

17

LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE EN BAIE DE SEINE NORD-ORIENTALE, FLUCTUATIONS
ET EVOLUTION DE LA COUVERTURE MEUBLE.

CREVEL L.*

1 - NATURE ET REPARTITION DES SEDIMENTS.

Les sédiments ont été prélevés avec une benne Shipeck selon des radiales perpendiculaires à la côte. L'espacement entre les points, variable, était d'environ 1000m au large, réduit en fonction de la profondeur vers la côte; un bennage était effectué tous les 2 mètres d'exhaussement. Les échantillons ont été analysés suivant les techniques classiques de tamisage.

1.1 - Zonéographie sédimentaire

La zonéographie sédimentaire a été obtenue selon la méthode mise au point par Larsonneur (1977), utilisée en Manche, basée sur les caractéristiques granulométriques et calcimétriques des échantillons.

Les fonds marins entre Le Havre et Antifer peuvent être séparés en 3 grandes zones sédimentaires:

- Le domaine du large au delà de l'isobathe -20m ,
- La zone intermédiaire limitée à l'ouest par une ligne parallèle à la côte située à environ 4000m du rivage et à l'est par l'isobathe -13m,
- La frange côtière de -13 à -5m.

La zone du large (Fig. 1) est occupée par des sédiments gravelo-sableux mal classés qui se répartissent suivant un gradient d'affinement du nord au sud, dû aux courants de marée. L'effet de cap, au niveau d'Antifer, renforce l'intensité de ceux-ci. Les dépôts du domaine intermédiaire sont riches en particules fines dont l'origine essentielle est attribuée à la dispersion des produits de dragage d'Oc-teville et pour une moindre part, aux apports de la Seine. Ces particules sont soumises à l'action des courants de marée. A l'abri de la digue du port pétrolier, un enrichissement non négligeable en éléments fins est observé.

La frange côtière est constituée de sablons assez bien classés, pauvres en péli-tes. Ils sont soumis à l'action prépondérante des houles qui ne permettent pas, dans ce secteur, la sédimentation de particules inférieures à 0,2mm (L.C.H.F., 1973).

* Laboratoire de Géologie Marine, Université de Caen, 14 032 Caen Cedex.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse de 3ème cycle (Crevel, 1983). Nous résumons ici l'essentiel des résultats concernant la dynamique sédimen-taire de la partie nord-orientale de la baie de Seine.

