



Suivi d'un rejet de sédiment fin cohésif en canal de laboratoire

Roland Boutin

Marine Nationale

Service technique des travaux immobiliers et maritimes

Résumé : Les opérations de dragage conduisent à rejeter le plus souvent en mer les produits prélevés dans les ports ou leurs chenaux d'accès. L'étude cherche à reproduire en canal de laboratoire différents types de rejets afin d'étudier les phénomènes physiques qui gouvernent leur évolution. Le sédiment utilisé est une vase naturelle du port du Havre tamisée à 125 μm . Son marquage à l'indium 113m permet de suivre à l'aide de sondes à scintillation la concentration du nuage turbide en différents points de la surface et du fond. Des clichés photo rendent compte de l'évolution spatiale des phénomènes. Après une description des expériences, le devenir du rejet et notamment l'apparition d'un courant de densité est décrit. Une loi de vitesse de propagation du front du courant de densité est proposée. Pour certains essais une ségrégation préférentielle des silts est mise en évidence.

Abstract : The dredging operations most often mean to throw out into the sea the products removed from the harbours or from the channels giving access to them. The study aims at reproducing in a laboratory canal different types of wastes in order to study the physical phenomena which rule their evolution. The sediment which is used is a natural mud from Le Havre sieved at 125 μm . Thanks to its marking with indium 113m, the concentration of the turbid cloud in various places of the surface as well of the bottom can be seen with scintillation probes. Photographs witness to the spatial evolution of the phenomena. After the experiments have been described, the evolution of the wastes and particularly the appearance of a density current will be considered. A law about the speed of propagation of the density current front is suggested. Concerning some tests, a preferential separation of the silts can be noticed.

1. Introduction

Le gestionnaire d'infrastructure portuaire est confronté au problème du mouvement des sédiments. Afin de conserver ou augmenter la capacité d'accueil des installations, des campagnes de dragage sont réalisées. Ce sont des opérations de terrassement qui consistent à prélever du matériau dans des zones où il est en excès pour le rejeter le plus souvent en mer. Sous l'effet des houles et des courants, ces matériaux rejetés ne devraient, ni revenir se déposer dans la zone d'extraction, ni menacer des zones écologiquement sensibles.

Il n'existe pas actuellement de vue unifiée pour décrire les comportements des sédiments constituant les rejets de dragage.

L'étude en cours cherche à reproduire en canal de laboratoire différents types de rejet afin d'étudier les phénomènes physiques qui les gouvernent. Cet article en présente une note d'étape.

2. Le domaine d'étude

2.1 Les produits concernés

Les matériaux dragués peuvent se classer en deux grandes familles : les produits dits "nobles" comme les galets, les graviers ou les sables, et les autres, comme les limons ou les vases [1].

Cette étude concerne ces derniers et plus particulièrement les vases qui couvrent une gamme de particules inférieures à 40 μm associées à une quantité plus ou moins importante de sable et de silt.

D'après le rapport de synthèse établi pour le groupe d'étude et d'observation sur le dragage et l'environnement (GEODE) en 1994, 75% des dragages en France concernent des vases [2].

Ces produits ont un comportement complexe du fait notamment de la présence de particules très fines comme les argiles (fraction inférieure à 2 μm).

2.2 Les outils et les modes de rejets

Il existe deux types d'outils de dragage dont dépendent les méthodes de travail :

- les dragues mécaniques (dragues à godet, dragues à pelle ou à cuillère, dragues rétrocaveuses (ponton grue) et dragues à bennes traînantes ou à bennes preneuses),
- les dragues aspiratrices (dragues aspiratrices refouleuses stationnaires, dragues aspiratrices au point fixe et dragues aspiratrices en marche).

Les dragues aspiratrices en marche (DAM) réalisent l'essentiel des dragages d'entretien en France [2].

En fonction des sites concernés et des outils utilisés, différents modes de rejets sont possibles :

1) **le clapage**, qui consiste à vidanger sur une zone de dépôt l'ensemble des produits préalablement dragués et stockés dans le puits de la drague ; le rejet est rapide et souvent considéré comme ponctuel.

