

## MODELE HYDRO-SEDIMENTAIRE DU BASSIN DE MARENNES-OLERON : PRESENTATION ET PRINCIPAUX RESULTATS

### INTRODUCTION

Le bassin conchylicole de Marennes-Oléron fait l'objet d'une étude par modèle mathématique. L'outil est élaboré par étapes successives qui voient la mise en jeu de nouveaux processus et l'introduction de nouvelles variables (Bacher, 1989 ; Raillard, 1991). La forte variabilité spatio-temporelle des matériaux dissous et particulaire de la baie a focalisé l'attention sur les processus hydrodynamiques. Les modèle de couplage des processus physiques et biologiques développés jusqu'à présent ont privilégié la représentation des phénomènes biologiques en moyennant dans le temps et l'espace les phénomènes physiques. Un tel choix s'est avéré inadapté pour simuler la variabilité spatiale et temporelle du bassin de Marennes-Oléron (Raillard, 1991). L'objectif du modèle hydrosédimentaire est de calculer avec plus de précision les variations des composants de l'écosystème impliqués dans les processus biologiques majeurs qui intéressent la production primaire et secondaire du bassin. Actuellement, la modélisation se focalise sur le transport des sédiments cohésifs, lesquels régulent fortement la production phytoplanctonique (Ravail et al., 1987) et la croissance des mollusques du bassin (Héral et al., 1984a).

Le premier volet de cette étude est consacré à la présentation du modèle. Des simulations sont ensuite réalisées avec des conditions variables de forçage par la marée et la houle.

### PRESENTATION GENERALE DE LA BAIE DE MARENNES-OLERON

La baie de Marennes-Oléron est divisée en deux parties distinctes par l'estuaire de la Charente. Au nord de cet estuaire, c'est le pertuis d'Antioche largement ouvert aux influences océaniques, au sud c'est le bassin de Marennes-Oléron, bordé à l'ouest par l'île d'Oléron et à l'est par le continent, et limité au sud par le pertuis de Maumusson (fig. 1). Les secteurs les plus profonds de la baie sont situés au niveau du pertuis d'Antioche (20 m en moyenne), dans le reste de la baie la profondeur moyenne est d'environ 5 mètres avec cependant de larges estrans qui bordent l'île d'Oléron et les côtes continentales. Excepté dans les secteurs de chenaux les sédiments de la baie sont de type cohésif. Entre l'axe du bassin et le continent la fraction pélitique est comprise entre 50 et 90 %, vers l'île d'Oléron les sédiments deviennent plus grossiers mais la teneur en pélites reste comprise entre 10 et 30 % (Gouleau, 1975). Le régime hydrodynamique de la baie est fortement régulé par le phénomène de la marée. En règle générale la vitesse du courant est maximale dans les chenaux et s'atténue notablement sur les estrans. Les houles de ouest et nord-ouest et l'action des vents locaux peuvent

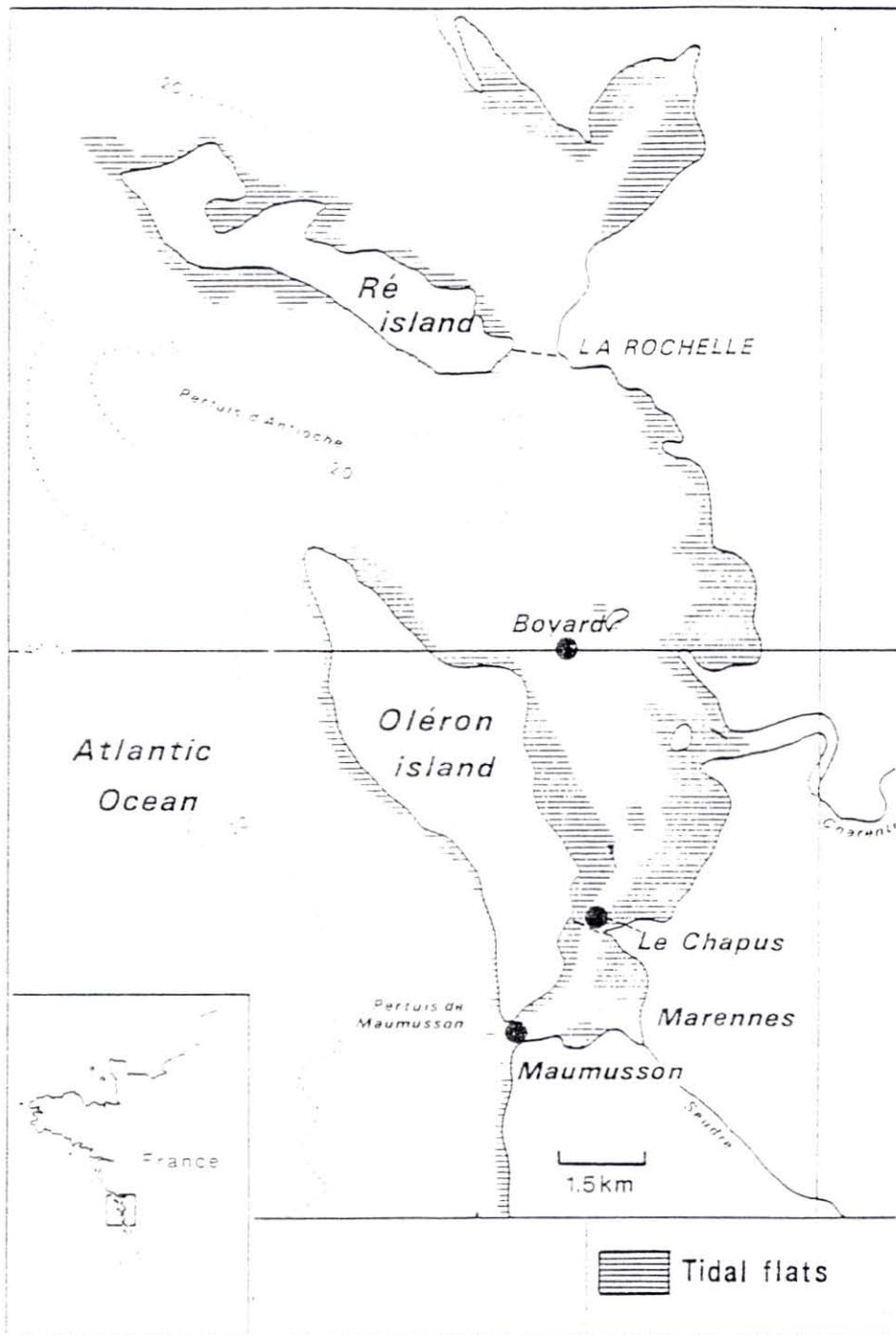


fig. 1 : Location of Marennes-Oléron bay.

occasionnellement perturber le régime périodique des courants de marée (Sornin, 1981). La charente est la principale source d'eau douce du bassin, ses apports représentent 1 % des débits résiduels de marée transitant par la frontière nord (Boyard-île d'Aix). Les sédiments fins de Charente sont stockés temporairement en un bouchon vaseux, lequel est susceptible d'être évacué en période de crues sous certaines conditions de houles et de courants (Gouleau, 1975). Toutefois, d'après Gouleau (1975) et Sornin (1981) les sédiments fins de la baie proviennent principalement des stocks de vase océanique.

## PRESENTATION DU MODELE

### Rappel des processus et des forçages

Le déplacement des sédiments est le résultat de processus simultanés d'importance relative variable dans l'espace et le temps. Ce sont :

- La mise en mouvement des particules sédimentées sous forme de suspensions en fonction d'un forçage hydrodynamique par le courant et (ou) l'agitation de surface (houle, clapot)
- Le transport par les courants.
- La chute et le dépôt des particules qui dépendent de la dimension, de la forme et de la densité de ces particules, mais aussi de leur propension à s'agréger en flocons.

### Le modèle hydro-sédimentaire

Le modèle de transport des sédiments cohésifs (Le Hir et al. (1989) ; Le Hir et al. (1993) comprend différents modèles couplés entre eux (les équations dont il est question dans ce paragraphe sont présentées au tableau I).:

- Un module de calcul du courant qui est en fait un modèle complet de résolution des équations de l'hydrodynamisme intégrées selon la dimension verticale (Salomon et al., 1989). La marée est la principale variable forçante de ce modèle, les conditions aux limites sont les hauteurs d'eau calculées par un modèle de plus grande emprise. La discrétisation est bidimensionnelle en plan horizontal.

- Un module central de résolution de la conservation de la masse des sédiments en suspension tenant compte du transport par les courants et des échanges avec le fond par érosion/dépôt. C'est une équation d'advection/dispersion classique, avec termes source (érosion) et puits (dépôt), résolue en différences finies selon le maillage défini pour le calcul du courant (voir tableau I). Le calcul du dépôt (D) tient compte du processus de floculation et de la turbulence au-dessus du sédiment. Les processus de floculation sont représentés par une

**Conservation de la masse**

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial (uhC)}{\partial x} + \frac{\partial (vhC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( Kh \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( Kh \frac{\partial C}{\partial y} \right) + (E - D)$$

C : concentration du sédiment dans l'eau

h : hauteur d'eau

K : coefficient de diffusion

u, v : vitesses du courant

D, E : taux de dépôt et d'érosion

h : hauteur d'eau

**Taux de dépôt**

$$D = W_s \cdot C \cdot \left( 1 - \left( \frac{u^*}{u_{cd}} \right)^2 \right)$$

$$u^* = \max(u_c^*, u_h^*)$$

$$u_c^* = \text{vitesse de frottement lié au courant} = \frac{\sqrt{(u^2 + v^2)g}}{k h^{1/6}}$$

$$u_h^* = \text{vitesse de frottement lié à la houle} = 0,3 \cdot \frac{H}{\sqrt{h}}$$

H : hauteur de houle

$u_{cd}$  : vitesse critique de dépôt ;

k : coefficient de Strickler.

$W_s$  :  $f(C, u^*)$  cf. figure ci-contre

**Taux d'érosion**

$$E = M \left( \left( \frac{u^*}{u_{ce}} \right)^2 - 1 \right)$$

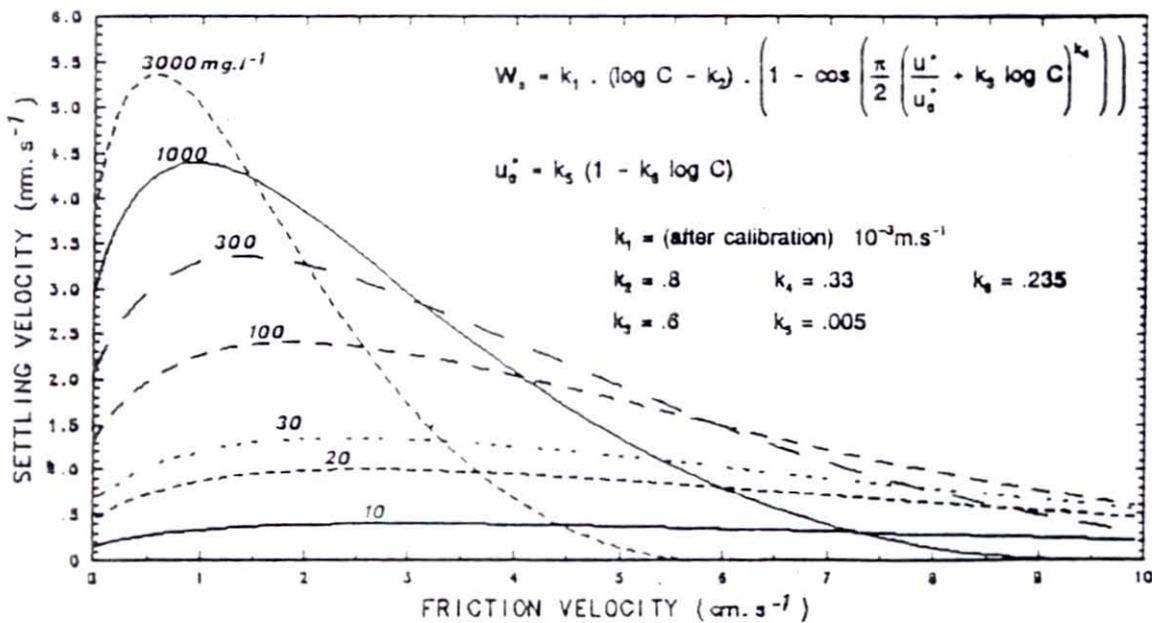
$$u_{ce} = 0.017 \cdot Ty^{0.25} \quad \text{si } Ty < 1.5$$

$$u_{ce} = 0.014 \cdot Ty^{0.5} \quad \text{si } Ty > 1.5$$

} selon Migniot, 1981

Ty : rigidité initiale = a C<sub>s</sub><sup>b</sup>

C<sub>s</sub> : concentration superficielle du sédiment



Computed relationship between floc settling velocity, concentration and bottom friction velocity. (after Le Hir et al, 1993)

variation de la vitesse de chute des matériaux ( $W_s$ ) avec la concentration en MES et la turbulence ( $T$ ). L'intensité de la turbulence est estimée par la vitesse de frottement sur le fond ( $U^*$ ) elle-même calculée d'après le forçage hydrodynamique (courant, houle). Le taux d'érosion ( $E$ ) des sédiments est une fonction de la vitesse de frottement et de l'érodabilité des vases (vitesse critique de frottement,  $U_{ce}$ ).

- Un module de tassement des fonds de vase qui rend compte des variations de l'érodabilité du sédiment ( $U_{ce}$ ) en fonction du processus de consolidation (dans le temps et selon la profondeur). D'autre part ce module a pour fonction de gérer le stock de vase. Le fond est discrétisé verticalement en couches de masse constante et égale (quantum). Il n'existe pas de transfert de matière entre les différentes couches dont le nombre évolue en fonction des quantités de matière érodée et (ou) déposée. La vitesse critique d'érosion ( $U_{ce}$ ) est calculée d'après la concentration de la couche superficielle. Cette dernière relation sera détaillée plus tard.

## IMPLANTATION DU MODELE DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON

### Choix des échelles spatiale et temporelle

Quoique principalement déterminé par certaines des caractéristiques physiques du bassin, (gradients des vitesses de courant, complexité bathymétrique etc, ...) le choix des dimensions du modèle répond également à des exigences d'économie du coût calcul. Le couplage souhaité avec les modules de calcul des processus biologique ne peut s'envisager avec un modèle trop coûteux pour le calcul des processus physiques. Deux raisons majeures à cela :

- les échelles de temps de variation à considérer pour les variables biologiques sont celles de la saison, voire de l'année.

- l'indétermination qui pèse sur la valeur des paramètres biologiques oblige à un nombre important d'essais.

Du point de vue du modèle hydrodynamique le calcul des échanges avec le fond exige de considérer la chronologie réelle des courants. C'est donc sur les dimensions spatiales du modèle que l'on peut jouer pour concilier au mieux ces exigences antinomiques de précision et d'économie. Le maillage présenté à la figure 2 est une première tentative pour résoudre cet épineux problème. Ainsi définie, l'emprise géographique du modèle hydrodynamique semble être en mesure de respecter l'indépendance des conditions aux limites vis à vis des variations induites au niveau du bassin par les processus modélisés. D'autre part, la taille des mailles (1000 m) devrait permettre de rendre compte assez correctement de l'hétérogénéité de la bathymétrie et de la répartition du sédiment.

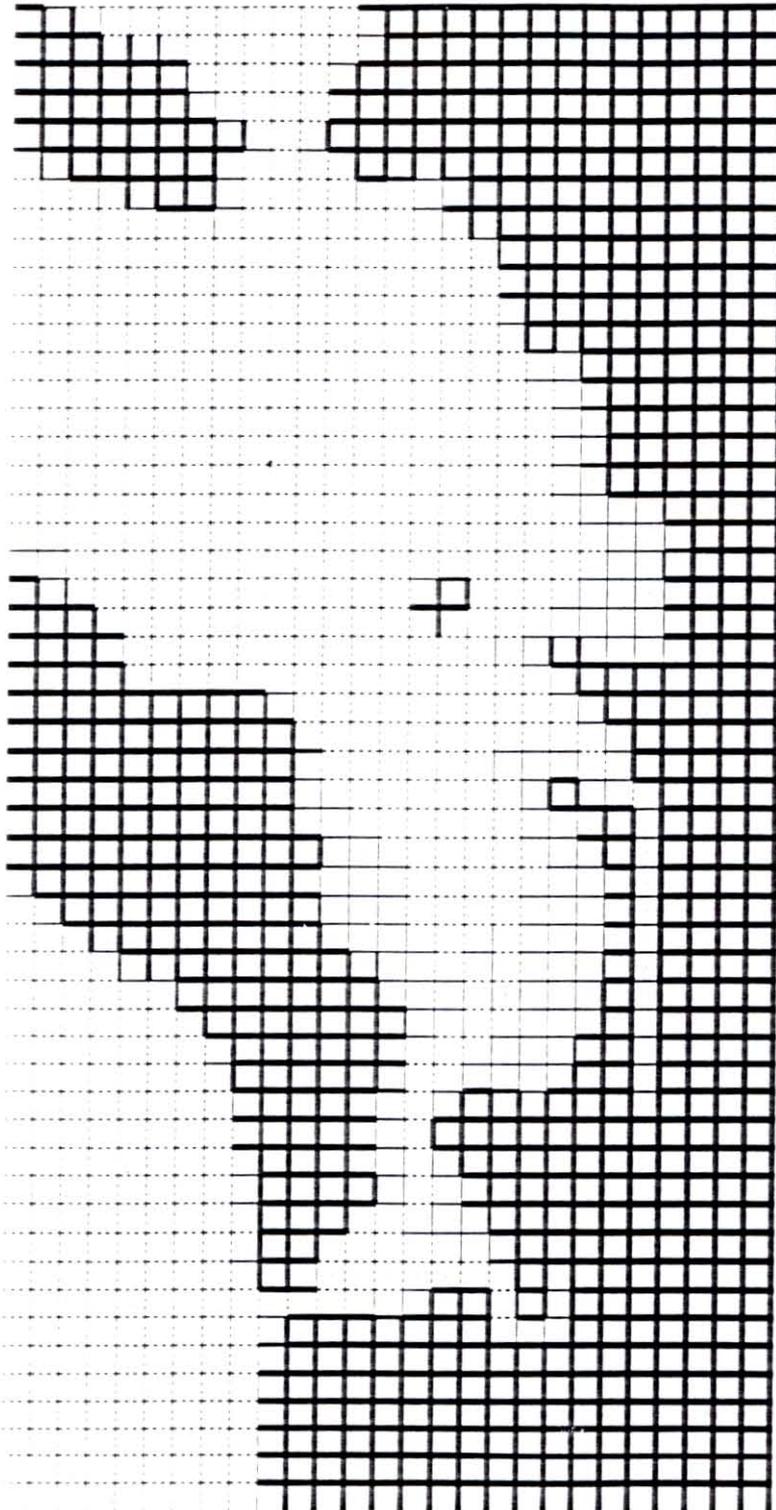


fig. 2 : Computation grid of the sediment dynamics model of Marennes-Oléron bay.

## Le modèle hydrodynamique

La condition aux limites est formulée de la manière schématique suivante : l'amplitude  $M_2$  des hauteurs d'eau aux limites ouvertes du modèle est calculée par interpolation linéaire des résultats d'un modèle de plus grande emprise (Lazure, com. pers.), et modulée linéairement en fonction du coefficient. La valeur du coefficient de marée évolue selon une fonction sinusoidale, et oscille entre 40 et 100 sur une période de 14.5 jours. Le fleuve Charente est pris en compte dans le calcul hydrodynamique. La taille des mailles ne permet pas de considérer la bathymétrie et la taille réelles du fleuve. La "modélisée" morphologie maintient dans la mesure du possible les principales caractéristiques hydrodynamiques (volume oscillant, amplitude et phase de l'onde de marée) du fleuve. Le débit propre de la Charente est pris constant et égal à 25 m<sup>3</sup>/s.

## Le modèle de transport sédimentaire

### Conditions aux limites

La concentration des masses d'eau pénétrant aux limites géographiques du modèle est supposée constante et égale à 0.01 Kg/m<sup>3</sup> (Bacher, com. pers.). Les apports de Charente dont on sait qu'ils n'influencent qu'occasionnellement le régime de turbidité du bassin (Sornin, 1981) sont pour l'heure négligés.

### Conditions initiales

Un stock de vase sur le fond est attribué à chacune des mailles comprises dans la zone du modèle sédimentaire. Les mesures effectuées par Sauriau et al. (1989) révèlent 5 types sédimentaires prédominant à Marennes-Oléron (voir fig. 3a). En première approximation, seules les zones dites de "vase pure" ou de "vase sableuse" ont été pourvues d'un stock infini de vase (fig. 3c), le comportement hydro-sédimentaire des éléments constitutifs de ces deux types de vases étant le plus proche de celui des sédiments cohésifs. Pour les secteurs qui ne sont pas couverts par l'échantillonnage de Sauriau (1989), la détermination des zones sédimentaires du modèle s'appuie sur la cartographie des sédiments réalisée par Chassé et Glemarec (1976 a, b) (fig. 3b). La concentration initiale des vases est prise uniforme sur l'ensemble du bassin. Un profil vertical de la concentration des couches est initié en chacune des mailles (d'après l'algorithme de tassement).

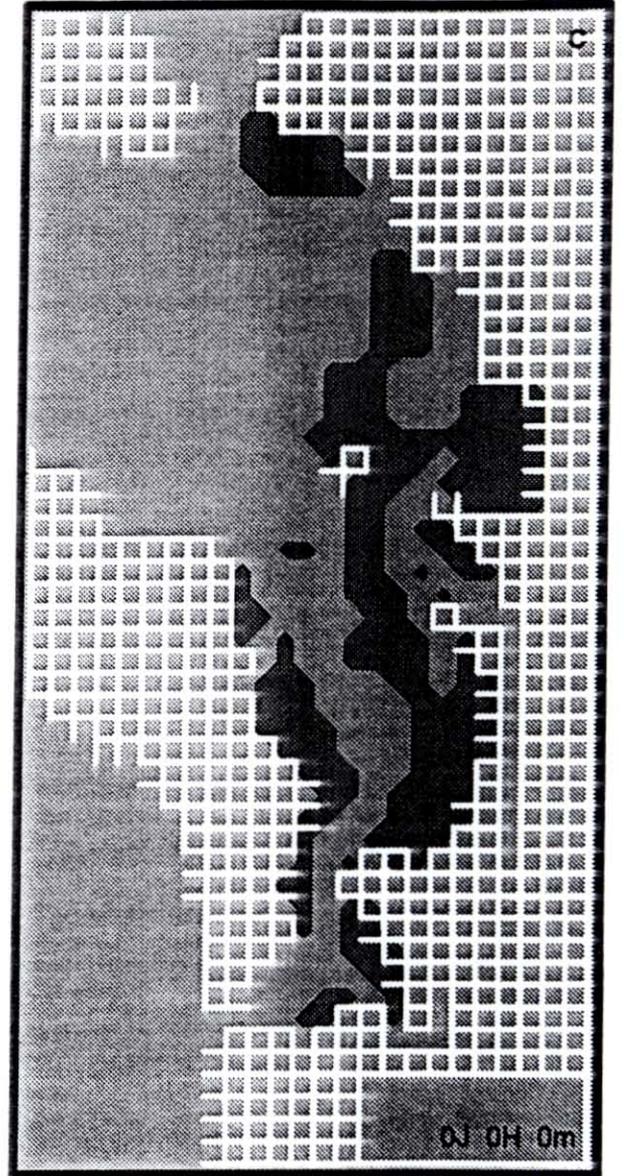
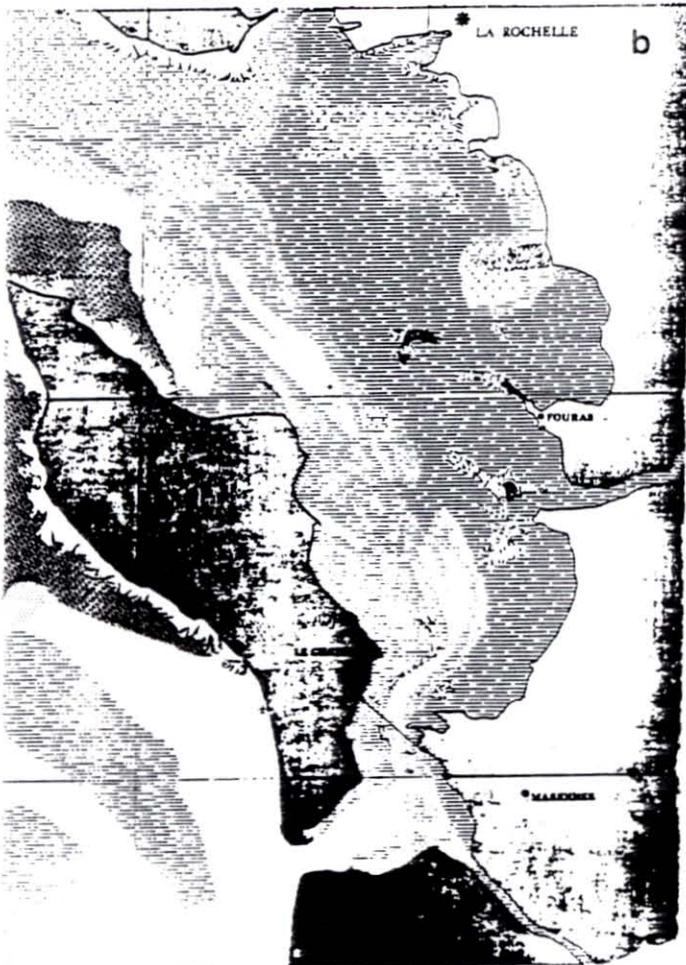
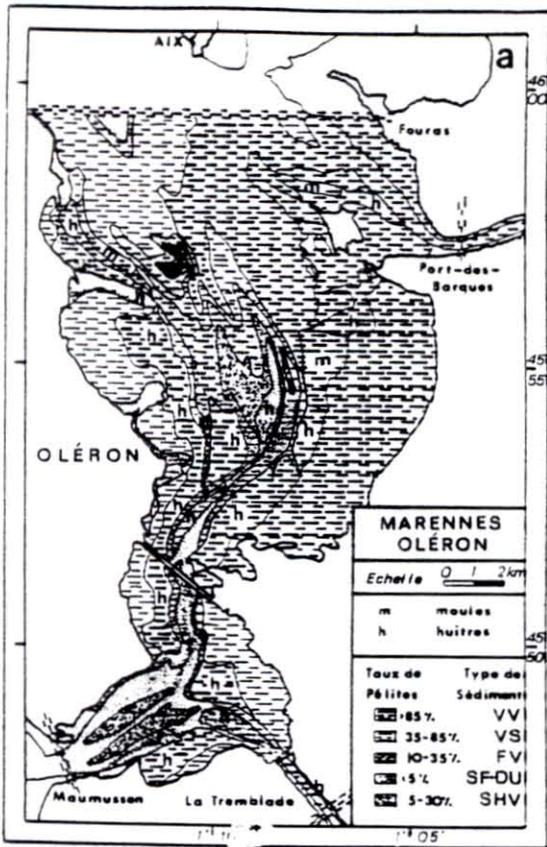


fig. 3 : a) surficial sedimentary map of Marennes-Oléron bassin following Sauriau et al. (1989) ; b) surficial sedimentary map of marennes-Oléron bay following Chassé et Glémarec (1976a, b) ; c) spatial distribution of mud for the hydro-sedimentary model.

