

Un livre de Wikilivres.

# Hélices de navires à déplacement

Une version à jour et éditable de ce livre est disponible sur Wikilivres,  
une bibliothèque de livres pédagogiques, à l'URL :  
[http://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices\\_de\\_navires\\_%C3%A0\\_d%C3%A9placement](http://fr.wikibooks.org/wiki/H%C3%A9lices_de_navires_%C3%A0_d%C3%A9placement)

Vous avez la permission de copier, distribuer et/ou modifier ce document selon les termes de la Licence de documentation libre GNU, version 1.2 ou plus récente publiée par la Free Software Foundation ; sans sections inaltérables, sans texte de première page de couverture et sans Texte de dernière page de couverture. Une copie de cette licence est incluse dans l'annexe nommée « Licence de documentation libre GNU ».

---

# Sommaire

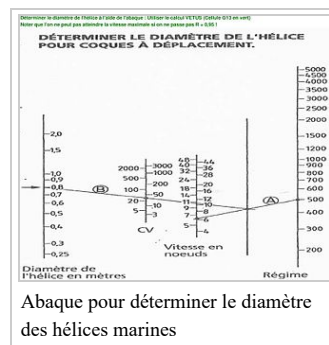
1. Rappels
2. Comprendre
3. Feuille de calculs
4. Examen des résultats
5. Résultats à des vitesses caractéristiques
6. Graphiques des puissances aux vitesses caractéristiques
7. Graphiques des forces aux vitesses caractéristiques
8. Expérimentation en mer
9. Commentaires sur l'expérimentation et perspectives
10. Conclusions
11. Télécharger les feuilles de calculs
12. Compilations wikilivres

# Rappels

Grâce aux travaux de Daniel Bernoulli<sup>[1]</sup>, des formules mathématiques ont été établies dès le 18ème siècle sur la percussion des fluides.

Ces travaux ont été poursuivis par Morosi et Bidone<sup>[2]</sup>, et à partir de là, de la seconde moitié du 19ème siècle, des formules mathématique avec des exposants fractionnaires ont été utilisées pour le calcul des hélices marines. Ces formules sont encore utilisées aujourd'hui, le plus souvent pour créer des abaques plus faciles à utiliser.

Sadi Carnot, Rudolf Clausius, puis Ludwig Boltzmann ont développé les théories thermodynamiques et la notion d'entropie<sup>[3]</sup> La transformation irréversible (deuxième principe de la thermodynamique) engendre le recul des hélices marines. Le recul n'est pas calculable, ce sont les expériences qui nous permettent de déterminer une valeur. Dans les feuilles de calculs cette valeur est choisie dans une fourchette autour de 0,28 (de 0,25 à 0,33) que l'on peut corriger après les essais en mer.



## Caractéristiques des hélices marines

### Définitions :

- Le **diamètre**, donné en pouce par le fabricant. *Il est transformé 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. Le pas 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. Ce coefficient 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 l'impact de l'eau avec l'hélice. 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.*

- Le **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 d'aspiration 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 dont 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.*

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.

## Formule utilisées dans nos feuilles calculs

Ce sont les formules démontrées dans la l'article Hélice de wikibooks.

Force propulsive, puissances et rendement :

Force propulsive =  $2 r S V_p (V_p - V_1)$

Putile =  $2 r S V_p (V_p - V_1) V_1$

Pmoteur =  $2 r S V_p^2 (V_p - V_1)$

Rendement =  $V_1/V_p$

Systeme métrique utilisé :

$r = 1000$  kg/mètre cube ; pour l'eau douce (une tonne par mètre cube).

$S = 3,14 * D^2/4$  ; en mètre carré.

$V_1$  ; vitesse d'entrée de l'eau dans l'hélice en mètres par seconde.

$V_p = V_h (1 - \text{Recul})$  ; vitesse de propulsion dans l'hélice, en mètres par seconde,

où  $V_h = \text{Pas (en mètres) * tours/seconde de l'hélice,}$

et Recul selon les conditions de navigation.

# Comprendre

La résistance à ce que l'on appelle communément résistance la vague d'étrave dépend de la longueur de la coque à la flottaison et de la vitesse de déplacement du navire.

- 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  $R = V/\sqrt{L} = 1,15.V$  en mètres par seconde et L en mètres.

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.

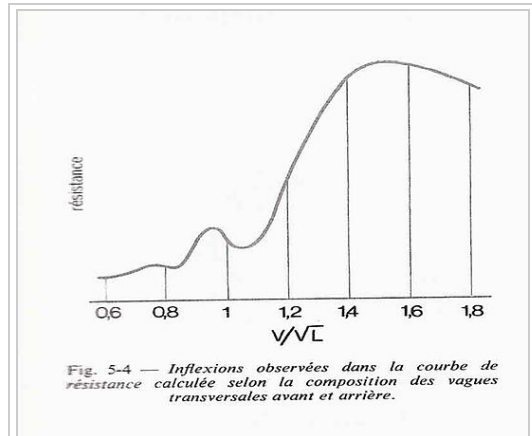
Par commodité on adopte souvent  $V_{\max} = C\sqrt{L}$  où C se situe entre 2,43 et 2,53, L en mètres et V en nœuds.

*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.



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

# Feuille de calculs

## Examen du fichier original

La feuille de calcul Pas & Diamètre originale se présente au téléchargement comme sur l'image.

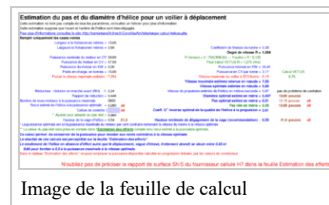


Image de la feuille de calcul

## Description

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

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

**Puissance du moteur :** Cette valeur est calculée en tenant compte des pertes de transmission évalués à 95% 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 ligne doit être vidée, 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.

