

2èmes JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

13 au 15 Février 1989 - Nantes

QUELQUES ANIMATIONS CONCERNANT LES ECOULEMENTS A SURFACE LIBRE

O. DAUBERT
Laboratoire National d'Hydraulique
EDF CHATOU

Résumé

On présente trois films illustrant des résultats de calculs d'écoulements à surface libre: la marée dans l'estuaire de la Canche (1983), calculée avec le code CYTHERE.ES1, une onde de tempête en Manche et Mer du Nord (1985), calculée par le code CEFALO, et une houle sur un caisson (1988) obtenue avec le code NSL. Pour chacun de ces films, on précise le but de l'étude et les caractéristiques du code utilisé. En conclusion on évoque l'évolution des techniques d'animation en mécanique des fluides.

Summary

Three films are presented showing some results of computed free surface flows: the tide in the river Canche estuary (1983), computed with the code CYTHERE.ES1, a storm surge in the Channel and the North Sea, computed by the code CEFALO, and a wave on a caisson (1988), obtained with the code NSL. For each one, we explain the aim of the study and the main features of the numerical code used. As a conclusion, we talk about the evolution of animation techniques for fluid mechanics.

INTRODUCTION

Au fur et à mesure que se développent les codes de calcul en mécanique des fluides, la visualisation des résultats est un souci constant des ingénieurs et des informaticiens ; il s'agit tout d'abord d'avoir une vue globale et rapide d'un très grand nombre de valeurs numériques, permettant un premier jugement qualitatif de la validité des résultats du modèle; les visualisations facilitent ensuite une meilleure compréhension des écoulements complexes; enfin elles constituent un outil de présentation des résultats au client, qui préfère naturellement, voir un écoulement plutôt que des pages de listings.

A la Direction des Etudes et Recherches d'EDF, des périphériques graphiques, d'abord en noir et blanc, puis en couleurs, ont été mis très tôt à la disposition des ingénieurs qui les ont abondamment utilisés comme outils de travail. Pour certaines études particulièrement représentatives, des films d'animation ont été réalisés (24 films, au LNH, entre 1957 et 1988); ils ne durent que quelques minutes, mais ils présentent l'intérêt de bien concrétiser les possibilités des différents codes de calcul qu'ils illustrent.

LA CANCHE

C'est une rivière du Pas-de-Calais dont l'estuaire connaît depuis longtemps une évolution sédimentologique très importante; l'érosion en rive Nord ayant entraîné un recul moyen de la côte de 3 à 5 mètres par an, et une sédimentation en rive Sud, responsable de l'avance de la pointe du Touquet, le LNH a été chargé d'étudier des ouvrages de protection de l'estuaire.

Pour cette étude on a utilisé deux codes numériques: CYTHERE.ES1, pour calculer les courants de marée, et TRANSO pour évaluer, à partir de ces courants, le transport solide, responsable de l'évolution des fonds, sur des périodes longues: de 1 à 5 ans.

Le film d'animation montre une marée de vive-eau moyenne (coefficient 95), calculée avec CYTHERE.ES1, sur des fonds fixes. Les courants sont visualisés par des flotteurs répartis dans l'ensemble du domaine.

Le code CYTHERE. est un programme, en différences finies, qui résout les équations de SAINT-VENANT à deux dimensions horizontales. Il a été développé conjointement par EDF et SOGREAH [1]. Il offre la possibilité très remarquable, car difficile à mettre en œuvre, de tenir compte des bancs découvrants; ceci est particulièrement important pour une étude sédimentologique. Dans le film, ces estrans sont matérialisés par des lignes de niveau qui apparaissent à marée descendante et disparaissent à marée montante.

Le modèle de la Canche couvre un domaine de 6.7 km sur 4.8 km. Les pas de discrétisation sont de 100m en espace et de 120s en temps; les conditions aux limites sont données par des modèles de plus grande emprise (figure 1). Le code CYTHERE calcule, à chaque pas de temps, les courants et la hauteur d'eau en chaque noeud du maillage (figure 2). Pour faire le film, on a ajouté un calcul de trajectoires de particules; celles-ci sont réparties dans le domaine au début du jusant, et suivies pendant une marée complète; il y a également une injection de particules le long des frontières. La visualisation est répétée deux fois.

