



Conception de carène

Etude de l'avant projet d'un voilier de 10 mètres



INTRODUCTION

Etat de l'art : Les différentes formes de carène

Les différents types de carène

La spécificité d'un voilier

Conception et évaluation d'une carène

Les possibilités données par les logiciels de conception

Description de la méthode de travail chez Mer Forte

Application de cette méthode pour la conception d'un voilier de course de 10 mètres

Optimisation de carène

La méthode d'optimisation utilisée par Mer Forte

La carène optimisée pour le voilier de 10 mètres

L'évolution des moyens : Comment aimerait-on travailler dans 5 ou 10 ans ?

LES DIFFERENTES FORMES DE CARENE

De nombreuses formes de carènes: du super-tanker au skiff...

Une carène doit correspondre à son programme et à son régime de navigation



Régime de navigation → Nombre de Froude $F_N = \frac{V_s}{\sqrt{g * LWL}}$

V_s : Vitesse carène (m/s)
LWL: Longueur flottaison (m)

- $F_n < 0,3$: Portance hydrodynamique négligeable par rapport à la poussée d'Archimède.
- $0,3 < F_n < 0,7$: La coque s'enfonce, portance hydrodynamique négative (dynamic sinkage).
 - $F_n \sim 0,4$: « bosse » de résistance
 - $F_n \sim 0,5$: les coques avec tableau arrière immergé deviennent bénéfiques
- $F_n \sim 0,6$: La portance hydrodynamique est nulle. Au dessus de cette vitesse, le planing commence.
- $F_n \sim 1$: Les carènes planantes présentent une résistance plus faible que les carènes « rondes ». La portance hydrodynamique représente environ 50% du déplacement
- $F_n \sim 3$: La portance atteint 90% du déplacement. Les meilleures carènes sont les carènes à redan.

LES SPECIFICITES D'UN VOILIER

Un voilier est propulsé par le vent qui est variable :

Vs [kts]	Fn
5	0,19
10	0,38
15	0,58
20	0,77
25	0,96

Performance sur une grande plage de vitesse

Un voilier navigue à plusieurs angles de gîte :



Un voilier est très sensible à l'état de la mer

Ergonomie

POLYVALENCE

PROGRAMME

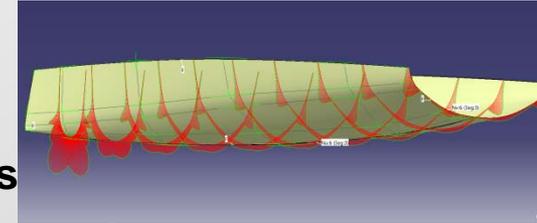
OBJECTIFS A ATTEINDRE

CHOIX A EFFECTUER

CONCEPTION DE CARENES

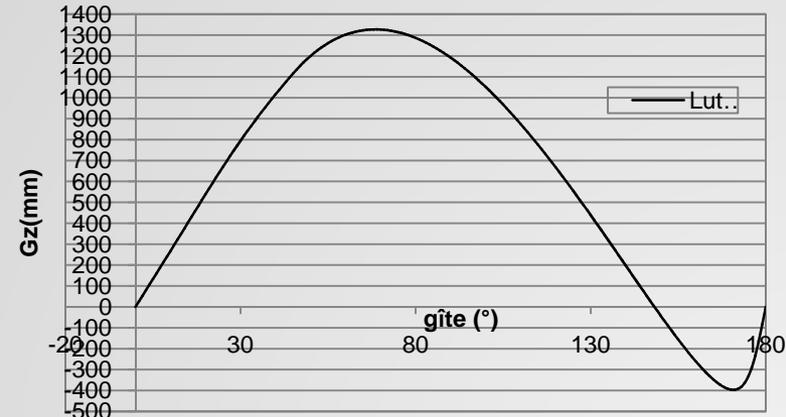
Les possibilités données par les logiciels de conception

- Créations de surfaces complexes (courbes de Bézier, Splines)
- Données hydrostatiques (coeff. géométriques, courbe des aires...)
- Données de stabilité (courbe des Gz...)



