



# Traitement, Synthèse, Technologie et Applications

BIARRITZ — Mai 1984 —

## VISUALISATION ANIMÉE D'UNE PROPAGATION D'ONDE SIMULÉE PAR ORDINATEUR.

ANIMATED DISPLAY OF A COMPUTER SIMULATED WAVE PROPAGATION.

J. CARNET & J. DUJARDIN

Laboratoire d'Informatique (Rouen) et Laboratoire d'Electronique et d'Automatique (Le Havre)  
Université de Haute Normandie 76130 Mont-Saint-Aignan

### RESUME

L'abondance des résultats numériques fournis par ordinateur nécessite, en particulier pour les problèmes évolutifs, une visualisation qui permet d'appréhender des phénomènes complexes.

Dans ce papier nous présentons un logiciel d'étude des phénomènes modélisés par des équations aux dérivées partielles. La résolution numérique utilise la méthode des éléments finis qui comporte deux parties : maillage du domaine puis résolution des équations discrétisées.

Les résultats de la simulation sont ensuite affichés sur écran vidéo sous forme de courbes de niveaux et courbes 3D évoluant dans le temps.

Quatre cas seront présentés :

- une membrane élastique s'appuyant sur un obstacle soumise à une force extérieure variable.
- propagation de la houle dans le port du Havre.
- propagation acoustique sous-marine.
- profil d'aile dans un champ acoustique.

### SUMMARY

The large number of numerical results obtained by computer call for graphic displays which permit the comprehension of complex phenomena. This is especially true where dynamic problems are concerned.

In this paper we present software which allows us to study problems modelised by partial differential equations.

The numerical solution uses the finite element method which has two parts, namely region meshing and discrete equation solving.

We display the simulation results on a video screen as either level or 3D curves.

Four cases are shown :

- an elastic membrane subjected to a variable force.
- underwater acoustic propagation.
- wave propagation in a harbour (Le Havre).
- acoustic propagation simulation on a wing profile.



## INTRODUCTION

A la suite d'une série d'études sur le thème de la propagation acoustique sous-marine, il a été établi une méthode de résolution par éléments finis des équations aux dérivées partielles issues de la mécanique des milieux continus. Celle-ci a nécessité un programme de maillage automatique dans  $R^2$ . Le programme numérique de résolution des équations a été élaboré dans un cadre très général de phénomène de propagation. Les résultats obtenus sont exploités par des programmes graphiques qui permettent de visualiser l'évolution dans le temps.

Les logiciels exploités sur MINI6/53 génèrent sur disques des fichiers d'images qui sont affichées sur un écran graphique RAMTEK RM9453 branché directement sur le bus du Mini6. Une sortie vidéo permet un enregistrement sur magnétoscope.

### LA METHODE DES ELEMENTS FINIS.

La méthode des éléments finis désigne un ensemble de techniques permettant la résolution numérique à l'aide d'ordinateur de certains problèmes de nature trop complexe pour être résolus analytiquement ou par des méthodes plus anciennes de calculs numériques (les méthodes par différences finies par exemple).

On peut donner une définition générale de la méthode des éléments finis en tant que méthode d'approximation des problèmes continus :

- le milieu continu est divisé en un nombre fini de parties géométriquement simples appelés éléments, dont le comportement est connu à partir d'un nombre fini de paramètres. Cette première étape est appelée maillage du domaine.
- le problème continu est approximé par interpolation en un problème discret résoluble en un nombre fini d'opérations élémentaires. Si l'état du système dépend du temps on se ramène à une succession de problèmes précédents par subdivision du temps d'étude en petits sous intervalles durant lesquels on suppose que l'état est constant dans le temps.

### ANIMATION GRAPHIQUE.

Les calculs sont effectués au Service Commun Informatique de l'Université sur un Bull Mini6/53, auquel est connecté sur le mégabus un terminal Ramtek 9453 pour la partie visualisation.

