



ETUDE DE L'ENVASEMENT DU PORT-ABRI DE TRENTEMOULT

M. SANCHEZ ⁽¹⁾, M. A. LE BORGNE ⁽¹⁾, B. RAMSTEIN ⁽²⁾, V. DESMET ⁽²⁾,
P. CHARRIER ⁽²⁾ et C. RAMEL ⁽³⁾

⁽¹⁾ Laboratoire de Mécanique et de Géomécanique, 2 rue de la Houssinière, 44072 Nantes Cedex

⁽²⁾ Ecole Navale et Groupe des Ecoles du Poulmic, Lanvéoc-Poulmic, 29240 Brest Naval

⁽³⁾ ITT FLYGT, Parc de l'Île, 29 rue du Port, 92022 Nanterre Cedex

Etude réalisée en collaboration avec le Centre Français du Littoral

Abstract

This paper concerns the cohesive sediment dynamics in Trentemoult Harbour which is situated in Loire estuary in France at 50 km from the ocean. This harbour was created in 1979 to shelter 20 fishing boats and 80 yachts. The sedimentation rate in-situ has increased progressively since 1979. Maintenance dredging had originally been planned every five years but at present, these works permit an adequate operation of the harbour for only about three months.

This study has been carried out in order to optimize navigation activities in Trentemoult Harbour. The following aspects are considered in this paper : the description of hydraulics and cohesive sediment dynamics in Loire estuary, the hydro-sedimentary dynamics in Trentemoult Harbour and possible solutions of the problem of sedimentation in the harbour. The measurements of hydro-sedimentary parameters in Loire estuary and the test of the erosive performances in-situ of a submarine agitator are two fundamental phases of this study.

Technical assessment of the possible solutions is based on two mathematical models ; the first, unidirectional, simulating the whole Loire estuary, and the second, bidimensional, concerning the Trentemoult area only. The suggested solutions to a high sedimentation rate in Trentemoult are presented in the conclusions at the end of this paper.

1. INTRODUCTION

Créé en 1979, l'actuel port-abri de Trentemoult est situé dans la commune de Rezé, Loire Atlantique, sur la rive gauche de la Loire à une cinquantaine de kilomètres de l'embouchure (fig. 1). Le port est limité, à l'est, par la crête d'un terre-plein d'enrochement de 127 m de long et 20 m de largeur, au sud, par le CD 58 Quai Surcouf et au nord par une ligne théorique située à 18 m de la limite de la zone d'évitage du Port de Nantes.

Ce port est équipé de pontons flottants répartis en trois pannes de 50 m de longueur et de 2 m de largeur. Ces pannes sont espacées de 30 m d'axe en axe et pourvues de catways de 5 m de longueur et 0,60 m de largeur. Des passerelles de 20 m de long et 1 m de large permettent l'accès à chaque panne (fig. 1). Des pieux tubulaires de 0,510 m de diamètre (3 par panne) fichés au sol, assurent la fixation des pontons par l'intermédiaire d'un dispositif coulissant. La capacité d'accueil de l'anse ainsi aménagée

est de 100 bateaux environ : 20 emplacements sont réservés aux pêcheurs locaux et 80 autres sont mis à la disposition des plaisanciers.

Un fonctionnement convenable du port requiert l'entretien des fonds à la cote -1,50 cartes marines (CM), sur une superficie de 8000 m², de façon à disposer par basse-mer (+ 0,50 CM) d'une hauteur minimale de 2,00 m. Dans le projet initial d'aménagement du port réalisé en 1965, l'engraissement des fonds a été estimé à un mètre tous les deux ou trois ans.

Les premiers dragages d'importance ont été effectués en 1979 lors de la construction de l'actuel port. Le mois de septembre de cette année-là, on a relevé une cote des fonds de + 1,00 m CM alors qu'elle était de -1,50 m CM un mois et demi auparavant ; l'envasement pendant cette période a été estimé à 15000 m³.

D'autres dragages d'entretien effectués dans le port ont été : en 1985, 17000 m³ ; en 1989, 19800 m³, cote de dragage + 0,50 m CM ; en 1991, 25700 m³, cote de dragage + 0,50 m CM. Depuis 1979, il a fallu se rendre à l'évidence que les taux d'envasement estimés en 1965 ne sont plus valables pour le site de Trentemoult : à l'origine de ce fait les modifications du régime hydraulique de l'estuaire au cours des années soixante et soixante-dix, accompagnées par une remontée de la marée saline et du bouchon vaseux.

