le recul**

## L'évidence

À force de chercher l'invisible on ne voit plus l'évidence. *Savoir* enlève de la magie; savoir pourquoi le ciel est bleu, pourquoi les vagues tournent autour des caps, etc.; heureusement on peut se recaler et, à nouveau apprécier la magie que nous offre la nature.

- L'air chauffe quand on le comprime, il faut tremper les bouteilles de plongée dans l'eau froide lorsqu'on les remplit d'air.
- L'air est plus froid en altitude parce que la pression y est plus faible; à Saint Martin Vésubie, à 1000 m d'altitude, la température est 6°C plus faible qu'à Nice.
- Les climatiseurs et réfrigérateurs pompent l'énergie à basse pression et évacuent la chaleur à la compression du fluide frigorigène. Le système fonctionne en circuit

fermé.

Dans ces exemples que tout le monde connaît ce sont des molécules en plus ou en moins forte agitation qui transmettent de l'énergie.

## Notes

On ne peut pas dire que le recul est dû au seul désordre provoqué par le choc mécanique des molécules d'eau à leur passage dans l'hélice; le flux principal de l'eau n'entre quasiment pas en contact avec l'hélice car il se forme une couche d'eau plaquée aux pales qui permet la propulsion même avec une hélice légèrement salie ... Pas trop tout de même. On peut le vérifier en statique par l'observation de la vitesse de rotation de l'hélice en charge maximale; par exemple 2300 tours par minute après carénage et 2100 tours pour une hélice méritant d'être nettoyée, alors qu'à 2200 tours l'hélice semble bien sale mais est encore efficace. On peut aussi le vérifier avec un dynamomètre<sup>[4]</sup> reliant le quai au cul du bateau.

Cardabela (discussion) 20 octobre 2016 à 07:53 (CEST)

## Liens

1. [https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices\\_de\\_navires\\_à\\_déplacement/Conclusions#Retour\\_d'expérience](https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices_de_navires_à_déplacement/Conclusions#Retour_d'expérience)
2. <http://www.leguideits.fr/guides-its/dossiers--fiches-techniques/dossiers--fiches-techniques-6/v2-relation-pression-temper.pdf>
3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Entropie\\_\(thermodynamique\)#Énergie\\_et\\_entropie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Entropie_(thermodynamique)#Énergie_et_entropie)
4. Dynamomètre pouvant mesurer les poids jusqu'à 1000 kg pour un moteur de 75 ch

# L'hélice selon les théories de Isaac Newton et le point de vue thermodynamique

## Sommaire du chapitre Hélice

Caractéristiques des hélices marines

Théorie élémentaire avec l'eau pour fluide

Conservation de la matière

Application du principe fondamental de la dynamique

Puissance fournie par l'hélice

Recherche du meilleur rendement d'hélice

Résumé détaillé

Puissance à fournir à l'hélice par le moteur

Puissance utile à l'avancement du navire

Force propulsive

Dépression et cavitation

La pression sur l'hélice et sa limite

Rendement

Conclusion

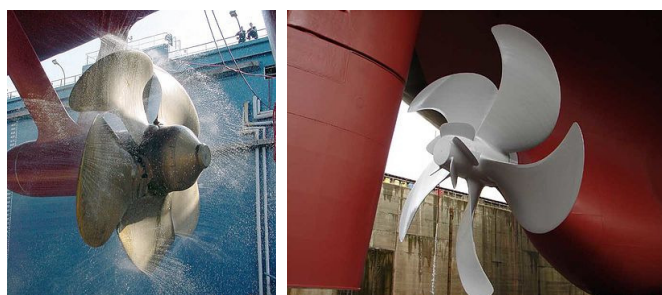
Résumé sous forme de tableau

Voir aussi

Notes et références

Liens externes

Voir aussi sur Wikibooks



*USS Churchill*  
Hélice recadrée

*Sokoto propeller*  
Hélice sabre

Théorie thermodynamique de l'hélice

*Ce livre doit être rangé sur l'étagère Wikilivres Science Appliquée Technologie Généralités sur les sciences appliquées et les techniques, section CDU/6/60*

Une théorie de l'hélice propulsive a été développée dès l'apparition des machines à vapeur grâce aux travaux de Bernoulli développés par Euler puis par Morosi et Bidone [1] qui démontrent que la force du jet est le résultat d'une percussion dont la force est comme 1,84 est à 1. Cependant la théorie a longtemps piétiné, les formules obtenues par approximations successives sont complexes. Dès la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle avec les théories mathématiques de la physique d'Isaac Newton il eût été possible d'établir des formules de calculs d'hélice ; cependant le concept n'était pas encore au rendez-vous. Ce n'est qu'après le développement des théories de la mécanique des fluides et de la thermodynamique, que l'on a mieux compris le phénomène et que l'on a su formuler des expressions mathématiques simples.

En 1905, Albert Einstein publie trois articles dont l'un reconnaît l'existence des atomes, des molécules, caractérisés par un mouvement brownien. On comprend ensuite que l'intuition statistique de Ludwig Boltzmann est applicable et que l'aspiration du fluide (l'eau de mer) est le résultat statistique de chocs entre molécules. Ce n'est pas l'hélice qui aspire l'eau ; c'est l'agitation des molécules d'eau qui pousse statistiquement vers une zone de collision moins forte en accumulant l'énergie acquise au cours des collisions. L'hélice a de ce fait deux fonctions : évacuer des molécules d'eau qui arrivent et donner une impulsion aux molécules d'eau pour transmettre la force propulsive au bateau. Pour ce faire, il faut au moins disposer de l'énergie acquise lors de l'aspiration à laquelle il faut ajouter l'énergie d'évacuation en plus de l'énergie transmise au support (le bateau, si celui-ci se déplace. *Rappel : l'énergie est le produit d'une force par un déplacement*).

Nos sens sont trompeurs. L'hélice marine n'est ni une vis, ni un tire-bouchon. La forme hélicoïdale n'a qu'un intérêt, c'est de répartir l'effort de percussion uniformément, sur toute sa surface.



Les hélices marines peuvent être de simples pales, comme les hélices d'avions, elles peuvent même être recouvertes d'un léger duvet végétal sans que cela affecte trop l'impact nécessaire à la propulsion. En effet, il n'y a pas de glissement d'eau important le long de la pale, susceptible de faire perdre de l'énergie.

## Caractéristiques des hélices marines

### Définitions :

- **Le diamètre**, donné en « *pouces* » par le fabricant. *Il faut l'exprimer en « mètres » pour les calculs.*
- **Le pas de construction** est une caractéristique géométrique de l'hélice. C'est la longueur d'avance théorique pour un tour, sans glissement (recul = 0). Le pas de l'hélice pourrait ainsi être comparé au pas d'une vis à métaux, mais ceci conduirait à des erreurs d'interprétation sur le fonctionnement de l'hélice. Le pas est exprimé en *pouces* ou en *mètres*, il peut être à gauche ou à droite.
- **Le coefficient de remplissage** (0,xx ou xx %) : ce coefficient caractérise la surface relative des pales par rapport à la surface d'un disque de même diamètre, il est important pour estimer la limite de l'effort d'aspiration applicable sur la surface des pales afin d'éviter la cavitation. *Ce coefficient n'intervient pas dans nos calculs ci-après.*
- **Le calage** est l'angle que fait la corde d'un profil de pale avec le plan de rotation de l'hélice.

- **Le recul** : d'un point de vue thermodynamique, le recul correspond à une perte d'énergie dans le passage de l'eau au travers de l'hélice<sup>[2]</sup>. On parle d' entropie ou d'augmentation du désordre. La vitesse de propulsion de l'eau est inférieure d'un certain pourcentage à celle attendue. Ce pourcentage est communément appelé le recul. Ainsi, pour résoudre les problèmes de calcul on pourrait dire que **le pas effectif** de l'hélice est inférieur au **pas de construction**. On définit la notion de recul par la relation suivante :

**recul = 1 - (pas effectif / pas de construction)** dans des conditions de vitesse d'avancement du navire et de rotation de l'hélice.

Le coefficient de recul s'exprime souvent en pourcentage, par exemple 28 % au lieu de 0,28 dans telles conditions d'avancement et de rotation.

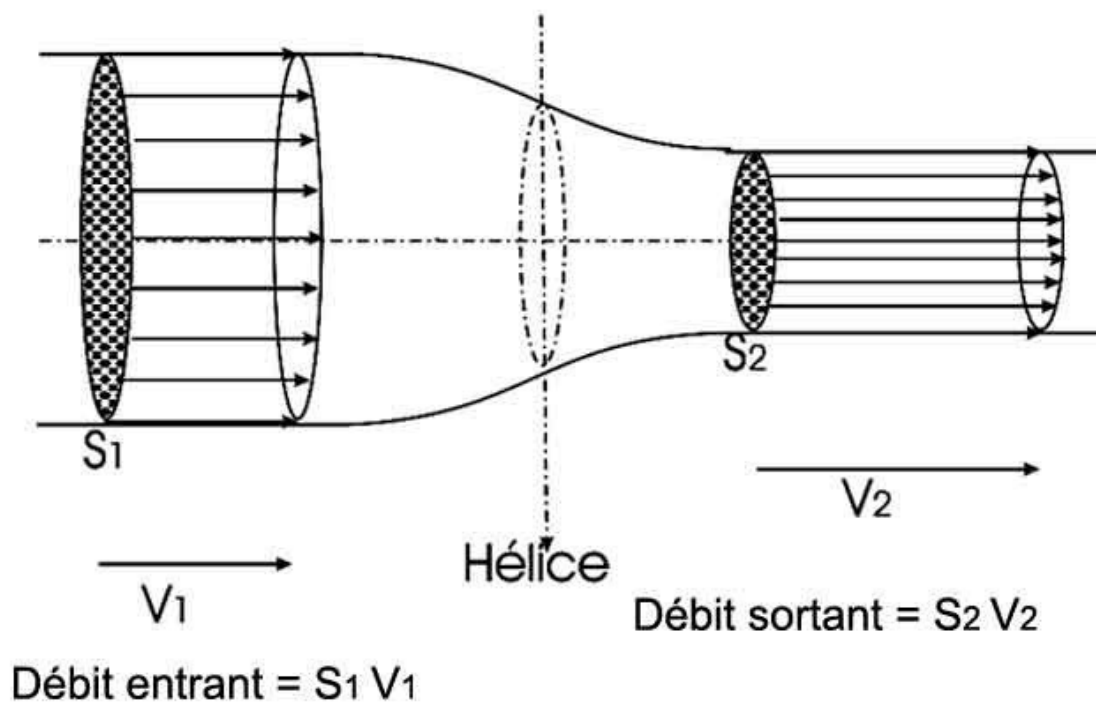
Le recul est important à faible vitesse et forte poussée, il augmente avec la force de poussée sur l'hélice : *avec le débit et la vitesse de rotation.*

- **La cavitation.** La dépression à l'extrados du profil de pale dépend de la vitesse de rotation de l'hélice, de son pas et du profil. La dépression est limitée par la pression atmosphérique ; elle ne peut pas descendre en dessous d'environ 1 bar en surface (la vitesse ne doit pas dépasser 14 m/s) ; au-delà de cette valeur l'eau se transforme en vapeur (phénomène de cavitation). À un mètre de profondeur cette vitesse limite serait d'environ 14,7 mètres/seconde.

Cette notion est très importante pour les navires rapides mais intervient rarement pour un voilier monocoque où l'on s'arrange pour que la vitesse d'aspiration de l'eau soit largement inférieure à 14 mètres/seconde, *les héliciers choisissent toujours le plus grand diamètre compatible avec la cage d'hélice.*

Depuis quelques années sont apparues les hélices de surface qui permettent de diminuer les risques de cavitation ; le passage des pales en surface nettoie l'hélice des bulles de vapeur d'eau.

## Débit par seconde



### **Théorie élémentaire avec l'eau pour fluide**

La propulsion est due à la différence de quantité de mouvement entre la masse d'eau entrante et sortante de l'hélice.

#### **Conservation de la matière**

**La masse d'eau aspirée par unité de temps est égale à la masse d'eau propulsée**

la masse d'eau aspirée par l'hélice pendant une seconde correspond à un cylindre de surface  $S_1$  et de longueur  $V_1$ .

#### **Définitions**

$m = \rho S_1 V_1 = \rho S_2 V_2$  où  $\rho$  est la masse volumique de l'eau en kg par mètre cube et  $m$  est la masse de l'eau qui traverse l'hélice pendant une seconde.

$S_1, S_2$  en  $m^2$  et  $V_1, V_2$  en mètres par seconde.

Posons  $m = \rho S V_p$  pour faire abstraction de la surface de l'hélice.

- $V_p$  est la vitesse de l'eau qui traverse l'hélice.
- $V_1$  est la vitesse d'écoulement du fluide devant l'hélice :



*C'est la vitesse d'un cours d'eau dans un référentiel fixe ou la vitesse de déplacement d'un bateau pour un référentiel mobile.*

- $V_2$  est la vitesse de la masse d'eau propulsée derrière l'hélice.

*Cette vitesse dépend du référentiel fixe ou mobile.*

## **Application du principe fondamental de la dynamique**

La force propulsive dépend de la différence de vitesse entre la masse d'eau aspirée et la masse d'eau propulsée :

(action = réaction ; la force qui permet l'accélération de la masse d'eau trouve son appui sur l'hélice !)

Selon le Principe fondamental de la dynamique:  $\vec{f} = m\vec{a} = m\frac{\vec{v}}{dt}$  où  $\vec{f}$  est le vecteur de la force induite par l'accélération  $\vec{a}$  de la masse  $m$ .

$$F = m \frac{(V_2 - V_1)}{dt} \text{ Abstraction faite des vecteurs, puisqu'ils sont colinéaires.}$$

Dans notre système métrique,  $F$  est l'expression d'une grandeur physique qui s'exprime en newtons (un kilogramme-force = 9,81 N),  $m$  est la masse d'eau traversant l'hélice en kg (kilogramme masse),  $V_2$  et  $V_1$  s'expriment en mètres par seconde.

## **Puissance fournie par l'hélice**

La puissance est le produit de la force de propulsion  $F$  définie dans le chapitre *Application du principe fondamental de la dynamique* par la vitesse  $V_p$  de la masse d'eau définie dans le chapitre *Conservation de la matière*

$$P = F \cdot V_p = m (V_2 - V_1) \cdot V_p$$

- La puissance  $P$  s'exprime en watts.

Cette puissance est aussi égale à la puissance de la masse d'eau propulsée par l'hélice, moins la puissance de la masse d'eau entrante :

$$P = m \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2} = m \frac{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}{2}$$

Il y a décrochage pour  $V_2 = V_1$  (pas de force propulsive), ce qui semble évident !