2) **la surverse**, qui consiste à rejeter dans la veine liquide soumise à un courant tout ou partie du produit dragué ; le rejet est continu dans le temps et le point de rejet peut être positionné au-dessus de la surface, juste en dessous de la surface ou près du fond. Le point de rejet peut être fixe ou en déplacement.

2.3 Les sites concernés

En France, la hauteur d'eau des zones de dépôt pour les clapages varie entre 10 et 25 mètres. Pour des opérations en Méditerranée, des rejets peuvent être réalisés par des profondeurs plus importantes, de l'ordre de 40 à 50 mètres.

Les rejets par surverse des dragues aspiratrices en marche se font en estuaire ou dans les chenaux d'accès des ports durant les courants de jusant. La hauteur d'eau est généralement inférieure à 20 mètres.

Ces différents sites sont soumis de façon plus ou moins importante aux actions des houles et des courants.

3. Le dispositif expérimental

3.1 Généralités

Le domaine d'étude présenté ci-avant fait intervenir de multiples facteurs (physiques, chimiques, dynamiques...). Les expériences en canal cherchent à appréhender l'influence sur le rejet d'un nombre limité d'entre eux identifiés comme prépondérants :

- concentration en matière sèche de la mixture au moment du rejet (Cini),
- vitesse du courant de la veine liquide (v),
- mode de rejet (clapage, différents types de surverse),
- quantité de matériaux rejetés (volume ou débit).

3.2 Sédiment rejeté dans le canal

Le sédiment utilisé pour les expériences est une vase naturelle prélevée dans le port du Havre, tamisée à 125 μm et traitée au permanganate de potassium pour neutraliser la fraction organique. Son spectre minéralogique est typiquement estuarien avec majoritairement un mélange de kaolinite, d'illite et de smectite. La fraction inférieure à 40 μm représente plus de 80% du sédiment. La concentration initiale des rejets a varié de 180 g/l à 420 g/l.

3.3 L'installation expérimentale

3.3.1 le canal

Les expériences ont été réalisées dans le canal 5 du Centre de recherche EDF à Chatou. C'est un canal long de 70 mètres ayant une section utile de 1,5x1,5 mètres carrés. En fonction des expériences, la hauteur d'eau était de 1 mètre ou de 0,8 mètre. Ce canal était rempli d'eau du réseau public. Le milieu était flocculant, ce qui est représentatif des rejets en nature.

La plage de variation du courant dans le canal était comprise entre 0 et 20 cm.s^{-1} .

3.3.2 Les dispositifs de rejet

Un dispositif constitué d'une trémie d'alimentation équipée d'un malaxeur placé au-dessus du canal permettait d'alimenter à l'aide d'une vanne pneumatique, soit un godet, soit un bac de réception pouvant recevoir 3 types de déversoirs.

Le godet a servi aux essais de type clapage (fig 1a). Les formes intérieures de ce godet sont inspirées d'une représentation au 1/25ème du puits de la drague "La Hève" du Havre.

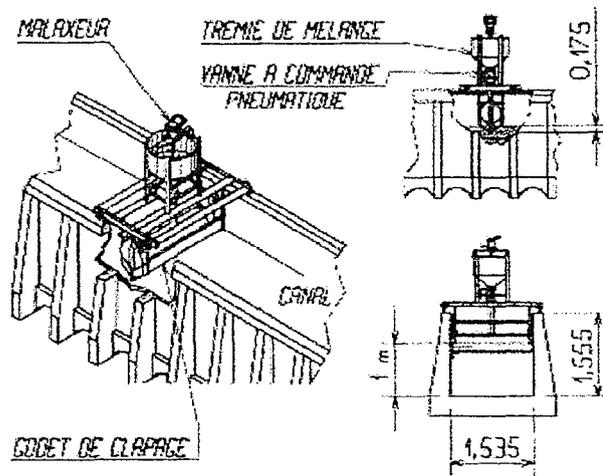


figure 1a

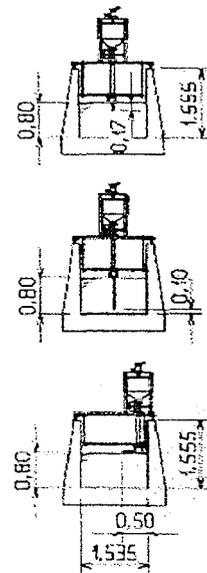


figure 1b

Le bac de réception a servi aux essais de type surverse. Il permettait d'obtenir un rejet continu d'environ 2 minutes à hauteur de charge constante. Trois types de rejets sont possibles (fig 1b) : rejet juste en dessous de la surface libre, près du fond et au-dessus. Une partie de ces dispositifs est également inspirée de la représentation au 1/25ème d'équipements de la drague "La Hève".