## Les cases à remplir et résultats intermédiaires

1. Remplir les cases surlignées en jaune comme sur l'image ci contre.
2. Les cases remplies vous obtenez un aperçu avec des remarques.
  1. Recul estimé de l'hélice : ok
  2. Contrôle : Ce contrôle s'effectue le recul, il vérifie que le recul s'effectue bien 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 recommandé.
  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.

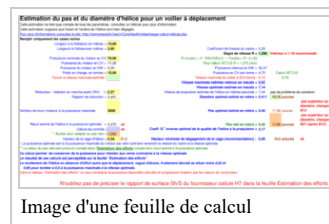


Image d'une feuille de calcul

## Ajustement des données et résultat final

1. Modifier la ligne B13 (Forcer la vitesse maximale estimée) 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 B21 (Ajuster pour adapter au pas réel) jusqu'à obtenir le pas d'hélice souhaité.
3. Des remarques peuvent être compatibles ou incompatibles Sur la feuille de calcul.  
Sur la feuille de calculs vous remarquerez la remarque *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. A 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																
Pas = 0,43		Pmax à Pmax = 3000		NE MODIFIEZ PAS LES CHIFFRES EN VERT												
Coeff. $Q^3 = 2,24$		p >= (kg) = 1000		MODIFIEZ LES VALEURS DANS LA PAGE "Estimation PAS & DIAMETRE"												
Diamètre = 0,483		S (m²) = 0,1833														
Recul = 0,27		p² S12 = 91,64		Charge d'hélice en Kg/cm² max 1,2 kg/cm² pour hélice Radice 3 pales												
Réduc 2 = 0,444		SHS = 0,515		avec Shf S = laff = 0,515 (laff : doc. Radice)												
Profondeur de l'hélice (m) = 0,50		Vd = vitesse du navire														
Pour "démasker" toutes les cellules : tout sélectionner puis cliquer sur 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 = 7,00																
Tr	moteur/min	P arbre Tr	hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh (Nœuds)	Recul	Vp (Nœuds)	F (Newton)	P (Watt)	$\eta$	(Pascal)	Charge hélice	Conso l/h	Conso l/mn	Conso l/h P4.1	
Plage	1100	20053	484,55	3,4871	6,78	-0,00	6,81	-124	-435	1,028	-678,02	-0,01	-0,17	-0,02	-0,13	
	1200	22580	528,60	3,8041	7,39	0,01	7,33	234	883	0,965	1277,22	0,03	0,35	0,05	0,26	
non	1300	25066	572,65	4,1211	8,01	0,02	7,83	630	2538	0,894	3437,65	0,07	1,02	0,15	0,75	
conseillée	1400	27573	616,70	4,4381	8,63	0,04	8,31	1059	4527	0,842	5776,26	0,11	1,81	0,26	1,33	
(Turbo inactif)	1500	30080	660,75	4,7551	9,24	0,05	8,78	1515	6843	0,797	8266,97	0,16	2,74	0,39	2,01	
	1600	32586	704,80	5,0721	9,86	0,06	9,23	1995	9470	0,769	10884,60	0,22	3,79	0,54	2,79	
	1700	35093	748,85	5,3891	10,48	0,08	9,66	2493	12392	0,726	13604,90	0,27	4,96	0,71	3,64	
	1800	37600	792,90	5,7061	11,09	0,09	10,08	3007	15584	0,696	16404,53	0,32	6,24	0,89	4,58	
	1900	39480	836,95	6,0231	11,71	0,11	10,47	3530	19021	0,668	19261,07	0,38	7,61	1,09	5,59	
	2000	41548	881,00	6,3401	12,32	0,12	10,86	4060	22673	0,645	22153,02	0,44	9,07	1,30	6,67	
Plage	2100	43240	925,05	6,6571	12,94	0,13	11,22	4593	26509	0,624	25059,80	0,50	10,61	1,52	7,80	
d'utilisation	2200	45120	969,10	6,9741	13,56	0,15	11,57	5125	30495	0,606	27961,73	0,55	12,20	1,74	8,97	
permanente	2300	46530	1013,15	7,2911	14,17	0,16	11,90	5652	34594	0,588	30840,08	0,61	13,84	1,98	10,17	
	2400	47940	1057,20	7,6081	14,79	0,17	12,21	6172	38771	0,573	33677,01	0,67	15,51	2,22	11,40	
	2500	49350	1101,25	7,9251	15,41	0,19	12,51	6681	42968	0,560	36455,61	0,72	17,20	2,46	12,64	
Plage	2600	50384	1145,30	8,2422	16,02	0,20	12,79	7177	47208	0,547	39159,88	0,78	18,89	2,70	13,88	
d'utilisation	2700	51230	1189,35	8,5592	16,64	0,22	13,05	7656	51394	0,536	41774,74	0,83	P > puissance	20,57	2,94	15,12
exceptionnelle	2800	51700	1233,40	8,8762	17,25	0,23	13,29	8116	55507	0,527	44286,04	0,88	P > puissance	22,21	3,17	16,33
	2900	51700	1277,45	9,1932	17,87	0,24	13,52	8555	59513	0,518	46880,53	0,92	P > puissance	23,81	3,40	17,50
	3000	51700	1321,50	9,5102	18,49	0,26	13,73	8970	63377	0,510	48945,89	0,97	P > puissance	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 :

- H4 : Densité de l'eau, 1000 pour l'eau douce, en grammes par litre.
- H7 : Surface de l'hélice par rapport à un disque de même diamètre, elle est donnée par le constructeur de l'hélice.
- H8 : Profondeur de l'axe de l'hélice, en mètre.
- M60 : Vitesse du navire en nœuds. Le tableau donne les valeurs estimées en fonction de la ## vitesse de rotation du moteur (Colonne B)
  - Puissance disponible sur l'arbre (Colonne C)
  - Le recul estimé (Colonne L)
  - La force de propulsion (Colonne P) en Newton. Diviser par 9,81 (ou par 10) pour avoir la force en Kgf.
  - La puissance à l'hélice en Watt. (Colonne Q)
  - Le rendement estimé de l'hélice (Colonne R)
  - La pression exercée sur la transmission. (Colonne T)
  - La pression exercée sur les pales, en kg/cm². Système CGS pour une lecture plus facile. (Colonne W)
- Fichier Helice-application-VOLVO-D2-75.xls : Complément d'information sur la consommation de gazoil.
  - La consommation estimée en litre par heure (Colonne Y)
  - 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 kgf environ, alors qu'il sera nécessaire de tourner à 2400 tours pour une poussée de 620 kgf; au delà il faudra songer à une vitesse inférieure.