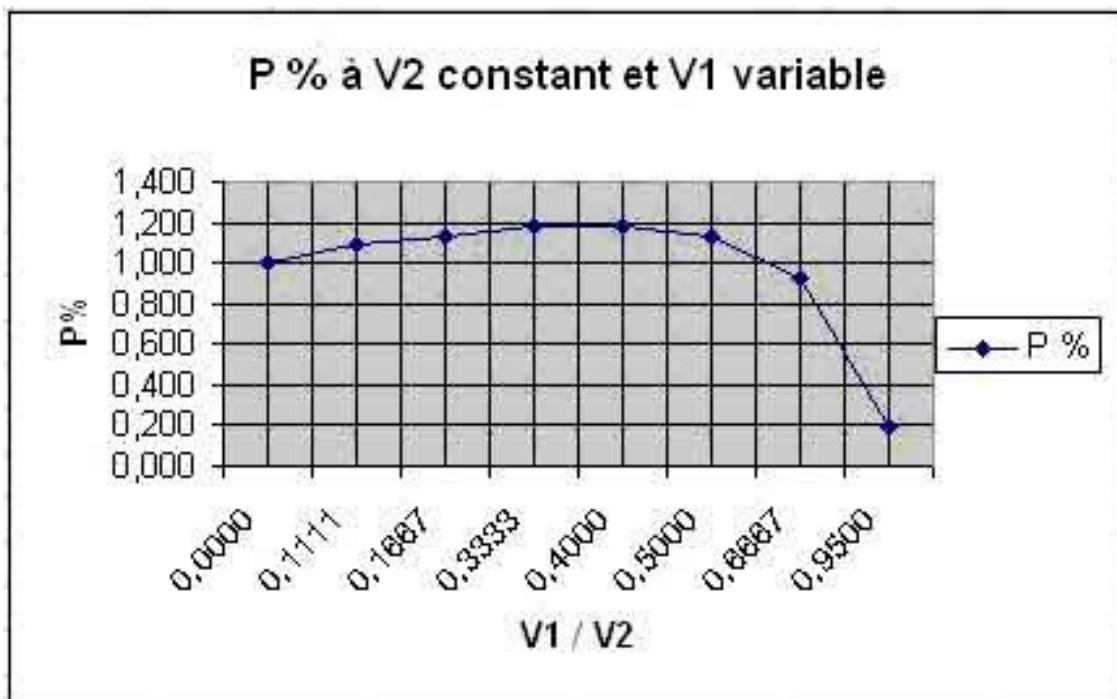
On en déduit  $V_p$  et  $V_2$  :

$$V_p = \frac{(V_2 + V_1)}{2} \text{ et } V_2 = 2V_p - V_1$$

### Recherche du meilleur rendement d'hélice

Variation (dérivée) de la puissance fournie par l'hélice en fonction de  $V_1$ , pour une propulsion  $V_2$  constante

$\frac{dP}{dV_1} = \left(\frac{\rho S}{4}\right)(V_2 - 3V_1)(V_2 + V_1) = \rho S V_p (V_p - 2V_1)$  La variation de la puissance est nulle pour  $V_2 = 3V_1$ , ou  $V_p = 2V_1$  la puissance de l'hélice atteint alors sa valeur optimale.



On choisit cette valeur de  $V_p = 2V_1$  pour avoir un maximum de puissance d'hélice au moment où on en a le plus besoin, lorsque le moteur est poussé au voisinage de sa plus forte puissance.

$$V_1 = \frac{V_2}{3} = \frac{V_p}{2}$$

$V_s = \frac{V_p}{2}$  définit la *vitesse de surface*  $V_s$  optimale du navire pour la puissance optimale de l'hélice et la plus forte puissance du moteur.

$$V_p = V_{helice} \cdot (1 - recul) = n * pas \text{ de construction} * (1 - recul)$$

- n est le nombre de tours de l'hélice en une seconde
- **Attention** : Le recul est une grandeur variable en fonction des contraintes subies par l'hélice.
- Pour avoir une idée des ces valeurs on peut se reporter au chapitre Application aux navires à déplacement, résultats à des vitesses caractéristiques :

**Estimation des efforts à 6,42 nœuds** *Imaginez-vous au détroit de Messine avec un courant contraire de 5 nœuds, avec un vent debout qui refuse la progression à 400 kgf. Votre progression sera péniblement de 1,5 nœuds sans oublier la « mer de vent » : les vagues qui tapent, l'eau qui éclabousse et balaie le pont...*

**6,42 nœuds est ici la vitesse de surface optimale estimée du navire, pour la puissance maximale du moteur avec le meilleur rendement de l'hélice.**

Moteur : 2 600 tours par minute

Hélice : 1 145,3 tours par minute

$V_{helice}$  : 16,02 nœuds

Recul : 0,21

$V_p$  : 12,58 nœuds *Notez que la valeur de  $V_p = 2V_1 = 12,84$  Nds pourrait être atteinte pour Moteur : entre 2 600 et 2 700.*

Effort : 7984 Nw  $\approx$  **800kgf**

Puissance : 48,64 kW

Rendement  $\eta$  de l'hélice : 0,51

*Rappelez-vous que ce ne sont que des estimations, assez proches de la réalité.*

## Résumé détaillé

### Puissance à fournir à l'hélice par le moteur

En nous affranchissant de  $V_2$   $P_{moteur} = \vec{F} \cdot \vec{V}_p = m(V_2 - V_1) \cdot V_p = \rho S V_p (V_2 - V_1) \cdot V_p$

#### Rappels

- $V_2 = 2V_p - V_1$  ;  $V_p = (V_1 + V_2)/2$
- $\rho S V_p$  est une masse.
- $\rho S V_p (V_2 - V_1)$  est une force.

$$P_{moteur} = 2\rho S V_p (V_p - V_1) \cdot V_p$$

### Puissance utile à l'avancement du navire

$$P_{utile} = \vec{F} \cdot \vec{V}_1 = m(V_2 - V_1)V_1 = \rho S V_p (V_2 - V_1) \cdot V_1$$

$$P_{utile} = 2\rho S V_p (V_p - V_1) \cdot V_1$$

### Force propulsive

$$F = m(V_2 - V_1) = \rho S V_p (V_2 - V_1)$$

$F = m(V_p - V_1)$  est la force d'aspiration, en newtons, due à la dépression devant l'hélice

$F = m(V_2 - V_p)$  est la force de pression, derrière l'hélice

avec  $V_2 = 2V_p - V_1$  :

$$F_{propulsive} = 2\rho S V_p (V_p - V_1)$$

$F_{aspiration} = \rho S V_p (V_p - V_1)$  est la force d'aspiration due à la dépression devant l'hélice, elle est égale à la moitié de la force de propulsion, l'autre moitié est fournie par la force de pression.

### Dépression et cavitation

$\rho V_p (V_p - V_1)$  est la valeur de la dépression, en pascals, devant l'hélice, c'est également la valeur de la pression du côté refoulement de l'hélice. ***La valeur de la dépression doit être inférieure à la pression locale*** qui vaut  $\rho \cdot g \cdot h + 101500$  où  $g = 9,81$ ,  $h$  est la hauteur d'eau en mètres et 101 500 est la pression atmosphérique moyenne : 1 015 hPa.

### La pression sur l'hélice et sa limite

***La pression  $2\rho V_p (V_p - V_1)$  ne doit pas dépasser une valeur précisée par le constructeur de l'hélice.***

La pression ne doit pas dépasser  $1,2 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$  (117 680 P) pour l'hélice 3 pales RADICE E13 soit, pour une surface de pales  $100 \text{ cm}^2$  ( $1 \text{ dm}^2$ ), une poussée maximale de  $120 \text{ kg}_f$  ( $1 200 \text{ kg}_f$  pour une surface des pales de  $1 000 \text{ cm}^2$ )

### Exemple Pour une hélice de 19"

$D = 0,483 \text{ m}$ ,  $S = 0,1833 \text{ m}^2$ ,  $Sh/S = 0,515$ , Surface des pales :  $(0,1833 * 0,515 = 0,0946 \text{ m}^2)$  946 cm<sup>2</sup>,

**Effort maximal pour cette hélice :  $(946 * 1,2 =) 1132 \text{ kg}_f$**

### **Rendement**

Rendement = Puissance utile / Puissance fournie par le moteur

$$\eta = \frac{V_1}{V_p}$$

La consommation de carburant sera d'autant plus faible que la vitesse de propulsion s'approchera de la vitesse de déplacement  $V_1$  du navire c'est-à-dire  $V_p$  s'approchant de  $V_1$  ( $V_p > V_1$ ) !

### **Conclusion**

Le calcul du pas de l'hélice dépend de la vitesse d'avancement du navire estimée à la puissance optimale ; elle doit être calculée de telle sorte que la vitesse de propulsion  $V_p$  se situe autour de 2 fois cette vitesse d'avancement, le rendement (puissance utile / puissance fournie) est alors de 50 % à la puissance maximale.

Lorsque cette condition est remplie, il faut vérifier que le moteur produit encore une force satisfaisante en statique et en dynamique !

## Résumé sous forme de tableau

Tableau

Groupe d'expressions	Grandeur physique	Expression mathématique	Commentaire
<i>Force propulsive puissances et rendement</i>	$F_{propulsive}$	$2\rho S V_p (V_p - V_1)$	Unité de force : le newton
	$P_{utile}$	$2\rho S V_p (V_p - V_1) V_1$	Unité de puissance : le watt
	$P_{moteur}$	$2\rho S V_p^2 (V_p - V_1)$	
	Rendement $\eta$	$\frac{V_1}{V_p}$	$\frac{P_{utile}}{P_{moteur}}$
<i>Système métrique utilisé</i>	$\rho$	$1000 \frac{kg}{m^3}$	Une tonne par mètre cube d'eau douce
	$S$	$\pi \frac{D^2}{4}$	Unité de surface : le mètre carré (m <sup>2</sup> )
	$V_1$	Vitesse de l'eau entrant dans l'hélice	Vitesse de surface du navire ou du débit fluvial (m/s)
	$V_p$	$V_h (1 - Recul)$	Vitesse de propulsion dans l'hélice, en mètres par seconde, où $V_h = Pas$ (en mètres) * tours/seconde de l'hélice, avec <i>recul</i> variable selon les conditions de navigation.

## Voir aussi

- Application aux navires à déplacement<sup>[3]</sup>
- *Notez le rendement d'hélice à la puissance maximale (autour de 50%) alors que le rendement se situe entre 0,62 et 0,66 en navigation par temps calme pour une vitesse de croisière à 6,42 nœuds.*<sup>[4]</sup>

## Notes et références

1. « *Les expériences De Morosi et Bidone ont prouvé par les faits matériels les doctrines d'Euler et de Bernoulli.* »  
Bidone a fait des études très poussées sur les jets. Ces expériences sont décrites en français dans *Memorie della Reale accademia delle scienze di Torino*  
. Pour plus de détails : Hélice marine (*Wikipedia*)
2. Discussion Hélice marine
3. L'application de cette théorie avec un moteur de 75 Ch turbo sur une goélette de 15 tonnes a donné lieu à publication : Inverseurs et hélices ([http://appgm.asso.free.fr/wiki/index.php/Inverseurs\\_et\\_Hélices](http://appgm.asso.free.fr/wiki/index.php/Inverseurs_et_Hélices))
4. [https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices\\_de\\_navires\\_à\\_déplacement/Résultats\\_à\\_des\\_vitesses\\_caractéristiques](https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélices_de_navires_à_déplacement/Résultats_à_des_vitesses_caractéristiques)

## Liens externes

Memorie della Reale accademia delle scienze di Torino : Morosi et Bidone  
([http://books.google.com/books?id=ZtUAAAAAYAAJ&pg=RA3-PA33&lpg=RA3-PA33&dq=Morosi+Bidone&source=bl&ots=yFVM2I2isC&sig=JNZuce2VlB7drXiheb\\_htyIrWtI&hl=fr&ei=dwEkSuLnBtOZjAedv-zKbg&sa=X&oi=book\\_result&ct=result&resnum=2](http://books.google.com/books?id=ZtUAAAAAYAAJ&pg=RA3-PA33&lpg=RA3-PA33&dq=Morosi+Bidone&source=bl&ots=yFVM2I2isC&sig=JNZuce2VlB7drXiheb_htyIrWtI&hl=fr&ei=dwEkSuLnBtOZjAedv-zKbg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2)) Pages 1 à 191 notamment §4 (Page 134)

# Hélices de navires à Déplacement





# Sommaire du chapitre Hélices de navires à déplacement

Comprendre

Feuille de calculs

Examen des résultats

Résultats à des vitesses caractéristiques

Graphiques des puissances aux vitesses caractéristiques

Graphiques des forces aux vitesses caractéristiques

Expérimentation en mer

Commentaires sur l'expérimentation et perspectives

Conclusions

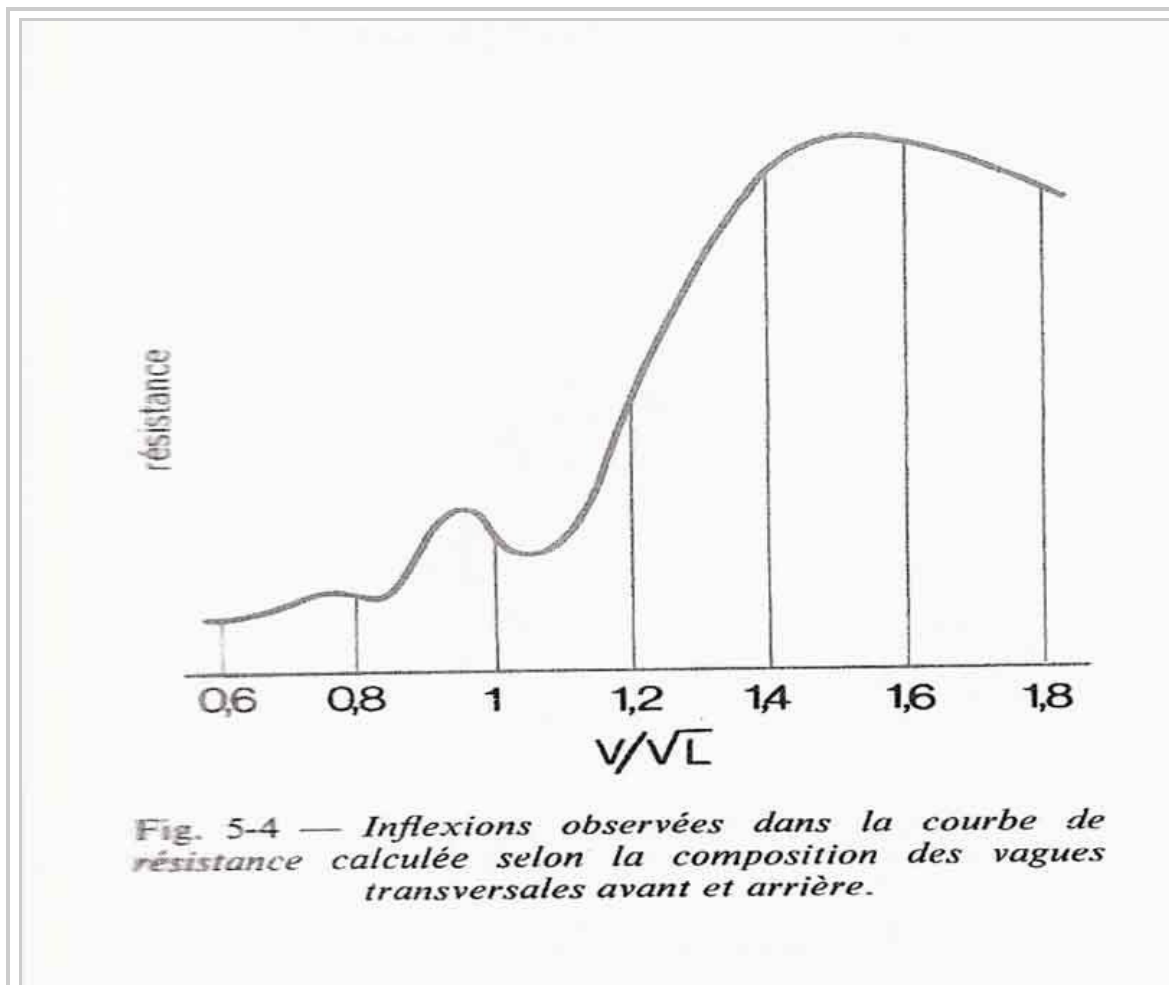
Télécharger les feuilles de calculs



Boot speurder rijkswaterstaat

*Vague d'étrave : Lorsque le creux de la vague est au milieu du bateau, l'ensemble hélice-moteur est au meilleur de son efficacité.*

# Comprendre



Courbe de résistance à la composition des vagues avant et arrière en fonction de la vitesse divisée par la racine de la longueur de coque à la flottaison.

