

9^{èmes} JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

10 - 11 - 12 MARS 2003

POITIERS - FUTUROSCOPE

REPONSE A LA HOULE D'UNE BARGE ELASTIQUE

ELASTIC BARGE RESPONSE TO WAVES

⁽¹⁾Malenica Š., ⁽²⁾Molin B., ⁽²⁾Remy F. & ⁽³⁾Senjanović I.

⁽¹⁾BUREAU VERITAS, 17bis Place des Reflets, 92400 Courbevoie, France

⁽²⁾Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Marseille, 13451 Marseille Cedex 20, France

⁽³⁾Faculté de Mécanique et de la Construction Navale, I.Lucica 5, 10000 Zagreb, Croatie

Résumé

Pour les structures flottantes de grandes dimensions, et de faible rigidité, les périodes propres de flexion deviennent du même ordre de grandeur que les périodes propres des mouvements de corps rigide, toutes les deux "tombant" dans les périodes de houle usuels. Il s'ensuit que la réponse élastique de la structure devient du même ordre que la réponse en modes rigides. Les problèmes de modélisation s'accroissent car, pour la réponse structurelle, on ne peut plus se contenter du transfert des pressions issues d'un calcul de tenue à la mer classique (corps rigide). On présente ici une méthode capable de traiter simultanément les interactions de la houle avec les modes rigides et élastiques. Le problème structurel est modélisé de façon globale en utilisant le modèle dit de "poutre-navire" qui est résolu par les éléments finis 1D, tandis que le modèle hydrodynamique est résolu par une méthode des singularités 3D classique (code HYDROSTAR-BV). La méthode est validée par des essais sur une barge élastique.

Summary

In the case of large floating structures with relatively weak flexural rigidity, the flexural natural periods become of the same order as the periods of the rigid body modes, both "falling" into the common wave periods. This means that the elastic response of the structure becomes of the same order as the classical rigid body response. The problems of modelisation increase and we can no more treat the structural response by the pressure transfer issued from the classical rigid body seakeeping analysis. We present here a method able to treat the two problems simultaneously. The structural part is modelled in a global sense, as a nonuniform beam, using the 1D finite element method, while the hydrodynamic part is solved using the classical 3D code base on the Boundary Integral Equations technique (code HYDROSTAR BV). The method is validated by comparisons with model tests on an elastic barge.

1 Introduction

On s'intéresse ici à la réponse linéaire à la houle d'une barge élastique, et on compare les résultats numériques aux résultats des essais. Les applications pratiques concernent les études des phénomènes connus sous le nom de "springing" c.à.d. des vibrations induites par la houle, lesquelles sont observées sur les structures relativement souples (très grands bateaux, barges, bateaux en aluminium,...).

Du fait que les périodes propres de la barge "tombent" dans les périodes de houle, le couplage hydroélastique devient essentiel et doit être pris en compte correctement dans les méthodes de simulation numérique. La méthode qu'on a choisie est basée sur la décomposition modale pour représenter les modes des déformations de la structure. Comme il s'agit là du comportement global, on se permet de modéliser la structure par une poutre non uniforme et on résout le problème par la méthode des éléments finis 1D. D'autre part, la partie hydrodynamique est modélisée en utilisant une méthode de singularités 3D (code HYDROSTAR-BV). Une fois mise en oeuvre, la méthode est validée par des comparaisons avec des résultats d'essais réalisés sur une barge élastique (au BGO First).

2 Modèle structurel

Du point de vue structurel, la barge est modélisée par une poutre élastique dont les déformations sont décrites par le modèle connu sous le nom de "Timoshenko beam". Selon ce modèle la déformée totale $U(x, t)$ se décompose en deux parties :

$$U(x, t) = W(x, t) + V(x, t) \quad (1)$$

avec :

- $W(x, t)$ - déflexion due à la flexion
- $V(x, t)$ - déflexion due au cisaillement

D'autre part, puisqu'on s'intéresse ici à des phénomènes harmoniques, on passe dans le domaine fréquentiel en écrivant :

$$U(x, t) = \Re\{u(x)e^{-i\omega t}\} \quad , \quad W(x, t) = \Re\{w(x)e^{-i\omega t}\} \quad , \quad V(x, t) = \Re\{v(x)e^{-i\omega t}\} \quad (2)$$

Avec ces notations les équations qui décrivent les déformés de la poutre peuvent être écrites sous la forme suivante :

$$\frac{d^2}{dx^2} [EI \frac{d^2 w}{dx^2}] + \omega^2 [\frac{EI}{GA} m + I_m] \frac{d^2 w}{dx^2} + \omega^2 [\omega^2 \frac{I_m}{GA} - 1] m w = f^h \quad (3)$$

$$u = [1 - \omega^2 \frac{I_m}{GA}] w - \frac{EI}{GA} \frac{d^2 w}{dx^2} \quad (4)$$

avec :

- E - module d'élasticité
- I - moment d'inertie de la section par rapport à l'axe y
- G - module de cisaillement
- A - surface de la section participant au cisaillement
- I_m - moment d'inertie de la masse par rapport à l'axe y (par unité de longueur)
- m - masse par unité de longueur
- f^h - effort extérieur par unité de longueur

2.1 Méthode des éléments finis et calcul des modes propres secs

La méthode qu'on a choisie pour résoudre le problème structurel est la méthode des éléments finis qu'on rappelle brièvement.

La structure est subdivisée en un nombre finis des éléments (fig.1) dont les caractéristiques (EI, GA, m, I_m) sont supposées constantes. Le champ de déplacement sur chaque élément est défini par 4 fonctions de forme correspondant aux 4 degrés de liberté de l'élément (déplacements et courbures dans les 2 noeuds).

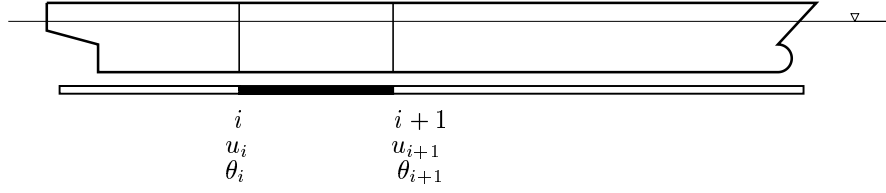


Figure 1: *Modèle de poutre navire*

Après quelques manipulations on aboutit à l'équation matricielle pour chaque élément :

$$([K]^i - \omega^2[M]^i)\{U\}^i = \{F\}^i - \{f^h\}^i \quad (5)$$

avec :

- $[K]^i$ - matrice de rigidité
- $[M]^i$ - matrice de masse
- $\{U\}^i$ - vecteur des déplacements des noeuds
- $\{F\}^i$ - vecteur des efforts dans les noeuds
- $\{f^h\}^i$ - vecteur des efforts hydrodynamiques