Displacement kg	2123
Draft at FP mm	297
Draft at AP mm	345
WL Length mm	9860
Immersed Depth mm	322
WL Beam mm	1774
Wetted Area m ²	13.318
Waterpl. Area m ²	12.142
Prismatic Coeff.	0.574
Block Coeff.	0.377
LCB from zero pt. mm	4399
VCB from DWL mm	-112
GZ mm	294
LCF from zero pt. mm	4177
TCF to zero pt. mm	0
Max deck inclination deg	0.3
Trim angle (+ve by stern) deg	0.3

Grâce aux logiciels de conception adéquats, les limites de la conception sont repoussées



CONCEPTION DE CARENES

Comment évaluer les carènes?

Deux moyens couramment utilisés : **CFD et bassin de carènes**

- **Bassin de carènes** : difficilement accessible et demande du temps.
- **CFD** : accessible mais demande du temps.

Alternative  Au stade de l'avant-projet, utiliser des moyens analytiques simples

Estimation de la résistance à l'avancement de la carène nue (sans appendices) à différents angles de gîte pour différentes plages de vitesse



Calculs hydrodynamiques basés sur des résultats expérimentaux :

- Monocoque : Delft series, Holtrop & Mennen...
- Multicoque : Sahoo & Salas, Series 64, Holtrop & Mennen...
 - Carènes planantes : Savitsky...

Il faut bien choisir le modèle correspondant au type de carène étudiée

APPLICATION DE LA METHODE : conception d'un voilier de 10 mètres

1. Le cahier des charges

- Bateau construit par Olivier Luthi (chantier naval suisse) destiné à naviguer sur le lac Léman → **Privilégier les performances dans le vent faible et la mer plate**
- Très peu de concessions à accorder aux emménagements intérieurs
- Longueur = 10 m
- Largeur = 3m
- Déplacement ~ 2 tonnes prêt à naviguer

2. Début de la conception : Le devis des masses

- Listing préliminaires des différents éléments du bateau afin d'obtenir une position de CG
- Choix de la méthode simplifiée d'évaluation de la carène : **DELFT SERIES**

3. Dessin de la première forme de carène

- Vérification des paramètres de la carène (coefficients de carène, longueur à la flottaison...)
- S'assurer que le volume immergé de la carène est compatible avec le déplacement

APPLICATION DE LA METHODE : conception d'un voilier de 10 mètres

4. Estimation de la résistance

- Delft Series

$$R_T = R_f + R_r$$

R_T : Résistance totale

R_f : Résistance de frottement

R_r : Résistance résiduaire ou résistance de forme

$$R_f = \frac{1}{2} * \rho_{sw} * S * V_S^2 * C_f$$

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10}(R_n) - 2)^2}$$

Formule ITTC 57

Importance de la surface mouillée S

Les essais effectués au bassin de carène de Delft ont été compilés et une équation polynomiale a été trouvée pour estimer R_r.

$$\frac{R_{r_h}}{\nabla_c * \rho_{sw} * g} = a_0 + \left(a_1 * \frac{LCB_{fpp}}{Lwl} + a_2 * C_p + a_3 * \frac{\nabla_c^{2/3}}{WPA} + a_4 * \frac{Bwl}{Lwl} \right) * \frac{\nabla_c^{1/3}}{Lwl} + \left(a_5 * \frac{\nabla_c^{2/3}}{S_c} + a_6 * \frac{LCB_{fpp}}{LCF_{fpp}} + a_7 * \left(\frac{LCB_{fpp}}{Lwl} \right)^2 + a_8 * C_p^2 \right) * \frac{\nabla_c^{1/3}}{Lwl}$$

