



Station de La Tremblade

Mus de Loup, 17390 LA TREMBLADE
Tél. (46) 36.18.41

**MODELE HYDRO-SEDIMENTAIRE DU BASSIN DE
MARENNES-OLERON : PRESENTATION ET PREMIERS
RESULTATS.**

O. RAILLARD*, P. LE HIR et P. LAZURE****

*** IFREMER-LABEIM, B.P. 133, 17390 LA TREMBLADE (France).**

**** Laboratoire Hydrodynamique et Sédimentologique, BREST (France).**

**MODELE HYDRO-SEDIMENTAIRE DU BASSIN DE MARENNES-OLERON :
PRESENTATION ET PREMIERS RESULTATS**

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années l'écosystème conchylicole de Marennes-Oléron est l'objet de modélisations de complexité croissante qui tendent à intégrer de plus en plus de processus physiques et biologiques (Bacher, 1989 ; Raillard, 1991) afin d'accroître le réalisme et le champ d'investigation de l'outil (Héral et al., 1991). Confrontés au problème de la variabilité spatiale et temporelle des concentrations du matériel dissous et particulaire de l'eau, les travaux les plus récents ont pu mettre en évidence les limitations des modèles d'écosystème qui asservissent spatialement et temporellement la représentation des processus physiques à celle des mécanismes biologiques (Raillard, 1991). Le but de cette étude est de développer une modélisation de l'écosystème du bassin selon une discrétisation compatible avec la réalité de la physique.

Le modèle hydro-sédimentaire constitue la première étape de cet ambitieux projet. Son objectif premier est de calculer l'évolution spatio-temporelle de la concentration particulaire et dissoute des éléments impliqués dans les processus biologiques majeurs qui intéressent la production primaire et secondaire du bassin.

Dans cette phase de mise en oeuvre la modélisation se focalise sur le transport dissous et celui des sédiments cohésifs, lesquels phénomènes conditionnent fortement l'évolution des compartiments de la biologie.

RAPPEL DES PROCESSUS ET DES FORCAGES

Le déplacement des sédiments est le résultat de processus simultanés d'importance relative variable dans l'espace et le temps. Ce sont (d'après Le Hir et Guillaud (1991)) :

- 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. Il convient de préciser que c'est la chronologie réelle du courant instantané et non le courant résiduel qu'il faut prendre en compte, dans la mesure où au cours d'un cycle donné, les périodes de faibles hydrodynamismes s'accompagnent d'un dépôt des particules dont ne rend pas compte le déplacement moyen des masses d'eau.
- 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.

PRESENTATION DU MODELE

Le modèle de transport des sédiments cohésifs est celui développé et calibré sur la baie de Morlaix par Le Hir et al. (1989) et Le Hir et al. (1991). Il comprend différents modèles couplés entre eux :

- Un module de calcul du courant qui est en fait un modèle complet de résolution des équations de l'hydrodynamisme intégré 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 et puits, résolue en différences finies selon le maillage défini pour le calcul du courant.

- Un module de tassement des fonds de vase, dont le but est de calculer la concentration du sédiment superficiel et sa résistance à l'érosion en tenant compte des phases successives de dépôt, d'érosion et même de déshydratation et de réhydratation liées à l'alternance des découverts et recouvrements en zone intertidale.

IMPLANTATION DU MODELE DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON

Définition des échelles spatiale et temporelle

Quoique principalement déterminé par la réalité des différents processus physiques considérés (gradients de vitesse, 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 de la "biologie" ne peut s'envisager avec un modèle trop coûteux du calcul de la "physique". Deux raisons majeures à cela :

- les échelles de temps de variation considérées par les variables biologiques sont celles de la saison, voir de l'année.

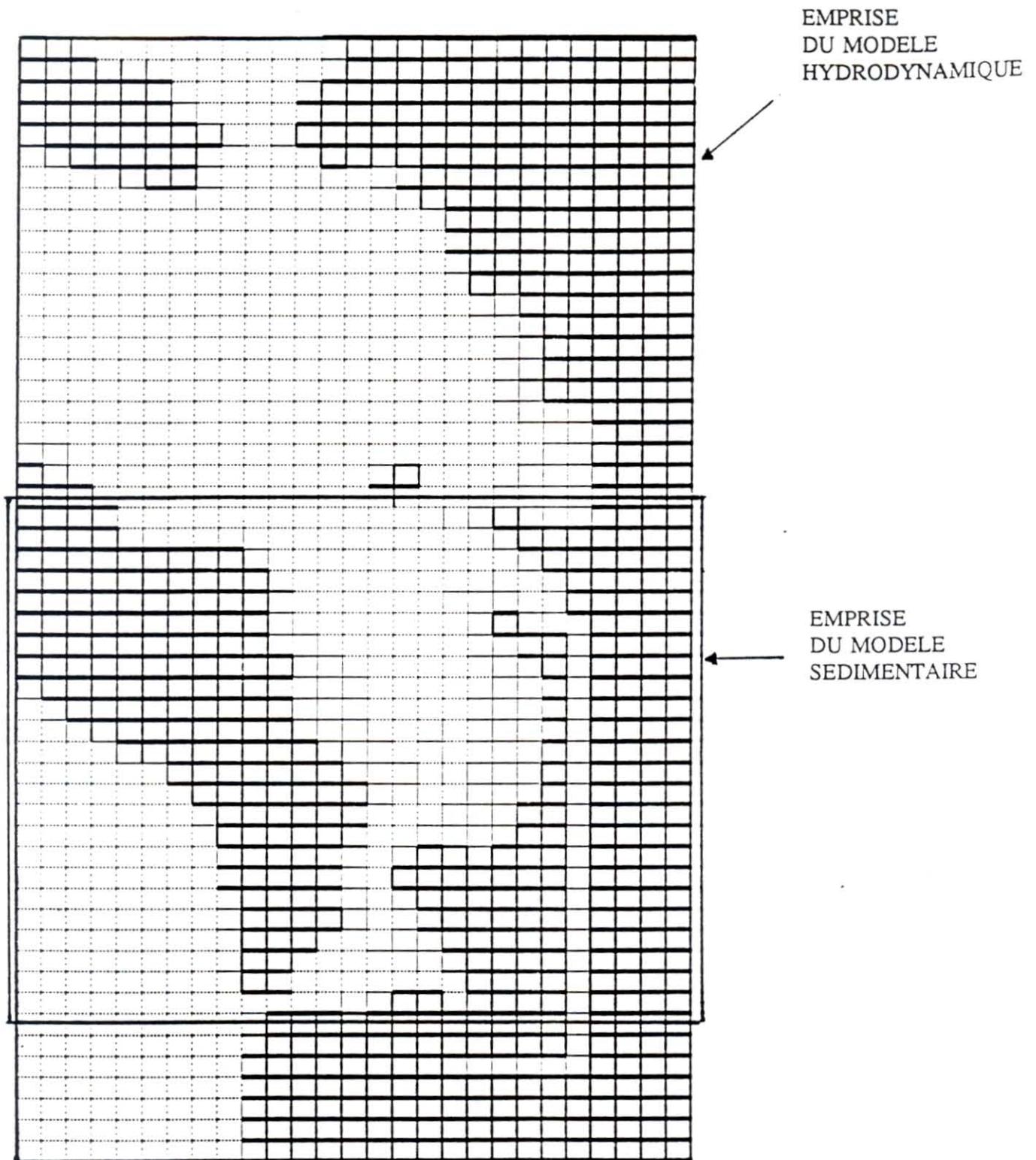


fig. 1 : Maillage du modèle hydro-sédimentaire
en gras : mailles terrestres
en fin : mailles d'estran
en tiretets : mailles de pleine eau

- 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 plus coûteux) plusieurs tentatives ont été effectuées pour concilier au mieux ces exigences antinomiques de précision et d'économie. L'extension géographique du modèle présentée à la figure 1 est une première tentative pour solutionner cet épineux problème. Les échanges avec le fond ne sont pas simulés sur l'ensemble de la zone considérée par le modèle hydrodynamique (voir fig. 1). Il est en effet certain que dans les secteurs profonds du bassin ces processus n'influent que peu ou pas sur l'évolution du matériel particulaire.

Ainsi provisoirement 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.

Formalismes du modèle

Les équations du modèle hydrodynamique ont été précédemment décrites et explicitées par Salomon et al. (1989). Il est tenu compte du coefficient de la marée dans le calcul hydrodynamique de la manière schématique suivante : l'amplitude M2 des hauteurs d'eau aux limites du modèle, calculée par un modèle de plus grande emprise (Lazure, com. pers.), est modulée linéairement en fonction

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

Taux de dépôt

$$D = W_s C \left(1 - \frac{\tau}{\tau_d} \right)$$

τ : tension de cisaillement sur le fond

τ_d : tension de cisaillement critique du dépôt des particules

W_s : vitesse de chute

Taux d'érosion

$$E = M \left(\frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right) \text{ et } \tau_e = a C_s^b$$

τ_e : tension de cisaillement critique d'érosion du sédiment

M : coefficient d'erosabilité

C_s : concentration superficielle des sédiments

a, b : constantes

Tableau I. Equations fondamentales du modèle de transport.

de ce coefficient. Les fleuves Charente et Sèvre ne sont, pour le moment, pas considérés dans le calcul du courant.

Les principales équations du modèle de transport sont rappelées au tableau I. Par rapport au modèle bidimensionnel implanté par Le Hir et al. (1989) dans la baie de Morlaix cette version simplifie la représentation du fond en ne considérant que 5 couches de sédiment (au lieu de 300).

SIMULATIONS

Calculs hydrodynamiques

La précision du modèle sédimentaire est avant tout dépendante de celle du calcul hydrodynamique. Une comparaison entre les vitesses de courant calculées par le modèle et celles mesurées par le L.C.H.F est réalisée en prélude à la mise en application du modèle de vase.

Aux vues des résultats présentés à la figure 2b, le modèle hydrodynamique semble constituer une base relativement robuste au calcul du transport sédimentaire. Globalement les niveaux des vitesses sont respectés par le modèle, de même que le rythme dans les changements de direction du courant. Les écarts les plus notables concernent le secteur de Ronces les bains (poste 15) dont le modèle sous-estime nettement les vitesses de courant.

