



Apports de la modélisation numérique à l'étude de la dynamique hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Rance

Thierry Denot

Electricité de France - Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement - 6 quai Watier - 78400 Chatou

Pierre Lang

SOGREAH - 6 rue de Lorraine - 38130 Echirolles

Résumé

Situé dans une zone où les marées sont très marquées, l'estuaire de la Rance a fait l'objet de plusieurs aménagements dont le plus remarquable est sans conteste son usine marémotrice. Depuis quelques années, les évolutions morphodynamiques de l'estuaire semblent s'être accélérées. Les Elus et Usagers de la Rance, regroupés au sein du comité CŒUR ont décidé de mettre en œuvre une modélisation hydro-sédimentaire de l'estuaire, réalisée par le groupement EDF-LNHE et SOGREAH. Trois modèles, basés sur le système TELEMAC développé par EDF-LNHE, ont donc été construits. Ils sont analysés conjointement pour permettre une représentation fidèle de la dynamique hydrosédimentaire de l'estuaire.

Abstract

Located in an area characterized by strong tides, the Rance estuary has been influenced by many water works. No doubt the most famous is its tidal power plant. For a few years, morphodynamical evolutions seem to be stronger. The CŒUR committee, gathering elected people and users of the estuary, has decided to finance a hydrosedimental study of the estuary, performed by the group EDF-LNHE and SOGREAH. Three models, based on the TELEMAC system developed by EDF-LNHE, have been built. They are analysed together to allow a complete overview of the hydrosedimental dynamics of the estuary.

1. Introduction

1.1. Contexte et objectifs de l'étude

L'estuaire de la Rance est unique en son genre. Situé dans une zone où les marées sont très marquées (près de 14 m d'amplitude en vive eau exceptionnelle à Saint-Malo), il a fait l'objet de plusieurs aménagements dont le plus remarquable est sans conteste son usine marémotrice. Le régime de marée dans l'estuaire est désormais fonction du régime d'exploitation de l'usine (simple effet, double effet, pompage, etc.). Globalement, ceci a conduit à une augmentation du niveau d'eau moyen dans l'estuaire et à un élargissement de la durée des étales.

Depuis quelques années, les évolutions morphodynamiques de l'estuaire semblent s'être accélérées avec notamment un envasement assez net de la partie amont et des anses de l'estuaire. Les Elus et Usagers de la Rance, regroupés au sein du comité CŒUR ont décidé de mettre en œuvre une modélisation hydro-sédimentaire de l'estuaire, réalisée par le groupement EDF-LNHE et SOGREAH.

1.2. Déroulement

L'étude a démarré début 1998. Une collecte et une analyse critique des données existantes et des études antérieures ont été effectuées, complétées ensuite par une campagne de mesures en nature mise en œuvre par la société Hydro-expert. De plus, SOGREAH a entrepris des essais sédimentologiques en canal pour caractériser plus précisément le comportement des vases de l'estuaire. Il était effectivement indispensable d'acquérir les données d'entrée des modèles (bathymétrie, débits des pompes et des vannes de l'usine, paramètres sédimentologiques) ainsi que les données de validation (mesures de courants, de matières en suspension, de qualité de l'eau) pour les modèles numériques.

2. Les logiciels utilisés

2.1. Le système TELEMAC

Ce système de logiciels est développé par EDF-LNHE. Différents modules permettent de modéliser la dynamique des écoulements, bi- ou tridimensionnels, dans les milieux naturels (côtes, estuaires, lacs et rivières) et le transport de substances par ces écoulements : polluants conservatifs ou dégradables, sables, vases, etc.

2.2. TELEMAC-2D

TELEMAC-2D, module de calcul hydrodynamique bidimensionnel, résout les équations de Saint Venant. Comme pour les autres modules du système TELEMAC, la technique des éléments finis permet une grande souplesse lors du maillage des domaines d'étude : fort raffinement dans les zones délicates et maillage plus lâche dans les zones de moindre intérêt (voir figures 1 et 3). Les éléments de calcul sont des mailles triangulaires.