En imposant l'équilibre des efforts et la continuité des déplacements aux noeuds on obtient l'équation matricielle globale :

$$([\mathbf{K}] - \omega^2[\mathbf{M}])\{\mathbf{U}\} = \{\mathbf{F}^h\} \quad (6)$$

où $[\mathbf{M}]$ est la matrice de masse, $[\mathbf{K}]$ est la matrice de raideur, $\{\mathbf{F}^h\}$ est le vecteur des efforts extérieurs (pression hydrodynamique) et $\{\mathbf{U}\}$ est le vecteur des inconnues nodales [déplacements u_i et pentes $\theta_i = (\partial u / \partial x)_i$]:

$$\{\mathbf{U}\} = \{u_1, \theta_1, u_2, \theta_2, \dots, u_i, \theta_i, u_{i+1}, \theta_{i+1}, \dots, u_{N_e}, \theta_{N_e}, u_{N_e+1}, \theta_{N_e+1}\}^T \quad (7)$$

L'équation (6) permet de formuler un problème aux valeurs propres :

$$([\mathbf{K}] - \omega^2[\mathbf{M}])\{\mathbf{U}\} = \{0\} \quad (8)$$

dont la solution donne les pulsations propres et les modes propres secs:

$$\omega_i \quad , \quad \{\mathbf{U}\}_i \quad , \quad i = 1, N \quad (9)$$

$$[\Xi] = [\{\mathbf{U}\}_1, \{\mathbf{U}\}_2, \dots, \{\mathbf{U}\}_i, \dots, \{\mathbf{U}\}_N] \quad (10)$$

Notons que les modes ainsi obtenus sont orthogonaux ce qui fait que les matrices:

$$[\mathbf{m}] = [\Xi]^T [\mathbf{M}] [\Xi] \quad , \quad [\mathbf{k}] = [\Xi]^T [\mathbf{K}] [\Xi] \quad (11)$$

sont diagonales.

Notons également que le problème aux valeurs propres "sèches" possède deux solutions à la fréquence zéro avec les vecteurs propres associés représentant les mouvements du corps rigide (pilonnement et tangage).

3 Modèle hydrodynamique et couplage

Il s'agit ici d'expliciter les efforts extérieurs lesquels, dans notre cas, sont dus à la pression hydrodynamique. Selon les principes de la théorie linéaire, on divise d'abord les efforts hydrodynamiques en une partie qui dépend des déformées de la structure F^R , et une partie "d'excitation pure" F^{DI} :

$$F^h = F^R + F^{DI} \quad (12)$$

Notons qu'il s'agit ici des efforts intégrés sur le corps selon les fonctions qui vont être choisies pour représenter les déplacements de la structure. En effet le déplacement total d'un point sur la structure est supposé sous la forme suivante :

$$\mathbf{H}(x, y, z) = \sum_{i=1}^N \xi_i \mathbf{h}^i(x, y, z) = \sum_{i=1}^N \xi_i [h_x^i(x, y, z)\mathbf{i} + h_y^i(x, y, z)\mathbf{j} + h_z^i(x, y, z)\mathbf{k}] \quad (13)$$

où les fonctions \mathbf{h}^i sont les fonctions de base qu'on choisit d'être associées aux modes propres secs de la structure. On déduit pour le cas de la flexion verticale :

$$\mathbf{h}^i = -\frac{\partial u}{\partial x}(Z - Z_N)\mathbf{i} + 0\mathbf{j} + u\mathbf{k} \quad (14)$$

où Z est la coordonnée verticale d'un point sur la surface du corps et Z_N est la position verticale de la ligne neutre.

3.1 Problème hydrodynamique

On adopte la théorie potentielle et on définit le potentiel total φ avec les équations suivantes :

$$\left. \begin{array}{ll} \Delta\varphi = 0 & \text{dans le fluide} \\ -\nu\varphi + \frac{\partial\varphi}{\partial z} = 0 & z = 0 \\ \frac{\partial\varphi}{\partial n} = -i\omega\mathbf{H}\mathbf{n} & \text{sur } S_B \end{array} \right\} \quad (15)$$

où ν est le nombre d'onde $\nu = \omega^2/g$.

Grâce à la linéarité on peut décomposer le potentiel total comme suit :

$$\varphi = \varphi_I + \varphi_D - i\omega \sum_{j=1}^N \xi_j \varphi_{Rj} \quad (16)$$

où :

- φ_I - potentiel incident, $\varphi_I = -igA/\omega e^{\nu(z+ix)}$
- φ_D - potentiel de diffraction
- φ_{Rj} - potentiels de radiation

De (13) et (15), on déduit les conditions sur le corps pour le potentiel de diffraction et les potentiels de radiation :

$$\frac{\partial\varphi_D}{\partial n} = -\frac{\partial\varphi_I}{\partial n}, \quad \frac{\partial\varphi_{Rj}}{\partial n} = \mathbf{h}^j\mathbf{n} \quad (17)$$

Notons encore que les potentiels de diffraction et de radiation doivent également satisfaire la condition de radiation à l'infini.

3.1.1 Les efforts

Une fois les potentiels trouvés, les efforts sont calculés par l'intégration de la pression sur la surface mouillée du corps. Du fait que le problème considéré est linéaire la pression peut être écrite sous la forme :

$$p = i\omega\rho\varphi - \rho g z \quad (18)$$

En ce qui concerne la partie associée au potentiel φ on la divise en une partie d'excitation pure \mathbf{F}^{DI} :

$$\mathbf{F}_i^{DI} = i\omega\rho \iint_{S_B} (\varphi_I + \varphi_D) \mathbf{h}^i \mathbf{n} dS \quad (19)$$

et une partie \mathbf{F}^{Rj} dépendante des déformations \mathbf{h}^j de la structure :

$$\mathbf{F}_i^{Rj} = \rho\omega^2 \iint_{S_B} \varphi_{Rj} \mathbf{h}^i \mathbf{n} dS \quad (20)$$

De façon habituelle, on définit maintenant les masses ajoutées et amortissements:

$$A_{ij} = \rho\Re\left\{\iint_{S_B} \varphi_{Rj} \mathbf{h}^i \mathbf{n} dS\right\} \quad , \quad B_{ij} = \rho\omega\Im\left\{\iint_{S_B} \varphi_{Rj} \mathbf{h}^i \mathbf{n} dS\right\} \quad (21)$$

En ce qui concerne la partie "hydrostatique" associée à $-\rho g z$ les choses sont légèrement plus compliquées parce que il s'agit d'intégrer un terme d'ordre $O(1)$ sur une surface mouillée en mouvement.

Définissons d'abord l'effort total instantané, associé au mode \mathbf{h}^i :

$$\mathbf{F}_i^{Hs} = -\rho g \iint_{\tilde{S}_B} z \tilde{\mathbf{h}}^i \tilde{\mathbf{n}} dS \quad (22)$$

où le signe " $\tilde{\cdot}$ " désigne la valeur instantanée de la quantité en question.

On écrit maintenant l'expression pour le même effort dans la position au repos :

$$\mathbf{F}_i^{Hs} = -\rho g \iint_{S_B} (Z + \delta Z)(\mathbf{h}^i + \delta\mathbf{h}^i)(\mathbf{n} + \delta\mathbf{n}) dS \quad (23)$$

où δ désigne le changement dû aux mouvements/déformations du corps.