Ce terminal affiche 512 lignes de 640 points, 64 couleurs sont disponibles simultanément. Le balayage est du type télévision, il représente le contenu d'une mémoire propre de 8 plans ayant chacun autant de bits d'information que l'écran présente de points (512x640). La couleur d'un point écran est donnée par une table dite, "table des couleurs" ; à un point écran est associé un bit de chacun des 8 plans mémoire, cet octet adresse dans la table le code de la couleur choisie ; cette table est constamment modifiable par l'utilisateur. Les couleurs sont obtenues par addition de rouge, vert et bleu dans les proportions de 0, 1/3, 2/3 ou 1.

L'animation est obtenue en travaillant alternativement sur deux groupes de plans, prenons pour simplifier deux plans  $P_0$  et  $P_1$  : soient  $I_a$  les  $n$  images consécutives qui forment le dessin animé, l'algorithme est alors le suivant :

- 1 Initialisation de la table des couleurs à  
(fond-fond-fond-fond).
- 2 de  $a \leftarrow -1$  par pas de 1 jusqu'à  $n/2$  faire  
début
- 3 copie de l'image  $I_{2a-1}$  dans  $P_0$
- 4 charger la table des couleurs  
(fond, tracé, fond, fond)
- 5 effacer  $P_1$
- 6 copie de l'image  $I_{2a}$  dans  $P_1$
- 7 charger la table des couleurs  
(fond, fond, fond, tracé)
- 8 effacer  $P_0$
- fin
- 9 Fin de l'algorithme.

La table des couleurs initialisée en 1 permet de copier la première image en mémoire propre sans affichage sur l'écran. L'image apparaît en 4, les bits à 1 dans  $P_0$  engendrent pour les points écran correspondants la couleur de tracé.

Le plan  $P_1$  est alors chargé de l'image suivante à l'étape 6, après remise à zéro en 5. L'affichage de cette nouvelle image s'effectue dès le changement de la table en 7. Le basculement de la table, c'est à dire le passage d'une image à la suivante sur l'écran, est rapide (quelques dizaines de mots à transférer). Le tracé d'une image prend plus de temps (quelques K mots), mais ne provoque aucune gêne visuelle car l'image affichée reste stable pendant la mise en mémoire de l'image suivante. Le débit accepté par le terminal est de 500k par seconde.

ANIMATED DISPLAY OF A COMPUTER SIMULATED WAVE PROPAGATION  
 VISUALISATION ANIMÉE D'UNE PROPAGATION  
 D'ONDE SIMULÉE PAR ORDINATEUR.  
 J. CARNET & J. DUJARDIN

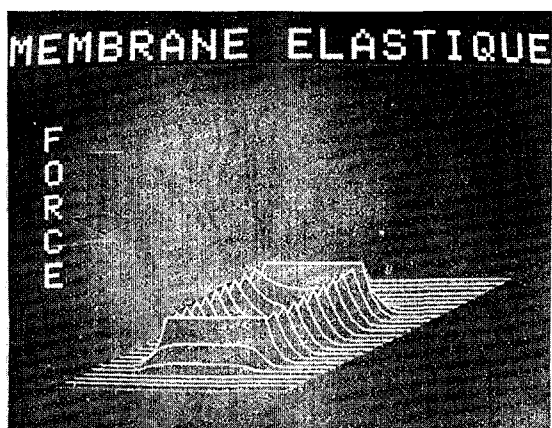
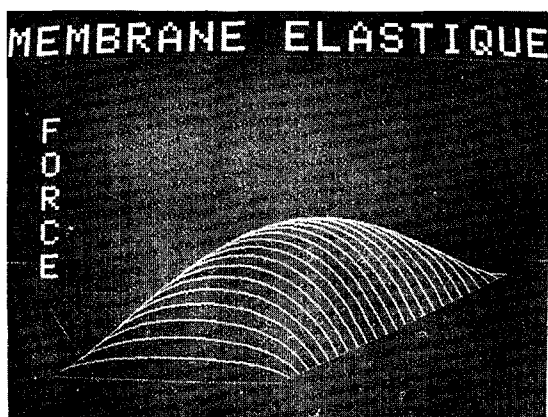
APPLICATIONS

Problème de l'obstacle.

