Le modèle TELEMAC-3D pour les écoulements tridimensionnels : De nouvelles perspectives pour les études d'environnement

B. Manoha⁽¹⁾, F. Lepeintre⁽²⁾ et P. Pechon⁽²⁾

Électricité de France, Laboratoire National d'Hydraulique

Résumé. – Le modèle numérique est un outil qui a trouvé sa place en complément des modèles réduits et des mesures *in-situ*; il permet à l'ingénieur de mieux comprendre le fonctionnement d'un site et de prédire son évolution, en simulant éventuellement différents scénarios d'interventions humaines.

Un nouveau pas vient d'être franchi grâce aux progrès informatiques et numériques. Il est maintenant envisageable de simuler sur le long terme des phénomènes couplant l'écosystème et l'hydrodynamique.

Le modèle tridimensionnel TELEMAC-3D est aujourd'hui opérationnel, d'un coût d'utilisation admissible pour des études courantes. Après une brève description de ses fonctionnalités, quelques applications sont évoquées.

Mots clés. – Modèle, Écoulements tridimensionnels, Études d'Environnement.

Abstract. – The numerical model is now a tool which completes scale models and field measurements; it enables the engineer to get a better understanding of a site and to predict its evolution, taking into account if necessary different kinds of human actions. Advances in computer and numerical analysis allow now long-term simulations coupling hydrodynamics and ecosystems.

The numerical model TELEMAC-3D can now be used for current studies for a reasonable computation cost. After a short description of its possibilities, some applications are outlined.

Key words. – Model 3D, Hydrodynamic, Environmental studies.

(1) Chef du Groupe Hydraulique Maritime

(2) Ingénieur-Chercheur

1. INTRODUCTION

Les problèmes d'environnement sont souvent complexes car ils font intervenir des processus multiples, inter-dépendants et souvent mal connus. Des progrès sensibles ont toutefois été réalisés dans la connaissance des mécanismes grâce notamment aux campagnes de mesures in-situ et aux essais en laboratoire. Les mesures in-situ fournissent des informations très précieuses et indispensables, mais elles ne donnent qu'un reflet de la réalité car elles sont forcément limitées en espace et en temps. Les mesures en laboratoire sont complémentaires car elles sont plus ciblées sur les processus recherchés, elles sont moins onéreuses et par conséquent plus faciles à mener sur une longue durée. Mais bien entendu un milieu artificiel et réduit ne permet pas de représenter correctement tous les phénomènes.

Pour compléter ces moyens et tenter de pallier à leurs limitations, les chercheurs ont développé des outils numériques capables de simuler des évolutions sur une grande emprise et sur une longue durée. Ces nouveaux outils apportent une aide aux maîtres d'ouvrage en complément des mesures, puisqu'ils permettent à la fois de mieux comprendre l'état actuel mais aussi de prédire son évolution future en prenant éventuellement en compte des scénarios d'interventions. Par contre les codes de calcul s'appuient nécessairement sur une schématisation des phénomènes et le modélisateur s'emploie sans cesse à

affiner les hypothèses et les lois prescrites en confrontant les résultats obtenus aux observations en nature.

Dans certains cas, le problème à traiter est essentiellement régi par la courantologie. Par exemple l'impact d'un émissaire dans le milieu marin est fortement dépendant des courants ambiants, si bien que la modélisation précise des courants est nécessaire. Dans d'autres situations la courantologie ne constitue que l'un des facteurs. C'est alors que l'ingénieur concentre ses efforts et son budget sur la détermination des paramètres essentiels tandis qu'il se résigne à schématiser la courantologie dont le calcul complet représenterait un coût élevé par rapport au gain escompté sur la qualité des résultats. En réalité aujourd'hui cette attitude peut être remise en question car la modélisation des processus physico-chimiques couplée à celle de l'hydrodynamique est possible. Pourquoi et comment ?

2. DE NOUVEAUX MOYENS

Il y a moins de cinq ans, le calcul bi-dimensionnel du champ de courant au voisinage d'un port nécessitait de l'ordre d'une à deux heures de calcul sur les ordinateurs les plus performants. Aujourd'hui le même cas est traité en quelques minutes ! Ajoutons à cela que le coût horaire de calcul a été divisé dans la même période par un facteur trois environ.

Deux raisons principales expliquent ce gain spectaculaire de temps calcul.

D'une part les machines ont fait des progrès considérables et d'autre part la rapidité des méthodes numériques s'est constamment accrue.

La qualité des résultats s'est également améliorée. A cela également plusieurs explications : des méthodes numériques plus précises, une capacité plus grande en mémoire des ordinateurs, des lois et des équations décrivant plus fidèlement la nature.