On déduit facilement le terme linéaire de (23) et on le subdivise en trois parties :

$$\mathbf{F}_i^{Hs} = -\rho g \iint_{S_B} (\delta Z \mathbf{h}^i \mathbf{n} + Z \delta\mathbf{h}^i \mathbf{n} + Z \mathbf{h}^i \delta\mathbf{n}) dS = \mathbf{F}_i^p + \mathbf{F}_i^h + \mathbf{F}_i^n \quad (24)$$

La variation des différentes quantités peut être trouvée en utilisant la dérivée directionnelle. On écrit :

$$\delta Z = (\mathbf{H}\nabla)Z = \mathbf{H}\mathbf{k} \quad , \quad \delta\mathbf{h}^i = (\mathbf{H}\nabla)\mathbf{h}^i \quad , \quad \delta\mathbf{n} = (\mathbf{H}\nabla)\mathbf{n} \quad (25)$$

où l'opérateur $\mathbf{H}\nabla$ représente la dérivée directionnelle :

$$\mathbf{H}\nabla = H_x \frac{\partial}{\partial X} + H_y \frac{\partial}{\partial Y} + H_z \frac{\partial}{\partial Z} = \sum_{i=1}^N \xi_i \mathbf{h}^i \nabla = \sum_{i=1}^N \xi_i (h_x^i \frac{\partial}{\partial X} + h_y^i \frac{\partial}{\partial Y} + h_z^i \frac{\partial}{\partial Z}) \quad (26)$$

Après quelques manipulations, assez encombrantes, on obtient les différents coefficients de rappel correspondant à chaque partie de l'effort hydrostatique :

$$C_{ij}^p = \rho g \iint_{S_B} h_z^j (h_x^i n_x + h_y^i n_y + h_z^i n_z) dS \quad (27)$$

$$C_{ij}^h = \rho g \iint_{S_B} Z [(h_x^j \frac{\partial h_x^i}{\partial x} + h_y^j \frac{\partial h_x^i}{\partial y} + h_z^j \frac{\partial h_x^i}{\partial z}) n_x + (h_x^j \frac{\partial h_y^i}{\partial x} + h_y^j \frac{\partial h_y^i}{\partial y} + h_z^j \frac{\partial h_y^i}{\partial z}) n_y + (h_x^j \frac{\partial h_z^i}{\partial x} + h_y^j \frac{\partial h_z^i}{\partial y} + h_z^j \frac{\partial h_z^i}{\partial z}) n_z] dS \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
C_{ij}^n = & \rho g \iint_{S_B} Z \{ [(\frac{\partial h_y^j}{\partial y} + \frac{\partial h_z^j}{\partial z}) n_x - \frac{\partial h_y^j}{\partial x} n_y - \frac{\partial h_z^j}{\partial x} n_z] h_x^i \\
& + [-\frac{\partial h_x^j}{\partial y} n_x + (\frac{\partial h_x^j}{\partial x} + \frac{\partial h_z^j}{\partial z}) n_y - \frac{\partial h_z^j}{\partial y} n_z] h_y^i \\
& + [-\frac{\partial h_x^j}{\partial z} n_x - \frac{\partial h_y^j}{\partial z} n_y + (\frac{\partial h_x^j}{\partial x} + \frac{\partial h_y^j}{\partial y}) n_z] h_z^i \} dS
\end{aligned} \tag{29}$$

Pour obtenir la matrice de rappel complète, il faut rajouter à l'effort de la pression la partie due à la gravité. On écrit :

$$\mathbf{F}_i^m = - \iiint_V g \delta \mathbf{h}^i \mathbf{k} dm \tag{30}$$

de façon à pouvoir écrire pour le coefficient de rappel :

$$C_{ij}^m = \iiint_V g (h_x^j \frac{\partial h_z^i}{\partial x} + h_y^j \frac{\partial h_z^i}{\partial y} + h_z^j \frac{\partial h_z^i}{\partial z}) dm \tag{31}$$

L'expression finale pour le coefficient de rappel hydrostatique C_{ij} devient donc :

$$C_{ij} = C_{ij}^p + C_{ij}^h + C_{ij}^n + C_{ij}^m \tag{32}$$

Notons que cette expression est générale et valable pour n'importe quel type de déformation du corps. On peut ainsi vérifier que dans le cas classique du corps rigide on obtient les coefficients habituels, en mettant pour les six fonctions de base les expressions suivantes :

$$\mathbf{h}^1 = \mathbf{i} , \mathbf{h}^2 = \mathbf{j} , \mathbf{h}^3 = \mathbf{k} , \mathbf{h}^4 = \mathbf{i} \wedge (\mathbf{R} - \mathbf{R}_Q) , \mathbf{h}^5 = \mathbf{j} \wedge (\mathbf{R} - \mathbf{R}_Q) , \mathbf{h}^6 = \mathbf{k} \wedge (\mathbf{R} - \mathbf{R}_Q) \tag{33}$$

où \mathbf{R}_Q désigne la position du point de calcul.

3.2 Problème couplé

D'après (11,19,21,32) on déduit l'équation du système couplé :

$$\left\{ -\omega^2 ([\mathbf{m}] + [\mathbf{A}]) - i\omega [\mathbf{B}] + ([\mathbf{k}] + [\mathbf{C}]) \right\} \{ \xi \} = \{ \mathbf{F} \} \tag{34}$$

avec :

- [\mathbf{m}] - matrice réduite de masse propre (11)
- [\mathbf{k}] - matrice réduite de raideur structurelle (11)
- [\mathbf{A}] - matrice des masses ajoutées (21)
- [\mathbf{B}] - matrice des amortissements hydrodynamiques (21)
- [\mathbf{C}] - matrice de la raideur hydrostatique (32)
- { ξ } - vecteur des amplitudes (complexes) modales (13)
- { \mathbf{F} } - vecteur de l'excitation (19)

La solution de cette équation donne les amplitudes des différents modes et le déplacement d'un point quelconque de la structure est donné par (13).

3.3 Calcul des modes mouillés

L'équation (34) permet de formuler le problème aux valeurs propres

$$\left\{ -\omega^2 ([\mathbf{m}] + [\mathbf{A}]) + ([\mathbf{k}] + [\mathbf{C}]) \right\} \{ \xi \} = \{ 0 \} \tag{35}$$

dont la solution donne les modes propres mouillés. Comme la masse ajoutée dépend de la pulsation, il est clair qu'un processus d'itération est nécessaire. Ce qu'il faut noter également, c'est que dans le cas d'une structure mouillée il n'existe pas de mode de pulsation nulle.

4 Résultats

On se propose de valider la méthode développée en comparant les résultats numériques à ceux issus d'une campagne d'essais sur une barge élastique.