Ce problème consiste à trouver la position d'équilibre d'une membrane élastique qui :

- a son bord fixe
- est soumise à l'action d'une force verticale
- s'appuie sur un obstacle.

Nous donnerons un exemple d'évolution de la forme de la membrane en fonction de la force oscillant entre deux valeurs de signes opposés.



Problème de la propagation de la houle dans un port.

Application au port du Havre.

Le modèle de mécanique des milieux continus donne une équation aux dérivées partielles régissant le phénomène de propagation d'onde de surface

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h(x,y) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( h(x,y) \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + (Q(t,x,y) + \rho \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \mu \frac{\partial \phi}{\partial t}) = 0$$

où

$\phi(t,x,y)$  est l'élévation de la surface de l'eau par rapport à sa position moyenne.

$h(x,y)$  est la profondeur du port au point  $(x,y)$

$Q(t,x,y)$  un terme de source

$\rho = 1/g$  ( $g$  accélération de la pesanteur) et  $\mu = 0$

avec des conditions initiales et aux limites ; ces dernières peuvent être de différents types :

- absorption sur une frontière plage
- réflexion sur une frontière digue
- combinaison réflexion-absorption.

Le film présente successivement :

- le maillage du port.
- l'évolution des courbes 3D sur l'ensemble du port puis sur une partie de celui-ci.
- les courbes de niveaux correspondantes.

Problème acoustique sous-marin.

L'équation générale précédente fournit le modèle de la propagation acoustique où intervient un terme de source et la célérité en tout point du milieu ; dans le cas de l'acoustique sous-marine le domaine est réunion de trois sous domaines (air-eau-fond) avec discontinuités ce qui entraîne des conditions de passage particulières aux niveaux des dioptries. Le calcul numérique fournit la pression acoustique en tout point à tout instant.

Le film présente l'évolution du champ acoustique dans un plan vertical passant par la source : courbes de niveaux et 3D.

Simulation de la propagation acoustique sur un profil d'aile.

On reprend le modèle précédent pour étudier le comportement du champ acoustique provenant d'une source émettrice et venant frapper une cible ; celle-ci sera choisie successivement absorbante puis parfaitement réfléchissante.



ANIMATED DISPLAY OF A COMPUTER SIMULATION WAVE PROPAGATION  
 VISUALISATION ANIMÉE D'UNE PROPAGATION  
 D'ONDE SIMULÉE PAR ORDINATEUR.  
 J. CARNET & J. DUJARDIN

