

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère d'Enseignement Supérieur et de la Recherche**  
**Scientifique**  
**Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed**  
**Boudiaf**  
*Faculté de Génie Mécanique*  
*Département de Génie Maritime*



***Polycopié de Travaux***  
***Pratiques***  
***Hydrodynamique Navale***

*Notions de Base*  
*Destiné aux étudiants de 2<sup>eme</sup> Année Licence*  
*Génie Maritime*

**Mr. GUEN Mohammed**

## **Préface**

Le présent document est un support pédagogique a pour but de permettre aux étudiants de 2<sup>eme</sup> Année Génie Maritime d'approfondir leurs connaissances dans le domaine d'hydrodynamique navale et d'acquérir certaines notions de base pour une application directe sur le bassin d'essai des carènes.

Le polycopié comporte trois chapitres

**Chapitre I**     *Généralités sur la Résistance à l'avancement*

**Chapitre II**    *Résistance des Vagues*

**Chapitre III**   *Applications sur le bassin d'essai des carènes*

Enfin Je serai reconnaissant à toutes personnes qui peuvent m'aider pour améliorer le contenu de ce document

# Sommaire

Préface

Introduction Générale

Liste des figures

Liste des tableaux

## **Chapitre I            Généralités sur la résistance à l'avancement du Navire**

1. Composantes de la résistance à l'avancement

1.1 La résistance visqueuse

1.2 La résistance tourbillonnaire

1.3 La résistance aérodynamique

1.4 La résistance d'embruns

1.5 La résistance de vagues

1.6 Résistance à l'avancement totale du navire

1.7 Rôle du bulbe d'étrave

1.8 Nombre de Froude

## **Chapitre II**

## **Résistance des Vagues**

2.1 Introduction

2.2 Méthode ITTC 1957

2.3 Méthode de Hughes –Prohaska

2.4 Méthode de Froude

## **Chapitre III**

## **Applications sur le bassin d'essai des carènes**

3.1 Introduction

3.2 Plan de forme

3.3 Mise à flot de la maquette

3.4 Correction du GM

3.5 Fixation de la maquette au chariot

3.6 Etalonnage du système de mesure de la résistance à l'avancement

3.7 Estimation de la résistance à l'avancement

3.8 Visualisation des systèmes des vagues générée par la maquette

## **Conclusion**

# Liste des Figures

## Chapitre I

Figure 1.1. Résistance à l'avancement du Navire

Figure 1.2. Résistance visqueuse

Figure 1.3. Résistance tourbillonnaire

Figure 1.4. Résistance aérodynamique

Figure 1.5. Résistance d'embruns

Figure.1.6 Systèmes de vagues

Figure.1.7 Système de bulbe

## Chapitre III

Figure 3.1 Assemblage des couples pour la finalisation de la maquette

Figure 3.2 Vérification de la stabilité de la maquette

Figure 3.3 Système de fixation de la maquette

Figure 3.4 La positons de la masselotte

Figure. 3.5 Les masses utilisées

Figure 3.7 Montage expérimental

Figure 3.8. Système de mesure des hauteurs de houles

Figure 3.9 Bassin des carènes du département de Génie Maritime

Figure 3.10 Le Générateur de Houle

Figure 3.11 La Plage casseur des vagues

Figure 3.12 Le chariot de remorquage

Figure 3.13 Appareil de comande du chariot

Figure 3.14 La Zone Opérationnel

Figure 3.15 Système de Vague

Figure 3.16 Résistance de vague Vs Nombre de Froude

Figure 3.17 Système de vague à l'étrave et à l'étambot en phase

$$n=2$$

Figure 3.18 Système de vague à l'étrave et à l'étambot en phase

$$n=3$$

Figure 3.19 Vague de l'étrave

Figure 3.20 Longueur de vague  $\lambda$

Figure 3.21 Vague d'étambot

## Introduction

La résistance à l'avancement est une discipline importante qui traite le contact du navire avec l'eau. Il s'agit de déterminer la force qui vaincre le déplacement du navire. Historiquement, c'est l'un des premiers sujets traités en hydrodynamique navale depuis XVIII<sup>e</sup> siècle fondée sur les travaux de recherches de **D'Alembert**, puis de **Reech** et de **Froude**, basée sur le principe de la similitude adoptée par les expériences sur modèle réduit. C'est enfin un sujet important pour déterminer les performances du navire car la résistance à l'avancement est nécessaire pour le dimensionnement et l'installation de l'appareil propulsif dans la salle des machines. Les études de l'hydrodynamique navale sont également nécessaires au personnel de bord qui doit pouvoir diriger le navire quels que soient l'état de la mer et les obstacles rencontrés. La résistance à l'avancement d'un navire est définie comme l'effort nécessaire qu'il faut exercer sur ce dernier pour son déplacement avec un mouvement rectiligne uniforme à vitesse constante sur une mer complètement calme. La connaissance de cette résistance donne l'idée initiale de la puissance à installer égale au produit de la résistance par la vitesse d'avance. Il suffit de prendre en considération les phénomènes secondaires qui conduisent à augmenter la puissance à installer :

- L'appareil propulsif (en général les hélices) qui tend à accélérer l'écoulement d'eau autour du navire et a pour but d'augmenter la résistance par le phénomène de succion.
- Les navires se déplacent dans un état de mer houleuse qui donne naissance à une résistance supplémentaire, la résistance ajoutée sous houle. Le dimensionnement de l'appareil propulsif doit prendre en considération ces différents éléments. Notre but majeur est de s'intéresser aux problèmes de résistance à l'avancement que l'on peut aussi appeler **résistance de remorquage**.

# Résistance à l'avancement du Navire

On appelle résistance à l'avancement d'un navire, l'effort appliquée sur la carène lors d'un déplacement rectiligne uniforme à vitesse constante en eau calme figure 1.1

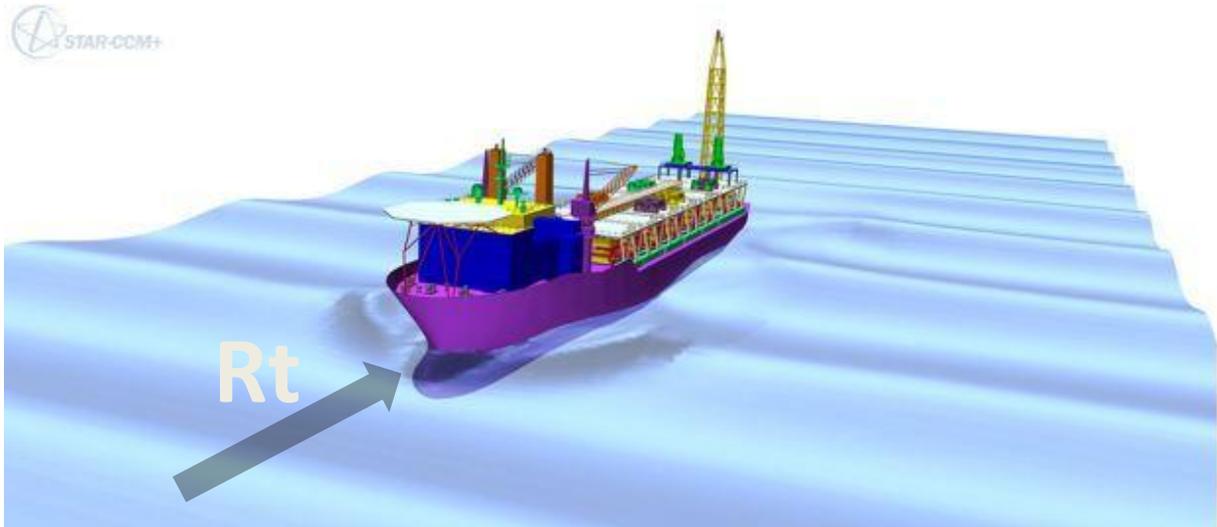


Figure 1.1 Résistance à l'avancement du Navire

## 1. Composantes de la résistance à l'avancement

Différents phénomènes d'origine physique contribuent à la composition de la résistance à l'avancement tels que

**1.1 La résistance visqueuse** La résistance visqueuse est défini par le coefficient de résistance visqueuse lié directement au régime de l'écoulement et à l'état surfacique de la carène qui entraîne une mince couche de fluide appelée Couche limite. Ce phénomène provoque d'une perte d'énergie qui l'on résulte une force qui s'oppose du sens du mouvement du navire.

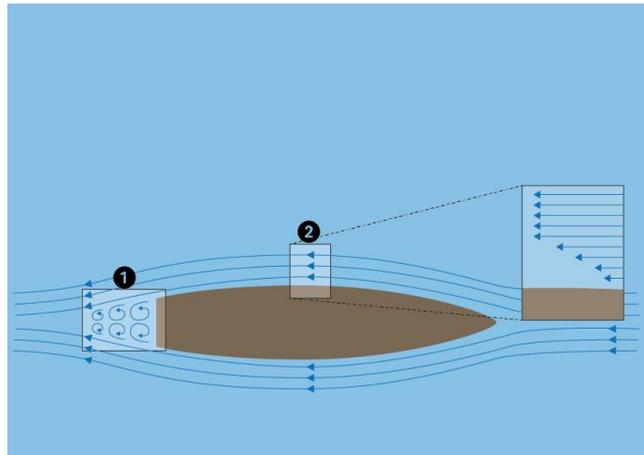


Figure 1.2. Résistance visqueuse

**1.2 La résistance tourbillonnaire** Elle est liée à la naissance des tourbillons sur les arêtes vives ou les appendices de la carène. Ces tourbillons sont visqueux dus au (décollement de couches limites) ou bien non visqueux (tourbillons de portance de profils).