4.1 Description des essais

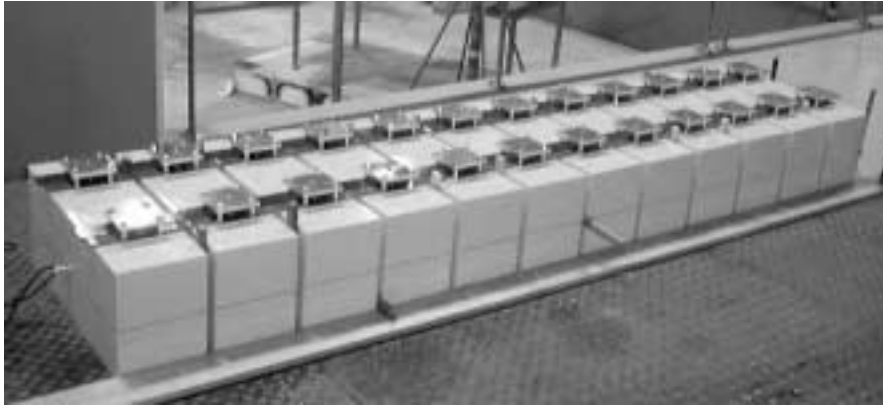


Figure 2: *Le modèle expérimental.*



Figure 3: *Comportement de la barge lors des essais (Configuration 1).*

Les essais ont été réalisés au bassin de génie océanique BGO-First. Le modèle consiste en une succession de 12 flotteurs, longs de 19 cm, larges de 60 cm et hauts de 25 cm. Le tirant d'eau lors des essais était de 12 cm. Les 12 flotteurs sont reliés, au niveau du pont, par deux lames élastiques en acier. Lors des essais deux jeux de lames ont été utilisés, les premières épaisses de 4 mm, les secondes épaisses de 6 mm, leur largeur étant de 5 cm dans les deux cas. Pour les essais avec les lames de 6 mm (configuration 2), le module avant a été remplacé par un module non parallélépipédique, de mêmes longueur, largeur et hauteur hors tout. Une troisième configuration, où les flotteurs sont liés rigidement, a fait l'objet de quelques essais complémentaires.

Dans les trois configurations l'espacement entre les flotteurs était de 15 mm, de manière à éviter leurs contacts. Aucun mouvement particulier de la surface libre dans l'espace inter-flotteurs n'a été observé.

Les essais ont été effectués en houles de face, régulières et irrégulières, le modèle étant ancré par un système de faible raideur (période propre en cavalemt de l'ordre de 10 s). Quelques essais d'extinction ont aussi été réalisés, la barge étant soulevée en un point (milieu ou extrémité) par un câble cassant au déport vertical souhaité.

L'instrumentation consistait en un suivi optique du mouvement de 6 flotteurs sur 12, numérotés 1, 3, 5, 7, 9, 11 en partant de la proue, à l'aide du système KRYPTON dont la précision est inférieure au millimètre. Le point de référence, pour le mouvement de chaque module, est situé au niveau du pont, à son extrémité avant (vers la proue). Des accéléromètres ont aussi été placés dans les deux modules extrêmes.

4.2 Calcul des modes propres secs/mouillés

Bien que les essais ne portaient pas sur l'identification précise des modes propres de la barge, on présente quand même quelques résultats numériques et on les compare aux modèles semi-analytiques simplifiés. En effet il est possible [3] d'utiliser un modèle simplifié pour estimer les premières pulsations propres d'une structure uniforme. En particulier on peut montrer que les pulsations propres sont données par l'expression:

$$\omega_i^2 = \frac{c}{m} + \frac{EI}{m} \frac{(\lambda_i L)^4}{L^4} \quad (36)$$

avec :

- c - coefficient de raideur hydrostatique par unité de longueur $c = \rho g B$
- m - masse totale de la barge par unité de longueur $m = \rho B d(1 + C_m)$
- B - largeur de la barge
- d - tirant d'eau
- C_m - coefficient de masse ajoutée par unité de longueur (valeur prise $C_m = 1.7$)
- L - longueur de la barge
- $\lambda_i L$ - 0, 4.735, 7.855, 11, ...

Notons qu'il s'agit là d'une simplification du modèle dans le sens où les effets hydrodynamiques 3D ont été négligés, le coefficient C_m a été estimé approximativement et le modèle de poutre est plus simple (Euler).

Dans le tableau 1. on donne d'abord les valeurs des pulsations propres mouillées approximatives et celles obtenues par la méthode présentée.

Configuration	<i>Pilonnement</i>	<i>Tangage</i>	<i>Flexion1</i>	<i>Flexion2</i>
1 (Analytique)	5.503	5.503	6.166	9.429
1 (Numérique)	5.500	5.710	6.450	9.560
2 (Analytique)	5.503	5.503	7.510	15.105
2 (Numérique)	5.530	5.790	8.035	15.400

Table 1. Les pulsations propres mouillées.

Sur la figure 4 on montre les 4 premiers modes de la structure sèche (S) et mouillée (M). Comme on le présentait, les modes de pilonnement et de tangage purs n'existent plus, et on note également qu'il existe une différence notable entre les modes secs et les modes mouillés flexibles qui est due principalement aux effets hydrodynamiques 3D, qui sont absents dans le cas des modes secs et également dans le cas de la méthode simplifiée semi-analytique.

4.3 Réponse de la structure

Sur la figure 5 on présente d'abord les RAO des différents modes de mouvement (rigide et élastique) pour la configuration la plus souple qui est la configuration 1. On observe une participation importante à la réponse du premier mode de flexion dont la pulsation propre est de $6.45 rad/s$. Les autres modes de flexion répondent moins car on est plus loin de leur résonance. Les RAO du pilonnement et de tangage se trouvent peu affectés par la flexibilité de la structure. Sur la figure 6 on montre les RAO du déplacement vertical des différents flotteurs, et on peut observer un très bon accord entre les résultats numérique et les essais. Des conclusions similaires peuvent être tirées de deux autres configurations dont les résultats équivalents sont montrés sur les figures 7,8 et 9,10 respectivement. Comme prévu, la participation des modes flexibles à la réponse de la barge est beaucoup plus faible pour la configuration 2 et inexistante pour la configuration 3. Dans toutes les trois configurations un amortissement supplémentaire

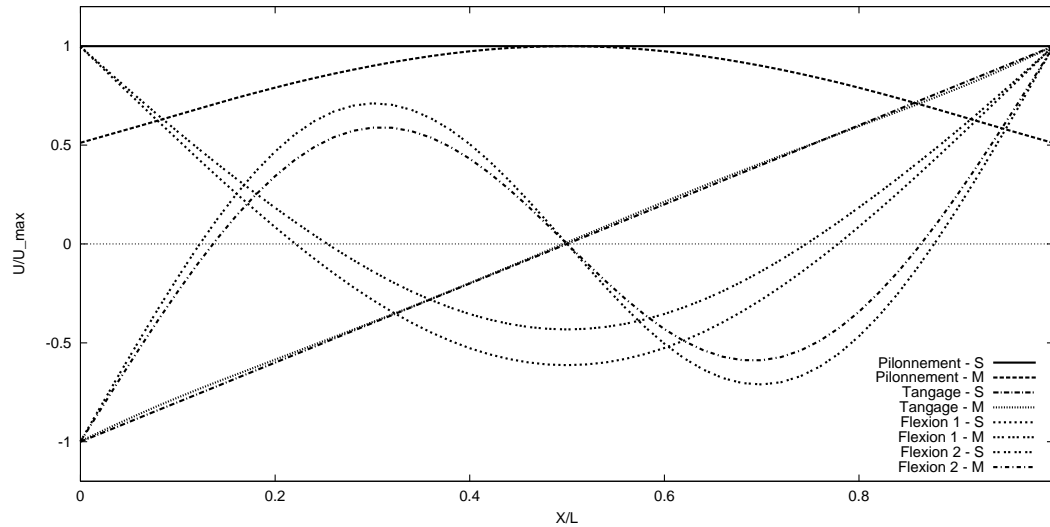


Figure 4: *Les premiers modes propres pour la configuration 1.*

égal à 5 pour cent de l'amortissement critique a été ajouté.