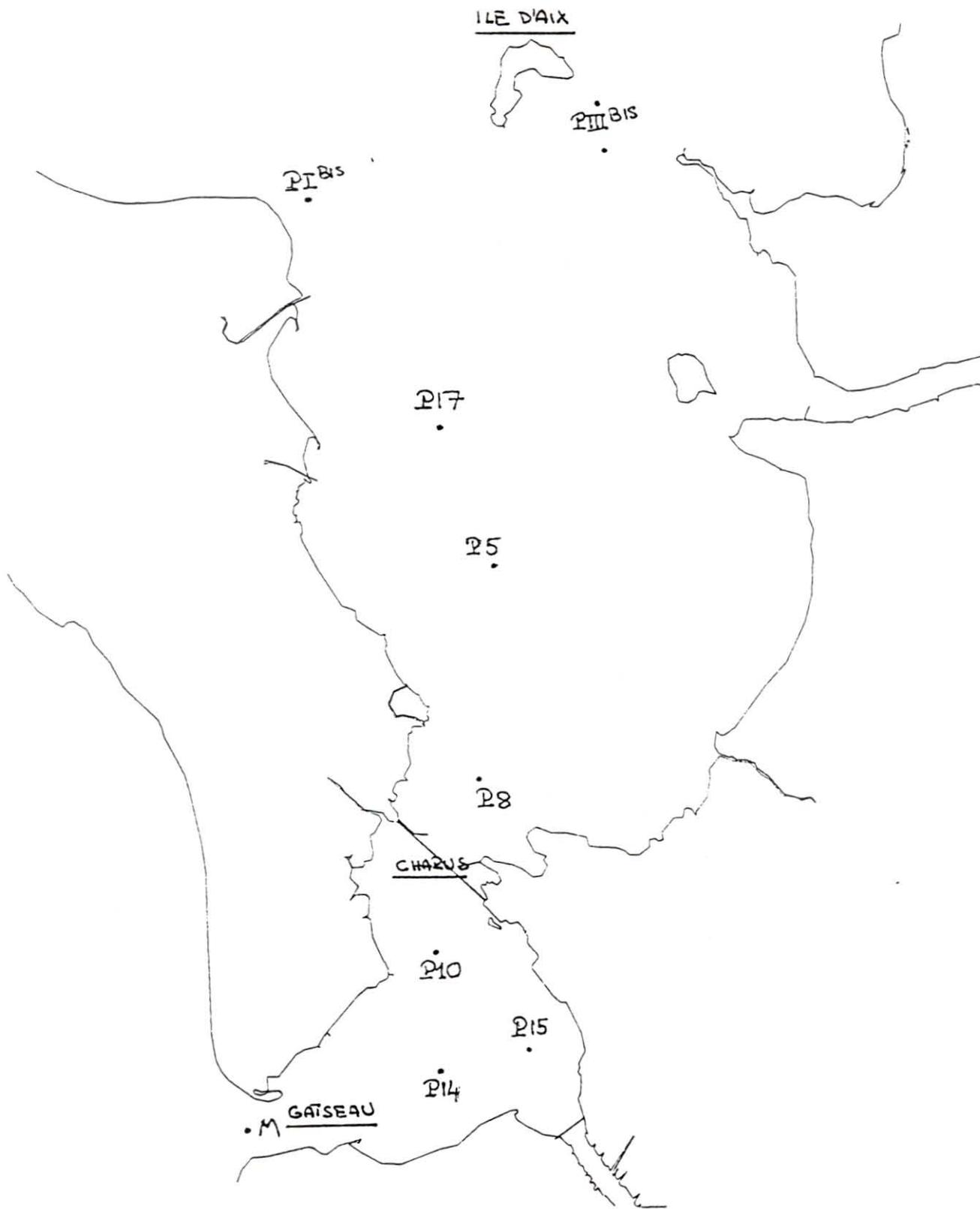


fig. 2a : Postes de mesure des campagnes d'étude du L.C.H.F 1971,72,73.

Poste M. Vives-Eaux (106)

Poste 15. Vives eaux (107-100)

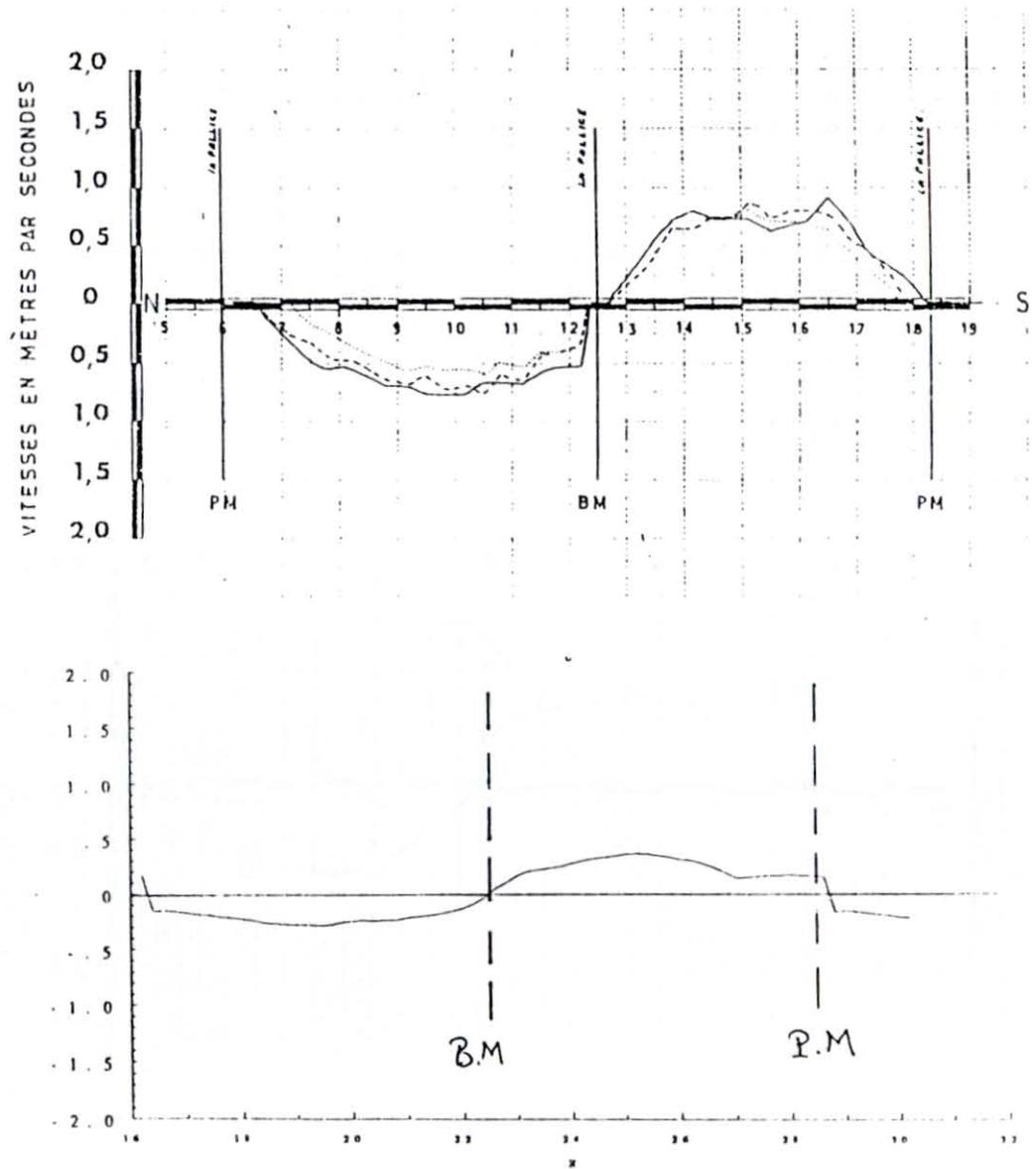
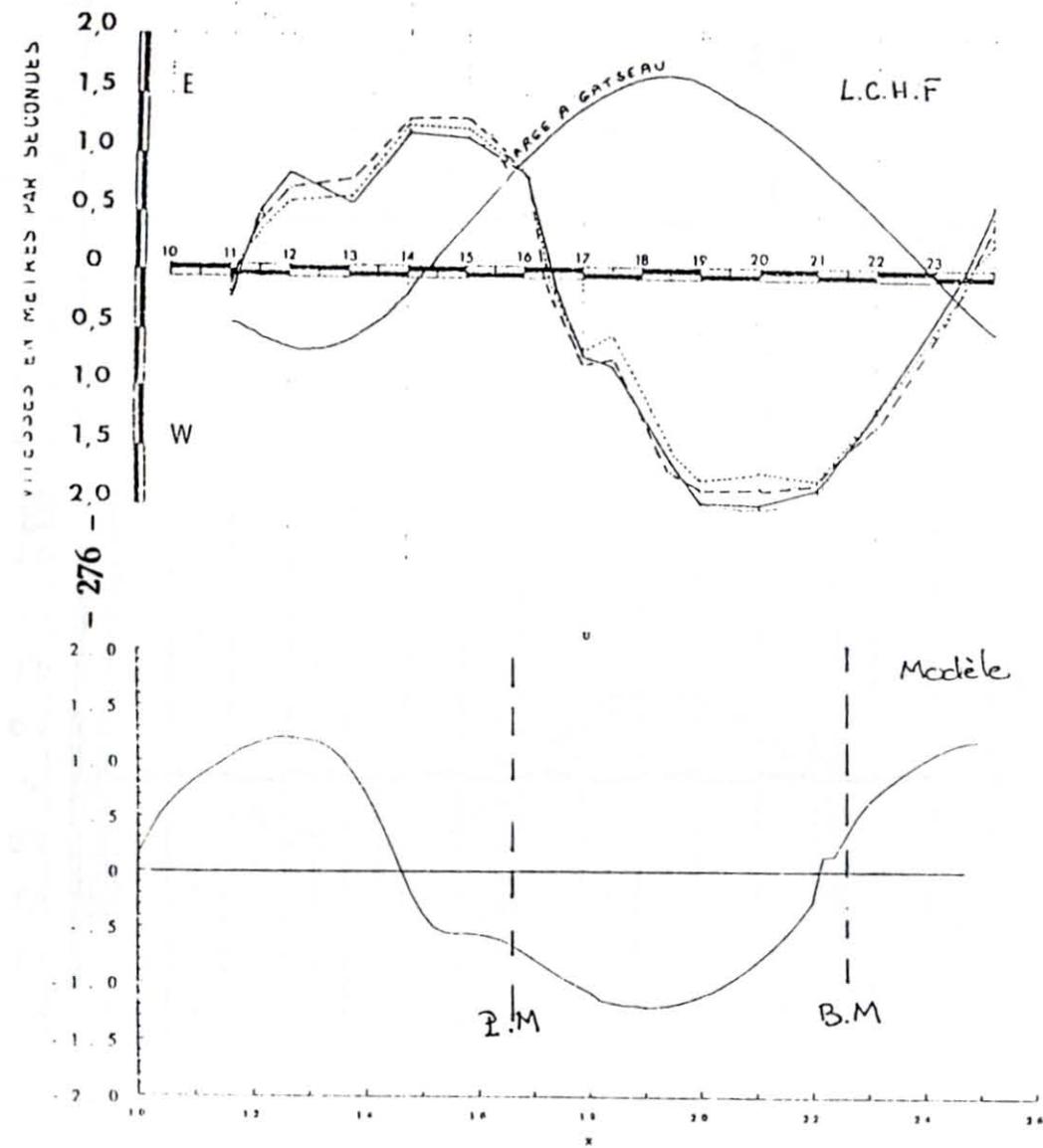
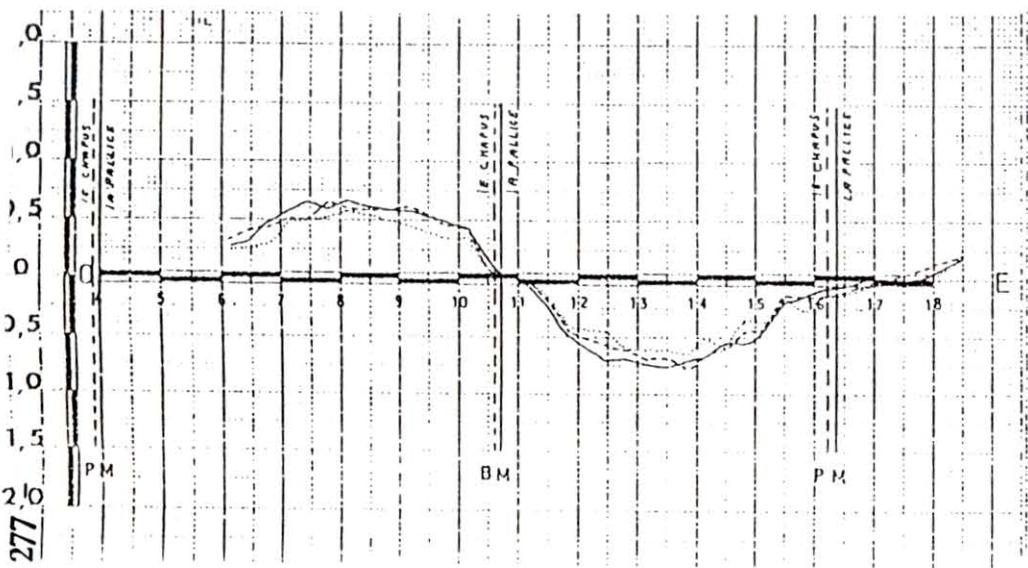


