

6e JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

24, 25, 26 février 1997 - Nantes

ETUDE DES FILETS SOUPLES IMMERGES (APPLICATION AUX CHALUTS)

Jean-Sébastien Bessonneau, Dominique Marichal

LMF-DHN, Ecole Centrale de Nantes - BP 92101 - 44321 Nantes Cedex 3
Tel: 02 43 37 16 25, Fax: 02 40 37 25 23

Résumé

Nous proposons une méthode originale pour la modélisation numérique du comportement dynamique de filets souples immergés.

Il s'agit d'un problème complexe de couplage fluide-structure. Nous décomposons les alèses en un ensemble de barres indéformables articulées par des liaisons rotules. Nous calculons les efforts hydrodynamiques sur chaque barre en généralisant les hypothèses de Landweber et Richtmeyer et en utilisant certains résultats de la théorie des écoulements potentiels. Nous appliquons le Principe Fondamental de la Dynamique sur chaque liaison rotule. Nous aboutissons ainsi à un système différentiel algébrique. Ces équations sont résolues à l'aide de schémas temporels de type Euler.

Nous présentons enfin une simulation de la mise à l'eau d'un dispositif de pêche particulier: le chalut.

Summary

We propose an original method for the numerical modelisation of the dynamic behaviour of submerged supple nets.

It's a complex problem of "fluid-structure" interaction. We modelise the flexible structure by a set of rigid bars articulated with some rotoïdal links. The hydrodynamic forces applied to each bar are determined by generalizing Landweber and Richtmeyer hypothesis and by using some results of the potential flow theory. We apply the Fundamental Principle of Dynamic to each rotoïdal link. We come down to a differential-algebraic system. These equations are solved thanks to some temporal Euler's schemes.

Finally, we present a simulation of a trawl launching.

L'exploitation des ressources maritimes, et particulièrement des ressources vivantes, fait souvent appel à l'usage de structures réticulées souples (filets). Comme dans de nombreuses activités humaines traditionnelles, cette technique a été longtemps l'apanage d'artisans qui se transmettaient de génération en génération leur savoir-faire et leurs outils. Il faut d'ailleurs reconnaître que l'expérience de ces hommes leurs a permis de créer, très souvent de manière empirique, des systèmes efficaces et bien adaptés aux conditions de leur métier. Le début de notre siècle a vu apparaître, en même temps que les premiers bateaux de pêche à moteur, le **chalut à panneaux**. Il s'agit de **filets souples** dont la forme, dans les conditions de pêche, peut être caractérisée très grossièrement de conique. En général, leur ouverture horizontale est assurée par des dispositifs hydrodynamiques : les **panneaux** - leur ouverture verticale par des **lests** et des **flotteurs**. Certains chaluts **frottent sur le fond**. Le chalut est remorqué par un navire de surface à l'aide de câbles sous-marins : les **fûnes**. L'ensemble forme le **train de pêche**. Pendant longtemps, le patron pêcheur est resté dans l'incapacité de connaître la forme exacte prise par son chalut lorsqu'il est immergé.

Nous avons été poussés à entreprendre une étude scientifique de ces structures par différentes motivations, en autres :

- le souci de rendre les instruments de pêche de plus en **plus performants**, non pour augmenter les prises mais pour diminuer les coûts d'exploitation.
- le souci de **préserver la ressource** en évitant de capturer les juvéniles ("sélectivité" des chaluts)
- le souci d'améliorer la **sécurité** en pêche (problème de la croche des chaluts par exemple).

Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'une étroite collaboration entre les équipes IFREMER* des laboratoires de Lorient et Boulogne sur Mer et une équipe de la Division d'Hydrodynamique Navale de l'Ecole Centrale de Nantes.

L'étude des chaluts peut se faire en **canal à circulation d'eau**. Ainsi IFREMER dispose de deux équipements de ce genre situés l'un à Lorient et l'autre à Boulogne sur Mer. En plus de démonstrations pour les professionnels de la pêche, ils permettent la mesure, sur des modèles réduits, des formes et tensions des chaluts.



Figure 1
Observation d'un chalut
au bassin de Lorient

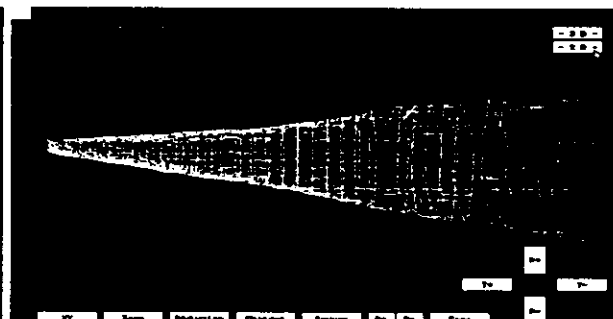


Figure 2
Relevé automatique des formes d'un chalut
("Chalutscope" - Bassin de Lorient)

Nous venons de développer une méthodologie et un équipement nouveau qui permettent de relever automatiquement la forme d'une maquette de chalut à l'aide d'un faisceau laser et de la numérisation d'images vidéo.

* IFREMER 8, rue François Toullec 56100 Lorient 02 97 87 73 29

Participent également à ces études Gérard Bavouzet, Marc Meillat, Benoît Vincent, François Thérêt.

Mais, bien que très utile, l'observation en canal est limitée car, pour des raisons d'échelle, il est impossible de simuler l'ensemble d'un train de pêche (filets et fûnes).

Les développements récents des capteurs, de l'électronique, de la micro-informatique, de la vidéo etc... rendent maintenant possibles des **mesures quantitatives à la mer**. Des équipements récents (différents capteurs) nous permettent de mesurer un certain nombre de paramètres de fonctionnement de chaluts réels (tension de remorquage, ouvertures horizontale et verticale, vitesse de l'écoulement relatif...).