2.3. TELEMAC-3D / SEDI-3D

TELEMAC-3D résout les équations de Navier-Stokes. Il peut prendre en compte plusieurs traceurs actifs (i.e. qui agissent sur la densité du fluide, comme la température, la salinité ou le sédiment). Un des intérêts de ce module pour l'étude qui nous intéresse est qu'il utilise le même maillage que TELEMAC-2D, en le dupliquant sur la verticale : les éléments de calcul sont donc des prismes. Le module sédimentologique SEDI-3D, couplé avec l'hydrodynamique, permet de

modéliser le dépôt, la remise en suspension et le tassement du sédiment de type vaseux.

2.4. SUBIEF-2D

SUBIEF-2D permet d'étudier le transport de un ou plusieurs traceurs au sein d'un écoulement à surface libre. Ces traceurs peuvent être dilués ou en suspension dans l'eau. Dans ce dernier cas, SUBIEF peut calculer leur dépôt sur le fond et leur remise en suspension. SUBIEF utilise un fichier hydrodynamique provenant de TELEMAC-2D (hydrodynamique et transport sédimentaire sont découplés).

Les deux aspects sont utilisés dans cette étude : transport de polluants (avec définition éventuelle d'un temps de dégradation caractéristique) et évolution sédimentaire. Pour ce second aspect, on définit des paramètres sédimentaires (diamètre et vitesse de chute des particules, contraintes d'érosion et de dépôt) qui permettent ensuite, par l'utilisation du fichier, de modéliser les évolutions bathymétriques.

3. Description des modèles numériques

Trois modèles d'emprises différentes ont été construits sur la zone d'étude. Ces modèles complémentaires ont chacun leurs objectifs, décrits dans les paragraphes suivants.

3.1. Modèle 2D côtier

Ce premier modèle est limité par la côte depuis le Cap Fréhel à l'Ouest jusqu'à Granville au Nord-Est, en incluant la baie du Mont-St-Michel. La figure 1 présente le maillage du domaine. Celui-ci compte 9896 éléments et 5316 noeuds, avec des tailles de mailles variant de quelques mètres (abords de l'usine) à plus d'un kilomètre dans le domaine maritime.

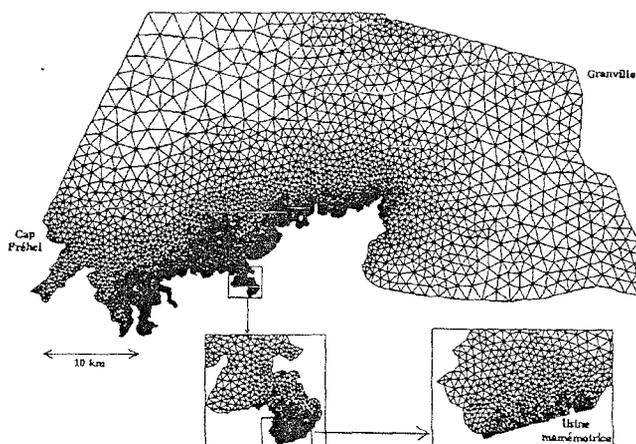


Figure 1 : maillage du domaine côtier
Figure 1 : mesh of the coastal domain

Ce modèle est utilisé principalement pour examiner la qualité des eaux dans la zone de débouché de la Rance. L'hydrodynamique a été calculée par TELEMAC-2D (validation, marées de coefficients caractéristiques), et SUBIEF est utilisé pour le modèle de qualité d'eau.

3.2. Modèle 2D de l'estuaire

Il couvre la partie de l'estuaire limitée par l'écluse du Châtelier à l'amont et l'usine marémotrice à l'aval. Il comporte 11566 mailles et 6281 noeuds. Les tailles de mailles sont comprises entre 5 et 150 m. Ce modèle est complémentaire du précédent, dans la mesure où ils ne sont séparés que par le barrage de l'usine marémotrice (figures 2 et 3).

