



PROBLEMES D'UN ESTUAIRE AMENAGE : LA LOIRE VERS UNE RECHERCHE DE SOLUTIONS CONCERTEES

P. FATTAL, A. GROVEL, M. SANCHEZ et Y. DELANOE
Centre Français du Littoral et Laboratoire de Mécanique et Géomécanique
Université de Nantes
2, rue de la Houssinière - 44072 Nantes Cedex 03

Abstract

In Nantes, France, a city on the estuary of the Loire river, 60 km from the sea, the dredgings to deepen the fairway have created an advance of the tide.

Within 90 years, the low tide level in Nantes has dropped to over 4 metres.

It led to subsidence and various disorders in the harbour equipments and the buildings.

The conclusion of a study on a branch of the river is that it is necessary to raise the average level of the water in the grounds.

For that reason we can envisage a system of flow-regulating valves.

Résumé

Les dragages d'approfondissement du chenal à l'aval du port de Nantes, les extractions massives d'agrégats à l'amont et les rectifications de l'estuaire ont provoqué une avancée de la marée dans l'estuaire du fleuve Loire.

A Nantes, ville située à 60 km de la mer, en 90 ans le niveau de la marée basse est descendue de plus de 4 mètres.

Il en est résulté des tassements et désordres multiples dans les ouvrages portuaires et les bâtiments. En fait, la

stabilité de l'ensemble des ouvrages sur les bords de l'estuaire de la Loire est mise en péril par suite des abaissements des niveaux de basse-mer.

La conclusion d'une étude sur un bras abandonné (bras de la Madeleine) est qu'il faut remonter le niveau moyen de l'eau dans les terrains. Pour cela, on peut envisager une solution globale au problème : l'installation d'un système de vannes éclipçables sur le débit du fleuve et la marée.

HISTORIQUE DU DUEL VILLE-EAU

La Ville de Nantes (500 000 habitants) est située sur le fleuve Loire, long de 1 080 km, à 60 km de la mer. Deux moyennes rivières et deux petites affluent autour du site de la ville et le débit de la Loire atteint 300 m³/s en étiage et 8 000 m³/s en crue.

Toute l'histoire de la ville a consisté, pour s'étendre et faciliter la communication, à construire des ponts et à combler des bras de rivière.

Des immeubles construits au XVII^e siècle en pierre, sur des radiers et des pieux en bois, le long de quais, sont maintenant au bord de grandes avenues après avoir subi de grands tassements souvent différentiels (photo 1).



Photo 1 : Tassement différentiel d'un immeuble ancien

HISTORIQUE DE L'AMÉNAGEMENT DE L'ESTUAIRE

La Ville était un port maritime depuis 3 siècles. Les navires à voiles remontaient l'estuaire et déchargeaient leurs marchandises sur des quais en maçonnerie situés au

coeur de la ville. L'augmentation du tonnage des navires à vapeur a provoqué deux phénomènes :

- la migration de la zone portuaire vers l'aval et donc l'abandon des quais anciens en pleine ville,

- le creusement du chenal d'accès en aval de Nantes à 13,50 m, ainsi que du bassin de marée en amont de Nantes. Ces travaux ont provoqué une amplification de la marée.

A Nantes, l'amplitude de la marée en 1900 était de 1,20 m au maximum. En 1993, elle est de 5,60 m. La marée haute est restée identique à coefficient constant mais c'est la marée basse qui est descendue (fig. 1).