3.3.3 Les mesures

Différentes sections du canal ont été équipées de dispositifs de mesure afin de rendre compte de l'évolution du rejet dans le temps.

Le champ de vitesse a été suivi à l'aide de deux sondes Sontek, la concentration en matière sèche a été mesurée à l'aide d'une sonde Opcon et de 32 sondes à scintillation du CEA/DAMRI. L'évolution spatiale du rejet a été photographiée par 5 appareils photo Nikon à séquence de déclenchement automatisée. Enfin 5 capteurs THD ont rendu compte des perturbations de la surface libre occasionnées par le rejet.

En fin d'expérience, une cartographie du dépôt a été réalisée à l'aide d'une sonde à scintillation déplacée sur le fond. De plus, des prélèvements d'échantillons analysés au granulomètre laser rendent compte de l'évolution granulométrique des sédiments.

3.4 L'utilisation d'un traceur radioactif

La vase a été marquée à l'indium 113m fourni par le CEA/DAMRI et obtenu à l'aide d'un générateur Etain/Indium. Après étalonnage, chaque sonde à scintillation rend compte en continu de l'évolution de la concentration en sédiment.

4. Les expériences

4.1 Les expériences de clapage

20 expériences de clapage ont été réalisées. Pour les douze premières, le godet était positionné juste au-dessus de la surface libre. Pour les autres, le godet a été immergé de 17,5 centimètres dans l'eau. Pour l'essai CLAP 14 une fraction de 20 % en poids de sable fin ayant un D_{50} de 80 μm a été ajoutée à la mixture. Le tableau 1 ci-après récapitule les principaux paramètres des 6 derniers essais.

tableau 1

N° d'essai	Concentration du rejet (g/l)	Volume rejeté dans le canal (l)	densité humide (kg/m ³)	Vitesse du courant (cm/s)
CLAP14	210.9 +/- 3.9	45.3 +/- 0.6	1131 +/- 8	0
CLAP15	346.6 +/- 8.3	42.6 +/- 0.8	1216 +/- 14	10
CLAP16	347.0 +/- 8.2	42.9 +/- 0.8	1216 +/- 14	5
CLAP17	347.8 +/- 8.2	43.1 +/- 0.8	1217 +/- 14	20
CLAP18	348.1 +/- 8.2	43.3 +/- 0.8	1217 +/- 14	0
CLAP19	411.1 +/- 9.9	43.3 +/- 0.9	1256 +/- 17	20

4.2 Les expériences de surverse

22 expériences de surverse réparties en trois séries ont été réalisées. Chaque série correspond à un des types de rejet présenté en 3.3.2. Le tableau 2 ci-après récapitule les essais dits de "surverse de surface".

tableau 2

N° d'essai	Concentration du rejet (g/l)	Volume rejeté dans le canal (l)	densité humide (kg/m ³)	Durée du rejet (mm:ss)	Vitesse du courant (cm/s)
SSURF1	271.1 +/- 5.9	44.6 +/- 0.8	1169 +/- 11	02:04	20
SSURF2	272.1 +/- 6.0	44.6 +/- 0.8	1169 +/- 11	02:04	10
SSURF3	272.0 +/- 5.9	44.8 +/- 0.8	1169 +/- 11	01:59	0
SSURF4	194.5 +/- 3.5	44.6 +/- 0.6	1121 +/- 7	01:59	20
SSURF5	193.4 +/- 3.5	44.6 +/- 0.6	1120 +/- 7	02:03	10
SSURF6	193.6 +/- 3.5	44.6 +/- 0.6	1121 +/- 7	01:57	0

4.3 Les résultats

4.3.1 Essais de clapage

Le rejet de type clapage présente deux phases très distinctes. Durant la première, le nuage de sédiment chute sur la hauteur de la colonne d'eau. Cette phase s'accompagne d'une expansion spatiale (cf fig 2) dont l'ampleur, à volume rejeté constant, est fonction de l'intensité du courant et de la concentration initiale de la vase.