Tout cela est bien théorique et valable par temps calme. Par mauvais temps la houle et les vagues en décident autrement !

# 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.

**Hélice Estimation des efforts** D = 19,02 Pas = 17,00

Pmot retenue = 52,92  
 Pas = 0,43 ours/min à Pmax = 3000  
 Coeff.  $\alpha^2 = 2,24$   $\rho >=$  (kg) = 1000  
 Diamètre = 0,483 S (m<sup>2</sup>) = 0,1833  
 Recul = 0,27  $\rho^2/S^2 = 91,64$   
 Réduc = 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"**

Vz = (2\*Vp)-Vd  
 Vd = vitesse du navire

Charge d'hélice en Kg/cm<sup>2</sup> max 1,2 kg/cm<sup>2</sup> pour hélice Radice 3 pales  
 avec Sh / S = fa / f = 0,515 ( fa / f : doc. Radice Hélice type E13)

Pour "désactiver" 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

	Tr	arbre	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	$\eta$	(Pascal)	Charge hélice (kg/cm <sup>2</sup> )	Conso l/h	Conso l/mn
	1100	20053	484,55	3,4876	6,78	0,15	5,75	3208	9491	0,000	17505,01	0,35	2,04	#DIV/0!
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	0,17	6,17	3695	11731	0,000	20160,50	0,40	2,52	#DIV/0!
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,18	6,58	4194	14188	0,000	22884,95	0,45	3,04	#DIV/0!
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,19	6,96	4702	16841	0,000	25656,57	0,51	3,61	#DIV/0!
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,21	7,33	5215	19670	0,000	28454,47	0,56	4,22	#DIV/0!
	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,22	7,68	5729	22648	0,000	31258,68	0,62	4,86	#DIV/0!
	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,23	8,02	6240	25749	0,000	34050,15	0,67	5,53	#DIV/0!
	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,25	8,34	6746	28943	0,000	36810,77	0,73	6,21	#DIV/0!
	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,26	8,64	7244	32201	0,000	39523,31	0,78	6,91	#DIV/0!
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,28	8,93	7729	35490	0,000	42171,48	0,83	7,62	#DIV/0!
	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,29	9,19	8200	38782	0,000	44739,90	0,89	8,32	#DIV/0!
	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,30	9,44	8653	42043	0,000	47214,13	0,93	9,02	#DIV/0!
	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,32	9,68	9087	45243	0,000	49580,61	0,98	9,71	#DIV/0!
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,33	9,90	9498	48352	0,000	51826,72	1,03	10,38	#DIV/0!
	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,34	10,09	9886	51340	0,000	53940,77	1,08	11,02	#DIV/0!
	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,36	10,28	10247	54180	0,000	55911,96	1,13	11,63	#DIV/0!
	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,37	10,44	10580	56845	0,000	57730,42	1,18	12,20	#DIV/0!
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,39	10,59	10884	59309	0,000	59387,20	1,23	12,73	#DIV/0!
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,40	10,72	11157	61551	0,000	60874,27	1,28	13,21	#DIV/0!
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,41	10,84	11397	63549	0,000	62184,51	1,33	13,64	#DIV/0!

Navire en statique

**Hélice Estimation des efforts** D = 19,02 Pas = 17,00

Pmot retenue = 52,92  
 Pas = 0,43 ours/min à Pmax = 3000  
 Coeff.  $\alpha^2 = 2,24$   $\rho >=$  (kg) = 1000  
 Diamètre = 0,483 S (m<sup>2</sup>) = 0,1833  
 Recul = 0,27  $\rho^2/S^2 = 91,64$   
 Réduc = 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"**

Vz = (2\*Vp)-Vd  
 Vd = vitesse du navire

Charge d'hélice en Kg/cm<sup>2</sup> max 1,2 kg/cm<sup>2</sup> pour hélice Radice 3 pales  
 avec Sh / S = fa / f = 0,515 ( fa / f : doc. Radice Hélice type E13)

Pour "désactiver" 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

	Tr	arbre	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	$\eta$	(Pascal)	Dépression	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
	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
	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
	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	Dépasse	12,17	1,89
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,26	13,29	8859	60584	0,48	24168	Dépasse	13,00	2,02
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,27	13,50	9261	64301	0,48	25265	Dépasse	13,80	2,15

V = 6,42 Nds, vitesse optimale d'hélice.



### Helice Estimation des efforts

D = 19,02 Pas = 17,00

Pmot retenue = 52,92  
 Pas = 0,43 ours/min à Pmax = 3000  
 Coeff.  $\alpha^2 = 2,24$   $\rho >=$  (kg) = 1000  
 Diamètre = 0,483 S (m<sup>2</sup>) = 0,1833  
 Recul = 0,27  $\rho^2/S^2 = 91,64$   
 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"**

V2 = (2\*Vp)-Vd  
 Vd = vitesse du navire

Charge d'hélice en Kg/cm<sup>2</sup> max 1,2 kg/cm<sup>2</sup> pour hélice Radice 3 pales  
 avec Sh / S = fa / f = 0,515 ( fa / f : doc. Radice Hélice type E13)