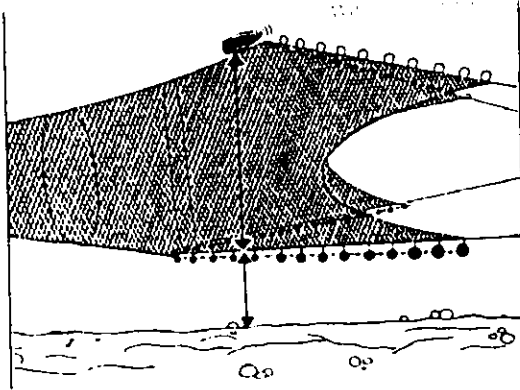


Figure 3
Mesure de l'ouverture verticale
d'un chalut à l'aide d'un "Scanmar"

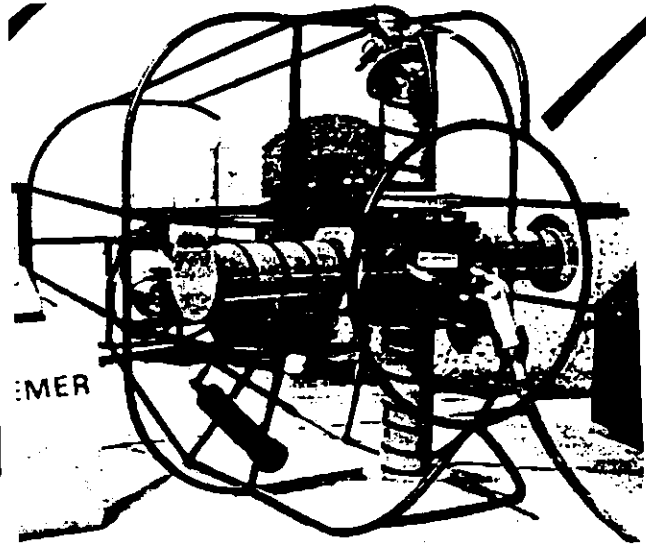


Figure 4
l'EROC
(Engin remorqué d'observation des chaluts)

L'observation vidéo sous-marine, rendue possible par l'usage d'engins remorqués d'observation, nous apporte aussi de nombreux renseignements sur la forme du chalut, son comportement dynamique et celui des prises. Mais, les essais à la mer sont toujours délicats et soumis à de nombreux aléas, ceux du temps au moins.

Malgré toutes les difficultés rencontrées nous continuons à développer ces techniques de mesure et d'observation en mer, car ce sont leurs résultats qui nous permettent de valider nos modélisations, en canal hydrodynamique, ou numériques.

Les limites et les difficultés des méthodes expérimentales nous ont incités à imaginer une modélisation numérique des trains de pêches. Dans un premier temps nous nous sommes limités à l'étude de l'équilibre d'une surface réticulée placée dans un écoulement uniforme. Malgré des difficultés fondamentales importantes :

- le comportement hydrodynamique de fils et de mailles assemblés pour constituer un filet est mal connu
- un filet est une structure infiniment souple, sans forme définie. Seule, l'action de forces extérieures lui permettent de trouver une forme. Mais ces forces extérieures dépendent elles-même de la forme prise par le filet. Il s'agit donc d'un véritable **problème de "couplage fluide-structure"**
- une alèse de filet est un matériau anisotrope et discontinu

nous avons pu mettre au point un logiciel de calcul des formes et tensions d'un chalut remorqué à vitesse constante.

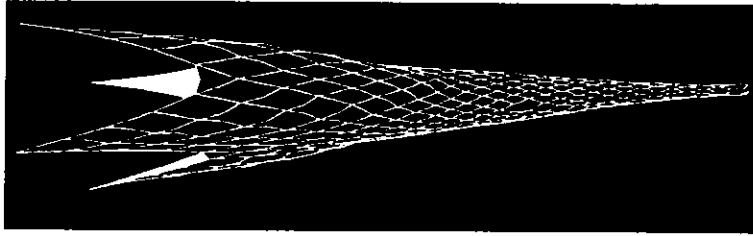


Figure 5
Résultat de l'étude numérique d'un train de pêche
(Programme CATS)

Nous avons ainsi pu réaliser un véritable **logiciel d'aide à la conception assistée par ordinateur** des chaluts. À terme, une version adaptée aux micro-ordinateurs devrait permettre d'indiquer au patron le réglage optimal de son train de pêche en fonction des conditions rencontrées et des poissons détectés.

Nous développons maintenant une étude **dynamique des structures réticulées immergées**. Notre démarche passe par quatre étapes fondamentales:

- trouver un moyen de description des filets souples qui respecte au mieux les propriétés mécaniques de ces structures
- modéliser les efforts qui agissent sur les surfaces réticulées immergées
- écrire les équations de la mécanique
- résoudre le système obtenu par une méthode efficace.

1. MODELISATION DE LA STRUCTURE

Nous avons choisi de reprendre et généraliser les hypothèses adoptées par F.Théret [1] dans ses travaux concernant l'étude de l'équilibre de filets immergés dans un courant uniforme. Nous assimilons la surface réticulée à un ensemble de barres rigides homogènes cylindriques circulaires. Chaque jonction entre éléments indéformables est considérée comme une liaison rotule parfaite.

Pour rendre compte de la souplesse des fils, nous découpons chaque côté de maille en deux éléments rigides (*Figure 6*). Pour une meilleure approximation du comportement des fils souples, il est possible de multiplier le nombre de barres rigides par côté de maille. De manière évidente, cette technique augmente très rapidement le nombre d'inconnues de l'ensemble articulé. La modélisation de chaque fil par deux éléments rigides a donné de bons résultats en statique. Nous avons donc choisi de reconduire cette méthode en dynamique.