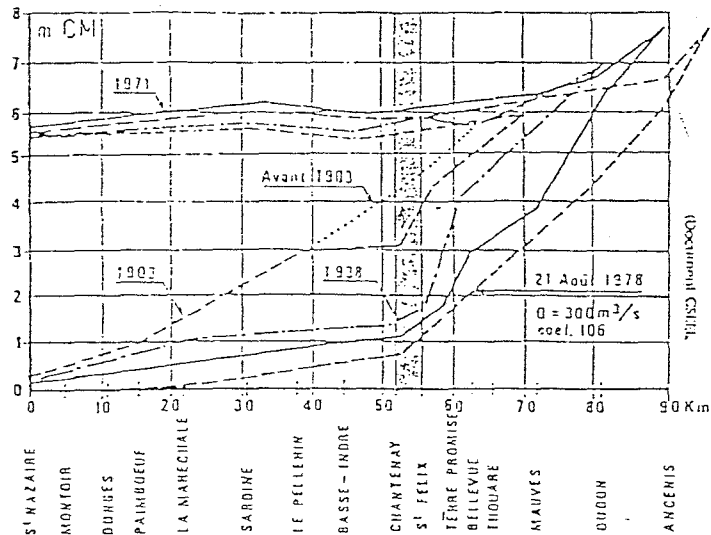


Fig. 1 : Evolution des pleines-mers et basses-mers de 1900 à nos jours

Les désordres constatés, provoqués par l'abaissement du niveau moyen de l'eau dans les sols, concernent surtout les structures en béton construites en 1900 pour recouvrir les anciens quais et se rapprocher de l'axe du lit du fleuve.

On y observe des fissures, des ruptures, des mises à l'air à très basse mer des massifs de fondations.

D'autre part, la salinité de l'eau a augmenté et la prise d'eau d'alimentation de la Ville a dû être remontée de 15 km vers l'amont. Le stock de vase oscillant (le "bouchon vaseux") est lui aussi remonté avec la marée et l'on constate des envasements à Nantes là où il n'y avait autrefois que du sable.

ETUDE TÉMOIN

Une étude a été confiée par la Municipalité de Nantes au Laboratoire de Mécanique et Géomécanique de l'Université, sur un bras de la Loire situé en plein cœur de la Ville, le bras de la Madeleine.

Pouvait-on élargir ce bras en supprimant tout ou partie des ouvrages en béton qui recouvraient des quais en granite ?

Pouvait-on le remettre en régime fluvial et quelle était l'évolution prévisible des fonds sans entretien ?

Les travaux ont comporté trois étapes :

a) Tout d'abord, un sondage hydrographique ultra-

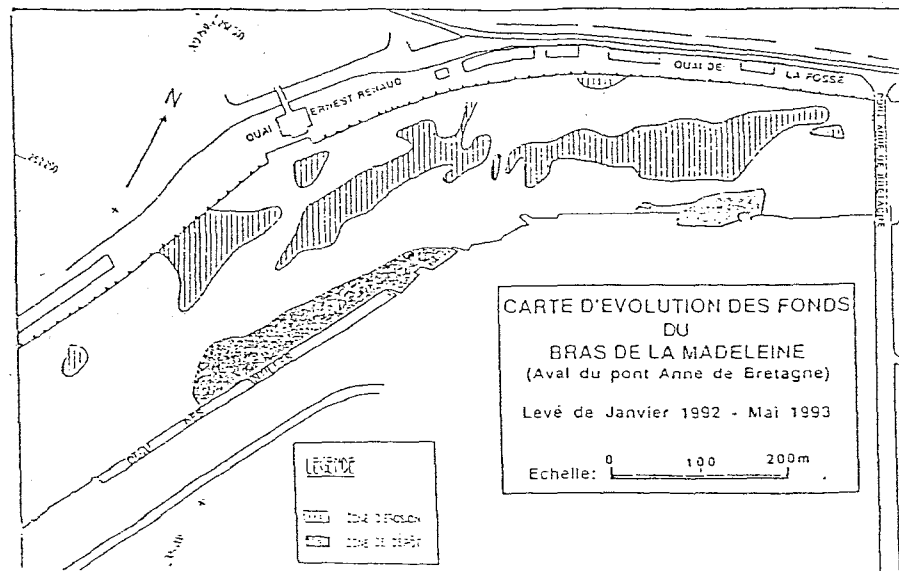


Fig. 2: Evolution des fonds en un an

sonique, un an après le dernier dragage, a permis de voir une évolution très lente des fonds avec l'abandon d'un chenal artificiel le long des quais et la reprise du lit naturel du fleuve au centre.

Par ailleurs, la comparaison de sondages entre janvier 92 et mai 93 montre que les fonds se sont érodés dans la partie centrale et que la sédimentation prévue après l'arrêt des constructions ne s'est pas opérée, l'alluvionnement prévu risque en fait d'être lent (fig. 2).

Des mesures de courant et de marée ont accompagné ces levés de profils en travers et en long.