fig. 2b : Comparaisons des vitesses calculées par le modèle avec celles mesurées par le L.C.H.F en différents points du bassin.

Poste 5. Vives-eaux (84-84)



Poste 14. Vives-eaux (100)

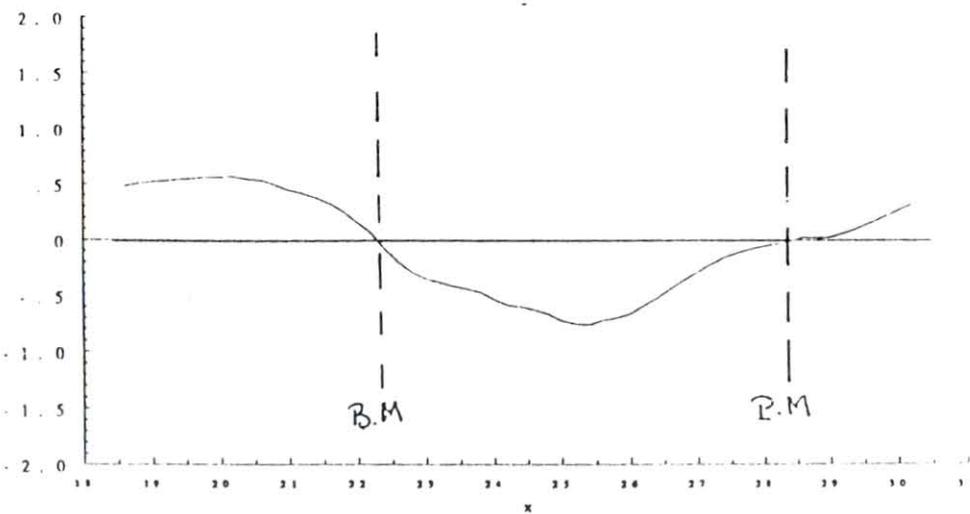
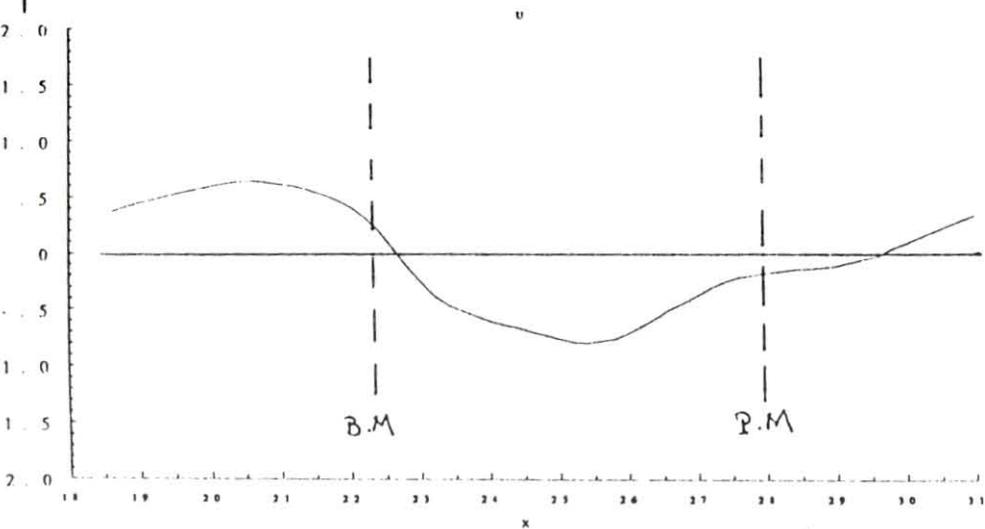
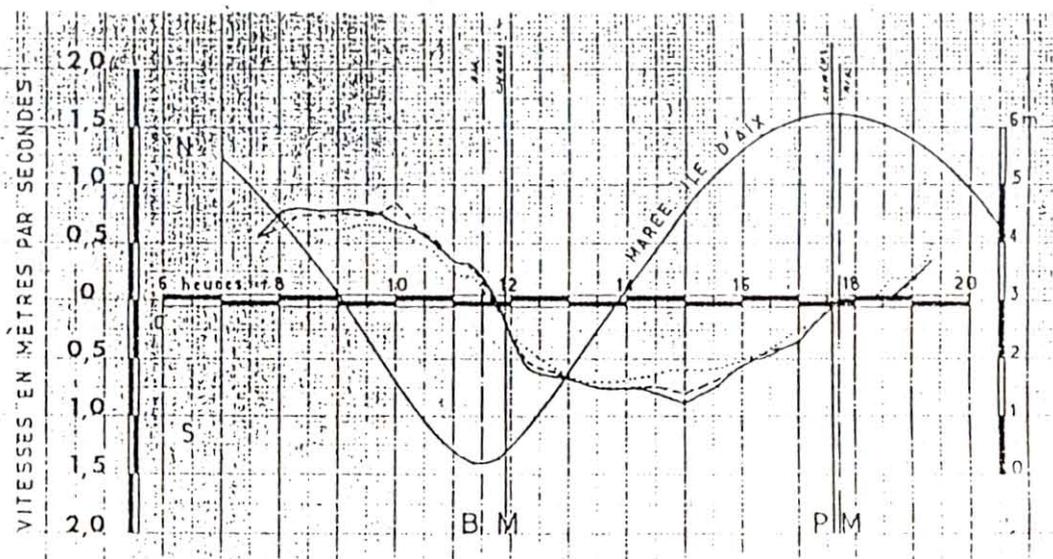


fig. 2b (suite)

Poste I^{Bis}. Vives-eaux (106-104)

Poste III^{Bis}. Vives-eaux (108-106)