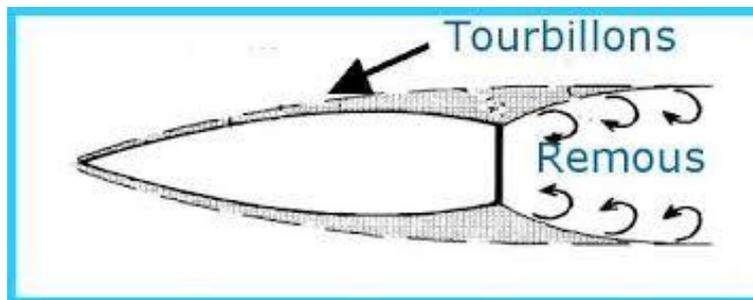


Figure 1.3. Résistance tourbillonnaire

**1.3 La résistance aérodynamique** Elle est définie par l'effet de l'air sur les superstructures (œuvres mortes). Son influence est presque négligeable estimée à l'aide de formules empiriques.

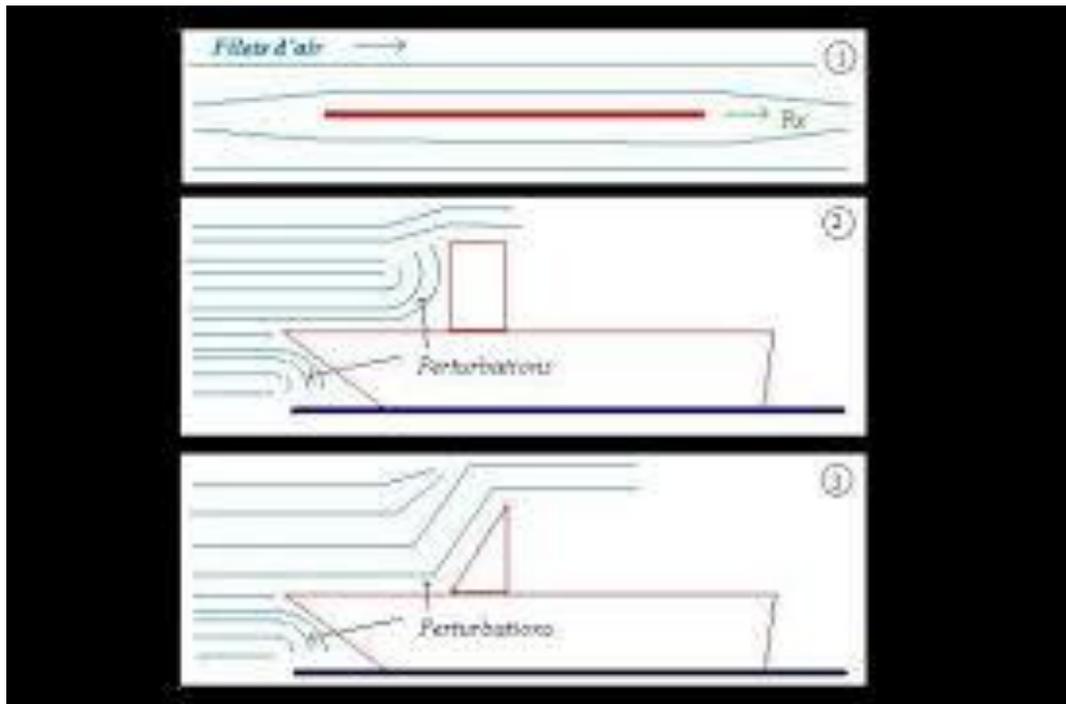


Figure 1.4. Résistance aérodynamique

**1.4 La résistance d'embruns** Elle est définie par la création d'un déferlement des vagues d'accompagnement qui peuvent apparaitre dans des types de navires rapide. Comme pour la résistance tourbillonnaire, elle peut être assez difficile à distinguer quantitativement par rapport aux autres types de résistance.



Figure 1.5. Résistance d'embruns

**1.5 La résistance de vagues** Lorsqu'un navire (ou un sous-marin à faible immersion) se déplace dans une eau calme donne naissance à un champ de vagues transversale et longitudinale

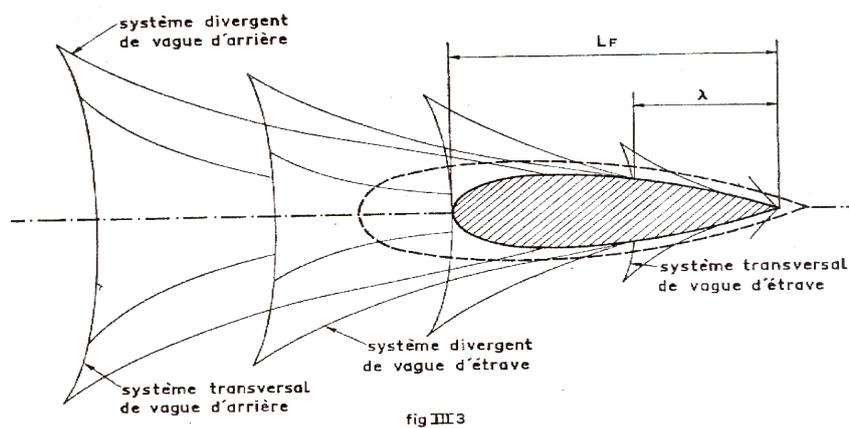


Figure.1.6 Systèmes de vagues

Pour un mouvement permanent du navire ce champ de vague se caractérise par

- Le champ des vagues est fixe pendant le déplacement du navire

- Le champ des vagues est responsable de la naissance de la résistance à l'avancement

Connu par le nom de la résistance des vagues.

- Il s'applique sur une partie de la surface libre proche du navire et sur son arrière
- A l'arrière du navire les vagues sont contenues en formant un demi angle de 20° si la profondeur d'eau est considérable, on les appelle vagues d'accompagnement
- Dans cette zone on apparaît deux types de vagues, les vagues transversales et les vagues longitudinales figure. 1.6.

## 1.6 Résistance à l'avancement totale du navire

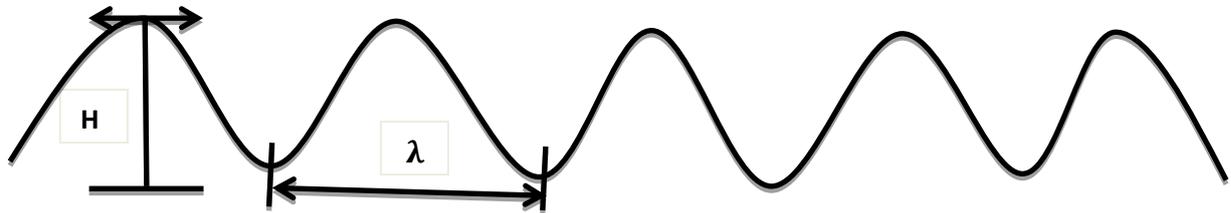
La résistance à l'avancement totale d'un navire  $R_T$ , connu aussi sous le nom " **Résistance de remorquage** " est composé de plusieurs paramètres (Hypothèse de Froude)

$$R_T = R_W + R_V + R_{AA}$$

Avec

- $R_{AA}$  est la résistance aérodynamique (négligeable).
- $R_V$  est la résistance visqueuse ", somme de la résistance de frottement (RF) qui dépend de la surface mouillée (  $S_m$  ) c-a-d de l'état lisse de cette surface ( le paramètre de rugosité intervient dans le coefficient de frottement  $C_F$  ) et de la résistance de remous.
- $R_W$  est la résistance de vague

- On définit aussi la résistance résiduelle **R<sub>r</sub>** la résistance totale diminuée de la résistance au frottement dont principalement la résistance de vague.



La résistance de vague se résulte, de la vitesse de propagation ou la vitesse de célérité de la déformation de la surface libre (houle ) cette déformation est définit selon la relation :

$$C = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2 \cdot \pi}}$$

D'autre part la houle possède une énergie potentielle exprimée par la formule suivante :

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \lambda.$$

Le navire fourni donc de l'énergie au fluide au repos pour créer des vagues. Cette énergie donne naissance à la force de traînée dont l'intensité dépend de l'amplitude des ondes créées

Au niveau de la surface libre, une élévation de la pression se traduit par une élévation de la hauteur d'eau selon Bernoulli. Les Paquets des fluides subissent une déformation de telle façon que la pression augmente au voisinage de l'étrave avec une élévation légère de la vitesse du fluide, près de l'arrière. Ceci se traduit par la naissance des vagues

## 1.7 Rôle du bulbe d'étrave



Figure.1.7 Système de bulbe

Pour diminuer l'effet de la résistance à l'avancement L'ajout d'un bulbe d'étrave à l'extrémité avant du navire pour diminuer le creux de la vague d'étrave tout en créant vers l'avant la première crête, Mais cette idée, n'est donc pas toujours applicable, en particulier aux navires de petites dimensions.