TEMPETE EN MANCHE ET MER DU NORD

On sait que les fortes perturbations météorologiques entraînent des variations du niveau moyen de la mer qui modifient les prévisions de hauteur de marée utilisées pour la navigation. Il est donc intéressant, en particulier pour les accès dans les ports, de prévoir les corrections de hauteur liées aux tempêtes, à partir des prévisions météorologiques¹. Pour ce faire, le LNH a appliqué le code en éléments finis CEFALO à toute la zone maritime Nord-Ouest du plateau continental européen (figure 3).

Comme CYTHERE, le code CEFALO résout les équations de SAINT-VENANT [2,3], mais elles sont ici écrites en coordonnées sphériques pour tenir compte de la courbure de la terre. De plus, le fait de travailler en éléments finis facilite la description des côtes et certains raffinements locaux de maillage, comme dans le Pas-de-Calais. L'onde de tempête est engendrée dans le modèle par les gradients de pression atmosphérique et les contraintes de surface exercées par le vent; ce sont des données fournies par les services météorologiques. Le long des frontières maritimes, on impose des relations appelées "relations d'onde incidente". Celles-ci permettent d'introduire, dans le domaine, des ondes provenant de l'extérieur, et laisse sortir librement les ondes qui viennent de l'intérieur. Par exemple, on peut ainsi introduire l'onde de marée semi-diurne M2, et calculer son interaction avec l'onde de tempête. Dans le film que nous présentons ne figure que l'onde de tempête (les ondes externes sont d'amplitude nulles). Il s'agit de la tempête du 14 au 20 novembre 1973 qui a provoqué de sévères inondations aux Pays-Bas. Les données météorologiques de cette tempête ont été fournies par le JONSMOD² et interpolées sur le maillage.

¹ Cette étude a été effectuée dans le cadre d'un marché avec le Service Technique des Phares et Balises du Secrétariat d'Etat chargé de la Mer.

² Joint North Sea Modelling Group

Pour visualiser les variations du niveau de la mer, on a tracé, à chaque instant, le maillage en le déformant, sur chaque verticale, proportionnellement à la surélévation du niveau libre calculé . Le film comporte, en introduction, une animation de photos-satellite, provenant des archives de la Météorologie Nationale. On peut voir également les comparaisons des surcotes calculées par CEFALO avec les valeurs enregistrées dans les différents ports de la Mer du Nord.

HOULE SUR UN CAISSON

L' étude de la tenue à la mer des ouvrages côtiers nécessite une bonne connaissance des efforts dus à la houle. Les modèles, utilisés habituellement, reposent sur des hypothèses simplificatrices: soit on considère que l'écoulement est irrotationnel, ce qui permet de ramener le calcul des courants à celui d'un potentiel, pour cela il faut négliger la viscosité; soit on suppose que la pression est proche d'une répartition hydrostatique et on écrit les équations moyennées sur la hauteur d'eau (Saint-Venant). Si l'on veut à la fois tenir compte des effets visqueux et ne pas faire d'hypothèse à priori sur la répartition de pression, il faut revenir aux équations de NAVIER-STOKES. C'est ce qu'on a fait dans le code NSL (Navier-Stokes à Surface Libre). C'est un code bidimensionnel qui résout les équations de NAVIER-STOKES dans un plan vertical, en tenant de la position exacte de la surface libre . On tient compte de la turbulence au moyen d'un modèle simple de longueur de mélange. Le profil du fond est une donnée du problème¹.

Le programme est en différences finies; il est basé sur une transformation simple de la coordonnée verticale, qui applique le domaine réel de calcul sur un rectangle [4].