Pour se rendre un peu mieux compte du comportement de la barge aux différentes fréquences, sur les figures qui suivent on montre l'évolution de la déformée de la barge au cours d'une période de la houle. On observe bien le comportement élastique de la barge surtout près de la résonance du premier mode de flexion (fig. 13 en particulier). La flexion est moins prononcée pour les plus petites périodes et quasi inexistante pour les très grandes périodes. On retrouve également un comportement de corps rigide pour la configuration 3.

5 Conclusion

On a présenté ici une méthode numérique capable de traiter le problème du couplage hydroélastique d'un corps souple flottant en présence de la houle. La mise en oeuvre a nécessité, pour le problème structural, la construction d'un modèle simple de poutre non-uniforme 1D, et pour le problème hydrodynamique des modifications du code classique de diffraction-radiation 3D (HYDROSTAR). Une méthode de couplage efficace entre les deux modèles a été développée sur les bases d'une approche modale. La méthode a été validée par des essais spécialement dédiés à ce problème, et on peut dire que l'outil est maintenant opérationnel et prêt à être utilisé pour les études d'ingénierie.

Remerciements

Les essais au BGO-First ont été réalisés dans le cadre du GIS-Hydro, avec un soutien financier du Conseil Général du Var.

References

- [1] BISHOP R.E.D., PRICE W.G., 1979. : "*Hydroelasticity of ships.*", Cambridge University Press.
- [2] MALENICA Š., 1998. : "Hydroelastic coupling of beam structural model with 3D hydrodynamic model.", 2nd Conf. on Hydroelasticity., Kyushu, Japon.
- [3] REMY F. & MOLIN B., 2002. : "Essais GIS-HYDRO sur une maquette de barge élastique. Analyse des résultats de mesure.", Rapport ESIM.
- [4] SENJANOVIC I., 1990. : "*Ship vibrations*", FSB, Zagreb (*en Croate*)

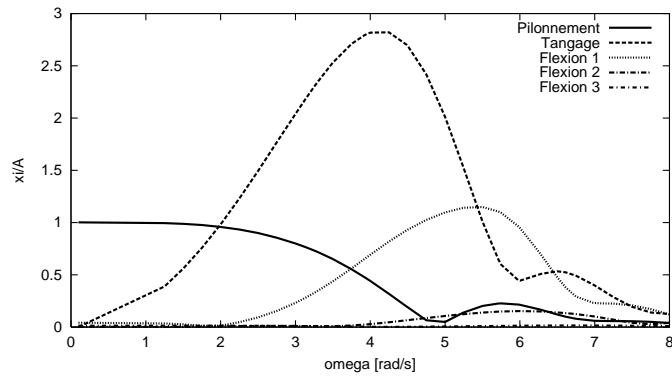


Figure 5: RAO-s des différents modes de déformations pour la configuration 1.

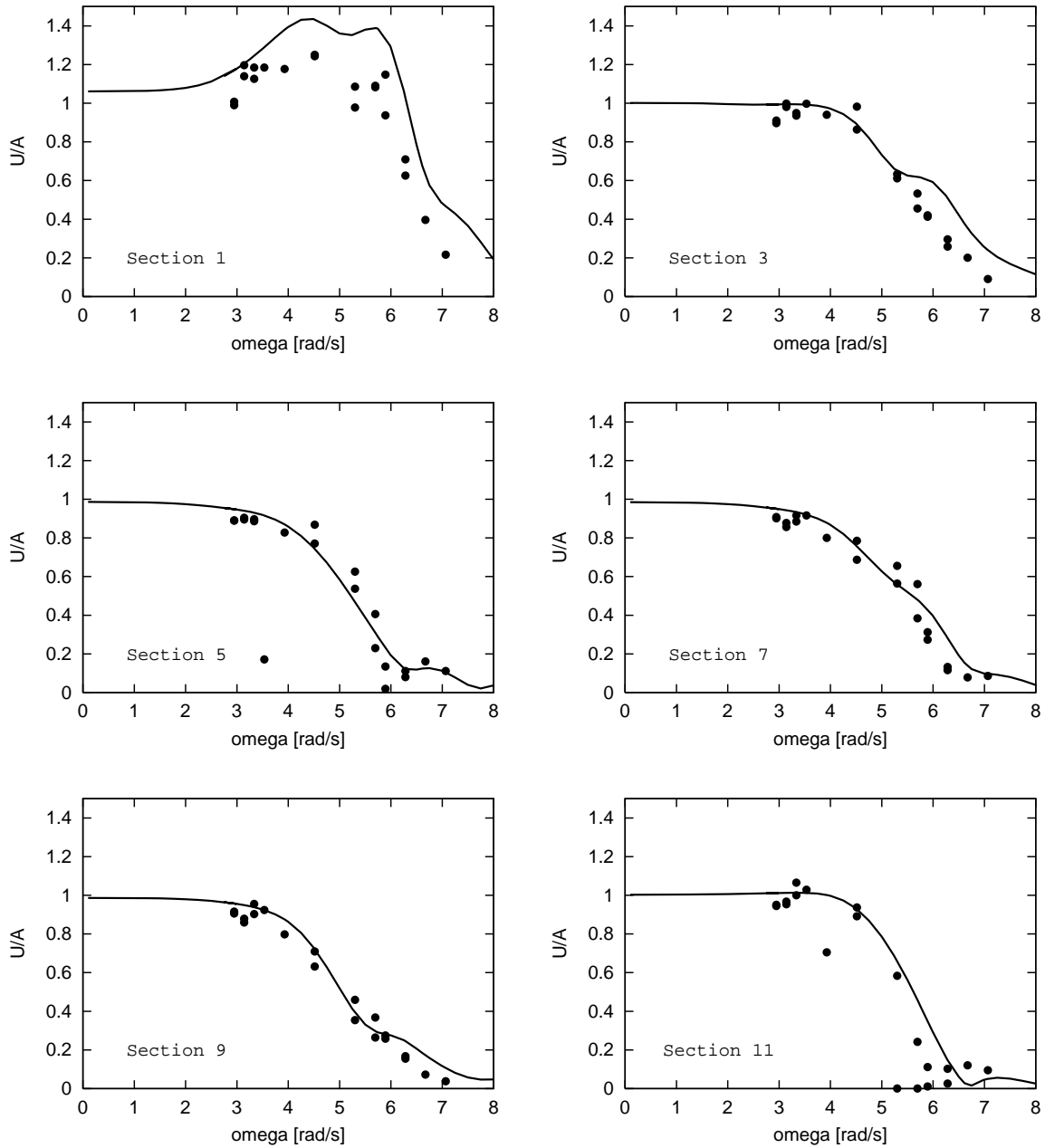


Figure 6: RAO du déplacement vertical des différentes sections pour la Configuration 1.