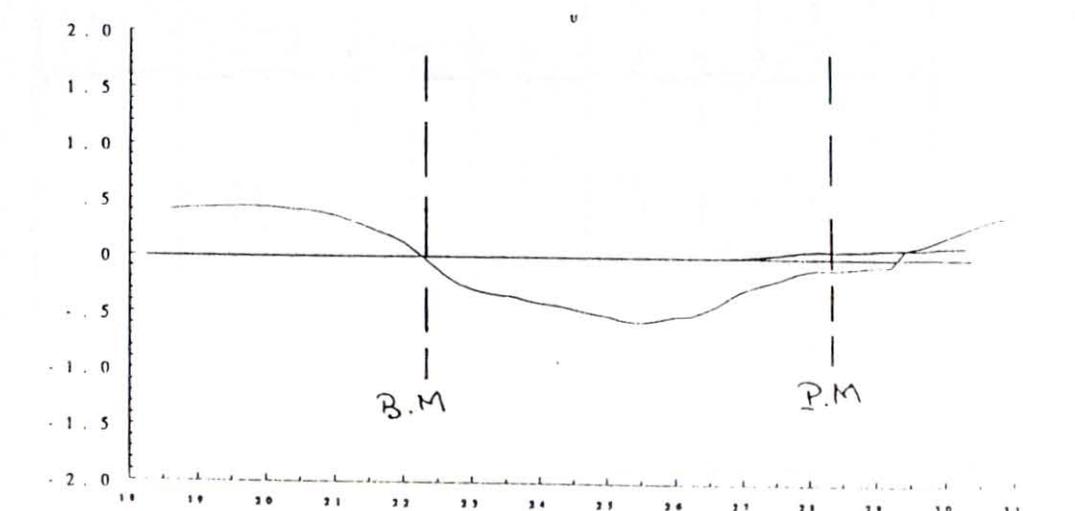
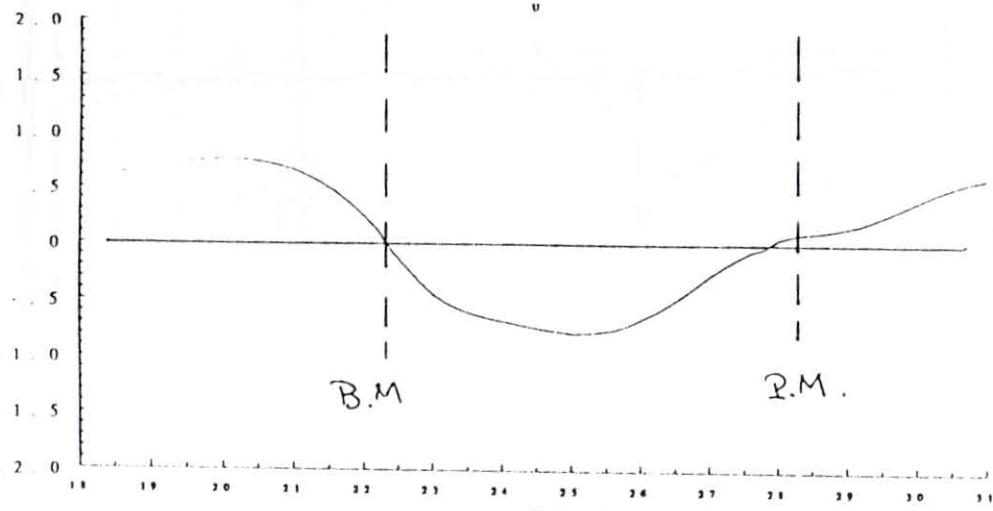
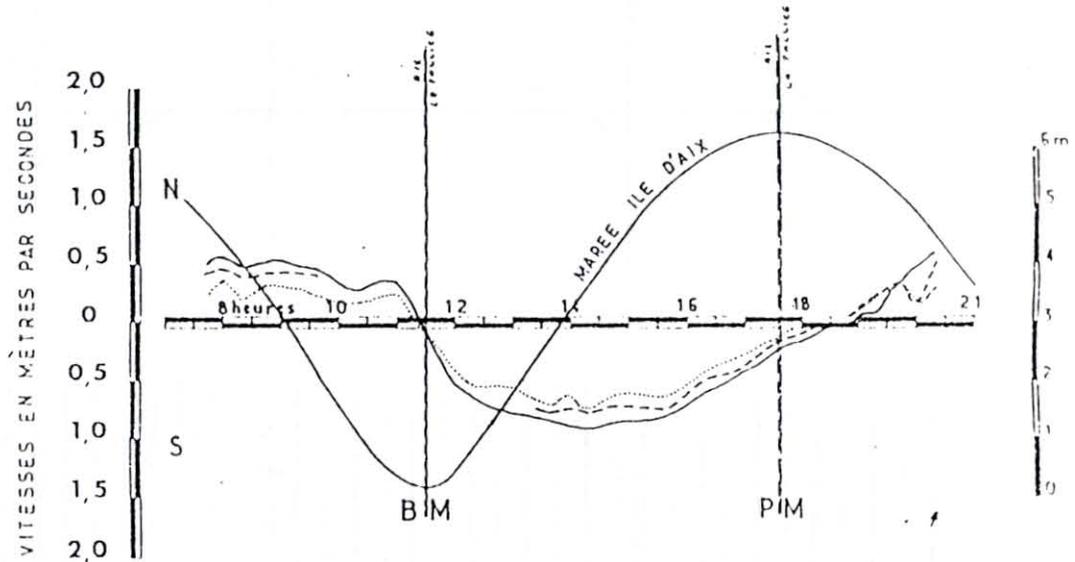
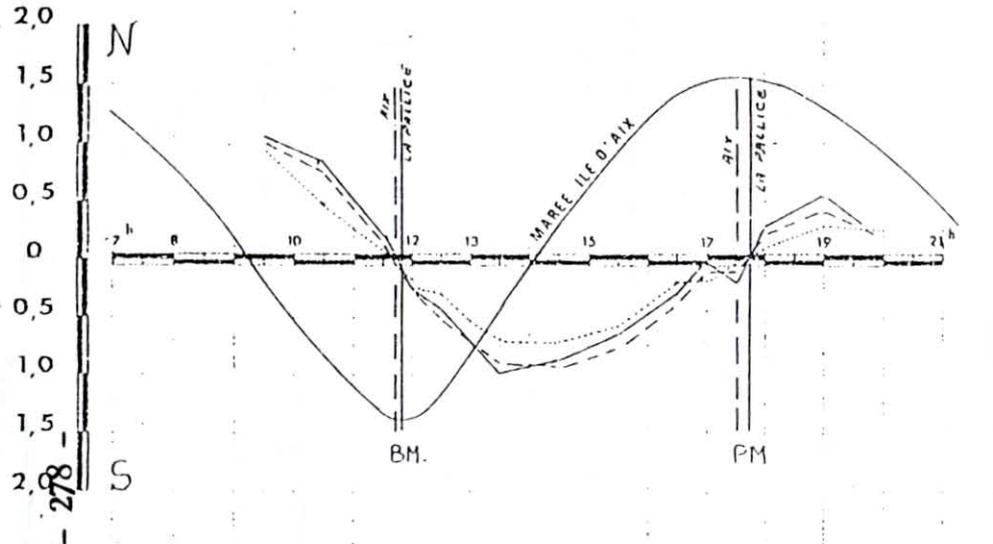


Fig 2b. (suite)

Poste 10, Mantes-les-eaux (52-54)

Poste 8, Ussy-les-eaux (49-46)

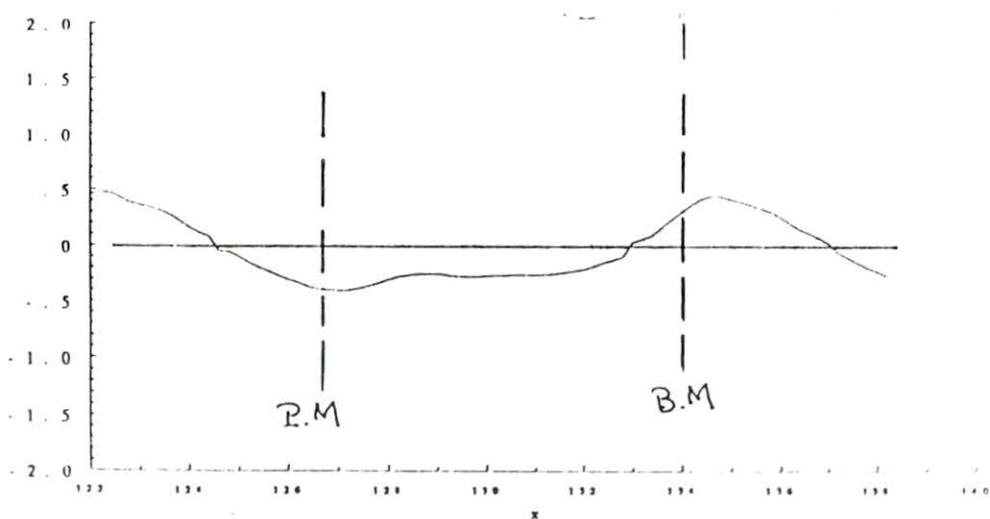
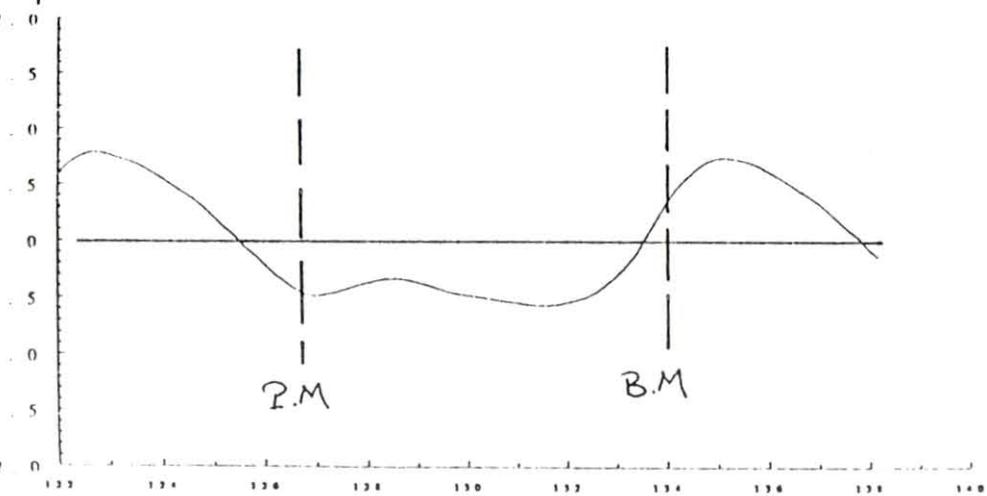
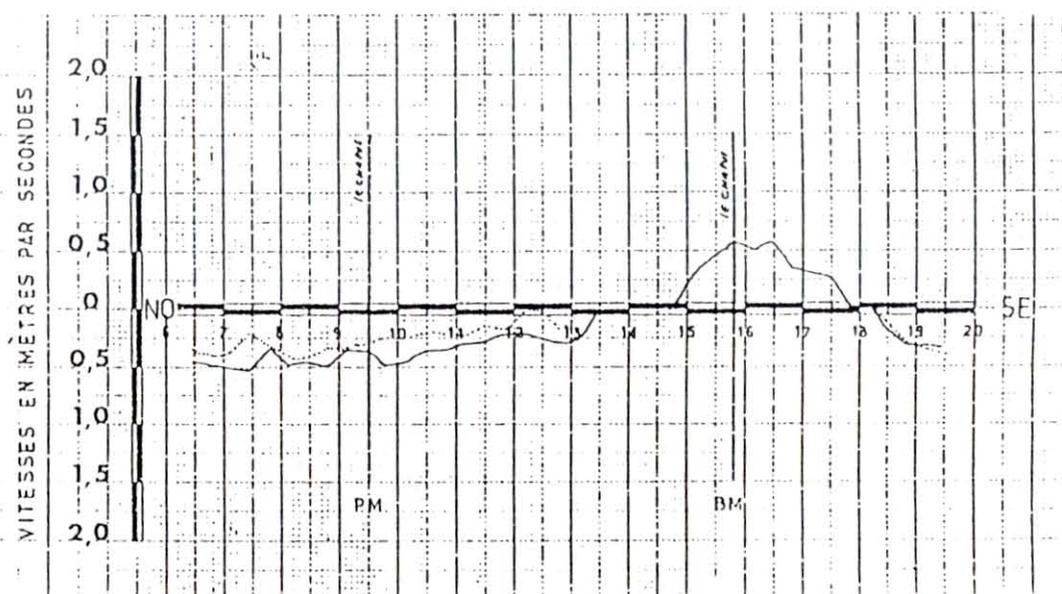
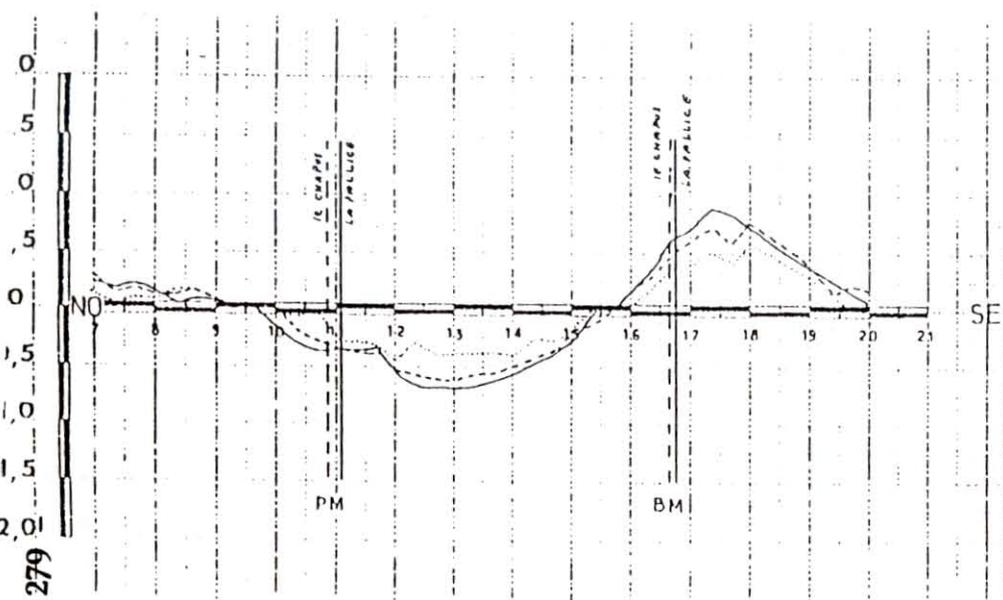


fig 2b. (suite)