Pour "démasker" 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/m	P arbre	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	$\eta$	(Pascal)	(kg/cm <sup>2</sup> )	Conso l/h	Conso l/mn			
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	-0,19	-0,03			
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	0,00	7,37	105	397	0,980	571,36	0,01	0,09	0,01			
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,02	7,87	496	2009	0,917	2707,27	0,05	0,43	0,06			
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,03	8,36	921	3960	0,864	5025,85	0,10	0,85	0,12			
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,05	8,83	1375	6242	0,818	7500,84	0,15	1,34	0,19			
Plage d'utilisation permanente	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,06	9,28	1852	8841	0,778	10106,90	0,20	1,90	0,26			
	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,07	9,71	2349	11740	0,743	12819,61	0,25	2,52	0,35			
	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,09	10,13	2862	14917	0,713	15615,46	0,31	3,20	0,44			
	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,10	10,53	3385	18345	0,685	18471,86	0,37	3,94	0,55			
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,11	10,92	3916	21994	0,661	21367,15	0,42	4,72	0,65			
Plage d'utilisation exceptionnelle	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,13	11,28	4450	25834	0,640	24280,56	0,48	5,54	0,77			
	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,14	11,64	4984	29830	0,621	27192,27	0,54	6,40	0,89			
	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,16	11,97	5513	33948	0,603	30083,37	0,60	7,28	1,01			
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,17	12,29	6036	38149	0,588	32935,84	0,65	8,19	1,13			
	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,18	12,58	6549	42397	0,574	35732,61	0,71	9,10	1,26			
Plage d'utilisation exceptionnelle	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,20	12,87	7048	46654	0,561	38457,52	0,76	10,01	1,39			
	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,21	13,13	7532	50882	0,550	41095,32	0,81	10,92	1,51			
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,22	13,38	7996	55044	0,540	43631,68	0,86	P > puissance	11,81	1,64		
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,24	13,61	8440	59104	0,530	46053,20	0,91	P > puissance	12,68	1,76		
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,25	13,83	8861	63025	0,522	48347,38	0,96	P > puissance	13,52	1,87		

V = 7,22 Nds vitesse optimale de carène

### Helice Estimation des efforts

D = 19,02 Pas = 17,00

Pmot retenue = 52,92  
 Pas = 0,43 ours/min à Pmax = 3000  
 Coeff.  $\alpha^2 = 2,24$   $\rho >=$  (kg) = 1000  
 Diamètre = 0,483 S (m<sup>2</sup>) = 0,1833  
 Recul = 0,27  $\rho^2/S^2 = 91,64$   
 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"**

V2 = (2\*Vp)-Vd  
 Vd = vitesse du navire

Charge d'hélice en Kg/cm<sup>2</sup> max 1,2 kg/cm<sup>2</sup> pour hélice Radice 3 pales  
 avec Sh / S = fa / f = 0,515 ( fa / f : doc. Radice Hélice type E13)

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

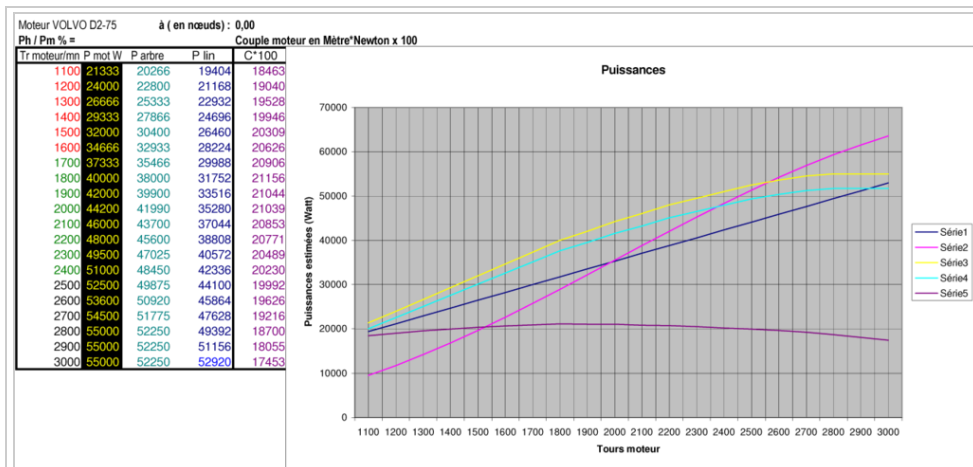
**VOUS POUVEZ EVALUER FORCE, PUISSANCE, ET RENDEMENT, EN MODIFIANT LA VALEUR DE Vd**

Evaluation en dynamique		Vd en nœuds = 8,00										R = 1,16		Dep + Pres		Charge hélice	
Tr	moteur/m	P arbre	Tr hélice/mr	Vh (m/sec)	Vh(Nœuds)	Recul	Vp(Nœuds)	F(Newton)	P (Watt)	$\eta$	(Pascal)	(kg/cm <sup>2</sup> )	Conso l/h	Conso l/mn			
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	-0,54	-0,07			
	1200	22560	528,60	3,8046	7,40	-0,01	7,50	-367	-1414	1,067	-2001,09	-0,04	-0,30	-0,04			
	1300	25066	572,65	4,1217	8,01	0,00	8,01	8	31	0,999	41,39	0,00	0,01	0,00			
	1400	27573	616,70	4,4387	8,63	0,01	8,51	418	1831	0,940	2282,44	0,05	0,39	0,05			
	1500	30080	660,75	4,7558	9,24	0,03	8,99	861	3978	0,890	4695,21	0,09	0,85	0,11			
Plage d'utilisation permanente	1600	32586	704,80	5,0728	9,86	0,04	9,45	1329	6463	0,847	7253,79	0,14	1,39	0,17			
	1700	35093	748,85	5,3899	10,48	0,06	9,90	1820	9268	0,808	9933,17	0,20	1,99	0,25			
	1800	37600	792,90	5,7069	11,09	0,07	10,33	2329	12373	0,775	12709,26	0,25	2,66	0,33			
	1900	39480	836,95	6,0240	11,71	0,08	10,74	2852	15751	0,745	15558,90	0,31	3,38	0,42			
	2000	41548	881,00	6,3410	12,33	0,10	11,13	3383	19376	0,719	18459,83	0,37	4,16	0,52			
Plage d'utilisation exceptionnelle	2100	43240	925,05	6,6581	12,94	0,11	11,51	3920	23215	0,695	21390,72	0,42	4,98	0,62			
	2200	45120	969,10	6,9751	13,56	0,12	11,87	4459	27235	0,674	24331,16	0,48	5,84	0,73			
	2300	46530	1013,15	7,2922	14,17	0,14	12,22	4996	31399	0,655	27261,65	0,54	6,74	0,84			
	2400	47940	1057,20	7,6092	14,79	0,15	12,54	5528	35672	0,638	30163,60	0,60	7,65	0,96			
	2500	49350	1101,25	7,9263	15,41	0,17	12,85	6052	40015	0,622	33019,36	0,65	8,59	1,07			
Plage d'utilisation exceptionnelle	2600	50384	1145,30	8,2434	16,02	0,18	13,15	6563	44389	0,609	35812,19	0,71	9,53	1,19			
	2700	51230	1189,35	8,5604	16,64	0,19	13,42	7061	48756	0,596	38526,25	0,76	10,46	1,31			
	2800	51700	1233,40	8,8775	17,26	0,21	13,68	7541	53078	0,585	41146,64	0,81	P > puissance	11,39	1,42		
	2900	51700	1277,45	9,1945	17,87	0,22	13,92	8002	57316	0,575	43659,36	0,86	P > puissance	12,30	1,54		
	3000	51700	1321,50	9,5116	18,49	0,23	14,15	8440	61434	0,565	46051,36	0,91	P > puissance	13,18	1,65		

