

## Conception et étude d'un bateau trimaran

Hussein Rammal

► **To cite this version:**

Hussein Rammal. Conception et étude d'un bateau trimaran. Mécanique [physics.med-ph]. 2011.  
dumas-01081522

**HAL Id: dumas-01081522**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01081522>**

Submitted on 3 Feb 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Conservatoire National des Arts et Métiers**  
Institut des Sciences Appliquées et Économiques  
ISAE – Cnam Liban

Mémoire  
présenté en vue d'obtenir  
le **DIPLOME d'INGENIEUR CNAM**

**Spécialité : Mécanique**

par  
**Hussein RAMMAL**

**CONCEPTION ET ETUDE D'UN BATEAU  
TRIMARAN**

Soutenu le 14 juillet 2011 devant le jury composé de:

Président: M. VENIZELOS Georges

Membres: M. JABBOUR Tony

M. ABDEL WAHAB Mohammed

M. LAGHA Ahmad

## Résumé

Ce mémoire a deux objectifs principaux. D'une part une recherche sur l'architecture navale et tous ces qui relient ce domaine et d'autre part une application d'un exemple comporte la conception et l'étude d'un bateau à vitesse trimaran.

La recherche comporte les différentes méthodes de conception, de calcul et les différents systèmes utilisés dans la technologie navale. Cette recherche réalise un résumé simple et pratique, son but principal est d'aider qui est intéressant de comprendre les titres et les méthodes principaux utilisés dans l'architecture navales. Les différents parties de ce recherche est tirées des ouvrages signifiants au niveau de ce domaine.

La conception et l'étude d'un trimaran à vitesse fait une application pratique sert à bien comprendre les différents étapes lors de la création d'un bateau, à expliquer comment faire la choix des équipements mécaniques nécessaires selon le type et la taille de ce bateau et enfin la validation de la conception à l'aide de différents méthodes servent à trouver les limites de stabilité dans les différents conditions et les contraintes sur le corps du bateau.

**Mots clés :** architecture navale, navire, bateau, trimaran,...

## **Summary**

This project has two main objectives. First a general research on the naval architecture and all those that connect this field and secondly a practical example includes the design and studying of a speed boat trimaran.

The research involves the different methods of design, calculation and the different systems used in naval technology. This research makes a simple and practical summary; its main goal is to help is interesting to understand the titles and main methods used in naval architecture. The different parts of this research are derived from significant publications in this field.

Designing and studying of a speed Trimaran is a practical application serves to understand the various steps when creating a boat to explain how to make the selection of mechanical equipments necessary for this type and size of boats, and finally the design validation using various methods serve to find the limits of stability in all conditions and the stress over the boat body.

**Keywords:** naval architecture, ship, boat, trimaran...

## *Remerciements*

En préambule à ce mémoire, je voudrais remercier tout d'abord mon dieu qui m'a donné la potentialité pour achever ce travail et Je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je voudrais exprimer mes remerciements sincères au Dr. Tony JABBOUR, qui m'a fait l'honneur d'être rapporteur de la thèse, ainsi que pour son encadrement, ses nombreux conseils et son soutien constant tout au long de ce sujet.

Je tiens à remercier sincèrement les membres de jury, Dr. George VENIZELOS, Dr. Tony JABBOUR et Dr. Mohammed ABDEL WAHA pour leur présence et pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer pour l'évaluation de ce travail..

Je désire aussi remercier l'entreprise Beirut International, notamment Dr. Abdallah DAOU et M. Sumer DAOU pour l'encadrement et leurs nombreux conseils ; je remercie aussi l'entreprise COPAR tpm notamment M. Alaa CHADDAD pour l'exécution d'un prototype.