Poste 17 Mantes-eaux. (44-52)

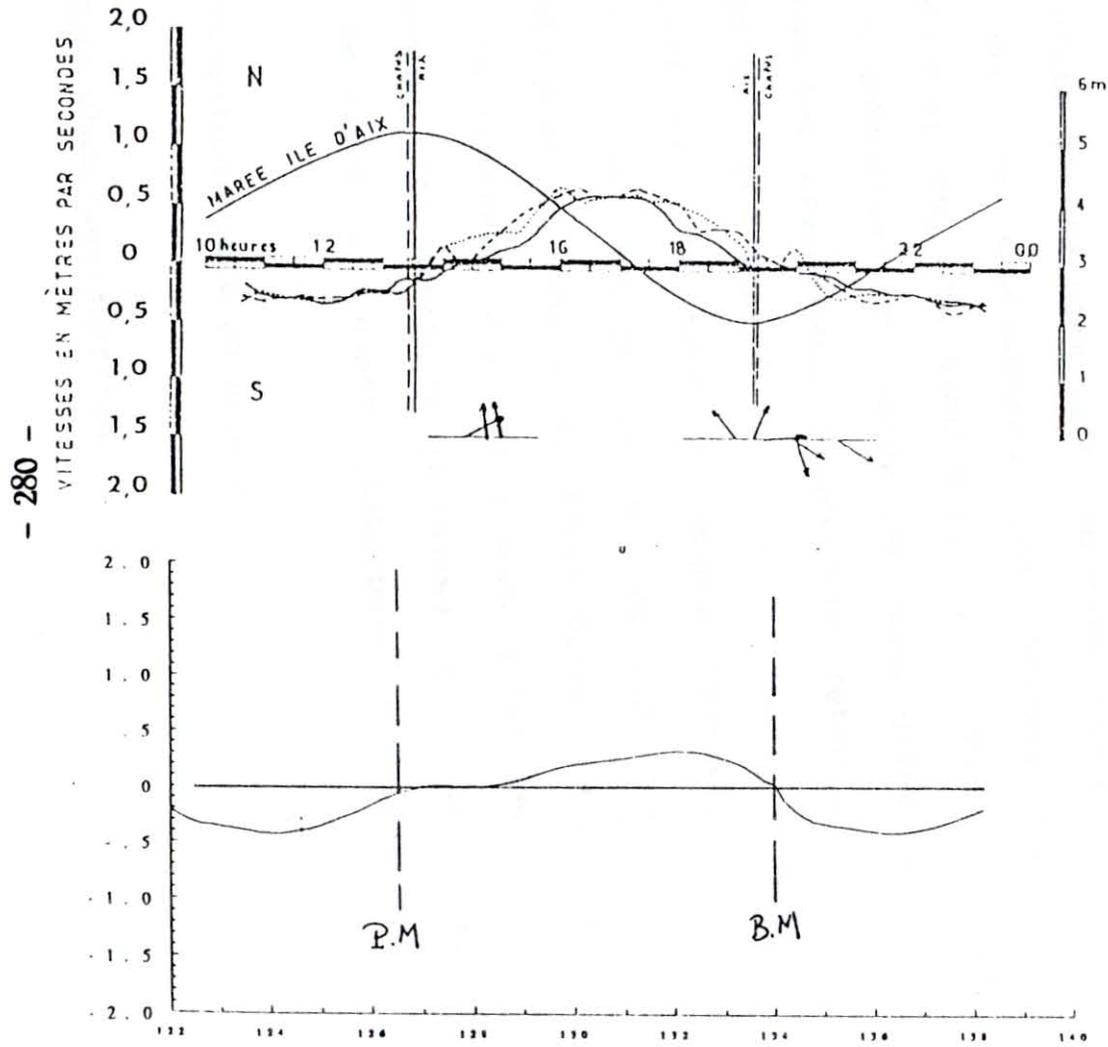


fig 2b. suite

Calculs hydro-sédimentaire

Conditionnements du modèle

A ce stade de l'étude l'hypothèse est faite que les vases en suspension proviennent exclusivement des stocks présents sur le fond. La concentration des masses d'eau pénétrant aux limites géographiques du modèle est ainsi prise égale à zéro. Un stock initial 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" sont pourvue d'un stock initial et fini de vase (fig. 3b). Le comportement hydro-sédimentaire des éléments constitutifs de ces deux types de vases étant le plus proche de celui des sédiments cohésifs.

Simulations

Il s'agit d'un premier essai. Aucune calibration n'a été effectuée sur les paramètres du modèle sédimentaire qui restent les mêmes que ceux du modèle appliqué à Morlaix (Le Hir et al., 1991). Les simulations portent sur une période de quinze jours.

1. Variation temporelle de la concentration de la vase dans l'eau en différents points du bassin.

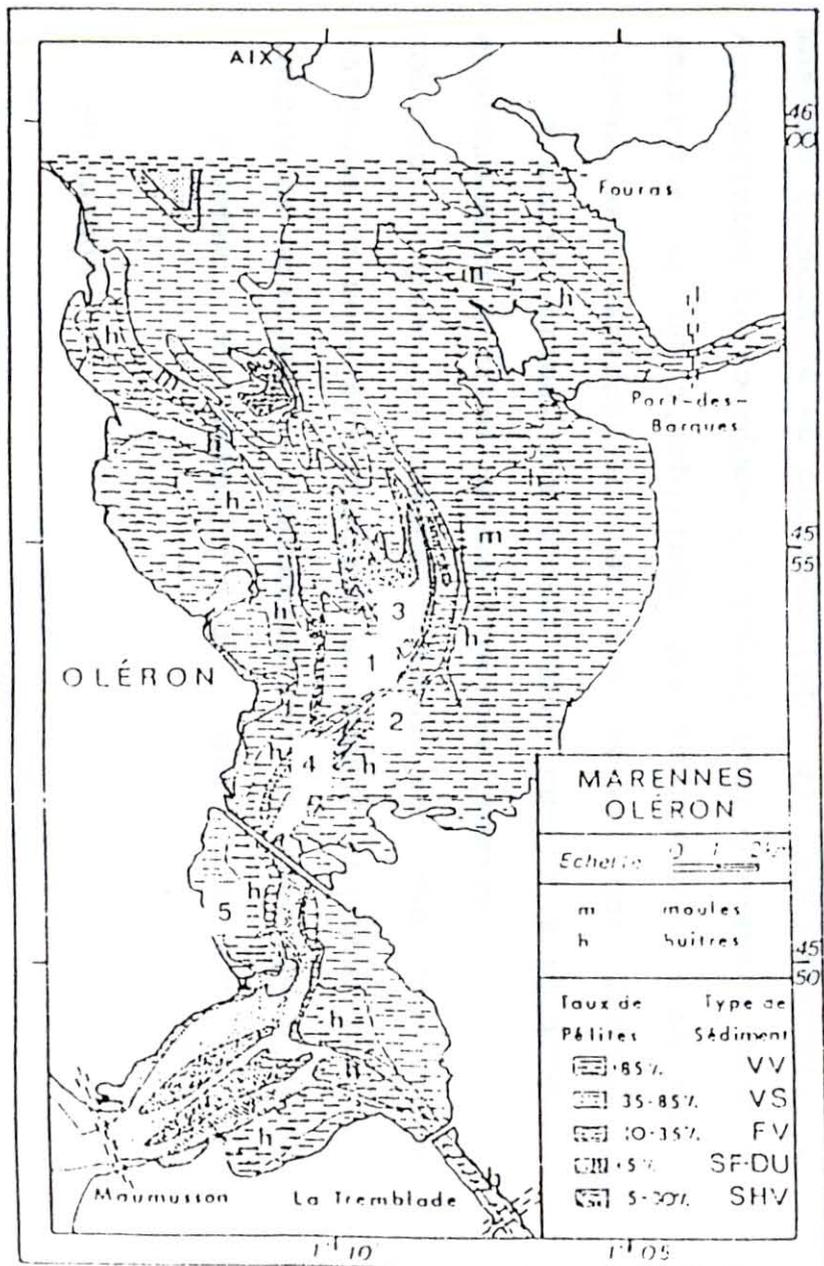


fig. 3a : Cartographie des sédiments du bassin. (Sauriau et al., 1989)