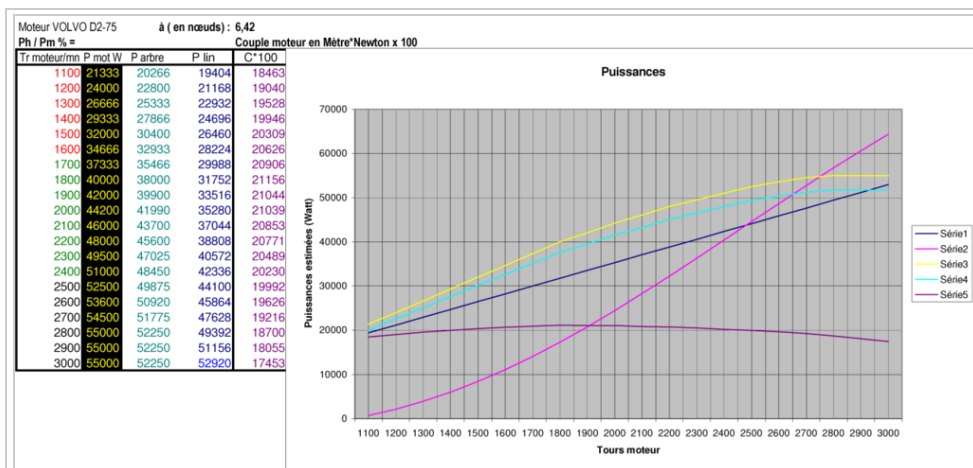
V = 8 Nds. Vitesse maximale, vitesse limite de carène.

# Graphiques des puissances aux vitesses caractéristiques

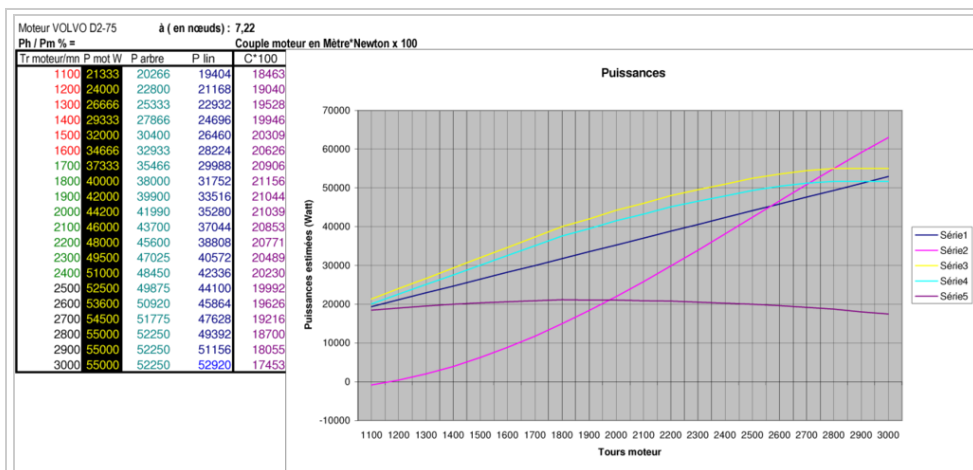
Graphes de puissance d'une hélice marine pour un navire de 13 mètres, 15 tonnes, avec un moteur de 75 chevaux.



Navire en statique.



V = 6,42 Nds. Vitesse optimale d'hélice.



V = 7,22 Nds.vitesse optimale de carène.