Dans le film qui est présenté, on voit une houle périodique se propager sur un caisson immergé dans une faible profondeur d'eau. Les visualisations mettent en évidence le ralentissement des vitesses au voisinage du fond; On remarque aussi un décollement à l'aval du caisson au passage de chaque vague (figure 4)

LES TECHNIQUES D'ANIMATION

Les deux premiers films ont été réalisés à partir du matériel COM 341 BENSON du Service Informatique des Etudes et Recherches d'EDF. Des images, sur film couleur 35mm,

¹ Cette étude a été effectuée dans le cadre d'un marché avec le Service Technique des Phares et Balises du Secrétariat d'Etat chargé de la Mer.

peuvent être obtenues automatiquement, en utilisant dans les programmes le logiciel graphique DISSPLA¹. L'utilisation courante est destinée à la production de diapositives; mais on peut également produire des films d'animation, avec toutefois de grandes difficultés, en raison du manque de fiabilité du matériel. On obtient ensuite facilement une réduction sur film 16mm.

La troisième animation a été obtenue en filmant l'écran d'un poste de travail EVANS & SUTHERLAND, PS 390, avec une caméra 16mm. Cette machine, reliée à un IBM 3090, permet de manipuler localement des suites d'images constituant une animation; toutes les opérations telles que, vitesse d'affichage, zoom, déplacements, etc..., peuvent être faites manuellement à l'aide de touches de fonctions et d'une boîte à boutons, et ceci en temps réel². Le logiciel qui équipe cette machine est développé au Service Informatique des Etudes et Recherches d'EDF.

Une différence essentielle entre ces deux techniques, qui n'apparaît pas ici, est que la première traite exclusivement des images 2D, alors que la seconde permet de manipuler des objets 3D. Le fait de pouvoir déplacer aisément et rapidement les objets tridimensionnels facilite considérablement la vision dans l'espace. C'est pourquoi, ce type de station de travail constitue, à notre sens, une solution d'avenir pour le dépouillement et l'interprétation des résultats de simulations numériques en mécanique des fluides.

REMERCIEMENTS

Ces films sont le résultat d'une collaboration des ingénieurs du Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, MM. Ph.PECHON, J.M.HARMAND, S.DALSECCO, A.YESSAYAN, H.VERGNE, et de ceux du Service Informatique et Mathématiques Appliquées de Clamart, entre autres MM.Ph.HEMMERICH et H.KLAJNMIC dont l'aide précieuse nous permet d'avancer dans ce domaine en pleine évolution.

REFERENCES

- [1] BENQUE J.P., CUNGE J.A., FEUILLET J., HAUGUEL A., FORREST M.H. - New method for tidal current computations. - J. of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division A.S.C.E. Vol. 108 n°WW3. Août 1982, pp. 396-417.

¹ Commercialisé par Computer Associate.

² La vitesse d'affichage du PS 390 est de 365 000 vecteurs par seconde.

- [2] ESPOSITO P., HAUGUEL A., LATTEUX B. - A finite element method for storm surge and tidal computation. -5th Int. Conf. on Finite Elements in Water Resources.-University of Vermont (U.S.A) Juin 1984.
- [3] DALSECCO S. - Utilisation des éléments finis pour le calcul des surcotes.- (Rapport n°4)-Rapport EDF HE41/85.31 - 1985
- [4] DAUBERT O., CAHOUE J. - Approche numérique de la houle par les équations de Navier-Stokes. - Annales des Ponts et Chaussées n° 32 et 33 - 4ème trim. 1984, 1er trim. 1985