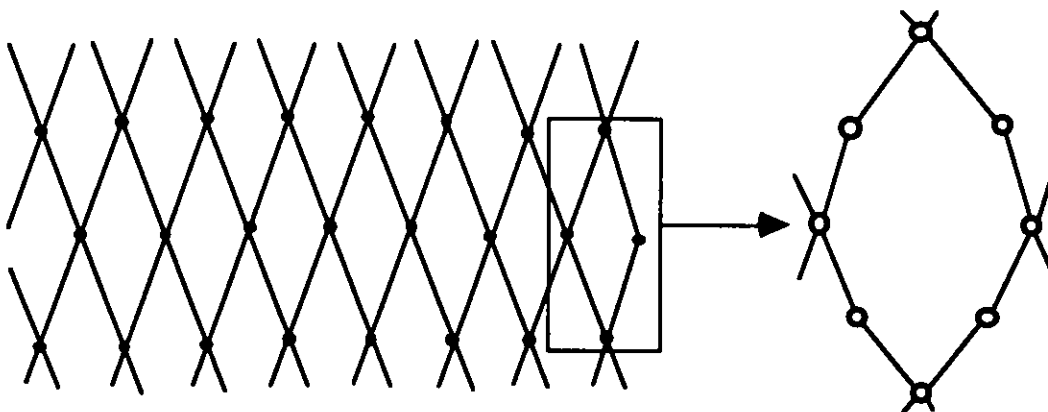


Figure 6
Décomposition en éléments rigides d'un filet à mailles losanges

On peut considérer que les fûnes sont constituées de mailles un peu particulières. Les câbles qui les composent sont, eux aussi, découpés en éléments rigides articulés par des liaisons parfaites. Cette partie du train de pêche est alors traitée de la même manière que le filet souple.

2. BILAN DES FORCES

2.1. Forces extérieures

Nous décomposons les forces extérieures qui agissent sur un filet immergé en:

- des forces de pesanteur
- des forces hydrostatiques et hydrodynamiques
- des forces "ponctuelles"
- des forces de liaisons navire-filet.

2.1.1. Forces de pesanteur et hydrostatiques

On peut regrouper ces efforts en employant la notion de poids apparent. Pour un élément rigide circulaire on a:

$$\vec{P} = (\rho_f - \rho) \frac{\pi D^2}{4} \ell \vec{g} \quad (1)$$

Où

ρ_f : masse volumique de l'élément rigide

ρ : masse volumique du fluide

D : diamètre de l'élément rigide

ℓ : longueur de l'élément rigide

\vec{g} : accélération de la pesanteur.

2.1.2. Forces hydrodynamiques

Nous choisissons d'étudier le cas des filets dits "sans noeud". Cette dénomination correspond à des alèses pour lesquelles les jonctions entre les fils sont réalisées pratiquement sans sur épaisseur. Nous négligeons donc les forces hydrodynamiques qui s'exercent sur les liaisons entre côtés de mailles. L'ensemble des efforts hydrodynamiques se réduit donc à la superposition des forces qui agissent sur chaque élément rigide cylindrique circulaire.

Chaque barre est considérée comme isolée dans un fluide au repos. Nous supposons qu'il n'y a pas d'interaction hydrodynamique entre un élément et son voisin.

Nous adoptons une démarche similaire à celle de Morison. Nous décomposons les efforts qui agissent sur un élément donné en :

- une traînée de pression \vec{T}_p normale à cet élément
- une force de frottement tangentiel \vec{F}_t
- une force d'inertie ajoutée \vec{A}_p .

La modélisation de \vec{T}_p et \vec{F}_t se fait en généralisant les hypothèses de Landweber et Richtmeyer (cas des câbles cylindriques circulaires en équilibre dans un courant uniforme).

Ainsi, nous pouvons exprimer les efforts hydrodynamiques sous les formes suivantes:

$$\vec{T}_P = -\frac{1}{2} \rho D \ell C_d \vec{V}_P \|\vec{V}_R\| \quad (2)$$

$$\vec{F}_t = -\frac{1}{2} \rho D \ell C_f \vec{V}_t \|\vec{V}_R\| \quad (3)$$

$$\vec{A}_P = -\rho \frac{\pi D^2}{4} \ell C_m \vec{\Gamma}_P \quad (4)$$

Où

C_d : coefficient de traînée de pression

C_f : coefficient de frottement tangentiel

C_m : coefficient de masse ajoutée

\vec{V}_P : projection sur le plan P orthogonal au fil, de la vitesse relative \vec{V} de l'élément rigide par rapport au fluide (Figure 7)

\vec{V}_t : composante tangentielle à l'élément de fil de \vec{V} (Figure 7)

$\vec{\Gamma}_P$: projection sur P de l'accélération relative de l'élément rigide par rapport au fluide (Figure 7).