## • 1.8 Nombre de Froude

Lorsque Les navires sont en mouvement, ils entraînent avec eux par la même vitesse un système de vague dites " **Vagues d'accompagnement** " qui se forment tout au long de la ligne de flottaison, dont la célérité correspond donc à la vitesse du navire ( $C=N_{Navire}$ ).

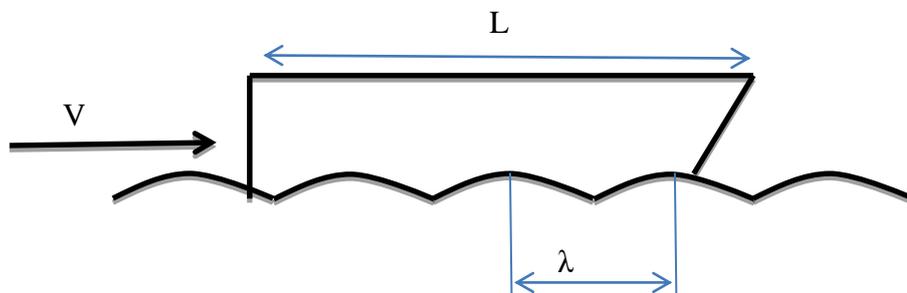
Pour un navire de longueur  $L$  et une vitesse  $V_N$ , On définit le nombre de Froude par la formule suivante

$$F_n = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

Selon la valeur du nombre de Froude nous pouvons citer les cas suivants

- **1.9 Pour un nombre de Froude < 0.4**

Le navire a une vitesse d'avance très petite ainsi que les vagues d'accompagnement possède une longueur d'onde inférieure à la longueur du Navire. Cela veut dire lorsqu'il ya deux vagues et plus Froude inférieur à 0,4 la résistance de vague est relativement très petite par contre la résistance de frottement est considérable presque 90% de la résistance totale. En éloignant de cet intervalle la résistance de vague devient progressivement de plus en plus importante par rapport à la vitesse du navire.

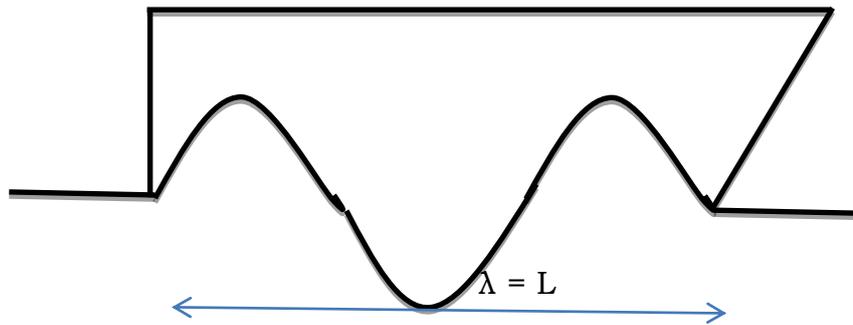


Froude  $\leq$  0.4

- **Pour un nombre de Froude de l'ordre de 0.4**

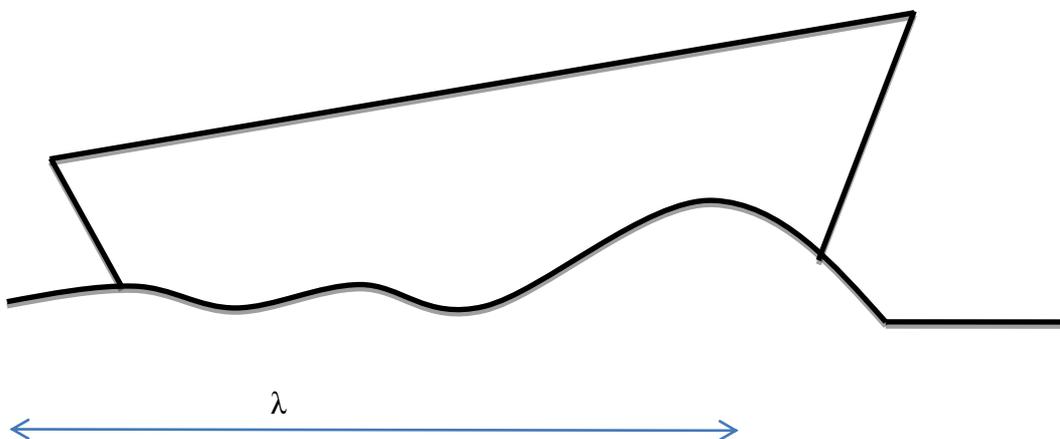
Lorsque la vitesse du navire augmente, la longueur d'onde des vagues croit aussi jusqu'elle atteint la longueur du navire (L de l'ordre de lambda). Alors dans ce cas le navire se positionne sur une onde qui se compose de deux crêtes à l'avant et à l'arrière et un creux au milieu.

Dans ce cas le nombre de Froude est de l'ordre de 0.4. La vitesse du navire est alors appelée " vitesse limite théorique de la carène ".



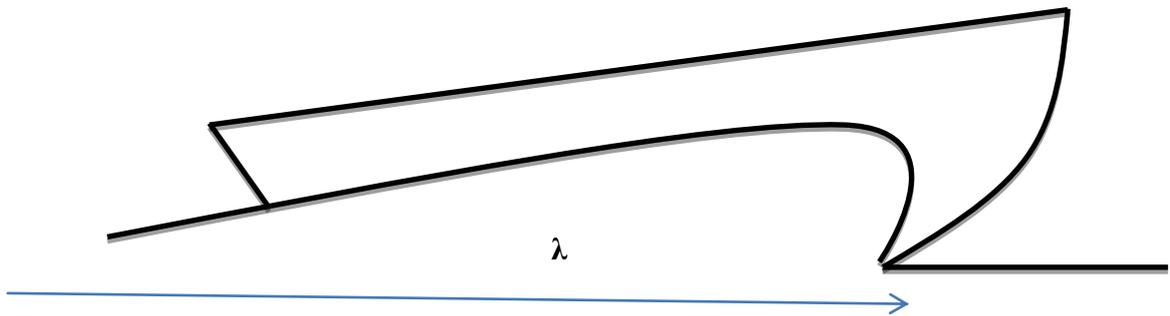
- **Pour un nombre de Froude compris entre 0.4 et 0.7**

Lorsque la vitesse du navire continue à augmenter, la crête s'éloigne du navire alors le navire se trouve en situation « Cabré » cette situation est très défavorable du point de vue résistance à l'avancement et cela correspond à un nombre de Froude entre 0,4 et 0,7 et la longueur d'onde se situe entre  $L$  et  $3L$  environ. Alors la résistance de vague est largement prédominante (de l'ordre de 70 à 80 % de la résistance totale).



- **Pour un Froude supérieur à 0.7**

Enfin, si la vitesse du navire augmente de plus en plus alors le navire se retrouve entièrement situé sur la vague avant cette dernière l'hydroplanage (ou planning). Ceci correspond à un Froude supérieur à 0.7



Les cas où le Froude reste inférieure à 0.3 sont les plus fréquents. Les cas pour lesquels le Froude est supérieur à 0.3 ne sont possibles que pour des navires relativement légers dotés d'une puissance propulsive importante, aux formes porteuses. Le but étant de minimiser la résistance de vague, les constructeurs recherchent une bonne maîtrise de la zone de transition (pour laquelle le Froude est compris entre 0.3 et 0.7). On peut se rendre compte de ceci en observant, sur certains bateaux à moteurs (du style vedettes rapides) le " pic " de résistance à l'avancement très caractéristique rencontré à la partie avant du navire, alors en situation cabrée, il est nécessaire de pousser à fond pour un court instant la puissance qui peut être réduite, en même temps que l'allure est stabilisée.

## La Résistance des Vagues

Suite au chapitre I la résistance des vagues est divisée en deux systèmes de vagues, **transversales** et **longitudinales**. Il s'applique sur une partie de la surface libre proche du navire et sur son arrière

La partie arrière du navire les vagues sont contenues en formant un demi angle de  $20^\circ$  si la profondeur d'eau est considérable, on les appelle vagues d'accompagnement au niveau de cette zone on apparaît deux types de vagues, **les vagues transversales** et les **vagues longitudinales**. Il existe une multitude des formule empiriques qui ont pour but de prédire la résistance des vague du navire parmi lesquelles nous pouvons citer

### **Méthode ITTC 1957**

La résistance de coque est composée de

$$R_t = R_f + R_r$$

$R_f$  Résistance de frottement

$R_r$  Résistance résiduaire

Généralement la résistance est exprimée en fonction d'un coefficient adimensionnel

$$C_T = \frac{R_t}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_S^2} \quad \text{ou } S \text{ surface mouillée, } V_S \text{ la vitesse du Navire}$$

La résistance résiduaire est définie comme suit

$$C_R = C_T - C_f$$

Le coefficient de résistance total a aussi une autre expression

$$C_T = C_R + C_f + C_a$$

La résistance totale du navire est définie comme suit

$$R_T = C_T \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_S^2$$

Le coefficient de la résistance de frottement est déterminé par la formule ITTC57

$$C_f = \frac{0,075}{(\log_{10} R_e - 2)^2}$$

La présente formule prend en considération l'effet de forme qui augmente la valeur de 12%

Le coefficient  $C_a$  est relié directement à l'état de surface de la coque allant des navires rivetés jusqu'au des navires soudés. Le tableau ci-après donne les valeurs de  $C_a$  suivant la longueur entre perpendiculaire  $L_{pp}$  du navire.