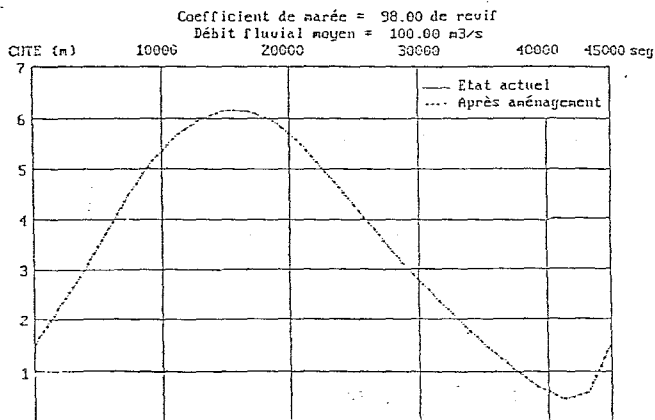


Fig. 3: Influence de l'élargissement sur la marée

c) Un état descriptif des désordres des quais a été réalisé.

DIAGNOSTIC ET SOLUTIONS

Cette étude a montré deux choses :

- On peut effectivement revenir aux quais anciens et donc tenter de donner une autre affectation au port de Nantes puisque les grands navires ne peuvent plus l'atteindre. A ce sujet, notre étude montre que la stabilité de ces anciens ouvrages n'est plus assurée. Ceci est dû à l'abaissement général du niveau de basse-mer qui a suivi les multiples aménagements de l'estuaire.

- On ne pourra stopper les tassements des quais et immeubles qu'en relevant en centre ville le niveau moyen de l'eau libre et du niveau de l'eau interstitielle des sols.

b) Un modèle mathématique monodimensionnel de l'estuaire de la Loire (Sanchez, 1992), allant de l'embouchure à la fin de la progression de la marée, soit 90 km, a permis de déterminer quelles seraient les conséquences hydrauliques de l'élargissement de ce bras de 10 m par suppression des ouvrages en béton.

La visualisation (fig. 3 et 4) montre que les conséquences seraient minimales (mais non nulles) pour les courants, et nulles, à la précision des mesures possibles près, pour la marée.

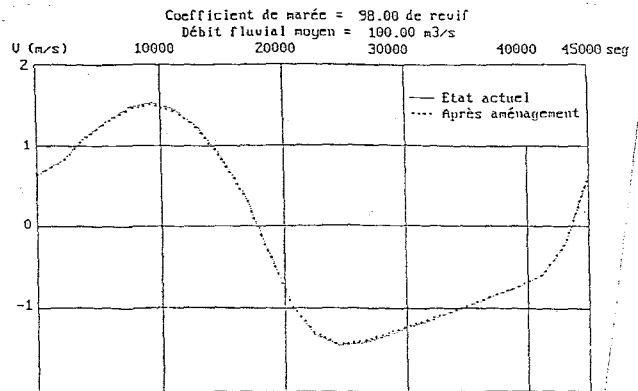


Fig. 4: Influence de l'élargissement sur les courants

En fait, la stabilité de l'ensemble des ouvrages sur les bords de l'estuaire de la Loire est mise en péril par suite des abaissements des niveaux de basse-mer. Pour pallier ce risque, notre diagnostic nous a conduit à proposer une solution globale : la construction d'une vanne régulatrice des niveaux de basse-mer.

Pourquoi, pour répondre aux problèmes de bouchon vaseux, de déficit d'oxygène en étiage et d'érosion ou de stabilisation de berges et des quais, ne penserait-on pas à un ouvrage à vannes mobiles, analogue à celui de Greenwich qui se trouve sur la rivière Tamise (fig. 5)?

Ce dernier a un double effet:

- il remonte le niveau des basses-mers par rétention d'un stock d'eau douce en jusant,