Les méthodes numériques plus précises découlent directement des progrès faits en analyse numérique. En particulier au LNH les méthodes aux éléments finis ont pris un remarquable essor et, avec le recul, nul ne remettrait en cause aujourd'hui ces techniques au profit des méthodes classiques en différences finies.

L'augmentation de la taille mémoire des calculateurs permet aussi d'améliorer la précision des résolutions. Par exemple dans le passé, dans le but de réduire la taille des systèmes matriciels à résoudre, les équations de l'hydraulique étaient généralement traitées en découplant les termes dépendant de composantes de vitesse différentes. Cela aboutissait à une forte influence du maillage sur les résultats et il était fréquent de voir des tourbillons carrés ! Maintenant ces mêmes équations sont résolues sans découplage.

Une plus grande capacité en mémoire permet également d'avoir un maillage du domaine plus raffiné dans la zone d'intérêt, fournissant une meilleure description de la variabilité spatiale. De plus elle rend parfaitement possible la réalisation de modèles tri-

dimensionnels lorsque le problème le nécessite.

Enfin la description de la nature par le biais de lois et d'équations s'est affinée. Citons à ce titre les efforts de recherche dans le domaine de la turbulence. Quelques retombées pour les études d'environnement sont par exemple une meilleure évaluation des dilutions ou des stratifications.

Pour simuler la dilution des rejets et plus généralement les écoulements présentant des gradients de densité, le LNH a longtemps utilisé le code de simulation tridimensionnel des écoulements ODYSSEE, bâti sur une méthode numérique en différences finies (réf. [1]). La figure 1 en est une illustration. Il s'agit de la tache thermique de la centrale nucléaire de Gravelines. Au voisinage du rejet, le panache d'eau chaude flotte à la surface, puis il est dilué sous l'action des courants de marée au large. La confrontation des résultats de calcul et des mesures recueillies sur le site a confirmé la qualité de cet outil; un seul point sombre : le coût élevé du calcul ne permettait pas d'aborder avec ODYSSEE des projets de moindre envergure.

Compte tenu des nouvelles possibilités déjà évoquées et devant l'accroissement des demandes d'études liées notamment à l'environnement, le développement d'un nouveau code tridimensionnel a été lancé au cours du second semestre 89, sous le nom de TELEMAT-3D.

Fig. 1. – Simulation du panache de la centrale de Gravelines. Vue en surface et suivant trois coupes.

3. LE MODÈLE TELEMAT-3D

Il ne s'agit pas ici de détailler la méthode de résolution employée mais plutôt de dégager les grandes lignes du code. Plus d'informations sur la résolution sont fournies en référence [2].

Le code TELEMAT-3D est destiné à la modélisation des courants dans le milieu marin et le milieu fluvial. Le

transport et la diffusion d'une ou plusieurs concentrations, de la température ou de la salinité peuvent également être reproduites et les courants de densité qu'elles induisent sont pris en compte. L'entraînement par le vent, les forces de Coriolis, les échanges turbulents sont considérés. La simulation du découverture et du recouvrement de l'estran sera bientôt possible dans une nouvelle version du code. Ainsi le modèle sera appli-

cable à une large gamme d'écoulements.

Le domaine de calcul est découpé en un maillage constitué de prismes superposés. La figure 2 illustre le maillage en plan utilisé pour la simulation des circulations dans l'Étang de Berre et la dilution des eaux de la Durance en sortie de l'usine hydro-électrique de Saint-Chamas. La flexibilité du maillage autorise l'utilisateur à raffiner localement les mailles au voisinage de l'usine de façon à bien représenter le mélange initial dans cette zone. On voit immédiatement

sur cette application l'intérêt des éléments finis.

Lorsque la surface varie au cours du temps, par exemple au cours de la marée, les prismes évoluent en suivant la surface libre. Cette procédure de maillage variable est indispensable car la moindre erreur sur la cote de la surface libre engendrerait des courants parasites inacceptables. Le découvrément de plages à marée basse est un autre problème : le domaine immergé fluctue au rythme du flux et du reflux. La méthode qui sera implantée bientôt consistera à résoudre

Fig. 2. - Maillage en plan de l'Étang de Berre.

les équations même là où il n'y a pas d'eau ! il faut pour cela un algorithme solide qui supporte les hauteurs d'eau nulles, fonctionne bien à tous les régimes (torrentiel ou fluvial) et s'accommode des ressauts.