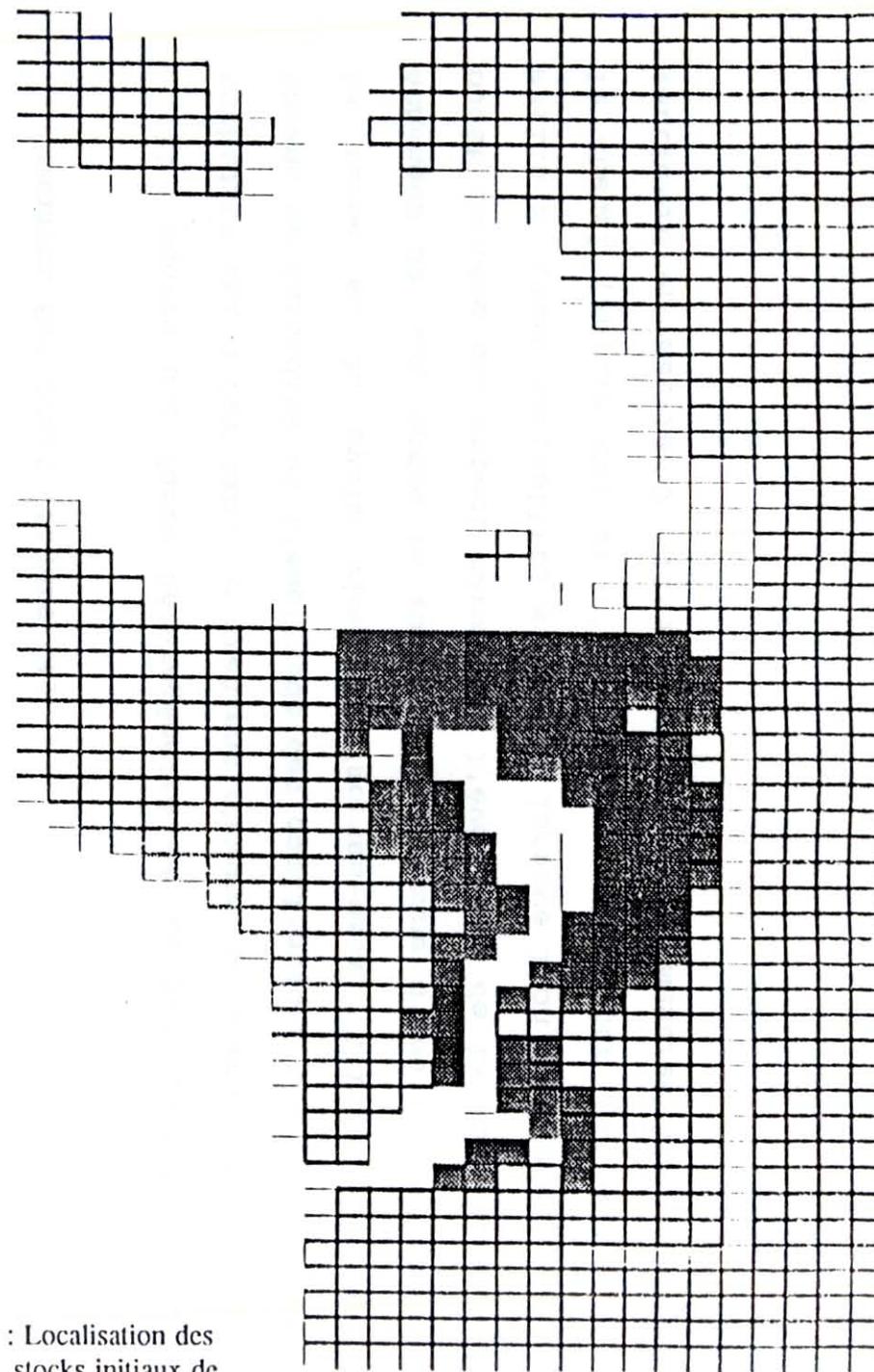


fig. 3b : Localisation des stocks initiaux de vase du modèle sédimentaire.

Au chapus

L'aspect non répétitif de l'évolution sur 15 jours de la turbidité simulée (= concentration de vase dans l'eau) met en évidence la non-stabilisation du modèle sédimentaire (fig. 4). Il convient donc de rester prudent sur les conclusions et les enseignements à tirer de ces premiers résultats.

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 également perçues sur les mesures effectuées en continue (fig. 4). Des désaccords importants entre le calcul et la mesure sont cependant mis en évidence à l'échelle de variation de la marée (fig. 5). En mortes-eaux comme en vives-eaux et particulièrement à marée descendante, le modèle ne reproduit ni le niveau ni la rythmicité des maxima et minima de la turbidité enregistrée.

Transect Est/Ouest (figure 6a)

Il montre une forte hétérogénéité de la distribution de la turbidité selon cet axe. Le gradient observé concerne les niveaux moyens de turbidité et l'amplitude des oscillations à l'échelle de la marée et du cycle vives-eaux/mortes-eaux. L'intensité des échanges de vase entre le fond et la colonne d'eau sur l'estran ouest confère cet aspect nerveux à l'évolution de la turbidité en maille E. Cette variabilité s'estompe lorsque l'on se déplace vers le chenal (maille CE) et n'est pas réactivée par les échanges verticaux en maille O. Il n'existe pas de mesures précises à

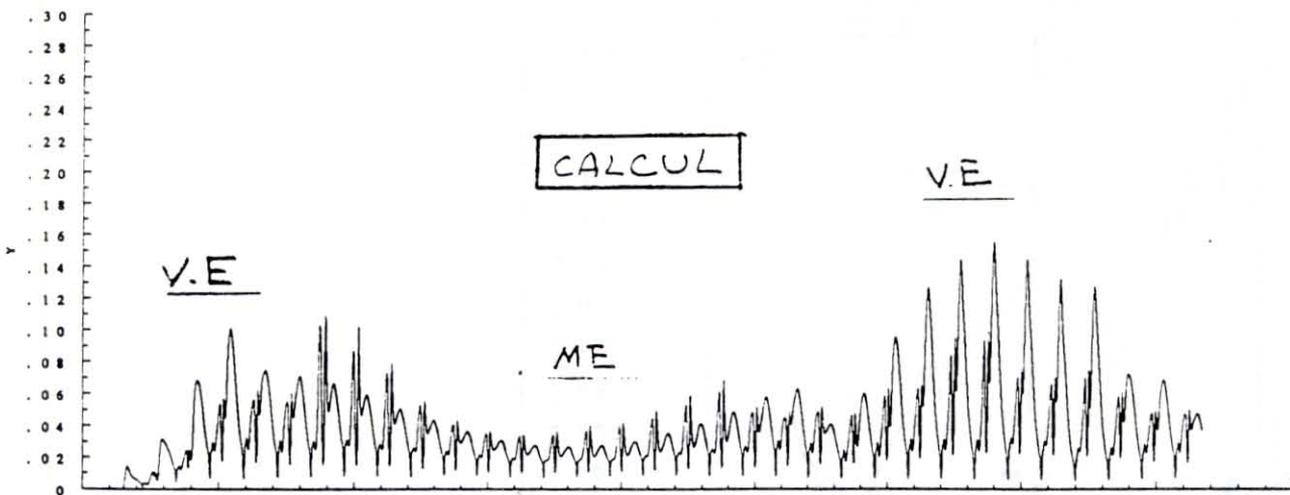
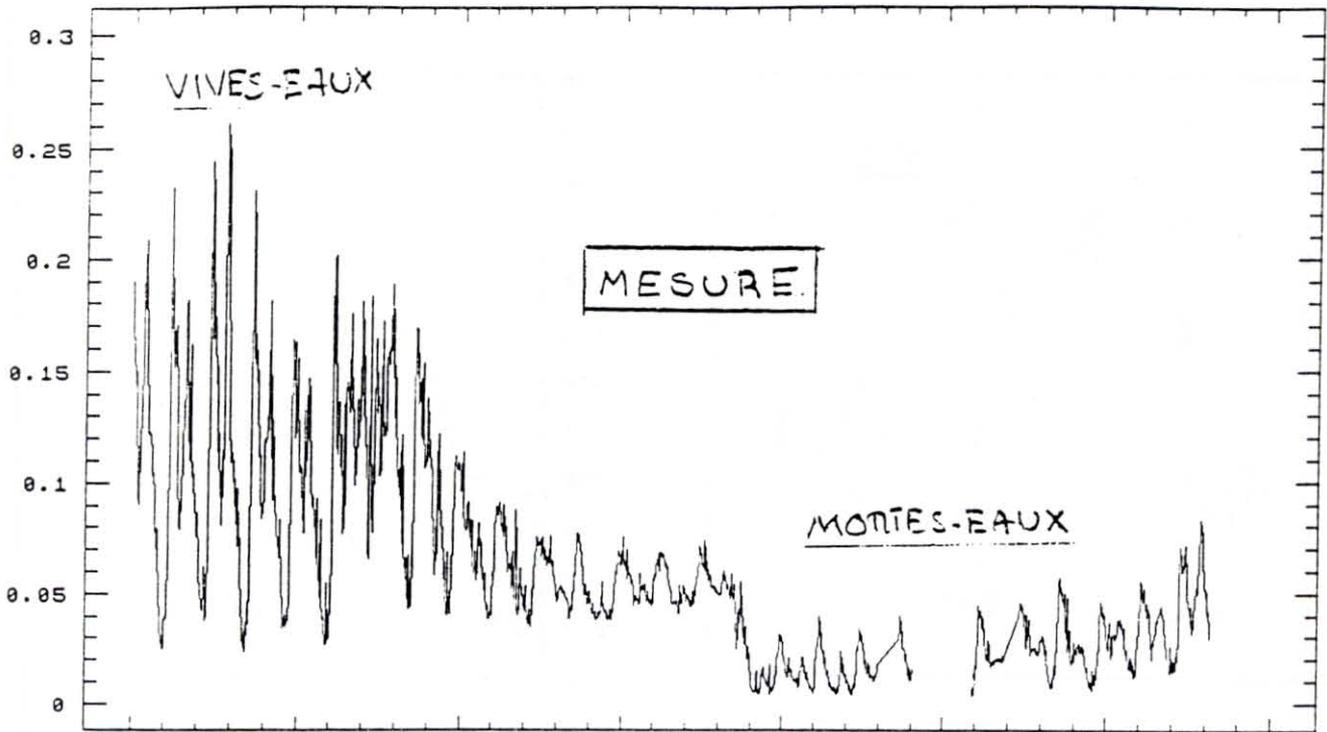
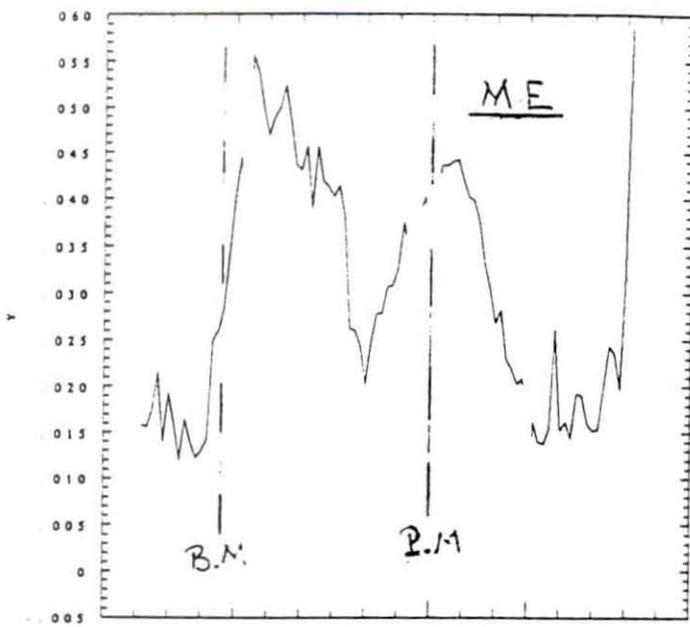
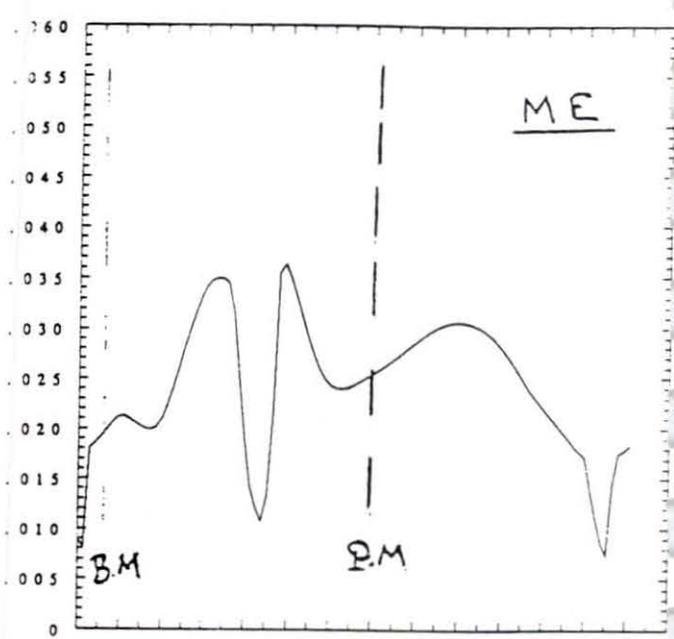


fig. 4 : Evolutions mesurée et simulée de la turbidité (g de sédiment/l) au Chapus pendant un cycle vives-eaux/mortes-eaux de marées.
V.E : marées de vives-eaux
M.E : marées de mortes-eaux