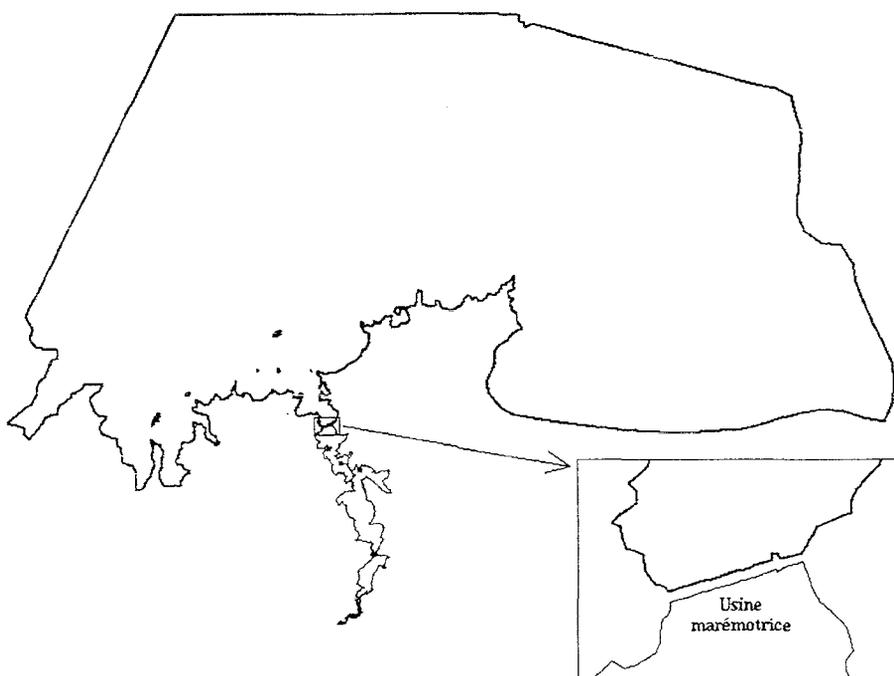


Figure 2 : limites des domaines côtier (trait gras) et estuarien (trait normal)
Figure 2 : limits of the coastal (bold) and estuarine (normal) domains

Deux types de problématiques sont étudiées sur le domaine estuarien.

La première est la qualité de l'eau : de très nombreux points de rejet (stations d'épuration, eaux usées) existent dans l'estuaire. L'optimisation de ceux-ci afin d'améliorer la qualité des eaux est une problématique importante.

La seconde, de loin la plus cruciale, concerne l'évolution sédimentologique dans l'estuaire. Comme précisé dans l'introduction, la tendance à l'envasement des anses et de la partie amont semble s'être accélérée ces dernières années. Les buts de cette partie sont donc multiples : comprendre les mécanismes gouvernant l'évolution hydro-sédimentaire, dégager des tendances à long terme, et examiner différents scénarios de gestion de l'estuaire permettant d'influer sur cette évolution.

Les deux modélisations réalisées sont bidimensionnelles : TELEMAC-2D calcule l'hydrodynamique et SUBIEF-2D la qualité de l'eau (1^{er} cas) ou les évolutions sédimentologiques (2^e cas). A cette occasion, un modèle de tassement de la vase, identique à celui de SEDI-3D, a été inclus dans SUBIEF-2D.

3.3. Modèle 3D de l'estuaire

Ce modèle est inclus dans le précédent : il est limité par l'écluse du Châtelier à l'amont et le goulet Port St Hubert - Port St Jean à l'aval. Cette limite est reconnue comme le point où l'estuaire passe d'un caractère totalement maritime (du point de vue de la salinité notamment) à un caractère plus estuarien, avec une influence fluviale plus marquée. C'est dans cette partie que les effets de stratification, peu présents dans l'estuaire aval, commencent à apparaître, et que les turbidités sont les plus importantes.