Le but de la présente étude est de proposer une stratégie permettant de diminuer les frais d'entretien du port. Les solutions envisagées comprennent la mise en place des moyens structuraux, hydrauliques et de dragage par agitation.

2. ASPECTS HYDROSÉDIMENTAIRES DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE

La propagation de la marée dynamique dépend essentiellement de deux conditions aux limites -la courbe de marée à l'aval et le débit fluvial à l'amont- et d'une condition de frontière -la morphologie de l'estuaire-. De façon moindre, la marée dépend des conditions initiales telles que l'historique des débits fluviaux et des marées (déchet ou revif).

Les dragages à l'aval du port de Nantes, les extractions d'agrégats à l'amont et les rectifications de l'estuaire de la Loire, sont des modifications de la morphologie liées à l'action de l'homme ; une progression de la marée

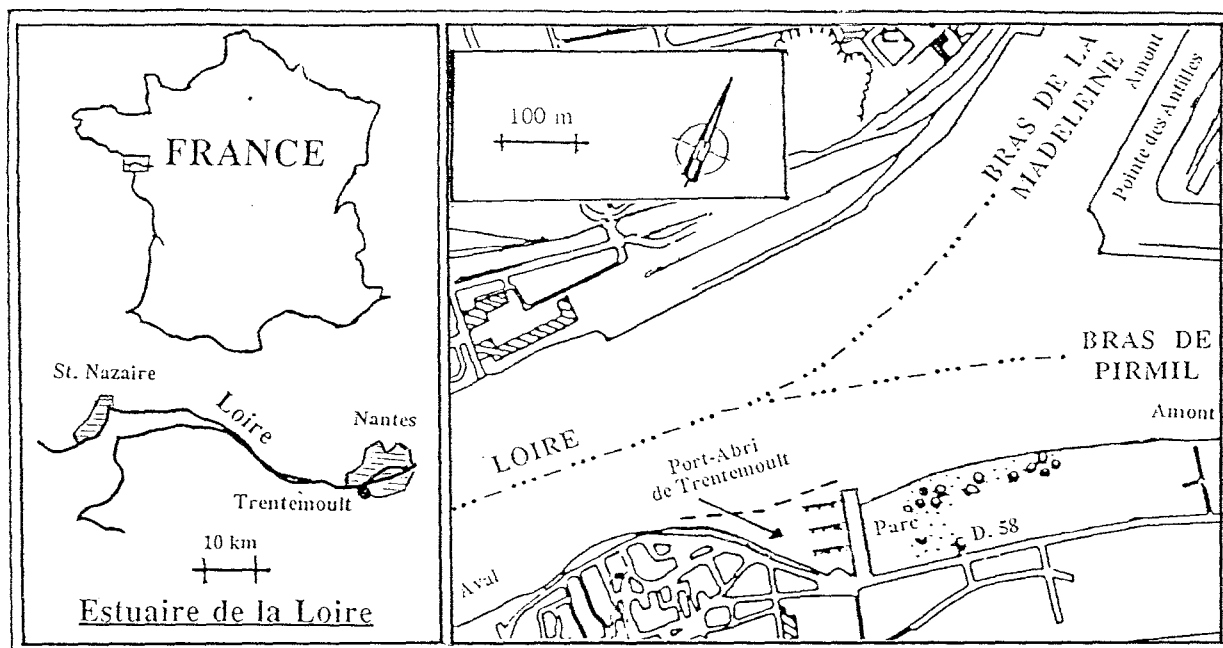


Fig. 1. Localisation et configuration du port-abri de Trentemoult.

dynamique a accompagné ces actions et on a observé notamment un abaissement des niveaux de basse-mer.

Les niveaux de basse-mer à Nantes étaient en 1903 de 4,00 m, en 1971 de 1,20 m et en 1978 de 0,70 m. Des mesures récentes montrent que le niveau de basse-mer à Nantes est sensiblement le même que celui à l'embouchure de l'estuaire.

On constate également que la propagation de la marée dynamique dans l'estuaire est plus importante lorsque le débit fluvial diminue. Enfin, l'influence du coefficient de marée joue principalement comme un modulateur de l'amplitude de marée le long de l'estuaire.