<b><math>L_{pp}</math> (m)</b>	<b><math>C_a</math></b>
50 - 150	0 ,00035- 0,0004
150 - 210	0,0002
210 - 260	0,0001
260 - 300	0
300 - 350	-0,0001
350 - 400	-0,00025

## ✚ Méthode de Hughes –Prohaska

Le coefficient de la résistance totale est présenté comme suit

$$C_T = (1+K) \cdot C_f + C_W$$

Avec  $C_W$  coefficient de résistance des vagues,  $(1+K)$  coefficient de forme

Le coefficient de la résistance des vagues est défini comme

$$C_W = C_T - C_f (1+K)$$

Le coefficient de la résistance totale

$$C_T = C_W + (1+K) C_f + C_a$$

Donc la résistance totale

$$R_T = C_T \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot S \cdot V^2$$

Le coefficient de frottement est déterminé suivant Hughes par la formule suivante

$$C_f = \frac{0.067}{(\log_{10} R_e - 2)^2}$$

### Remarques

- ✚ Le coefficient de corrélation  $C_a$  est complètement différent à celui défini par la Méthode ITTC 1957
- ✚ La méthode de Hughes – Prohaska dépend directement au facteur de forme
- ✚ Le facteur de forme  $(1+K)$  est considéré indépendant au Nombre de Froude  $F_n$  et le nombre de Reynolds  $R_e$

## **Méthode de Froude**

En 1870 William Froude a réalisé ces premières expériences sur une série de prototypes de différentes rugosités pour aboutir à la formule empirique suivante

$$R_f = f \cdot S \cdot V^n$$

Avec  $f$ ,  $n$  sont des constantes empiriques reliées directement à l'état de surface de la coque et la longueur du navire. Après plusieurs années son fils a proposé la formule empirique suivante

$$R_f = f \cdot S \cdot V^{1,852}$$

Dans la limite de conditions expérimentales le facteur  $f$  peut être exprimé de la façon suivante

$$f = 1,365 + 2,530/2,68 + L$$

Le coefficient de frottement  $f$  concerne uniquement les navires navigant dans l'eau de mer pour le cas contraire il faut multiplier ces valeurs par le coefficient 0,975.

## ❖ Introduction

Généralement pour la construction d'un navire, l'architecte navale rencontre des problèmes de complexités divers relative aux conditions imposées par l'armateur et celles reliées aux navires.

Les chantiers de construction navale s'adressent essentiellement à des chercheurs aux différents laboratoires spécialisés pour effectuer des essais sur des maquettes portant sur la stabilité du navire, manoeuvrabilité, résistance à l'avancement et des essais reliées aux systèmes propulsif du navire. Le but de cette polycopie c'est de permettre aux étudiants de bien comprendre les problèmes d'origine hydrodynamique par voie expérimentale.

Ce chapitre est divisé en deux parties

- ❖ Réalisation de la maquette
- ❖ Essais sur le bassin des carènes qui englobe les paries suivantes
  - *Etalonnage du système de mesure de la résistance à l'avancement*
  - *Visualisation des systèmes des vagues générée par la maquette*
  - *Estimation de la résistance à l'avancement de la maquette*

Pour la préparation de la maquette l'étudiant doit prendre connaissance des dimensions du navire réel il s'agit ici d'un « pétrolier » qui possède les caractéristiques suivantes

<b>Caractéristiques du Navire</b>	<b>Caractéristiques de la maquette</b>
Lpp = 95 m	Lwl = 5,5 cm
B = 23 m	B = 18,3 cm
C = 9,5 m	C = 7,5 cm
T = 5,17 m	T = 6,17 cm
Pt = 3897.31 tonne	Pt=15 kg
CM = 0,931	CM = 0,931
CB = 0,552	CB = 0,552
CP = 0,5964	CP = 0,5964

**NB** la position du centre de carène par rapport à l'étrave est 27,33 % et par rapport à l'étambot est de 49,5 %

Généralement la maquette est réalisée en Trois étapes

- **Plan de forme**

Projection et réalisation de la maquette par l'assemblage et fixation des couples à partir d'un plan de forme

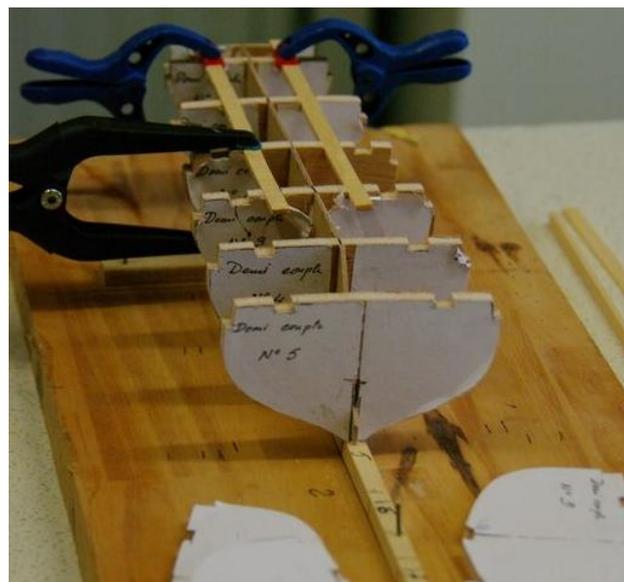
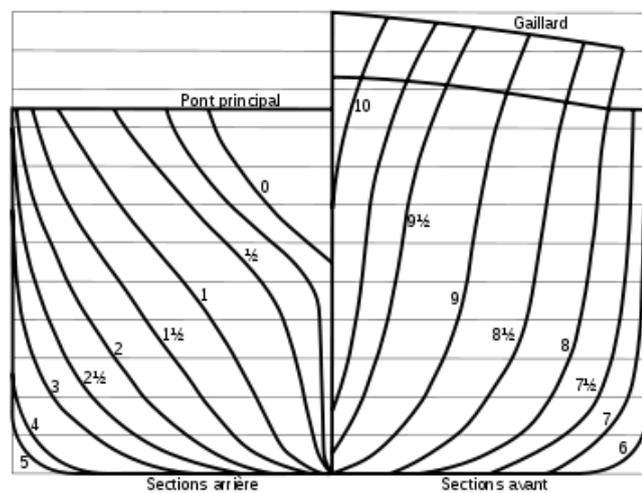


Figure 3.1 Assemblage des couples pour la finalisation de la maquette

- **Mise à flot de la maquette**



Figure 3.2 Vérification de la stabilité de la maquette

Il est nécessaire de corriger l'étanchéité et la stabilité de la maquette par sa mise à flot

- **Correction du GM**

La correction du GM nécessite l'utilisation du sable (cargaison en vrac), lors d'un mouvement de la maquette la surface du sable crée un moment en provoquant une gite.

- **Fixation de la maquette au chariot**

A la fin fixation de la maquette au niveau du chariot de remorquage. Le système de fixation est très simple composé de deux tôles parallèle en acier liée entre elles par une tige filetée servant à les rapprocher ensemble par un réglage à vis. Des rainures ont été réalisées sur les deux tôles sur lesquelles glisse la goupille du chariot Figure 3.3. Ce système permet d'obtenir les deux conditions de remorquage pilonnement et tangage libre.



Figure 3.3 Système de fixation de la maquette

# **Etalonnage du système de mesure de la résistance à l'avancement**

- **But d'étalonnage**

L'étalonnage est une opération qui consiste à garantir sous des conditions spécifiées un ajustage, vérification de l'instrument de mesure utilisée pour un travail expérimental.

**L'ajustage** est un ensemble d'opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer

**La vérification** consiste à apporter la preuve à partir de mesures (étalonnage) que des exigences spécifiées, c'est-à-dire les erreurs maximales tolérées, sont satisfaites. Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de conformité ou de non-conformité (qui exige un ajustage, d'une réparation, ou d'une réforme de l'appareil).

**La correction** consiste à modifier la valeur lue.

### **Etalonnage du système de mesure de la résistance à l'avancement**

Durant cette partie du TP, l'étalonnage doit se faire en deux parties suivant la position de la masselotte du cadran de la balance

**Position base de  
la masselotte**



**Position haute de  
la masselotte**

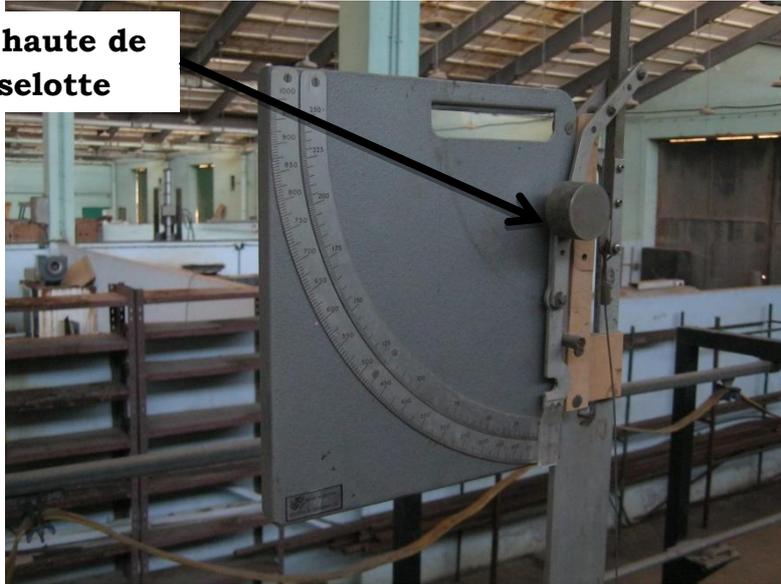


Figure 3.4. La positions de la masselotte

L'étudiant doit effectuer l'étalonnage en utilisant des masses de différentes poids pour aboutir à la fin à l'équation général d'étalonnage