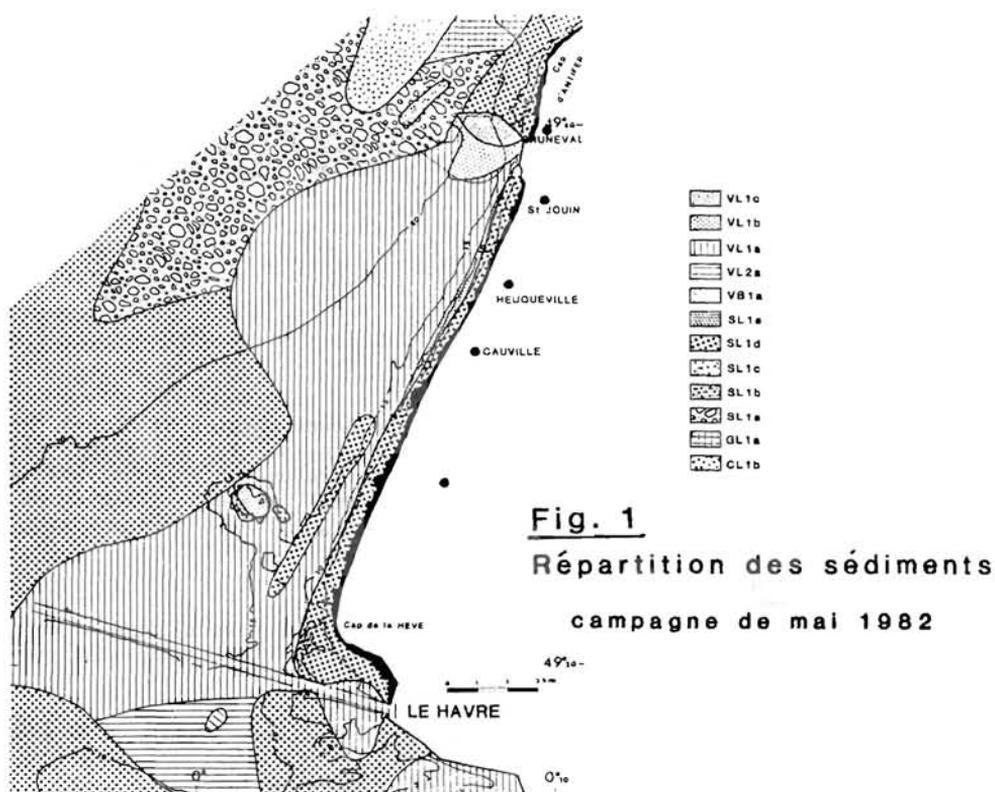


Fig. 1
Répartition des sédiments
campagne de mai 1982

Le type de classification que nous avons utilisé pour établir la zonéographie sédimentaire était assez mal adapté à l'étude des fluctuations de la couverture meuble. Nous nous sommes attachés à caractériser les échantillons avec la totalité de l'information granulométrique dont nous disposions. Nous avons fait appel aux techniques statistiques.

1.2 - Classification statistique : l'analyse factorielle

Chaque échantillon a été étudié sur 22 classes granulométriques, de $16 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ à $55 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. Pour l'homogénéité des données, nous avons travaillé sur les pourcentages différentiels. Nous disposions d'un fichier des données granulométriques, établi d'après les calculs des paramètres sédimentologiques réalisés sur micro-ordinateur. Nous avons pour l'analyse factorielle, utilisé le logiciel "ANAFAC-COR", mis au point par Jambu et Lebeaux (Crelet - Puterflam, 1981). C'est un programme d'analyse statistique des données, de portée générale. Il permet, dans notre cas, de représenter chaque échantillon par un point, dans un espace vectoriel à 22 dimensions. Le nuage de points ainsi obtenu, est la fidèle représentation des sédiments et autorise la classification. L'interprétation de l'analyse est basée sur la projection du nuage, dans un espace à deux dimensions. Nous avons réalisé un logiciel permettant la représentation du nuage par rapport aux trois principaux axes factoriels, ce qui facilite l'interprétation.

Le calcul a permis de dégager, dans le cas de la campagne déjà étudiée, 4 ensembles de sédiments (Fig. 2):

- L'ensemble mI, localisé dans le port pétrolier, dans l'avant port du Havre et son chenal, dans l'estuaire, traduit les zones d'accumulation de matériaux fins.

- L'ensemble mII forme une bande parallèle au rivage, joignant les zones riches en pélites de l'estuaire au sud, à Antifer au nord.
- L'ensemble mIII concerne des sables moyens se situant sur le littoral jusqu'à -15m et au large jusqu'à la transversale de Cauville.
- L'ensemble mIV est constitué de sables grossiers localisés essentiellement au large du terminal d'Antifer.

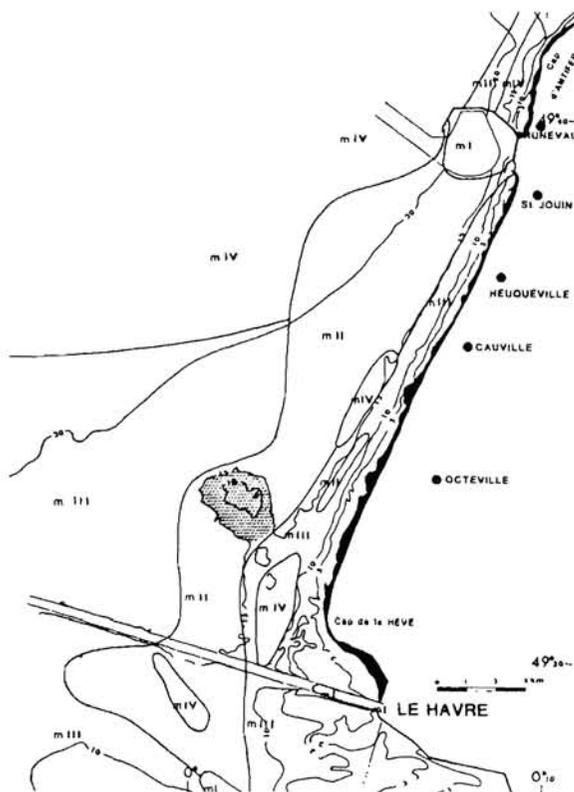


Fig. 2
Analyse factorielle

cartographie des groupes
de sédiments obtenus pour
la campagne de mai 1982

Pour les ensembles mI à mIV, nous observons un accroissement de la taille moyenne des particules, accompagné d'une diminution de la teneur en pélites. Ce type de classification fait apparaître clairement les zones de décantation (ensemble mI), le domaine soumis aux envasements (mII). Les zones pauvres en éléments fins sont bien délimitées, elles sont liées, soit à l'action des houles (ensemble mIII), soit à l'action des courants de marée (ensemble mIV).

