

# Le calcul des structures cylindriques flottantes .

par

**Ph. RIGO**

Ingénieur Civil, Docteur ès Sciences, Assistant,  
Laboratoires d'Hydrodynamique, d'Hydraulique Appliquée,  
de Constructions Hydrauliques et Navales,  
Université de Liège, Belgique .

## SOMMAIRE

En constructions navales, nombreuses sont les structures cylindriques ; ainsi en est-il de la partie centrale de la majorité des bateaux de grande longueur (péniches, barges, pétroliers, bateaux citerne, ... ).

La vérification des contraintes et des déplacements dans ces structures nous intéresse au premier plan. Il s'agit en effet de définir un outil permettant de calculer ces structures en réduisant au maximum les simplifications et approximations sur la géométrie de la structure, sur les sollicitations et sur l'interdépendance des divers éléments constitutifs (bordés, raidisseurs, barrots, varanges, porques, serres, lisses, ... ).

Notre but est de mettre au point une méthode spécifique aux structures prismatiques raidies. Nous définirons par structure prismatique un assemblage de plaques rectangulaires et de coques cylindriques rigidement liées le long d'arêtes (génératrices) communes.

Les structures prismatiques orthotropes possèdent des particularités géométriques qui rendent leur calcul difficile, surtout lorsque les éléments qui les composent sont raidis (fig. 1 et 2). C'est afin de déterminer leur comportement que nous présentons le logiciel des bordages raidis, L.B.R.-3 ainsi que les développements spécifiques à la construction navale.

C'est au travers du calcul d'un bateau-citerne que le logiciel L.B.R.-3 montre sa puissance et son efficacité en fournissant contraintes et déplacements en tout point de la structure.

## I. AVANT-PROPOS

Vu l'ampleur des développements analytiques de base sur lesquels repose le logiciel L.B.R.-3, ils ne seront pas inclus au sein de cet article; les lecteurs intéressés se référeront aux ouvrages de l'auteur (réf. 1, 2 et 3). Seul un résumé succinct de la méthodologie est présenté de manière à assurer la compréhension de la suite de l'exposé.

## II. INTRODUCTION

Les développements de l'informatique permettent d'étudier des structures de plus en plus complexes dont les bateaux et les navires en sont des exemples types. En effet, un bateau est une structure tri-dimensionnelle comportant des dizaines de sous-structures différentes (bordés, varangues, lisses, porques, serres, ...). Ces éléments de sous-structure sont présents dans l'ensemble à des dizaines, voire des centaines d'exemplaires identiques. Jusqu'à présent, peu nombreux sont les exemples de bateaux pour lesquels un calcul globalisé a été réalisé; c'est-à-dire un calcul qui ne scinde pas les effets localisés des diverses sous-structures du comportement d'ensemble du bateau.

Un navire est en fait une immense construction (figures 1 et 2) composée de centaines d'éléments qui interagissent. Déterminer leur interaction est dorénavant possible grâce au développement de puissants logiciels de calcul dont fait partie L.B.R.-3, le logiciel des bordages raidis (version 3).

L.B.R.-3 n'est pas un logiciel classique du type FEM car il repose sur la résolution analytique des équations différentielles des coques et des plaques orthotropes. La méthode proposée est simple à utiliser car elle repose sur l'assemblage de super-éléments appelés selon le cas, coques ou plaques orthotropes. De plus, elle ne requiert que peu de données structurales tout en fournissant l'ensemble des contraintes (selon les 2 directions principales ainsi que celles de comparaison) et déplacement ( $u, v, w$ ) en tous points de la structure (bordé, jonction nervure-bordé, jonction âme-semelle, ...).

Voyons à présent comment peut s'appliquer le logiciel L.B.R.-3 dans le domaine des constructions navales et plus précisément au cas d'un bateau-citerne.

## II. METHODOLOGIE

Le principe de la méthode repose sur la résolution analytique des équations différentielles régissant le comportement en régime élastique des coques cylindriques raidies. Les équations différentielles de ces coques sont issues de la méthode de Donnel, von Karman et Jenkins et fut développée par N.M Dehousse (réf. 1). Les nervures ou raidisseurs peuvent agir selon 2 directions orthogonales : une dirigée selon les génératrices de la coque et l'autre selon la circonférence (figure 3).