## Lois et paramètres du modèle

Dans sa formulation et sa paramétrisation, le modèle actuel est très proche de celui développé par Le Hir et al. (1993), il est ici fait mention des éléments propres au modèle de Marennes-Oléron.

- la vitesse de frottement sur le fond ( $u^*$ ) est déduite de l'action du courant et de l'agitation due au clapot. La vitesse de frottement due au courant ( $u^*c$ ) est calculée d'après la loi de Strickler (tableau I). Le calcul des contraintes exercées près du fond par l'agitation locale est réduite à une simple évaluation selon le modèle de Johnson (1966) de la vitesse de frottement induite par une houle linéaire ( $u^*h$ ). C'est la valeur maximale de ces deux estimations de la vitesse de frottement qui est finalement considérée dans le calcul des termes de dépôt et d'érosion. La simplicité de la présente formulation ignore les processus d'interaction non linéaire houle/courant mais permet de mener à bien l'étape de faisabilité pour la prise en compte simultanée des deux types de forçage.

- la vitesse critique d'érosion est estimée à partir de la rigidité initiale (Migniot, 1989) elle-même reliée à la concentration du sédiment par une fonction puissance (Anonyme, 1992). Les paramètres de cette fonction sont obtenus par ajustement sur des données expérimentales du bassin (Anonyme, 1992).

- la loi de consolidation de la vase n'a pas été calibrée sur des données expérimentales, mais les similitudes entre les courbes de tassement calculées et celles obtenues sur des échantillons du bassin (Ano., 1992) accèdent son réalisme (cf. fig. A1).

- la concentration initiale du dépôt est prise égale à 50 Kg/m<sup>2</sup> : cette valeur faible facilite la remobilisation des dépôts frais tel qu'observé (Gouleau, 1975)

## SIMULATIONS

### I. Calculs hydrodynamiques

Les schémas de circulation instantanée sont présentés sur les figures en annexe.

La précision du modèle sédimentaire est avant tout dépendante de celle du calcul hydrodynamique. En raison du rôle joué par les courants sur le frottement au fond et les conditions de remise en suspension/dépôt, il est apparu ainsi plus pertinent de tester la validité du modèle hydrodynamique sur les vitesses de courant pour lesquelles il existe des mesures en différents points du bassin et à trois niveaux sur la vertical (figure 4). Les coefficients de marée des simulations correspondent en général à ceux des observations. Néanmoins, si les coefficients de ces observations sont inférieurs à 40 ou supérieurs à 100, la valeur du

ILE D'AIX

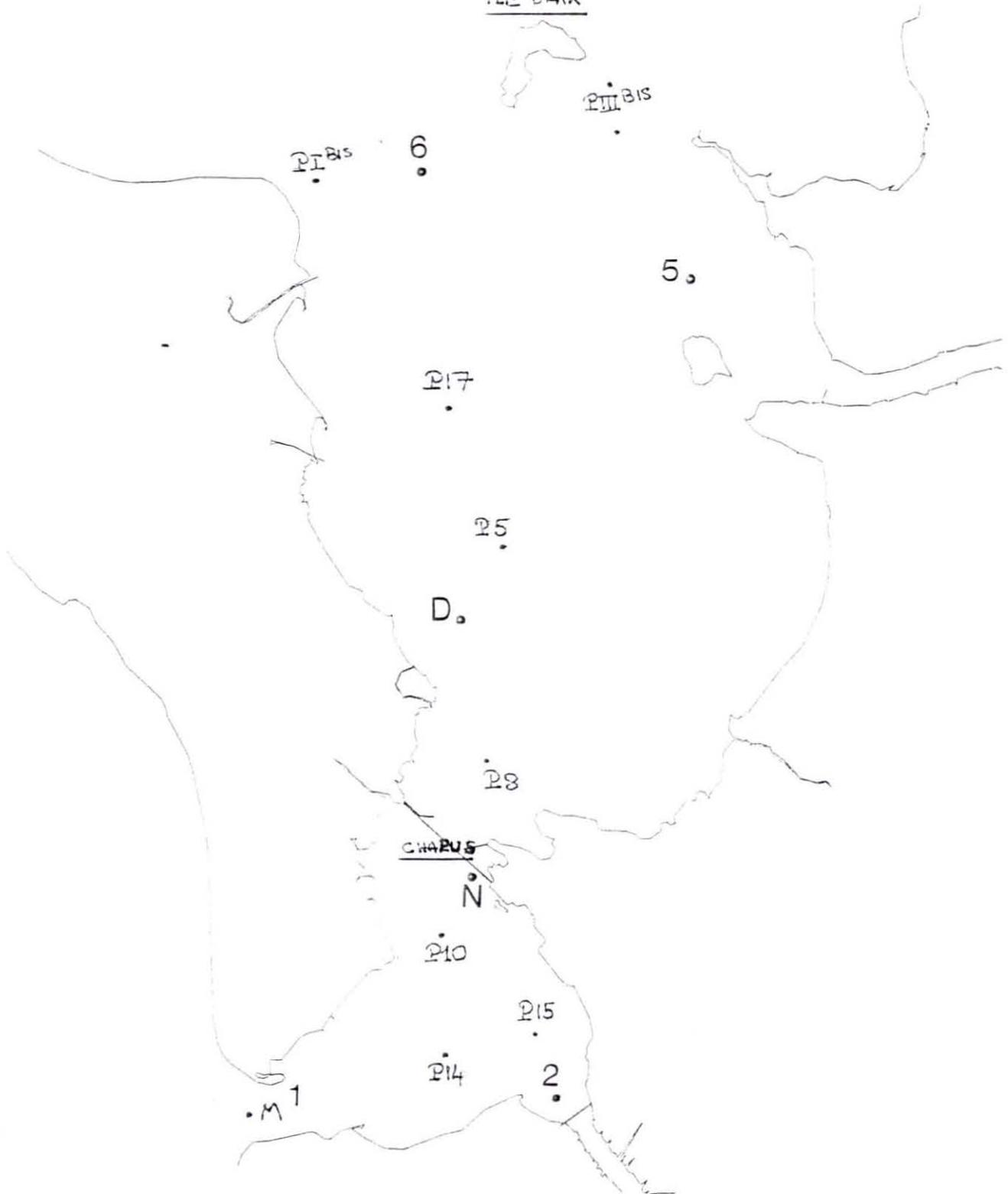


fig. 4 : sampling stations for measurements of current speed (P\*) and concentration of suspended particulate matter (1, 2, 5, 6, N and D). 1 : Maumusson ; 2 : Seudre ; 5 : Charente estuary ; 6 : Boyard ; N : Nole ; D : Doux.

coefficient des simulations reste respectivement égale à 40 ou à 100. Les heures de basse et pleine mer des simulations sont celles du Chapus.

Les résultats présentés à la figure 5 sont satisfaisants. Le modèle produit un signal réaliste des courants en plusieurs points du bassin. L'accord du modèle avec les mesures est perçu sur la valeur absolue des vitesses et sur les phases du courant. Les écarts les plus notables concernent le secteur de Ronce les bains (poste 15) dont le modèle sous-estime nettement les vitesses du courant. Ceci est probablement imputable à la résolution spatiale du modèle. Les mesures à la station 15 sont effectuées dans un secteur de chenal trop étroit pour que sa topographie soit prise en compte par le maillage actuel. Cette remarque est d'ailleurs généralisable aux autres stations où les vitesses du courant paraissent légèrement sous-estimées par le modèle (P17, PIIIbis, PM). Il n'en demeure pas moins que, dans l'ensemble, le modèle hydrodynamique constitue une base relativement robuste au calcul du transport sédimentaire.

## II. Calculs hydrosédimentaires

### A. Calcul du transport sédimentaire sur un cycle vives-eaux/mortes-eaux.

Le premier objectif de ce calcul est de comparer les signaux simulés de M.E.S aux observations effectuées dans le bassin. Les simulations sont réalisées dans un contexte météorologique calme, en accord avec celui des prélèvements effectués au Chapus. Le forçage exclusif par la marée de la dynamique sédimentaire en découle logiquement. Cependant, il est un fait que l'on observe de manière fréquente (même pour des vents faibles) la présence d'un petit clapot sur les larges estrans de la baie de Marennes-Oléron. Aux moments du recouvrement et du découverture de l'estran par l'onde de marée, les profondeurs d'eau sont faibles, et l'agitation induite par ce clapot est en mesure de favoriser la mise en mouvement des sédiments déposés et le maintien des particules dans la colonne d'eau.

Une première simulation est effectuée en ne tenant compte que du forçage par la marée. Une seconde simulation considère, en plus de l'effet de la marée, celui d'un clapot de hauteur prise égale à 5 cm sur l'ensemble du bassin. Lorsque l'épaisseur de la colonne d'eau est inférieure à 5 cm, la hauteur du clapot est définie égale à cette hauteur.

#### 1. Base de données M.E.S

A la station du Chapus, les prélèvements et les mesures en continu réalisés sur des périodes de quinze jours permettent une appréciation précise du régime de turbidité à l'échelle du cycle de marée et circatidal (vives-eaux/mortes-eaux). Ces signaux ont été obtenus dans

P 5 spring tide (84)

P 14 spring tide (100)

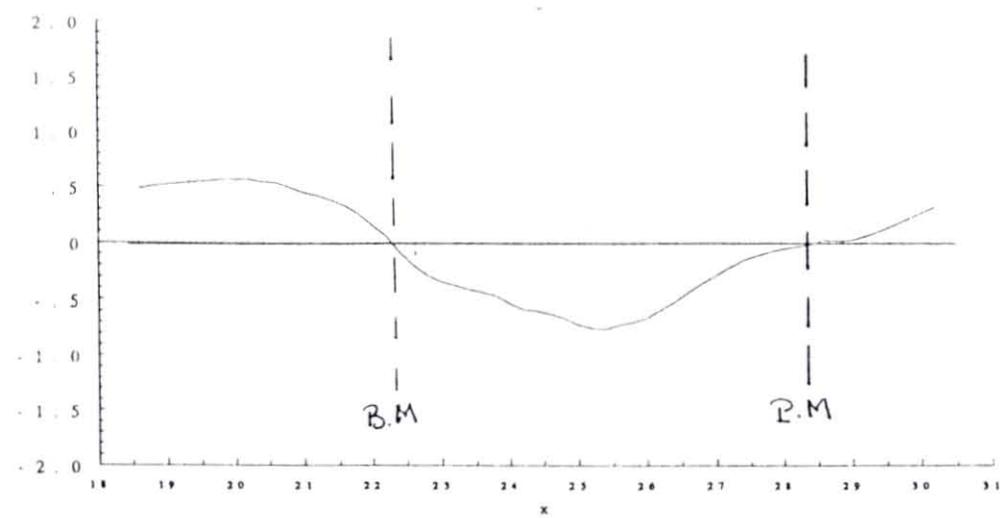
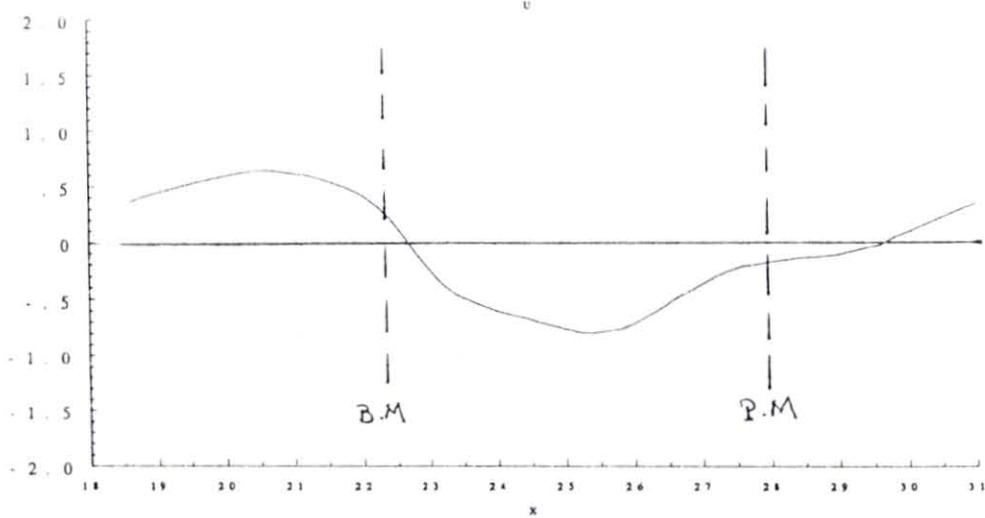
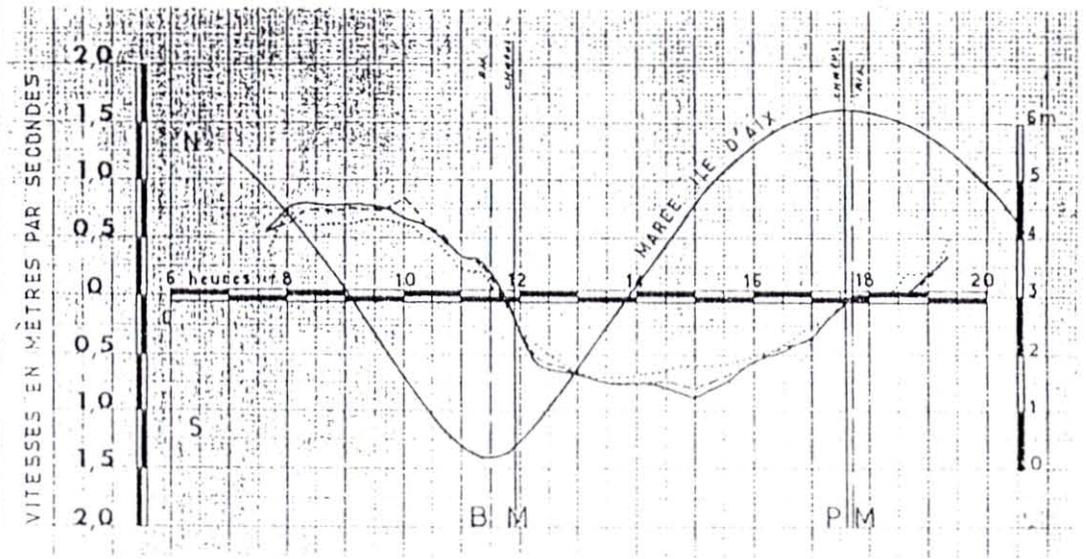
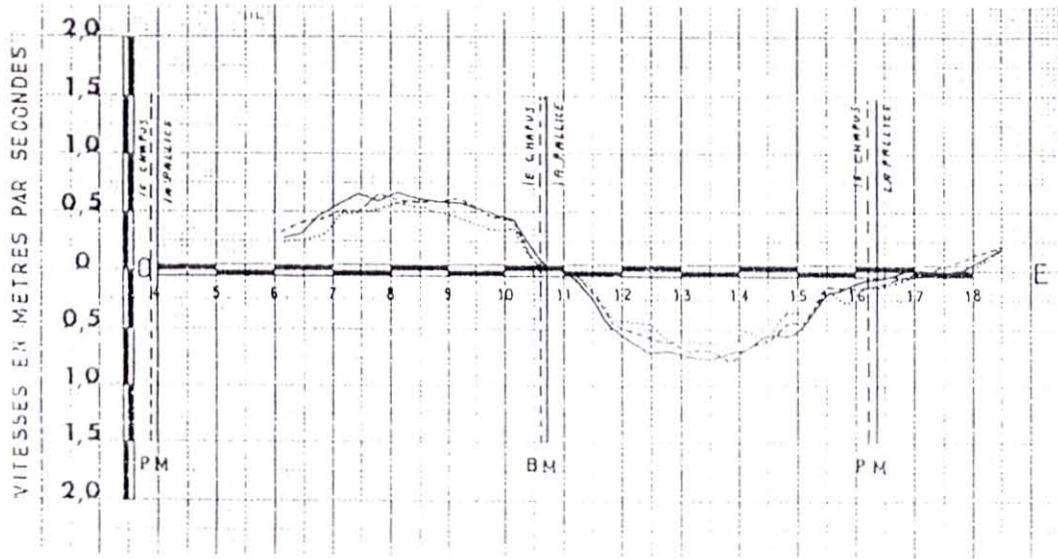
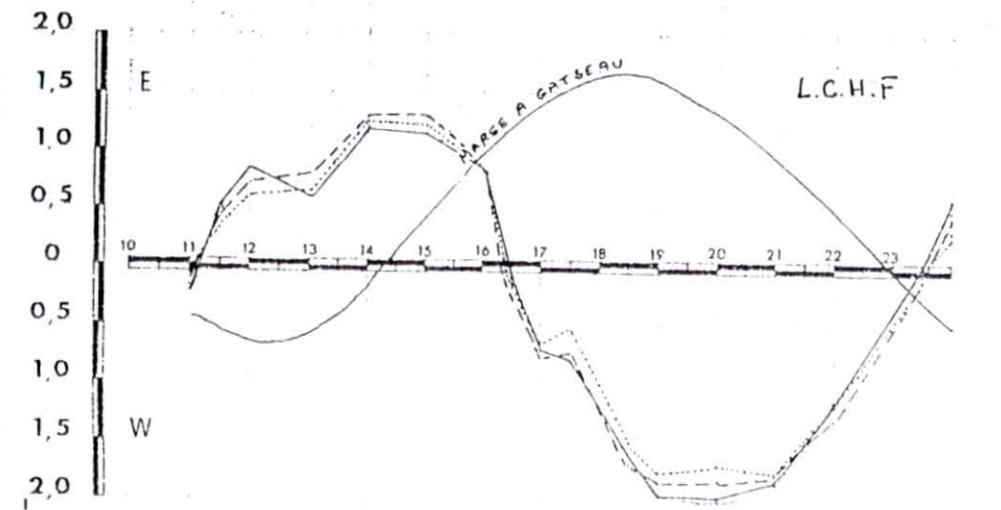
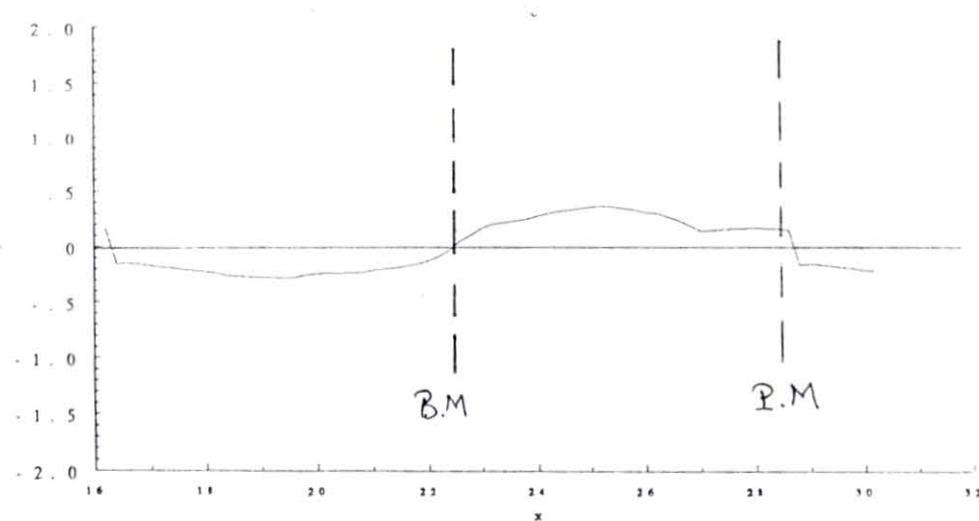
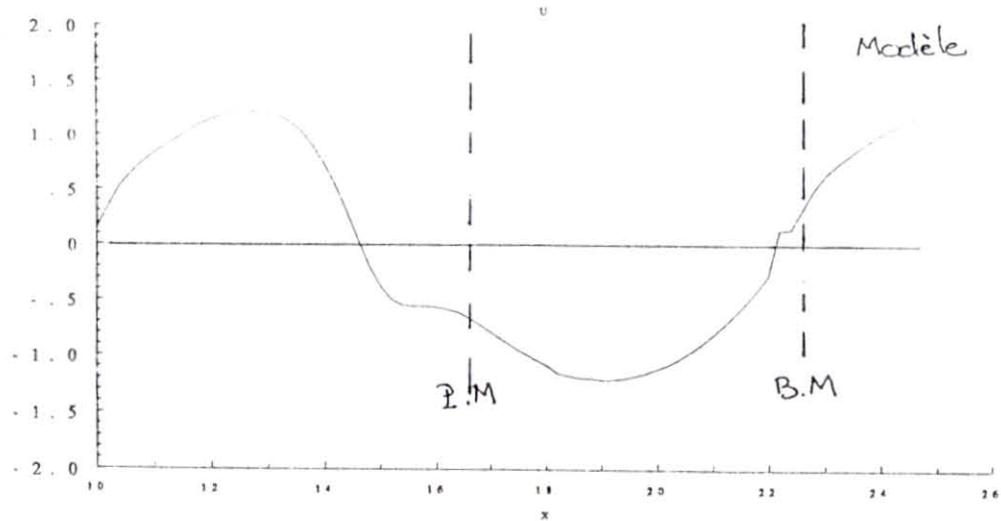
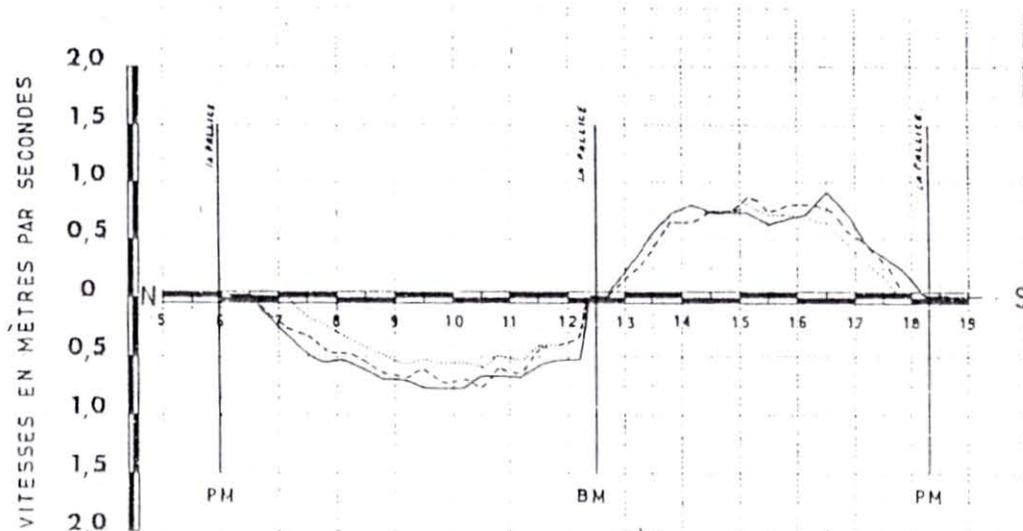


fig. 5 : simulated and measured current speed.