À mes collègues avec qui j'ai passé des moments agréables, j'exprime ma reconnaissance, même pour le directeur de l'ISAE-Cnam M. Elias ELHACHEM, les enseignants et tous les membres du Cnam pour leur amitié et leur aide pendant les années précédentes.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à qui m'a toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

# Sommaire

<b>Remerciement.....</b>	<b>1</b>
<b>Sommaire.....</b>	<b>2</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>Chapitre 1 : Architecture navale .....</b>	<b>6</b>
Science ou Art ?.....	6
Le travail de l'architecte naval.....	6
1. Les compétences de l'architecte naval.....	7
2. L'architecte naval a également les devoirs suivants .....	8
3. Les droits de l'architecte naval .....	8
Définition du bateau .....	9
1. Anatomie .....	9
2. Flotteur .....	10
3. Système propulsif .....	10
<b>Chapitre 2 : Introduction à la conception de la coque.....</b>	<b>11</b>
1. Types de coques .....	11
2. Dimensions principaux .....	12
3. Caractéristiques de la coque .....	15
4. Equation de conception.....	19
5. Flottation et stabilité .....	20
Conclusion.....	39
<b>Chapitre 3 : Système de propulsion .....</b>	<b>40</b>
1. Système de propulsion en-bord .....	40
2. Moteur a essence en-bord .....	42
3. Planification de la chambre du moteur .....	43
4. Choix du moteur .....	43
5. Système de transmission ; arbre et hélice .....	44
Conclusion.....	51

<b>Chapitre 4 : HA575 : Conception et étude.....</b>	<b>52</b>
1. Conception de la coque.....	53
2. Choix du moteur.....	57
3. Choix de l'arbre de transmission.....	58
4. Choix de l'hélice.....	60
5. Etude de l'arbre de transmission.....	64
6. Vérification du choix de roulement.....	66
7. Le devis de poids.....	68
8. Etude de la stabilité transversale.....	70
9. Etude de la stabilité longitudinale.....	76
10. Etude de la stabilité dynamique due aux efforts externes.....	77
11. Etude hydrodynamique.....	81
<b>Chapitre 5 : HA575 : Resistance aux efforts externes.....</b>	<b>86</b>
1. Les modes de défaillance.....	86
2. Méthode du traitement du problème.....	87
3. Forces sur le bateau.....	88
4. Répartition du poids sur le bateau.....	89
5. L'approche de la résistance statique longitudinale.....	89
6. Courbes de force de cisaillement et moment fléchissant.....	90
7. Calcul standard.....	91
8. Application de la méthode du calcul standard.....	92
9. Matériau composite.....	94
10. Calcul par éléments finis.....	95
<b>Conclusion.....</b>	<b>97</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>98</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>100</b>
Annexe A: HA575; plans de conception.....	101
Annexe B: Choix du moteur; VOLVO Penta.....	105
Annexe C: Equipements et accessoires utilisés.....	114
Annexe D: Matériau composite.....	122
Annexe E: Fabrication d'un prototype.....	123

## **Introduction**

Les bateaux ont accompagné l'homme dans son évolution. Indispensables lors des grandes guerres et des conquêtes, et aussi pour la subsistance par la pêche, ils ont été transformés et font maintenant une partie intégrante des systèmes commerciaux et militaires modernes

Quelle que soit sa taille, un bateau est toujours constitué par divers éléments constitutifs. On trouve un flotteur, solide fermé assurant l'étanchéité, constitué principalement de la coque et éventuellement d'un pont la recouvrant. Il dispose d'un système propulsif, souvent d'un système directionnel. Suivant l'utilisation du bateau, on trouve ensuite divers locaux, espaces, machines et équipements lui permettant d'assurer sa fonction.

La vie d'un bateau passe par plusieurs étapes : tout d'abord, son acquisition qui revêt diverses formes selon l'utilité finale; puis la phase de conception. La construction est ensuite réalisée dans un chantier naval, après quoi le bateau est lancé et peut être utilisé.

Les étapes de conception passent par différentes phases: à partir d'un programme ou d'un cahier des charges, l'architecte naval suit une spirale de projet consistant à créer un premier schéma, évaluer les dimensions, les espaces et le déplacement. Selon la taille du bateau et les besoins, on peut encore trouver un plan des capacités, électrique, des systèmes de ventilation...

L'objectif de ce mémoire est d'expliquer toutes les phases de conception d'un projet bouclé par utilisation des outils d'ingénieur modernes, et de montrer pour chaque phase, comment l'ordinateur peut effectivement optimiser et accélérer les procédures de la conception.