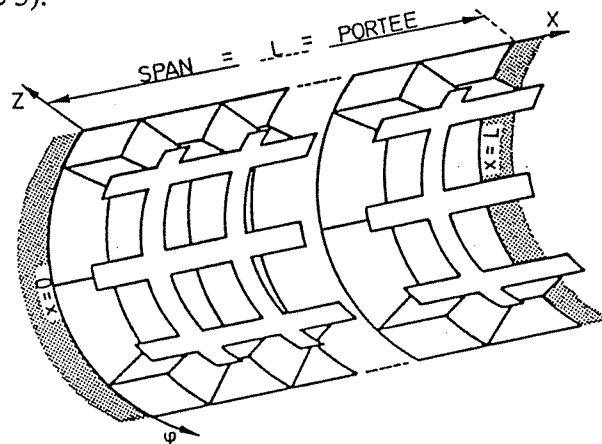


FIGURE 3 : Coque cylindrique orthotrope.

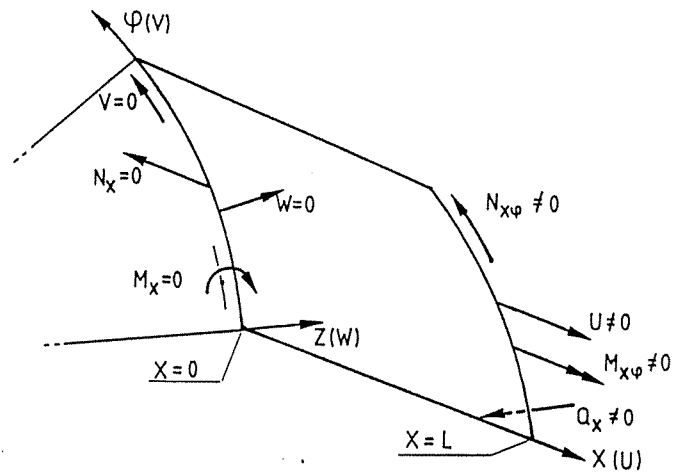


FIGURE 6 : Schéma de principe des conditions d'appuis d'une coque bi-appuyée sur ces bords  $x=0$  et  $x=L$ .

### III. HYPOTHESES ET CALCUL DES STRUCTURES CYLINDRIQUES FLOTTANTES.

Les considérations qui vont suivre sont uniquement axées sur la possibilité d'utiliser le logiciel L.B.R.-3 lors du calcul et de la conception des bateaux et navires de grandes dimensions qui sont caractérisés par un tronçon cylindrique assez important (70 à 85 % de la longueur). Il n'entre, en effet, nullement dans nos intentions d'étudier la proue et la poupe des navires. Le domaine d'application visé est donc les péniches, barges, ... , pour les bateaux intérieurs et les pétroliers, bateaux citernes, ... , pour les bateaux de mer.