Figure. 3.5 Les masses utilisées

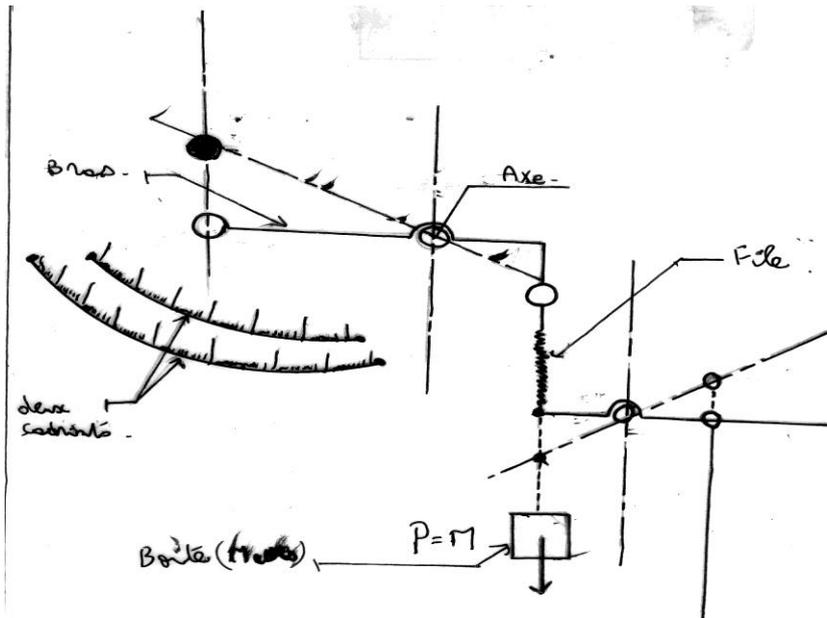


Figure. 3.6 Les masses utilisées

La lecture doit se faire sur le cadrant de la balance relative aux différentes positions de la masselotte (position haute et basse), Figure. 3.6

<b>Position Basse de la masselotte</b>	
<b>Masses (gramme)</b>	<b>Valeur lue</b>
200	
400	
595	
695	
735	

<b>Position haute de la masselotte</b>	
<b>Masses (gramme)</b>	<b>Valeur lue</b>
80	
130	
200	
230	
400	
595	

A la fin l'étudiant doit aboutir à deux équations de la résistance à l'avancement en fonction des Masses relative au deux positions de la masselotes (haute et base)

Les deux courbes de tandances ont un comportement polynomiale du seconde ordre

$$Y_1 = C_1 + A_1 \cdot V_{Lue} + B_1 \cdot V_{Lue}^2 \quad (Y_1 \text{ L'effort en gramme pour la position base de masselote})$$

$$Y_2 = C_2 + A_2 \cdot V_{Lue} + B_2 \cdot V_{Lue}^2 \quad (Y_2 \text{ L'effort en gramme pour la position haute de masselote})$$

Pour minimise la marge d'erreur, l'étudiant doit refaire l'étalonnage après avoir décalé les valeurs de la résistance à l'avancement en fonction de la vitesse de la maquette (Voir le tableau ci-dessous)

<b>V (m/s)</b>	<b>Valeur lue sur le cadrant</b>	<b>RRésistance (N)</b>	<b>RRésistance décalée (N)</b>

L'étudiant doit représenter la courbe de la Résistance totale fonction de la vitesse  $R_T = f(V)$ . la courbe représentative possède un comportement linéaire  $Y = A.X$

# **Estimation de la résistance à l'avancement**

### ❖ Les Tests de Résistance

Généralement les tests de résistance mesurent la résistance à l'avancement du navire sans hélice et sans autres appendices, parfois des tests de résistance sont effectués à la fois pour la coque «nue», mais cela nous conduit à des marges d'erreurs beaucoup plus importantes que pour les coques réelles, alors nous sommes obligés d'apporter des corrections appropriées. La maquette (modèle) est remorquée par des poids et des fils (Figure 3.5). donc la force de remorquage principale provient du poids principal  $G_1$ , le poids  $G_2$  est utilisé pour la correction. La résistance totale sera donc comme suit :

$$R_T = G_1 \pm G_2 \sin \alpha$$

Le signe positif si le fil vertical se déplace vers l'arrière et l'angle alpha est déterminé en mesurant la distance sur l'échelle de longueur. les techniques expérimentales modernes utilisent également des capteurs qui fournissent des mesures instantanées à une grande précision en comparant avec la méthode classique à balance.

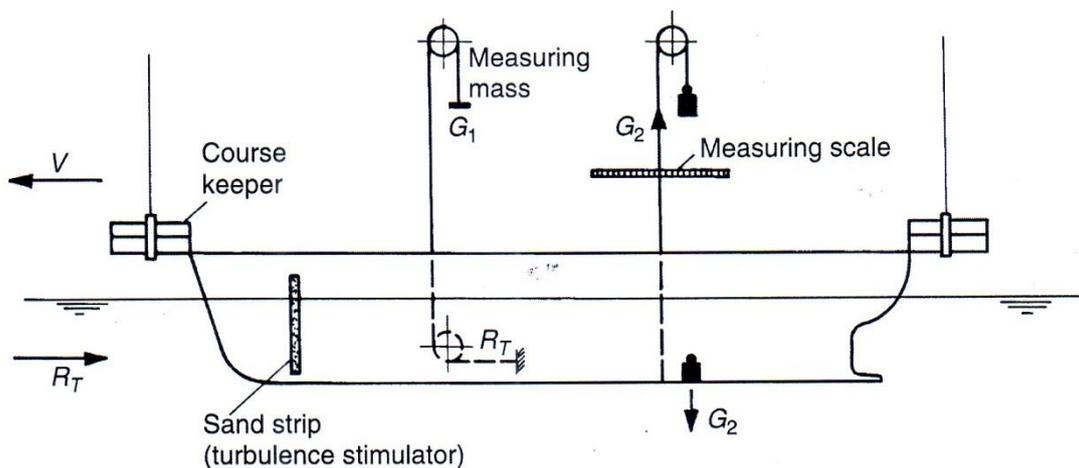


Figure 3.7. Montage expérimental

- **Présentation du bassin des carènes du département de Génie Maritime**

Le bassin des carènes du département de Génie Maritime est conçu pour étudier le comportement des modèles réduits des navires. Les essais qui peuvent être accompli dans le bassin des carènes sont

- Les essais de Remorquage
- Visualisation des vagues générées par les modèles
- Mesures des hauteurs de houles

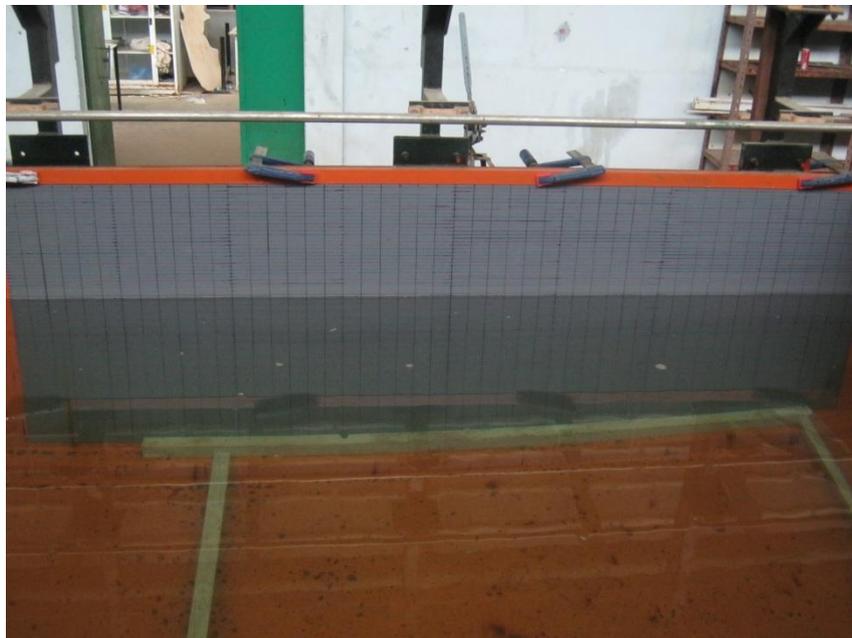


Figure 3.8. Système de mesure des hauteurs de houles

Le bassin didactique du département possède les dimensions suivantes

- Longueur : 20 m
- Largeur : 2 m
- Profondeur : 1.5 m



Figure 3.9. Bassin des carènes du département de Génie Maritime

### **Les équipements du bassin des carènes**

Le bassin des carènes est équipé d'un matériel important qui aide d'obtenir des résultats satisfaisantes