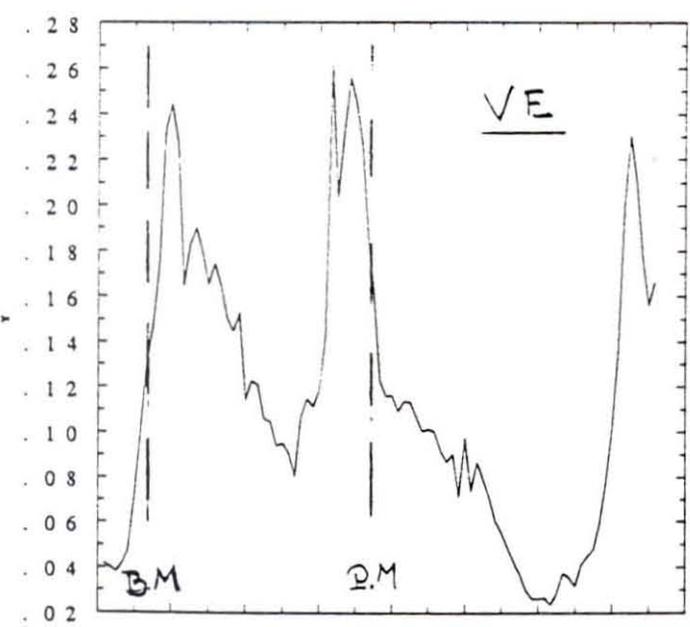
MESURE



CALCUL



MESURE



CALCUL

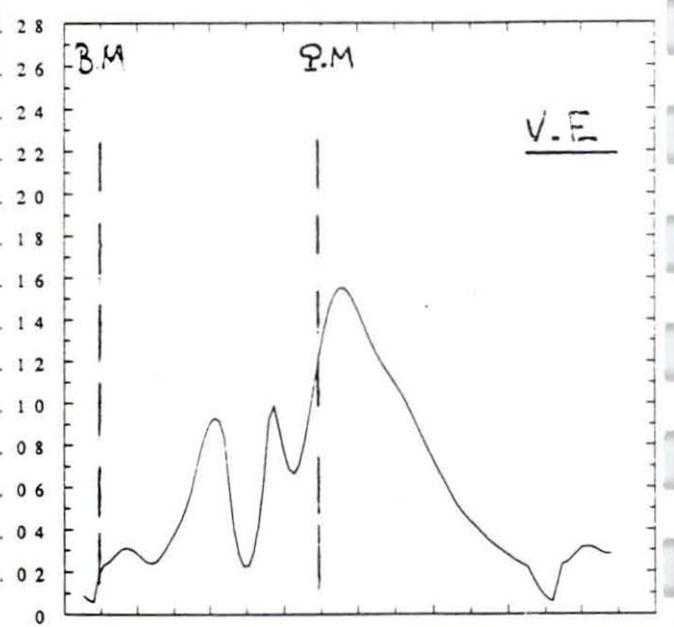


fig. 5 : Evolutions mesurée et calculée de la turbidité (g de sédiment/l) pendant une marée de mortes-eaux (M.E) et une marée de vives-eaux (V.E).

l'instar de celle du Chapus pour attester de la validité de tels résultats. Toutefois les travaux de Héral et al. (1983) sur la variabilité spatiale du seston semblent également démontrer un clivage Est/Ouest des régimes de turbidité dans la partie nord du Bassin.

Transect Nord/Sud des chenaux (fig. 6b)

Un contraste notable est perçu entre les deux mailles positionnées à l'extérieur de la zone d'emprise du modèle sédimentaire (maille N et S). La turbidité en maille S montre une dépendance plus marquée vis à vis des processus d'érosion/dépot de la zone sédimentaire (voir niveaux moyens et oscillations tidales) qui met à jour le transport résiduel nord/sud des masses d'eau dans ce secteur du bassin. Pour les mêmes raisons, le régime de turbidité de la maille N apparaît relativement déconnecté des processus prenant place en aval. Dans les chenaux situés au centre de la zone sédimentaire le régime de turbidité au sud (maille CS) se distingue de celui du nord (maille CN) par son niveau moins élevé et ses oscillations moins vives. Si dans l'ensemble les observations de Héral et al. (1983) corroborent ces hétérogénéités, elles mettent cependant en évidence une variabilité plus prononcée des turbidités dans le secteur couvert par la maille N.

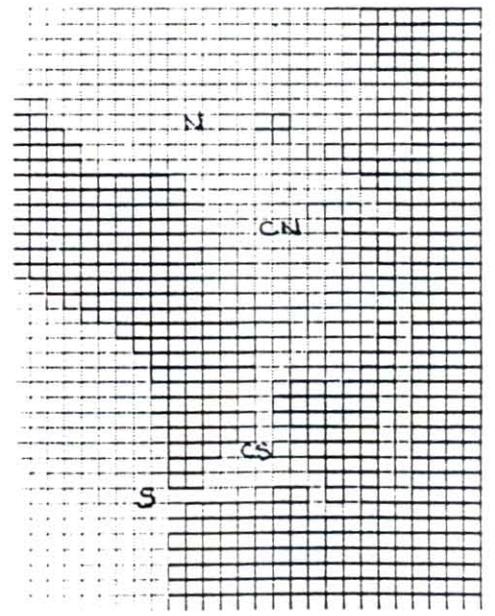
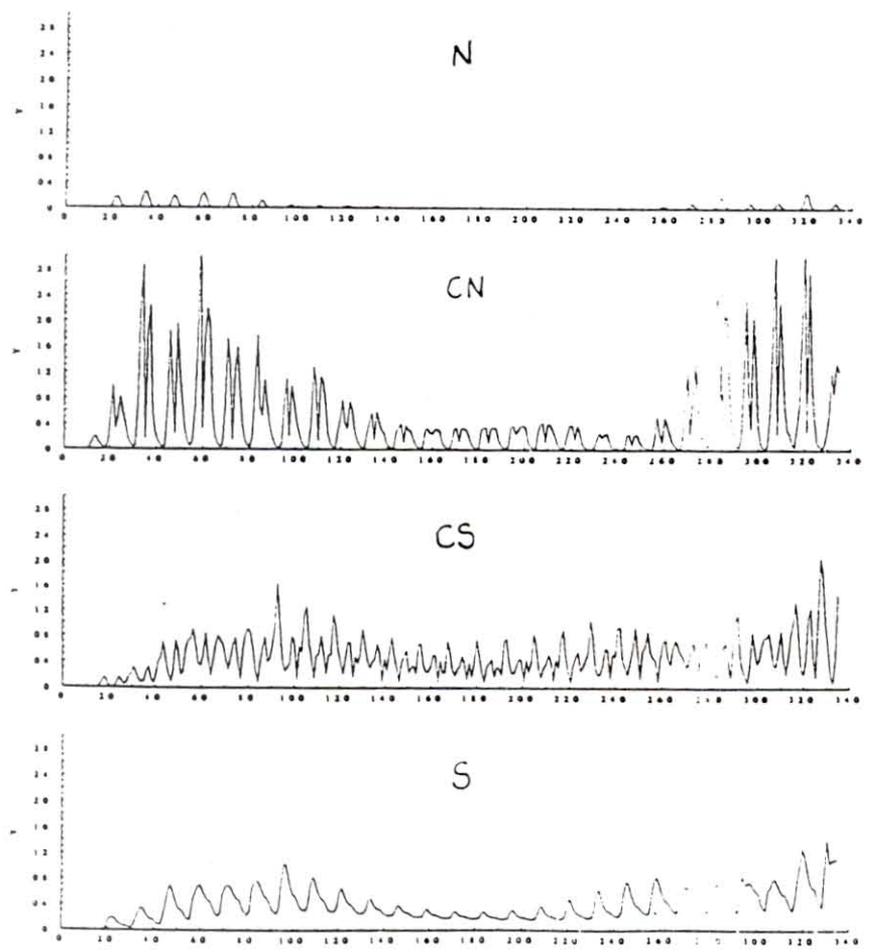
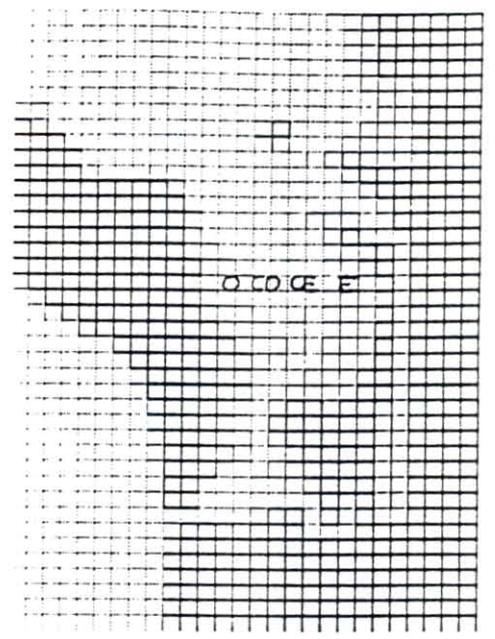
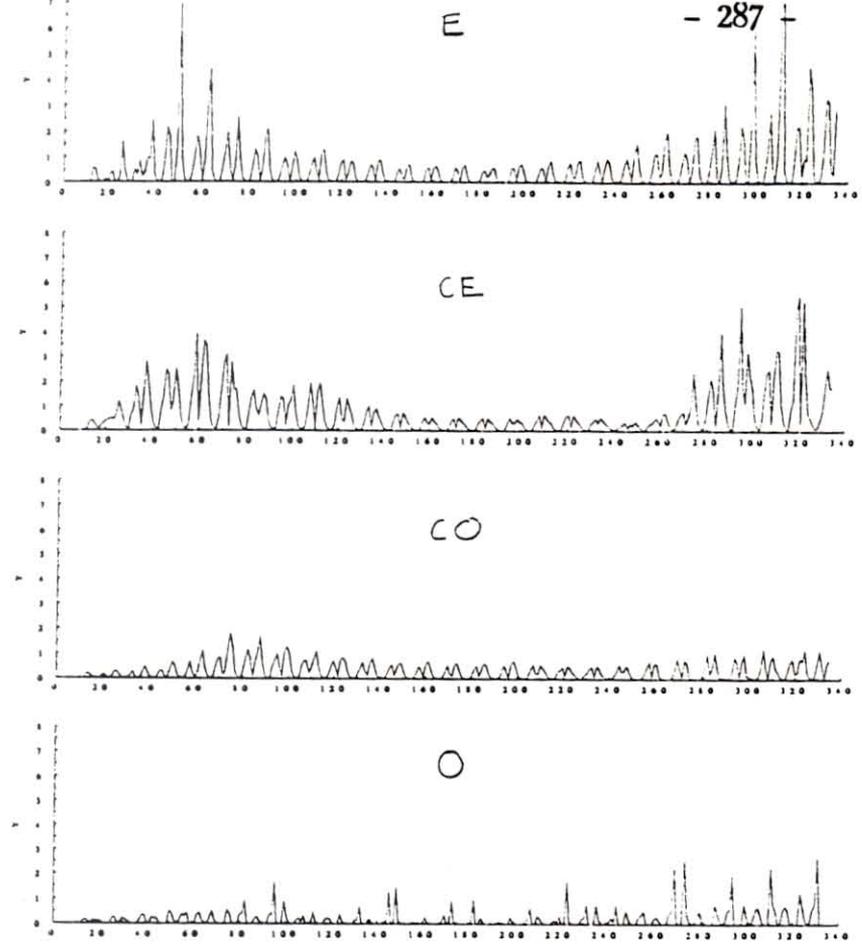
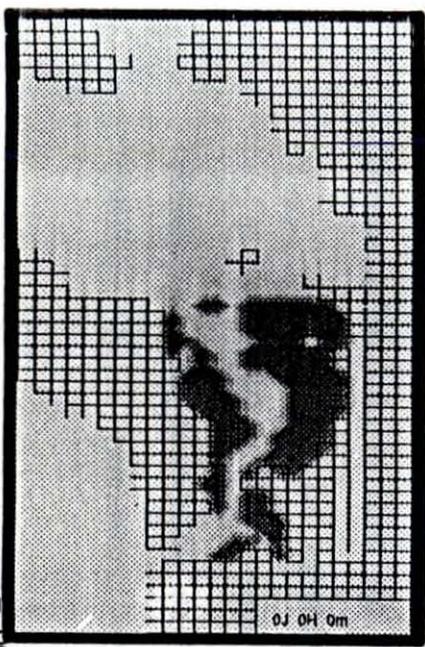
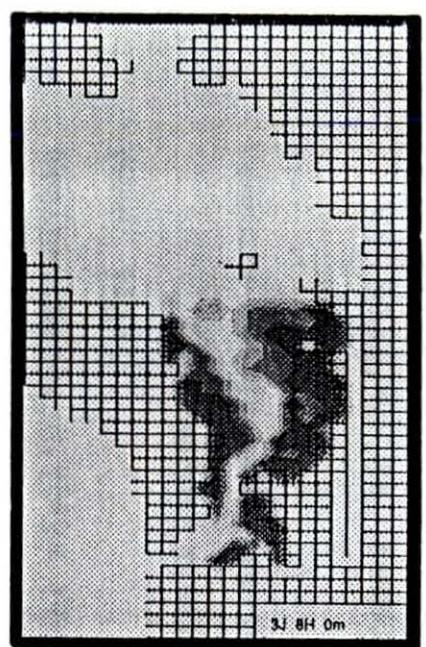