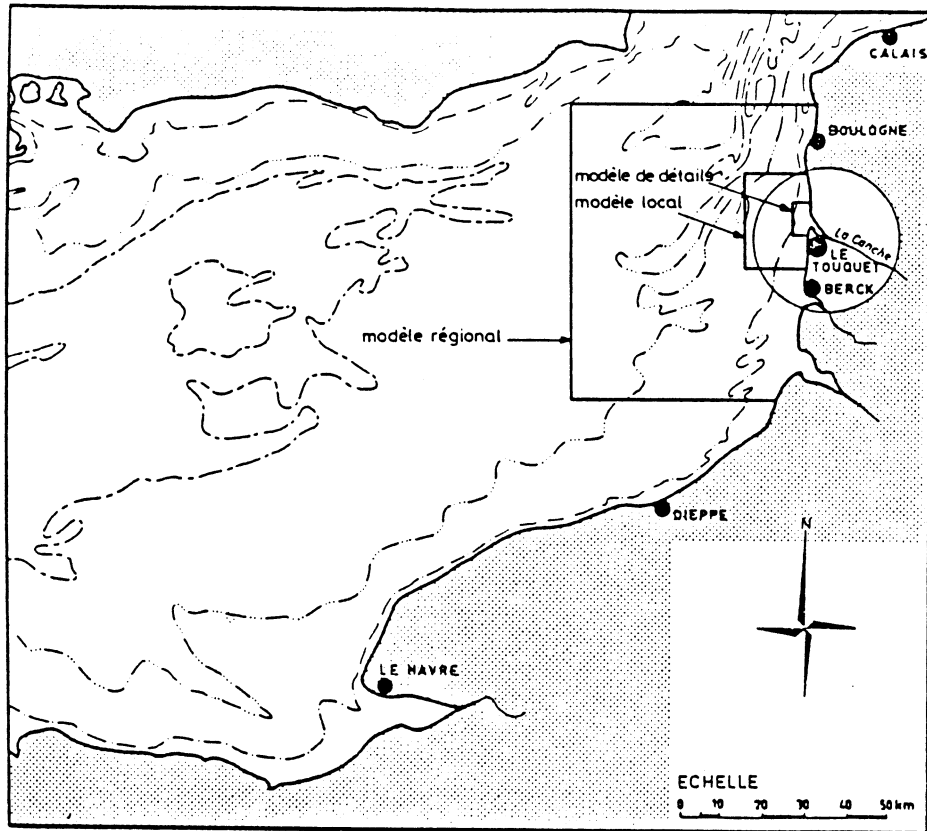


Figure 1 - Plan de situation et emprises des modèles.

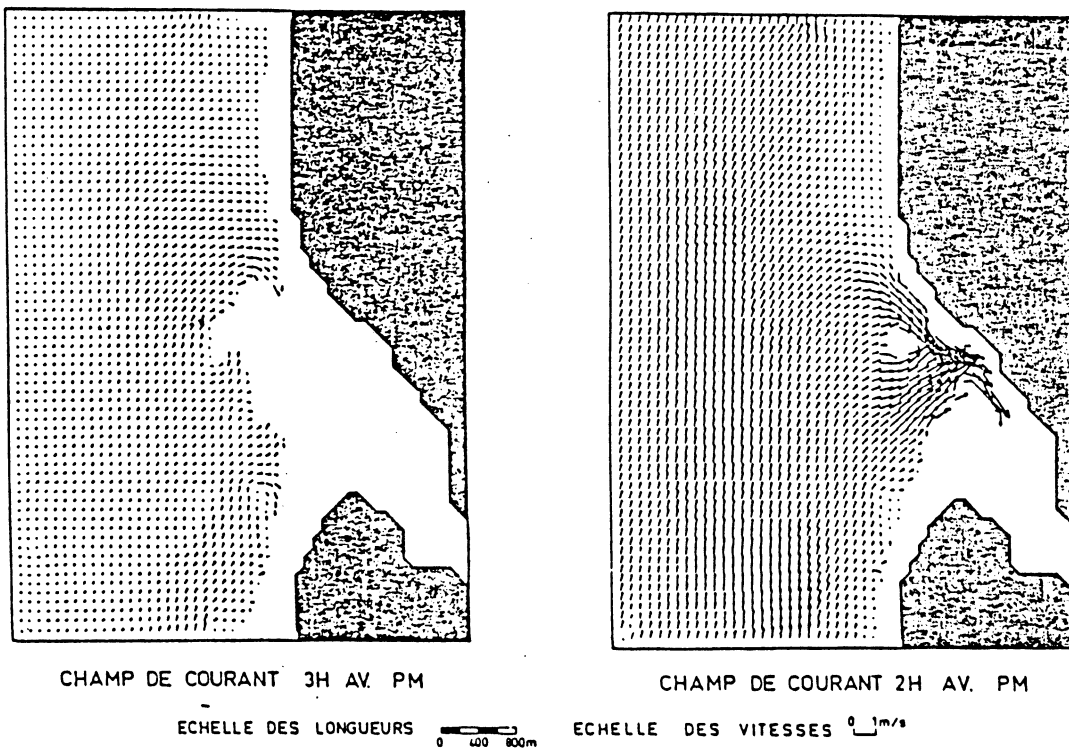


Figure 2 - Courants de marée dans l'estuaire de la Canche.