- il bloque au flot la remontée du bouchon vaseux

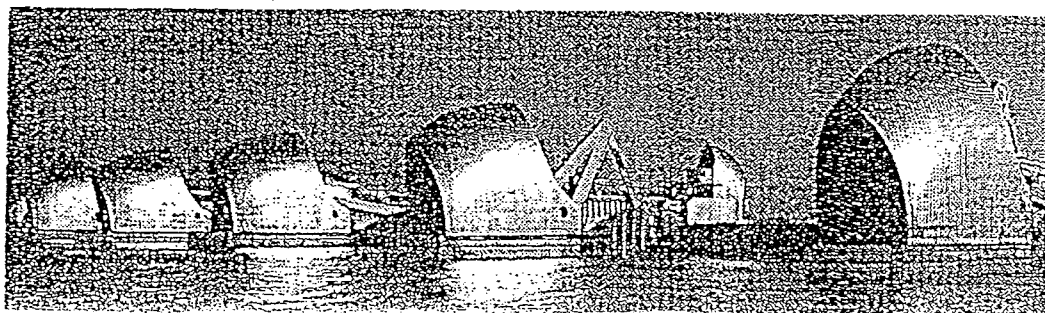


Fig. 5: Vannes mobiles sur la Tamise?

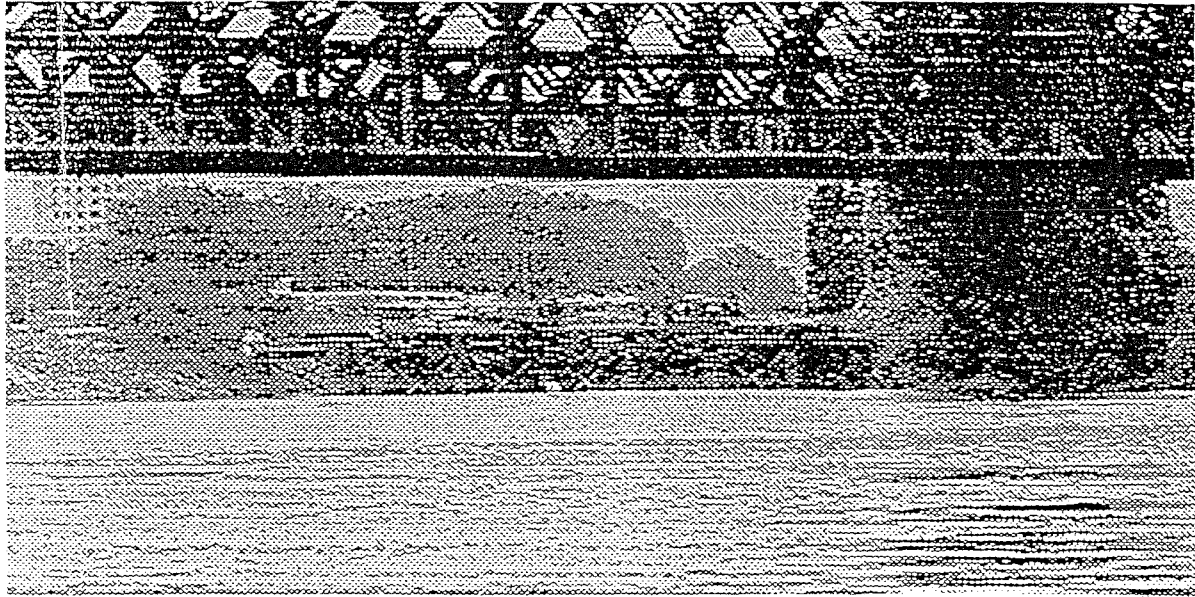


Photo 2

Un dispositif de ce genre est à l'heure actuelle en construction sur un affluent de la Loire soumis à la marée, la Sèvre Nantaise, et constitue donc un grand modèle réduit qui doit permettre de déterminer au mieux le dispositif à installer sur la Loire (photo 2).

COMPORTEMENT HYDRAULIQUE D'UNE VANNE RÉGULATRICE EN LOIRE

L'impact d'une future vanne régulatrice sur l'hydrodynamique de l'estuaire de la Loire a été étudié pour des conditions d'étiage (Gruau, 1993). Lorsque la vanne sera opérationnelle, on distinguera deux systèmes isolés dans l'actuel estuaire :

- à l'amont de la vanne, on aura un bassin se comportant comme un réservoir qui se remplit graduellement selon le débit fluvial,
- à l'aval de la vanne, l'estuaire sera soumis aux oscillations de la marée.

Les simulations mathématiques de cette configuration montrent que la structure hydraulique dans la partie soumise à la marée est modifiée radicalement par rapport aux conditions actuelles sans vannes.