Le projet bouclé consiste en un certain nombre de plans et de documents :

- un plan de formes, représentant la forme extérieure du navire dans les trois dimensions, ainsi que ses dimensions principales ;
- un plan d'ensemble, détaillant toutes les zones du navire, l'emplacement des cabines et des zones de navigation, la disposition des machines, etc. ;
- des plans de construction, comportant les échantillonnages (épaisseurs de matériau) nécessaires à la construction, et détaillant les zones particulières (gouvernail, machines...);
- une spécification générale, document détaillant l'ensemble des composants du navire : type de matériau, modèle de moteur, poids de la peinture, etc.

De plus, ce projet de navire doit prendre en compte différents éléments indispensables :

- Flottaison et inclinaison
- Hydrostatique
- Hydrodynamique
- Structure
- Environnement
- Machinerie et propulsion
- Manœuvrabilité



Dans les différentes parties, nous utiliserons des outils informatiques : CAO / FAO, notamment des programmes spécialisés (calcul des masses et du centrage, calculs de carène, calculs de stabilité, calculs de structure et contraintes...).

Pour accomplir ces objectifs, nous avons divisé ce rapport en cinq chapitres. Le premier est une petite explication sur le domaine d'architecture navale pour juger que c'est un travail d'ingénierie et n'est pas parfaitement architecturale, de même nous définissons le bateau et les différentes parties dont il est composé.

Le deuxième chapitre est un travail de recherche sur la conception de la coque du bateau qui est la partie la plus importante sert à la flottation et précise les caractéristiques principales d'un bateau, ce chapitre enferme les définitions et l'explication des méthodes de conception, calcul et étude d'un bateau, comme le calcul des dimensions et proportions principaux et l'étude de stabilité.

De même le chapitre 3 est une recherche, mais sur les systèmes propulsifs utilisés dans les bateaux, nous avons concentrés sur le système en-bord que nous voulons utiliser comme le mécanisme de propulsion du trimaran qu'on va concevoir.

La conception du trimaran se commence dans le chapitre 4, en utilisant tous ces qui se passent dans le chapitre 2 et 3 comme formules et méthodes grâce à lesquelles on peut faire tous les étapes principales de la conception commençant par le choix de dimensions de la coque, choix des éléments mécaniques (moteurs, arbre, hélice,...) et enfin une étude sur la stabilité du bateau (initial et dynamique).

Le dernier chapitre contient la méthode de calcul du comportement mécanique de la coque et une application de cette méthode sur notre conception, en plus une comparaison avec les résultats obtenus à l'aide des logiciels de calcul par éléments finis.

## **Chapitre 1**

### **Architecture navale**

#### **Science ou Art ?** (Réf.14: modifié)

L'IFAN (Institut Français des Architectes Navals) est le syndicat professionnel des architectes navals français ou exerçant en France, qui regroupe la plupart des membres de cette profession. Son but est non seulement de valoriser et de défendre cette profession, mais aussi de la représenter auprès des diverses instances techniques nationales (Commissions de sécurité, etc.) ou internationales (élaboration des normes, etc.).

C'est pour mieux faire comprendre le travail de l'architecte naval que l'IFAN publie une Charte de l'Architecture Navale afin de bien décomposer et expliquer dans quel cadre l'architecte naval exerce son métier. Voici dans cette partie quelques points et parties importants tirés de ce charte servant à mieux comprendre ce domaine de travail.

L'architecture navale est la partie de l'ingénierie traitant de la construction de structures navigantes. Le métier d'architecte naval est un métier de concepteur qui regroupe en fait plusieurs activités souvent confondues : il est à la fois inventeur, architecte, ingénieur, styliste, décorateur. N'ayant pas d'ordre au fonctionnement codifié par une juridiction particulière, les activités de l'architecte naval sont souvent mal comprises par le public, l'administration ou la justice.

#### **I. Le travail de l'architecte naval:** (Réf.14: modifié)

Le travail de l'architecte naval est essentiellement un travail de conception.

On peut définir une mission de base qui comprend:

- la conception générale du navire;
- le choix des éléments déterminant ses qualités nautiques;
- la définition de la structure;
- le choix du "style" qui déterminera son esthétique;

Cette mission de base peut éventuellement être répartie selon plusieurs de ces tâches et donc plusieurs intervenants:

- La conception des formes de carène et de tout ce qui détermine la bonne marche du navire
- La conception de la structure qui est un travail d'ingénieur ou d'ingénierie;
- La définition du " style "extérieur ou de la "Carrosserie ": pont, superstructures qui est un travail semblable à celui des stylistes de l'automobile;
- La définition des emménagements et le choix de la décoration intérieure;

Une telle répartition des rôles nécessite ici aussi une bonne coordination et une définition claire des responsabilités.