Les marées, dynamique et saline, sont étroitement liées. En effet, on observe que les plus importantes remontées salines ont lieu pendant les étiages. De même, le bouchon vaseux et la crème de vase tendent à s'accumuler aux environs du front de salinité ; en Loire, ces deux accumulations turbides remontent jusqu'à Nantes pendant les étiages, affectant donc le port de Trentemoult.

Des campagnes de mesure réalisées au voisinage du port de Trentemoult en mai 1992 [4] montrent la présence du bouchon vaseux avec des concentrations supérieures à 1 kg/m^3 près du fond et de la crème de vase avec des concentrations au-dessus de 50 kg/m^3 . Les conditions lors des mesures étaient : débit fluvial de $220 \text{ m}^3/\text{s}$ et coefficient de marée de 60.

3. ASPECTS HYDROSÉDIMENTAIRES DU SITE DE TRENTEMOULT

Sa position en marge de l'estuaire de la Loire et sa configuration en forme d'anse (fig. 1) font du port de

Trentemoult une zone de calme hydrodynamique, favorisant ainsi son envasement. En effet, dans le chenal principal de l'estuaire, les vitesses peuvent être supérieures à 1 m/s , tandis qu'au sein du port, elles dépassent rarement $0,10 \text{ m/s}$.

Un cisaillement transversal se produit au sein de l'écoulement tout le long de la limite extérieure du port. Ce cisaillement a pu être mis en évidence lors des campagnes de mesure de vitesses [4].

Ces mesures ont permis également le calage d'un modèle bidimensionnel du site. Les conditions aux limites de ce modèle sont déterminées grâce à un modèle unidimensionnel simulant la dynamique estuarienne sur 100 km . Ce modèle a été ajusté préalablement.

La figure 2 montre la dynamique générale des eaux dans le port pendant le flot. Un macrotourbillon est présent et la circulation générale suit le sens des aiguilles d'une montre. Les vitesses maximales ont une magnitude de l'ordre de $0,10 \text{ m/s}$.

La figure 3 montre les vecteurs vitesse pendant le jusant. Par rapport au flot, on observe une inversion du sens de la circulation principale. Les vitesses maximales restent encore de l'ordre de $0,10 \text{ m/s}$ mais une grande partie d'eau calme s'installe au fond du port.

4. DRAGAGES D'ENTRETIEN DU PORT

Depuis la construction de l'actuel port de Trentemoult, les dragages d'entretien ont concerné exclusivement la darse du port. Comme conséquence de ces travaux, un seuil artificiel apparaît tout le long de la limite extérieure du port. Le niveau de crête de ce seuil est d'environ $+1,50 \text{ m CM}$. L'anse, étant hydrauliquement calme, devient alors un véritable piège à sédiments.

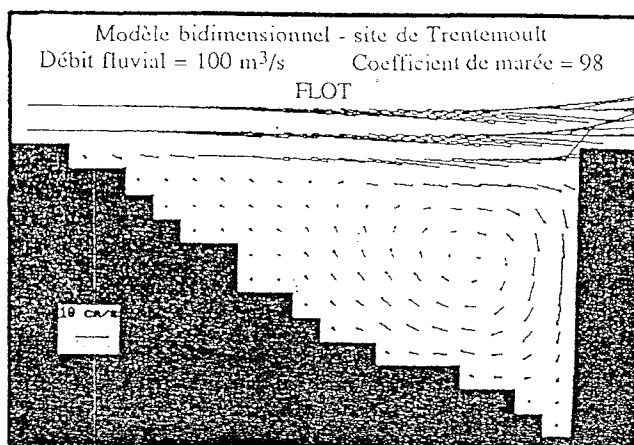


Fig. 2. Modélisation de l'hydrodynamique du port au cours du flot [4].

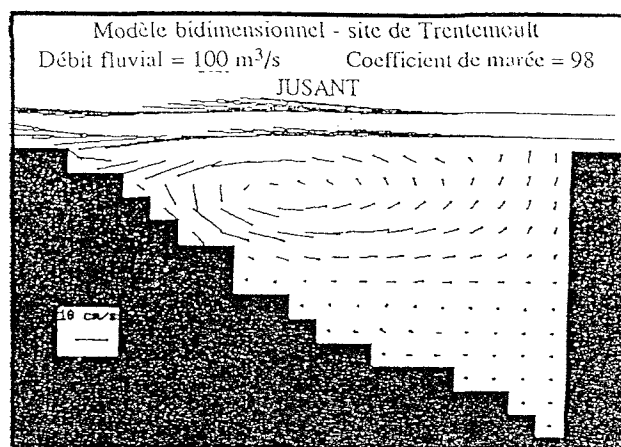


Fig. 3. Modélisation de l'hydrodynamique du port au cours du jusant [4].