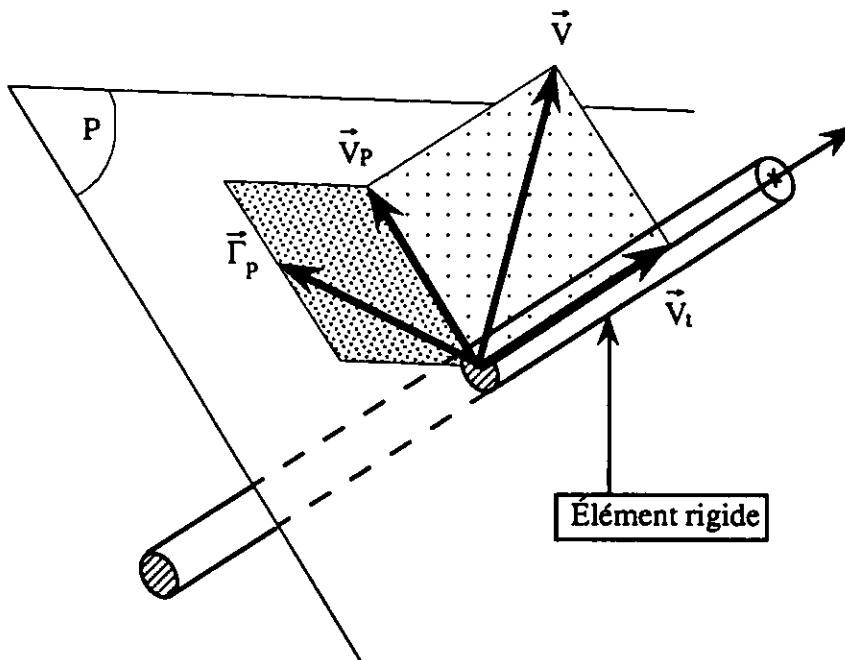


Figure 7
Projections des vitesses et des accélérations

Dans le cadre de cette étude, les coefficients hydrodynamiques sont supposés constants.

* Coefficients hydrodynamiques relatifs au chalut

Nous avons retenu la valeur 1,2 pour C_d et 0,1 pour C_f . F.Théret a déterminé ces valeurs par identification. Le coefficient de traînée correspond à celui du cylindre fixe dans un

écoulement relatif aux nombres de Reynolds rencontrés dans nos problèmes. Il semble donc que le réseau de fils constituant l'alèse ne vibre pas sous l'effet des courants imposés au filet.

Le coefficient de masse ajoutée est égal à 1. Cette valeur de C_m est directement déduite des calculs de masse ajoutée des cylindres circulaires dans le cas des écoulements potentiels.

*** Coefficients hydrodynamiques des fûnes**

Les câbles de grande longueur ont un comportement hydrodynamique différent de celui des réseaux de fils souples. Le long de ces structures, des tourbillons induisent des vibrations qui dissipent de l'énergie. Ceci provoque une augmentation de la traînée globale du câble. Une bonne restitution de résultats expérimentaux est obtenue en choisissant un C_d égal à 1,8.

Nous utilisons un coefficient de frottement de 0,02 couramment employé pour les câbles sous-marins.

*** Vitesses et accélérations relatives**

Nous retenons les vitesses et accélérations relatives du milieu de la barre rigide pour les calculs des efforts hydrodynamiques. Ce procédé de calcul a été utilisé par D. Marichal [2] dans ses travaux sur la dynamique des câbles.

Nous faisons, à priori, l'hypothèse que le filet ne perturbe pas ou peu le fluide. Cette supposition est acceptable dans une grande partie du chalut. Seulement près du cul de chalut (Figure 8), certaines mailles très peu ouvertes sont susceptibles "d'entraîner", de façon significative, le fluide.

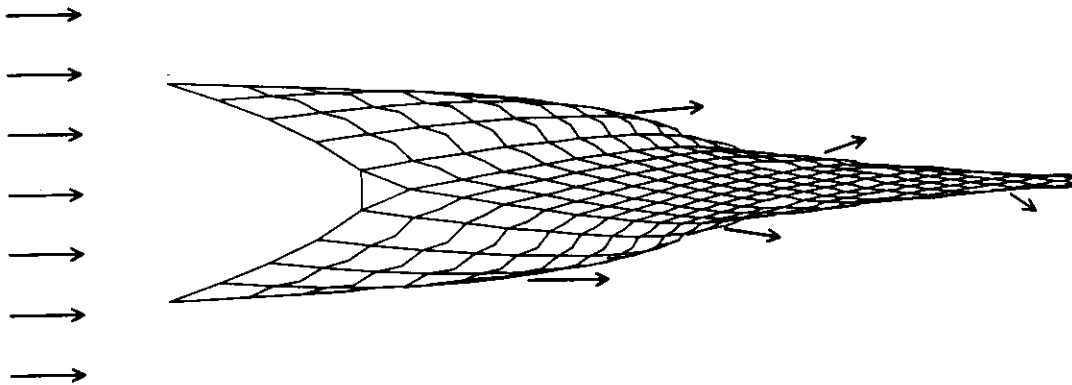


Figure 8
Écoulement à travers les mailles d'un chalut

Un travail complexe concernant les écoulements dans cette région du filet a été amorcé par B. Vincent [3]. Pour l'instant, nous gardons l'hypothèse forte de non-perturbation du fluide qui a donné de bons résultats en statique. Par conséquent, pour une alèse en mouvement dans un fluide initialement au repos, nous confondons les vitesses et accélérations relatives par rapport au fluide aux vitesses et accélérations absolues.

2.1.3. Forces "ponctuelles"

Ces forces sont dues à l'action de lests, de flotteurs, de panneaux... Elles peuvent être très dépendantes du courant relatif (pour les panneaux et les flotteurs) ou peu sensibles à l'écoulement (pour les lests). Suivant les "données constructeur", nous les appliquons en certaines liaisons rotules de l'ensemble articulé.

2. 1. 4. Forces de liaisons navire-filet

Pour cette première approche, nous étudions les effets de mouvements donnés du chalutier sur une surface réticulée immergée. Nous considérons que le chalut n'influence pas le comportement du navire. Nous imposons donc le mouvement des premiers points des câbles qui arrivent au chalutier. Les inconnues liées aux liaisons navire-filet sont les tensions des fûnes.