- **Un Générateur de Houle**

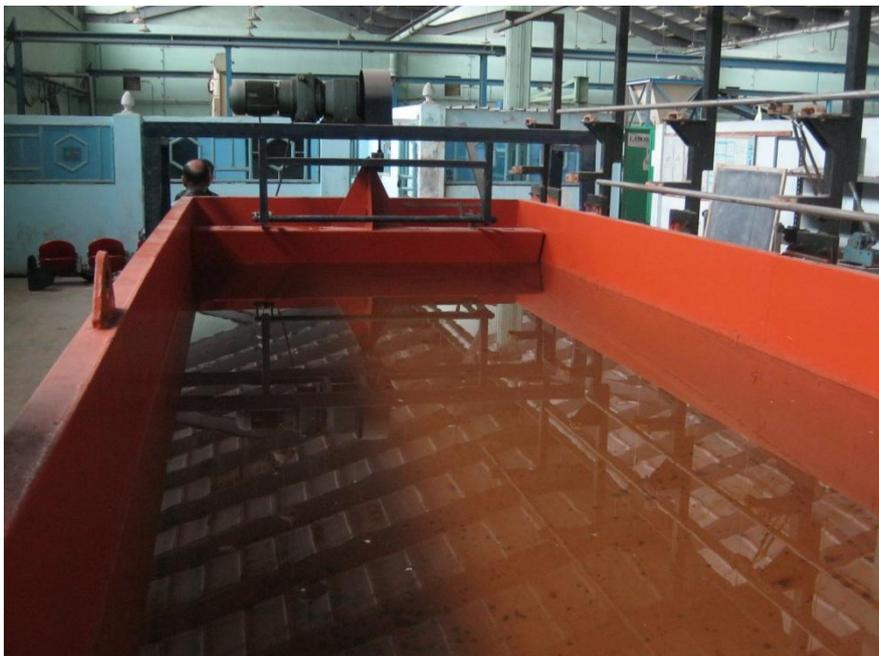


Figure 3.10. Le Générateur de Houle

- **Une Plage casseur des vagues**



Figure 3.11. La Plage casseur des vagues

- **Le Chariot de Remorquage**



Figure 3.12. Le chariot de remorquage

- **Appareil de commande**



Variateur de vitesse

Figure 3.13. Appareil de comande du chariot

- **Le travail expérimental**

Après le montage de la maquette et la mise en marche de l'ensemble expérimentale et après avoir effectué la phase d'étallonage. Une distance operationnel a été limitée pour la mesure de la vitesse moyenne de la maquette toute en évitant les zones d'acceleration et d'éceleration Figure. 3.14. Les étudiants prélèvent les temps nécessaires pour la détermination de la vitesse moyenne.

- Un étudiant pour la lecture du chrono
- Un étudiant en position Départ
- Un étudiant en position Arrivée
- Un étudiant pour la lecture du cadrant (Effort) sur le plancher
- Un étudiant pour la lecture du cadrant au sol

Cette opération sera répété trois fois pour des besoins de précisions.

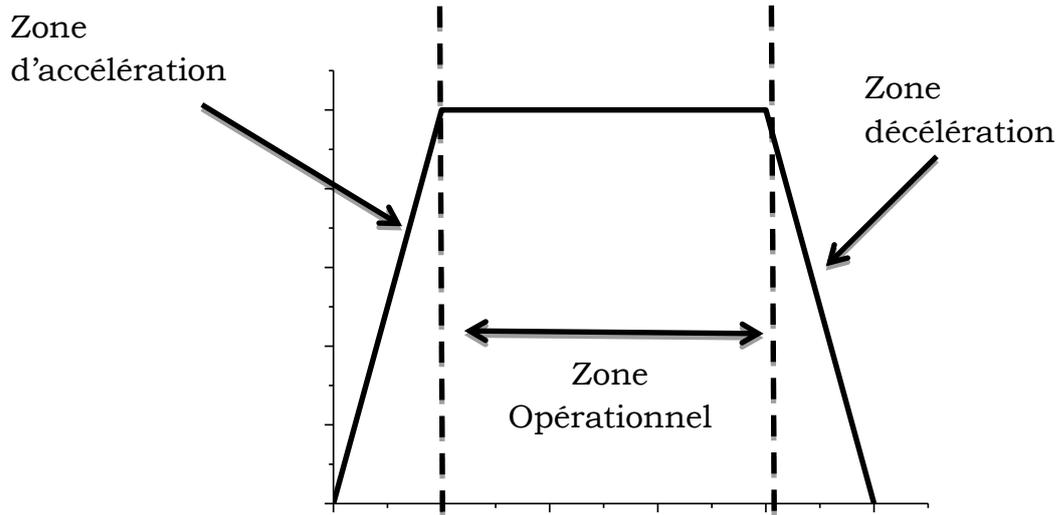


Figure 3.14. La Zone Opérationnel

<b>Position du variateur de vitesse</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>Valeur lue sur le cadrant</b>	<b>Résistance <math>R_t</math></b>

Le prélevement des valeurs de la résistance d'après le cadran permet au étudiant de tracer la courbe de la résistance fonction de la vitesse calculée.  $R_T = f(V_{\text{vitesse}})$ .

<b>Position du variateur de vitesse</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>Valeur lue sur le cadran</b>	<b>Résistance <math>R_t</math></b>

$$\text{EHP} = R_T \cdot V_{\text{vitesse}}$$

<b>Position du variateur de vitesse</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>Résistance <math>R_T</math> (N)</b>	<b>EHP (KW)</b>

Parallèlement d'après les résultats obtenue l'étudiant peut tracer la variation de la puissance de remorquage en fonction de la vitesse de la maquette.  $\text{EHP} = f(V_{\text{vitesse}})$

# **Visualisation des systèmes des vagues générée par la maquette**

Un navire qui se déplace engendre un champ de vague connue sous le nom vague d'accompagnement dont les caractéristiques sont les suivantes

- Vagues transversale

-Vagues Divergente

La formation de cette dernière mis en jeu une énergie dépensée correspond à la résistance des vagues fonctions de la géométrie de la carène

$$C_R = C_T - C_F = C_w + C_{PV}$$

$C_w$  Coefficient de résistance des vagues

$C_{PV}$  Coefficient de Résistance visqueuse

Vague transversale

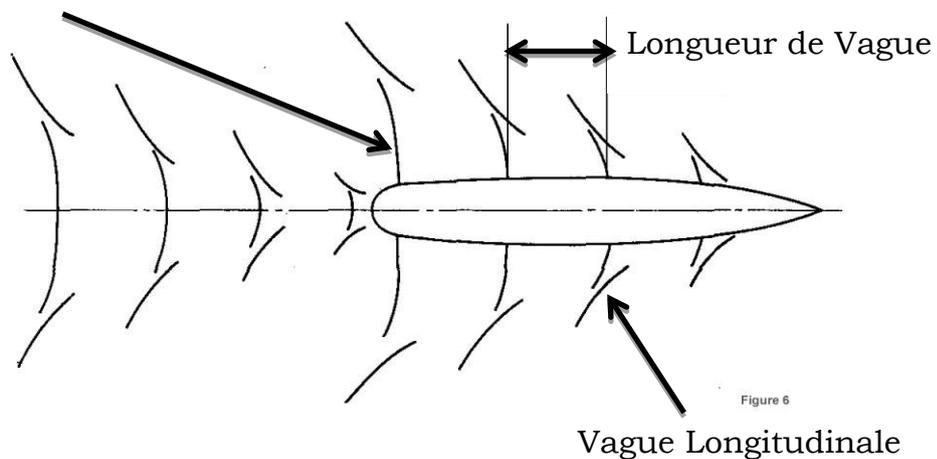


Figure 3.15 Système de Vague

Considérons un navire avançant à une vitesse  $V$ , alors la longueur de la vague transversale est donnée par la relation suivante

$$\lambda = \frac{2\pi V^2}{g} \quad (1)$$

Il est clairement remarquable que si la vitesse du navire augmente la longueur de vague augmente aussi.

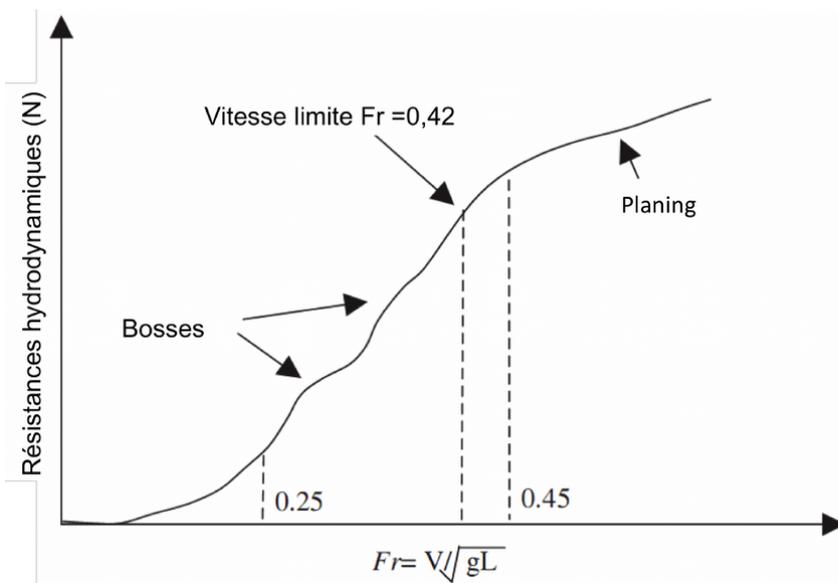


Figure 3.16 Résistance de vague Vs Nombre de Froude

En générale la courbe décrivant la variation de la résistance de vague fonction de nombre de Froude pour un tel type de navire se compose essentiellement d'un certain nombre de creux et crête figure 3.14. Pour vaincre l'énergie dépensée il est préférable que le navire se localise toujours sous une crête.