Sur le plan de l'architecture, le logiciel est conçu comme un enchaînement de modules communiquant des données entre eux; un module peut être ajouté ou remplacé aisément sans remettre en cause tout l'édifice. L'évolution et la maintenance du code s'en trouve facilitées. Les modules de calcul font partie de la bibliothèque BIEF du LNH de sorte que TELEMAC-3D bénéficie immédiatement de tout nouveau développement numérique. Par ailleurs le modèle est basé sur le code TELEMAT-2D de calcul d'écoulements bidimensionnels horizontaux (voir réf.[3]), si bien qu'un utilisateur peut traiter une application avec l'un ou l'autre code sans avoir à reconstruire son jeu de données. Il peut par exemple faire une simulation bidimensionnelle pour avoir un premier aperçu de l'écoulement puis faire un calcul tridimensionnel pour prendre en compte les hétérogénéités verticales.

Enfin un Plan-Qualité décrit le cadre accompagnant les différentes étapes de vie du logiciel, depuis la conception jusqu'à la phase de maintenance. Cela signifie en particulier que le code suit des procédures d'Assurance Qualité très strictes et qu'on dispose d'une documentation complète : cahier des charges, note théorique, descriptif informatique, note de validation, notice d'utilisation.

La version du programme (référéncée et archivée) que l'on utilise pour une étude est préalablement testée sur un ensemble de cas représentatifs qui permettent de bien évaluer les performances du logiciel et son domaine d'application.

4. QUELQUES APPLICATIONS

L'une des applications engagée dans le cadre d'une étude d'environnement concerne la modélisation des courants induits par le vent dans la région du Pas-de-Calais. Le champ de vitesse sera utilisé pour déterminer la trajectoire de petits organismes en suspension, les cnetaires, pour différentes conditions de vent. La figure 3 illustre les résultats d'un calcul préliminaire, où le vent est de 15 m/s de sud-ouest. A titre indicatif, cinq heures de simulation ont été obtenues après quatorze secondes de temps CPU sur CRAY YMP.

Dans le cadre du projet européen MAST financé en partie par la CEE (Marine Science et Technology Programme), les courants moyens qui s'établissent dans la zone de déferlement de la houle dans une section de plage, ont fait également l'objet d'une autre application en cours (fig. 4).

Trois autres cas ont été engagés :

— La dilution des eaux chaudes rejetées par la centrale électro-nucléaire de Paluel. Le domaine de calcul s'étend sur une trentaine de kilomètres. Pour bien représenter la

Fig. 3. – Courants induits par le vent dans le détroit du Pas-de-Calais.

Fig. 4. – Courants moyens dus au déferlement dans un profil de plage.

dilution initiale du rejet la maille a une taille de deux à trois mètres au voisinage des ouvrages et atteint deux cents mètres au large.

— La dilution des eaux douces de la Durance dans l'eau salée de l'Étang de Berre. Il s'agit en particulier de déterminer les risques de stratification eaux douces-eaux salées.

— La simulation du mouvement du bouchon vaseux dans l'estuaire de la Weser en Allemagne. Cette application est faite en collaboration avec l'Université de Hanovre dans le cadre du projet MAST Estuaires.

férentes, comme la courantologie, la sédimentologie, la biologie, la chimie et l'écologie; TELEMAT-3D devrait dans ce cadre apporter sa pierre dans les études d'environnement, dès qu'une modélisation tridimensionnelle apparait indispensable.

D'ores et déjà de nombreuses applications sont en cours ou prévues : qualité d'eau dans l'étang de Berre, impact thermique des centrales nucléaires en Manche, envasement de l'estuaire de la Loire, etc...; les résultats de ces études feront l'objet de publications à venir, notamment dans la présente revue.

5. CONCLUSION

Le code TELEMAT-3D est maintenant un outil opérationnel car il est d'un coût admissible pour des études courantes, même sur des grandes échelles de temps et d'espace, ceci grâce à l'emploi de méthodes numériques performantes et aux progrès des matériels informatiques. L'étude des phénomènes physiques reste cependant primordiale et les travaux à venir s'orientent vers une description plus complète de la physique; de plus en plus il faudra coupler des phénomènes intéressants des disciplines dif-

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Donnars P., Manoha B., 1989. Three dimensional numerical modelling of thermal impact for Gravelines nuclear power plant. Proc. 23rd IAHR Congress. Ottawa. Aout 1989.
- [2] Lepeintre F., Gest B., Hervouet J.M., Pechon P. TELEMAT-3D : a finite element code to solve 3D free surface flow problems. Proc. 2nd International Conference on Computer Modelling in Ocean Engineering. Barcelone. Septembre 1991.
- [3] Galland J.C., Goutal N., Hervouet J.M. TELEMAT, a new numerical model for solving water equations. A paraître dans *Advances in Water Ressources*.