2. 2. Liaisons internes

Notre méthode fait également intervenir les forces de liaisons internes. Elles se traduisent par une distribution de tensions dans toute la surface réticulée et les fûnes. Le long de chaque barre indéformable, nous considérons que la tension est constante pour un temps donné.

3. EQUATIONS DU PROBLEME

La méthode générale de résolution du problème repose sur l'écriture, dans un référentiel galiléen, en chaque liaison rotule, de la relation fondamentale de la dynamique:

$$m\ddot{\vec{X}} = \sum \vec{F}_{\text{extérieures}} \quad (5)$$

On répartit également, aux deux extrémités, tous les efforts subit par chaque élément de fil.

Nous affectons à chaque liaison rotule la demi-masse de tous les fils qui en sont issus.

Pour un train de pêche modélisé par N liaisons et M éléments rigides, nous écrivons un système non linéaire différentiel de N équations de la forme:

$$m_i \ddot{\vec{X}}_i = \vec{f}_i(\vec{X}) \vec{T} + \vec{E}_i(\vec{X}, \dot{\vec{X}}, \ddot{\vec{X}}) \quad \text{pour } i \text{ allant de } 1 \text{ à } N \quad (6)$$

Où

m_i : masse affectée à la liaison "i"

$\ddot{\vec{X}}_i$: accélération absolue de "i"

$\vec{f}_i(\vec{X})$: cosinus directeurs des éléments rigides autour de la liaison "i"

\vec{T} : vecteur de dimension M dont la k^{ième} composante est la tension de la barre "k"

$\vec{E}_i(\vec{X}, \dot{\vec{X}}, \ddot{\vec{X}})$: forces extérieures affectées à "i", comprenant les efforts évalués avec (1), (2), (3) et (4) ainsi que les "forces ponctuelles" sur "i".

Les équations (6) sont complétées par les M conditions de longueurs des éléments rigides:

$$0 = \ell_k^2 - (\vec{X}_i - \vec{X}_j)^2 \quad \text{pour } k \text{ allant de } 1 \text{ à } M \quad (7)$$

Avec

ℓ_k : la longueur du fil "k".

Au final, nous aboutissons à un système de 3N+M équations associé 3N paramètres de positions et M scalaires définissant les tensions internes à la structure.

4. GLOBALISATION DU MAILLAGE

Sur les chaluts réels, le nombre de noeuds peut dépasser les 3 millions. La modélisation de chaque fil souple par deux éléments rigides nous conduit à un nombre N de liaisons rotules proche du triple du nombre de noeuds. D'autre part, M est de l'ordre de $2N$ pour les surfaces réticulées à mailles losanges. Sans autre précaution, le nombre d'inconnues $(3N+M)$ du système formé par (6) et (7) pourrait donc atteindre 50 millions!

Par conséquent, il a été nécessaire d'élaborer une méthode dite de "globalisation" pour abaisser le nombre d'inconnues. Nous modélisons donc un nombre donné de mailles réelles par une maille fictive hydrodynamiquement équivalente.

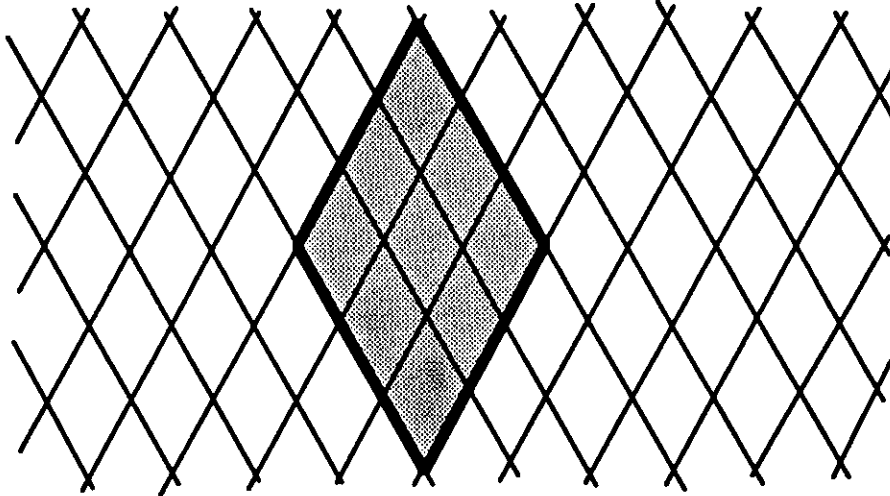


Figure 9
Globalisation du maillage

5. RESOLUTION DU SYSTEME OBTENU

Le système à résoudre peut s'écrire de manière condensée:

$$\begin{aligned} \dot{\vec{X}} &= \vec{V} \\ \dot{\vec{V}} &= \frac{1}{m} \vec{F}(\vec{X}, \vec{V}, \dot{\vec{V}}, \vec{T}) \end{aligned} \quad (8)$$

$$0 = \vec{U}(\vec{X}) \quad (9)$$

Il s'agit d'un cas particulier de systèmes qualifiés de "différentiel algébrique d'indice 3" [4].