ANIMATION VIDEO

GRAPHIQUE

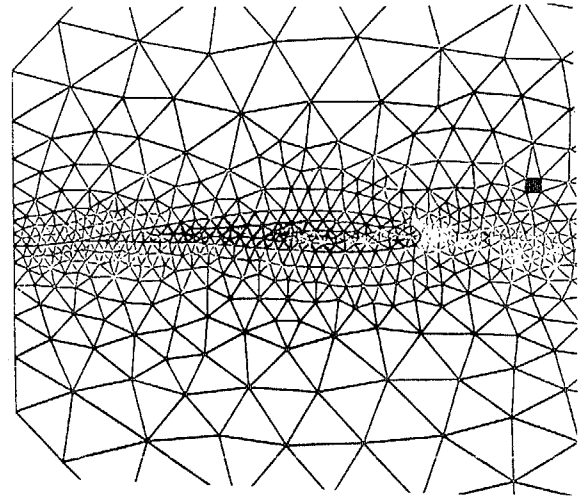
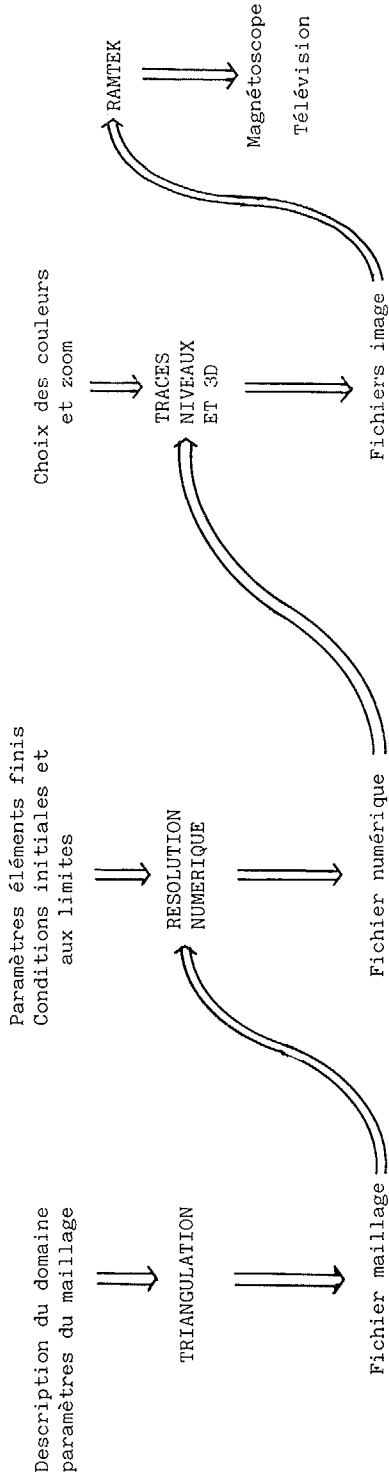
METHODE DES ELEMENTS FINIS

MAILLAGE

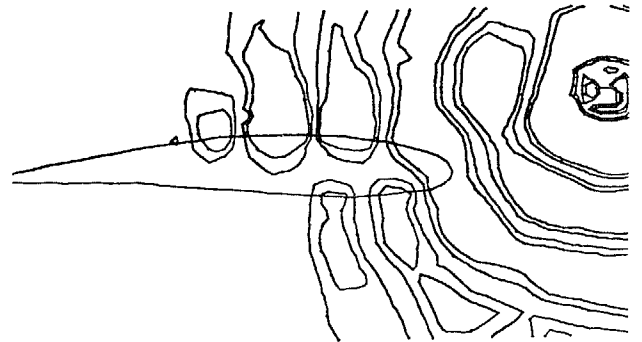
DONNES

LOGICIEL

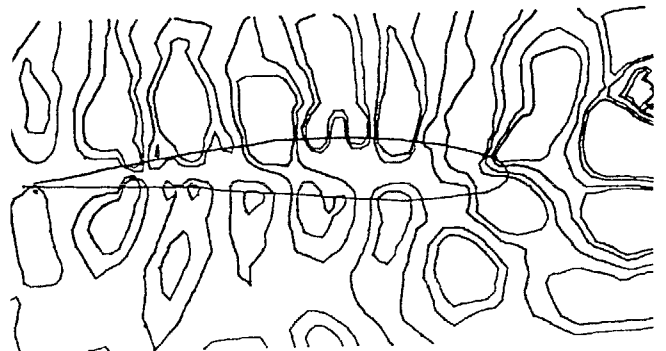
RESULTATS



Maillage d'un profil d'aile  
 Le carré noir représente la source



Début d'évolution du champ acoustique  
 ( aile absorbante )



Suite de l'évolution



ANIMATED DISPLAY OF A COMPUTER SIMULATED WAVE PROPAGATION  
 VISUALISATION ANIMÉE D'UNE PROPAGATION  
 D'ONDE SIMULÉE PAR ORDINATEUR.  
 J. CARNET & J. DUJARDIN