Par ailleurs, les dragages ont précédé systématiquement l'été [4]. Pratique défavorable, puisque, pendant les trois mois de cette saison, on enregistre les engraissements maximaux de l'ensemble de la zone du fait de la remontée dans l'estuaire de la masse turbide.

Afin d'optimiser les dragages, on devrait veiller à assurer une pente des fonds descendant du port vers le chenal principal de l'estuaire. Ces travaux devraient se réaliser prioritairement pendant l'automne, au début de la période humide.

Le dragage des vases fluides est une activité onéreuse et inefficace [6]. Pour réduire les frais d'entretien, une première possibilité consiste à délocaliser le port en dehors du bouchon vaseux.

Cette éventualité est écartée, car, pour des raisons socioéconomiques et historiques, l'emplacement du port de Trentemoult n'est pas mis en question. Il faut noter que ce port est le dernier sur la Loire où les bateaux de plaisance peuvent remonter sans avoir à démâter et le seul de l'agglomération nantaise où ils peuvent s'amarrer.

5. POSSIBILITÉS DE LUTTE CONTRE L'ENVASEMENT

Au cours de cette étude, plusieurs solutions ont été examinées pour lutter contre l'envasement du port de Trentemoult. Les plus importantes sont détaillées ci-dessous.

5.1. Modifications de la géométrie du port

5.1.1. Ouverture de la digue amont du port

Une solution envisagée afin d'améliorer les conditions hydrosédimentaires du site est celle de l'ouverture du terre-plein à l'est du port. Afin d'être solidaire avec l'écoulement naturel de l'estuaire, l'ouverture analysée est à 45°. La simulation de l'hydrodynamique (fig. 4) à l'aide du modèle mathématique bidimensionnel, montre que l'ouverture de la digue favorise le balayage d'une plus grande surface du port par l'écoulement. Mais, dans l'ensemble, les vitesses restent inférieures à 0.10 m/s si bien que cette solution ne peut pas être envisagée comme

susceptible d'assurer un auto-dragage du port ou de limiter le taux de sédimentation.

5.1.2. Fermeture du port

Cette solution consiste en la fermeture du port dont l'accès serait assuré par des écluses. La configuration analysée contient deux ouvertures sur la digue de fermeture : l'une à l'aval, à l'entrée actuelle du chenal principal du port de Trentemoult, l'autre à l'amont, à l'extrémité du terre-plein est (fig. 5). L'une des deux écluses proposées consiste en une simple porte, uniquement destinée à l'action sur le désenvasement, l'autre est constituée d'un sas pour le passage des bateaux.

Du fait des fonds vaseux très compressibles et peu résistants et de la surface réduite du port, la digue proposée est constituée de deux rideaux en palplanches parallèles dont l'espace intérieur serait comblé par un remblai de gravier compacté.

Cette configuration permettrait le dévasage par des opérations rapides de vidange et de remplissage, réalisées en utilisant les aqueducs de l'écluse et de la porte. Ces opérations seraient occasionnelles selon l'engraissement des fonds. Un avantage de cette configuration est que pour un léger envasement du port, les bateaux pourraient rester à flot par le maintien d'un niveau de la surface de l'eau suffisant, ce qui peut être obtenu grâce au système d'écluses.

5.2. Circulation artificielle dans le port de Trentemoult

La génération d'un écoulement dans le bassin du port de Trentemoult par l'installation d'agitateurs submersibles Flygt est analysée comme un moyen de lutte contre l'envasement. Ces agitateurs [3], conçus originalement pour maintenir les boues résiduelles en suspension dans les stations d'épuration d'eaux, sont également utilisés en milieu marin pour combattre le processus de sédimentation.

Du point de vue sédimentaire, les performances des agitateurs peuvent être analysées selon deux

critères différents : maintien en suspension de la vase et remise en suspension.

