

1-

UNE NOUVELLE ETAPE DANS LES MOYENS DE MODELISATION
DES PHENOMENES HYDROSEDIMENTAIRES :
LES MODELES HYBRIDES

Luc HAMM(1), Eric DE CROUTTE(1) et Arthur DE GRAAUW(2)
SOGREAH Ingénieurs Conseils

-

RESUME

Le développement de l'automatisation des moyens de laboratoire permet maintenant de maîtriser plus finement les conditions aux limites d'un modèle réduit physique du point de vue des courants, des niveaux, des conditions de houle et de transport solide.

D'un autre côté le développement de l'informatique scientifique permet d'utiliser des modèles mathématiques performants pour calculer ces conditions aux limites en temps réel ou différé. Un modèle hybride est donc la conjugaison de ces deux moyens de modélisation couplés sur une même zone d'étude. Les principes d'une telle modélisation et des cas d'application sont présentés.

1. INTRODUCTION

La nécessité de procéder à une modélisation des processus physiques pour prévoir l'impact d'aménagements portuaires et côtiers a été reconnue dès les premiers âges de l'ingénierie. Il a fallu cependant attendre le début de ce siècle pour voir se développer des laboratoires d'hydraulique industriels exploitant quotidiennement des modèles physiques conçus à partir des lois de similitude devenues maintenant classiques pour prévoir l'impact d'aménagements.

(1) Ingénieur de Projet - Département Ports et Côtes

(2) Directeur Stratégie/Recherche - Département Ports et Côtes
SOGREAH, 6, rue de Lorraine - 38130 Echirolles

Tél : (33) 76 33 40 00 FAX (33) 76 33 42 96
Télex : SOGRE 980 876 F

Durant les 25 dernières années, un nouvel outil de modélisation est apparu grâce au développement de l'informatique reposant sur la résolution numérique des équations de la mécanique des fluides.

Actuellement, ces deux types d'outils sont utilisés couramment dans les études d'ingénierie côtière et leurs limites respectives d'utilisation sont maintenant bien connues.

Schématiquement, les modèles physiques permettent d'étudier dans le détail des phénomènes tridimensionnels complexes localisés mais sont limités par leur taille, leur coût et les moyens de mesure.

D'un autre côté, les modèles numériques permettent de traiter de larges zones d'étude à des coûts raisonnables mais sont limités dans leur capacité à simuler des phénomènes complexes dans le détail.

La complémentarité des deux outils est donc apparu peu à peu comme une nécessité pour répondre aux questions posés par les aménageurs dans des conditions de coûts et de délais raisonnables.

2. LES DIFFERENTS TYPES DE MODELES HYBRIDES

Nous distinguerons trois types de modèles hybrides qui sont :

- . les modèles couplés en différé avec un flux d'information à sens unique du physique vers le numérique,
- . les modèles couplés en différé avec un flux d'information à sens unique du numérique vers le physique,
- . les modèles couplés en temps réel avec un échange permanent et à double sens d'information.

L'ordre d'exposition ci-dessus reflète la progression historique du développement de la modélisation hybride.

La première étape a en effet consisté à étudier des phénomènes physiques précis sur modèle physique pour en tirer des lois empiriques qui ont ensuite été introduites dans des modèles numériques.

L'intérêt de cette approche est de pouvoir ainsi dégrossir des solutions à un problème donné sur modèle mathématique avant de tester une solution finale sur le modèle physique. Une autre application possible est de pouvoir simuler des conditions initiales complexes (rejet de polluant par exemple) sur un modèle physique local et de poursuivre la simulation sur le long terme grâce à un modèle numérique plus large.

Un tel exemple d'application est présenté par Demenet et Quétin (1989) pour l'étude du rejet d'eau chaude d'une centrale thermique en bord de mer (fig. 1). Le modèle physique de rejet a permis d'étudier le champ proche induit par le panache d'eau chaude soumis à la houle et aux courants. Le devenir à long terme du rejet a ensuite été étudié sur un modèle numérique.

La seconde étape a consisté à utiliser au mieux les avantages des deux types de modélisation. Le modèle numérique est alors utilisé pour reproduire des phénomènes généraux sur une large zone (estuaire, baie) et pour fournir les conditions aux limites d'un modèle physique de détail de la zone à étudier. Le modèle physique peut alors être conçu à une grande échelle et fournir ainsi de meilleurs résultats. Cette technique n'est pas nouvelle en soi et est utilisée depuis longtemps dans les modèles physiques simulant la houle en zone côtière pour lesquels une étude de réfraction préalable est la règle pour fournir les conditions à imposer au générateur de houle.

Elle commence maintenant à être appliquée sur les modèles physiques simulant les courants grâce à la mise au point de modèles numériques performants permettant le calcul des courants induits par la marée, le vent et la houle (Usseglio-Polatera et al, 1988).