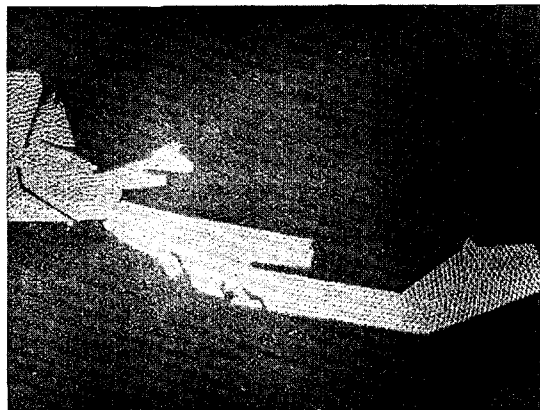
DESCRIPTION DE L'ORGANIGRAMME

Pratiquement il faut d'abord fournir au module de maillage, les données géométriques du domaine et les coefficients de taille des éléments. Les résultats de ce programme sont repris par le module de résolution des équations, auquel il faut ajouter les sous-programmes de conditions aux limites, pour obtenir les fichiers de résultats numériques du problème. Plusieurs traitements graphiques sont alors possibles :

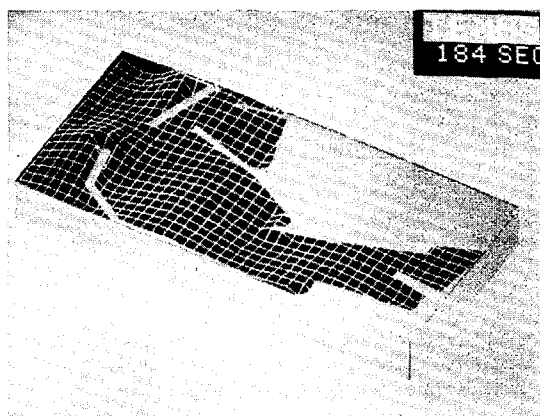
- évolution de courbes de niveau
- évolution en 3D

Les programmes de tracé créent un fichier image en mode vecteur par interpolations et détermination des lignes cachées. Un affichage a lieu simultanément pour contrôler la validité des résultats, mais il n'y a pas alors d'animation réelle à cause du temps de calcul trop grand.

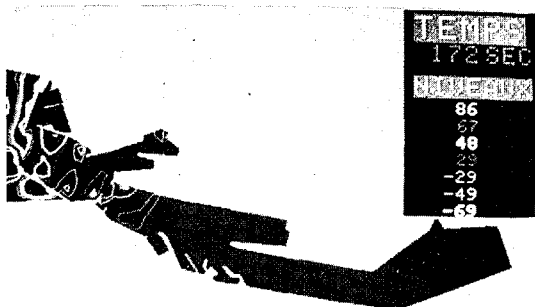
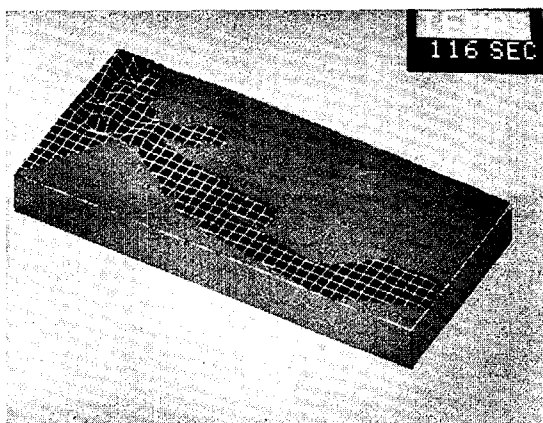
L'affichage animé est obtenu par morceaux de quelques secondes en rangeant un maximum d'images en mémoire centrale, et en envoyant ces informations au terminal Ramtek, le calculateur n'ayant alors que des transferts à exécuter. La mise en pause du magnétoscope est nécessaire pendant les échanges disque-mémoire centrale, lors d'un enregistrement vidéo de la simulation.



Maillage du port.