**Il s'agit là de comprendre ce que l'on cherche à déterminer avec la feuille de calcul à l'aide des données qui sont à notre disposition**

la longueur de la coque, son poids, sa forme, sa surface de carène, etc.

**Ce que l'on veut déterminer**

c'est la puissance du moteur, la vitesse de croisière la plus économique, la vitesse maximale que peut avoir un tel navire et finalement le diamètre de l'hélice et son pas.

- La résistance à ce que l'on appelle communément *résistance à la vague d'étrave* dépend de la longueur de la coque à la flottaison de la vitesse de déplacement du navire, de son poids (son déplacement), de la forme de son étrave.
- La vitesse la plus économique en carburant est obtenue lorsque le creux de la vague d'étrave se trouve approximativement au milieu de la coque.

- On détermine la vitesse maximale d'une coque à déplacement en fonction de la longueur à la flottaison. La puissance pour passer cette vague d'étrave devient vite très importante au delà de  $R=V/\sqrt{L} = 1,15$  (Courbe de résistance ci-contre). V en mètres par seconde et L en mètres.

### Note

La vitesse maximale, selon les constructeurs, peut avoir des valeurs différentes. Valeur moyenne pour  $R=V_{\max}/\sqrt{L} \cong 1,28$ . Cette valeur est sans doute exagérée, elle permet de ne pas sous évaluer la puissance du moteur, elle ne devrait pas dépasser 1,18 pour un voilier.

Par commodité on adopte souvent  $V_{\max} = C\sqrt{L}$  où C se situe entre 2,43 et 2,53, L en mètres et V en nœuds.

*Par exemple, Pour une longueur de coque de 9 mètres :*

$(V_{\max}/\sqrt{L}) = 7,44 \pm 0,15$  nœuds selon les constructeurs;

$(V_{\max}/\sqrt{L}) = 6,88$  nœuds pour  $R=1,18$ .

- La puissance nécessaire pour atteindre la vitesse limite de carène ne dépend pas que de la vague d'étrave, elle dépend aussi de la surface de carène et de la forme de la coque. Pour un navire standard on estime à **5 chevaux par tonne**, la puissance nécessaire pour atteindre la vitesse maximale.

# Feuille de calculs

## Examen du fichier original

### Estimation du pas et du diamètre d'hélice pour un voilier à déplacement

Cette estimation ne tient pas compte de tous les paramètres, consultez un hélicier pour plus d'information  
Cette estimation suppose que l'avant et l'arrière de l'hélice sont bien dégagés.

Pour plus d'informations consultez le site : <http://tramontane34.free.fr/ConslNavAm/telecharger-calcul-helices.php>

#### Remplir uniquement les cases noires

Longeur à la flottaison en mètres = 13,00

Largeur à la flottaison en mètres = 3,60

Puissance nominale du moteur en CV 50,00

Puissance du moteur en CV = 47,50

Puissance du moteur en KW = 0,00

Poids en charge, en tonnes = 15,00

Forcer la vitesse maximale estimée : 7,254

Réducteur : réduction en marche avant (RH) 1: 2,24

Rapport de réduction = 0,446

Nombre de tours moteurs à la puissance maximale 3600

Recul estimé de l'hélice à la puissance optimale = 0,280 **ok**

Cellule de contrôle :

\*\* Ajuster pour adapter au pas réel = 0,960

Hauteur de la cage d'hélice = 0,54

**21,3**

**ok**

\* La puissance optimale est ici la puissance maximale du moteur par vent contraire ramenant la vitesse du navire à la vitesse optimale

\*\* La valeur du pas réel sera prise en compte dans l'**Estimation des efforts** compte tenu recul estimé à la puissance optimale.

Ce calcul permet de conserver de la puissance pour résister aux vents contraires à la vitesse optimale

Le résultat de ces calculs est perceptible sur la feuille "Estimation des efforts"

Le rendement de l'hélice en absence d'effort autre que le déplacement, vague d'étrave, frottement devrait se situer entre 0,62 et 0,66 pour tomber à 0,5 à la puissance maximale à la vitesse optimale.

Dans le tableau "Estimation des efforts" on peut remplacer la puissance disponible calculée en progression linéaire, par les valeurs du constructeur

Coefficient de finesse du navire = 0,28

Degré de vitesse R = 1,054

$R \text{ (m/sec)} = V / \text{RACINE}(L) \rightarrow \text{Foudre} = R / 3,132$

Pour calcul VETUS R = 1,275 (m/s)

Puissance retenue en KW = 34,91

Puissance en CV par tonne = 3,17

Vitesse maximale du voilier à 5CV/tonne : 9,15

Vitesse maximale estimée retenue en nœuds = 7,25

Vitesse optimale estimée en nœuds = 5,80

Vitesse de propulsion estimée de l'hélice en mètres/seconde = 5,97

Diamètre optimal estimé en mètre = 0,457

Pas optimal estimé en mètre = 0,31

Pas réel en mètre = 0,30

Coeff. Q<sup>-1</sup> inverse optimal de la qualité de l'hélice à la propulsion = 2,61

Calcul VETUS:

8,76

pas de problème de cavitation

18,00 pouces

12,19 pouces **ok**

12,00 pouces **ok**

21,6 pouces **ok**

N'oubliez pas de préciser le rapport de surface Sh/S du fournisseur cellule H7 dans la feuille Estimation des efforts

Image de la feuille de calculs au téléchargement.]]

## Description

**Longueur et largeur à la flottaison** : Les valeurs sont données par le constructeur du navire.

**Puissance nominale en chevaux** : Puissance du moteur donné par le fabricant du moteur.

**Puissance du moteur** : Cette valeur est calculée en tenant compte des pertes de transmission évalués à 5% de la puissance nominale. Il est possible de modifier cette valeur manuellement.

**Puissance du moteur en kW** : Puissance en kilowatt. Cette valeur se substitue à la puissance du moteur si une valeur est précisée.

**Poids en charge, en tonnes** : Poids total du navire armé avec réservoirs pleins.

**Forcer la vitesse maximale estimée** : Cette case doit être effacée, elle permettra d'ajuster les paramètres de l'hélice (voir les sections suivantes).

**Réducteur:réduction en marche avant (RH)** : Cette valeur est donnée par le fabricant du réducteur.

**Rapport de réduction** : Cette valeur est calculée si la ligne précédente est remplie sinon il faut entrer la valeur fournie par le constructeur de l'inverseur.

**Nombre de tours moteur à la puissance maximale** : Cette valeur est fournie par le constructeur du moteur.

**Recul estimé à la puissance optimale** : La puissance optimale est ici la puissance maximale du moteur par vent contraire ramenant la vitesse du navire à la vitesse optimale. Cette valeur peut être difficile à évaluer. Pour une hélice standard 2, 3, ou 4 pales, cette valeur est voisine de  $0,275 \pm 0,005$ .

**Hauteur de la cage d'hélice** : Elle est mesurable ou donnée par le constructeur du navire.

## Estimation du pas et du diamètre d'hélice pour un voilier à déplacement

Cette estimation ne tient pas compte de tous les paramètres, consultez un hélicier pour plus d'information  
 Cette estimation suppose que l'avant et l'arrière de l'hélice sont bien dégagés.

Pour plus d'informations consultez le site : <http://tramontane34.free.fr/ConsNavAm/telecharger-calcul-helices.php>

### Remplir uniquement les cases noires

Longeur à la flottaison en mètres = **13,00**  
 Largeur à la flottaison en mètres = **3,60**

Puissance nominale du moteur en CV **75,00**  
 Puissance du moteur en CV = 71,25  
 Puissance du moteur en KW = 0,00  
 Poids en charge, en tonnes = **15,00**

Forcer la vitesse maximale estimée :

Réducteur : réduction en marche avant (RH) 1: **2,27**  
 Rapport de réduction = 0,441

Nombre de tours moteurs à la puissance maximale **3000**

Recul estimé de l'hélice à la puissance optimale = 0,270 **ok**  
 Cellule de contrôle : **ok**  
 \*\* Ajuster pour adapter au pas réel = 1,000

\* La puissance optimale est ici la puissance maximale du moteur par vent contraire ramenant la vitesse du navire à la vitesse optimale

\*\* La valeur du pas réel sera prise en compte dans l'**Estimation des efforts** compte tenu recul estimé à la puissance optimale.

Ce calcul permet de conserver de la puissance pour résister aux vents contraires à la vitesse optimale  
 Le résultat de ces calculs est perceptible sur la feuille "Estimation des efforts"

Le rendement de l'hélice en absence d'effort autre que le déplacement, vague d'étrave, frottement devrait se situer entre 0,62 et 0,66 pour tomber à 0,5 à la puissance maximale à la vitesse optimale.

Dans le tableau "Estimation des efforts" on peut remplacer la puissance disponible calculée en progression linéaire, par les valeurs du constructeur

Coefficient de finesse du navire = 0,28

Degré de vitesse R = **1,296** **Inférieur à 1,18 recommandé**

$R \text{ (m/sec)} = V / \text{RACINE}(L_f) \text{ --- Foudre} = R / 3,132$   
 Pour calcul VETUS R = 1,275 (m/s)

Puissance retenue en KW = 52,37

Puissance en CV par tonne = 4,75

Calcul VETUS:  
 8,76

Vitesse maximale du voilier à 5CV/tonne : 9,15

Vitesse maximale estimée retenue en nœuds = 8,92

Vitesse optimale estimée en nœuds = 7,14

Vitesse de propulsion estimée de l'hélice en mètres/seconde = 7,34

Diamètre optimal estimé en mètre = 0,411

pas de problème de cavitation  
**16,16** pouces

**pas supérieur au diamètre, changer B13**

Pas optimal estimé en mètre = 0,46

17,98 pouces

Pas réel en mètre = 0,46

Coeff. Q<sup>-1</sup> inverse optimal de la qualité de l'hélice à la propulsion = 2,17

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,49

19,4 pouces **ok**

17,98 pouces

**pas supérieur au diamètre, changer B21 (après B13)**

**N'oubliez pas de préciser le rapport de surface Sh/S du fournisseur cellule H7 dans la feuille Estimation des efforts**  
**Image de la feuille de calculs en cours de traitement. Les cases jaunes sont à remplir ou à modifier.**

## Remplir les cases surlignées en jaune comme sur l'image. Vous obtenez un aperçu avec des remarques

1. Recul estimé de l'hélice : **ok**
2. Contrôle : **ok** Ce contrôle vérifie que le recul s'effectue à une valeur supérieure à 0,25. Le recul est conseillé entre 0,27 et 0,33.
3. Degré de vitesse  $R = 1,296$ . **une valeur inférieure à 1,18 est recommandée.**
4. Pas optimal estimé = **17,98 pouces supérieur au diamètre** optimal estimé; ce genre d'hélice n'existe pas ! **Agir sur la case B13** pour forcer la vitesse maximale à une valeur inférieure.
5. Pas réel = **17,98 pouces** même message que précédemment, mais **agir sur la case B21** après avoir agi sur la case B13 pour adapter le pas réel.
6. Hauteur minimal de dégagement de la cage d'hélice : **ok**. Vérifie si le diamètre de l'hélice est compatible avec la cage.

## Estimation du pas et du diamètre d'hélice pour un voilier à déplacement

Cette estimation ne tient pas compte de tous les paramètres, consultez un hélicier pour plus d'information  
Cette estimation suppose que l'avant et l'arrière de l'hélice sont bien dégagés.

Pour plus d'informations consultez le site : <http://tramontane34.free.fr/ConsNavAm/telecharger-calcul-helices.php>

### Remplir uniquement les cases noires

Longeur à la flottaison en mètres = **13,00**  
Largeur à la flottaison en mètres = **3,60**

Puissance nominale du moteur en CV **75,00**  
Puissance du moteur en CV = 71,25  
Puissance du moteur en KW = 0,00  
Poids en charge, en tonnes = **15,00**  
**Forcer la vitesse maximale estimée : 8,000**

Réducteur : réduction en marche avant (RH) 1: **2,27**  
Rapport de réduction = 0,441  
Nombre de tours moteurs à la puissance maximale **3000**  
Recul estimé de l'hélice à la puissance optimale = 0,270 **ok**  
Cellule de contrôle : **ok**  
**\*\* Ajuster pour adapter au pas réel = 1,130**

Hauteur de la cage d'hélice = **0,54** **21,3**

\* La puissance optimale est ici la puissance maximale du moteur par vent contraire ramenant la vitesse du navire à la vitesse optimale

\*\* La valeur du pas réel sera prise en compte dans l'**Estimation des efforts** compte tenu recul estimé à la puissance optimale.

Ce calcul permet de conserver de la puissance pour résister aux vents contraires à la vitesse optimale  
Le résultat de ces calculs est perceptible sur la feuille "Estimation des efforts"

Le rendement de l'hélice en absence d'effort autre que le déplacement, vague d'étrave, frottement devrait se situer entre 0,62 et 0,66 pour tomber à 0,5 à la puissance maximale à la vitesse optimale.

Dans le tableau "Estimation des efforts" on peut remplacer la puissance disponible calculée en progression linéaire, par les valeurs du constructeur

Coefficient de finesse du navire = 0,28

Degré de vitesse R = **1,163**

$R \text{ (m/sec)} = V / \text{RACINE}(L)$  --- Foudre =  $R / 3,132$   
Pour calcul VETUS R = 1,275 (m/s)

Puissance retenue en KW = 52,37

Puissance en CV par tonne = 4,75

Calcul VETUS:  
8,76

Vitesse maximale du voilier à 5CV/tonne : **9,15**

Vitesse maximale estimée retenue en nœuds = **8,00**

Vitesse optimale estimée en nœuds = **6,40**

Vitesse de propulsion estimée de l'hélice en mètres/seconde = 6,58

Diamètre optimal estimé en mètre = **0,483**

Pas optimal estimé en mètre = **0,41**

Pas réel en mètre = **0,43**

Coeff. Q<sup>-1</sup> inverse optimal de la qualité de l'hélice à la propulsion = 2,74

pas de problème de cavitation

**19,03** pouces

16,12 pouces **ok**

**16,94** pouces **ok**

**22,8** pouces

**Hélice trop grande**

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : **0,58**

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58

Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58

**N'oubliez pas de préciser le rapport de surface Sh/S du fournisseur cellule H7 dans la feuille Estimation des efforts**

**Résultat final après modification des cellules B13 et B21.**

**B13 : Forcer la vitesse maximale estimée**

**et B21 : Ajuster pour adapter au pas réel**



## Agir sur la cellule B13 pour corriger le diamètre puis sur la cellule B21 pour corriger le pas

1. Modifier la ligne *Forcer la vitesse maximale estimée* (B13) jusqu'à obtenir un degré de vitesse acceptable. (*Se référer à la courbe de la première section*). Cette action agit aussi sur les diamètres et pas d'hélice; Rechercher le diamètre d'hélice souhaité et compatible avec la cage d'hélice.
2. Modifier la ligne *Ajuster pour adapter au pas réel* (B21) jusqu'à obtenir le pas d'hélice souhaité.
3. Des remarques peuvent être compatibles ou incompatibles Sur la feuille de calcul. *Hélice trop grande*. En effet, la cage d'hélice devrait avoir une hauteur suffisante pour ne pas perturber le fonctionnement. Dans le cas exposé l'hélice de 19 pouces a une marge un peu juste pour la cage de 21,3 pouces (une différence de 3 cm). Il reste cependant 1,5 cm entre les pales d'hélice et la cage. À l'expérience il n'y a pas eu de problème lié à cette remarque.