P<sup>M</sup> spring tide (106)

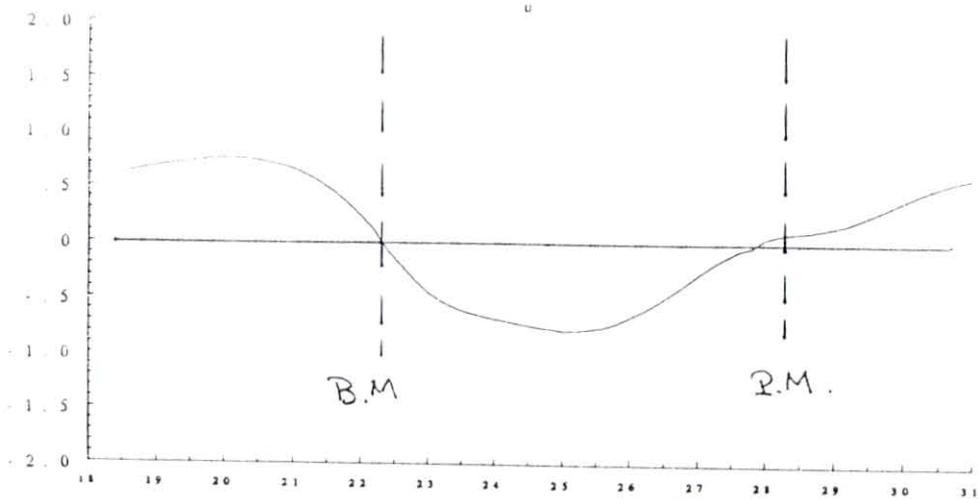
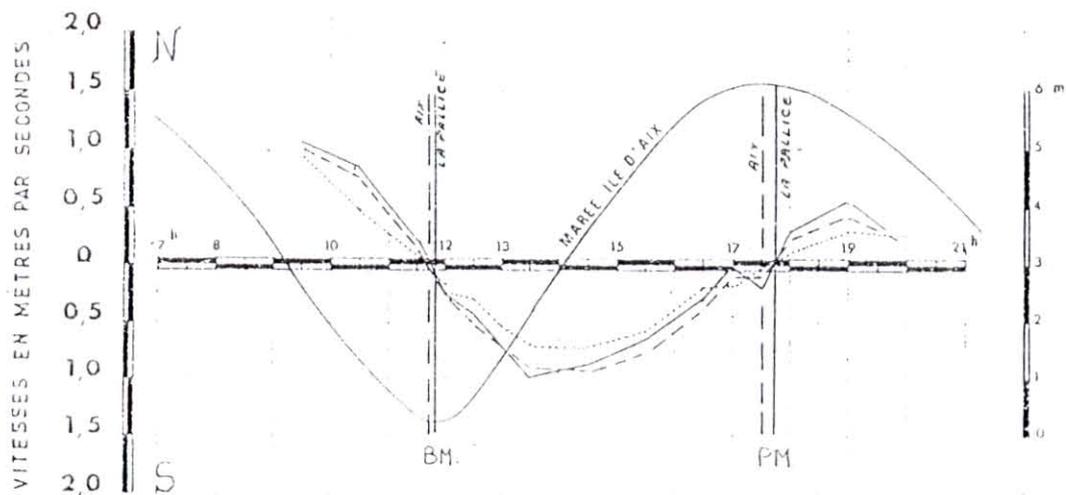


P 15 spring tide (100)

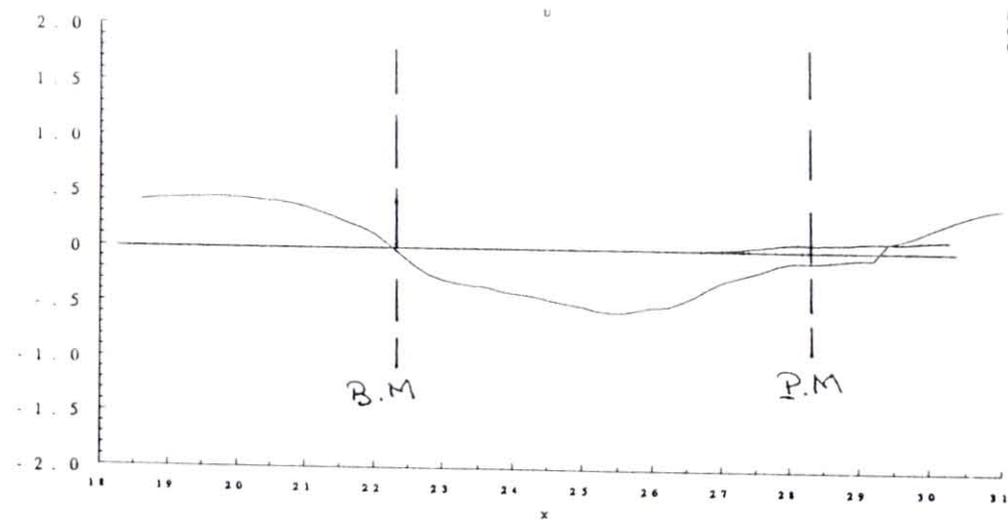
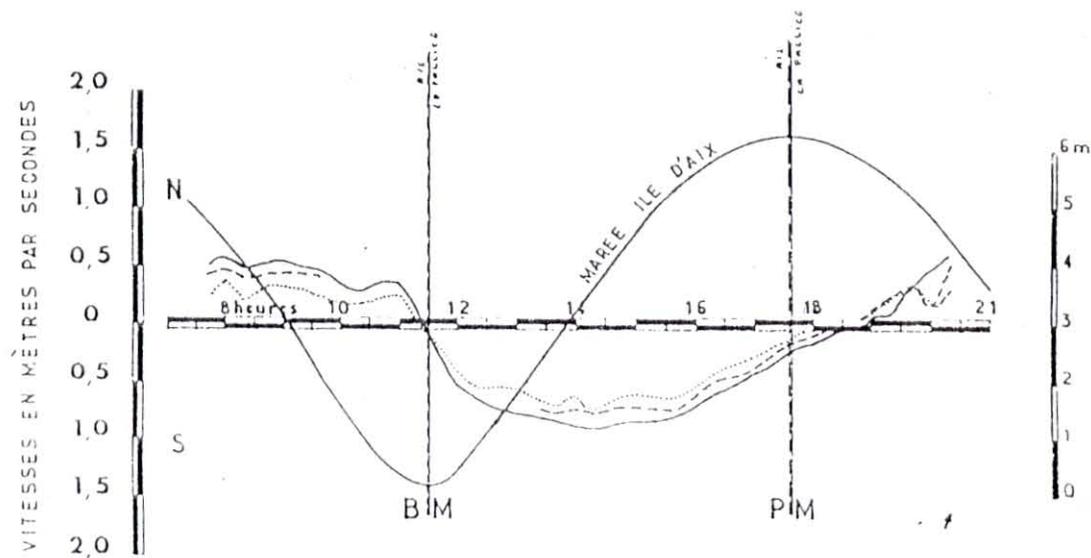


- fig. 5 (suite) -

P Ibis spring tide (105)

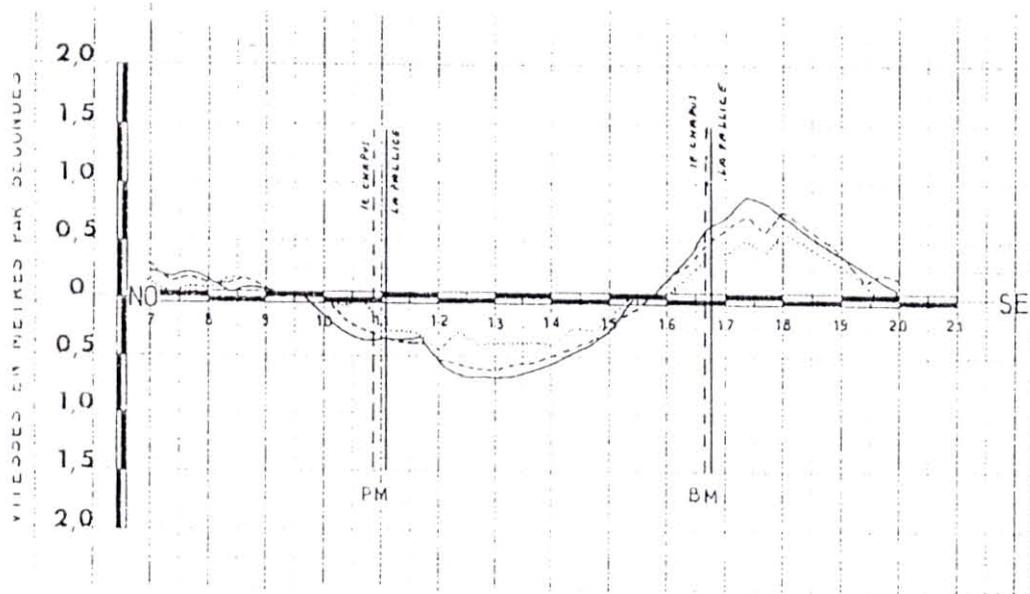


P IIIbis spring tide (107)

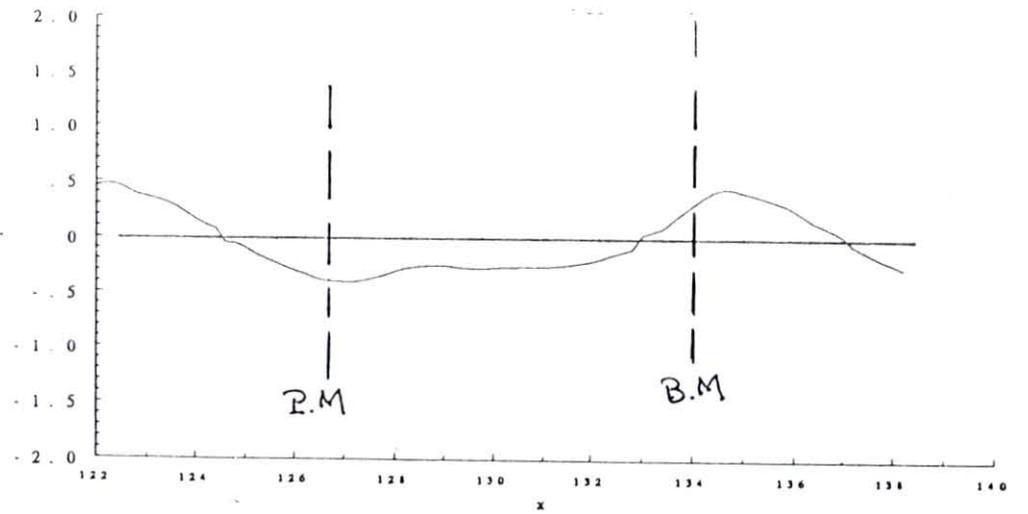
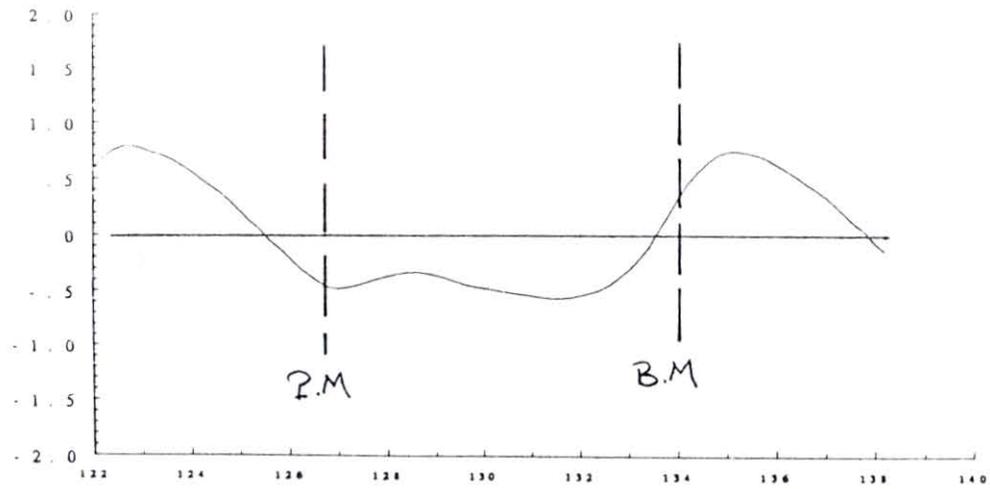
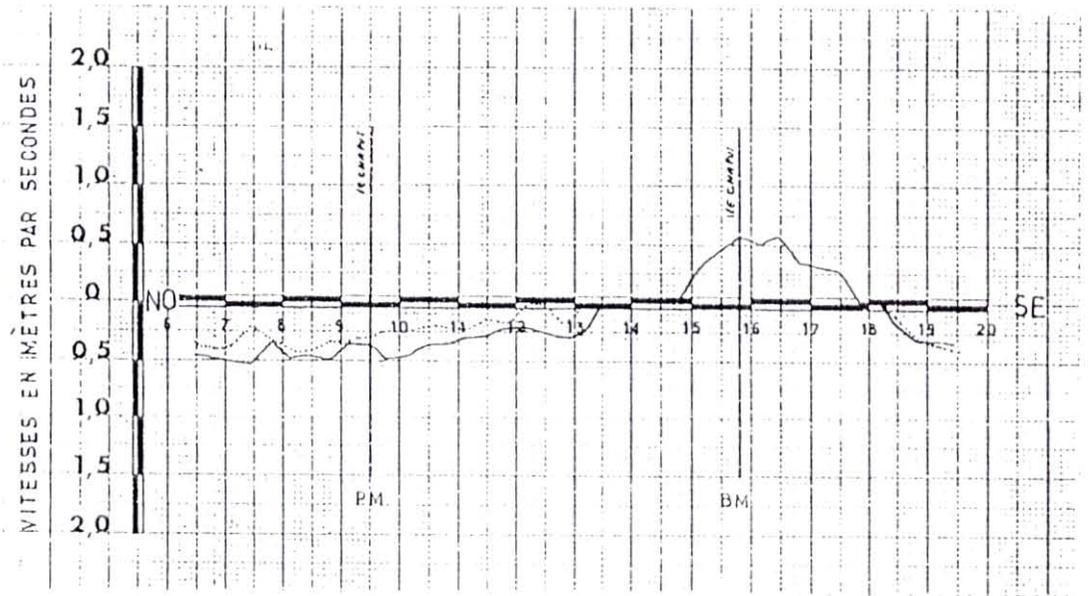


- fig. 5 (suite) -

P 10 neap tide (53)

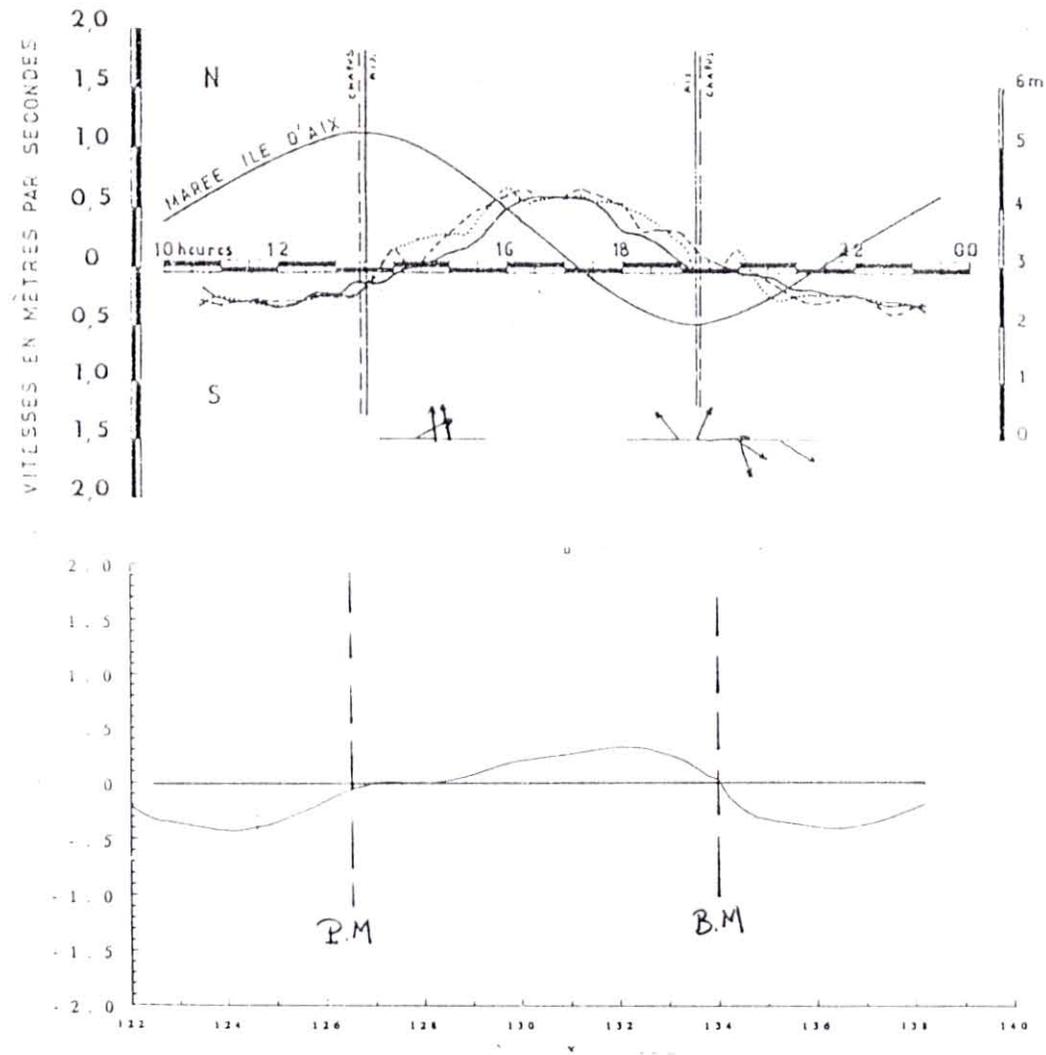


P 8 neap tide (47)



- fig. 5 (suite) -

P 17 neap tide (44)



- fig. 5 (suite) -

des conditions météorologiques généralement calmes de sorte que leur allure résulte principalement de l'action de la marée. Par ailleurs le bassin a été l'objet de nombreuses campagnes de mesures en vue d'apprécier la quantité et la qualité de la nourriture potentielle des mollusques (Héral et al., 1984b ; Gouletquer, 1989). Ces suivis de la colonne d'eau sont réalisés avec une fréquence bi-mensuelle. Afin de pouvoir effectuer une comparaison entre ces données et les signaux simulés sur un cycle vives-eaux/mortes-eaux, chaque valeur mesurée de M.E.S est rapportée au coefficient de la marée du jour de la mesure. Ainsi repérée, chaque observation peut-être replacée sur l'axe des temps de la simulation, lequel correspond également à une variation temporelle du coefficient de marée. Ces observations n'ayant pas de position précise dans le cycle intratidal, l'accord calcul/mesure doit être établi d'après la position de ce point vis à vis de la valeur minimale et maximale de M.E.S simulée au cours de la marée. Une cartographie des différentes stations est présentée à la figure 4.

## 2. Simulation du transport sédimentaire en absence de clapot.

Le transport sédimentaire est exclusivement régulé par le phénomène de la marée et les courants qu'il induit. Les résultats du modèle hydro-sédimentaire sont examinés sur une période de quinze jours. Afin de réaliser cette étude sur un signal à peu près stabilisé et donc plus fiable, les résultats du modèle ne sont pris en considération qu'à partir du 4ème cycle circatidal. Une description du panache turbide est donnée en annexe.

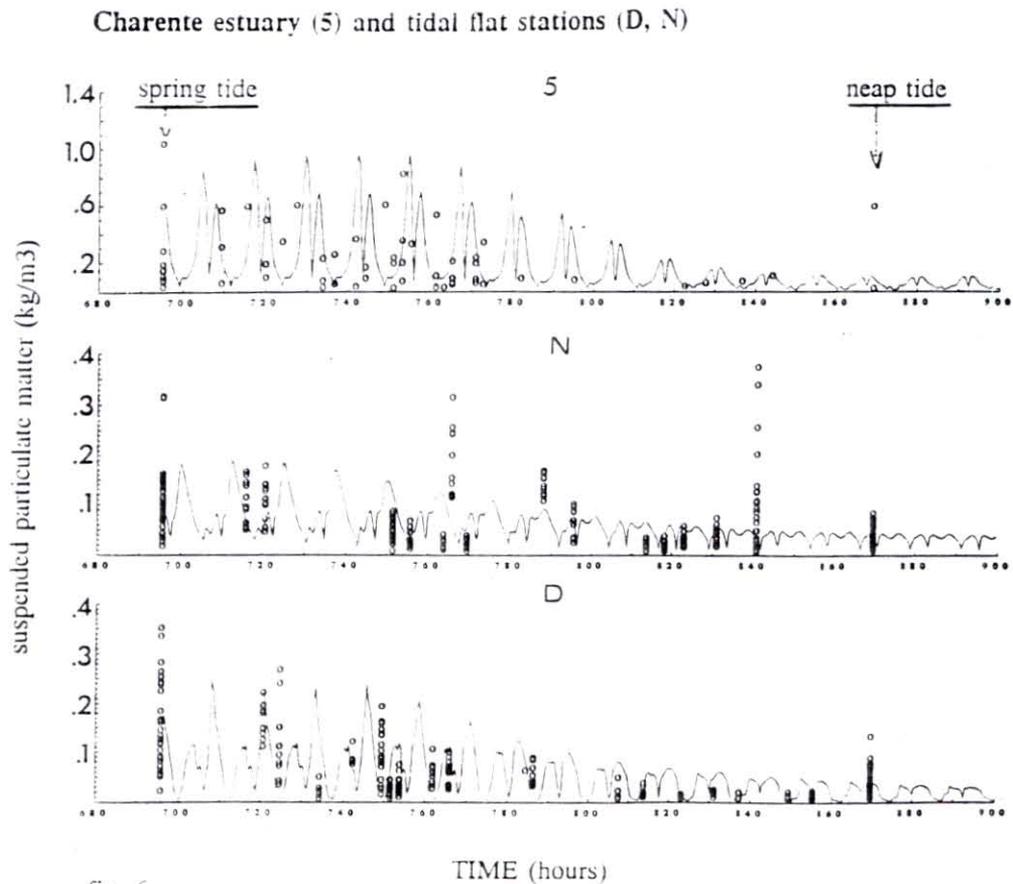
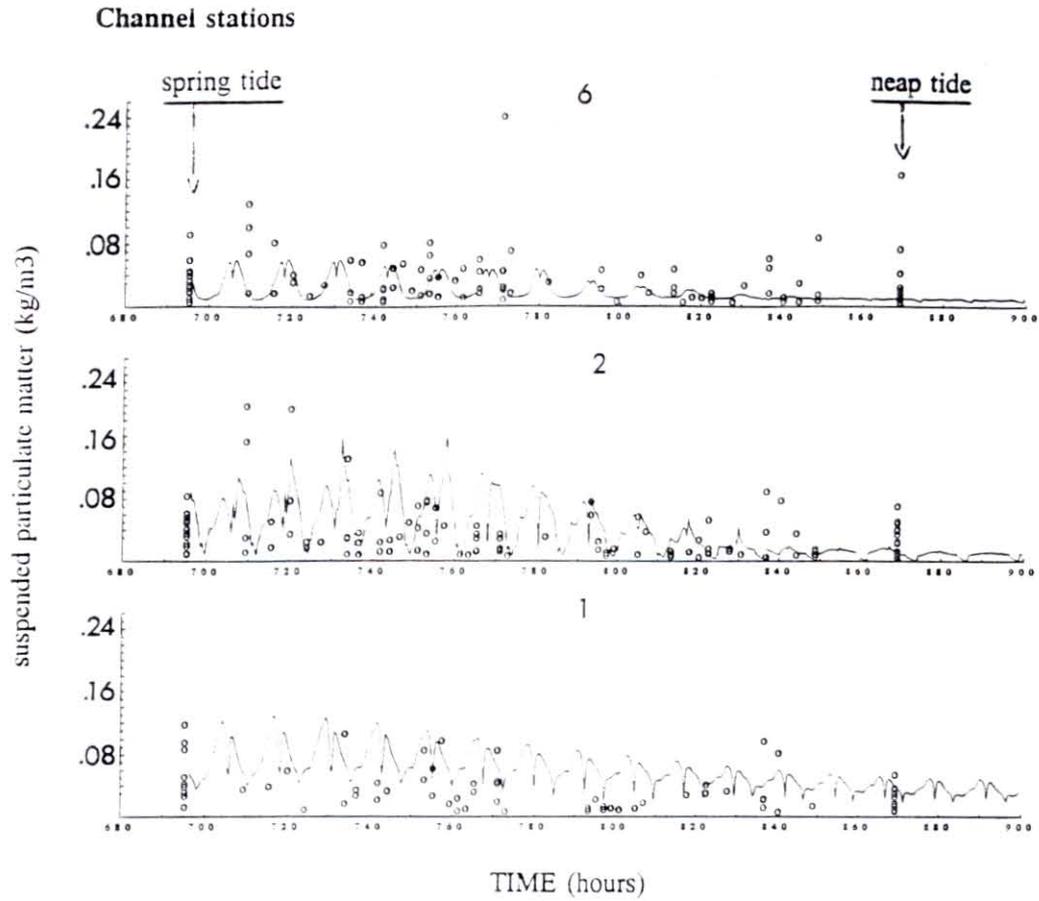
### a. Comparaisons calcul/mesure

Le cas de la station Chapus dont les prélèvements ont été effectués en continu et celui des autres stations de prélèvement du bassin sont traités à part.

Les stations 1, 2, 5, 6, N et D

Un examen global des simulations et des mesures associées (fig. 6) met en évidence une prédiction relativement correcte par le modèle du régime de M.E.S sur l'ensemble du bassin. Le modèle rend compte du contraste entre l'estuaire de la Charente et le reste du bassin. Un contraste qui s'exprime à la fois par les niveaux moyens de M.E.S et par la variabilité des mesures, tous deux significativement plus élevés dans l'estuaire. Le gradient entre les secteurs d'estran et de chenal, qui est du même type que le précédent, est également perceptible au niveau du modèle. A l'échelle du cycle circatidal, le signal simulé met en évidence une modulation des niveaux de M.E.S et de leur variabilité d'après le coefficient de la marée, laquelle s'ajuste aux observations des stations Charente (5) et Doux (D). Le modèle présente cependant des écarts avec les mesures. Les minima de turbidité à Maumusson (1)

- 170 -  
SIMULATED AND MEASURED SUSPENDED PARTICULATE MATTER  
Dynamical forcing : tide



- fig. 6 -

sont nettement surestimés. Les niveaux moyens à Boyard (6) sont significativement trop bas. A la station de Nole (N) les maxima des M.E.S mesurés peuvent se situer très au dessus de la courbe de simulation. Toutefois, le caractère sporadique des inadéquations à Nole empêchent de conclure à une sous-estimation générale de la turbidité par le modèle dans ce secteur du bassin. Il est probable, en revanche, que ces pics de turbidité, qui peuvent se produire pendant les marées de mortes-eaux, soient la conséquence de conditions météorologiques particulières (régime de vents forts, houle) lesquelles n'ont pas été intégrées dans cette simulation. De tels écarts de turbidités sont également observés, mais moins fréquemment, au niveau des autres stations du bassin.