5.2.1. Maintien en suspension de la vase

Une étude récente menée par Mehta [5] montre que les matériaux cohésifs restent en suspension et ne se déposent pas dès que la tension de cisaillement au fond d'un écoulement est supérieure à une valeur comprise entre 0,08 et 0,15 Pa. Cela est équivalent à une vitesse

moyenne sur la verticale comprise entre 0,17 et 0,23 m/s pour un tirant d'eau de 3 m. Donc, une série d'agitateurs installés dans le port devrait empêcher la sédimentation dès que les vitesses seraient supérieures à environ 0,20 m/s.

L'analyse à l'aide du modèle mathématique de plusieurs configurations comportant un maximum de deux agitateurs montre que, dans le meilleur des cas, on

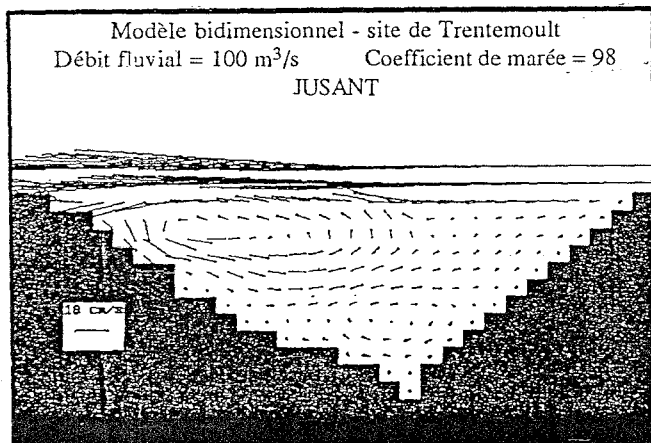


Fig. 4. Modélisation hydrodynamique de l'ouverture de la digue amont du port, pendant le jusant [4]

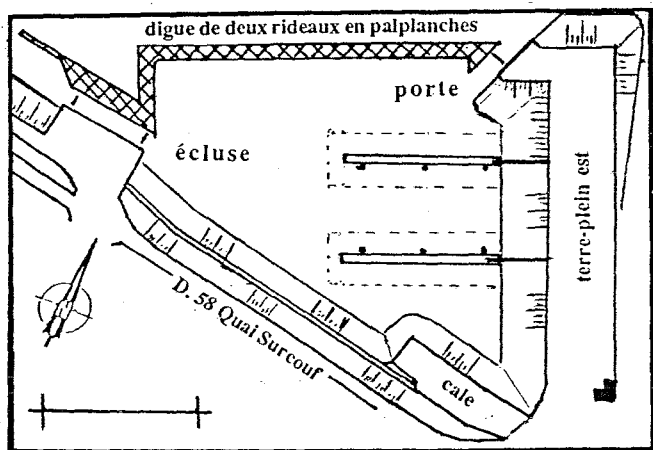


Fig. 5. Configuration de la solution "fermeture du port".

pourrait obtenir des vitesses légèrement supérieures à 0,10 m/s dans la zone des pontons. En effet, le bassin du port n'étant pas confiné, on peut difficilement accélérer la circulation.

Du fait de leurs faibles grandeurs, les vitesses induites par deux agitateurs installés dans le port n'empêcheraient que partiellement la sédimentation du port. Par ailleurs, le fonctionnement des agitateurs pendant tout le cycle de marée n'est possible que par un dragage préalable du port jusqu'à la cote -1,50 m CM.

5.2.2. Remise en suspension

La capacité érosive d'un agitateur Flygt 4501 de 15 kW, sur la vase de Trentemoult a été testée sur le site par Charrier et Desmet [1]. Dans cette étude en grandeur réelle, l'agitateur a été fixé sur le pieu tubulaire situé à l'extrémité du ponton sud, son axe étant horizontal et orienté sur une ligne parallèle au quai Surcouf (direction = 280°).

Dans les conditions des essais, la concentration de la vase du fond était de 312 kg/m³. Les performances de l'agitateur décrites par la suite correspondent donc à une action sur cette vase molle peu consolidée.

Après 48 minutes d'utilisation de l'agitateur, on a constaté une érosion de 23 m³ sur 42 m² et selon un panache long de 12 m. Cet effet érosif atteignait une longueur de 23 m après 12 heures de fonctionnement effectif de l'appareil.

D'après ces essais, on observe certes une action érosive à taux élevé, mais restreinte à une surface d'environ 100 m², ce qui coïncide sensiblement avec la zone limitée par la courbe d'iso-vitesse 0,50 m/s du

diagramme des vitesses fourni par le constructeur (fig. 6). Sur la base d'une érosion sur 100 m² à chaque emplacement, il faudrait 120 positionnements différents pour obtenir une action érosive sur l'ensemble du port.