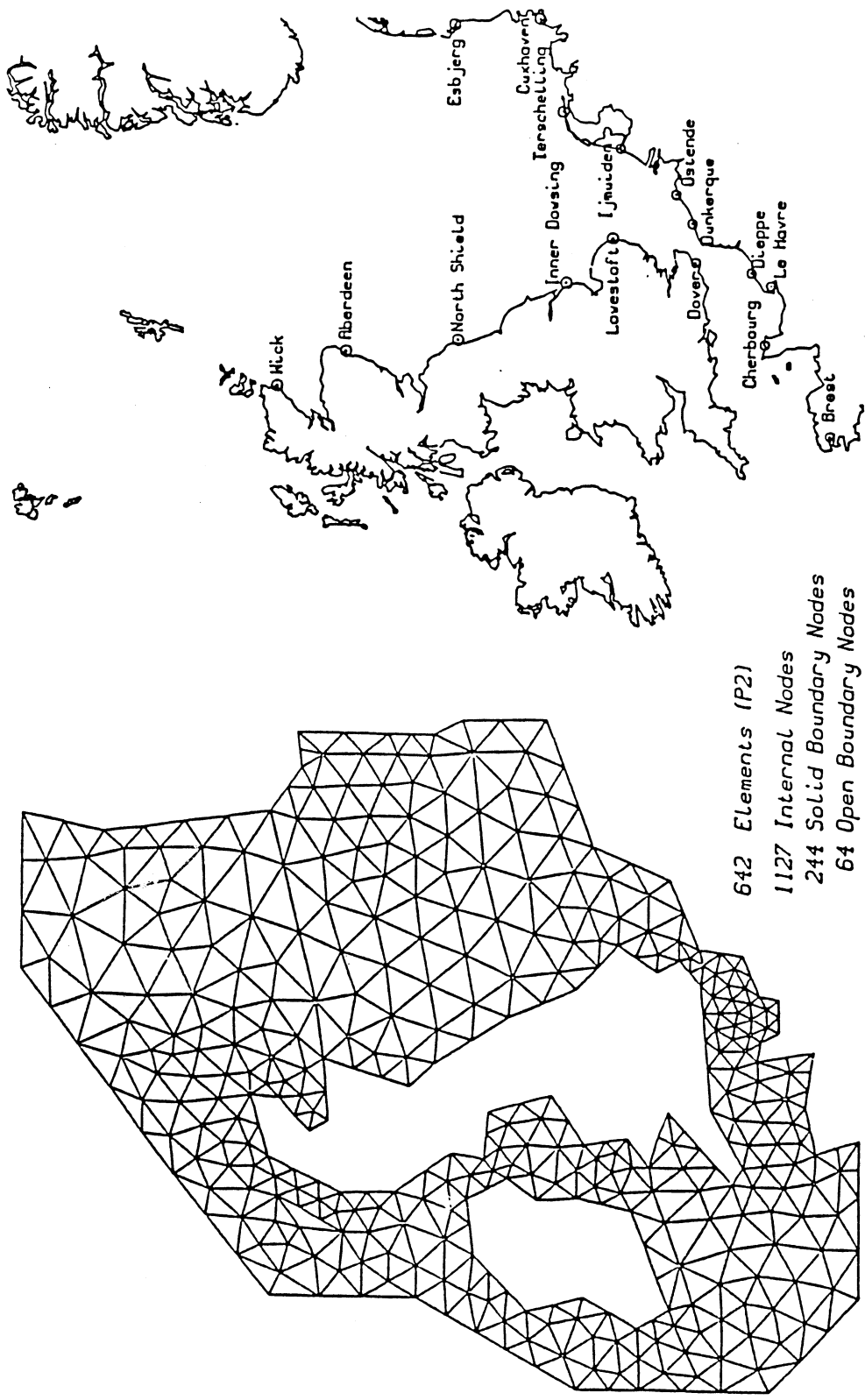


Figure 3 - Maillage du plateau continental européen nord-ouest pour le calcul des surcotes aux ports de la Manche et de la Mer du Nord