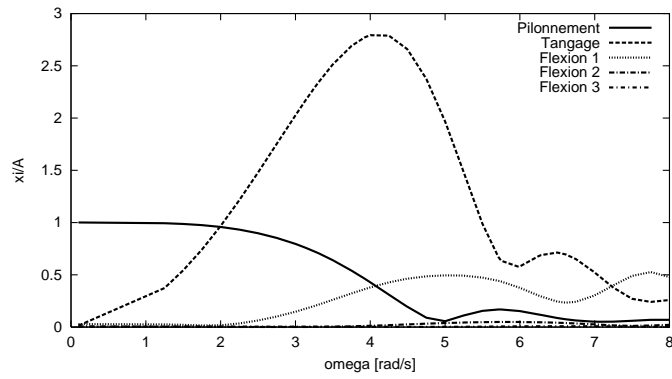


Figure 7: RAO-s des différents modes de déformations pour la configuration 2.

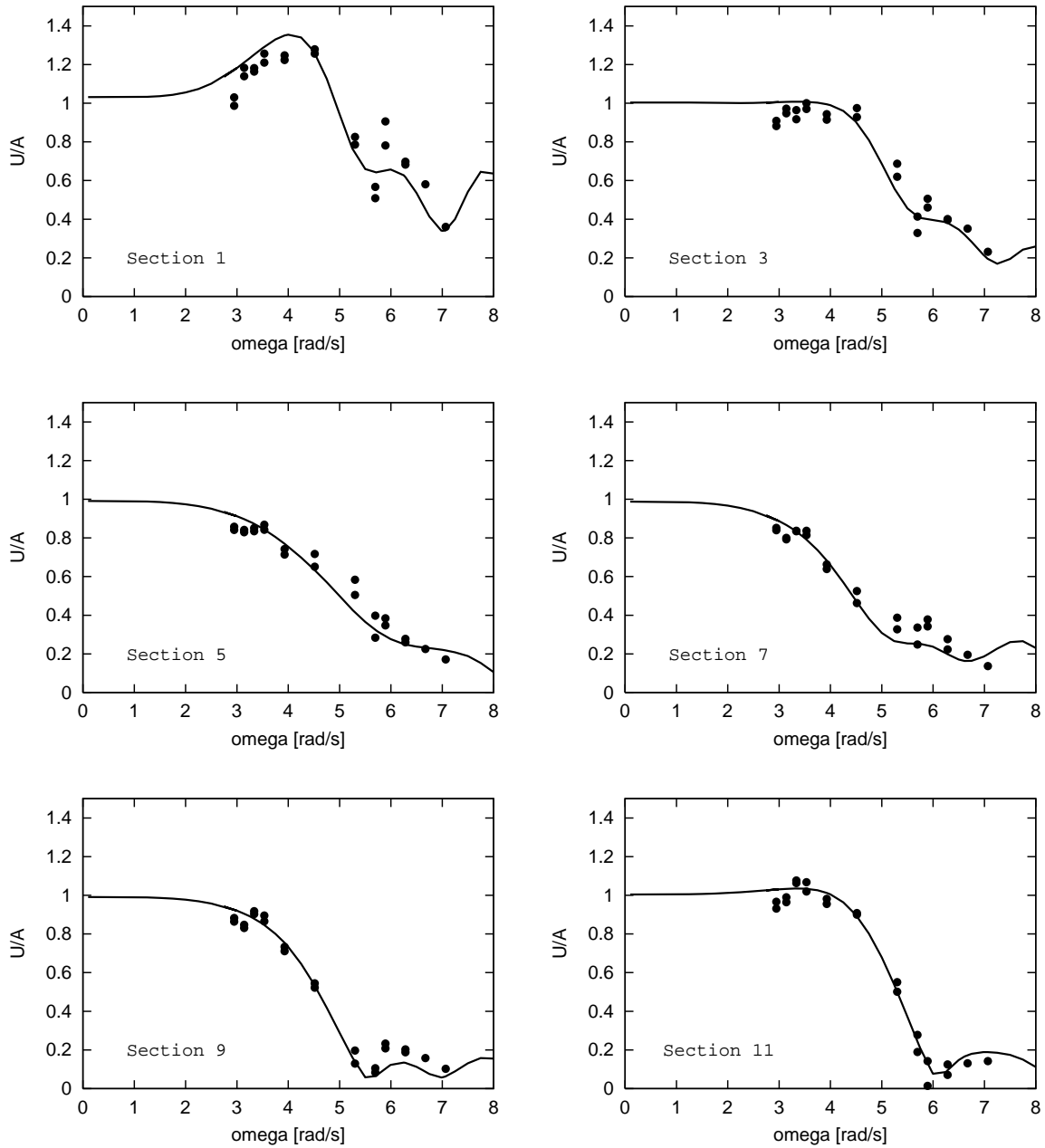


Figure 8: RAO du déplacement vertical des différentes sections pour la Configuration 2.

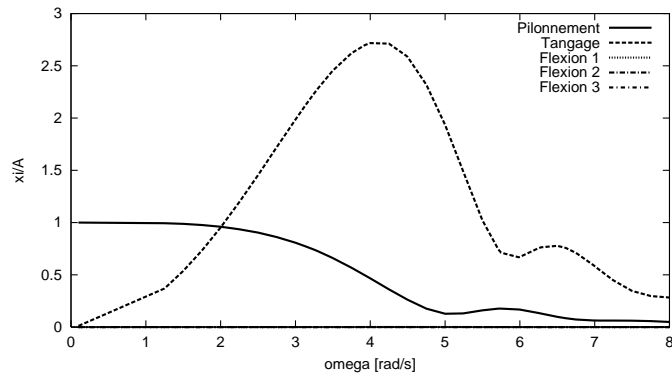


Figure 9: RAO-s des différents modes de déformations pour la configuration 3.