Cet agitateur a l'avantage complémentaire d'incorporer 83 % du matériau érodé à l'eau de l'écoulement [1], ce qui assure un transport en suspension de la vase érodée vers le chenal de l'estuaire.

L'utilisation des agitateurs afin d'éroder la vase dans le port de Trentemoult nécessite donc un dispositif permettant un déplacement aisé des appareils afin d'agir sur les différentes zones du port. Le montage d'un agitateur sur une barge mobile est le dispositif proposé pour permettre la mobilité dans le port. Cette barge doit être capable de mettre en œuvre quatre éléments : un agitateur, une source électrique, une propulsion et un système d'ancrage. Enfin, la barge doit être équipée d'un portique avec un système hydraulique permettant la descente et la manipulation de l'agitateur.

5.3. Déviation de l'écoulement de l'estuaire vers le port par un rideau en palplanches

La configuration retenue consiste en l'installation d'un rideau en "L" au sein même de l'estuaire, à proximité du terre-plein est du port. Des simulations numériques réalisées selon cette configuration montrent que l'effet pendant le flot est pratiquement négligeable, les courants obtenus étant très proches de ceux de l'état actuel.

En revanche, pendant le jusant, le rideau guide l'écoulement de l'estuaire vers le port, ce qui permet un balayage d'une grande partie de l'anse avec des vitesses de l'ordre de 0,20 m/s (fig. 7). Cela est intéressant pour la

sédimentologie du port et de l'estuaire, car la durée du jusant est plus importante que celle du flot et la vase érodée par cet écoulement serait évacuée vers l'aval.

Conclusions

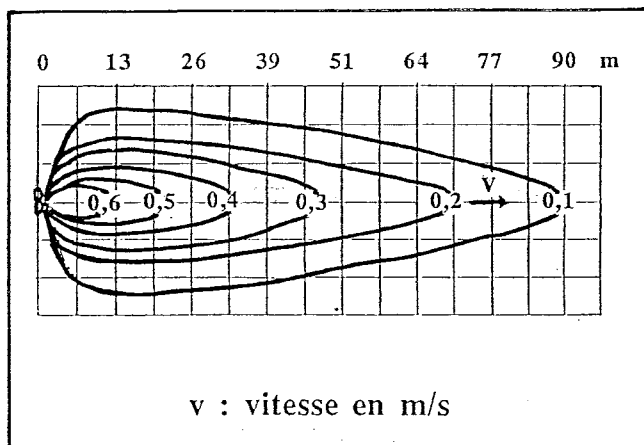


Fig. 6. Panache de vitesses de l'agitateur Flygt 4501 selon le constructeur [3].

La solution retenue est la mise en œuvre d'une micro-drague barge-agitateur Flygt 4680 de 25 kW. La capacité de dragage annuelle, à raison de 810 heures ouvrées, est de 22000 m³ de vase molle.

La mise en service de la micro-drague doit être précédée d'un dragage général du port à la cote - 0,50 m CM afin de permettre les déplacements de la barge.

Un essai de tassement réalisé au cours de notre étude a montré qu'un dépôt, de 0,50 m d'épaisseur et de concentration initiale de 108 kg/m³, atteint 145 kg/m³ après un jour de tassement, 205 kg/m³ après une semaine et 270 kg/m³ après un mois. Afin d'éviter la consolidation de la vase, la micro-drague devra opérer régulièrement tous les deux ou trois jours en moyenne.

A plus long terme, cette solution pourra être complétée par la construction d'un dispositif déviateur de l'écoulement. La mobilité de la micro-drague permettra d'éroder les différents dépôts localisés dans le port, qui seront évacués grâce à l'écoulement engendré par le déviateur du courant.

Remerciements

Cette étude de l'envasement du port-abri de Trentemoult a été réalisée par le Centre Français du Littoral pour la Mairie de Rezé. Cette communication est possible grâce à l'ouverture et à la générosité de ces deux institutions. Nous remercions la Mairie de Rezé et plus spécifiquement, M. Guiné, Premier Adjoint, M. Metois, Directeur du Service Technique et M. Lecorre, qui ont suivi directement le développement de cette étude.