Une telle méthodologie a été appliquée pour étudier de nouveaux aménagements dans la partie centrale de l'estuaire de la Seine ainsi que pour l'étude de la stabilité d'un musoir de brise-lames dans un site où les courants venant à la rencontre de la houle modifiaient notablement celle-ci et augmentaient ainsi nettement les risques de dommages de l'ouvrage.

Le flux d'information étant à sens unique, il faut choisir avec soin les limites du modèle physique en dehors de la zone de perturbation générée par les aménagements.

La troisième étape qui est en cours de développement consiste à coupler en temps réel un modèle physique de détail et un modèle mathématique d'ensemble.

L'échange d'information est alors permanent à l'interface, ce qui permet de s'affranchir de la condition restrictive des modélisations de la seconde étape.

Le principe d'une telle modélisation a été énoncé et testé par Holtz (1976) et a fait l'objet d'une première application sur un cas pratique par Funke et Crookshank (1978).

Il s'agissait de simuler numériquement la propagation de la marée dans la rivière du Saint-Laurent au Canada afin de prolonger le modèle physique de son estuaire. A l'époque, des limitations existaient sur la capacité du système informatique à calculer en temps réel la propagation de la marée et sur le système de contrôle physique de l'écoulement à l'interface.

Depuis, peu d'expériences ont été publiées sur les modèles hybrides en temps réel, en dehors d'une application sur la Baie de Fundy par Argintaru et Willis (1984) et d'une application intéressante sur le Fleuve Sénégal par Barthel et Crookshank (1987). C'est pourquoi nous présentons dans la troisième partie le résultat des développements effectués par SOGREAH dans ce domaine depuis 1989.

3. LA MODELISATION HYBRIDE D'UN ESTUAIRE EN TEMPS REEL

L'objectif de l'étude était l'évaluation des risques d'ensablement d'un nouveau port de plaisance à créer dans l'embouchure de l'estuaire de la Dives en France.

Pour mener à bien cette étude, il fallait donc reproduire à la fois les phénomènes hydrauliques maritimes (houles et courants de marée) et les phénomènes hydrauliques fluviaux (débit de crue) dans un modèle physique sédimentologique à fond mobile.

Le modèle physique sédimentologique de l'estuaire a été transformé à la fin de l'étude en modèle hybride en substituant la partie physique représentant le fleuve par un modèle numérique (fig. 2). Le modèle physique au 1/120 horizontal et 1/40 vertical couvrait une surface de 600 m². La durée d'une marée en modèle était donc d'environ 39 minutes.

Le modèle numérique simulant la propagation de la marée et le débit fluvial comprenait 18 tronçons unidimensionnels couvrant une longueur de fleuve de 25 km. Le schéma implicite utilisé par le logiciel du calcul MISTRAL procure une grande stabilité numérique.

A l'interface physique-numérique, le modèle réduit fournissait un niveau d'eau au modèle numérique qui lui renvoyait, après calcul, le débit à introduire ou à sortir du modèle physique (fig. 3).

Cette interface constitue le point crucial du modèle hybride en temps réel. C'est en effet à cet endroit que la communication entre le modèle physique et le modèle numérique s'établit.

L'interface était constituée d'un suiveur du niveau NL500 à pointe vibrante et d'un générateur de débit à vanne-secteur.

Le suiveur de niveau doit donner une mesure filtrée sur un intervalle de temps assez court pour être représentatif d'un instant précis et assez long pour permettre un filtrage des fluctuations haute fréquence des niveaux.

Le générateur de débit doit reproduire le débit calculé avec précision et rapidité. Un système basé sur une vanne secteur alimentée par un débit constant a été retenu en raison de sa simplicité mécanique. Le débit est réglé par la position de la vanne secteur qui rejette hors du modèle une partie plus ou moins importante du débit constant d'alimentation.

Le pas de temps hybride a été varié de 6 à 20 secondes modèle, décomposé entre environ 5 secondes pour la mesure du niveau le calcul du débit et son réglage et 1 à 15 secondes de stabilisation avant le début du pas de temps suivant.

Les essais effectués ont porté principalement sur les aspects suivants : réponse de l'ensemble du système hybride, filtrage des mesures de niveau, durée du pas de temps hybride.

La réponse de l'ensemble du système hybride est excellente. En l'absence de filtrages, le système répond à toute variation de niveau avec une grande sensibilité.

Le logiciel de calcul MISTRAL avec schéma numérique implicite assure une grande stabilité des calculs quel que soit le pas de temps choisi, si bien que la suite des essais a pu être concentrée sur les questions de filtrage.

La grande sensibilité du système nécessite en effet un filtrage des perturbations parasites, en particulier des hautes fréquences, surtout à l'entrée du système, c'est-à-dire à la mesure du niveau (turbulences, houle pénétrant dans l'estuaire).