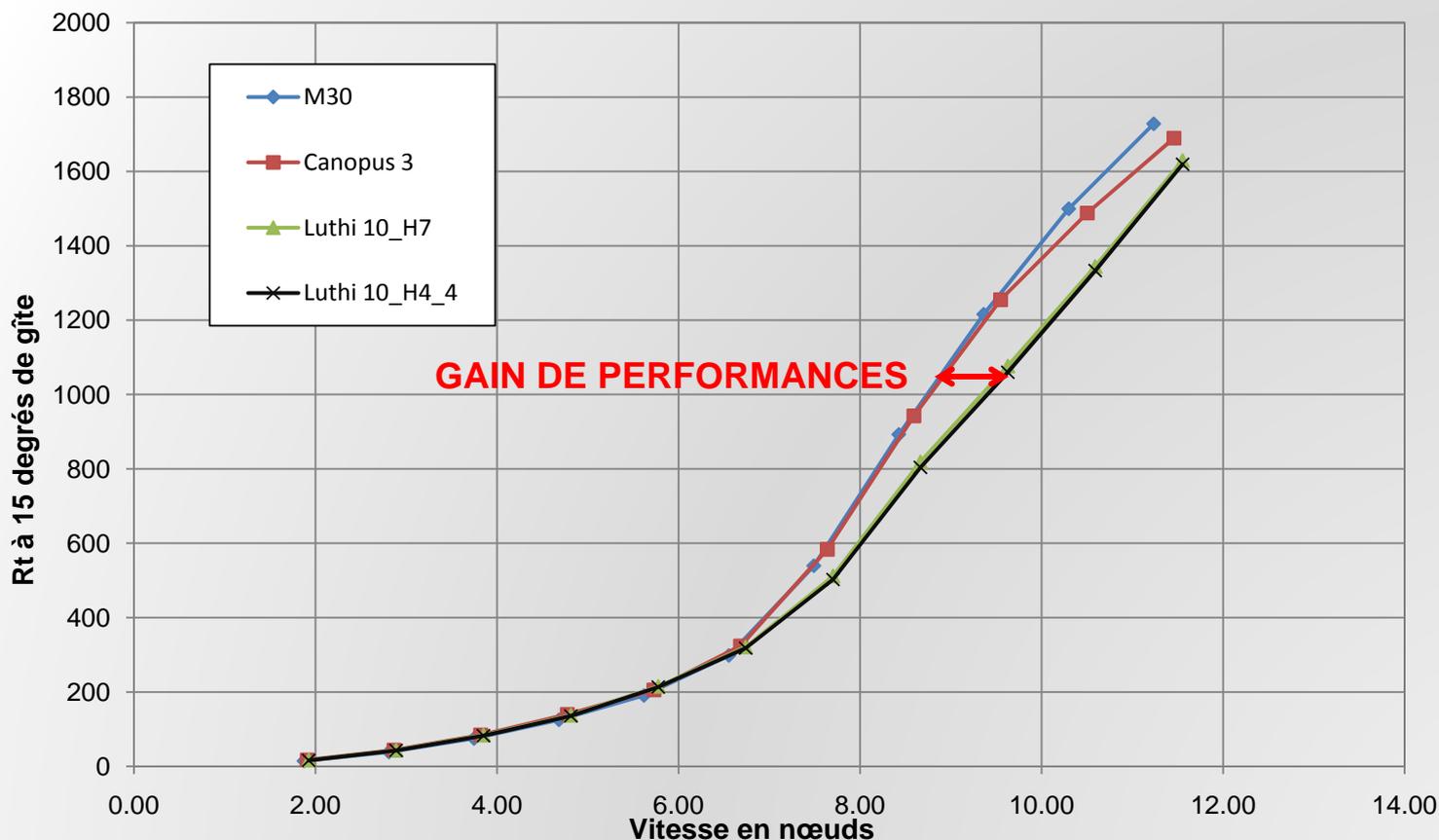
Importance de la position du centre de carène LCB et du coefficient prismatique C_p

APPLICATION DE LA METHODE : conception d'un voilier de 10 mètres

5. Résultats de résistance à l'avancement

Rt pour Fn allant de 0,1 à 0,6 nœuds soit Vs de 1,9 à 11,5 nœuds

Rt à différents angles de gîte (0, 5, 10, 15, 20, 25 °)



OPTIMISATION DE LA CARENE

1. Définir le cadre de l'optimisation

Algorithme génétique

Générer une première génération de carènes

Une carène = Groupe de paramètres

2. Quels sont les objectifs de l'optimisation

Définition de la fonction « objectif »