# Examen des résultats

Helice Estimation des efforts		D = 19,02	Pas = 17,00										
Pmot retenue = 52,92													
Poursuivre à Pmax = 3000													
Pas = 0,43													
Coeff. Q <sup>-1</sup> = 2,24													
Diamètre = 0,483													
Recul = 0,27													
Réduc 2 = 0,441													
Profondeur de l'hélice (m) = 0,50													
<p>Pour "démarrer" toutes les cellules : tout sélectionner puis cliquer sur le cadre lignes ou colonnes avec le bouton droit de la souris puis sur "afficher"</p> <p>VOUS POUVEZ EVALUER FORCE, PUISSANCE, ET RENDEMENT, EN MODIFIANT LA VALEUR DE Vd</p>													
<p>Evaluation en dynamique</p> <p>Vd en nœuds = 7,00</p>													
Tr moteur/mn	P arbre Ir hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	$\gamma$	Dep + Pres (Pascal)	Charge hélice (kg/cm <sup>2</sup> )	Conso l/h	Conso l/mn	Conso l/h P4.1
1100	20053	484,55	6,78	-0,00	6,81	-124	-435	1,028	-678,02	-0,01	-0,17	-0,02	-0,13
1200	22560	528,60	7,39	0,01	7,33	234	883	0,965	1277,22	0,03	0,35	0,05	0,26
1300	25066	572,65	8,01	0,02	7,83	630	2538	0,894	3437,65	0,07	1,02	0,15	0,75
1400	27573	616,70	8,63	0,04	8,31	1059	4527	0,842	5776,26	0,11	1,81	0,26	1,33
1500	30080	660,75	9,24	0,05	8,78	1515	6843	0,797	8266,97	0,16	2,74	0,39	2,01
1600	32586	704,80	9,86	0,06	9,23	1995	9470	0,769	10884,60	0,22	3,79	0,54	2,79
1700	35093	748,85	10,48	0,08	9,66	2493	12392	0,725	13604,90	0,27	4,96	0,71	3,64
1800	37600	792,90	11,09	0,09	10,08	3007	15684	0,695	16404,53	0,32	6,24	0,89	4,58
1900	39480	836,95	11,71	0,11	10,47	3530	19021	0,668	19261,07	0,38	7,61	1,09	5,59
2000	41548	881,00	12,32	0,12	10,86	4060	22673	0,645	22153,02	0,44	9,07	1,30	6,67
2100	43240	925,05	12,94	0,13	11,22	4593	26609	0,624	25059,80	0,50	10,61	1,52	7,80
2200	45120	969,10	13,56	0,15	11,57	5125	30495	0,605	27961,73	0,55	12,20	1,74	8,97
2300	46530	1013,15	14,17	0,16	11,90	5652	34594	0,588	30840,08	0,61	13,84	1,98	10,17
2400	47940	1057,20	14,79	0,17	12,21	6172	38771	0,573	33677,01	0,67	15,51	2,22	11,40
2500	49350	1101,25	15,41	0,19	12,51	6681	42988	0,560	36455,61	0,72	17,20	2,46	12,64
2600	50384	1145,30	16,02	0,20	12,79	7177	47208	0,547	39159,88	0,78	18,89	2,70	13,88
2700	51230	1189,35	16,64	0,22	13,05	7656	51394	0,536	41774,74	0,83	20,57	2,94	15,12
2800	51700	1233,40	17,25	0,23	13,29	8116	55607	0,527	44286,04	0,88	22,21	3,17	16,33
2900	51700	1277,45	17,87	0,24	13,52	8555	59513	0,518	46680,53	0,92	23,81	3,40	17,50
3000	51700	1321,50	18,49	0,26	13,73	8970	63377	0,510	48945,89	0,97	25,36	3,62	18,64

Hélice 19x17 pouces

L'entête reprend, en vert, les données de la feuille de calculs PAS & DIAMETRE.

Les cellules en noir :

1. H4 : Densité de l'eau, 1000 pour l'eau douce, en grammes par litre.
  2. H7 : Surface de l'hélice par rapport à un disque de même diamètre, elle est donnée par le constructeur de l'hélice.
  3. H8 : Profondeur de l'axe de l'hélice, en mètre.
  4. M60 : Vitesse du navire en nœuds. Le tableau donne les valeurs estimées en fonction de :
    1. La vitesse de rotation du moteur (Colonne B)
    2. Puissance disponible sur l'arbre (Colonne C)
    3. Le recul estimé (Colonne L)
  4. La force de propulsion (Colonne P) en Newton. Diviser par 9,81 (ou par 10) pour avoir la force en Kg<sub>f</sub>.
  5. La puissance à l'hélice en Watt. (Colonne Q)
  6. Le rendement estimé de l'hélice (Colonne R)
  7. La pression exercée sur la transmission. (Colonne T)
  8. La pression exercée sur les pales, en kg/cm<sup>2</sup> *Système CGS pour une lecture plus perceptible.* (Colonne W)
5. Fichier Helice-application-VOLVO-D2-75.xls) : Complément d'information sur la consommation de gasoil.
1. La consommation estimée en litre par heure (Colonne Y)
  2. La consommation estimée en litre par mille nautique (Colonne Z)

L'examen de la feuille de calcul Th-helice-application2 permet de visualiser toutes les informations nécessaires pour maintenir la vitesse de croisière à 7 nœuds. 1700 tours moteur correspond à une croisière sans vent avec une force de poussée de 250 kg<sub>f</sub> environ, alors qu'il sera nécessaire de tourner à 2400 tours pour une poussée de 620 kg<sub>f</sub>; au delà de 620 kg<sub>f</sub> la vitesse du navire sera plus faible.

# Résultats à des vitesses caractéristiques

Certaines valeurs sont intéressantes à observer; en statique, à la vitesse optimale pour l'hélice, à la vitesse optimale pour la carène, à la vitesse maximale.

Helice Estimation des efforts												D = 19,02	Pas = 17,00		
Pas = 0,43		Pmot retenue = 52,92		NE MODIFIEZ PAS LES CHIFFRES EN VERT											
Coeff. Q <sup>1</sup> = 2,24		ours/min à Pmax = 3000		MODIFIEZ LES VALEURS DANS LA PAGE "Estimation PAS & DIAMETRE"											
Diamètre = 0,483		ρ >= (kg) = 1000													
Recul = 0,27		S (m²) = 0,1833										V2 = (2*Vp)-Vd			
Réduc 2 = 0,441		ρ*S/2 = 91,64										Vd = vitesse du navire			
		Sh/S = 0,515										Charge d'hélice en Kg/cm² max 1,2 kg/cm² po			
		Profondeur de l'hélice (m) = 0,50										avec Sh / S = fa / f = 0,515 ( fa / f : doc. Radice H)			
Pour "démasquer" toutes les cellules : tout sélectionner puis cliquer sur le cadre lignes ou colonnes avec le bouton droit de la souris puis sur "afficher															
VOUS POUVEZ EVALUER FORCE, PUISSANCE, ET RENDEMENT, EN MODIFIANT LA VALEUR DE Vd															
Evaluation en dynamique												Vd en nœuds = 0,00	R = 0,00	Dep + Pres	Charge hélice
	Tr moteur/mn	P arbre	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	η	(Pascal)	(kg/cm²)			
Plage non conseillée (Turbo inactif)	1100	20053	484,55	3,4876	6,78	0,15	5,75	3208	9491	0,000	17505,01	0,35			
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	0,17	6,17	3695	11731	0,000	20160,50	0,40			
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,18	6,58	4194	14188	0,000	22884,95	0,45			
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,19	6,96	4702	16841	0,000	25656,57	0,51			
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,21	7,33	5215	19670	0,000	28454,47	0,56			
	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,22	7,68	5729	22648	0,000	31258,68	0,62			
	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,23	8,02	6240	25749	0,000	34050,15	0,67			
Plage d'utilisation permanente	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,25	8,34	6746	28943	0,000	36810,77	0,73			
	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,26	8,64	7244	32201	0,000	39523,31	0,78			
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,28	8,93	7729	35490	0,000	42171,48	0,83			
	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,29	9,19	8200	38782	0,000	44739,90	0,89			
	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,30	9,44	8653	42043	0,000	47214,13	0,93			
	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,32	9,68	9087	45243	0,000	49580,61	0,98			
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,33	9,90	9498	48352	0,000	51826,72	Cavitation ?			
Plage d'utilisation exceptionnelle	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,34	10,09	9886	51340	0,000	53940,77	Cavitation ?			
	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,36	10,28	10247	54180	0,000	55911,96	Cavitation ?			
	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,37	10,44	10580	56845	0,000	57730,42	Cavitation ?			
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,39	10,59	10884	59309	0,000	59387,20	Cavitation ?			
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,40	10,72	11157	61551	0,000	60874,27	Cavitation ?			
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,41	10,84	11397	63549	0,000	62184,51	Cavitation ?			

Navire en statique

## Helice Estimation des efforts

D = 19,02

Pas = 17,00

Pmot retenue = 52,92  
 Pas = 0,43  
 Coeff. Q<sup>1</sup> = 2,24  
 Diamètre = 0,483  
 Recul = 0,27  
 Réduc = 0,441  
 Profondeur de l'hélice (m) = 0,50  
 tours/min à Pmax = 3000  
 $\rho >=$  (kg) = 1000  
 S (m<sup>2</sup>) = 0,1833  
 $\rho * S/2 = 91,64$   
 Sh/S = 0,515

NE MODIFIEZ PAS LES CHIFFRES EN VERT

MODIFIEZ LES VALEURS DANS LA PAGE "Estimation PAS & DIAMETRE"

$V_2 = (2 * V_p) - V_d$

Vd = vitesse du navire

Pour "démasquer" toutes les cellules : tout sélectionner puis cliquer sur le cadre lignes ou colonnes avec le bouton droit de la souris puis sur "afficher"

### Evaluation en dynamique

Vd optimale en nœuds = 6,42

R = 0,93

Dépression

	Tr moteur/mn	P dispo	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	$\eta$	Dépression (Pascal)
Plage à éviter (turbo)	1100	20053	484,55	3,4876	6,78	0,01	6,73	197	680	0,96	536
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	0,02	7,23	569	2118	0,89	1552
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,04	7,73	977	3883	0,83	2665
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,05	8,20	1415	5972	0,78	3861
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,06	8,66	1879	8374	0,74	5128
	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,08	9,10	2365	11075	0,71	6452
Plage d'utilisation permanente	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,09	9,53	2867	14054	0,67	7823
	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,10	9,93	3383	17288	0,65	9229
	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,12	10,32	3907	20750	0,62	10658
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,13	10,70	4435	24411	0,60	12101
	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,15	11,05	4965	28238	0,58	13547
	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,16	11,39	5493	32197	0,56	14986
Plage d'utilisation exceptionnelle	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,17	11,72	6015	36253	0,55	16410
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,19	12,02	6528	40371	0,53	17809
	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,20	12,31	7029	44512	0,52	19176
	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,21	12,58	7515	48640	0,51	20502
	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,23	12,84	7984	52719	0,50	21781
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,24	13,07	8432	56712	0,49	23005
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,26	13,29	8859	60584	0,48	24168
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,27	13,50	9261	64301	0,48	25265

V = 6,42 Nds, vitesse optimale d'hélice. Notez le rendement de l'hélice à la puissance maximale (au que le rendement se situe entre 0,62 et 0,66 en navigation par temps calme.



Sillage d'un navire à faible vitesse dans les gorges d'Avon, Bristol, Angleterre.

## Helice Estimation des efforts

D = 19,02

Pas = 17,00

Pmot retenue = 52,92

Pas = 0,43

ours/min à Pmax = 3000

Coeff. Q<sup>1</sup> = 2,24

ρ >= (kg) = 1000

Diamètre = 0,483

S (m<sup>2</sup>) = 0,1833

Recul = 0,27

ρ\*S/2 = 91,64

Réduc 2 = 0,441

Sh/S = 0,515

Profondeur de l'hélice (m) = 0,50

NE MODIFIEZ PAS LES CHIFFRES EN VERT

MODIFIEZ LES VALEURS DANS LA PAGE "Estimation PAS & DIAMETRE"

V<sub>2</sub> = (2\*V<sub>p</sub>)-V<sub>d</sub>

V<sub>d</sub> = vitesse du navire

Charge d'hélice en Kg/cm<sup>2</sup> max 1,2 kg/cm<sup>2</sup> po  
avec Sh / S = fa / f = 0,515 ( fa / f : doc. Radice H)

Pour "démasquer" toutes les cellules : tout sélectionner puis cliquer sur le cadre lignes ou colonnes avec le bouton droit de la souris puis sur "afficher

VOUS POUVEZ EVALUER FORCE, PUISSANCE, ET RENDEMENT, EN MODIFIANT LA VALEUR DE Vd

Evaluation en dynamique

Vd en nœuds = 7,22

R = 1,05

Dep + Pres Charge hélice

	Tr moteur/mn	P arbre	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	η	(Pascal)	Charge hélice (kg/cm <sup>2</sup> )
Plage non conseillée (Turbo inactif)	1100	20053	484,55	3,4876	6,78	-0,01	6,85	-248	-874	1,055	-1354,70	-0,03
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	0,00	7,37	105	397	0,980	571,36	0,01
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,02	7,87	496	2009	0,917	2707,27	0,05
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,03	8,36	921	3960	0,864	5025,85	0,10
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,05	8,83	1375	6242	0,818	7500,84	0,15
	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,06	9,28	1852	8841	0,778	10106,90	0,20
	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,07	9,71	2349	11740	0,743	12819,61	0,25
Plage d'utilisation permanente	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,09	10,13	2862	14917	0,713	15615,46	0,31
	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,10	10,53	3385	18345	0,685	18471,86	0,37
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,11	10,92	3916	21994	0,661	21367,15	0,42
	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,13	11,28	4450	25834	0,640	24280,56	0,48
	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,14	11,64	4984	29830	0,621	27192,27	0,54
	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,16	11,97	5513	33948	0,603	30083,37	0,60
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,17	12,29	6036	38149	0,588	32935,84	0,65
Plage d'utilisation exceptionnelle	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,18	12,58	6549	42397	0,574	35732,61	0,71
	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,20	12,87	7048	46654	0,561	38457,52	0,76
	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,21	13,13	7532	50882	0,550	41095,32	0,81
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,22	13,38	7996	55044	0,540	43631,68	0,86
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,24	13,61	8440	59104	0,530	46053,20	0,91
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,25	13,83	8861	63025	0,522	48347,38	0,96

V = 7,22 Nds vitesse optimale de carène



Cardabela Le bulbe casse la vague d'étrave à 7 noeuds.