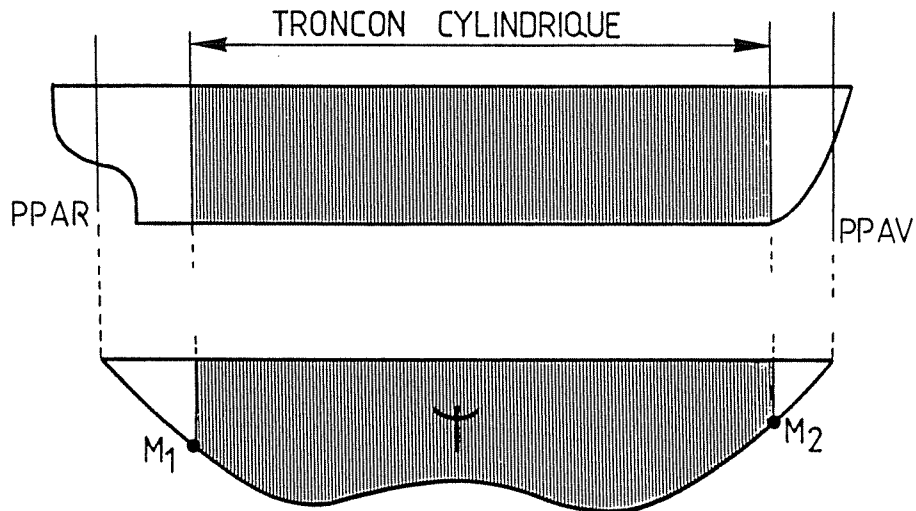


FIGURE 7 : Vue longitudinale du bateau en vue de la détermination du tronçon cylindrique et des moments d'extrémités  $M_1$  et  $M_2$ .

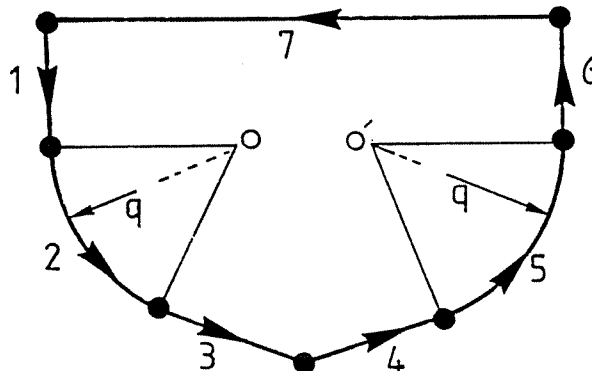
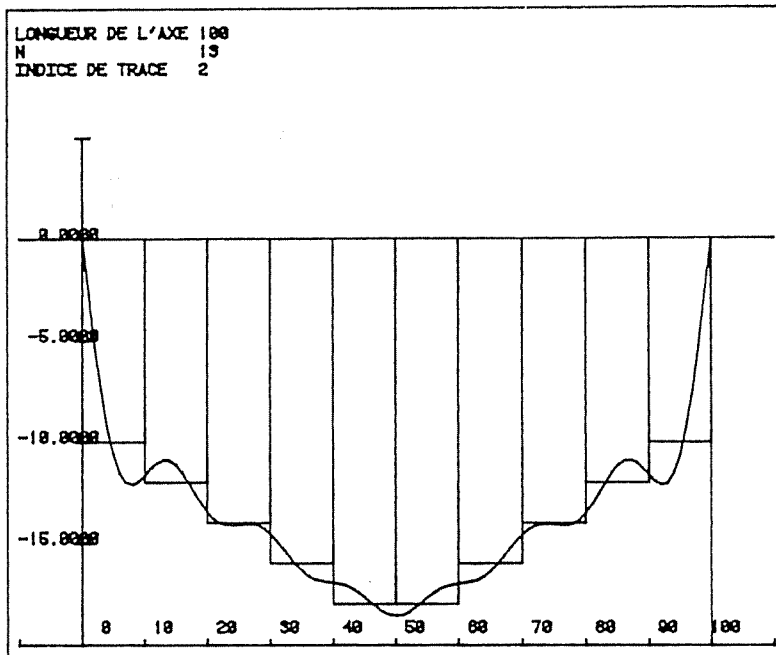


FIGURE 8 : Schéma la discrétisation d'un bateau.

A l'origine, le domaine d'application pour lequel le logiciel L.B.R.-3 a été développé est celui des constructions hydrauliques, écluses, barrages mobiles, ... . Dans ce domaine, les charges (poids propre  $P$ , pression  $Z$ ) sont constantes selon l'axe  $OX$  (figure 10). Ainsi, la pression hydrostatique agissant sur une porte d'écluse varie uniquement avec la profondeur, la distribution des charges étant la même quelle que soit la section transversale.

Cette uniformité dans les sollicitations n'existe plus lors de l'étude de bateaux (figure 11). En effet, le poids du chargement varie longitudinalement et, de plus, il existe de multiples charges localisées agissant sur une partie limitée du navire. Il s'agit donc de développer en série de Fourier non plus une charge uniforme (figure 10) mais une charge variant graduellement (figure 11).