### Le chapus

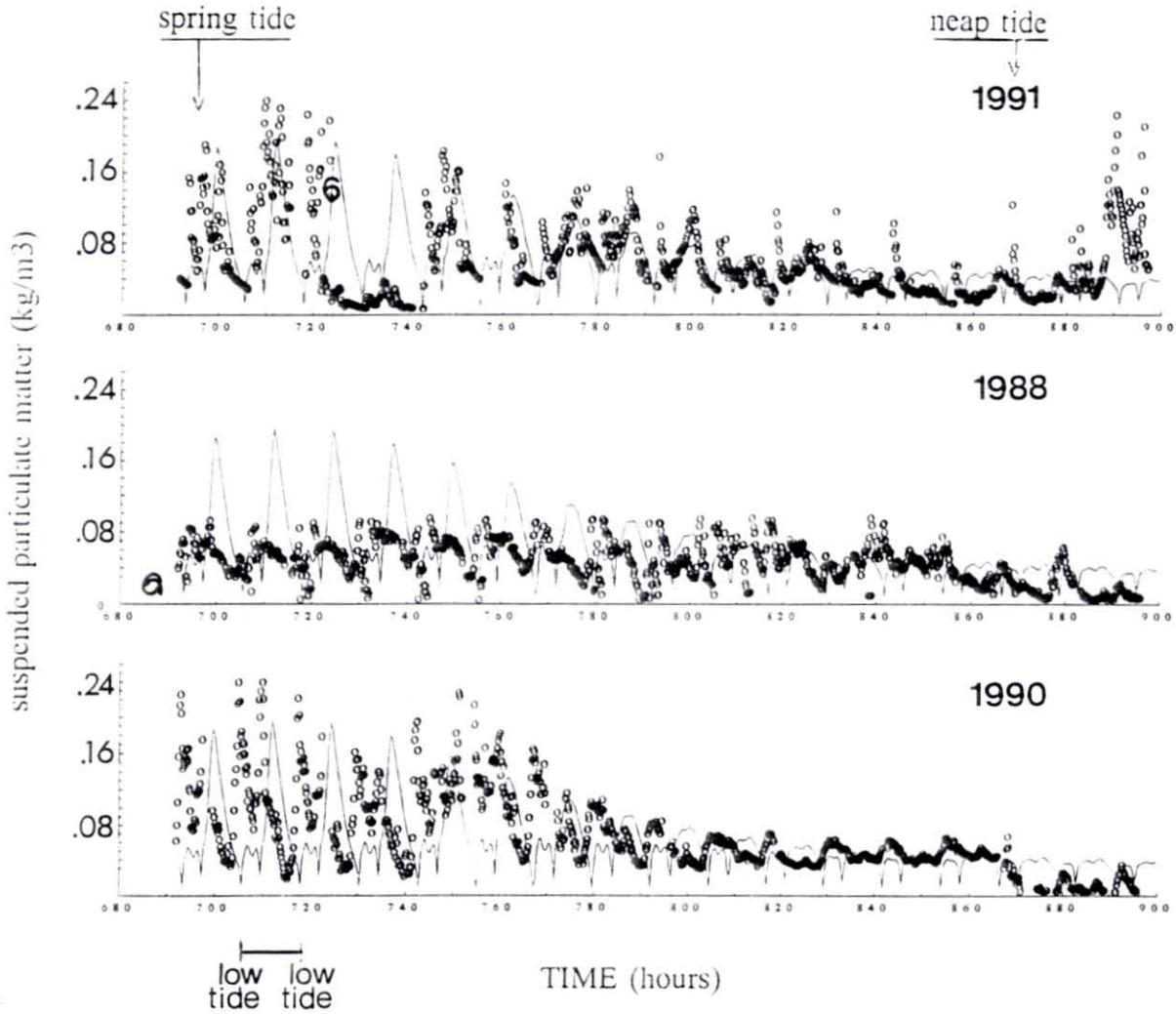
Le cycle vives-eaux/mortes-eaux de la turbidité simulée au Chapus est caractérisé par une baisse des niveaux moyens de turbidité et de l'amplitude des oscillations semi-diurnes. Ces variabilités périodiques du signal sont observables sur les mesures effectuées en continu (fig. 7). Le modèle s'accorde de plus assez correctement avec les niveaux des turbidités observées en 1990 et 1991. Les mesures effectuées en 1988 révèlent un abaissement notable des M.E.S pendant les marées de vives-eaux par rapport aux données acquises en 1990 et 1991. Une différence qui pourrait être imputée à la force des vives-eaux qui sont de moindre amplitude en 1988. Sur la portion restante du signal, les simulations s'accordent mieux avec les observations de cette année. A l'échelle de variation de la marée, l'évolution simulée des M.E.S passe par deux maxima. Le premier, dont l'amplitude est relativement indépendante du coefficient de la marée, se produit au début du flot et correspond au passage des suspensions en provenance du sud du bassin. Le second maximum se produit après la renverse des courants et résultent des remises en suspension des vases des estrans situés au nord. La valeur de ce pic est étroitement liée au coefficient de marée. Les mesures révèlent également la présence de deux pics de turbidité pendant le cycle de marée, mais l'écart avec le modèle demeure significatif, sur les 3 séries temporelles, durant les marées de vives-eaux. Dans de telles conditions (de marée), il apparaît clairement que le modèle sous-estime le premier maximum et surestime en revanche le second. La diminution de l'amplitude de marée entraînant au niveau du modèle une nette atténuation du second pic, les simulations s'accordent alors mieux avec les mesures.

### b. Bilan sédimentaire

Le bilan sédimentaire du bassin est établi d'après l'évolution temporelle des stocks totaux de sédiments dans l'eau et sur le fond, celle du cumul des quantités échangées aux limites, et à partir d'une cartographie de l'évolution des fonds durant la période considérée.

# SIMULATED AND MEASURED SUSPENDED PARTICULATE MATTER Dynamical forcing : tide

Chapus station



### Evolution temporelle des stocks de sédiment

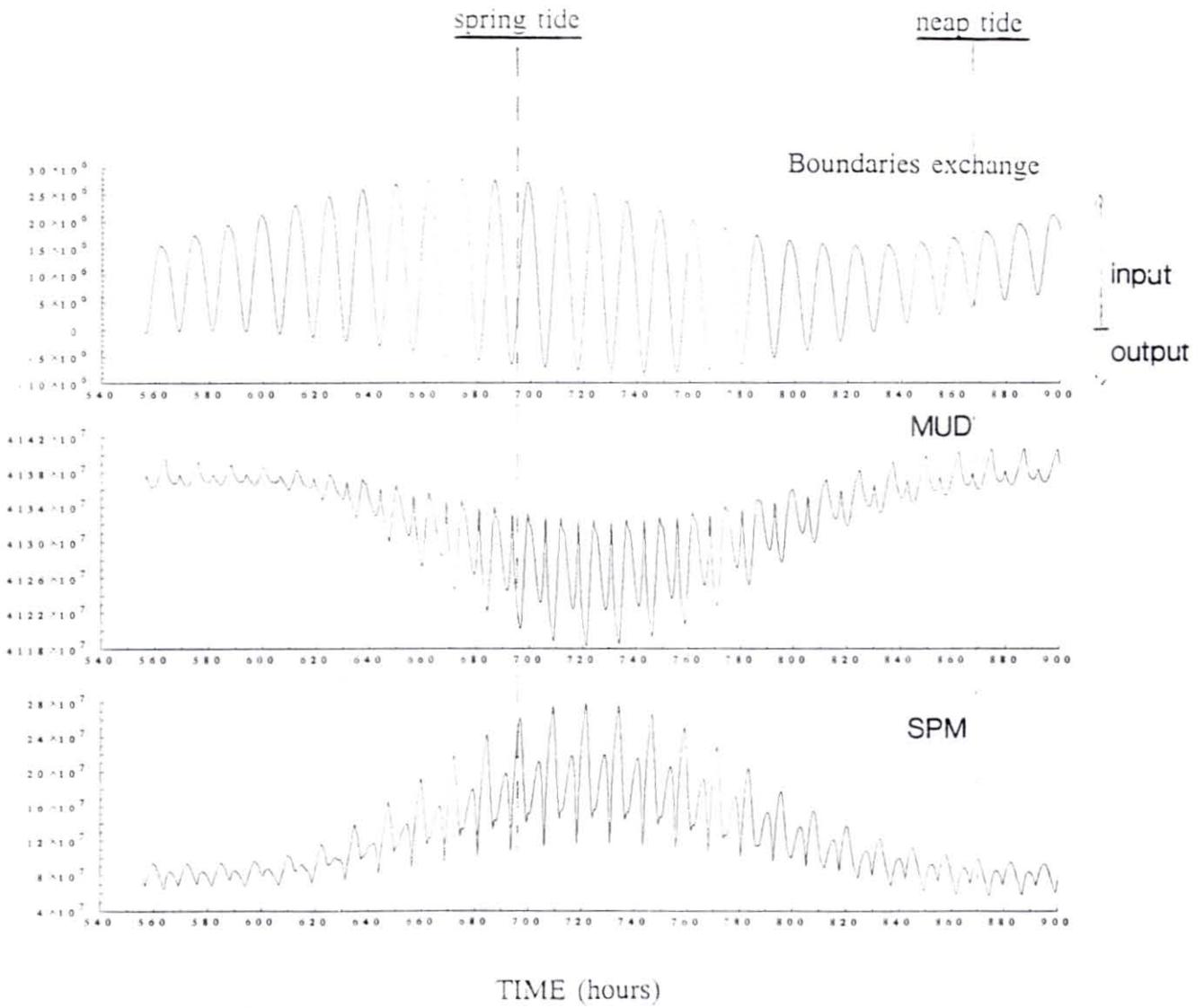
La forte corrélation entre l'évolution de M.E.S et celle de la vase met en évidence un dynamique sédimentaire principalement conditionnée par les échanges verticaux de sédiment (fig. 8). Les volumes d'échange des sédiments entre le fond et la colonne d'eau sont fortement conditionnés par les coefficients de la marée. D'autre part, l'amplitude de variation des M.E.S et de la vase pendant les vives-eaux est du même ordre que celle observée sur le cycle vives-eaux/mortes-eaux. Ceci met en évidence une déposition quasi-totale et uniforme des matériaux aux étales de vives-eaux.

Au terme des deux cycles circatidaux (mortes-eaux/vives-eaux/mortes-eaux) le bilan sédimentaire est stable. Les quantités de matière échangées aux limites étant faibles par rapport à celles mises en jeu par les échanges verticaux au niveau du bassin, on peut conclure globalement à une conservation de la masse sédimentaire dans le bassin. D'autre part, l'évolution de la vase ne montre ni engraissement ni enlèvement, les M.E.S reviennent à leur niveau initial. Il est par ailleurs remarquable que les amplitudes de variations maximales des M.E.S et conjointement celles des stocks de vase ne se produisent pas au moment de la plus forte marée (lorsque les vitesses du courant sont maximales) mais au cours des marées qui suivent. Il existe donc un retard entre l'action des courants et l'effet de cette action sur les stocks de sédiment. Les signaux de M.E.S observés au Chapus montrent un maintien des niveaux de M.E.S de vives-eaux durant les premières marées de déchet et confirment dans cette mesure la dissymétrie du signal autour de la vive-eaux.

### Cartographie de l'évolution des fonds

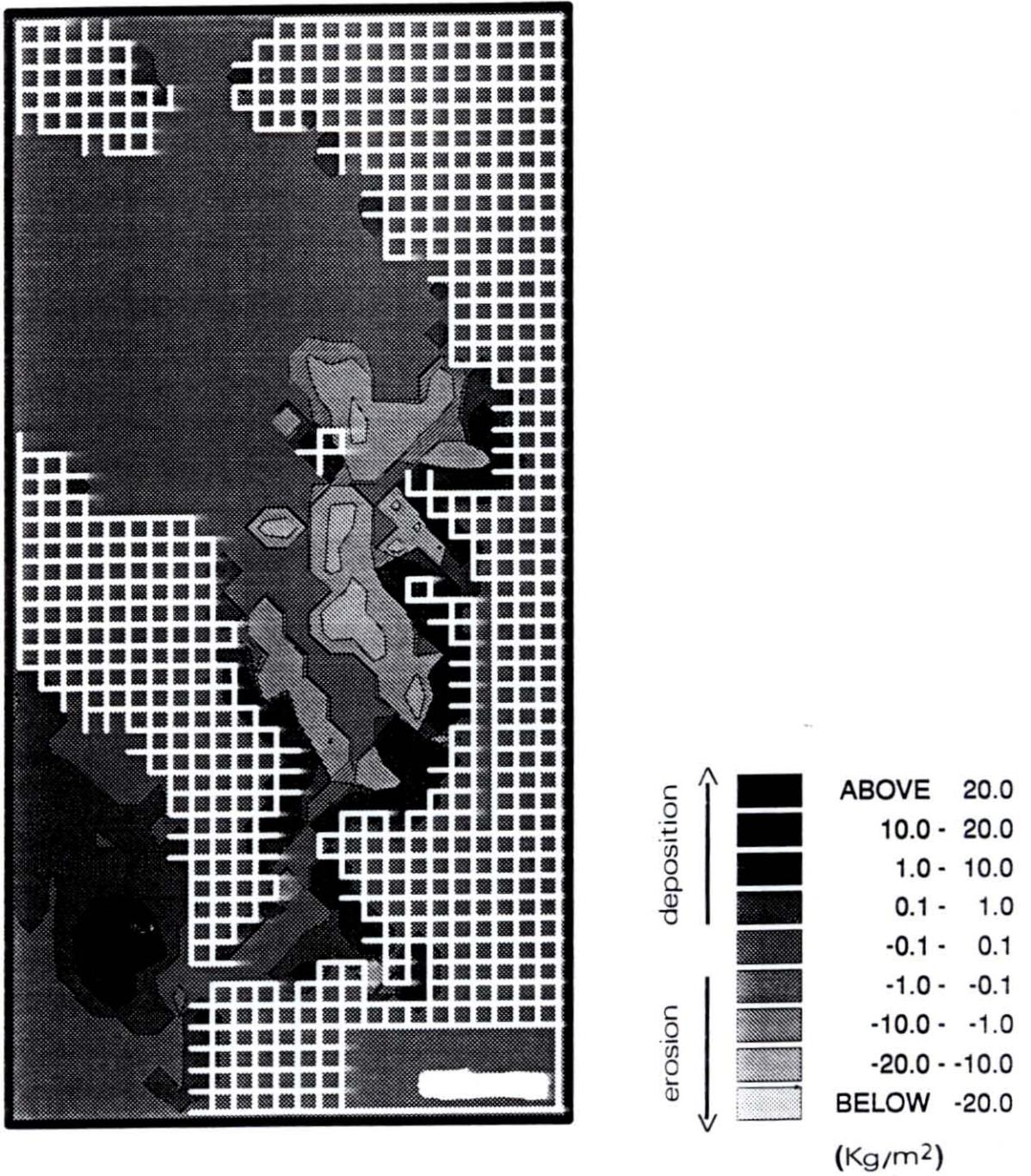
Dans le pertuis d'Antioche le modèle n'indique pas de mouvements sédimentaires d'importance (fig. 9). Les modifications les plus nettes ont lieu dans le bassin. Au nord du chapus, la tendance générale de l'évolution des fonds est un déplacement de la vase disposée en bas de l'estran vers le haut de l'estran. Entre Maumusson et le Chapus, les fonds s'ensavent et de manière plus prononcée sur le haut des estrans. Le secteur océanique à l'ouest d'Oléron est le siège d'un dépôt faible mais étendu. Il n'existe pas de données qui permettent de valider ces résultats du modèle. Toutefois des observations sur les estrans de Marennes-Oléron ont été effectuées par Gouleau (1975). Elles confirment le déplacement des sédiments fins vers le haut de l'estran. Les estimations sur l'ensablement effectuées dans le cadre de cette même étude avancent le chiffre de 3.5 cm/an. Les quantités de vase mises en jeu au niveau du modèle correspondent à des hauteurs moyennes de 1.5 cm (dépot, érosion) sur quinze jours de simulation. Le modèle semble donc surestimer nettement le volume des déplacements de vase.

SEDIMENTARY BUDGET  
Temporal variation of fine sediments  
Dynamical forcing : tide



- fig. 8 -

SEDIMENTARY BUDGET  
bottom evolution (after 1 fortnightly tidal cycle)  
Dynamical forcing : tide



- fig. 9 -

### 3. Calcul du transport sédimentaire en présence d'un clapot faible et uniforme.

#### a. comparaison calcul/mesure

##### Stations 1, 2, 3, 5, 6, N et D

L'évolution simulée des M.E.S est insensible à l'action du clapot à la station de Boyard (6, fig. 10). On note un réhaussement des minima à la station Seudre (2) et dans une moindre mesure des maxima. L'effet sur les maxima est plus net à Maumusson (1). Globalement, l'ajustement avec les données des stations de chenal n'est pas meilleur que celui obtenu en absence de clapot. La station Doux (D) est la station d'estran dont le signal est le plus affecté par le clapot. Les concentrations de M.E.S calculées à cette station sont réhaussées et approchent de manière plus satisfaisante les valeurs maximales observées de M.E.S, en revanche les minima calculés restent généralement supérieurs aux observations (ce qui n'était pas le cas avec la simulation sans clapot). Dans l'estuaire de la Charente, l'amplitude de variation du signal est accrue à l'échelle intra- et circa-tidale, en vives-eaux le calcul montre des pics de concentration généralement plus élevés que les maxima mesurés.

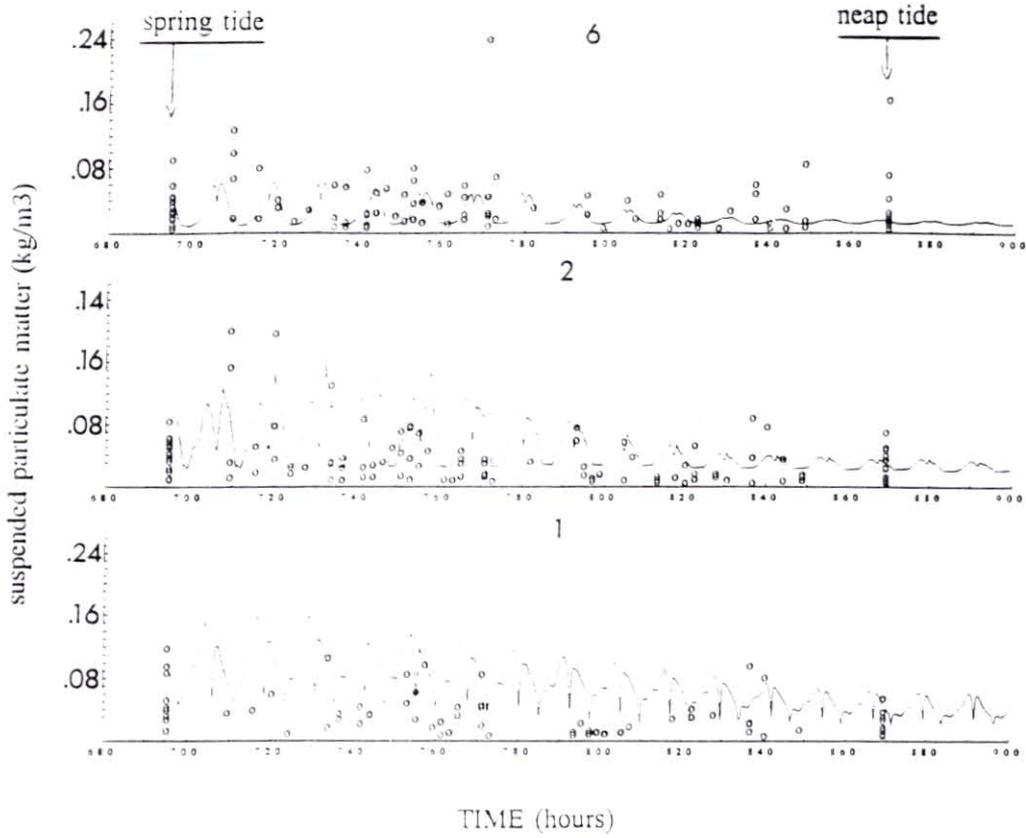
##### Le Chapus

Les modifications induites par le clapot sur l'évolution des M.E.S améliorent l'ajustement avec les séries temporelles de 1990 et 1991. Cette amélioration se situe au niveau du cycle intra-tidal des vives-eaux et consiste dans l'amplification du pic de turbidité se produisant au début du flot. Ce pic, qui est induit par l'action du clapot sur les estrans situés au sud du Chapus, est moins sensible au coefficient de marée que le pic se produisant après la renverse. Il se maintient à un niveau constant pendant les marées de déchet et peut dominer le pic suivant. Par ailleurs, le modèle surestime le pic de la renverse. Cette inadéquation pourrait être imputée à la définition spatiale du modèle. De par sa position excentrée (à l'est du chenal) le point de prélèvement du Chapus connaît une évolution des M.E.S qui est fortement influencée par la dynamique sédimentaire des secteurs au sud du Chapus. La maille actuelle du modèle n'autorise pas, de par sa taille, une localisation précise du point et englobe ainsi une partie du chenal. De ce fait et en raison du régime hydrodynamique, le calcul des M.E.S dans cette maille porte la marque de la dynamique sédimentaire au nord du Chapus.

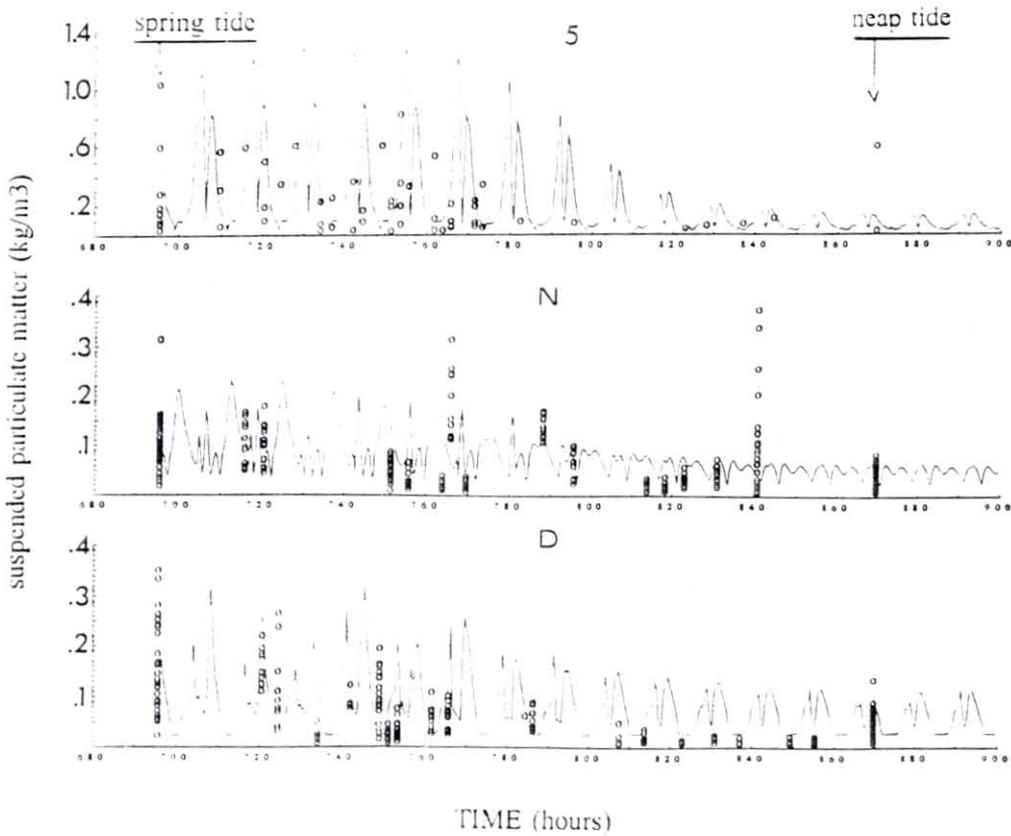
# SIMULATED AND MEASURED SUSPENDED PARTICULATE MATTER

Dynamical forcing : tide + small waves

## Channel stations



## Charente estuary (5) and tidal flat stations (D, N)



- fig. 10 -

## b. Bilan sédimentaire

### Evolution temporelle des stocks de sédiment.

Le bilan est sensible à l'action du clapot. On note un réhaussement des stocks de M.E.S et corrélativement un abaissement des stocks de vase. En revanche, les amplitudes de variation intratidale ne sont pas notablement affectées par l'agitation locale. Au terme des quinze jours de simulation la quantité de vase a diminué. Ce désenvasement, qui n'était pas perçu en absence de clapot, contribue à augmenter les concentrations de M.E.S entre les deux mortes-eaux. Les échanges avec les frontières montrent une fuite des sédiments du bassin, mais les quantités en jeu sont faibles. Il semble bien qu'il y est un lien entre les niveaux de M.E.S et le bilan des échanges aux frontières du modèle.