Du point de vue hydrosédimentaire, la fermeture du port constitue la meilleure solution analysée dans cette étude. En effet, avec cette configuration, le volume d'eau (et donc de vase en suspension) entrant dans le port est limité aux ouvertures de l'écluse. Le coût élevé de cette solution est un fort inconvénient.

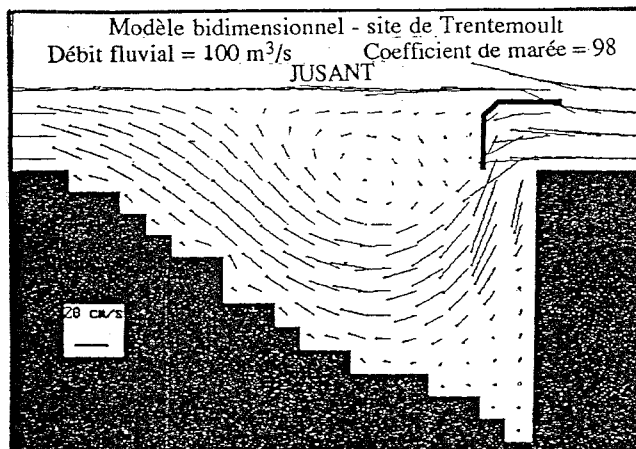


Fig. 7. Modélisation de la hydrodynamique de la solution rideau en palplanches, pendant le jusant [2].

Références bibliographiques

- [1] Charrier et Desmet. 1992 "Expérimentation de dévasage par agitation". Projet de fin d'études, Ecole Navale et Groupe-Ecoles du Poulmic, Lanvéoc-Poulmic, 29240 Brest Naval.
- [2] Grovel, A., Orgeron C., Sanchez M., Le Borgne M.A. et Levacher D. 1992 "Etude de l'envasement du port-abri de Trentemoult". Rapport final CFL-92-01-Mairie de Rezé.
- [3] ITT Flygt, "Agitation mémento technique", Parc de l'île, 29 rue du Port, 92022 Nanterre.
- [4] Le Borgne, M.A. 1992 "Optimisation d'une darse en estuaire pour une sédimentation minimale". Mémoire de DEA présenté à l'Université de Nantes, Nantes.
- [5] Mehta, A.J. 1986 "Characterization of cohesive sediment properties and transport processes in estuaries". estuarine Cohesive Sediment Dynamics, edited by Mehta, Springer-Verlag, New York, 290-325.
- [6] Van Oostrum W.H.A., Parker W.R. et Kirby R. 1980. "Le dragage d'entretien dans les zones de boue fluide". Terra et Aqua, 19, édité par IADC, La Haye, Pays-Bas, 20-29.

QUESTIONS DE MONSIEUR MIGNIOT

1) L'envasement très important de ce port conduit à des concentrations en matières solides très grandes dans les eaux. Une moyenne de 15 g/l serait nécessaire pour obtenir un dépôt de 1 m par mois.

Pouvez-vous nous indiquer la cote des fonds du port de Trentemoult par rapport à ceux du chenal de l'estuaire de la Loire ?

REPONSE

L'engraissement exceptionnel du port de TRENTEMOULT observé au cours de l'été 1991, après trois années de sécheresse, ne peut pas être expliqué par une sédimentation des matières en suspension dans les eaux. Il semble évident que des courants de densité par le fond sont à l'origine de ce colmatage rapide du port. C'est pourquoi nous parlons ici de taux d'envasement et non pas de taux de sédimentation.

Les dragages d'entretien réalisés en mai 1991 ont concerné exclusivement la darse du port, laquelle a été

draguée jusqu'à la cote + 0.50 m CM. Comme conséquence de ces travaux, un seuil artificiel ayant une cote de + 1.50 m CM, sépare la darse du chenal de l'estuaire (cote - 7.00 m CM). Ainsi, les sédiments qui ont franchi ce seuil, dû aux courants de densité, sont restés piégés dans le port.

2) Influence éventuelle des courants de densité pour le colmatage du port et, *a contrario*, possibilités d'évacuation des vases du port par courants de densité si on remet localement les vases en suspension ?

REPONSE

La possibilité de création de courants de densité afin d'évacuer les vases est possible dans la mesure où les sédiments peuvent être remis en suspension à un niveau de la tranche d'eau supérieur à celui du seuil artificiel. Des agitateurs submersibles pourraient être utilisés dans ce but.