Si le système de vague à l'étrave et à l'étambot sont en phase, il se produit la naissance d'abord d'une crête à l'étrave à une distance d'environ le quart de la longueur de vague transversale et un creux à l'étambot figure 3.15.

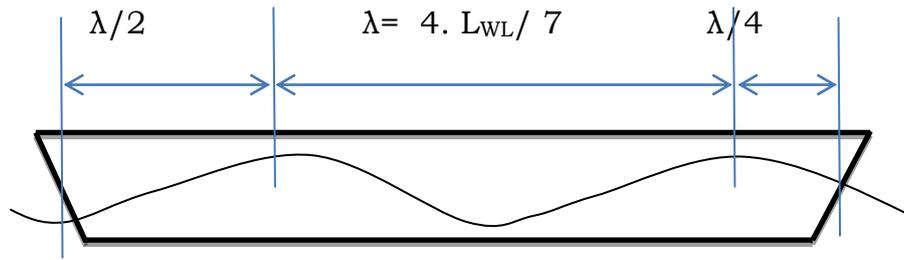


Figure 3.17 Système de vague à l'étrave et à l'étambot en phase

$n=2$

D'autre part si le système de vague transversale est en déphasage, il l'en résulte une absence totale des vagues puisque l'amplitude des vagues à l'étrave et à l'étambot sont inégale.

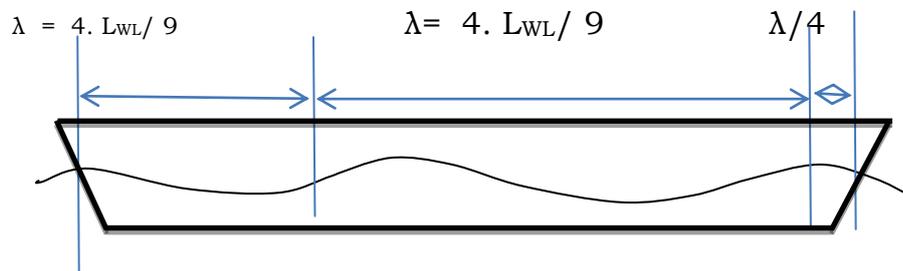


Figure 3.18 Système de vague à l'étrave et à l'étambot en phase

$n=3$

Ou n nombre de crête apparaissant le long du navire

Si n est un nombre impaire alors

$$L_{wl} - \lambda/4 = (2n-1) \cdot \lambda/2$$

c-a-d

$$\frac{\lambda}{L_{wl}} = \frac{4}{4n - 1}$$

Si  $n$  est un nombre pair alors

$$\frac{\lambda}{Lwl} = 2 \cdot \pi \cdot Fr^2$$

- **Le travail expérimental**

Les essais seront effectués sur le bassin des carènes de l'atelier du département de Génie Maritime. Après le montage de la maquette et la mise en marche de l'ensemble expérimental. Une distance opérationnelle a été limitée pour la mesure de la vitesse moyenne de la maquette tout en évitant les zones d'accélération et d'écelération. Les étudiants prélèvent les temps nécessaires pour la détermination de la vitesse moyenne.

- Un étudiant pour la lecture du chrono
- Un étudiant en position Départ
- Un étudiant en position Arrivée
- Un étudiant pour la visualisation du système de vague
- Un étudiant pour photographier le système de vagues

Cette opération sera répétée autant de fois selon les besoins du travail expérimental



Figure 3.19 Vague de l'étrave



Figure 3.20 Longueur de vague  $\lambda$

La longueur de vague correspond au nombre de graduation sur la maquette  
(Différence entre deux bosses)

L'étudiant doit vérifier l'hypothèse de la longueur d'onde d'étrave

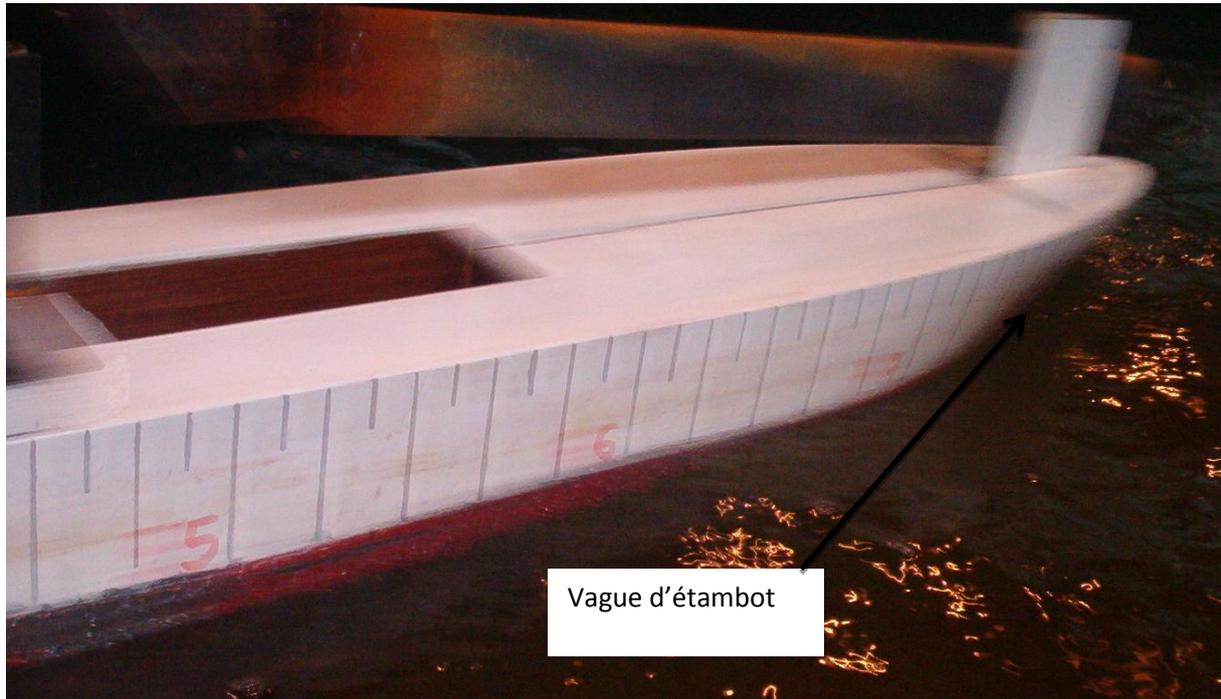


Figure 3.21 Vague d'étrave

<b>Position du variateur de vitesse</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>n Nombre de bosse</b>	<b>Nbre Froude</b>	<b>R<sub>t</sub> (N)</b>

Le prélevement des valeurs de la résistance d'après le cadran permet au étudiant de tracer la courbe de la résistance fonction de la vitesse calculée.  $R_T = f(Fr)$ .

## **Conclusion**

Ces quelques pages donnent plus au moins une approche simple sur les différentes théories et hypothèses utilisés dans le domaine de l'hydrodynamique navale en essayant d'éclaircir le maximum de ce qui a été présenté dans les différents cours d'hydrodynamique.

Parmi les problèmes rencontrés dans la majorité de recherche c'est de considérer l'eau comme incompressible, sont des situations très approchées pour la dynamique des fluides. En plus les difficultés des problèmes dans les maquettes d'essais c'est l'utilisation des modèles simple permettant d'avoir à moindre coût un meilleur rendement.

En parallèle sur le plan numérique de nombreux problèmes sont encore à résoudre c'est la prise en compte de termes non linéaires pour limiter les impacts d'instabilité.

# ANNEXES

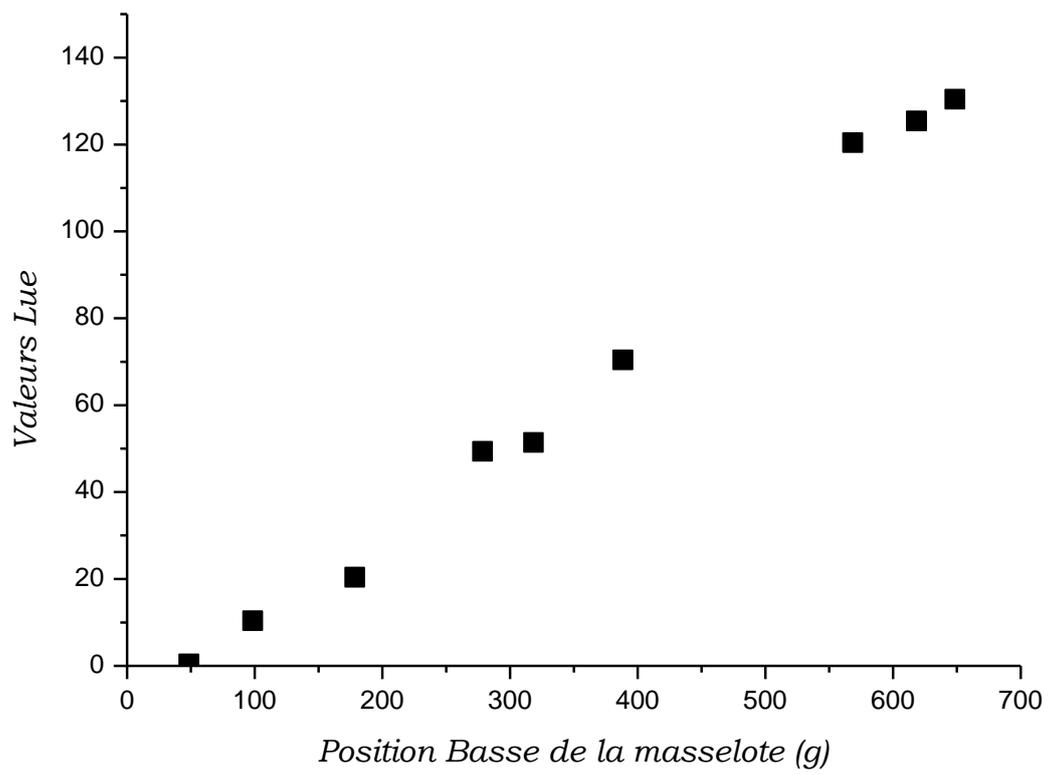


Figure A Courbe d'étalonnage (Position basse de la masselotte)