## 1. Les compétences de l'architecte naval:

**1.1. La bonne marche du navire** suivant l'usage pour lequel il a été prévu et en particulier:

- La stabilité transversale;
- La manœuvrabilité;
- Les performances;

Les performances dépendent de beaucoup de facteurs tels que:

- Le poids réel du navire;
- Les performances du moteur;
- Les qualités de l'hélice;

**1.2. La définition globale du navire:** c'est lui qui définit la base permettant aux autres intervenants d'effectuer leur travail et d'exercer leur responsabilité propre pour les parties construites ou les équipements fournis, et en particulier :

**1.2.1. La forme de la coque: œuvres vives, œuvres mortes et appendices.** Avec les formes de coque doit être fourni:

- Un déplacement global correspondant aux lignes du plan de forme et suivant un enfoncement et une assiette en charge acceptables;
- un devis de poids prévisionnel et estimatif qui définit le poids des principaux postes et l'enfoncement acceptable. Ce devis de poids prévisionnel doit être accepté par le constructeur et l'armateur, chacun pour ses responsabilités propres (construction et armement);
- une position correspondante du centre de gravité (longitudinale et verticale) dans les mêmes conditions.

**1.2.2. Les formes du pont et des superstructures.**

**1.2.3. La disposition structurelle du navire.** Il choisit la définition générale des structures et caractéristiques des matériaux qui en font partie. Il pourra aussi définir les efforts globaux ou la résistance des principaux éléments de structure.

**1.2.4. Le système propulsif du navire:** le constructeur du navire et celui du moteur ont la responsabilité des éléments qui constituent le système propulsif. Ils devront communiquer à l'architecte naval les efforts (poussée, couple, etc.) qui seront transmis au bâti moteur, arbre et chaise d'hélice, etc.

L'architecte naval prend en charge le support de ces équipements et la transmission de leurs efforts à la structure générale.

**1.2.5. Le schéma ou plan d'implantation des équipements** et vérification à partir des éléments de poids fournis par le constructeur que les principaux postes du devis de poids préliminaire sont globalement respectés.

1.2.6. **Les emménagements intérieurs.** Ces plans donnent une disposition générale, avec ou sans détails suivant le contrat. Les plans et l'étude des circuits électriques et fluides sont généralement faits par des bureaux d'étude spécialisés en rapport avec le chantier et les fabricants d'équipement, l'architecte naval s'accordant simplement avec eux pour s'assurer que la disposition et le passage des câbles et tuyauteries correspond à la disposition générale du navire et au devis de poids estimatif.

## 2. L'architecte naval a également les devoirs suivants:

**2.1.Le devoir d'information:** L'architecte naval doit pouvoir justifier sa conception globale, par le calcul si nécessaire. Il doit informer son client et au besoin les organismes de contrôle, de certains de ces éléments (devis de poids estimatif, stabilité, devis de poids des équipements et du chargement du navire). Il doit également informer son client des limites d'usage du navire.

**2.2.Le devoir de conseil :** L'architecte naval doit s'efforcer de conseiller au mieux son client (constructeur ou armateur) en restant cependant dans les limites de sa mission. En supplément, et en marge du devoir de conseil, L'architecte naval peut éventuellement être chargé par l'armateur d'une mission de maître d'ouvrage délégué, mais il s'agit là d'une mission complémentaire et optionnelle.

**2.3.Le devoir d'explication:** L'architecte naval doit s'efforcer d'expliquer au mieux sa conception et ses plans au constructeur. Pour cela il peut effectuer des visites auprès du constructeur afin d'aider à une bonne compréhension des plans.

**2.4.Le devoir de confidentialité vis-à-vis du constructeur et de l'armateur:** L'architecte naval s'engage à la plus grande confidentialité vis-à-vis du constructeur et de l'armateur pour les informations qui ne sont pas nécessaires à la bonne réalisation du projet. Il s'interdit également toute divulgation vers l'extérieur d'information ou de documents qu'elle peut être amenée à connaître à l'occasion du projet.