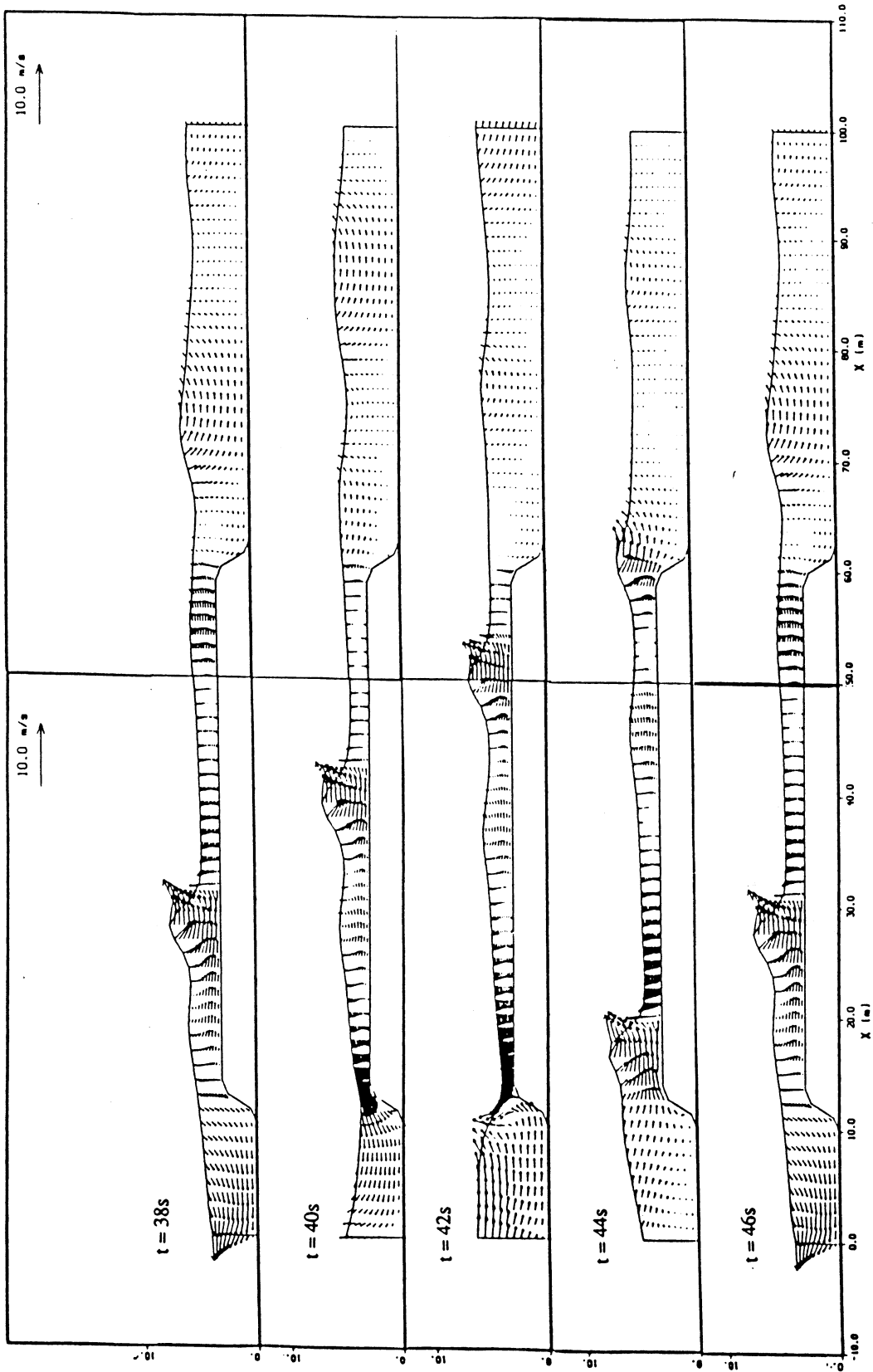


Figure 4 - Code NSL: Propagation d'une houle sur un caisson en faible profondeur.