### Cartographie de l'évolution des fonds

C'est sur le haut des estrans que le clapot modifie plus significativement l'évolution des fonds. On note une incursion des zones d'érosion dans les secteurs préalablement (c.a.d en absence de clapot) soumis à l'engraissement. Parallèlement, l'envasement de certaines zones est accentué par ces désenvasements. Le secteur sud du bassin montre l'apparition de vase dans le chenal, laquelle provient également des enlèvements sur estran. Le dépôt dans le secteur océanique à la sortie de Maumusson est plus accentué mais moins étendu que celui obtenu sans clapot.

## B. Effet de la houle sur l'évolution des fonds de vase

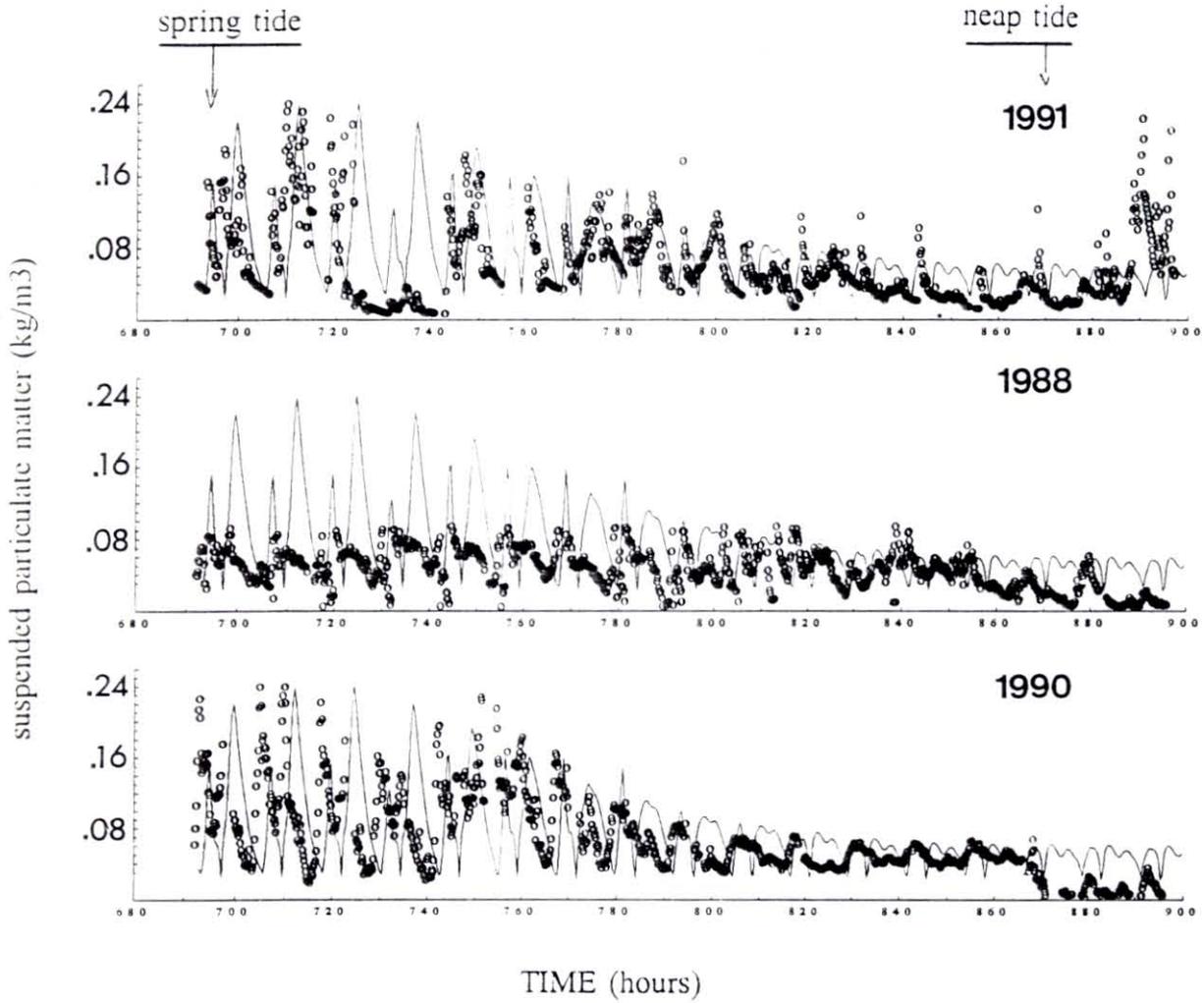
Les niveaux de M.E.S calculés par le modèle sont, dans l'ensemble, réalistes mais résultent d'une variation des fonds de vase sans doute en désaccord avec la réalité. Sur la période simulée (15 jours), les secteurs soumis à l'érosion, qui fournissent l'essentiel des M.E.S du bassin, montrent des variations de 2 cm en moyenne de l'épaisseur de vase. La présente simulation a pour objectif de tester l'éventualité d'un comblement partiel ou total de ces secteurs par la mobilisation, sous l'action d'une houle moyenne, des vases placées au nord (jusqu'ici peu impliquées dans la dynamique sédimentaire du bassin) .

La cartographie des hauteurs de houle qui est présentée à la fig. 11 est une représentation très schématique de la propagation d'une houle d'ouest dans la baie d'Oléron. La hauteur est maximale dans l'axe de pénétration de la houle et s'atténue en se propageant au sud et au nord de cet axe. Le transport sédimentaire est calculé en présence de houle, telle que définie, pendant 12 heures et d'un clapot faible (5 cm) pendant 24 heures. Il est par ailleurs probable que l'action de la houle sur la dynamique sédimentaire soit variable avec le

# SIMULATED AND MEASURED SUSPENDED PARTICULATE MATTER

Dynamical forcing : tide + small waves

Chapus station



coefficient de la marée dont dépend l'importance des transits. Pour rendre compte de cette éventuelle interaction le scénario de houle est appliqué en période de mortes-eaux et en période de vives-eaux. La simulation en présence d'un clapot faible fournit, aux dites périodes, les conditions initiales des deux simulations.

L'impact de la houle sur le transport sédimentaire est étudié à partir d'une cartographie de l'évolution des stocks de vase.

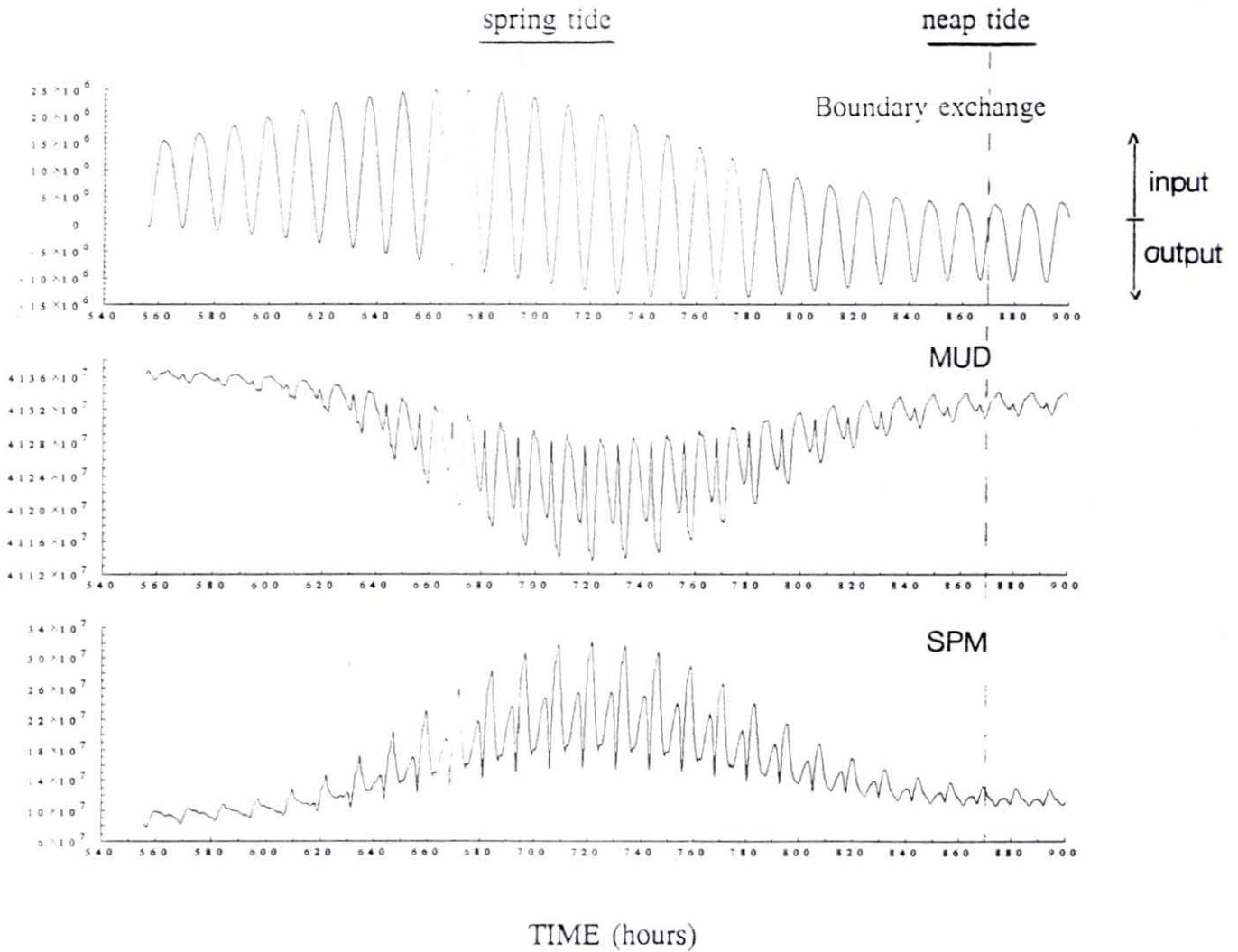
a. En période de mortes-eaux

La comparaison des deux cartographies de la figure 15 met en évidence la sensibilité des mouvements sédimentaires à l'action de la houle. Au nord de l'île d'Aix le remaniement des fonds est important et se caractérise par le déblaiement des vases du bas des estrans. Les sédiments ainsi mobilisés vont engraisser le haut des estrans à l'est, et l'axe ile d'Aix - embouchure de Charente au sud. Au sud de cet axe, l'évolution des fonds est moins brutale et se différencie de celle observée en absence de houle par l'apparition d'un secteur d'érosion au sud de l'île d'Aix et un dépôt faible et étendu sur la moitié nord du bassin. En comparaison avec les tendances observées au cours d'un cycle circatidal, les présentes modifications montrent un comblement partiel des secteurs jusqu'alors soumis à une forte érosion.

b. En période de vives-eaux.

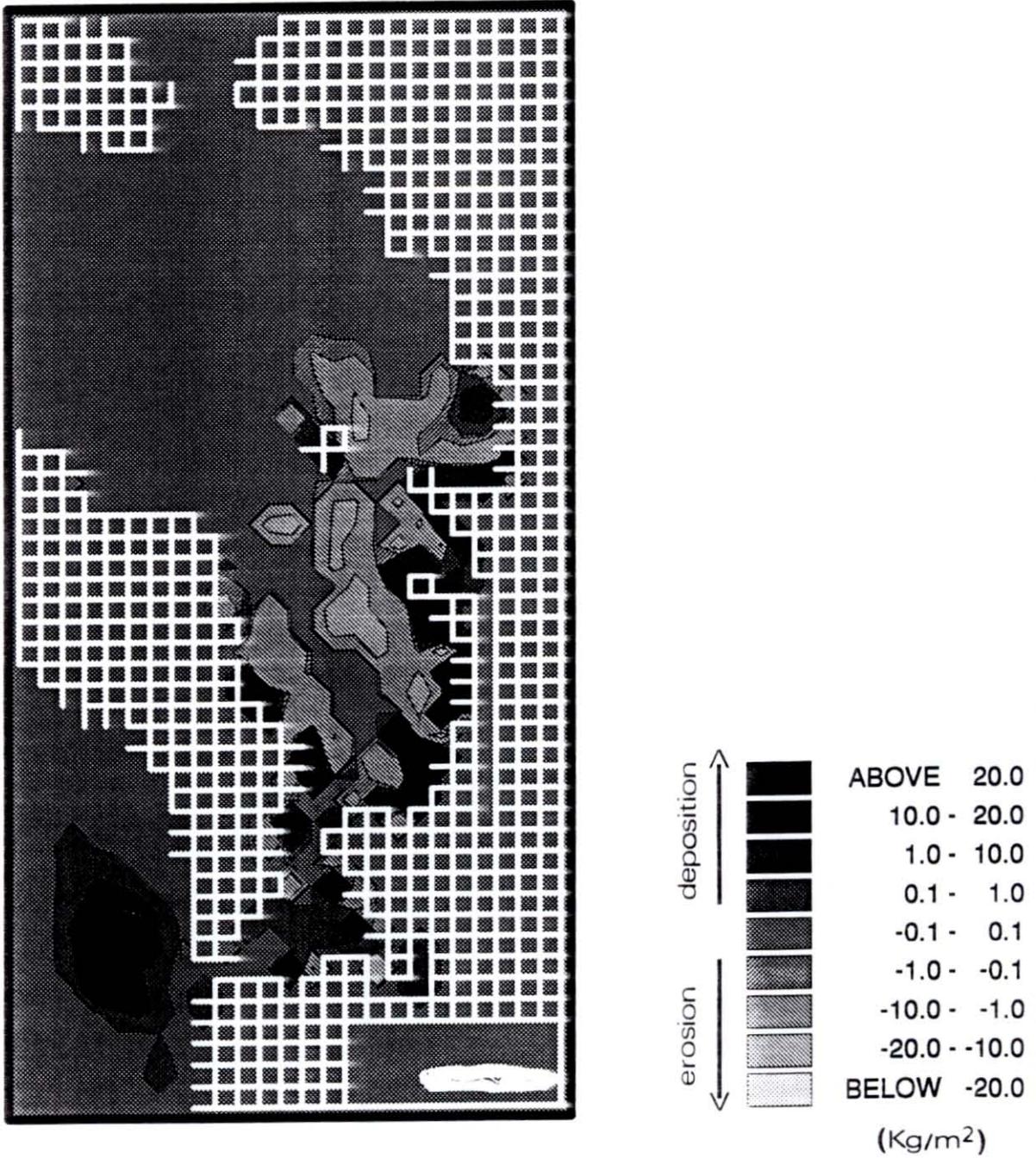
L'accentuation de l'érosion et du dépôt sur les estrans au nord-est de l'île d'Aix provient de l'effet de la marée sur les niveaux. La mer se retirant plus loin en vives-eaux, le clapot ou la houle agit sur une tranche d'eau moins épaisse en bas de l'estran et érode ainsi plus facilement la vase. Cette accroissement de l'enlèvement implique directement celui de l'envasement en haut de l'estran. Au sud de ce secteur très perturbé, la vitesse des courants empêche le dépôt tel que précédemment perçu au niveau de l'axe Ile d'Aix - embouchure Charente et sur la partie centrale du bassin. Exception faite de quelques dépôts plus conséquents sur les estrans est et ouest, les fonds suivent, dans cette partie du bassin, une évolution qui est indépendante de la mise en jeu de la houle.

SEDIMENTARY BUDGET  
Temporal variation of fine sediments  
Dynamical forcing : tide + small waves



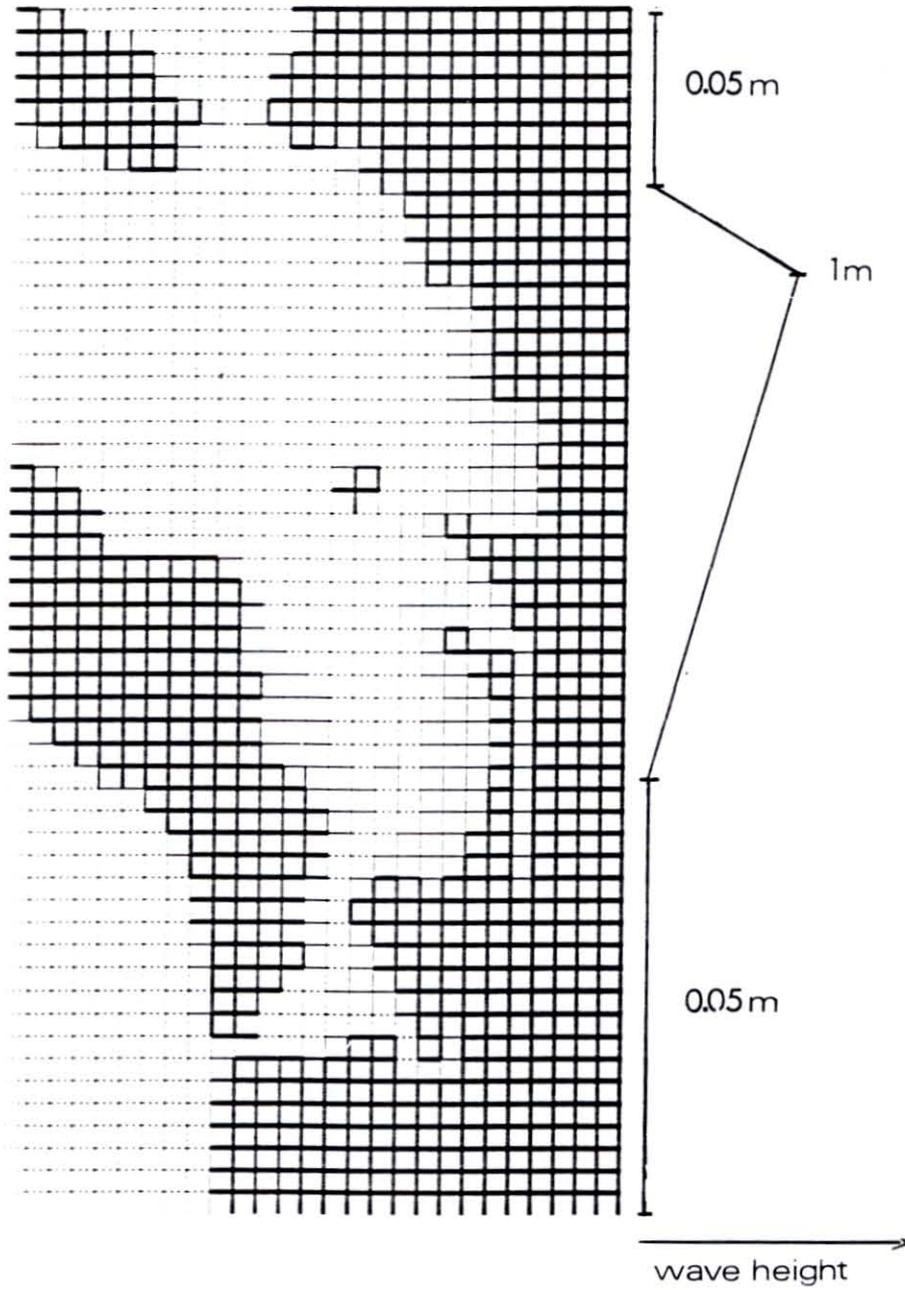
- fig. 12 -

SEDIMENTARY BUDGET  
bottom evolution (after 1 fortnightly tidal cycle)  
Dynamical forcing : tide + small waves



- fig. 13 -

- 183 -  
DISTRIBUTION OF WAVE HEIGHT



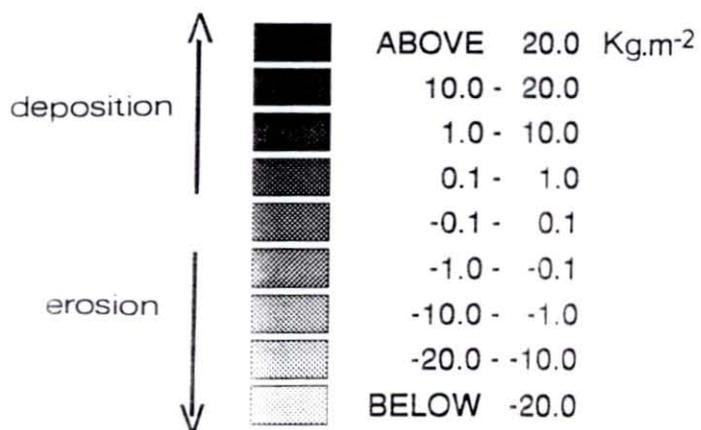
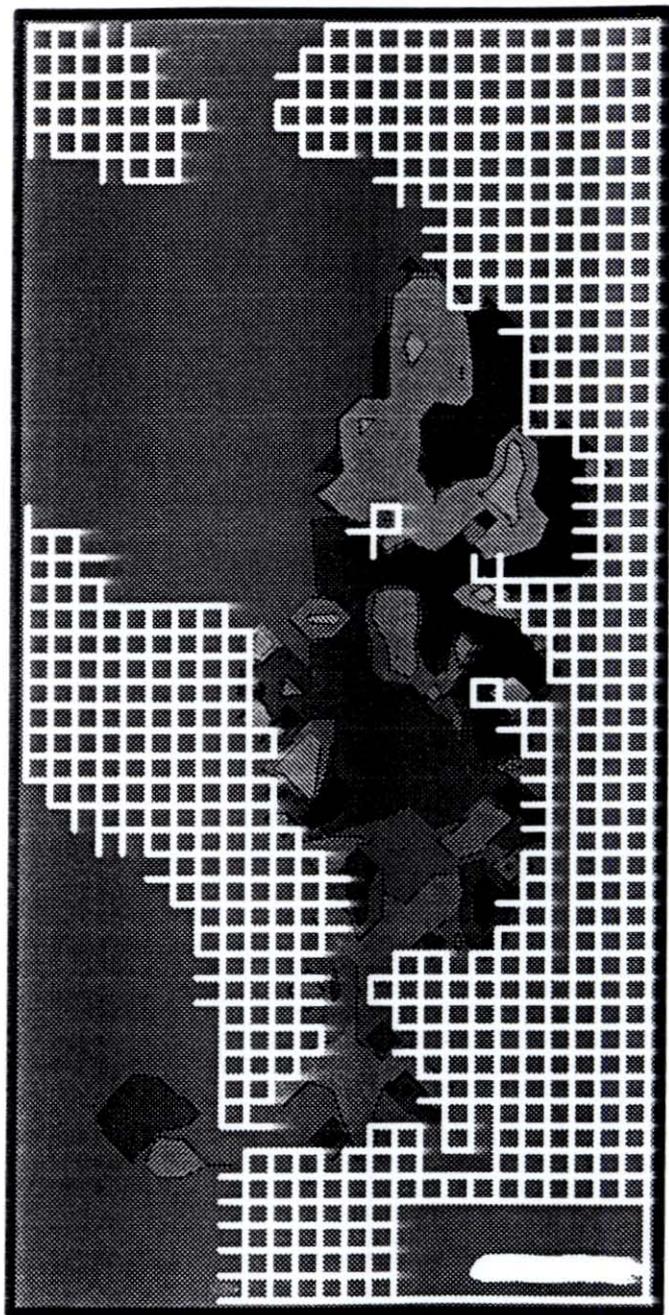
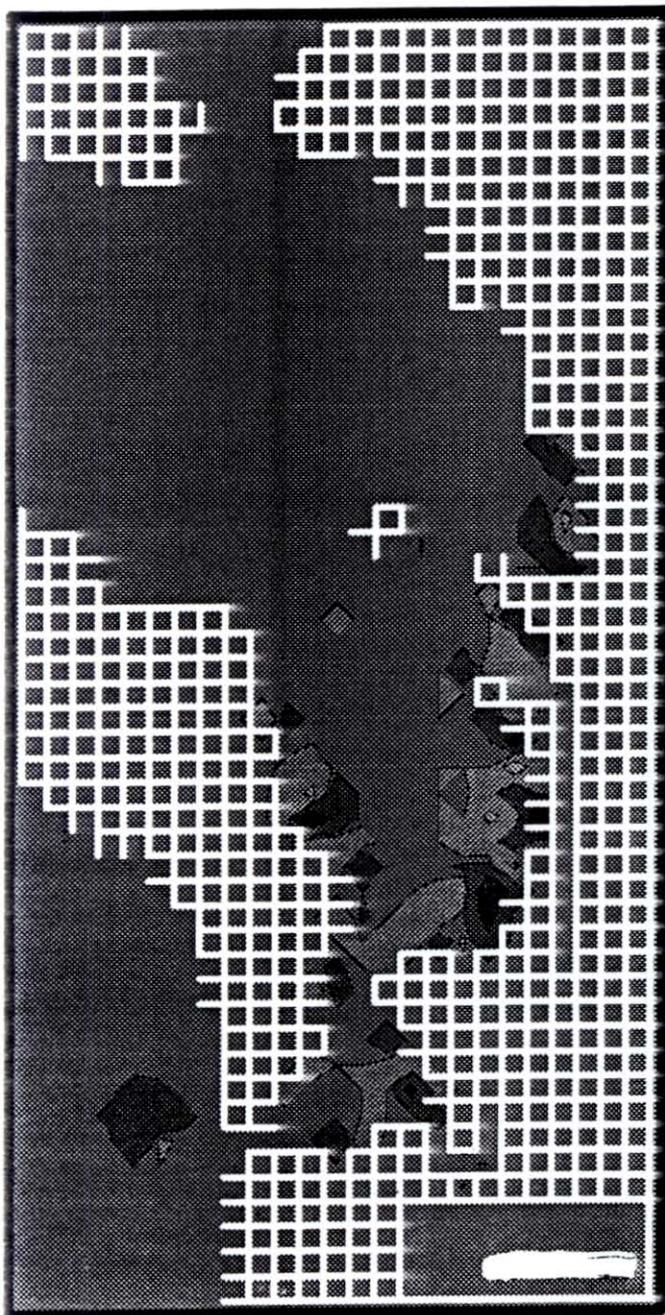
- fig. 14 -