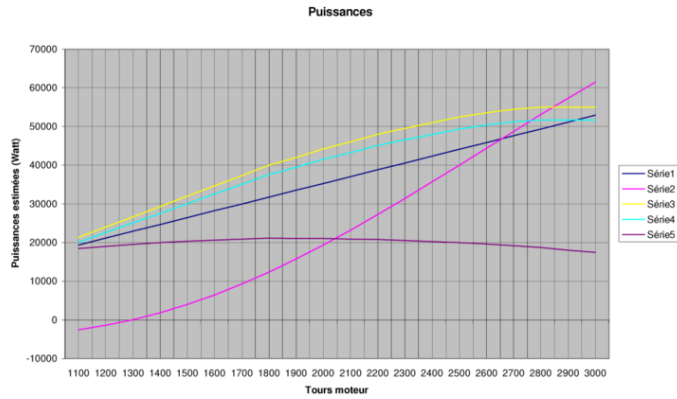
Moteur VOLVO D2-75

à ( en nœuds): 8,00

Ph / Pm % =

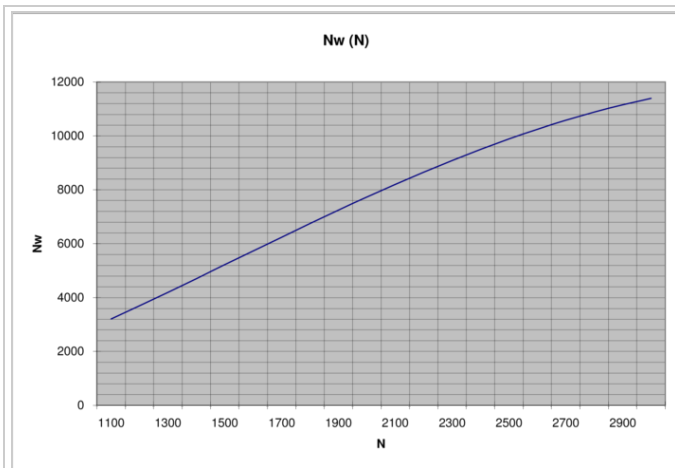
Couple moteur en Mètre\*Newton x 100

Tr moteur/min	P mot W	P arbre	P lin	C*100
1100	21333	20266	19404	18463
1200	24000	22800	21168	19040
1300	26666	25333	22932	19528
1400	29333	27866	24696	19946
1500	32000	30400	26460	20309
1600	34666	32933	28224	20626
1700	37333	35466	29988	20906
1800	40000	38000	31752	21156
1900	42000	39900	33516	21044
2000	44200	41990	35280	21039
2100	46000	43700	37044	20853
2200	48000	45600	38808	20771
2300	49500	47025	40572	20489
2400	51000	48450	42336	20230
2500	52500	49875	44100	19992
2600	53600	50920	45864	19626
2700	54500	51775	47628	19216
2800	55000	52250	49392	18700
2900	55000	52250	51156	18055
3000	55000	52250	52920	17453

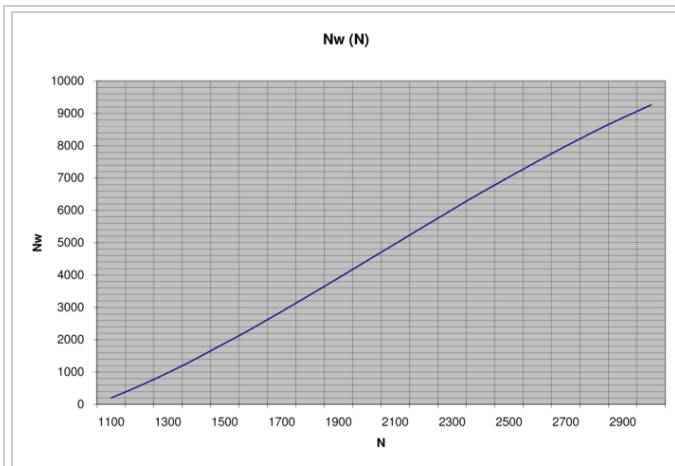


V = 8 Nds. Vitesse maximale, vitesse limite de carène.

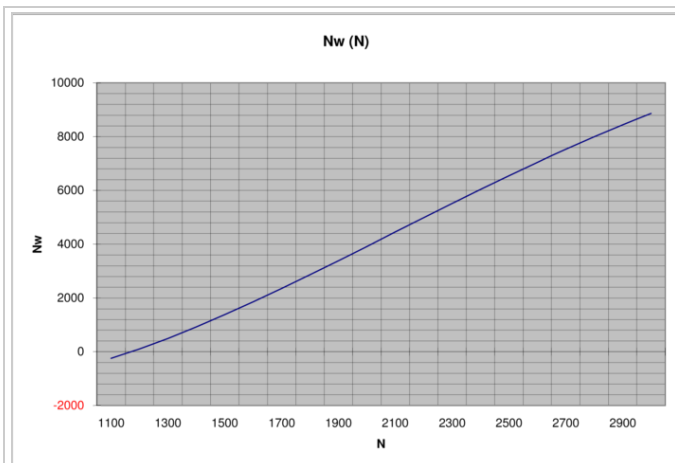
# Graphiques des forces aux vitesses caractéristiques



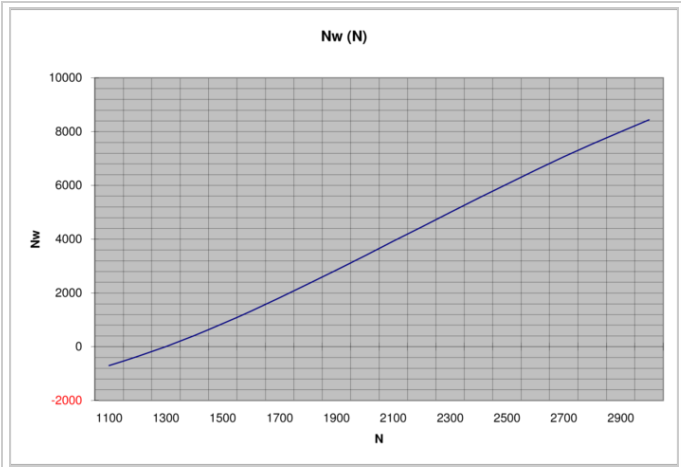
Navire en statique



$V = 6,42$  Nds, vitesse optimale d'hélice



$V = 7,22$  Nds, vitesse optimale de carène



V = 8 Nds vitesse maximale, vitesse limite de carène

# Expérimentation en mer

Remarques faites le 10/02/2008

En statique :

Nombre de tours max 2350 manette des gaz au maximum 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	Conso : 4,3 litres/heure 0,614 litre/mile nautique.
2000	7,1 - 7,2	
2700	8,4 - 8,5	Vitesse maximale atteinte.