Le logiciel utilisé sur cette partie du domaine est TELEMAC-3D et son module sédimentologique SEDI-3D. Tous les phénomènes physiques ayant lieu dans cette zone sont représentés : courantologie 3D, stratification saline et turbide, phénomènes d'érosion et de dépôt, module de tassement des dépôts. Le maillage utilisé est extrait du maillage décrit au paragraphe précédent (figure 3), qui est ensuite dupliqué sur la verticale. Seule une zone a dû être raffinée, le modèle 3D étant plus sensible aux gradients de bathymétrie. Le maillage de cette zone compte donc 2081 noeuds (ce qui donne par exemple 10 405 noeuds si on choisit 5 plans sur la verticale).

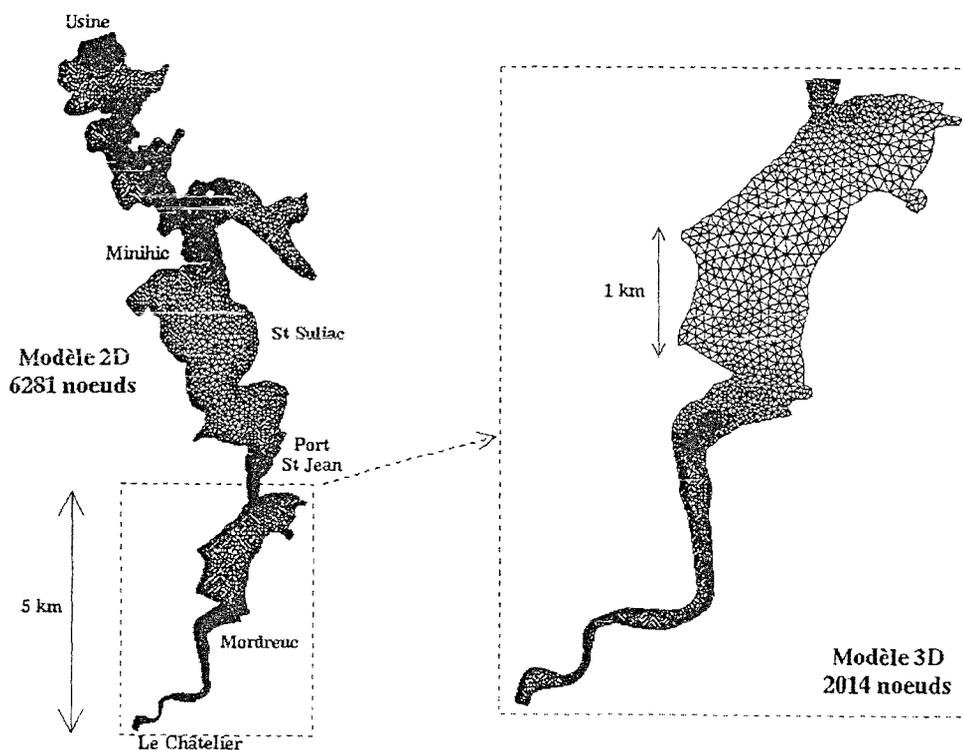


Figure 3 : maillages 2D et 3D de l'estuaire
 Figure 3 : 2D and 3D meshes of the estuary

4. Premiers résultats du système de modèles numériques

4.1. Modèle côtier

La partie hydrodynamique a été validée par une simulation de la période du 9 au 11 novembre 1998, pour laquelle des mesures ont eu lieu. Par la suite, il a été exploité sur deux marées type (coefficients 45 et 95). Ces résultats sont maintenant exploités pour le modèle de qualité d'eau. Celui-ci est en cours de validation grâce à des mesures réalisées en 1998 par la société SAUNIER-TECHNA (lâchers de rhodamine et de fluorescéine).

4.2. Modèles hydrodynamiques (2D et 3D) de l'estuaire

Comme pour le modèle côtier, la validation a été effectuée sur la période du 9 au 11 novembre 1998. Durant cette période, le coefficient de marée passe de 73 à 44, et le débit de la Rance est de 2 m³/s. Les figures 4 et 5 présentent quelques comparaisons entre les mesures et les calculs (2D et le cas échéant 3D) en différents points de l'estuaire. Pour le modèle 3D, les résultats en vitesse et hauteurs d'eau du modèle 2D à Port S^t Jean ont été utilisés comme conditions aux limites. La figure 6 présente un exemple de courantologie 3D.