SEDIMENTARY BUDGET  
bottom evolution after 36 hours

- 184 -

Dynamical forcing : neap tide + small waves

Dynamical forcing : neap tide + waves (12 h)  
+ small waves (24 h)



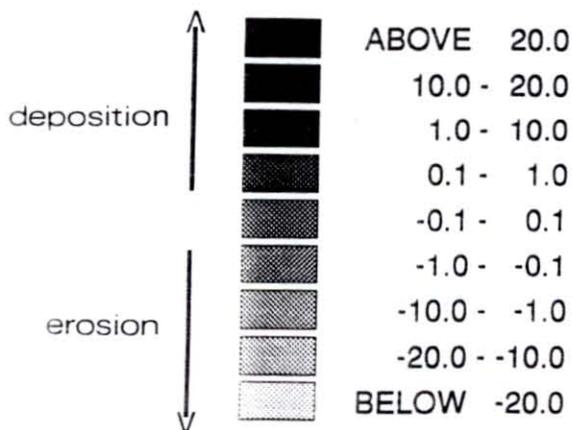
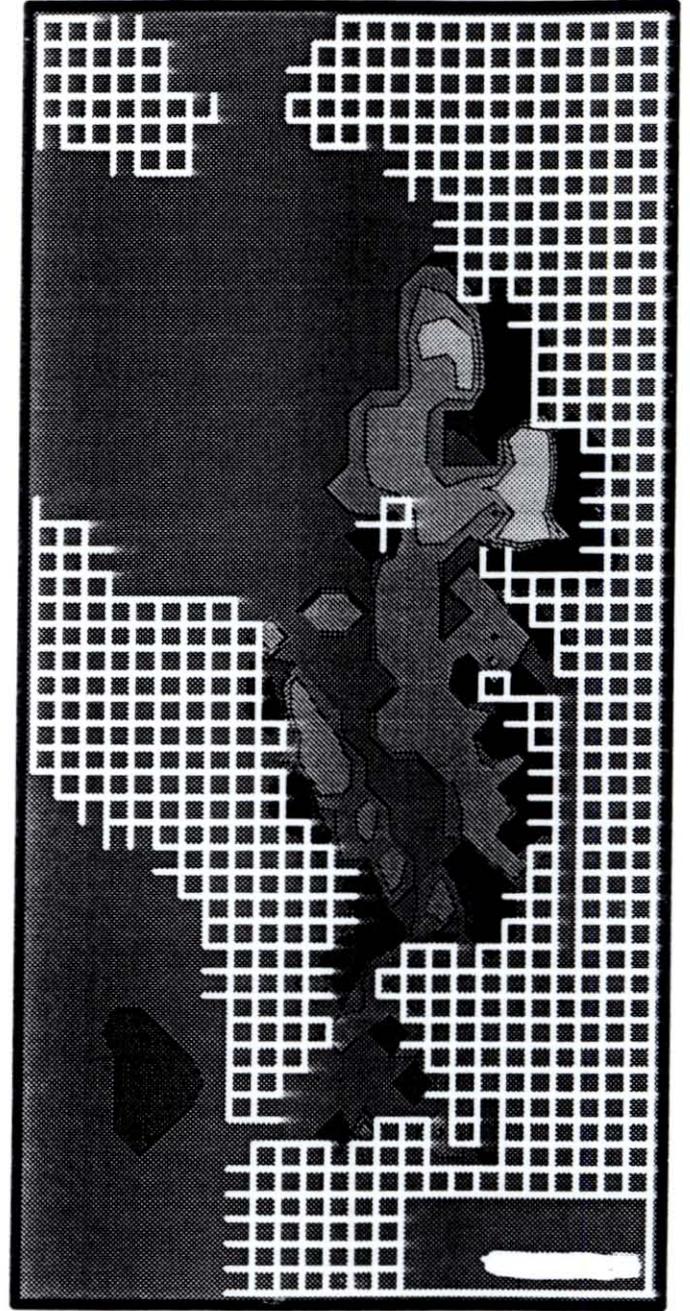
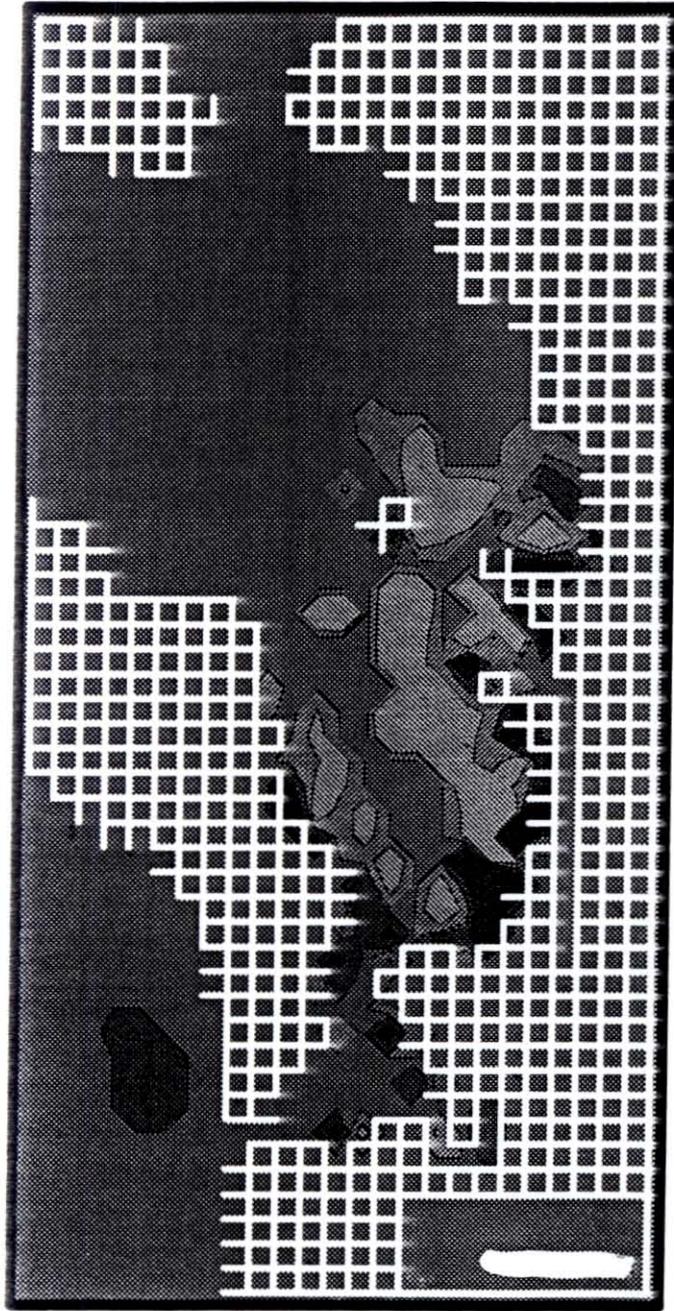
- fig. 15 -

SEDIMENTARY BUDGET  
bottom evolution after 36 hours

- 185 -

Dynamical forcing : spring tide + small waves

Dynamical forcing : spring tide + waves (12 h)  
+ small waves (24 h)



- fig. 16 -

## DISCUSSION – CONCLUSION

Le modèle hydrosédimentaire de Marennes–Oléron semble décrire assez correctement le régime des M.E.S. du bassin. Cependant, l'évolution des M.E.S. s'accompagne de profondes modifications des fonds de vase qui paraissent excessives. Une telle surestimation des variations locales du stock de vase peut avoir plusieurs origines, parmi lesquelles l'action de la houle. Des simulations schématiques ont été réalisées pour analyser la sensibilité du modèle à ce forçage. Certains résultats sont démonstratifs : en période de mortes eaux, des quantités importantes de sédiments sont remises en suspension sous l'action de la houle et vont se déposer dans des secteurs soumis à une intense érosion dans des conditions météorologiques calmes. Toutefois, la remise à niveau des fonds de vase par la houle n'est pas générale : le haut des estrans reste dans l'ensemble soumis à un fort envasement, supérieur à celui obtenu par conditions calmes. En fait, c'est seulement la faisabilité de la prise en compte de la houle par le modèle qui a été testée : ce travail doit donc être poursuivi, en particulier à l'aide d'une description plus fine des champs de houle ou de clapots, action qui a été engagée parallèlement. Le rôle du déferlement doit aussi être mieux pris en compte.

Néanmoins, la description de la dynamique sédimentaire sous l'effet des marées, telle que révélée par le modèle, ne peut être considérée comme figée, et de nouveaux tests sont envisagés. En accord avec les observations de Gouleau, le modèle prédit un transfert des vases du bas vers le haut des estrans que l'on peut décrire schématiquement par 4 étapes :

1. Remise en suspension des sédiments du bas de l'estran par l'onde de flot.
2. Transport de ces sédiments vers le haut de l'estran.
3. Dépôt de ces sédiments lorsque la vitesse du courant s'atténue (généralement à pleine mer).
4. Reprise partielle des dépôts par l'onde de jusant.

Les principaux paramètres susceptibles de moduler l'importance de ces processus sont la vitesse de chute et ceux qui régissent le tassement des dépôts frais. En particulier ce dernier phénomène pourrait être surestimé, si l'on se réfère aux mesures en laboratoire (Anonyme, 1992 et Fig. A1). Une étude de sensibilité devra donc être menée.

Les applications futures du modèle hydrosédimentaire devront aussi s'appuyer sur une meilleure description des fonds sédimentaires, en tenant compte des compositions et comportements variables des vases. Des mesures de rigidité superficielle des sédiments par scissométrie sont prévues à cet effet. Il est aussi probable que le maillage du modèle devra être raffiné, au moins à titre provisoire pour en tester l'effet sur la description des forçages

hydrodynamiques et améliorer la précision des concentrations calculées là où la bathymétrie est tourmentée. La comparaison avec les observations sera alors plus valide.

Surtout, la présente modélisation a beaucoup souffert du manque de données sur la variabilité des épaisseurs de vase et des matières en suspension. Il est impératif, pour être en mesure de calibrer et de valider le modèle, de mesurer en continu les M.E.S. (et si possible le courant) en plusieurs points stratégiques du bassin (estrans, chenaux, estuaire de la Charente, limites océaniques...).

Parallèlement à ces actions, qui visent à développer et à améliorer la modélisation de la dynamique sédimentaire, il est projeté d'impliquer le modèle hydrosédimentaire dans l'étude des capacités trophiques du bassin conchylicole. La production primaire benthique a toujours été considérée comme une source potentielle importante pour les mollusques. Jusqu'à présent, les modèles d'écosystème du bassin conchylicole ne quantifiaient pas de manière fiable les flux particulaires entre le sédiment et la colonne d'eau, ce qui rendait délicate l'introduction de ce maillon de la chaîne alimentaire au niveau du modèle. Une telle procédure est désormais envisageable grâce au présent modèle. Les fondements de la modélisation couplée de la production microphytobenthique et du transport particulaire ont été établis à l'occasion d'un workshop associant chercheurs hollandais et français.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

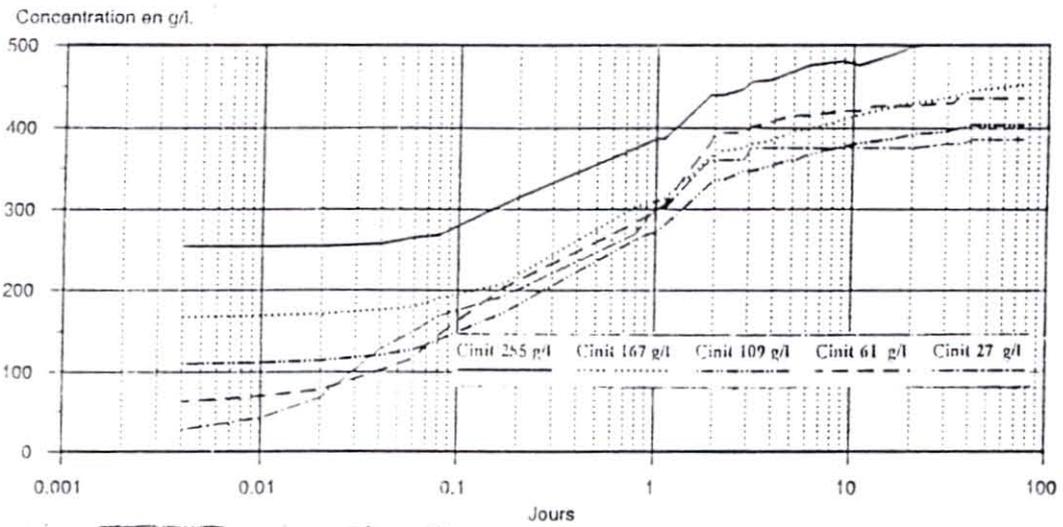
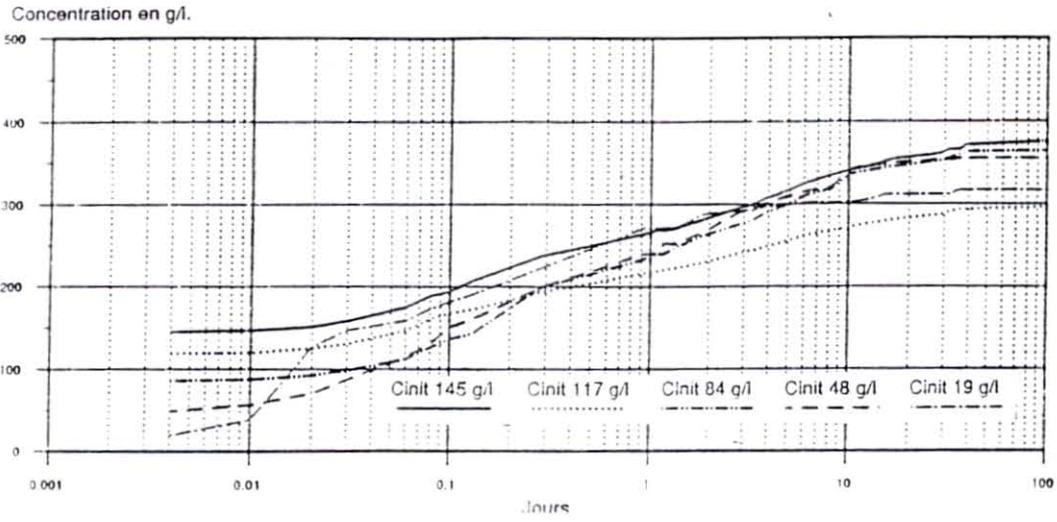
- Anonyme, 1991. Etude des vases et biodépôts de Marennes-Oléron, caractéristiques sédimentologiques. CREOCEAN, 9 p.
- Anonyme, 1992. Caractéristiques mécaniques des vases et des biodépôts de Marennes-Oléron. Rapport d'étude. Laboratoire d'Hydraulique de France, 14 p.
- Bacher C., 1989. Capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron : couplage d'un modèle de transport particulaire et d'un modèle de croissance de l'huître *C. gigas*. *Aquat. Living Resources*, 2, 199-214.
- Chassé C. et M. Glémarec, 1976a. Principes généraux de la classification des fonds pour la cartographie biosédimentaire. *J. Res. Oceanogr.*, 1 (13) : 1-18.
- Chassé C. et M. Glémarec, 1976b. Atlas des fonds meubles du plateau continental du golfe de Gascogne. Cartes Sédimentaires. I.C.A. Brest : 10 p.
- Gouleau D., 1975. Les premiers stades de la sédimentation sur les vasières littorales atlantiques. Rôle de l'émersion. Thèse de 3ème cycle. Université de Nantes, 241 p.
- Gouletquer P., 1989. Etude des facteurs environnementaux intervenant sur la production de la palourde japonaise d'élevage *Ruditapes philippinarum*. Thèse de l'université de Bretagne Occidentale. Brest, 347 p.
- Héral M., 1991. Approche de la capacité trophique des écosystèmes conchyliques. *ICES mar. Sci. Symp.*, 192 : 48-62.
- Héral M., D. Razet, J-M Deslous-Paoli, J-P Berthomé, J. Garnier, 1983. Caractéristiques saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron (France). *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 46, 97-119.

- Héral M., D. Razet, J-M Deslous-Paoli, F. Manaud, I. Truquet, J. Garnier, 1984b. Hydrobiologie du bassin de Marennes-Oléron. Résultats du réseau national d'observation : 1977 à 1981.
- Héral M., J-M Deslous-Paoli, D. Razet et J. Prou., 1984a. Essai de mise en évidence in situ de paramètres biotiques et abiotiques de l'eau et de l'interface eau-sédiment intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas*. Océanis, 10 (4) : 465-475.
- Le Hir P., P. Bassoullet, J. L'Yavanc, 1989. Modelling mud transport in a macrotidal estuary. In (ed. M.H. Palmer). Advances in water Modelling and Measurement. Organiser : BHRA, The fluid engineering center, Bedford, U.K.
- Le Hir P., Bassoullet P., J. l'Yavanc, 1993. Application of a multivariate transport model for understanding cohesive sédiment dynamics. In Nearshore and estuarine cohesive sediment transport. A.J. Mehta (Ed.). Coastal and Estuarine Studies. Vol. 42, A.G.U. (pub.).1
- Migniot C., 1989. Tassement et rhéologie des vases. La houille blanche, 2 : 95-111.
- Raillard O., 1991. Etude des interactions entre les processus physiques et biologiques intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas* du bassin de Marennes-Oléron. Thèse dr. Univ. Paris, 203p.
- Ravail B., Héral M. et S. Maestrini, 1987. Incidence du débit de la Charente sur la capacité biotique du bassin ostréicole de Marennes-Oléron. Convention EPR Poitou-Charente IFREMER 1985, Rap. 30 oct. 1987 : 63 p.
- Salomon J.C., M. Pommepeuy, M. Breton, A. Derrien, 1989. Modèle mathématique de la dispersion des bactéries entériques en baie de Morlaix. Symposium "Modèles mathématiques pour la gestion de la qualité des eaux" organisé par la Société Hydrotechnique de France, novembre 1989.

- Sauriau P.G, V. Mouret, J.P. Rince, 1989. Organisation trophique de la malacofaune benthique non cultivée du bassin ostréicole de Marennes-Oléron. *Oceanologica Acta*, 12, 2 : 193-204
- Sornin J. M., 1981. Processus sédimentaires et biodéposition liés à différents modes de conchyliculture. Baie de Cancale, Anse de l'aiguillon et Bassin de Marennes-Oléron. Thèse de 3ème cycle. Université de Nantes, 188 p.
- Swartzman G.L., S.P., Kaluzny, 1987. Ecological simulation primer. MacMillan Publ. Comp. New York.

## **Annexe 1**

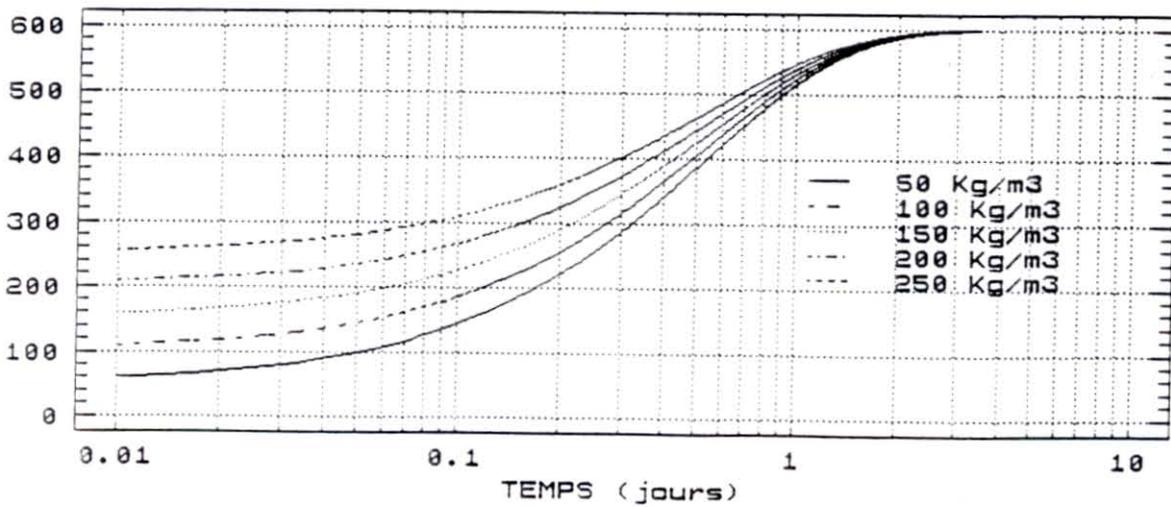
### **Tassement de la vase**



▲ Tassement expérimental en laboratoire. Echantillons 2-3 et 2-4  
 (d'après Anonyme, 1992)  
 LHF/SOGBEAH

LOI DU MODELE

COURBES DE TASSEMENT DE LA VASE

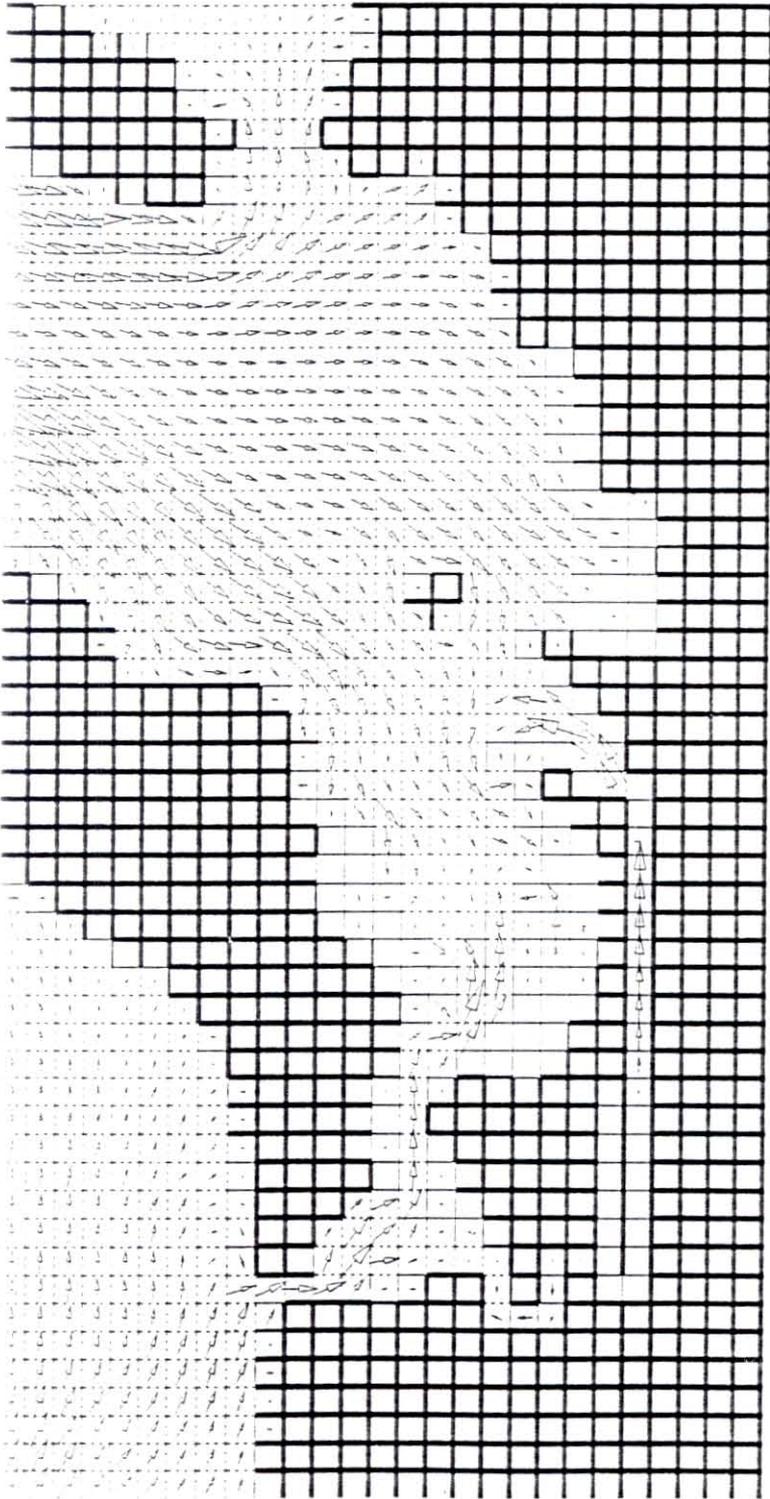


## **Annexe 2**

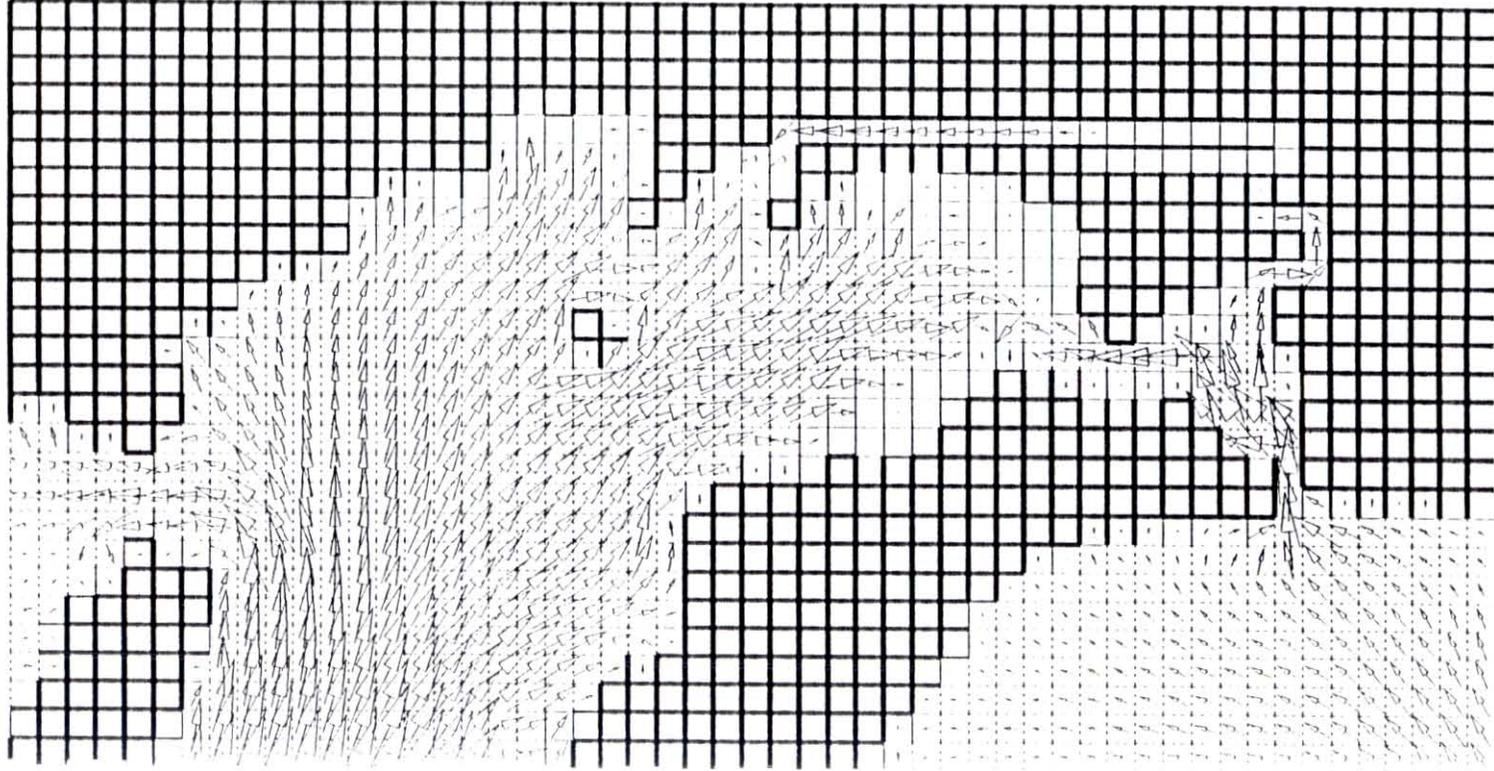
### **Modèle hydrosédimentaire de Marennes-Oléron**