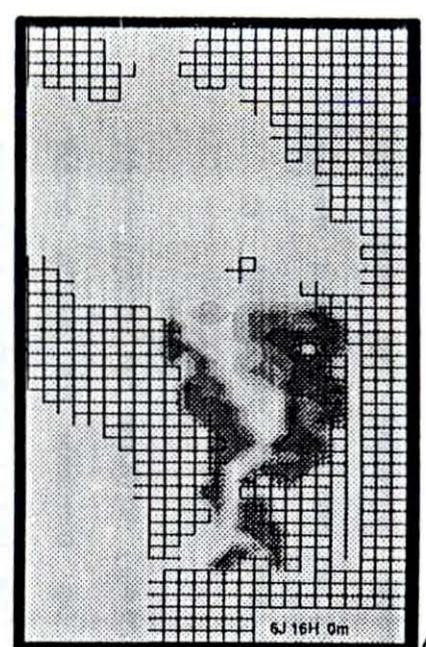
fig. 6 : Distributions temporelles des turbidités (g de sédiment/l) calculées par le modèle en différents points du maillage pendant 340 heures (15 jours).



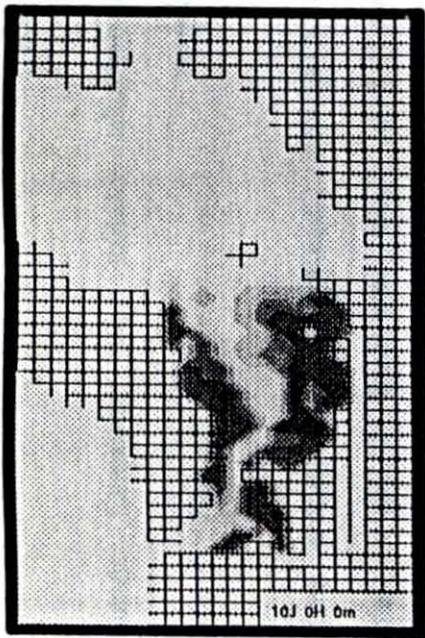
a



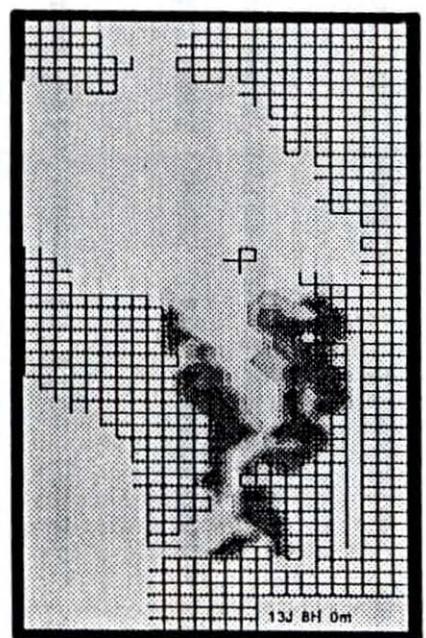
b



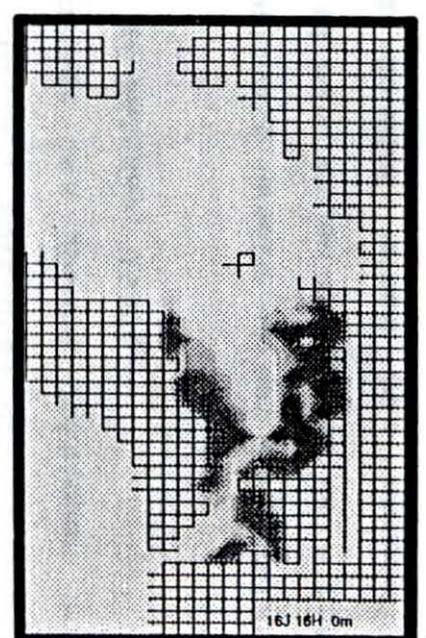
c



d



e



f

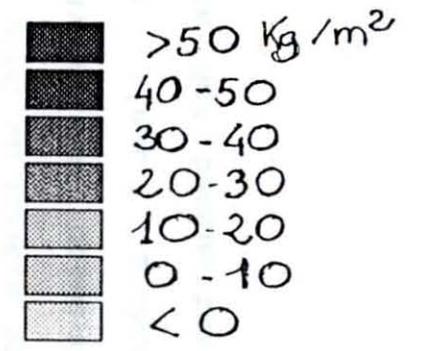


fig. 7 : Evolution simulée des stocks de sédiment sur le fond.

fournir pour parvenir aux objectifs fixés. Le travail futur de modélisation comporte trois volets :

1. Compléter le modèle :

- prendre en compte les fleuves Charente et Seudre sur les plans hydrodynamique et sédimentaire. Les travaux d'Héral et al. (1983) montrent une influence notable et variable de ces fleuves sur le régime de turbidité du bassin.

- déterminer la valeur des paramètres des lois hydro-sédimentaires d'après les mesures effectuées in situ (Anon., 1991, Anon, 1992).

- considérer l'action du vent pour les contraintes qu'il exerce sur le fond par le biais de l'agitation locale.

2. Etudier le comportement du modèle : l'analyse de la sensibilité du modèle aux paramètres des lois, de structure (échelle spatio-temporelle, nombre de variables, processus) et de conditionnement (limites, état initial, forçages) est souhaitable pour être en mesure de déterminer les points critiques et la robustesse du modèle (Swartzman et Kaluzny, 1987).

3. Calibrer le modèle : la priorité numéro un est de simuler au mieux l'évolution de la turbidité mesurée au Chapus et en d'autres stations du bassin dont les données n'ont pas encore été dépouillées à ce jour. Ce choix est motivé par la connection future de ce modèle avec un modèle biologique dont la qualité et la précision sont avant tout commandées par celles des teneurs particulières dans l'eau. L'obtention d'une répartition géographique réaliste des banquettes de vase reste présente à

l'esprit mais ne doit pas gêner la réalisation du premier objectif.

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.
- Héral M., 1991. Approche de la capacité trophique des écosystèmes conchylicoles. 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.
- Le Hir P., P. Bassoulet, J. L'Yavanc, 1989. Modelling mud transport in a macrotidal estuary, to be published of the 2nd conference on water Modelling and Measurement. Organiser : BHRA, The fluid engineering center, Bedford, U.K.
- Le Hir P., Bassoulet P., J. l'Yavanc, 1991. Suspended sediment transport in the Morlaix estuary : model developments and field validation. Rapport IFREMER DRO/EL-91.
- 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.
- Salomon J.C., M. Pommeputy, 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
- Swartzman G.L., S.P., Kaluzny, 1987. Ecological simulation primer. MacMillan Publ. Comp. New York.