Evolution en courbes 3D  
 ( Zoom, correspondant à gauche )



Evolution des courbes de niveau  
 ( Zoom correspondant à gauche )



ANIMATED DISPLAY OF A COMPUTER SIMULATED WAVE PROPAGATION  
 VISUALISATION ANIMÉE D'UNE PROPAGATION  
 D'ONDE SIMULÉE PAR ORDINATEUR.  
 J. CARNET & J. DUJARDIN

CONCLUSION

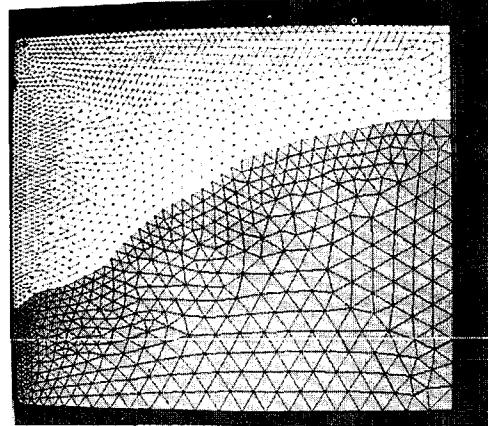
La puissance de la méthode des éléments finis permet de résoudre un grand nombre de problème ; cependant l'accumulation des résultats numériques rend difficile l'interprétation des phénomènes. La visualisation permet d'appréhender globalement et de façon suggestive les problèmes, particulièrement pour l'étude des modèles dynamiques.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un contrat (DRET n° 81/379).

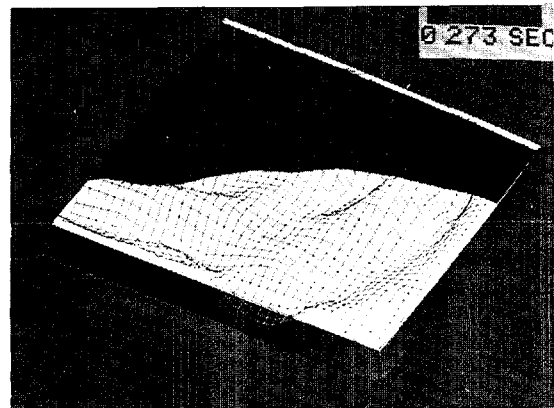
BIBLIOGRAPHIE

- Carnet J.  
 Une méthode heuristique de maillage dans le plan pour la mise en oeuvre des éléments finis. Thèse 3ème cycle Université de Paris VI 1978.
- CIARLET P.G.  
 The finite element method for elliptic problems. North Holland 1978.
- DUJARDIN J.  
 Approximation par éléments finis d'un problème d'évolution hyperbolique à coefficients variables discontinus. Thèse 3ème cycle Université de Rouen 1977.
- PAVLIDIS T.  
 Algorithms for graphics and image processing. Springer-Verlag 1982.
- RAVIART P.A.  
 Sur l'approximation de certaines équations d'évolution linéaires et non linéaires. J. Math. Pures et Appl., 46 1967.
- STRANG G. FIX G.  
 An analysis of the finite element method. Prentice Hall 1973.
- ZIENKIEWICZ O.C.  
 The finite element method in structural and continuum mechanics. Mac Graw Hill 1967.  
 The finite element method in engineering science. Mac Graw Hill 1971.

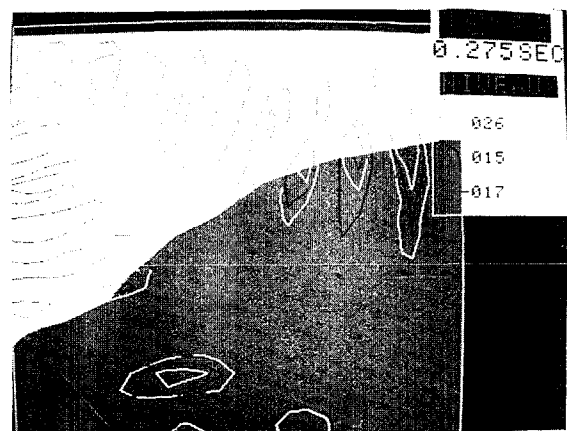
Propagation acoustique sous-marine



Maillage du domaine



Courbes 3D



Courbes de niveau