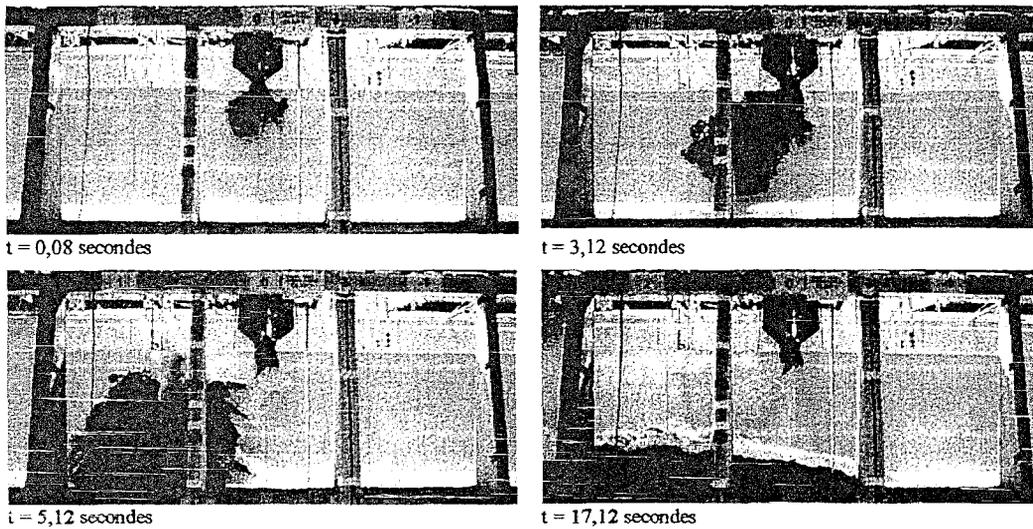


figure 2 : essai CLAP1, Cini=256.6 g/l, volume rejeté V=41,5 l, vitesse du courant v=10 cm/s

A la fin de cette première phase, la masse turbide heurte le fond et une deuxième phase commence. Un courant de densité se propage sur le fond (fig 3). Il peut gagner l'ensemble de la tranche d'eau si le courant dans le canal est important. Ce courant turbide se propage sur le fond avec un front dont la turbulence est très active. A l'arrière de celui-ci, le corps du courant de densité s'étire depuis le point d'impact. Avec le courant, ce corps est érodé. En fin d'expérience un dépôt de sédiment reste sur le fond du canal.

Comme le montre la figure 4, la concentration en matière sèche du front du courant de densité diminue au fur et à mesure qu'il s'éloigne du point de rejet. Il y a à la fois dépôt des sédiments et entraînement du fluide ambiant (eau). La concentration de la partie la plus arrière du corps est en revanche relativement stable et assez faible dès que l'on s'éloigne du point de rejet (à plus de 6 mètres). Cependant, au voisinage du point de rejet la concentration au fond est importante. Pour l'essai CLAP16, à 1 mètre du point de rejet la concentration au fond est d'environ 18 g/l.