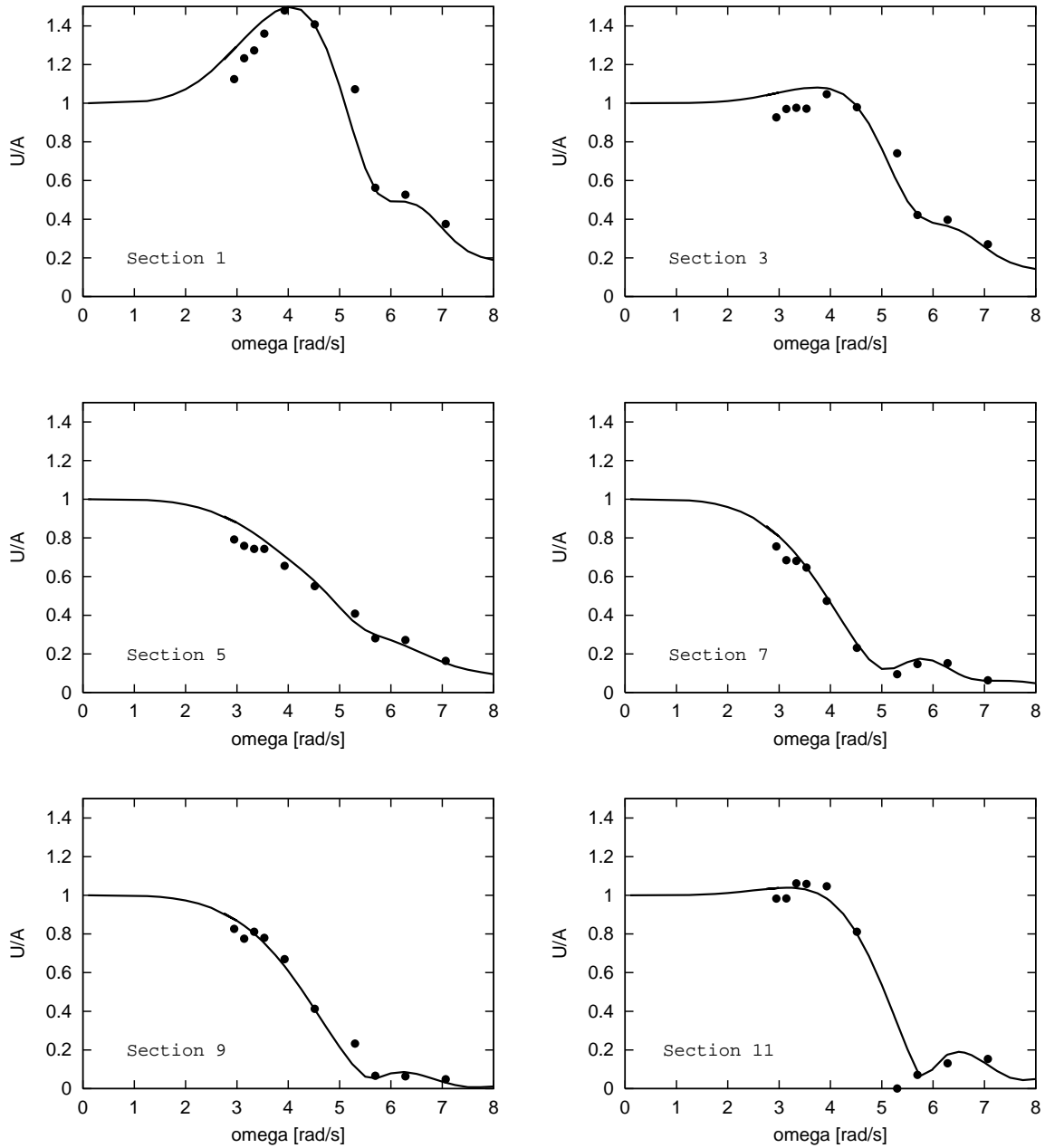


Figure 10: RAO du déplacement vertical des différentes sections pour la Configuration 3.

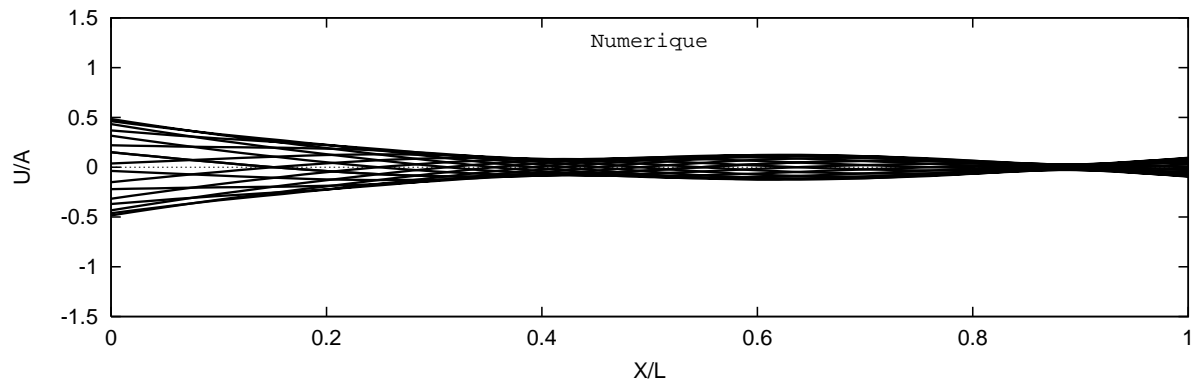
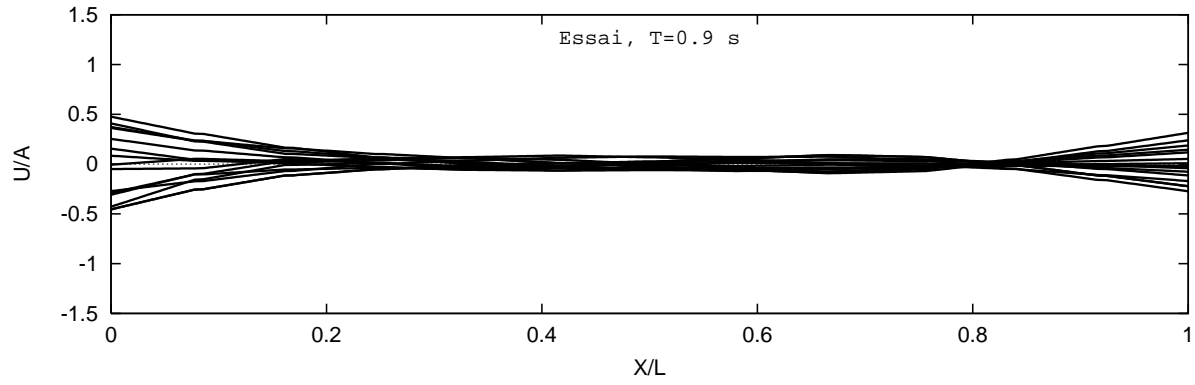


Figure 11: La déformée de la barge au cours du temps.(Configuration 1, $T=0.9$ s)

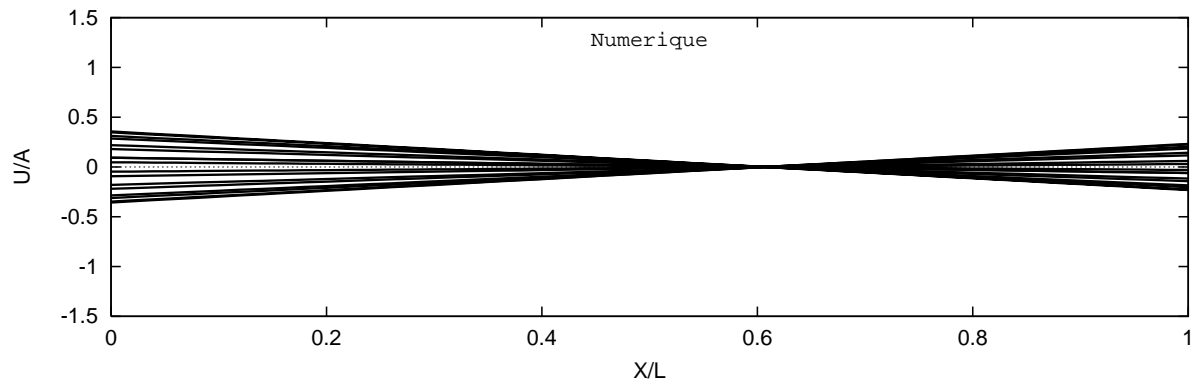
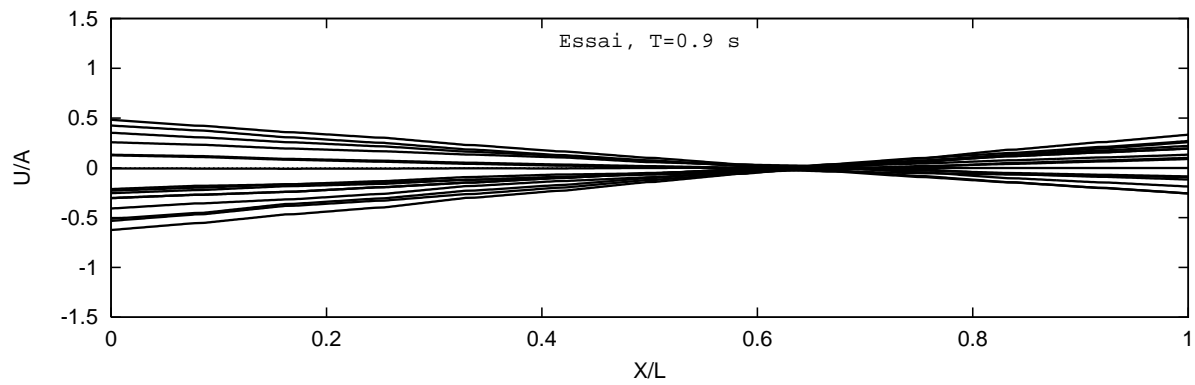