Nous traitons la partie différentielle (8) en utilisant des schémas d'Euler. Pour l'élément rigide "k" dont les extrémités sont les liaisons rotules "i" et "j", nous écrivons les récurrences temporelles:

$$\vec{X}_i^{n+1} = \vec{X}_i^n + dt \vec{V}_i^{n+1} \quad (10)$$

$$\vec{X}_j^{n+1} = \vec{X}_j^n + dt \vec{V}_j^{n+1} \quad (11)$$

$$\vec{V}_i^{n+1} = \vec{V}_i^n + \frac{dt}{m_i} \left[\vec{f}_i(\vec{X}^n) \Gamma^{n+1} + \vec{E}_i(\vec{X}^n, \vec{V}^n, \dot{\vec{V}}^n) \right] \quad (12)$$

$$\vec{V}_j^{n+1} = \vec{V}_j^n + \frac{dt}{m_j} \left[\vec{f}_j(\vec{X}^n) \Gamma^{n+1} + \vec{E}_j(\vec{X}^n, \vec{V}^n, \dot{\vec{V}}^n) \right] \quad (13)$$

La partie explicite (9) au pas "n+1" donne:

$$0 = \ell_k^2 - (\vec{X}_i^{n+1} - \vec{X}_j^{n+1})^2 \quad (14)$$

En utilisant (10) et (11), nous développons (14) en:

$$0 = \ell_k^2 - \left[(\vec{X}_i^n - \vec{X}_j^n)^2 + 2dt(\vec{X}_i^n - \vec{X}_j^n)(\vec{V}_i^{n+1} - \vec{V}_j^{n+1}) + dt^2(\vec{V}_i^{n+1} - \vec{V}_j^{n+1})^2 \right] \quad (15)$$

Nous négligeons le terme en dt^2 de (15):

$$0 = \ell_k^2 - \left[(\vec{X}_i^n - \vec{X}_j^n)^2 + 2dt(\vec{X}_i^n - \vec{X}_j^n)(\vec{V}_i^{n+1} - \vec{V}_j^{n+1}) \right] \quad (16)$$

L'introduction des relations (12) et (13) dans (16) nous conduit, à chaque pas de temps, à un système linéaire réel symétrique (de rang M) en \vec{T}^{n+1} . Nous résolvons ce système linéaire pour, ensuite, déterminer les \vec{V}_i^{n+1} puis les \vec{X}_i^{n+1} à l'aide de respectivement (12) et (10).

Nous démarrons le calcul d'une géométrie initiale vérifiant les conditions de longueur.

6. APPLICATION DE LA METHODE

Nous nous proposons d'effectuer une simulation numérique de la mise à l'eau d'un chalut. Pour cette première étude, nous retenons un dispositif de pêche ayant fait l'objet d'essais systématiques par IFREMER. Le chalut est de type "pélagique" c'est à dire qu'il évolue sans toucher le fond de la mer (*figure 10*).

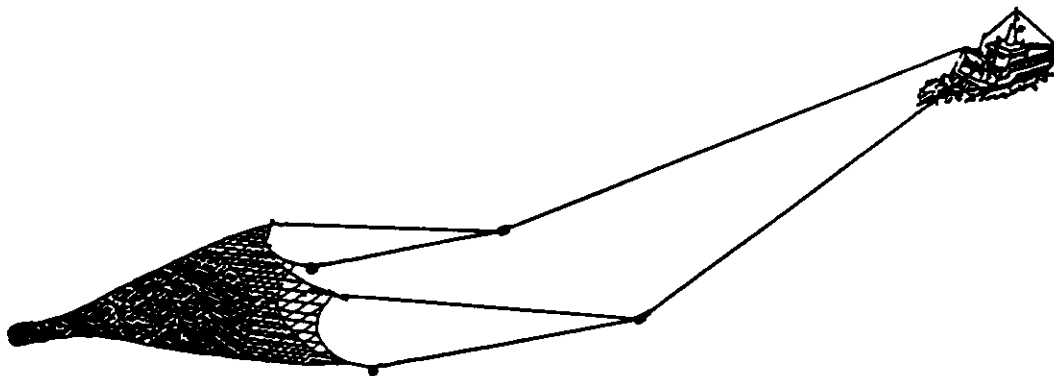


figure 10
Chalutage pélagique

En conditions de pêche, l'ouverture verticale du chalut, assurée par deux lests de 200kg, est proche de 10m. Son ouverture horizontale est obtenue grâce à deux panneaux de 0,75m² pesant chacun 170kg. Le filage (longueur des fûnes) est de 100m.

6. 1. Maillage du filet

Pour cette toute première phase de la mise en oeuvre de notre méthode, nous utilisons le logiciel CACHALOT. Ce programme calcule automatiquement la longueur, le diamètre et la masse affectée à chaque barre rigide de l'ensemble articulé modélisant le filet. Ces valeurs sont obtenues à l'aide des données constructeurs et du plan de chalut (le plan de chalut est, pour le manufacturier, équivalent au patron pour une couturière).