## 09/06/08 Feuille Application

ajouté 4 graphes d'estimations V(N); et consommations estimées.

Prévisions :

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

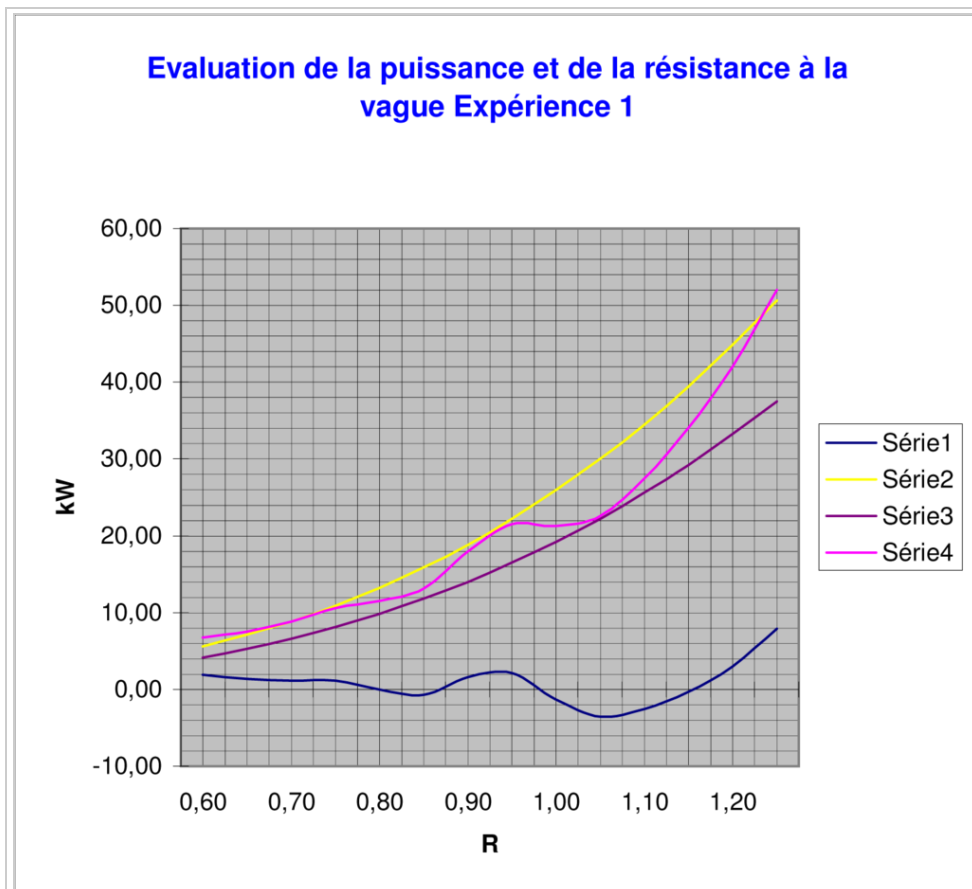
N en tours/minute, V en nœuds, F en Newton, P en Watt.

# Commentaires sur l'expérimentation et perspectives

## 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  $7,22$  Nds. 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.

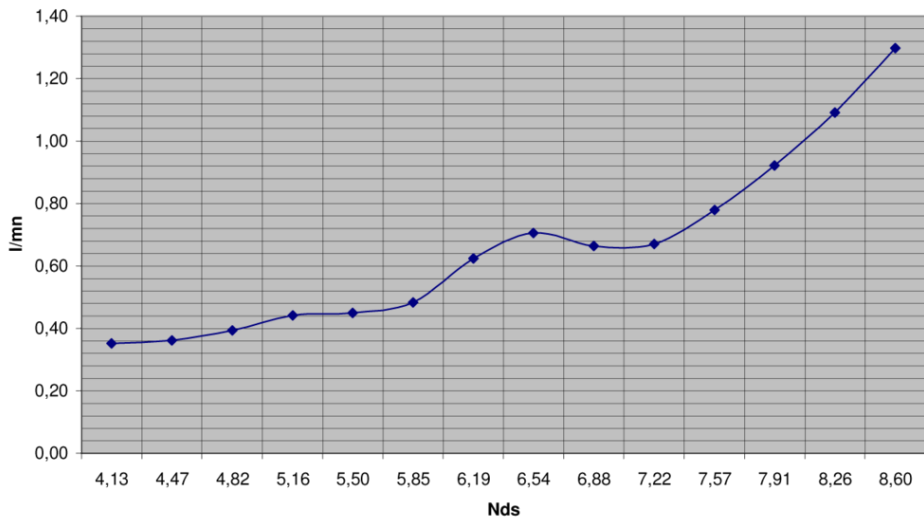
\* En bleu: Influence estimée de la vague d'étrave

\* 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 est graduée en R. 6,54 Nds correspond à R=0,95 et 7,22 correspond à R=1,05



# Conclusions

1. **Téléchargez les feuilles de calcul, expérimentez, ajoutez votre expérience et vos conclusions.**
2. Les rares retours d'expériences sont concordants. L'étude de l'hélice marine par la thermodynamique donne bien des résultats représentatifs de l'expérience en mer. Le calcul de l'hélice marine par cette méthode donne de très bons résultats pour les navires à déplacement (Voiliers, pêche-promenade, pêche)
3. La théorie thermodynamique de l'hélice reste bien sûr valable pour d'autres types de navires et reste démontrer.
4. En mer il y a aussi les vagues du vent qui perturbent ce joli calcul des vitesses et des puissances; pour la même vitesse de rotation du moteur on a des variations de vitesse importantes.

## 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)

1. avec un moteur de 50CV : Hélice 3 pales hélicoïdale 18x12



2. Avec un moteur de 75CV : Hélice 3 pales hélicoïdale 19x17



Dans les conditions des feuilles de calcul ci dessus, le rendement à la vitesse optimale par temps calme se situe dans les deux cas aux environs de 0,62; soit une perte d'énergie d'un tiers de la puissance.