### CONSTRUCTION NAVALE

FIGURE 11 : Distribution longitudinale du chargement d'un bateau et diagramme de la sollicitation représenté suite au développement en série de Fourier (13 termes).

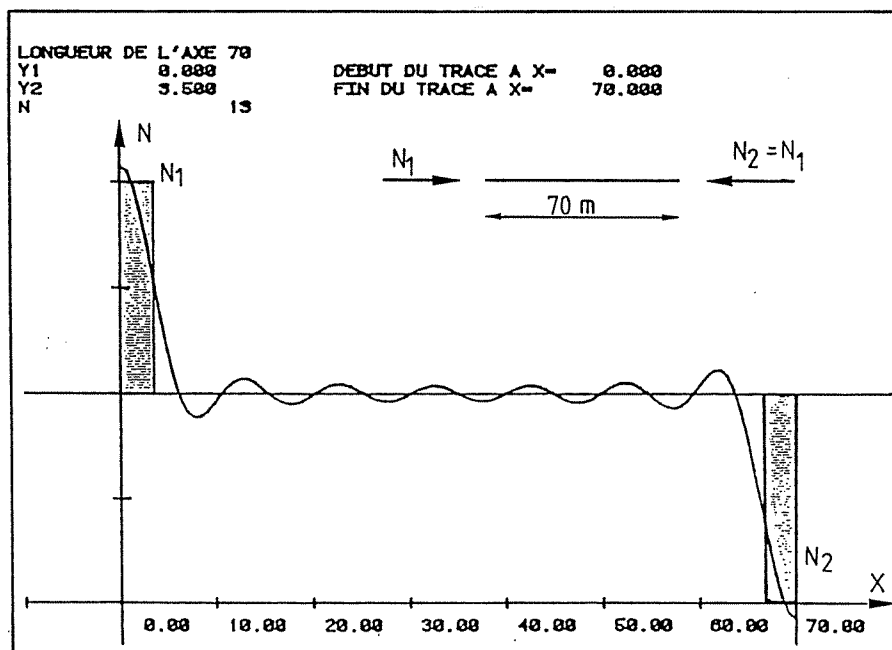


FIGURE 12 : Développement en série de Fourier (13 termes) du diagramme des efforts normaux dans la poutre navire sollicitée par 2 forces  $N$  d'extrémités identiques ( $N_1=N_2$ ).

La structure transversale de cette partie cylindrique est définie aux figures 15 et 16 ; la figure 17 donne le schéma de la discrétisation choisie. La structure est discrétisée en 7 plaques, chacune étant raidie par leurs nervures correspondantes (figures 15 et 16).

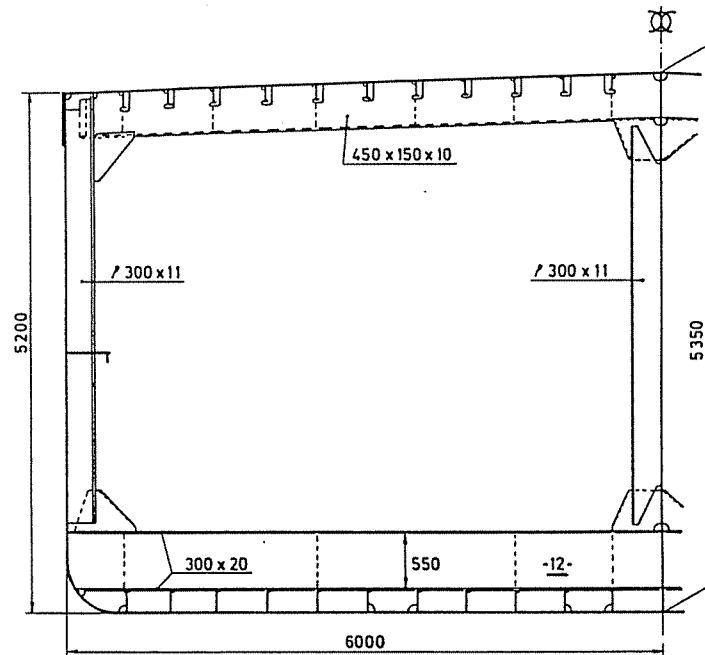


FIGURE 15 : Coupe transversale du bateau citerne, espacement des porques 3 m.