## 3. Les droits de l'architecte naval:

**3.1.Le droit de gérer lui-même son travail au service de l'œuvre:** L'avant-projet accepté par l'armateur, l'architecte naval poursuit son travail au service de son œuvre, du respect du programme et surtout de la qualité et de la sécurité. L'architecte naval reçoit une mission de conception. Il a tout loisir de déléguer à une autre personne de son choix une partie de son travail sans en demander l'approbation à qui que ce soit, tout en restant cependant responsable de la mission qui lui a été confiée.

**3.2.La propriété des plans:** les plans et documents directeurs ne peuvent être communiqués à des tiers sans autorisation écrite de l'architecte naval. Les honoraires ne donnent au client que le droit d'utiliser les plans et documents directeurs dans certaines conditions (construction d'une unité ou d'une série, etc.) ces documents restent la propriété de l'architecte naval.

**3.3.La propriété artistique sur l'ensemble du projet:** Cette propriété artistique est attachée au navire lui-même et pas uniquement aux plans et dessins de l'architecte naval. Ce droit est inaliénable et ne peut être cédé. On ne peut modifier ni les formes générales ou de détail du navire, ni la structure ou la disposition du navire si ces éléments sont l'œuvre de l'architecte naval., sans lui en référer et obtenir son autorisation expresse et écrite.

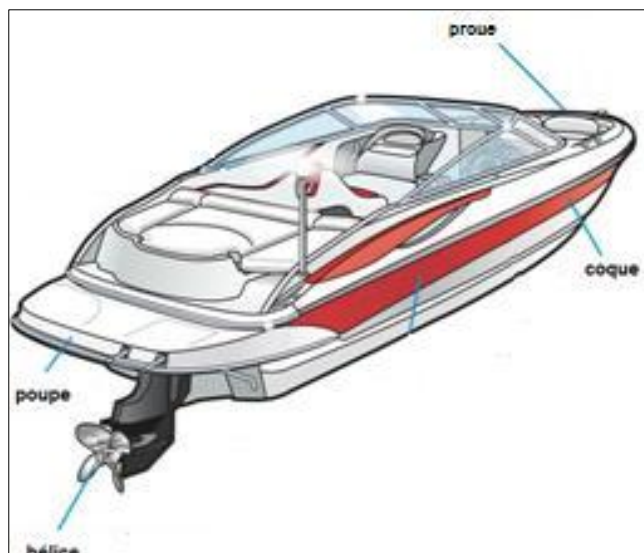
## II. Définition du bateau :

Un bateau est une construction humaine capable de flotter sur l'eau et de s'y déplacer, dirigé ou non par ses occupants. Il répond aux besoins du transport maritime ou fluvial, et permet diverses activités telles que le transport de personnes ou de marchandises, la guerre sur mer, la pêche, la plaisance, ou d'autres services tels que la sécurité des autres bateaux.

### 1. Anatomie:

Quelle que soit sa taille, un bateau comprend toujours divers éléments constitutifs. On trouve un flotteur, solide fermé assurant l'étanchéité, constitué principalement de la coque et éventuellement d'un pont la recouvrant. Les différentes parties d'un bateau sont bien définies sur les figures ci-dessous.

- Coque est le corps d'un bateau.
- Proue est la partie avant de la coque.
- Poupe est la partie dernière de la coque.
- Hélice est l'appareil de propulsion.



## **2. Flotteur:**

La coque est le constituant premier d'un bateau : il forme le flotteur, c'est-à-dire l'élément assurant la flottabilité et l'étanchéité. Un bateau peut comprendre une seule coque (on l'appelle alors monocoque) ou plusieurs (multicoque) : un catamaran comprend deux coques, un trimaran trois, suivent les quadrimarans et les pentamarans. Sa rigidité provient notamment de sa forme courbe, propriété mécanique générale des coques.

## **3. Système propulsif:**

La propulsion maritime désigne l'ensemble des systèmes qui permettent aux bateaux de se déplacer. Elle est effectuée par un propulseur entraîné par un moteur.

Un système de propulsion doit fournir une poussée propulsive avec le meilleur rendement possible, pour consommer moins de carburant à une vitesse donnée. Le rendement de propulsion dépend du rendement énergétique du moteur (consommation spécifique), du rendement mécanique de la transmission et du rendement hydrodynamique du propulseur.