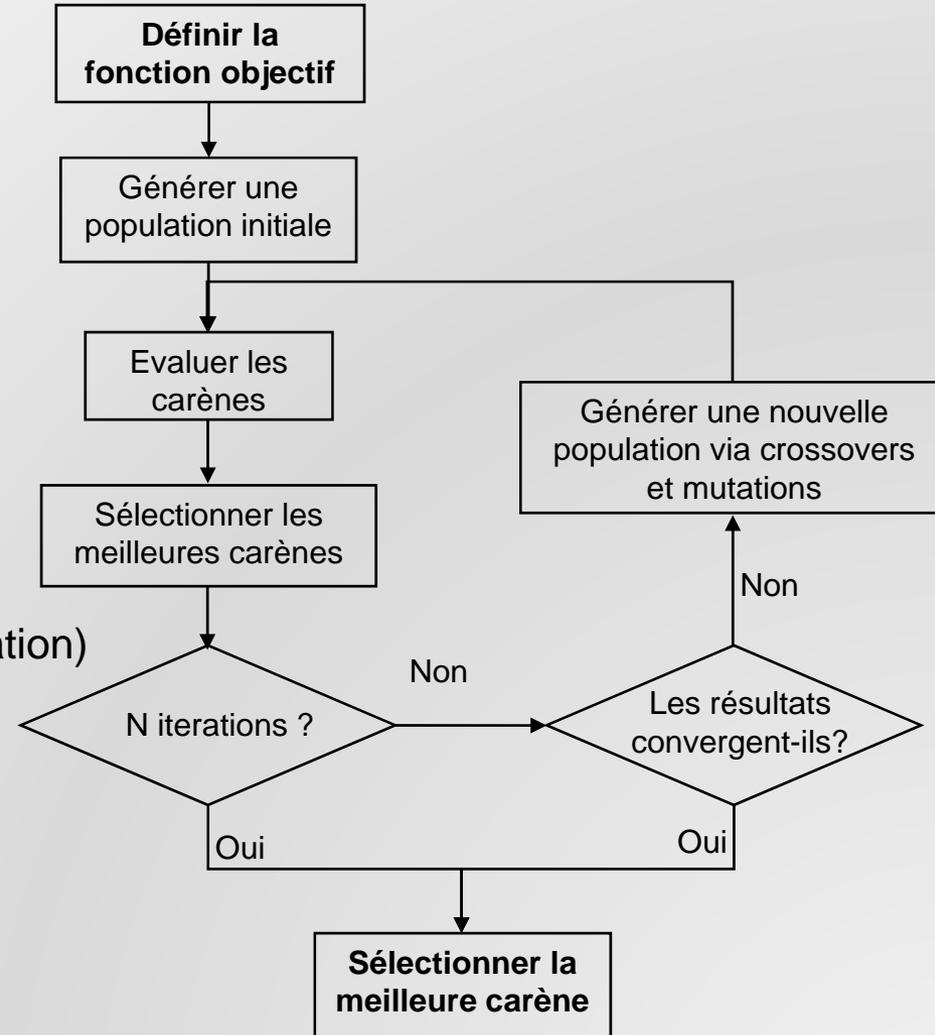
3. Lancement du processus

Choix de l'évolution (crossovers et taux de mutation)

4. Arrêt du processus

Choix du nombre d'itérations

5. Sélection de la meilleure carène



CARENE OPTIMISEE

Faible largeur à la flottaison

Recherche de la surface mouillée minimum

Ligne de quille tendue (Coeff. Prismatique C_p élevé)

Peu de stabilité de forme



CONCLUSION

Méthode simplifiée :

- Permet d'évaluer rapidement un grand nombre de carènes
- Demande peu de ressources informatiques
- Permet d'établir une liste restreinte de carènes à tester plus profondément (CFD...)

Limites de la méthode :

- Ne prend pas en compte les effets dynamiques (vagues, surface libre...)
- S'assurer que la carène à étudier est compatible avec les modèles disponibles
- Les résultats ne prennent pas en compte les contraintes extérieures

Suites de la méthode :

- Test en CFD d'un nombre restreint de carène
- Validation des choix
- Tests de appendices
- Intégration des autres éléments (voiles, plan de pont, Structure)

EVOLUTION : Comment aimerait-on travailler dans 5 ans ?

Intégration d'un maximum de données hydrostatiques et hydrodynamiques dans les logiciels de conception

Accès plus facile à la CFD pour pouvoir tester un grand nombre de formes de carènes

Couplage fluide-structure facilement accessible

Couplage aéro-hydro facilement accessible