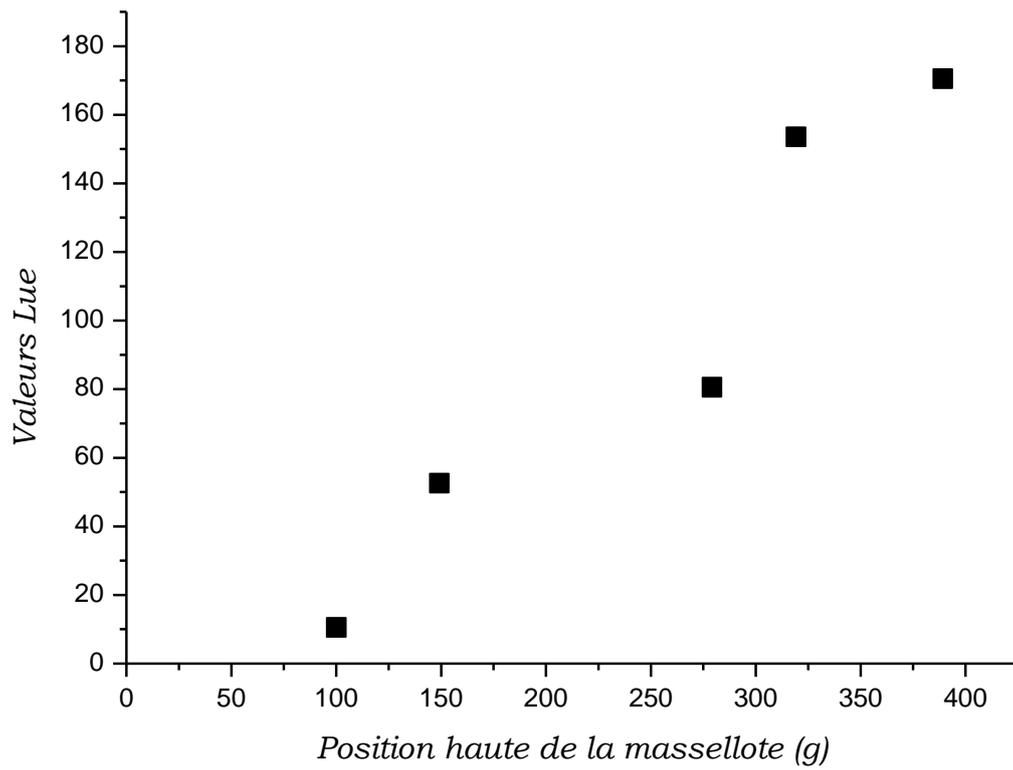


Figure B Courbe d'étalonnage (Position haute de la masselote)

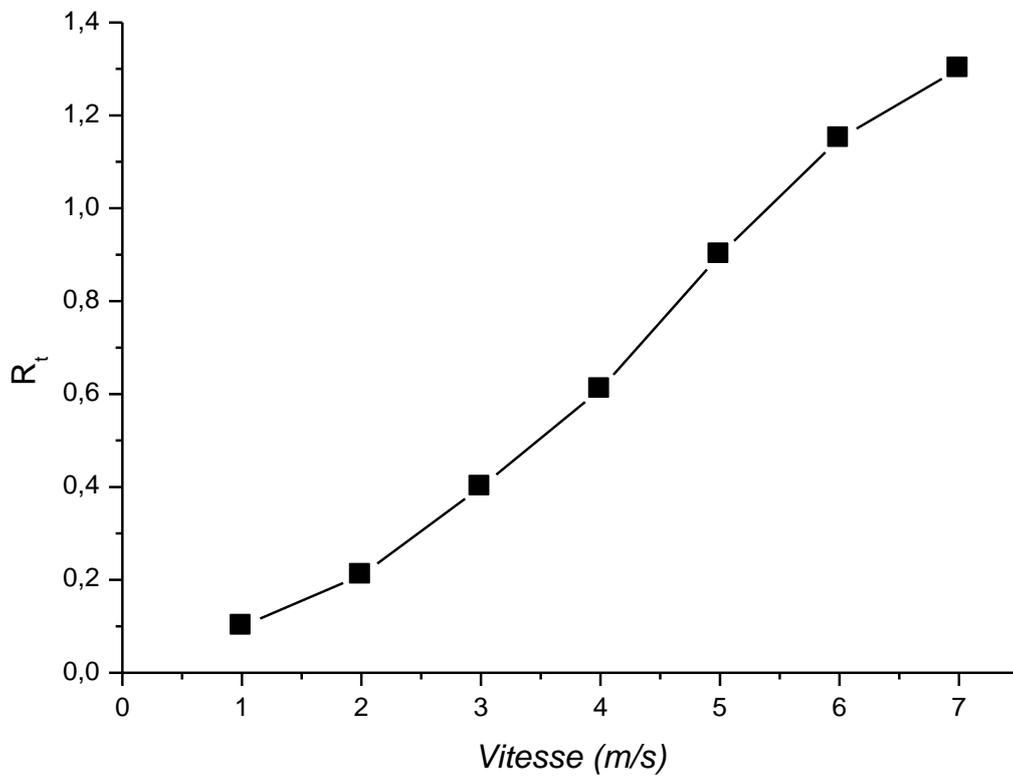


Figure. C Résistance totale VS Vitesse

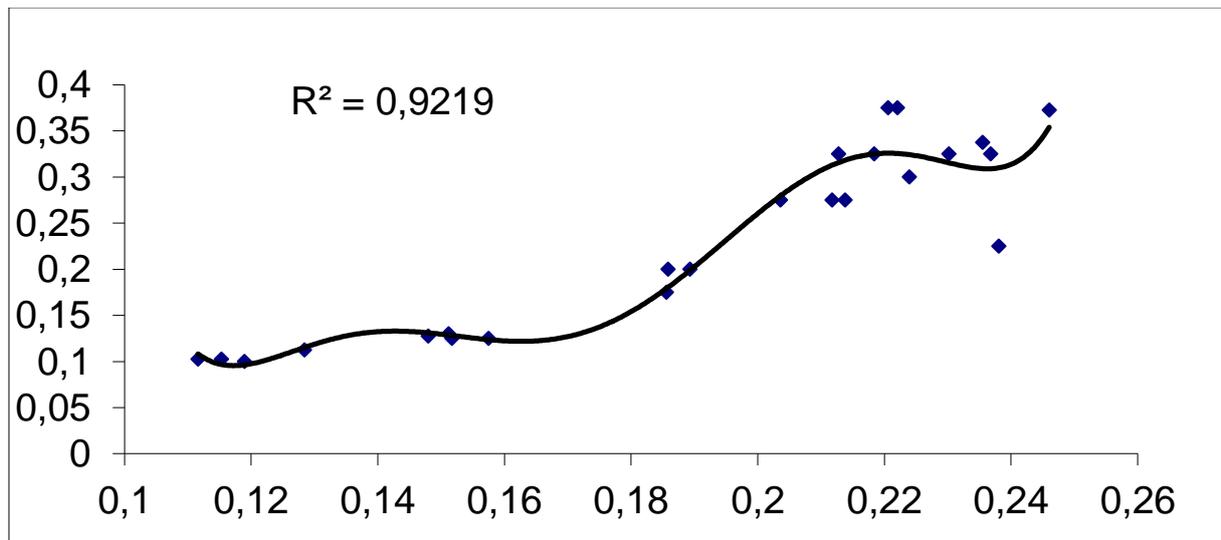


Figure D  $Rw=(Fr)$

## **Références**

[1] Théorie Fondamentale du navire cours Hydrodynamique navale  
Université Paris 6 Juin 2008.

[2] **Sylvain DELACROIX** Caractérisation de la génération et de la  
propagation de bulles autour de la carène des navires scientifiques THÈSE  
DE DOCTORAT Université de Bretagne Occidentale Mécanique des fluides  
soutenue Mars 2015

[3] **Imine O** Cours AN 41 Hydrodynamique navale Département de Génie  
Maritime 2003-2004

[4] **M. Guen** Travaux Pratique AN 41 2003-2004