Les figures 5 et 6 montrent l'intérêt d'un modèle tridimensionnel : hydrodynamique mieux représentée et écoulements stratifiés dans certaines zones délicates.

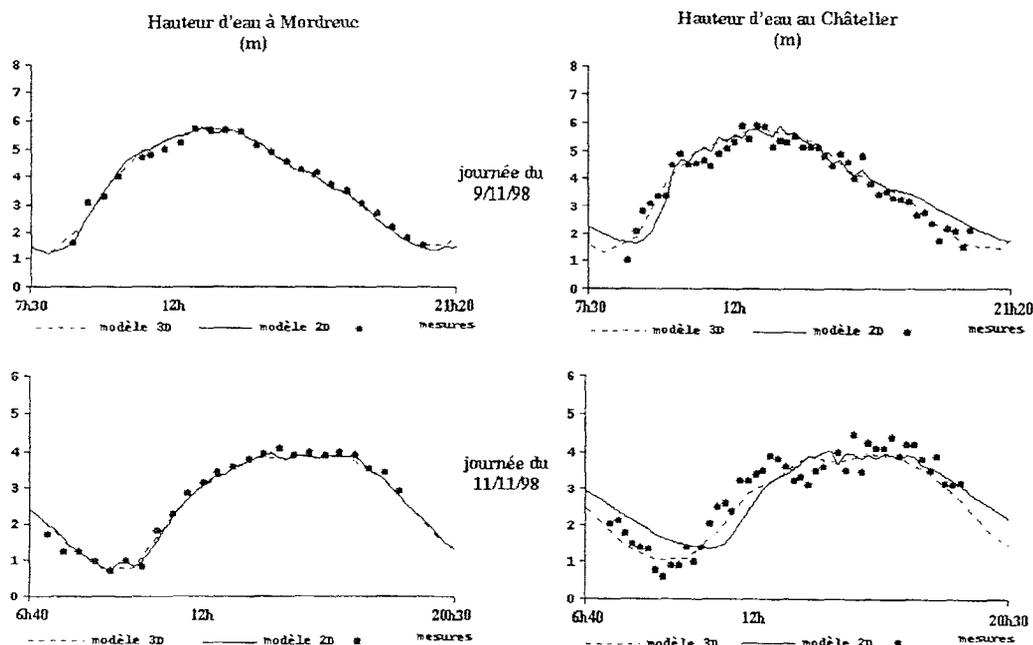


Figure 4 : Validation des modèles hydrodynamiques 2D et 3D
 Figure 4 : Validation of 2D and 3D hydrodynamic models

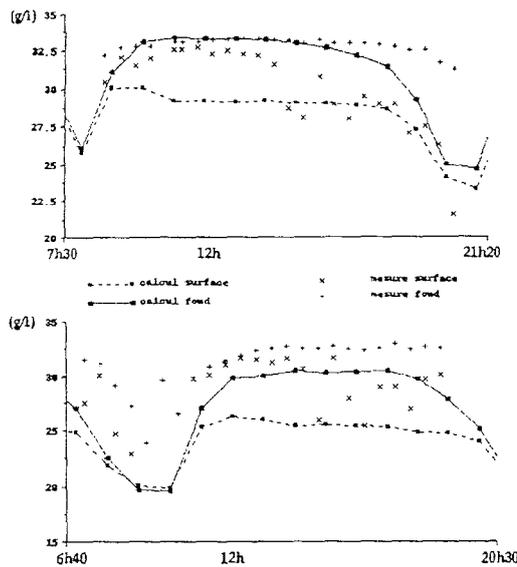


Figure 5 : Validation en salinité du modèle 3D
 Figure 5 : Salinity validation of the 3D model