## Helice Estimation des efforts

D = 19,02

Pas = 17,00

Pmot retenue = 52,92

Pas = 0,43

ours/min à Pmax = 3000

Coeff. Q<sup>1</sup> = 2,24

ρ >= (kg) = 1000

Diamètre = 0,483

S (m<sup>2</sup>) = 0,1833

Recul = 0,27

ρ\*S/2 = 91,64

Réduc 2 = 0,441

Sh/S = 0,515

Profondeur de l'hélice (m) = 0,50

NE MODIFIEZ PAS LES CHIFFRES EN VERT

MODIFIEZ LES VALEURS DANS LA PAGE "Estimation PAS & DIAMETRE"

V<sub>2</sub> = (2\*V<sub>p</sub>)-V<sub>d</sub>

Charge d'hélice en Kg/cm<sup>2</sup> max 1,2 kg/cm<sup>2</sup> po

V<sub>d</sub> = vitesse du navire

avec Sh / S = fa / f = 0,515 ( fa / f : doc. Radice H)

Pour "démasquer" toutes les cellules : tout sélectionner puis cliquer sur le cadre lignes ou colonnes avec le bouton droit de la souris puis sur "afficher

VOUS POUVEZ EVALUER FORCE, PUISSANCE, ET RENDEMENT, EN MODIFIANT LA VALEUR DE Vd

Evaluation en dynamique

Vd en nœuds = 8,00

R = 1,16

Dep + Pres Charge hélice

	Tr moteur/mn	P arbre	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	η	(Pascal)	Charge hélice (kg/cm <sup>2</sup> )
Plage non conseillée (Turbo inactif)	1100	20053	484,55	3,4876	6,78	-0,03	6,96	-700	-2507	1,149	-3817,24	-0,08
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	-0,01	7,50	-367	-1414	1,067	-2001,09	-0,04
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,00	8,01	8	31	0,999	41,39	0,00
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,01	8,51	418	1831	0,940	2282,44	0,05
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,03	8,99	861	3978	0,890	4695,21	0,09
	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,04	9,45	1329	6463	0,847	7253,79	0,14
	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,06	9,90	1820	9268	0,808	9933,17	0,20
Plage d'utilisation permanente	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,07	10,33	2329	12373	0,775	12709,26	0,25
	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,08	10,74	2852	15751	0,745	15558,90	0,31
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,10	11,13	3383	19376	0,719	18459,83	0,37
	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,11	11,51	3920	23215	0,695	21390,72	0,42
	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,12	11,87	4459	27235	0,674	24331,16	0,48
	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,14	12,22	4996	31399	0,655	27261,65	0,54
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,15	12,54	5528	35672	0,638	30163,60	0,60
Plage d'utilisation exceptionnelle	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,17	12,85	6052	40015	0,622	33019,36	0,65
	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,18	13,15	6563	44389	0,609	35812,19	0,71
	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,19	13,42	7061	48756	0,596	38526,25	0,76
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,21	13,68	7541	53078	0,585	41146,64	0,81
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,22	13,92	8002	57316	0,575	43659,36	0,86
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,23	14,15	8440	61434	0,565	46051,36	0,91

V = 8 Nds. Vitesse maximale, vitesse limite de carène.

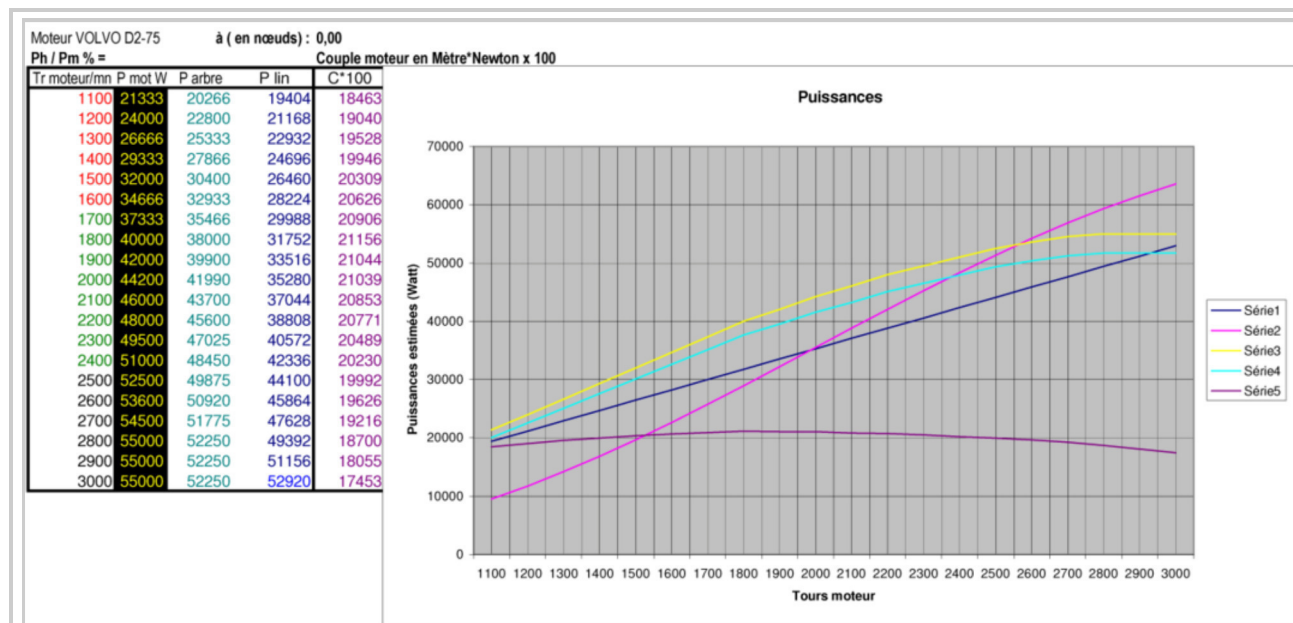


Arunspeed atteint sa vitesse maximale de carène

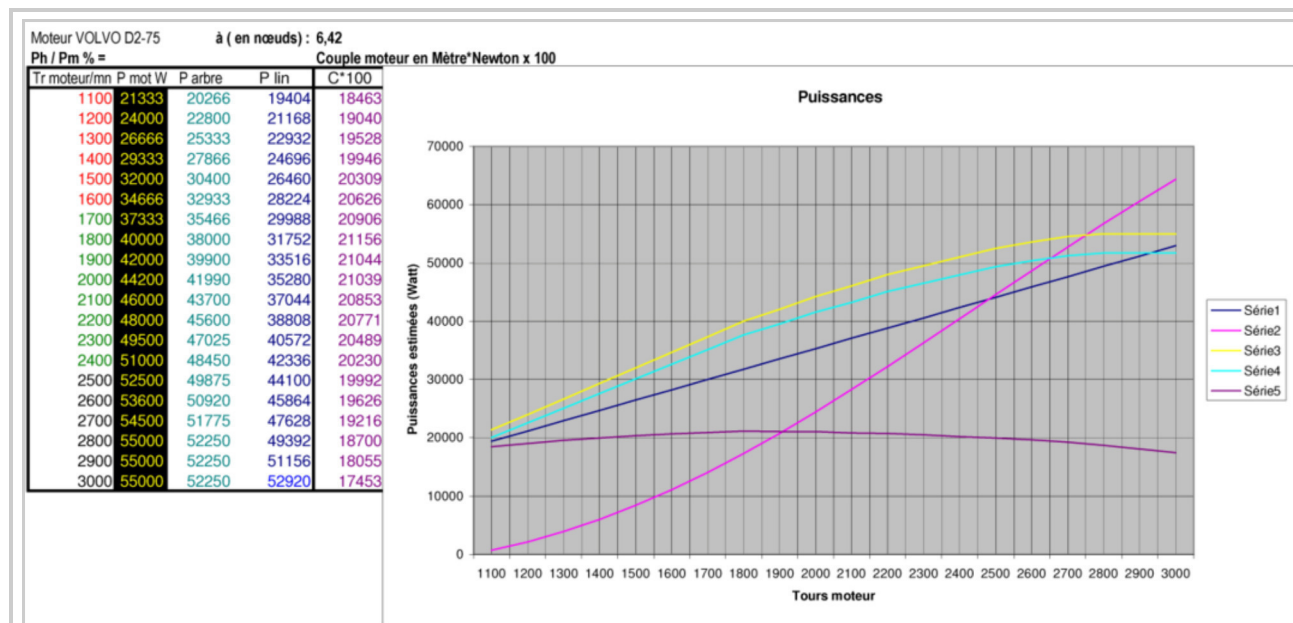
# Puissances aux vitesses caractéristiques

**Graphes de puissance d'une hélice marine pour un navire de 13 mètres, 15 tonnes, avec un moteur de 75 chevaux**

On voit dans ces exemples que le régime moteur recommandé est de 2100 tours par minutes. Par temps calme la puissance nécessaire pour un avancement du bateau entre 6,5 nœuds et 7,2 nœuds est de 26 kW environ et correspond, à peu près, à la moitié de la puissance maximale du moteur.

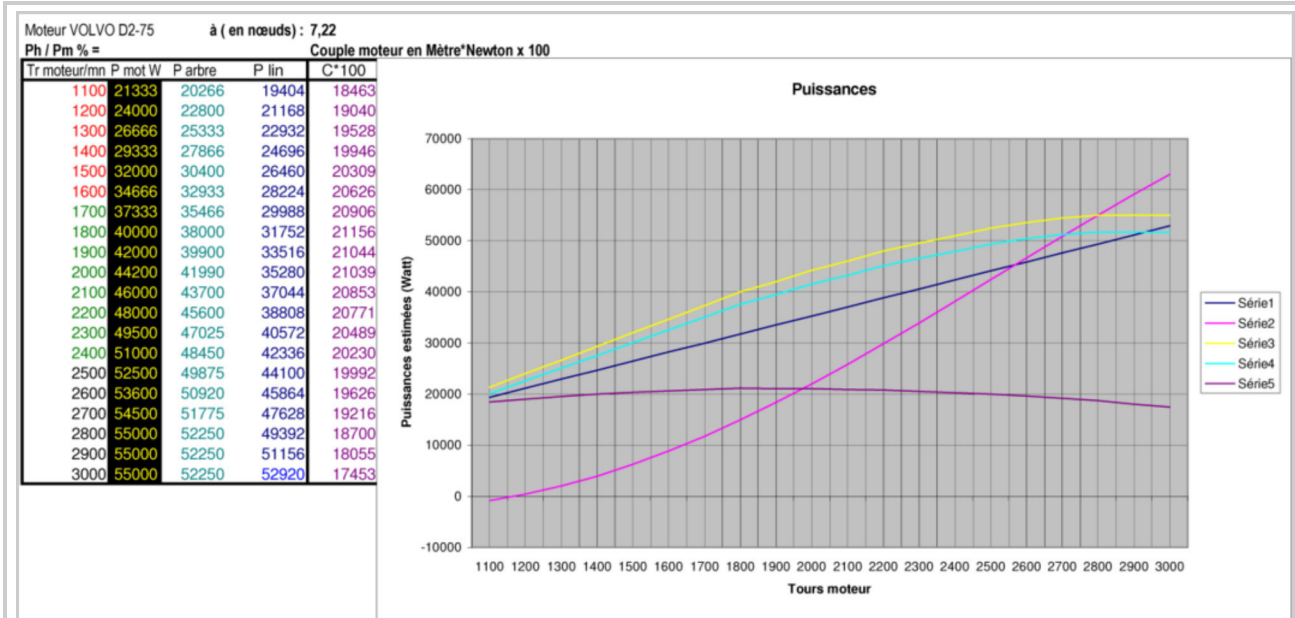


**Navire en statique.** Avec cette hélice on voit que le moteur peut atteindre, au mieux, 2350 tours par minute pour 48 kW sur l'arbre d'hélice. (Croisement des courbes bleu-clair et mauve.)

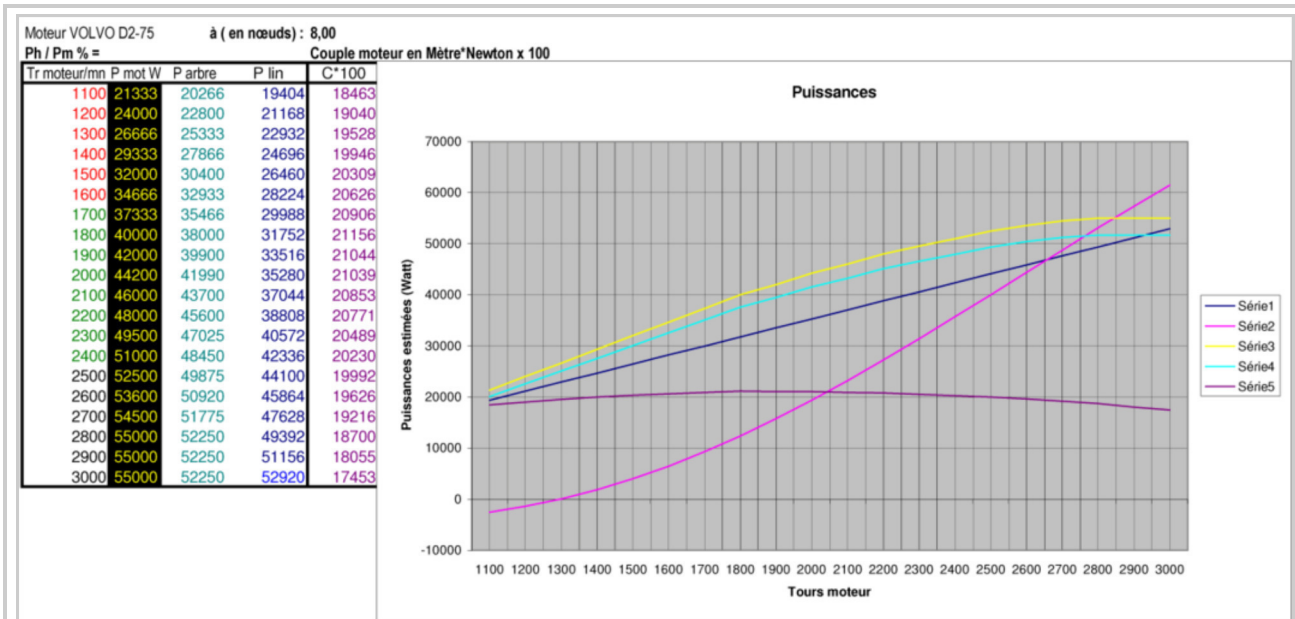


**V = 6,42 Nds. Vitesse optimale d'hélice.** Avec cette hélice le moteur peut atteindre, au mieux, 2650 tours par minute pour une puissance de 50 kW sur l'arbre d'hélice.



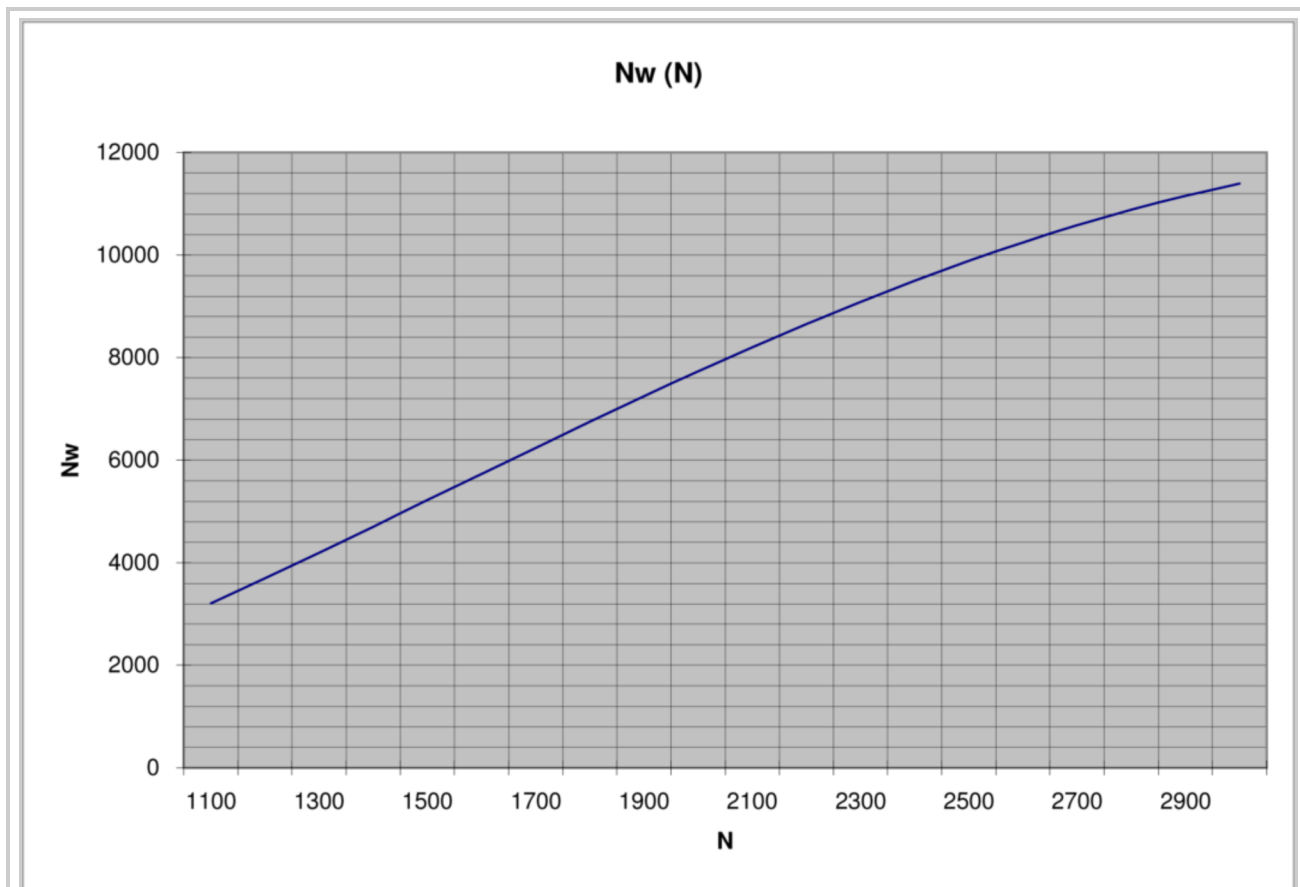


V = 7,22 Nds.vitesse optimale de carène. Avec cette hélice le moteur peut atteindre, au mieux, 2700 tours par minute pour une puissance de 51 kW sur l'arbre d'hélice.