Figure 12: La déformée de la barge au cours du temps.(Configuration 3, $T=0.9$ s)

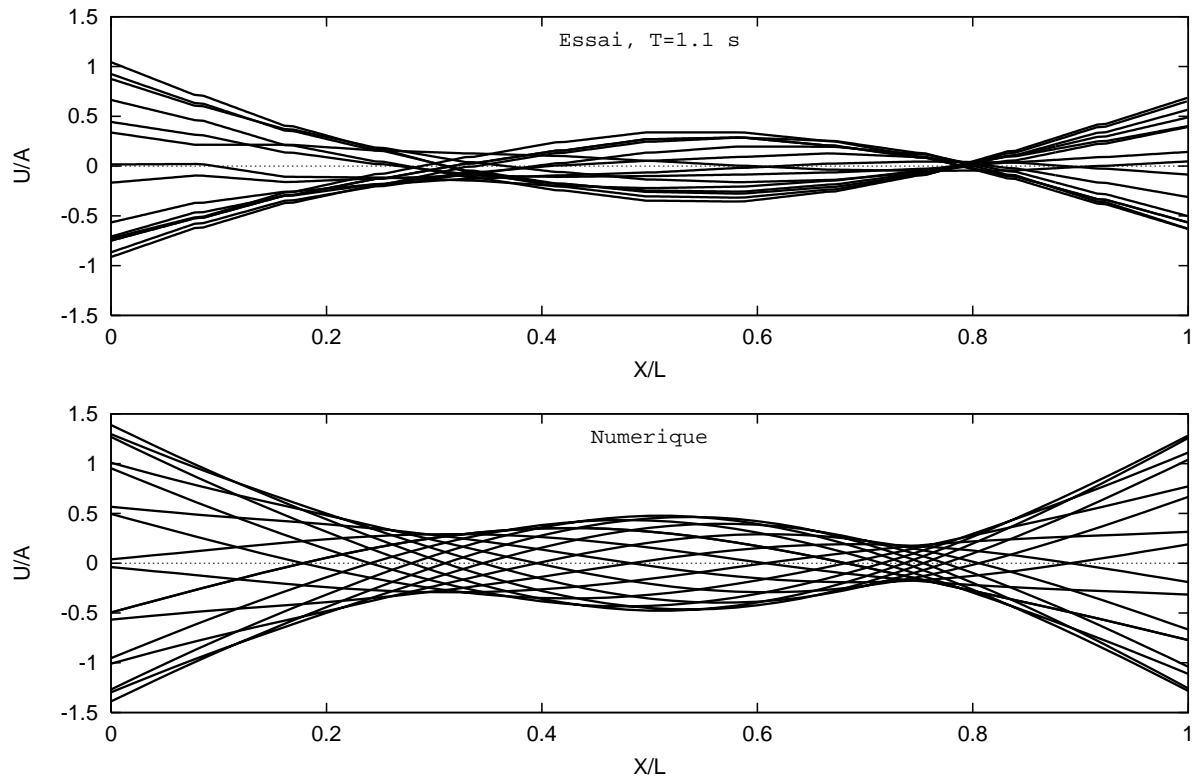


Figure 13: *La déformée de la barge au cours du temps.(Configuration 1, T=1.1 s)*

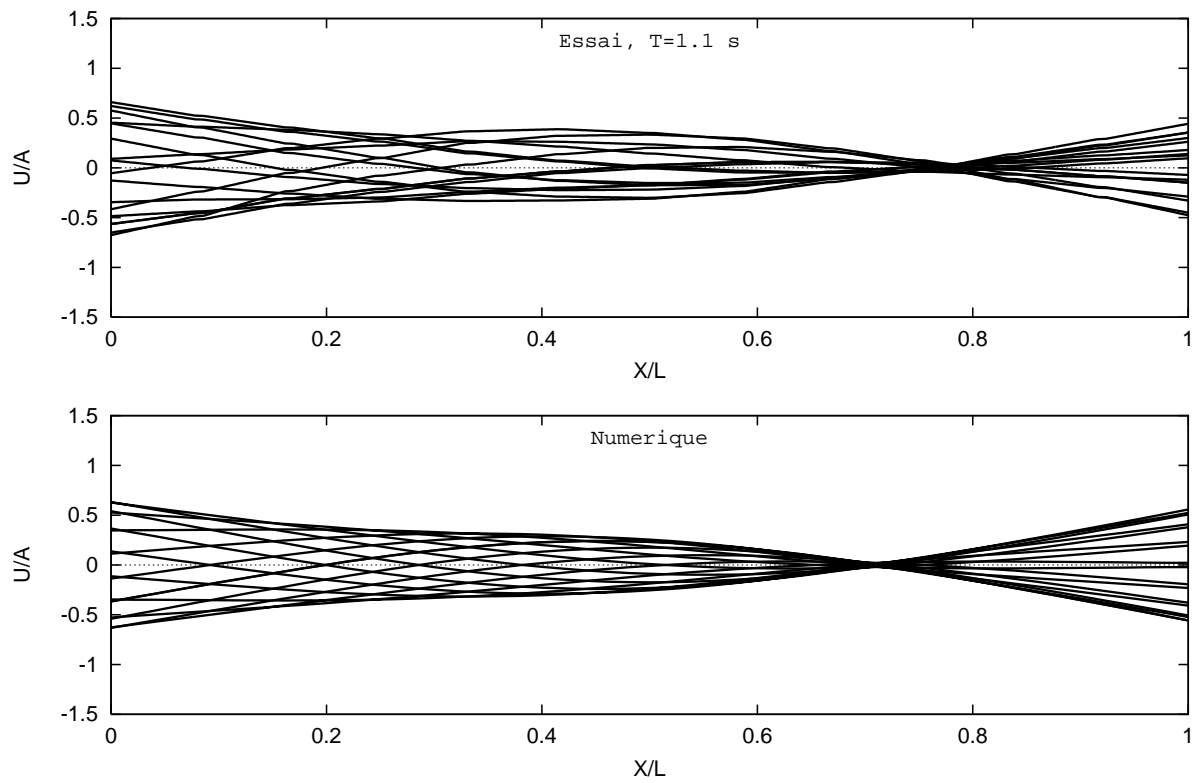


Figure 14: *La déformée de la barge au cours du temps.(Configuration 2, T=1.1 s)*