Un filtrage physique a tout d'abord été introduit en mesurant le niveau dans un pot de mesure muni de trous de faible dimension. Des filtrages numériques ont ensuite été ajoutés :

- . moyenne entre le dernier niveau mesuré et le précédent,
- . régression linéaire sur la dernière mesure de niveau et les 4 précédentes,
- . combinaison des deux méthodes ci-dessus.

Il apparaît que la seconde méthode soit plus efficace que la première et que la combinaison des deux méthodes n'apporte pas d'amélioration notable par rapport à la seconde méthode.

La durée du pas de temps hybride a été fixée à 6, 10 et 20 secondes modèle.

Le pas de temps du calcul a toujours été égal au pas de temps hybride.

Les résultats montrent clairement que plus le pas de temps est court, plus le décalage entre le débit calculé et le débit réglé dans le modèle est faible : les écarts maxi peuvent atteindre momentanément 10 % du débit pour le pas de temps de 10 secondes et 20 % du débit pour le pas de temps 20 secondes.

En fait, le pas de temps agit comme un filtre sur les basses fréquences, ce qui peut être intéressant pour éliminer des oscillations parasites du plan d'eau du modèle, mais le décalage entre les débits calculés et réglés devient vite inacceptable. Il faut donc s'interdire des pas de temps trop longs et viser des valeurs de l'ordre de $1/300$ à $1/500$ de la durée d'une marée en modèle. Ceci nécessite donc une optimisation entre la capacité de calcul de l'ordinateur et l'échelle du modèle physique.

4.

CONCLUSIONS

Les modèles hybrides, en tant qu'utilisations combinées de modèles physiques et numériques, forment le prolongement logique de près d'un siècle d'évolution des techniques de simulation en hydraulique.

L'approche hybride est avant tout un état d'esprit basé sur une longue expérience des deux techniques de simulation mises en oeuvre.

Les modèles hybrides permettent d'aborder des problèmes complexes dans lesquels plusieurs phénomènes physiques doivent être reproduits simultanément. L'exemple présenté ci-dessus décrit l'effet conjugué de la houle, des courants de marée et du débit fluvial sur la sédimentologie d'un estuaire. D'autres combinaisons sont possibles (effets de vents, pollution, amarrage de structures flottantes, etc).

Les modèles hybrides permettent une réduction de la surface (donc du coût) des modèles physiques ou bien une augmentation des échelles à surface égale de modèle (donc une meilleure précision).

Enfin, il s'avère que la flexibilité d'emploi du modèle numérique offre des avantages importants au niveau opérationnel sur le modèle physique, en particulier durant la phase d'étalonnage.

HOLTZ, K.P. (1976)

"Analysis of time conditions for hybrid tidal models" - Proc. 17th ICCE, Honolulu, pp 3460-3471 ASCE.

FUNKE E.R. and CROOKSAHNK, N.L. (1978)

"A hybrid model of the Saint-Laurence river estuary" - Proc. 18th ICCE, pp 2855-2869, ASCE

DEMENET P.F. et QUETIN B. (1989)

"Méthodes et outils utilisés pour l'étude des rejets en mer"
Compte rendu du symposium SHF les modèles mathématiques pour la gestion de la qualité des eaux superficielles, Paris Novembre 1989.

USSEGLIO-POLATERA J.M., GAILLARD P et HAMM L. (1988)

"Numerical modelling of the interactive influence of wind, waves and tides on currents in shallow water"
Proc. Int. Conf. on Computer Modelling in Ocean Engineering pp. 265-272, AA Balkema, Rotterdam.

BARTHEL V. et CROSSKSHANK N.L. (1987)

"A hybrid model for the Senegal estuary" - Proc. COPEDEC 1987, Beijing, pp 1837-1851.

ARGINTARU. V. and WILLIS D.H. (1984)

"Simulation of the tidal propagation in the Bay of Fundy using a hybrid model".
Mathematics and computers in simulation XXVI, pp 39-42.

BARTHEL V. and FUNKE E.R. (1989)

"Hybrid modelling as applied to hydrodynamic research and testing".
Recent advances in hydraulic physical modelling, NATO ASI series, serie E, vol. 165, pp. 303-390