V = 8 Nds. Vitesse maximale, vitesse limite de carène. Avec cette hélice le moteur peut atteindre, au mieux, 2750 tours par minute pour une puissance de 51 kW sur l'arbre d'hélice.

# Forces aux vitesses caractéristiques



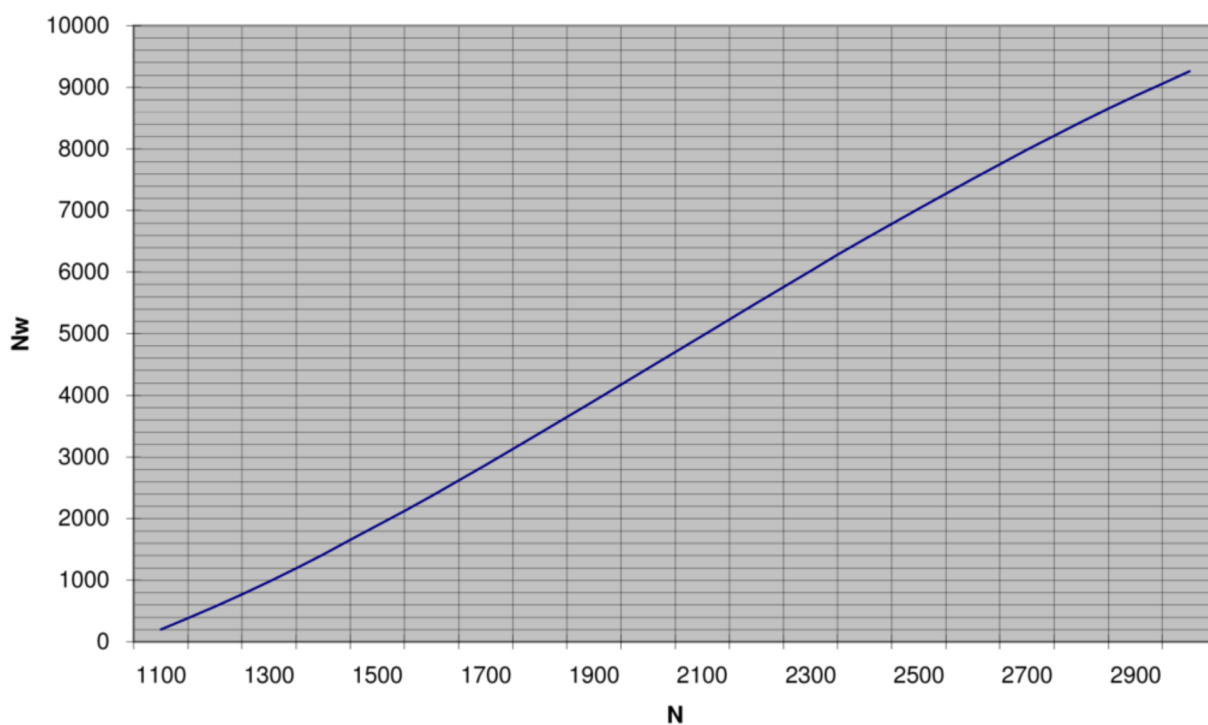
**Navire en statique.** La force exercée sur l'arbre d'hélice est de **9200N** ( $\cong 920kg_f$ ) à 2350 tours par minute du moteur.



Mesure d'une force de traction avec un dynamomètre de 200 Kg<sub>f</sub> et un palan démultiplicateur à six brins.

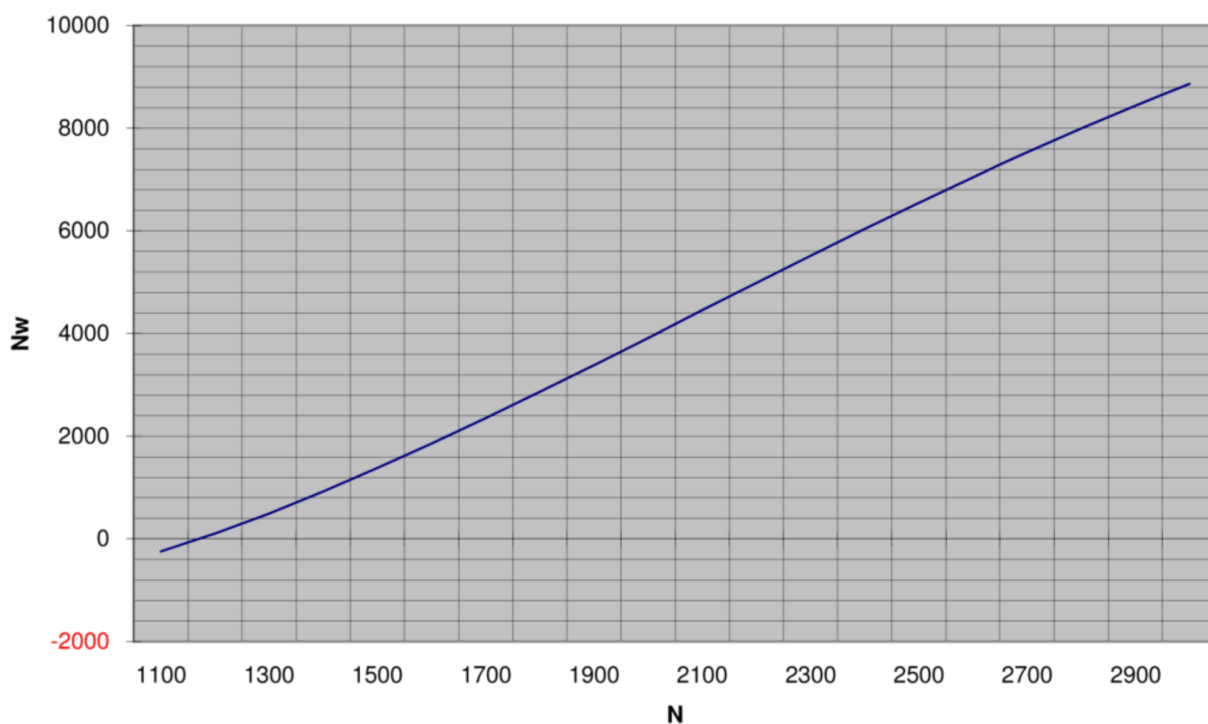
(1000 N  $\cong$  100 Kg<sub>f</sub> au dynamomètre égale 6000 N ou  $\cong$  600 Kg<sub>f</sub> en traction)

**Nw (N)**



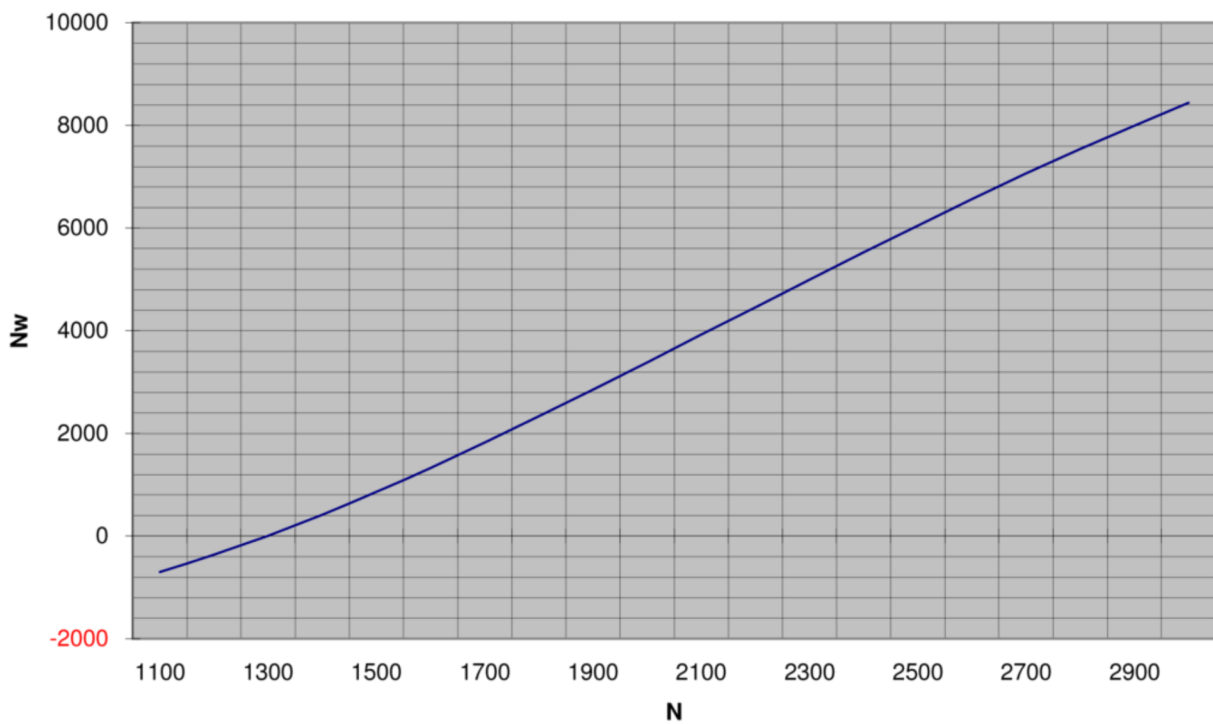
**V = 6,42 nd, vitesse optimale d'hélice. À 2100 tr/mn 4965N et 7750N à 2650 tr/mn**

**Nw (N)**



**V = 7,22 nd, vitesse optimale de carène. À 2100 tr/mn 4450N et 7530N à 2700 tr/mn**

### Nw (N)



**V = 8 nd vitesse maximale, vitesse limite de carène. À 2100 tr/mn 3920N et 7750N à 2750 tr/mn. À 2100 tours l'effort complémentaire est fourni par les voiles ou simplement le vent arrière:  $7750N - 3932N = 3818N$**

# Expérimentation en mer

**En statique : Nombre de tours max : 2350** manette des gaz à fond en marche avant; laisse présumer un recul de 0,27 !

tr/min	vitesse (nds)	Conditions
1200	4,2	Pas de vent ou très peu, un peu de houle hélice et coque pas parfaitement propre.
1480	5,4	
1800	7 - 6,4	
1950	7	
2000	7,1 - 7,2	Conso : 4,3 litres/heure 0,614 litre/mile nautique.
2700	8,4 - 8,5	Vitesse maximale atteinte.

09/06/08 Feuille Application (du classeur *Helice-moteur.xls*)

## Prévisions par mer d'huile

N	V	F	P	Conso l/h	Conso l/mn
1200	4,2	1775	6271	1,2	0,29
1400	5,1	2194	8967	1,8	0,35
1600	5,8	2751	12684	2,6	0,45
1800	6,5	3332	17060	3,5	0,54
2000	7,1	3994	22361	4,8	0,68
2200	7,6	4729	28583	6,3	0,83
2400	8,0	5526	35651	8,0	1,00
2600	8,3	6367	43406	10,2	1,23
2800	8,6	7168	51303	13,5	1,57

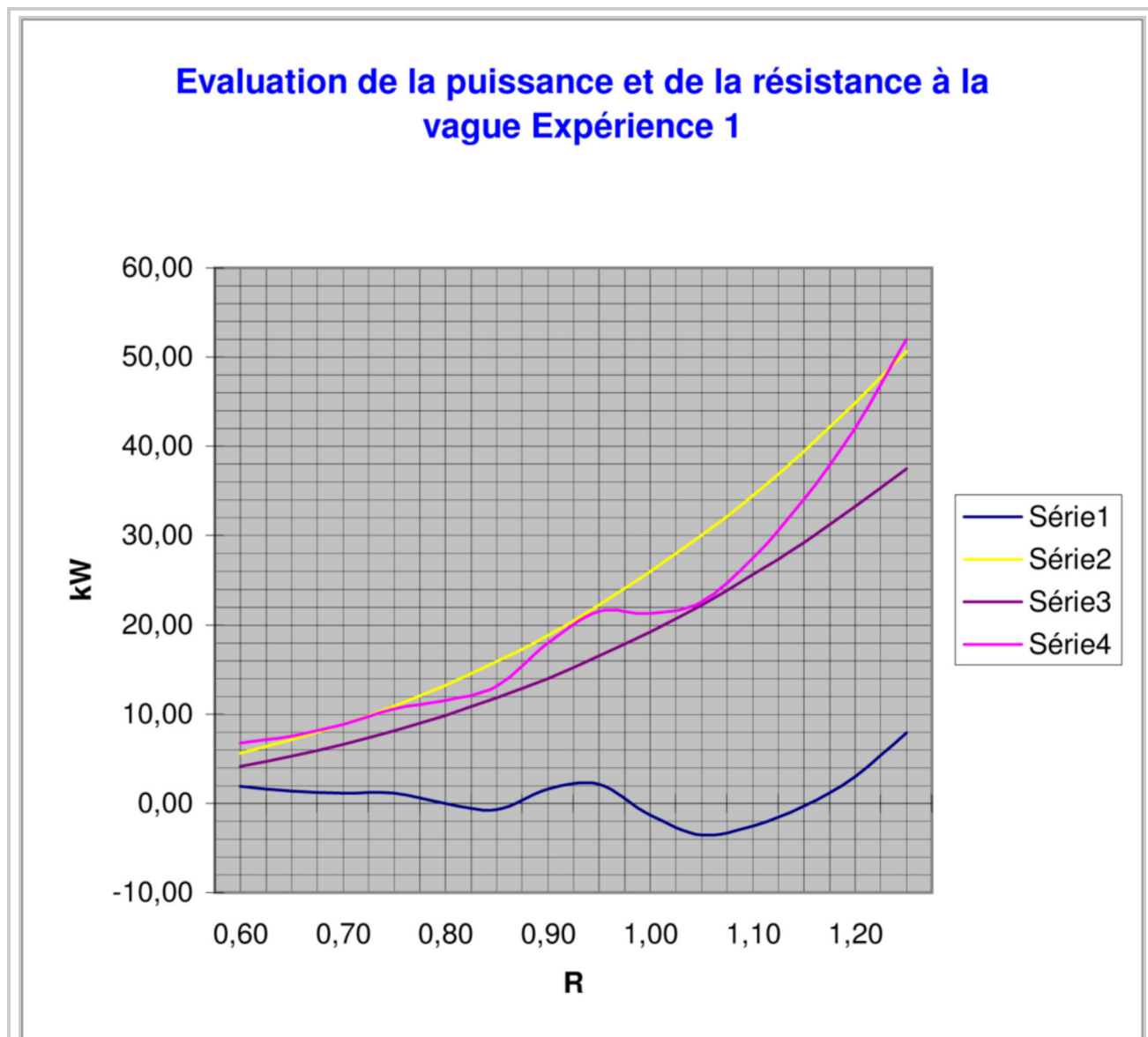
N en tours/minute, V en nœuds, F en Newton, P en Watt.