En effet, lorsque la vanne sera en opération, on assistera à une amplification de la marée de l'embouchure vers l'amont et cette amplification sera d'autant plus importante que la vanne sera localisée plus en amont. Ceci est valable tout au moins pour une vanne localisée à l'aval de Nantes.

Le phénomène physique qui explique cette amplification de l'onde de marée est la réflexion de celle-ci sur l'ouvrage de régulation des niveaux de basse-mer. Ainsi, l'effet d'une onde remontant l'estuaire est augmenté par l'effet d'une onde se propageant vers l'aval après avoir été réfléchi par la vanne fermée.

Cette explication physique est confirmée par la disparition du déphasage de pleine-mer observée dans les figures 6 et 7 issues des simulations mathématiques.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La solution d'un ouvrage à vannes mobiles de type GREENWICH sur la Tamise peut permettre d'une part, de réguler le niveau des basses-mers en amont. Ce qui aura pour conséquence d'influer sur la stabilité des ouvrages existants et, d'autre part, de stopper la remontée du bouchon vaseux en améliorant la qualité de l'eau.

Un emplacement de la vanne au Pellerin semble convenable car l'amplification de la marée observée sur le modèle serait optimisée en ce secteur, d'autant plus qu'elle pourrait être diminuée par des opérations d'ouvertures et de fermetures de la vanne. Il importe, dans cette optique, de vérifier au préalable les qualités géotechniques de la roche en ce secteur.

Toutefois, il nous semble que l'heure n'est pas encore aux projets de cette envergure mais l'histoire avance et il est probable que l'affectation des quais actuels en aval du pont Anne de Bretagne soit à court terme orientée vers des aménagements concertés.

C'est pourquoi il importe de poursuivre les travaux de recherches et d'appréhender au mieux la connaissance de l'évolution et de la transformation des fonds associée à celle de l'hydrographie et de la sédimentologie, notamment pour ce qui concerne le comportement des vases. Il est impératif de poursuivre l'auscultation des quais afin de déterminer de manière sérieuse ceux qui sont dans un état de délabrement avancé.

Ces investigations en projet doivent s'inscrire dans le cadre d'un aménagement plus vaste qui se doit d'associer architectes, urbanistes, aménageurs, spécialistes de la qualité de l'eau... et bien entendu décideurs.

Le site est exceptionnel, en plein centre ville et il ne s'agit pas pour nous de négliger telle ou telle piste ou de faire prévaloir les seuls impératifs économiques. Nantes n'est pas un port de mer et, partout ailleurs dans le monde, on observe une tendance à la décentralisation.