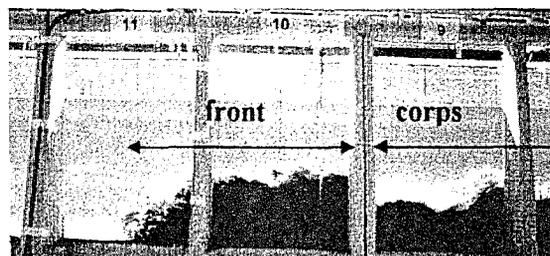


figure 3 : essai CLAP1

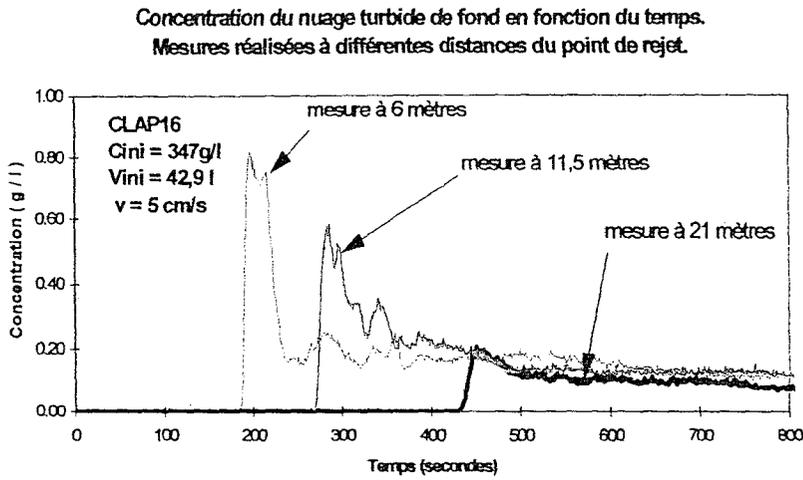


figure 4

L'évolution du courant de densité dépend très étroitement de la vitesse d'écoulement de la veine d'eau du canal. Sa vitesse de propagation converge vers la vitesse de l'écoulement, ce qui est particulièrement remarquable pour les essais à 5 cm/s (fig 5). La loi suivante peut être proposée :

$$v = a \times d^{-b} + v_{canal} \quad (1)$$

avec v : vitesse de propagation du front,
 d : distance au point de rejet,
 v_{canal} : vitesse de l'écoulement dans le canal
 a, b : constantes réelles positives

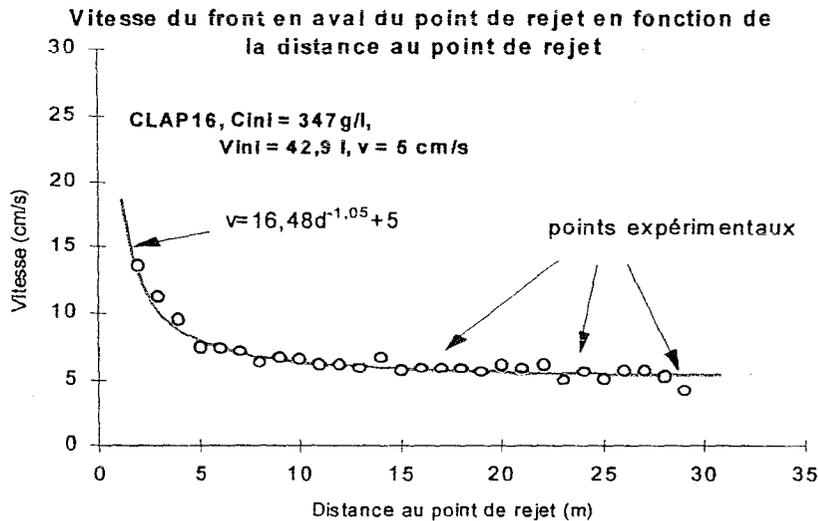


figure 5

Enfin, différents échantillons prélevés au fond, sur lesquels ont été effectuées des granulométries laser (fig 6), mettent en évidence sur certains essais une ségrégation préférentielle en fonction de la distance au point de rejet. Celle-ci touche les silts.

CLAP14, granulométrie du dépôt en fonction de la distance au point de rejet (vase tamisée + 20% de sable fin)

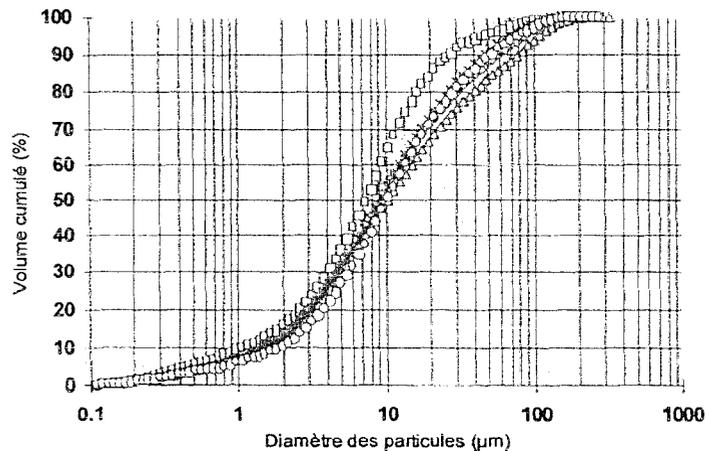


figure 6

△ échantillon avant rejet □ 19 m en amont ○ 4 m en amont × point de rejet ◊ 4 m en aval