#### **Champs de courant de marée**

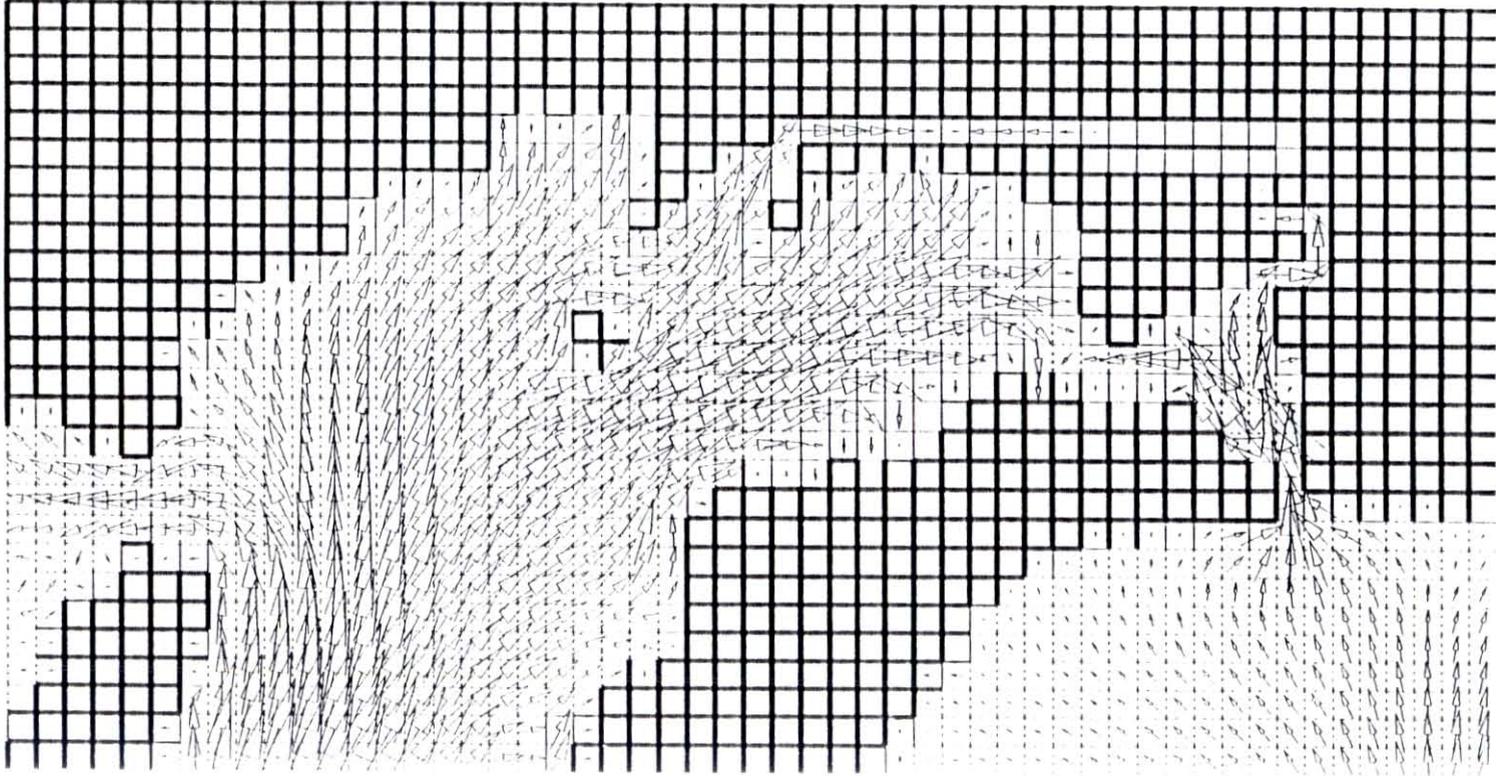
PM-6

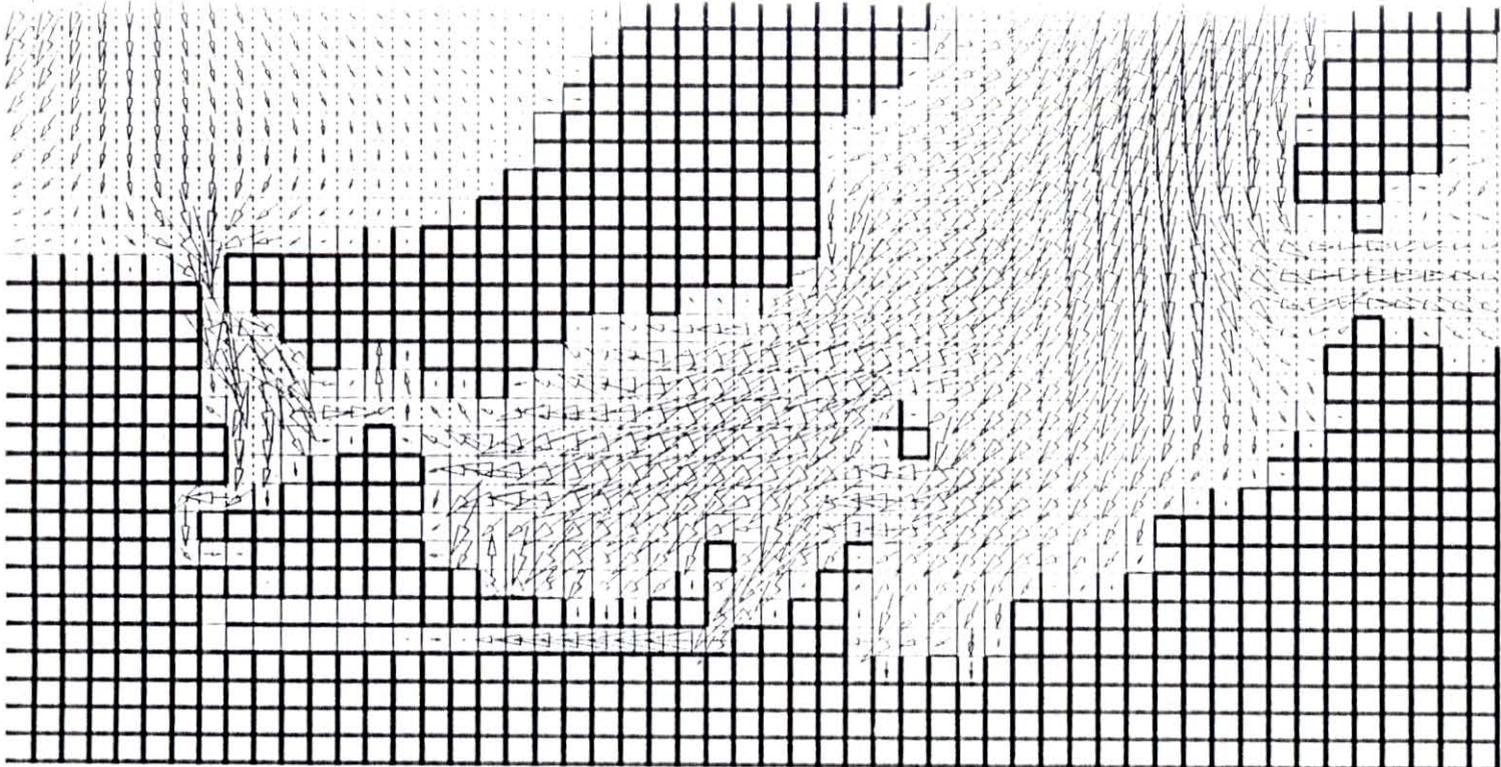


PM-5



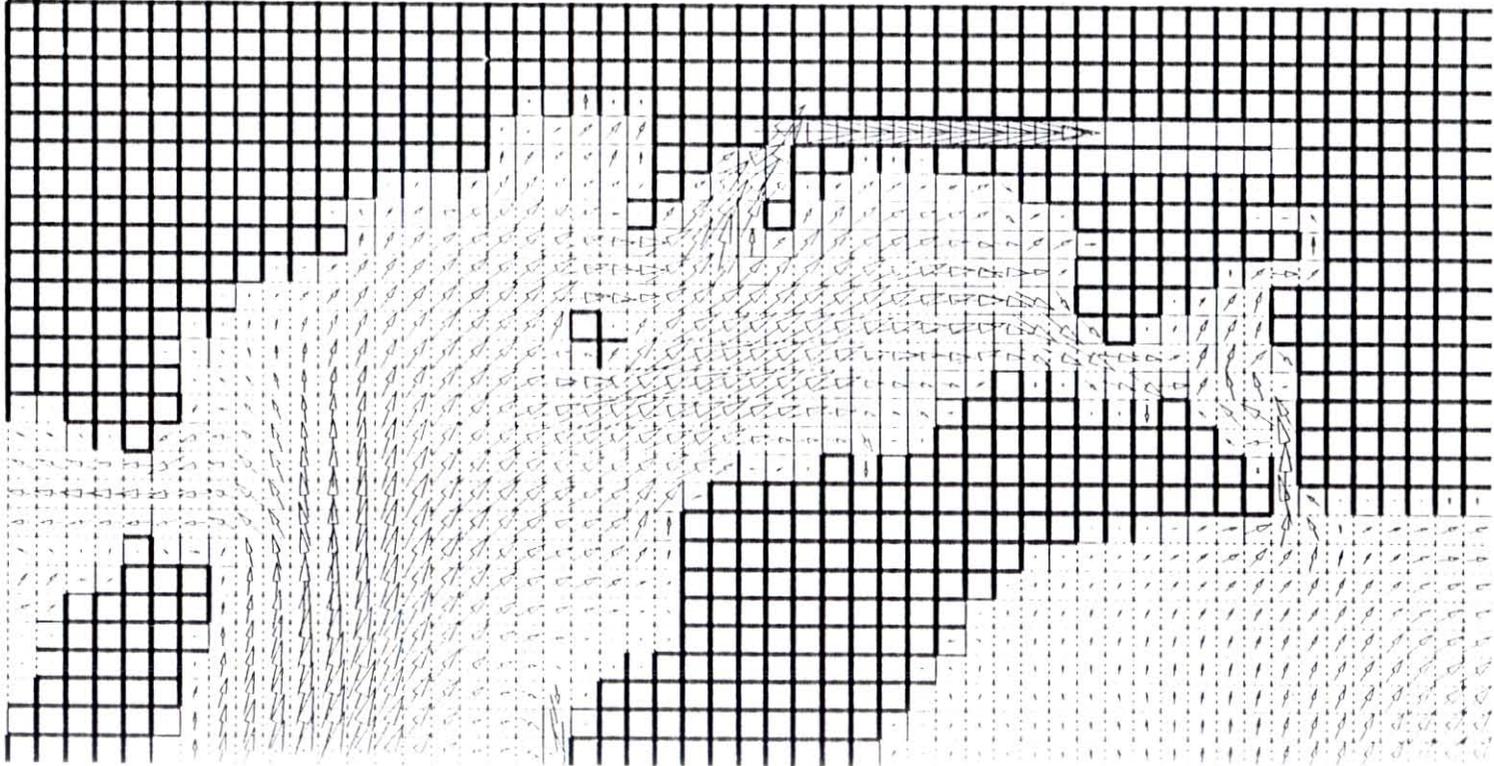
PM-4



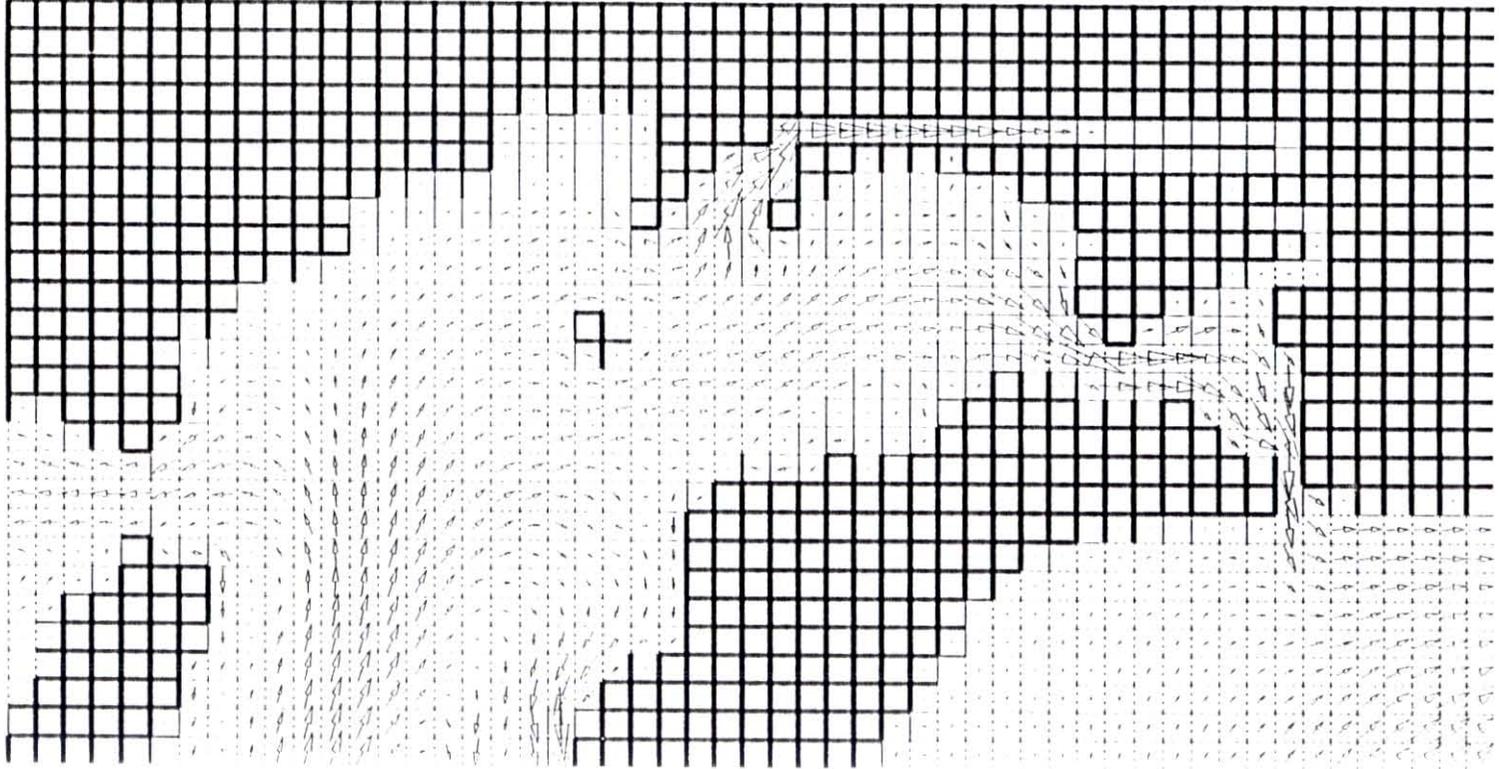


PM-3

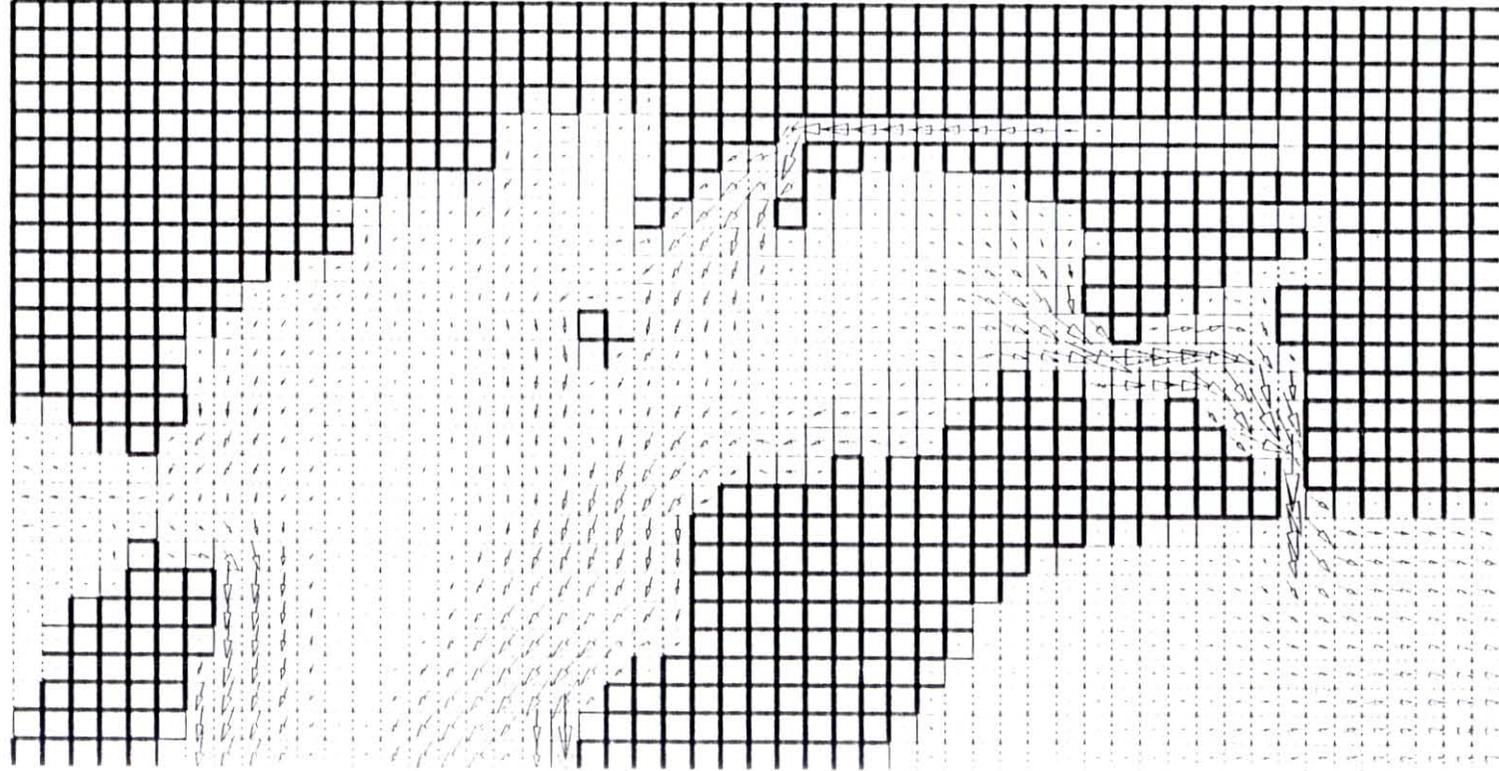
PM-2



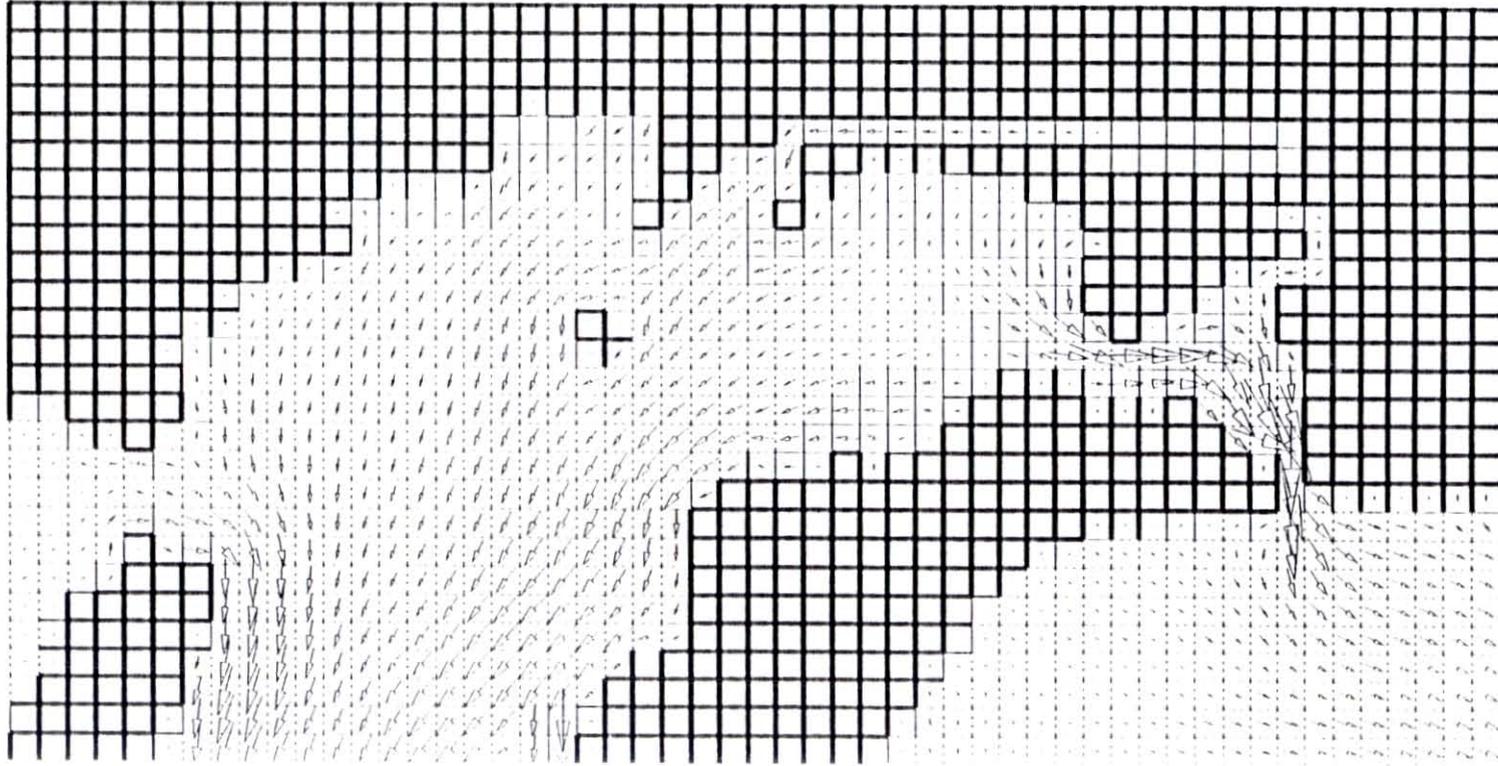
PM-1

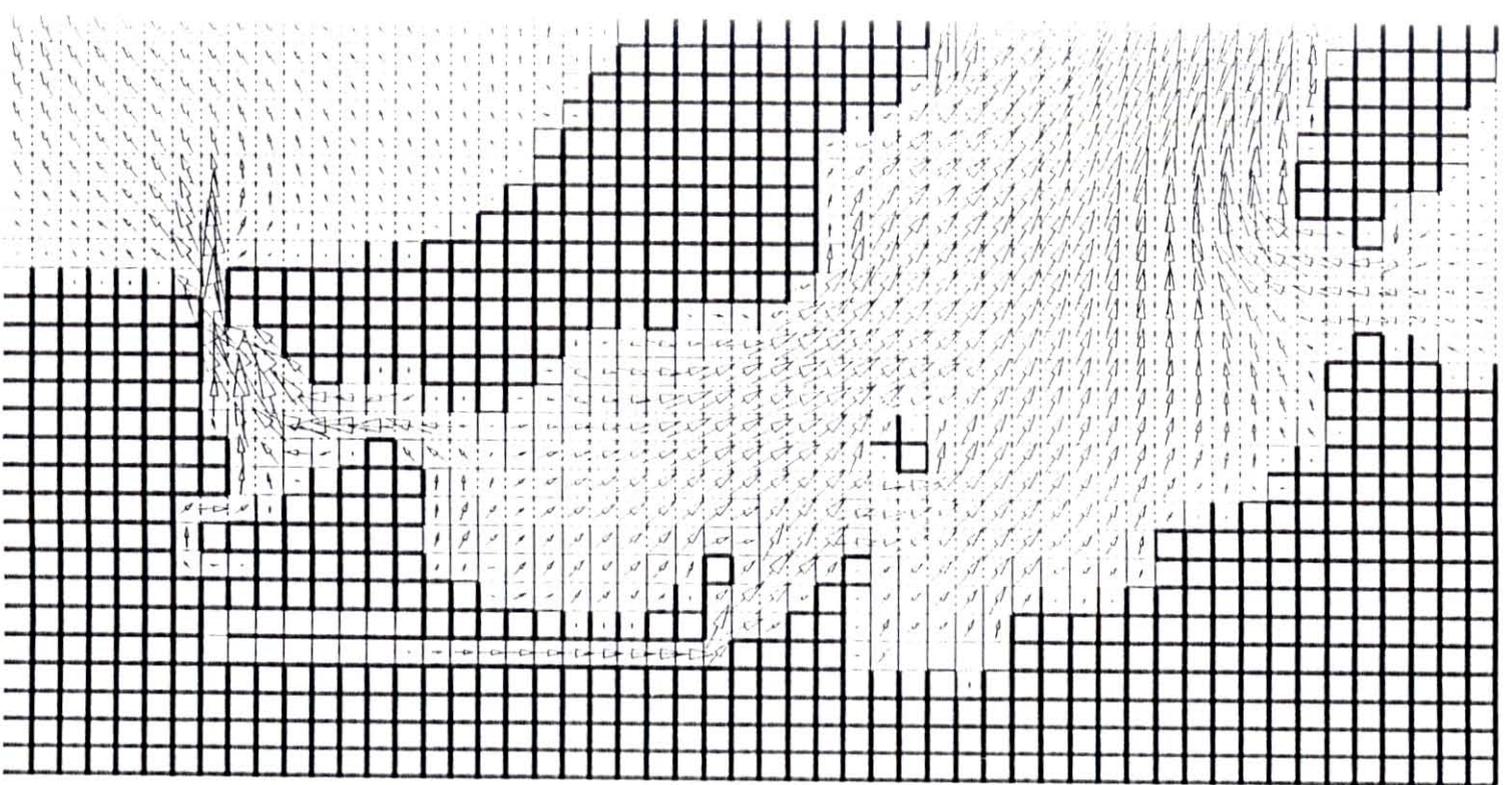


PM



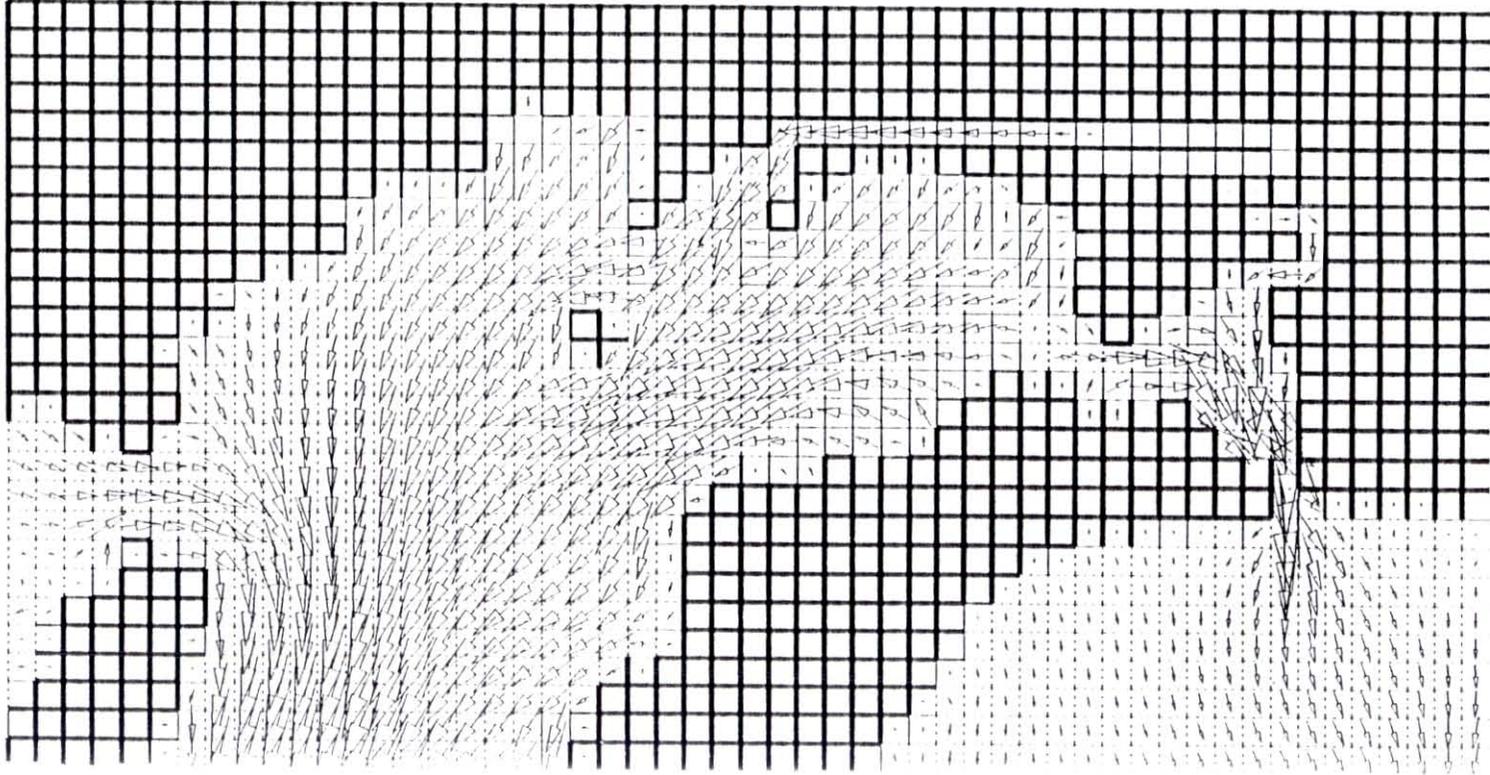
PM + 1



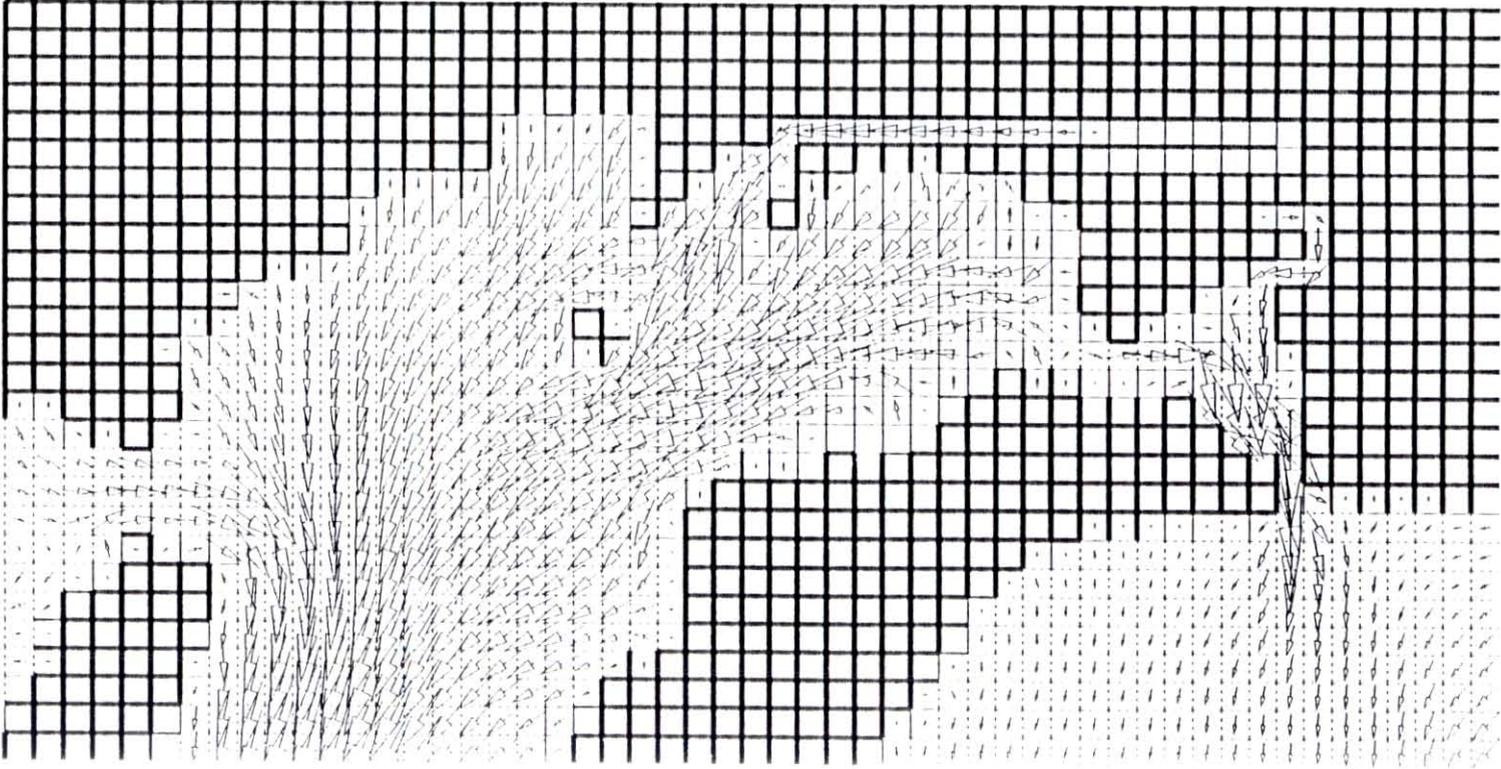


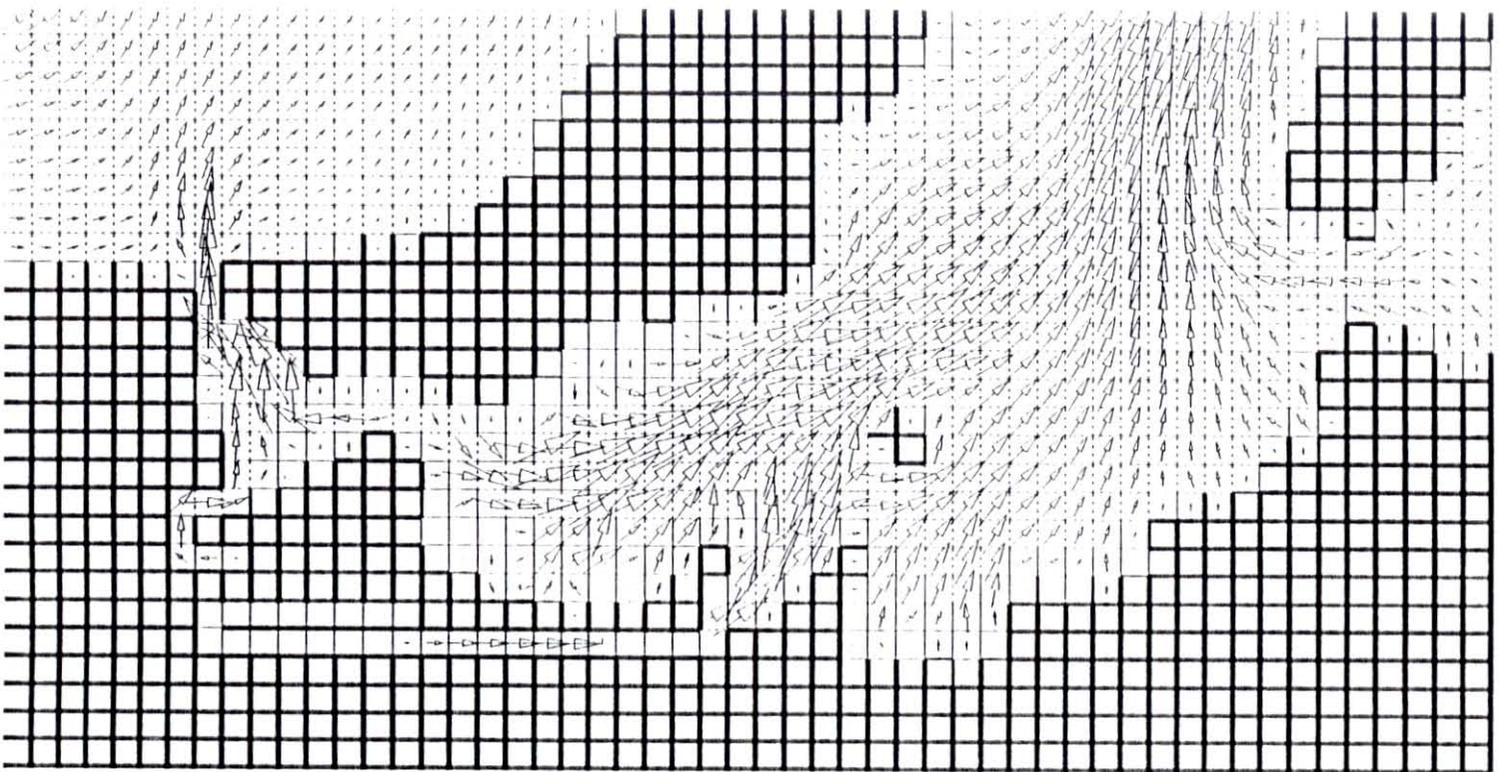
PM+2

PM+3



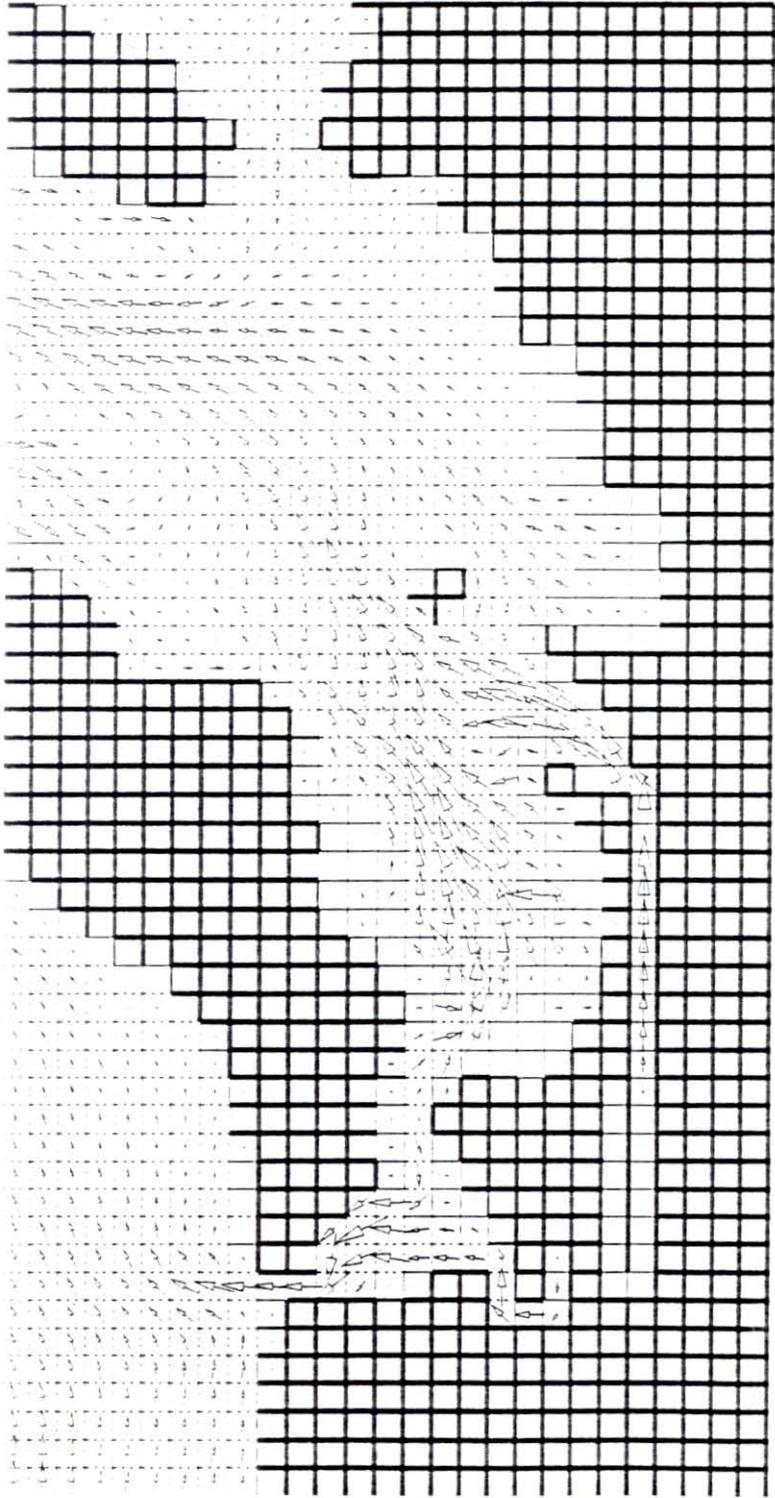
PM+4





PM+5

PM+6



## **Annexe 3**

### **Modèle hydrosédimentaire de Marennes-Oléron**

#### **Champs de turbidités**

#### A. Panaches de M.E.S pendant un marée de vives-eaux et de mortes-eaux

Les panaches de concentrations en vives-eaux (fig. 5 bis) montrent une forte hétérogénéité spatiale et temporelle du cycle des M.E.S. Aux mi-marées, la conjonction des bas niveaux de l'eau et de l'accélération des vitesses de courant entraîne une forte érosion sur les estrans est et l'apparition des concentrations maximales sur le cycle (fig. 5 bis c et e). Les causes de l'abaissement brutal des concentrations qui fait suite aux phases d'érosion (fig 5 bis d et f) sont doubles :

- les niveaux de charge en M.E.S provoquent une décantation rapide des particules.

- les remises en suspension se produisent dans des faibles volumes d'eau et mettent en jeu des quantités de sédiment qui sont rapidement diluées, soit par l'onde de flot qui recouvre l'estran (fig. 5 bis d), soit par l'onde de jusant (fig. 5 bis f) qui ramène les particules dans des secteurs plus profonds du bassin.