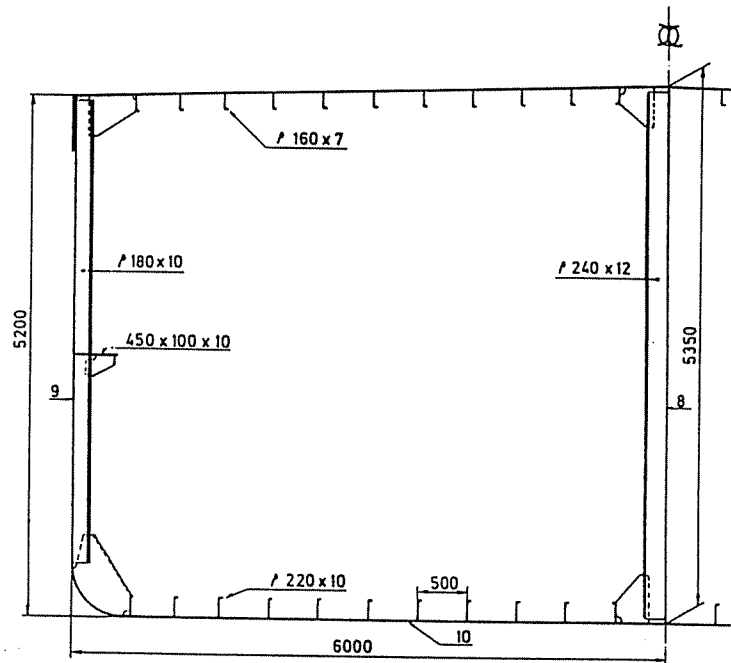


FIGURE 16 : Coupe transversale du bateau citerne, espacement de 0,5 m.

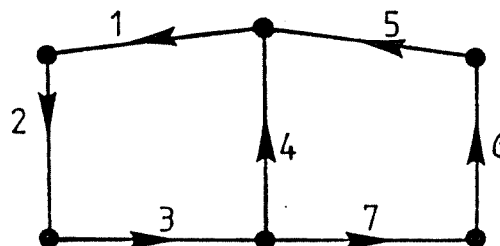


FIGURE 17 : Schéma de la discrétisation du bateau-citerne en 7 plaques orthotropes.

En pratique, 13 termes du développement en série de Fourier ont été nécessaires pour obtenir les figures 21 et 22 donnant le diagramme des contraintes longitudinales et transversales dans le bordé et cela dans la section transversale la plus sollicitée,  $x=35\text{m}$ , ainsi que l'indique la figure 20.