4.3.2 Essais de surverse

Trois types de rejets ont été simulés. Le rejet au-dessus de la surface libre assure la plus grande dispersion des sédiments et celui près du fond la plus faible. Les essais à -17,5 cm en dessous de la surface libre (fig 7) donnent naissance à un courant de densité comparable à celui obtenu pour les essais de clapage. Les lois d'évolution des vitesses de propagation du front du courant de densité ne sont cependant pas comparables. Comme pour les essais de clapage, l'analyse de prélèvements recueillis au fond permet de mettre en évidence une ségrégation préférentielle des silts pour certains essais sans courant.

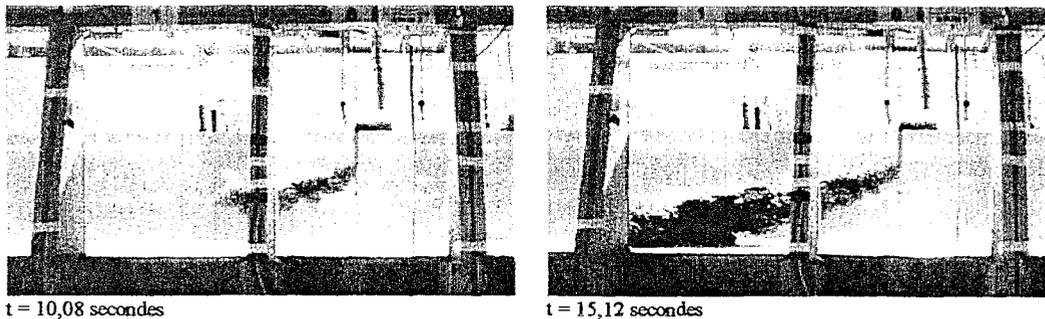


figure 7 : essai SSUB3, Cini=193,9 g/l, volume rejeté V=44,7 l, vitesse du courant v=20 cm/s

5. Conclusions

Les observations obtenues en canal de laboratoire permettent de mieux comprendre le comportement d'un rejet de sédiment fin cohésif (vase). Les phases de chute et d'expansion du nuage turbide sont suivies et quantifiées. Seuls quelques résultats ont été présentés ici. Il reste à transposer ces résultats aux opérations réelles et à les confronter aux modèles actuellement proposés : modèle de Krishnappan [3, 4], modèle de Koh et Chang [5] sur lequel est fondé le modèle américain STFATE.

6. Remerciements

L'auteur tient à remercier messieurs Migniot et Lafond pour leurs remarques sur une version provisoire du présent article. Il remercie également l'amiral Le Pichon, l'ingénieur général Romenteau et l'ingénieur en chef Grillet qui ont soutenu ce projet. Cette étude est financée principalement par la "mission innovation" et par le fonds d'intervention pour l'environnement du Ministère de la Défense, avec la participation du groupe GEODE et du STCPMVN.

7. Références

- [1] : Migniot, Etude des propriétés physiques des matériaux à draguer du type "vases" et leur utilisation en remblais, stage de formation continue à l'ENPC, mai 1976, LCHF 30p,
- [2] : G.E.O.D.E., "Dragages dans les ports français", 1994, SOGREAH,
- [3] : B.G. Krishnappan, "Dispersion of dredged spoil when dumped as a slug in deep water", 1975, First International Symposium on Dredging Technology, 20p,
- [4] : B.G. Krishnappan, " Dispersion of granular material dumped in deep water", Scientific Series n°55, 1975,
- [5] : B.H. Johnson, M.T. Fong, "Development and verification of numerical models for predicting the initial fate of dredged material disposed in open water, report 2, theoretical developments and verification results", Waterway experiment station, Vicksburg, TR DRP-93-1, 1995, 65p.