Moins spectaculaire de par les concentrations qu'il inter esse, le transport en suspension n'en détermine pas moins l'évolution de la turbidité. A la suite des érosions du flot (e), le panache qui s'établit au centre du bassin (f) est transporté vers le sud (a, b, c) et finalement évacué par Maumusson à basse mer (d). Un autre maximum de turbidité est perçu au niveau de la Charente. Les sédiments restent stockés dans le fleuve jusqu'à mi-jusant (b) et sont expulsés peu avant la basse mer (c).

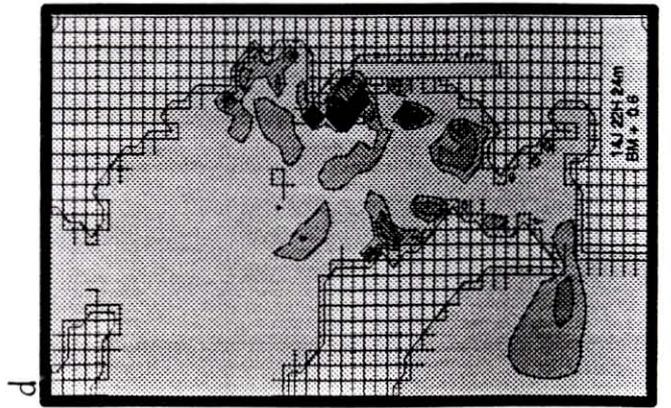
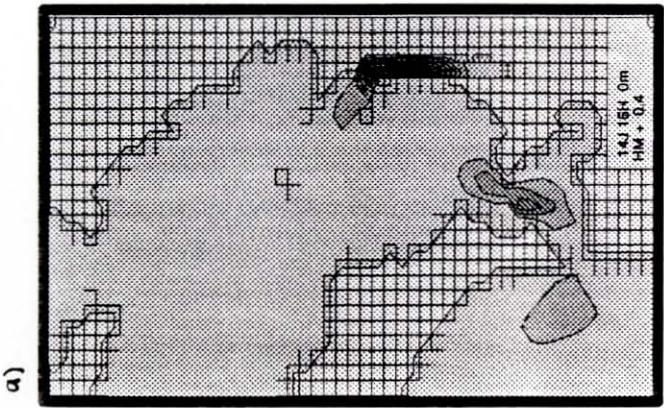
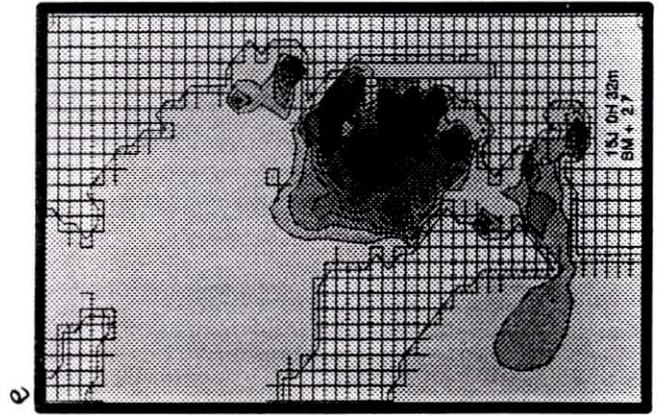
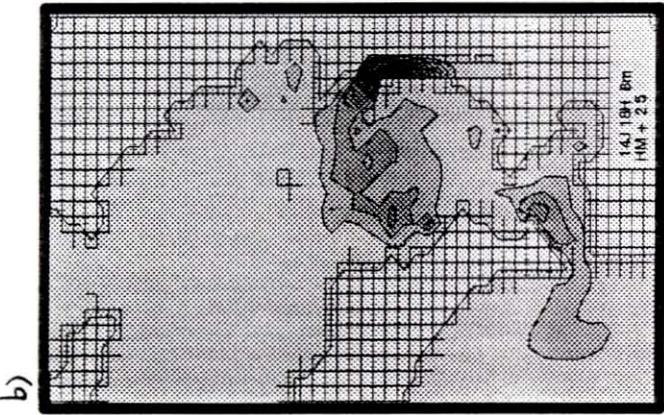
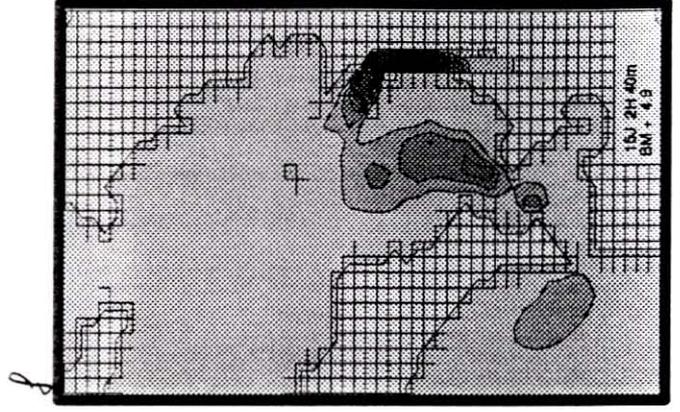
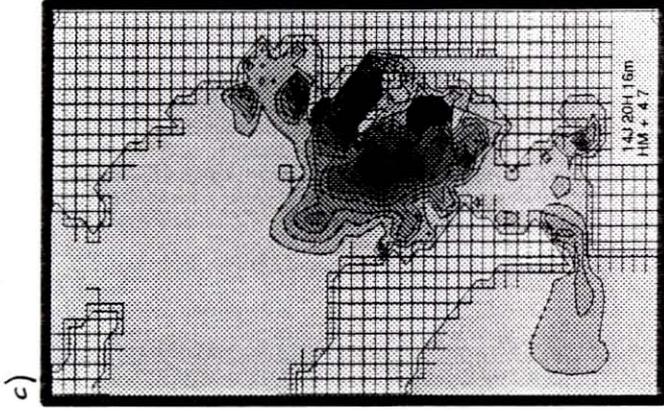
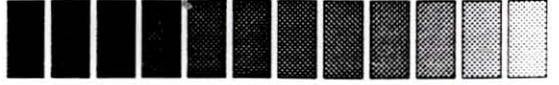
(fig. 5 + e)

Le cycle des M.E.S en mortes-eaux est marqué par un niveau bas et une relative homogénéité des concentrations. La principale source de sédiments est celle produite par les érosions sur les estran est et dans l'estuaire de la Charente.

# CYCLE M.E.S

## MAREE DE VIVES-EAUX

ABOVE 0.50C  
0.450 - 0.50C  
0.400 - 0.45C  
0.350 - 0.40C  
0.300 - 0.35C  
0.250 - 0.30C  
0.200 - 0.25C  
0.150 - 0.20C  
0.100 - 0.15C  
0.050 - 0.10C  
0.000 - 0.05C  
BELOW 0.00C



CYCLE M.E.S

MAREE  
DE  
MORTES-EAUX

ABOVE 0.500  
0.450 - 0.500  
0.400 - 0.450  
0.350 - 0.400  
0.300 - 0.350  
0.250 - 0.300  
0.200 - 0.250  
0.150 - 0.200  
0.100 - 0.150  
0.050 - 0.100  
0.000 - 0.050  
BELOW 0.000