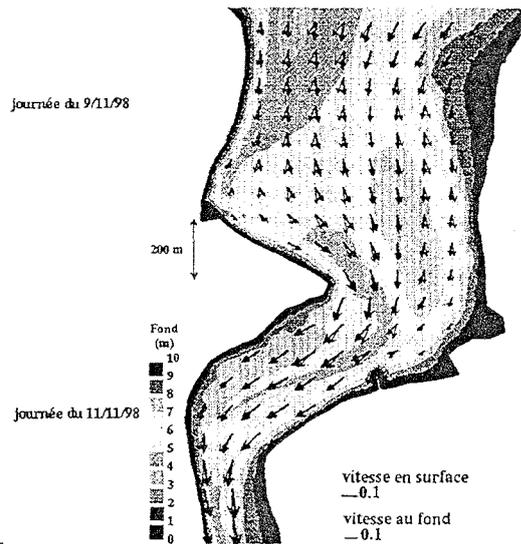


Figure 6 : Courantologie 3D
 Figure 6 : 3D hydrodynamics

4.3. Modèle de qualité d'eau dans l'estuaire

Ce modèle a été d'ores et déjà construit et est en cours de validation. Les 27 rejets les plus importants situés entre le Châtelier et l'usine (regroupés en 16 points) sont pris en compte.

Plusieurs simulations sont prévues avec deux types de polluants : les nitrates (polluant conservatif) et les colliformes fécaux qui ont un temps spécifique de disparition (T90 : temps au bout duquel 90% des polluants ont disparu). Ces problèmes de qualité d'eau seront abordés en regroupant les modèles côtier (cf § 4.1) et estuarien, afin de simuler le transit des polluants à travers le barrage.

4.4. Modèles sédimentaires

Ces modèles (2D et 3D) en sont au début de leur exploitation. Au vu des analyses faites, des mesures réalisées lors des campagnes [1] et des essais en laboratoire, et aussi des données d'études précédentes [2][3] l'ensemble des paramètres sédimentologiques a pu être fixé : vitesse de chute des sédiments, contraintes critiques d'érosion et de dépôt, vitesse de tassement de la vase.

Le paramètre le plus important concerne les conditions initiales. Il est en effet nécessaire d'imposer des épaisseurs de sédiment réalistes initialement, faute de quoi des dépôts « artificiels », provenant de la remise en suspension de sédiment qui n'a pas lieu d'être, pourraient se produire. Ces conditions seront déterminées en faisant tourner le modèle sur une longue période sans aucun dépôt initial, mais une eau très chargée en sédiment. La distinction sédiment tassé - couche remobilisable se fera d'elle-même, et c'est cette dernière que l'on choisira.

Toute cette phase est d'une extrême importance, car la qualité des résultats sédimentologiques dépend du bon choix de ces paramètres.

5. Perspectives

Six calculs hydrodynamiques ont été réalisés, correspondant à deux débits de la Rance (crue et étiage) et trois types de coefficients (période de faible, de moyenne et de forte variation du coefficient de marée). Chacune de ces périodes est longue de 15 jours. Les évolutions sédimentologiques sur ces périodes seront ensuite combinées pour dégager des évolutions à long terme. Différents scénarios de gestion de l'estuaire (chasses au Châtelier par exemple) seront également examinés.

Dans cette étude, le modèle 2D sera utilisé préférentiellement. Le modèle 3D, nécessitant des temps de simulation plus longs, sera utilisé en appui et complément du précédent. Il permettra de préciser ou d'affiner les résultats de la partie amont, la plus critique en termes d'envasement.

6. Références

- [1] LORIN J. (1999) : *Modélisation hydraulique et sédimentaire du bassin de la Rance - Campagne de mesure en nature (1998)*, Rapport HYDROEXPERT, Fascicules 1 à 3. *
- [2] BONNOT-COURTOIS C., ET LAFOND L.R. (1991) : *Caractérisation et comportement des vases dans l'estuaire de la Rance*, 113 p.
- [3] L.C.H.F (1982) : *Etude sédimentologique de l'estuaire de la Rance*, Rapport général, 21 p.

* Rapport produit dans le cadre de l'étude