# Commentaires sur l'expérimentation

## Conclusions de 2008

Dans la *Feuille de calcul conso* les valeurs ont été lissées.

On a obtenu la courbe empirique suivante avec une stagnation de la puissance et de la consommation en carburant, entre les abscisses  $R=0,95$  à  $1950$  tr/mn et  $R=1,05$  à  $2200$  tr/mn correspondants  $6,54$  et  $7,22$  nd. La consommation chute rapidement en deçà de  $R=0,95$ .



Graphique de la Puissance de propulsion estimée en fonction de la vitesse en tenant compte de la résistance à la vague.

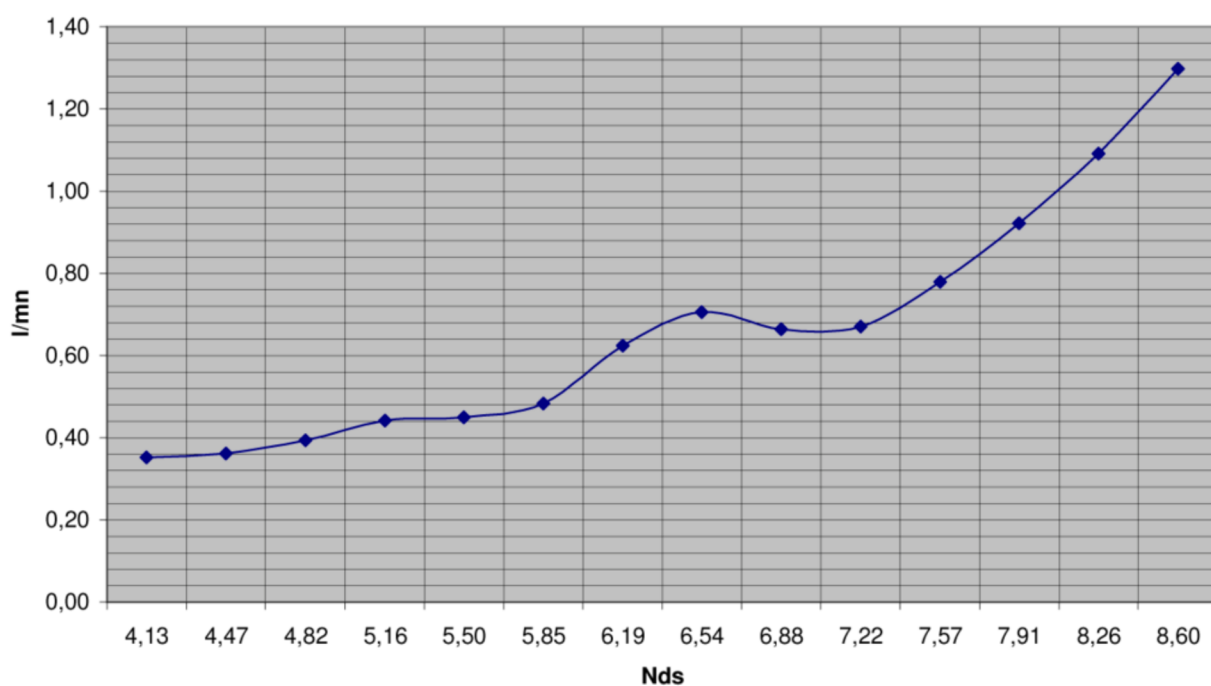
\* En bleu:Influence estimée de la vague d'étrave

\* En jaune:Indication de puissance calculée à rendement=0,62 sans influence de vague d'étrave

\* En violet:Indication de puissance calculée à rendement=0,66 sans influence de vague d'étrave

\* En mauve:Puissance estimée plus conforme à l'expérience en tenant compte de la vague d'étrave. Laisse présumer un rendement d'hélice entre 0,64 et 0,65

### Consommation l/mn Expérience 1



Courbe de consommation évaluée en litres par mile nautique. La graduation en abscisse graduée nœuds, 6,54 nd correspond à  $R=0,95$  et 7,22 nd correspond à  $R=1,05$ . Selon le graphe de résistance à la vague d'étrave. Dans la pratique avec la goélette Cardabela on n'observe pas de creux de puissance ni de diminution de consommation importantes entre 6,5 et 7 nd





# Conclusions pour les navires à déplacement

Téléchargez les feuilles de calcul, expérimentez, ajoutez votre expérience et vos conclusions.

## Retour d'expérience

**Remarque :** Quels que soient les moteurs et hélices, pour un même bateau on doit obtenir la même vitesse du bateau pour une même puissance fournie à l'hélice.

Curieusement nous devons utiliser le même recul théorique dans deux expériences suivantes sur le même bateau pour avoir des résultats cohérents avec les essais (recul = 0,27 ou 0,28) :

*Attention ; le recul défini ici s'entend lorsque le moteur est à sa puissance maximale pour une vitesse de bateau égale à la vitesse optimale (tableaux ci dessous)*

Dans les calculs d'hélices pour des moteurs de 50 et 75 chevaux le rendement à la vitesse optimale par temps calme se situe dans les deux cas aux environs de 0,62  
**La perte d'énergie est alors égale à environ un tiers de la puissance fournie à l'hélice.**

## Avec un moteur de 50CV

Hélice 3 pales hélicoïdale 18x12

### Estimation du pas et du diamètre d'hélice pour un voilier à déplacement

Cette estimation ne tient pas compte de tous les paramètres, consultez un hélicier pour plus d'information  
Cette estimation suppose que l'avant et l'arrière de l'hélice sont bien dégagés.

Pour plus d'informations consultez le site : <http://tramontane34.free.fr/ConslNavAm/telecharger-calcul-helices.php>

#### Remplir uniquement les cases noires

Longueur à la flottaison en mètres = 13,00  
Largeur à la flottaison en mètres = 3,60

Puissance nominale du moteur en CV 50,00  
Puissance du moteur en CV = 47,50  
Puissance du moteur en KW = 0,00  
Poids en charge, en tonnes = 15,00  
Forcer la vitesse maximale estimée : 7,254

Coefficient de finesse du navire = 0,28  
Degré de vitesse R = 1,054

$$R \text{ (m/sec)} = V / \text{RACINE}(L) \text{ --- Foudre} = R / 3,132$$

Pour calcul VETUS R = 1,275 (m/s)

Puissance retenue en KW = 34,91  
Puissance en CV par tonne = 3,17  
Vitesse maximale du voilier à 5CV/tonne : 9,15

Vitesse maximale estimée retenue en nœuds = 7,25  
Vitesse optimale estimée en nœuds = 5,80

Vitesse de propulsion estimée de l'hélice en mètres/seconde = 5,97  
Diamètre optimal estimé en mètre = 0,457

Pas optimal estimé en mètre = 0,31  
Pas réel en mètre = 0,30

Coeff. Q<sup>-1</sup> inverse optimal de la qualité de l'hélice à la propulsion = 2,61

pas de problème de cavitation

18,00 pouces

12,19 pouces

12,00 pouces

21,6 pouces

ok

ok

ok

Réducteur : réduction en marche avant (RH) 1: 2,24  
Rapport de réduction = 0,446

Nombre de tours moteurs à la puissance maximale 3600  
Recul estimé de l'hélice à la puissance optimale = 0,280

Cellule de contrôle : ok  
\*\* Ajuster pour adapter au pas réel = 0,960

\* La puissance optimale est ici la puissance maximale du moteur par vent contraire ramenant la vitesse du navire à la vitesse optimale

\*\* La valeur du pas réel sera prise en compte dans l'Estimation des efforts compte tenu du recul estimé à la puissance optimale.

Ce calcul permet de conserver de la puissance pour résister aux vents contraires à la vitesse optimale

Le résultat de ces calculs est perceptible sur la feuille "Estimation des efforts"

Le rendement de l'hélice en absence d'effort autre que le déplacement, vague d'étrave, frottement devrait se situer entre 0,62 et 0,66 pour tomber à 0,5 à la puissance maximale à la vitesse optimale.

Dans le tableau "Estimation des efforts" on peut remplacer la puissance disponible calculée en progression linéaire, par les valeurs du constructeur

N'oubliez pas de préciser le rapport de surface Sh/S du fournisseur cellule H7 dans la feuille Estimation des efforts

Vitesse optimale d'hélice : 5,80 nd

## Avec un moteur de 75CV

Hélice 3 pales hélicoïdale 19x17

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Estimation du pas et du diamètre d'hélice pour un voilier à déplacement.</b>								
2	Cette estimation ne tient pas compte de tous les paramètres, consultez un hélicier pour plus d'information								
3	Cette estimation suppose que l'avant et l'arrière de l'hélice sont bien dégagés.								
4	Pour plus d'informations consultez le site : <a href="http://tramontane34.free.fr/ConslNav.Am.telecharger-calcul-helices.php">http://tramontane34.free.fr/ConslNav.Am.telecharger-calcul-helices.php</a>								
5	<b>Remplir uniquement les cases noires</b>								
6	Longueur à la flottaison en mètres = 13,00			Coefficient de finesse du navire = 0,28					
7	Largeur à la flottaison en mètres = 3,60			<b>Degré de vitesse R = 1,167</b>					
8				$R \text{ (m/sec)} = V / RACINE(L) \text{ --- Foudre} = R / 3,132$					
9				Pour calcul VETUS $R = 1,275 \text{ (m/s)}$					
10				Puissance retenue en KW = 52,92					
11				Puissance sur l'arbre en KW =					
12				Poids en charge, en tonnes = 15,00					
13				<b>Forcer la vitesse maximale estimée : 8,03</b>					
14				<b>Vitesse maximale estimée retenue en nœuds = 8,03</b>					
15				<b>Vitesse optimale estimée en nœuds = 6,42</b>					
16				Vitesse de propulsion estimée de l'hélice en mètres/seconde = 6,61					pas de problème de cavitation
17	Rapport de réduction = 0,4405			<b>Diamètre optimal estimé en mètre = 0,483</b>					19,02 pouces
18	Nombre de tours moteurs à la puissance maximale = 3000,00			<b>Pas optimal estimé en mètre = 0,41</b>					16,18 pouces <b>ok</b>
19	** Recul réel estimé à P optimale * = 0,270 <b>ok</b>			<b>Pas réel en mètre = 0,43</b>					17,00 pouces <b>ok</b>
20	** Ajuster le recul pour adapter au pas réel = 0,305 <b>ok</b>			<b>Coef. Q<sup>-1</sup> inverse optimal de la qualité de l'hélice à la propulsion = 2,53</b>					
21	* La puissance optimale est ici la puissance maximale du moteur par vent contraire ramenant la vitesse du navire à la vitesse optimale			<b>Hauteur minimale de dégagement de la cage (recommandation) : 0,58</b>					22,8 pouces <b>Cage trop petite ?</b>
22	Hauteur de la cage d'hélice = 0,54	21,3							
23	** La correction est automatique dans les estimations pour le cas où le pas de l'hélice trouvée est différent du pas calculé !								
24	** Il eût été préférable d'installer une hélice de 19x16,41 pouces avec recul 0,28, l'hélice la plus approchante trouvée est 19x17 pouces								
25	** Le recul estimé expérimental semble être plus proche de 0,27 d'après les premiers essais.								
26	<b>Ce calcul permet de conserver 13 de la puissance pour résister aux vents contraires à la vitesse optimale</b>								
27	<b>Le résultat de ces calculs est perceptible sur la feuille "Estimation des efforts"</b>								
28				Réducteurs					
29				Etude pour un moteur VOLVO D2-75 :	RH	2,27	0,4405		
30				(Inverseur MS25L)	LH	2,10	0,4762		

Vitesse optimale d'hélice : 6,42 nd

## Exemple de rendement d'hélice dans le tableau ci-dessous

À la ligne non surlignée, 1900 tours/min du moteur le rendement d'hélice est de 0,62 à la vitesse optimale par temps calme.

### Helice Estimation des efforts

Pmot retenue = 52,92

Pas = 0,43 ours/min à Pmax = 3000

Coef.  $\alpha^1 = 2,24$   $\rho > = (\text{kg}) = 1000$

Diamètre = 0,483  $S (\text{m}^2) = 0,1833$

Recul = 0,27  $\rho^*S/2 = 91,64$

Réduc = 0,441  $Sh/S = 0,515$

Profondeur de l'hélice (m) = 0,50

D = 19,02 Pas = 17,00

NE MODIFIEZ PAS LES CHIFFRES EN VERT  
MODIFIEZ LES VALEURS DANS LA PAGE "Estimation PAS & DIAMETRE"

$V_2 = (2 \cdot V_p) \cdot V_d$

$V_d =$  vitesse du navire

Pour "démasquer" toutes les cellules : tout sélectionner puis cliquer sur le cadre lignes ou colonnes avec le bouton droit de la souris puis sur "afficher"

Evaluation en dynamique		Vd optimale en nœuds = 6,42				R = 0,93		Dépression					
Tr	moteur/mn	P dispo	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	$\eta$	(Pascal)	Conso l/h	Conso l/mn
	1100	20053	484,55	3,4876	6,78	0,01	6,73	197	680	0,96	536	0,15	0,02
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	0,02	7,23	569	2118	0,89	1552	0,45	0,07
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,04	7,73	977	3883	0,83	2665	0,83	0,13
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,05	8,20	1415	5972	0,78	3861	1,28	0,20
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,06	8,66	1879	8374	0,74	5128	1,80	0,28
	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,08	9,10	2365	11075	0,71	6452	2,38	0,37
	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,09	9,53	2867	14054	0,67	7823	3,02	0,47
	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,10	9,93	3383	17288	0,65	9229	3,71	0,58
Plage à éviter (turbo)	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,12	10,32	3907	20750	0,62	10658	4,45	0,69
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,13	10,70	4435	24411	0,60	12101	5,24	0,82
	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,15	11,05	4965	28238	0,58	13547	6,06	0,94
Plage d'utilisation permanente	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,16	11,39	5493	32197	0,56	14986	6,91	1,08
	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,17	11,72	6015	36253	0,55	16410	7,78	1,21
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,19	12,02	6528	40371	0,53	17809	8,66	1,35
	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,20	12,31	7029	44512	0,52	19176	9,55	1,49
	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,21	12,58	7515	48640	0,51	20502	10,44	1,62
Plage d'utilisation exceptionnelle	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,23	12,84	7984	52719	0,50	21781	11,31	1,76
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,24	13,07	8432	56712	0,49	23005	12,17	1,89
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,26	13,29	8859	60584	0,48	24168	13,00	2,02
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,27	13,50	9261	64301	0,48	25265	13,80	2,15

On peut maintenir cette vitesse de 6,42 nœuds jusqu'à 2600 tours du moteur qui atteint sa puissance maximale. L'effort sur l'hélice passe de 3900 à 7500 newtons et le rendement de l'hélice passe à 0,51 avec une perte d'énergie de 50%.