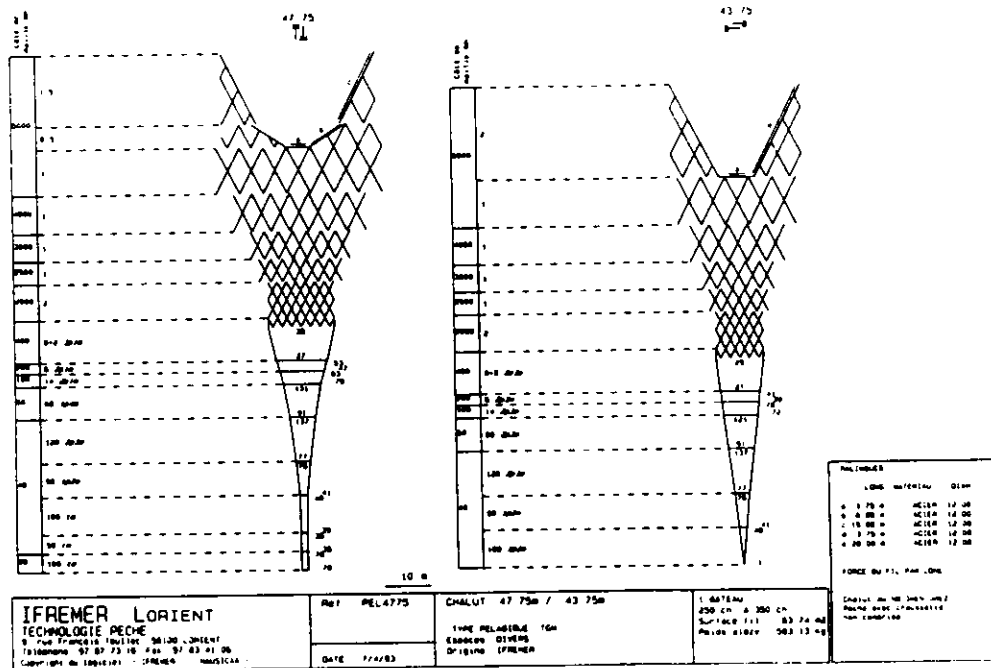


figure 11
Plan du chalut étudié

6. 2. Forme initiale du dispositif de pêche

Avant la mise à l'eau, le chalut et les fûnes sont enroulés sur des tambours fixés à l'arrière du bateau. Donc, a priori, nous ne connaissons pas la forme initiale du filet. Seule l'immersion dans un courant relatif, dû à la vitesse d'avance du bateau, va provoquer l'apparition d'efforts qui donneront sa forme à la structure.

Nous surmontons cette difficulté majeure en débutant notre simulation dès que le filet et les fûnes sont déroulés des tambours du chalutier. A ce premier stade de la mise à l'eau, le chalut, dont le poids apparent est proche de zéro, est étiré au maximum au niveau de la surface libre. Les panneaux et les lests, qui vont entraîner le filet vers le fond, commencent à plonger. La forme initiale de notre ensemble articulé simulant cet état du train de pêche est approchée tant bien que mal par une annexe de CACHALOT qui place, sur une ligne droite, le plus possible de liaisons rotules en respectant les longueurs des éléments rigides. Les autres liaisons s'écartent légèrement de cette ligne.

6. 3. "Chute" du chalut

Le chalut étudié est par construction symétrique. Nous supposons que les panneaux et les lests sont immergés au même instant. La direction de la vitesse d'avance du chalutier est contenue dans le plan de symétrie du filet. Au cours de sa plongée, le train de pêche conserve donc son plan de symétrie initial. Par conséquent, nous menons les calculs sur un demi filet.

Sur la figure ci-dessous, nous superposons, dans un repère lié au bateau, des "photographies numériques" du train de pêche à différents instants. Les vues de face sont dilatées d'un facteur égal à 2,5.

On remarque globalement l'effet d'entraînement du filet vers le fond dû aux lests. L'action des panneaux, ouvrant progressivement le dispositif de pêche, est visible sur les vues de face et de dessus.