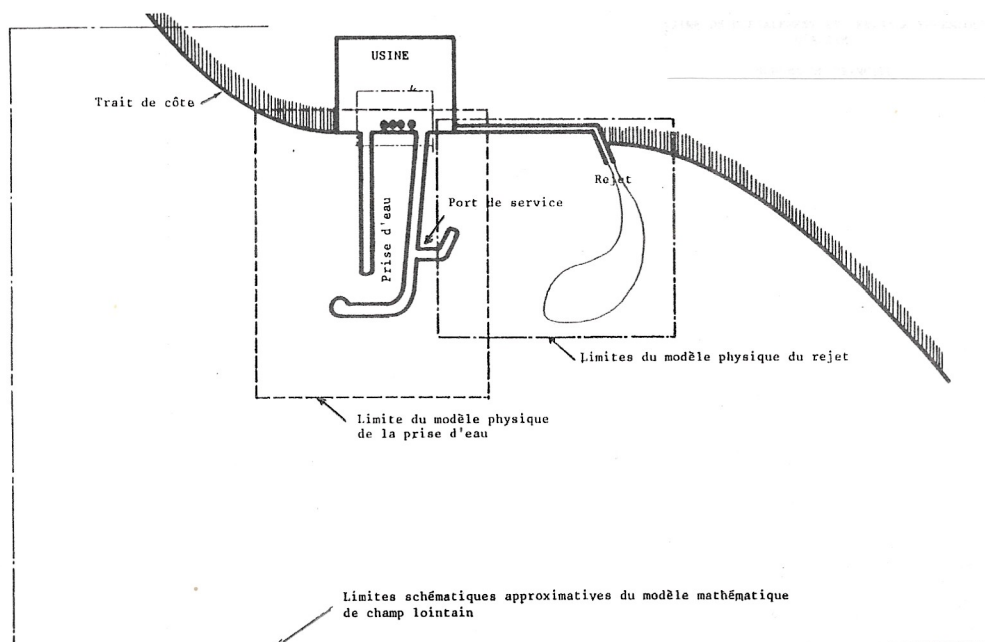


Figure 1 : Usine de dessalement et centrale thermique d'Assir
Schéma de principe

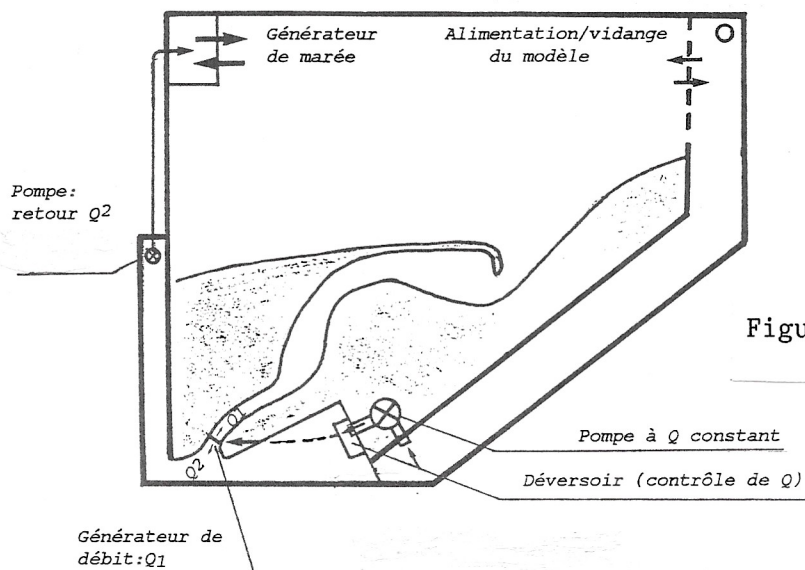


Figure 2 : Modèle hybride de la Dives
Réseau hydraulique

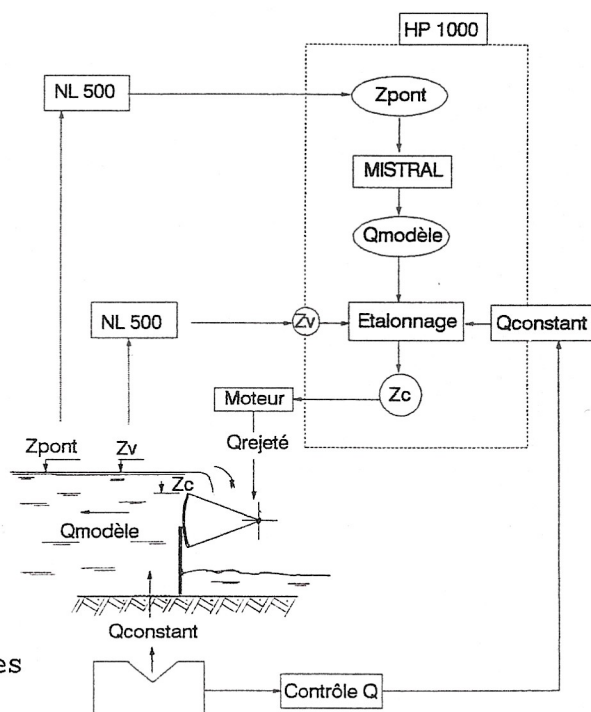


Figure 3 : Modèle hybride de la Dives
Schéma de principe