# Télécharger les feuilles de calculs

## Site d'origine

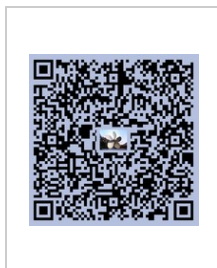
[http://tramontane34.free.fr/ConsNavAm/fichiers\\_conception/helice/telecharger.php](http://tramontane34.free.fr/ConsNavAm/fichiers_conception/helice/telecharger.php)

## À défaut

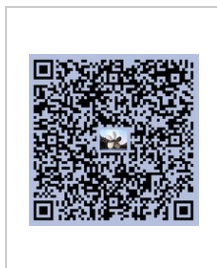
<http://appgm.asso.free.fr/wiki/downloads/Helice-moteur.xls>

<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 .

# Compilations wikilivres

## Maintenance

Cette page est susceptible de subir des modifications occasionnelles



## Généralités

Les pages peuvent être compilées sous différents formats selon l'usage que l'on veut en faire. La page des galeries de codes QR vous proposera la compilation préférentielle en rapport avec chaque code.

Les **codes QR** (*Quick Response*) permettent aux lecteurs des pages imprimées de se connecter rapidement sur le wikilivre à l'aide d'un lecteur de codes QR (*disponible sur les smartphones*) pour:

recompiler le livre sous une forme différente ou obtenir une version à jour,  
compiler d'autres pages.

## Format des livres

*En dehors des versions imprimées les liens vers les pages sont actifs.*

Selon l'utilisation de la compilation on va choisir :

### Format e-books (pdf) pour:

imprimer,  
lire en grand format sur micro ordinateur.

#### REMARQUES:

- Les images sont importées par le réseau (nécessite Internet pour imprimer)
- le fichier est figé, verrouillé,
- + très bonne qualité d'impression,
- + les parties dites non imprimables sont masquées,
- ± les blocs déroulants sont masqués (avantage ou inconvénient ?)

### Format traitement de texte odf (OpenDocument) pour:

surligner,  
ajouter des commentaires.

#### REMARQUES:

- les images sont importées par le réseau,
- + le fichier est ouvert et pratique pour incorporer des images en 'dur' pour éviter la connexion Internet,
- ± les blocs déroulants sont masqués, mais on peut les incorporer par copier-coller

### Format e-books (ePub) pour liseuse avec des liens aisés:

permet visualiser la réponse aux exercices,  
agrandissement aisé des images

#### REMARQUES:

- Les images sont importées par le réseau Internet
- le fichier est figé, verrouillé, mais on peut le convertir dans d'autres formats,
- mauvais résultats à l'impression
- + Parfait à la liseuse (avec connexion Internet)
- + les blocs déroulants sont grand ouverts
- + fichiers peu volumineux

**Format Kiwix** (OpenZIM) semble peu utilisé.

REMARQUE: Non éprouvé !

## Compilations

### Compilation wikilivre:

Les wikilivres peuvent être pré-compilés. L'arrangement est alors, généralement, pré organisé par l'auteur.

Les pages précompilées sont généralement précisées par un bandeau. Il suffit de cliquer sur le lien et de télécharger directement au format pdf lorsqu'il n'y a pas d'indication précise; sinon un conseil vous est proposé, par exemple *pour ePub*; auquel cas il faut *charger la compilation*, puis *Télécharger* après avoir choisi le format *ePub*.

Le format **ePub** est intéressant lorsque les pages contiennent des blocs déroulants (*Les blocs déroulants ne sont pas pris en charge dans le format direct pdf*). On peut alors imprimer le texte dans le format pdf avec une imprimante virtuelle PDF comme cups-pdf (Linux) ou PDF Creator pour Windows. Il existe aussi des imprimantes pdf pour Mac. (*L'imprimante PDF donne, actuellement, de meilleurs résultats que la conversion directe avec le gestionnaire de livres Calibre, sous Linux Ubuntu.*)

### Compilations personnelles:

On peut aussi créer sa propre compilation, pour un usage personnel, ou à l'intention des élèves, auquel cas il est préférable de créer cette compilation sous un nom d'utilisateur et non sous la dénomination *wikilivre*.

## Procédure de compilation

Se placer sur la première page à compiler. Dans la fenêtre de gauche vous devez voir le menu suivant:

```
Imprimer / exporter
Créer une compilation
Télécharger la compilation au format PDF
Version imprimable
```

### Usage et remarques:

**Créer une compilation:** Assembler des pages avec des chapitres.

Tous les format sont disponibles.

**Télécharger la compilation:** Compiler la page courante au format pdf.

Les blocs déroulants sont masqués.

**Version imprimable:** Affiche les parties directement imprimables avec le navigateur web.

Les parties non imprimables sont masquées

Permet de faire des copies pour le collage dans un éditeur UTF-8.

Cette version imprimable est parfaite pour copier toute ou partie de la page.

Le contenu des blocs déroulants est affiché; (*Vérifié sous Windows 7, avec Chrome, Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, Safari*).

## Notes et références

1. Théorème de Bernoulli
2. 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=yFVM2l2isC&sig=JNZuce2VIB7drXiheb\\_hyIrWtI&hl=fr&ei=dwzKBg&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=yFVM2l2isC&sig=JNZuce2VIB7drXiheb_hyIrWtI&hl=fr&ei=dwzKBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=2)) Pages 1 à 191 notamment §4 (Pages sur la percussion des fluides sous différents angles de réflexion)
3. Entropie (thermodynamique).

Récupérée de « [https://fr.wikibooks.org/w/index.php?title=Hélices\\_de\\_navires\\_à\\_déplacement/Version\\_imprimable&oldid=515759](https://fr.wikibooks.org/w/index.php?title=Hélices_de_navires_à_déplacement/Version_imprimable&oldid=515759) »

Dernière modification de cette page le 9 juin 2016, à 15:44.

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.