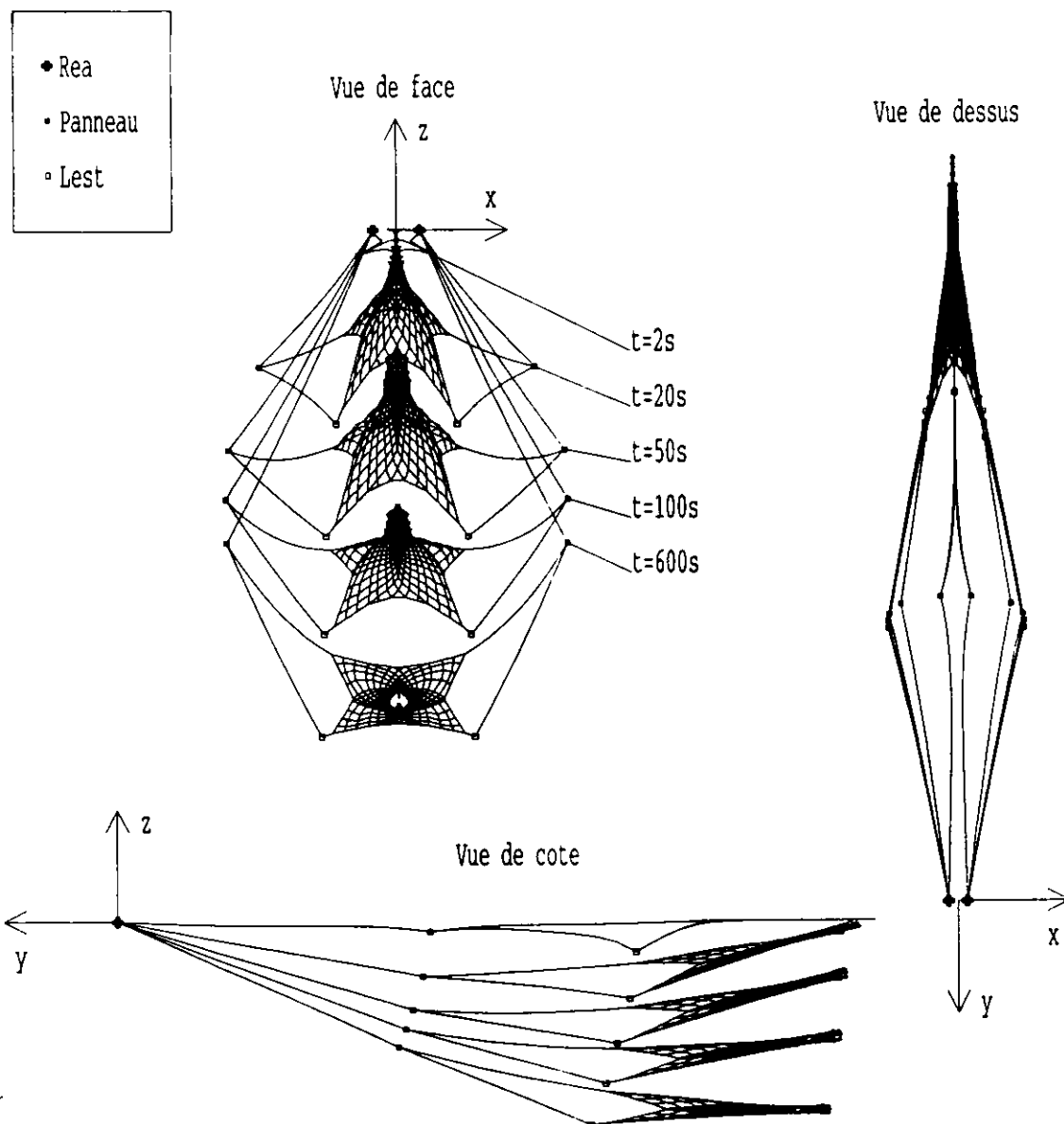
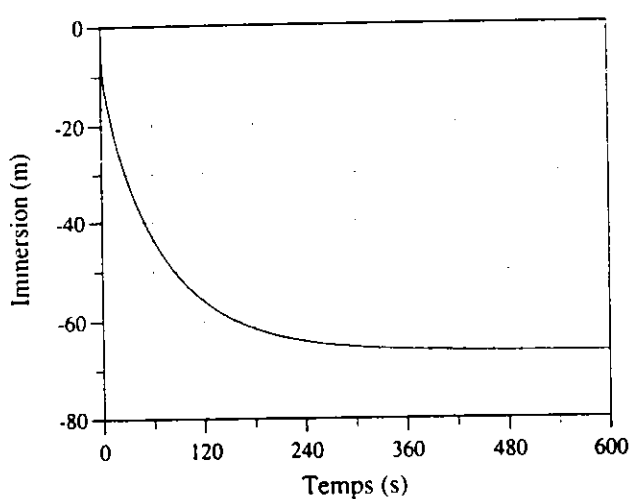
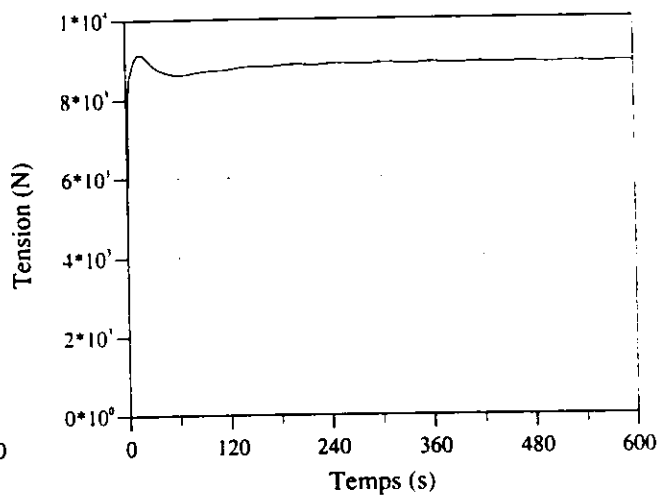


figure 12
Plongée du chalut

Les graphes 1 et 2 montrent l'évolution temporelle d'un paramètre caractéristique du train de pêche ainsi que les efforts appliqués au chalutier pendant la mise à l'eau. Ces deux courbes permettent de visualiser le choc initial induit par l'immersion brutale du chalut dans le courant relatif.



graphe 1
Immersion des lests



graphe 2
Tension des fûnes

6. 4. Forme d'équilibre de l'ensemble

Au bout de 10 minutes, la configuration générale du train de pêche est stabilisée. Le cul du chalut reste cependant assez perturbé. La décomposition en éléments rigides ou le pliage initial de l'ensemble articulé sont peut-être en cause. Cependant, les observations en canal à circulation d'eau confirment que cette partie du filet est toujours très instable. Des études expérimentales délicates de cette région du filet, nous permettraient de contrôler l'influence réelle du maillage de la surface réticulée.

Pour notre simulation, la vitesse d'avance du chalutier est égale à 3,5 noeuds. A l'équilibre, nos prévisions concernant les caractéristiques du train de pêche sont compatibles avec les campagnes d'essais réalisées par IFREMER.

7. CONCLUSION

Nous avons proposé une méthode de résolution du problème de la dynamique des filets souples immergés. Nous avons testé notre algorithme sur un certain nombre de manoeuvres de trains de pêches. Les résultats numériques sont qualitativement en accord avec les observations effectuées sur le comportement dynamique de ces structures souples.

Notre travail constitue une alternative moins contraignante au processus de calcul mis au point par F.Théret. La détermination de formes d'équilibre sans notion de "noeuds supérieurs ou inférieurs [1]" est un progrès notable.

En rapprochant les équations de la dynamique des filets souples et celles du navire, nous pourrions, dans un avenir proche, étudier le comportement de l'ensemble du train de pêche dans différentes conditions (manoeuvre du chalutier, houle importante, croche du chalut...)

REFERENCES

- [1] F.Théret (1993): Étude de l'équilibre de surfaces réticulées placées dans un courant uniforme (application aux chaluts). Thèse de Doctorat Nantes juillet 1993
- [2] D.Marichal (1979): Contribution à l'étude statique et dynamique des câbles sous-marins. Thèse de Doctorat ès Sciences Nantes juillet 1979
- [3] B.Vincent (1996): Étude numérique et expérimentale des écoulements guidés par une paroi perméable axisymétrique. Thèse de Doctorat ès Sciences Nantes Novembre 1996
- [4] E.Hairer, C.Lubich et M.Roche (1980): The numerical solution of differential-algebraic systems by Runge-Kutta methods. Springer-Verlag.