# Télécharger les feuilles de calculs

## Site d'origine

[tramontane34.free.fr/ConsNavAm/fichiers\\_conception/helice/telecharger.php](http://tramontane34.free.fr/ConsNavAm/fichiers_conception/helice/telecharger.php)

## À défaut

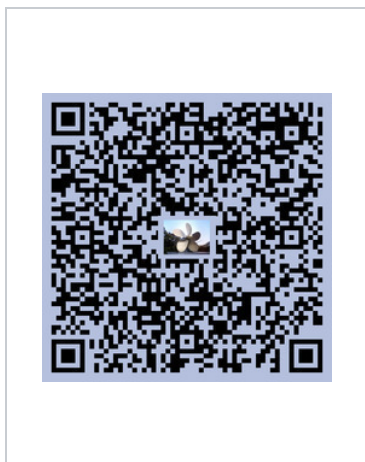
[appgm.asso.free.fr/wiki/downloads/Helice-moteur.xls](http://appgm.asso.free.fr/wiki/downloads/Helice-moteur.xls)

[appgm.asso.free.fr/wiki/downloads/Helice-application-VOLVO-D2-75.xls](http://appgm.asso.free.fr/wiki/downloads/Helice-application-VOLVO-D2-75.xls)

## QR pour téléchargements optiques



Téléchargement de la  
feuille de calculs  
d'hélices.



Download application-  
VOLVO-D2-75.xls .

# QR-codes

## URLs et liens optiques



URL=[https://fr.wikibooks.org/wiki/Hélice/Version\\_imprimable](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Version_imprimable)

QR pour *voir et imprimer* la version à jour de *Hélice - Théorie et application*

# Sources, contributeurs et licences du texte et des images

## Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

### Texte

Hélice/Couverture de version imprimable Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Couverture\\_de\\_version\\_imprimable?oldid=543803](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Couverture_de_version_imprimable?oldid=543803) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélice/Remerciements Source : <https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Remerciements?oldid=542768> Contributeurs : Goelette Cardabela

Hélice/Sommaire global Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Sommaire\\_global?oldid=542339](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Sommaire_global?oldid=542339) Contributeurs : Goelette Cardabela

Hélice/Préambule Source : <https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Pr%C3%A9ambule?oldid=542772> Contributeurs : Goelette Cardabela

Discussion:Hélice/Sommaire Source : <https://fr.wikibooks.org/wiki/Discussion%3AH%C3%A9lice/Sommaire?oldid=542832> Contributeurs : Goelette Cardabela

Discussion:Hélice Source : <https://fr.wikibooks.org/wiki/Discussion%3AH%C3%A9lice?oldid=543027> Contributeurs : Jean-Jacques MILAN et Goelette Cardabela

Hélice/Sommaire Source : <https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Sommaire?oldid=542234> Contributeurs : Goelette Cardabela et JackBot

Hélice Source : <https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice?oldid=543204> Contributeurs : Jean-Jacques MILAN, The RedBurn, Tavernier, Sub, DavidL, Tavernierbot, Zetud, Chaoborus, JackPotte, Goelette Cardabela, JackBot et Anonyme : 7

Hélices de navires à déplacement/Couverture Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Couverture?oldid=542504](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Couverture?oldid=542504) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélice/Sommaire de l'application Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Sommaire\\_de\\_l'application?oldid=542507](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/Sommaire_de_l'application?oldid=542507) Contributeurs : Goelette Cardabela

Hélices de navires à déplacement/Feuille de calculs Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Feuille\\_de\\_calculs?oldid=543026](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Feuille_de_calculs?oldid=543026) Contributeurs : CommonsDelinker, JackPotte, Goelette Cardabela et Anonyme : 1

Hélicesdenaviresàdéplacement/Examendesrésultats Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Examen\\_des\\_r%C3%A9sultats?oldid=539047](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Examen_des_r%C3%A9sultats?oldid=539047) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélices denavires à déplacement/Résultats à des vitesses caractéristiques Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/R%C3%A9sultats\\_%C3%A0\\_des\\_vitesses\\_caract%C3%A9ristiques?oldid=542883](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/R%C3%A9sultats_%C3%A0_des_vitesses_caract%C3%A9ristiques?oldid=542883) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélices de navires à déplacement/Graphiques des puissances aux vitesses caractéristiques Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Graphiques\\_des\\_puissances\\_aux\\_vitesses\\_caract%C3%A9ristiques?oldid=541898](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Graphiques_des_puissances_aux_vitesses_caract%C3%A9ristiques?oldid=541898) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélices de navires à déplacement/Graphiques des forces aux vitesses caractéristiques Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Graphiques\\_des\\_forces\\_aux\\_vitesses\\_caract%C3%A9ristiques?oldid=541895](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Graphiques_des_forces_aux_vitesses_caract%C3%A9ristiques?oldid=541895) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélices de navires à déplacement/Expérimentation en mer Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Exp%C3%A9rimentation\\_en\\_mer?oldid=538663](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Exp%C3%A9rimentation_en_mer?oldid=538663) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélicesdenaviresàdéplacement/Commentairesurl'expérimentationetprospectives Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Commentaires\\_sur\\_l'exp%C3%A9rimentation\\_et\\_prospectives?oldid=542886](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Commentaires_sur_l'exp%C3%A9rimentation_et_prospectives?oldid=542886) Contributeurs : JackPotte et Goelette Cardabela

Hélices de navires à déplacement/Conclusions Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/Conclusions?oldid=540824](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/Conclusions?oldid=540824) Contributeurs : Goelette Cardabela et JackBot

Hélices de navires à déplacement/Télécharger les feuilles de calculs Source : [https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement/T%C3%A9l%C3%A9charger\\_les\\_feuilles\\_de\\_calculs?oldid=538502](https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement/T%C3%A9l%C3%A9charger_les_feuilles_de_calculs?oldid=538502) Contributeurs : Jack-Potte et Goelette Cardabela

Hélice/QR-codes Source : <https://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lice/QR-codes?oldid=543816> Contributeurs : Goelette Cardabela

### Images

Fichier:Albert\_Einstein\_1947.jpg Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Albert\\_Einstein\\_1947.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/14/Albert_Einstein_1947.jpg) Licence : Public domain Contributeurs : The Library of Congress Artiste d'origine : Photograph by Oren Jack Turner, Princeton, N.J.

Fichier:Arunspeed.jpg Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/Arunspeed.jpg> Licence : CC BY 2.5 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : User:Spongie88 , Photo by Scott Snowling

Fichier:Boltzmann2.jpg Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Boltzmann2.jpg> Licence : Public domain Contributeurs : Uni Frankfurt Artiste d'origine : Inconnu<a href="https://www.wikidata.org/wiki/Q4233718" title="wikidata:Q4233718"></a>

Fichier:Boot\_speurder\_rijkswaterstaat.jpg Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Boot\\_speurder\\_rijkswaterstaat.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Boot_speurder_rijkswaterstaat.jpg) Licence : CC BY 2.5

Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Vdegrout

Fichier:Commons-logo.svg Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Commons-logo.svg> Licence : Public domain Contributeurs : This version created by Pumbaa, using a proper partial circle and SVG geometry features. (Former versions used to be slightly warped.) Artiste d'origine : SVG version was created by User:Grunt and cleaned up by 3247 , based on the earlier PNG version, created by Reidab .

Fichier:Couverture-oo-de\_L'hélice\_marine\_Théorie\_et\_application-fr.pdf Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/Couverture-oo-de\\_L%27h%C3%A9lice\\_marine\\_Th%C3%A9orie\\_et\\_application-fr.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/75/Couverture-oo-de_L%27h%C3%A9lice_marine_Th%C3%A9orie_et_application-fr.pdf) Licence : CC BY-SA 4.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Couverture\_de\_L'hélice\_marine\_Théorie\_et\_application-210-297-72px.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Couverture\\_de\\_L%27h%C3%A9lice\\_marine\\_Th%C3%A9orie\\_et\\_application-210-297-72px.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Couverture_de_L%27h%C3%A9lice_marine_Th%C3%A9orie_et_application-210-297-72px.png) Licence : CC BY-SA 4.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Download-Helice-application-VOLVO-D2-75(xls).png Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fa/Download-Helice-application-VOLVO-D2-75%28xls%29.png> Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Download-Helice-moteur(xls).png Source

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4f/Download-Helice-moteur%28xls%29.png> Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Effet\_bulbe\_etrave.ogv Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/Effet\\_bulbe\\_etrave.ogv](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fd/Effet_bulbe_etrave.ogv) Licence : CC0 Contributeurs : Fichier personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg Source

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/GodfreyKneller-IsaacNewton-1689.jpg> Licence : Public domain Contributeurs : <http://www.newton.cam.ac.uk/art/portrait.html> Artiste d'origine : This a copy of a painting by Sir Godfrey Kneller(1689). This copy was painted by Barrington Bramley.

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-ConsoMn.png Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5a/Helice-application-VOLVO-D2-75-ConsoMn.png> Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-DataV000.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-DataV000.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/8b/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-DataV000.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-DataV642.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-DataV642.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-DataV642.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-DataV722.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-DataV722.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-DataV722.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-DataV800.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-DataV800.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-DataV800.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheF-V000.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheF-V000.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheF-V000.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheF-V642.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheF-V642.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheF-V642.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheF-V722.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheF-V722.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheF-V722.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheF-V800.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheF-V800.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7e/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheF-V800.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheP-V000.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheP-V000.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheP-V000.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheP-V642.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheP-V642.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheP-V642.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheP-V722.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheP-V722.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheP-V722.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\_des\_efforts-GrapheP-V800.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation\\_des\\_efforts-GrapheP-V800.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/Helice-application-VOLVO-D2-75-Estimation_des_efforts-GrapheP-V800.png) Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Helice-application-VOLVO-D2-75-PdeR.png Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Helice-application-VOLVO-D2-75-PdeR.png> Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Hélice-moteur-Pas&Diamètre-0.png Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9f/H%C3%A9lice-moteur-Pas%26Diam%C3%A8re-0.png> Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Hélice-moteur-Pas&Diamètre-1.png Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/H%C3%A9lice-moteur-Pas%26Diam%C3%A8re-1.png> Licence : CC BY-SA 3.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Hélice\_de\_navire\_à\_déplacement.JPG Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/H%C3%A9lice\\_de\\_navire\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement.JPG](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9a/H%C3%A9lice_de_navire_%C3%A0_d%C3%A9placement.JPG) Licence : CC BY-SA 4.0 Contributeurs : Goelette Cardabela au carénage Artiste d'origine : Jean Paul LOUYOT

Fichier:Kastler.jpg Source : <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Kastler.jpg> Licence : Public domain Contributeurs : [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1966/kastler-bio.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1966/kastler-bio.html) Artiste d'origine : Nobel foundation

Fichier:Livres\_concernant\_l'hélice\_marine.jpg Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Livres\\_concernant\\_l%27h%C3%A9lice\\_marine.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Livres_concernant_l%27h%C3%A9lice_marine.jpg) Licence : CC BY-SA 4.0 Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Goelette Cardabela

Fichier:Nuvola-inspired\_File\_Icons\_for\_MediaWiki-fileicon-ps.png Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Nuvola-inspired\\_File\\_Icons\\_for\\_MediaWiki-fileicon-ps.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Nuvola-inspired_File_Icons_for_MediaWiki-fileicon-ps.png) Licence : LGPL Contributeurs : Travail personnel Artiste d'origine : Michael180

Fichier:Reef3661\_-\_Flickr\_-\_NOAA\_Photo\_Library.jpg Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Reef3661\\_-\\_Flickr\\_-\\_NOAA\\_Photo\\_Library.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Reef3661_-_Flickr_-_NOAA_Photo_Library.jpg) Licence : Public domain Contributeurs : NOAA Photo Library

reef3661 Artiste d'origine : Dr. Dwayne Meadows, NOAA/NMFS/OPR.



# Licence du contenu

Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0



# Collection de livrets techniques

## Livres et livrets au format *PDF*

### Informations

Vous pouvez les lire, les modifier et les imprimer. Ils sont convertibles dans d'autres formats (Ils sont sans protection DRM).

Wikipedia : *La spécificité du PDF est de préserver la mise en forme d'un document – polices de caractère, images, objets graphiques, etc. – telle qu'elle a été définie par son auteur, et cela quels que soient les logiciels, le système d'exploitation et l'ordinateur utilisés pour l'imprimer ou le visualiser.*

### Lien

[https://fr.wikibooks.org/wiki/Utilisateur:Goelette\\_Cardabela/Livres\\_en\\_versions\\_PDF](https://fr.wikibooks.org/wiki/Utilisateur:Goelette_Cardabela/Livres_en_versions_PDF)

## Livres et livrets en *Version imprimable*

### Informations

Vous devez vous charger de l'impression et de l'assemblage des pages.

### Lien

[https://fr.wikibooks.org/wiki/Utilisateur:Goelette\\_Cardabela/Livres\\_en\\_versions\\_imprimables](https://fr.wikibooks.org/wiki/Utilisateur:Goelette_Cardabela/Livres_en_versions_imprimables)

## Compilations

### Informations

Personnalisez votre livre en fichier *PDF* et/ou commandez votre création à PediaPress.

Wikipedia : *PediaPress est une société allemande offrant et développant des logiciels libres de publication sur papier. Située à Mayence en Allemagne, elle offre également un service de publication en ligne permettant aux internautes de créer des ouvrages personnalisés à partir des articles d'un wiki, tel que Wikipédia.*

### Liens

**Livres et livrets de l'utilisateur *Goelette Cardabela***

[https://fr.wikibooks.org/wiki/Utilisateur:Goelette\\_Cardabela/Compilation](https://fr.wikibooks.org/wiki/Utilisateur:Goelette_Cardabela/Compilation)

**Livres compilés sur wikibooks**

<https://fr.wikibooks.org/wiki/Compilations>

## Goelette Cardabela en voyage

### France

- <https://fr.wikivoyage.org/wiki/Saint-Martin-Vésubie>

### Colombie

- <https://fr.wikivoyage.org/wiki/Leticia>
- [https://fr.wikivoyage.org/wiki/San\\_Agustín](https://fr.wikivoyage.org/wiki/San_Agustín)
- [https://fr.wikivoyage.org/wiki/Santa\\_Marta](https://fr.wikivoyage.org/wiki/Santa_Marta)

# L'hélice marine

## Théorie et application

La première partie « Discussion:Hélice » fait l'historique des conceptions erronées du fonctionnement des hélices jusqu'au début du XXe siècle lorsque les chercheurs ont modifié notre façon de penser avec la thermodynamique. L'hélice n'est alors plus une « vis », « screw » en anglais maintenant appelée « propeller ».

La seconde partie « Hélice » démontre, à partir des théories de l'érudit « Isaac Newton » les formules mathématiques simples qui ont permis le calcul des hélices à l'aide d'un tableur.

La troisième partie explique comment utiliser le tableur « Hélice-moteur » pour calculer les hélices, celles des gros navires, des voiliers, et aussi des petits bateaux, appelés « navires à déplacement » parce qu'ils ne peuvent pas planer. Les feuilles de calcul du fichier « Hélice-application-VOLVO-D2-75 » sont donnés en exemple avec des illustrations et des graphes. Les résultats obtenus sont vérifiés en navigation.

---

Photo de couverture : Dr. Dwayne Meadows, NOAA/NMFS/OPR.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reef3661\\_-\\_Flickr\\_-\\_NOAA\\_Photo\\_Library.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Reef3661_-_Flickr_-_NOAA_Photo_Library.jpg)

Récupérée de « [https://fr.wikibooks.org/w/index.php?title=Utilisateur:Goelette\\_Cardabela/Livres\\_en\\_versions\\_imprimables/Hélice\\_marine\\_-\\_Théorie\\_et\\_application\\_-\\_Couverture\\_avec\\_dos\\_et\\_sommaire&oldid=546395](https://fr.wikibooks.org/w/index.php?title=Utilisateur:Goelette_Cardabela/Livres_en_versions_imprimables/Hélice_marine_-_Théorie_et_application_-_Couverture_avec_dos_et_sommaire&oldid=546395) »

Cette page a été modifiée pour la dernière fois le 8 avril 2017 à 17:26.

Les textes sont disponibles sous licence Creative Commons attribution partage à l'identique ; d'autres termes peuvent s'appliquer.

Voyez les termes d'utilisation pour plus de détails.