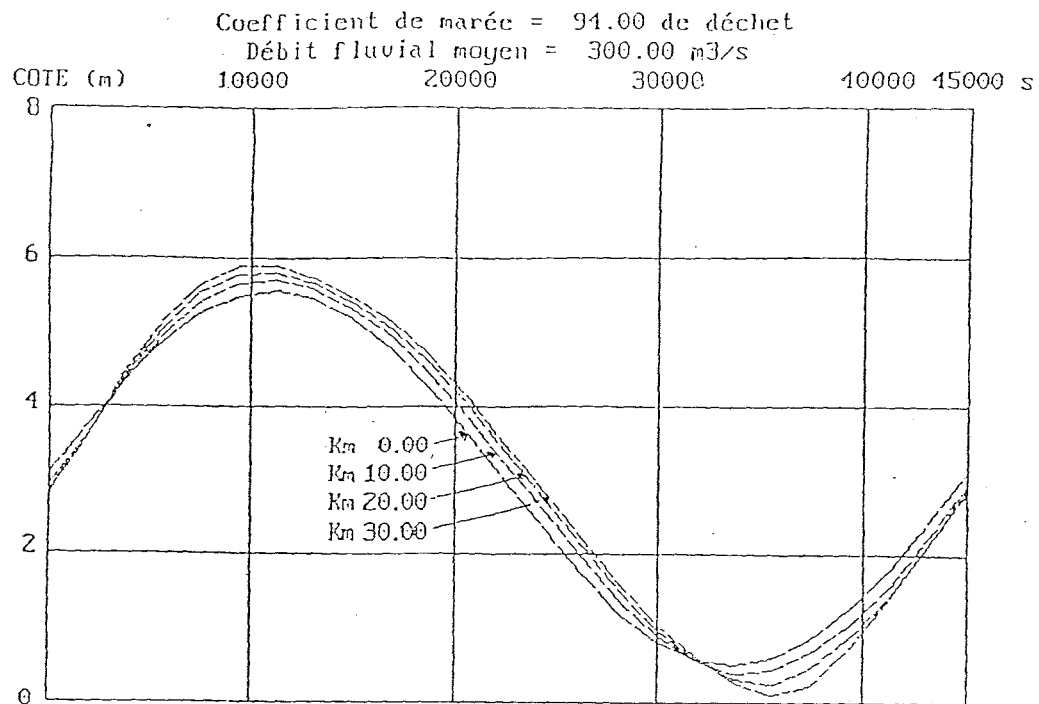


Fig. 6 : Simulation des courbes locales de marée en aval d'une vanne fermée localisée au PK 37,5 (Le Pellerin)

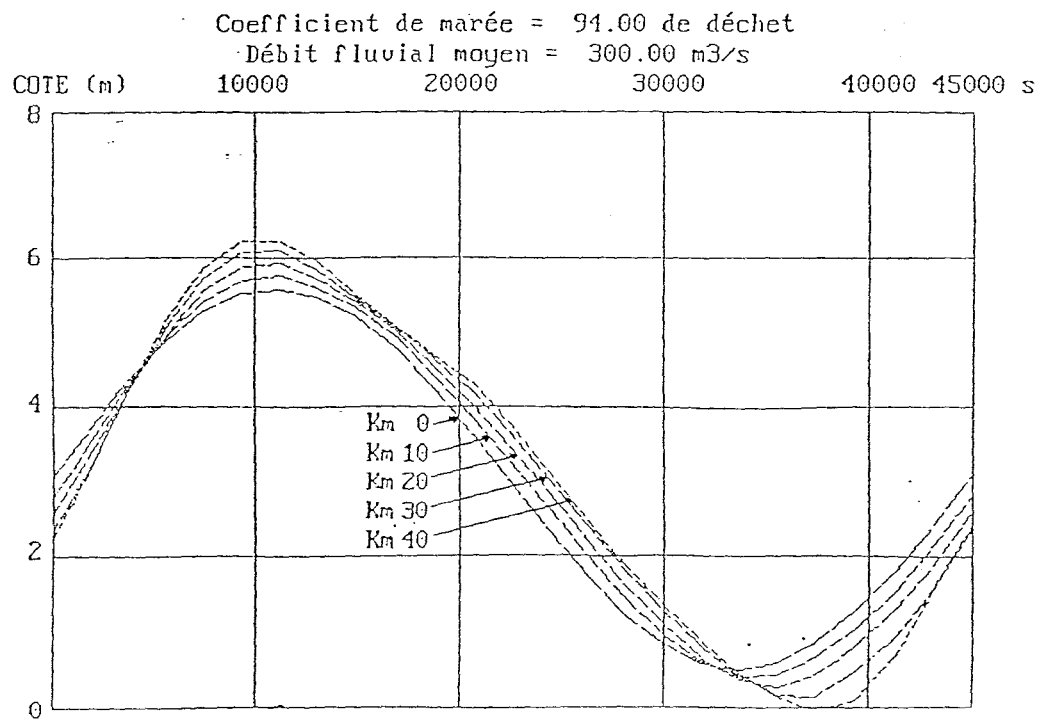


Fig. 7 : Simulation des courbes locales de marée en aval d'une vanne fermée localisée au PK 50 (Trentemoult)

Références bibliographiques

[1] Comité scientifique pour l'Environnement de l'Estuaire de la Loire. 1984. Publications du Centre National pour l'Exploitation des Océans, Rapports Scientifiques et Techniques, 55.

[2] Fattal P., Sanchez M., Fregard V., Grovel A. et Delanoë Y. 1993. Etude du bras de la Madeleine en aval du pont Anne de Bretagne: élargissement du bras et évolution des fonds, rapport CFL-Mairie de Nantes.

[3] Gruau J. 1993. Etude d'une vanne régulatrice en Loire. Etude sédimentologique du site, mémoire de DEA présenté à l'Université de Nantes.

[4] Sanchez M. 1992. Modélisation dans un estuaire à marée. Rôle du bouchon vaseux dans la tenue des sols sous-marins. Thèse présentée à l'Université de Nantes.