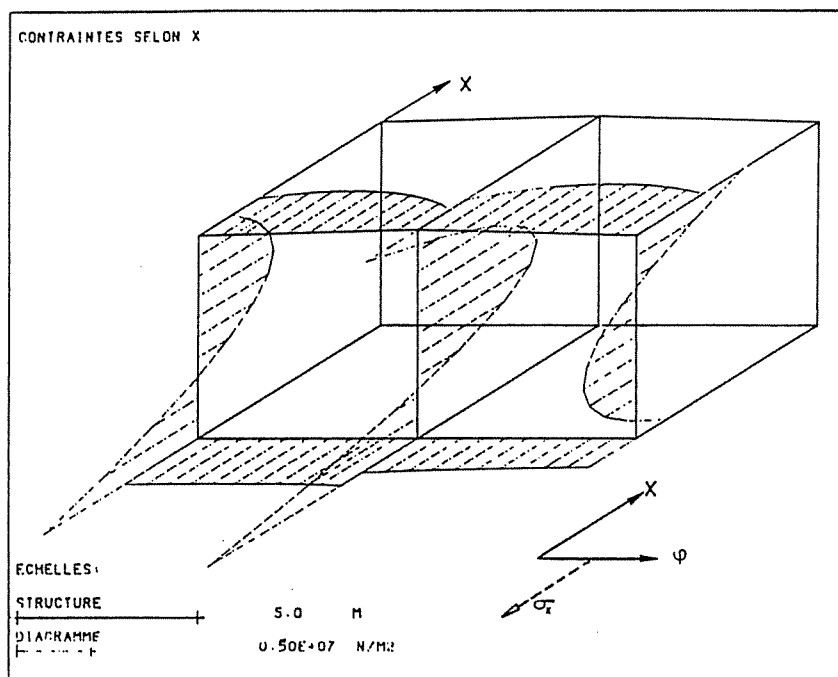


FIGURE 21 : Contraintes longitudinales  $\sigma_x$  dans le bordé au droit de la section transversale  $x=15\text{m}$ .

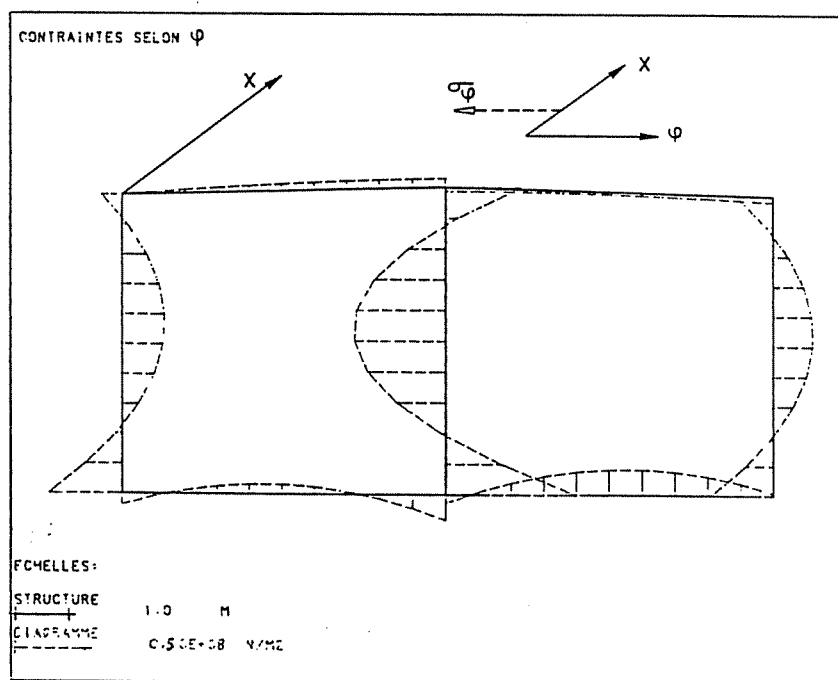


FIGURE 22 : Contraintes transversales  $\sigma_\phi$  dans le bordé au droit de la section transversale  $x=15\text{m}$ .

Soit  $58.000\text{ kN.m}$  le moment maximum établi selon les règles du Bureau Veritas (réf. 4). Les contraintes maximales correspondant à ce cas extrême ont été déterminées. Ainsi, le diagramme des contraintes de comparaison dans le bordé est représenté figure 23. La contrainte maximale de comparaison au niveau du bordé est de  $101\text{ N/mm}^2$ .

## VII. REFERENCES

1. DEHOUSSE N.M., "*Les bordages raidis en construction hydraulique*", Mémoires du Centre d'Etudes, de Recherche et d'Essais Scientifiques du Génie Civil (Nouvelle série), Vol. n°1, Liège, 1961.
2. RIGO Ph., "*Applications des développements harmoniques aux calculs des ouvrages hydrauliques métalliques*", Collection des Publications de la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège, 1988.
3. RIGO Ph., "*Calcul des structures cylindriques métalliques orthotropes*", Mémoires du Centre d'Etudes, de Recherche et d'Essais Scientifiques du Génie Civil (Nouvelle série), Vol. n°60, Liège, 1988.
4. BUREAU VERITAS, "*Règlement pour la construction et la classification des bateaux de Navigation Intérieure*", Paris, 1984..

\* \* \*

\*

0

*Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays sans autorisation préalable de l'ATMA et de l'auteur.*