2 - EVOLUTION DE LA COUVERTURE MEUBLE : ETUDE STATISTIQUE

L'analyse factorielle des correspondances, appliquée à l'ensemble des échantillons recueillis en 4 campagnes sédimentaires a mis en évidence certaines évolutions.

Le calcul statistique a permis de définir cinq groupes sédimentaires principaux (Fig. 3):

- Le groupe I, formé de sables fins envasés et mal classés (écart type 0,9), a un spectre granulométrique homogène. La taille moyenne des grains est de 0,34mm et le pourcentage de pélites de 5 %. Il borde toujours le littoral de -5m à -15m, et constitue également les fonds situés plus au large jusqu'à -20m notamment entre l'estuaire et la transversale de Cauville.

- Le groupe II, de spectre homogène, représente des sables moyens à fins envasés (9 % de pélites), mal classés (écart type 1,8), de taille moyenne égale à 0,5mm. Ces sablons ont une situation géographique fluctuante dans le temps. Ils apparaissent au large, au delà de -20m au niveau de Cauville où ils ont été échantillonnés en mai et en septembre. Après les fortes tempêtes qui ont précédé la campagne de prélèvements de mars, ils constituent le substrat du domaine intermédiaire. Leur extension se réduit après une période de calme et de faibles apports extérieurs.
- Le groupe III est formé de sables grossiers très mal classés (moyenne 1,14mm, écart type 2). Il est localisé dans la partie septentrionale de notre zone au-delà de -20m où il a été reconnu en mai et en septembre.
- Le groupe IV se situe en toute période, dans l'anse du terminal pétrolier et forme une digitation vers le sud. Ce sont des sables envasés (moyenne 0,14mm, 43 % de pélites), mal classés (écart type 1,9), formant un spectre dispersé.
- Le groupe V localisé en zone intermédiaire, disparaît en période de forte agitation (mars et septembre). Il est formé de sables fins et de sablons envasés (moyenne 0,22mm, 17 % de pélites) réunis en un spectre granulométrique homogène.

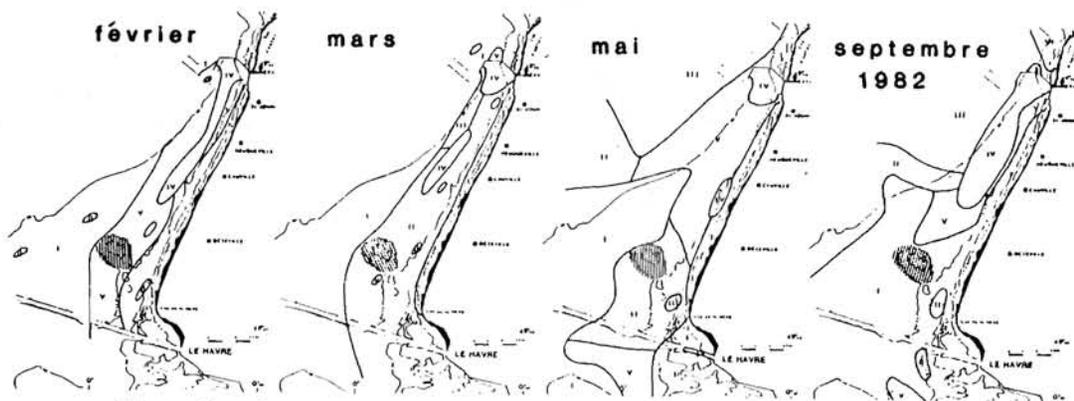


Fig. 3 Analyse factorielle - cartographie des groupes

Parmi ces cinq groupes nous observons un gradient d'affinement de la taille moyenne des particules pour les groupes III, II, I, V et IV: un gradient d'augmentation de la teneur en pélites pour les groupes I, III, II, V et IV: un gradient d'amélioration du classement pour les groupes III, IV, II, V et I.

Au cours de l'année, nos méthodes n'ont pas permis de mettre en évidence les fluctuations de la zone littorale au-dessus de -13m. Les sédiments sont toujours du groupe I. La zone du large située par des fonds supérieurs à -20m n'évoque pas. Elle est constituée du Nord au Sud par des sédiments des groupes III, II, I. Nous observons un gradient d'affinement dans le même sens en liaison avec une amélioration du classement.

Les variations saisonnières de la couverture sédimentaire s'effectuent, pour l'essentiel, dans la zone intermédiaire comprise entre -13 et -20m.

En période de calme et après d'importants apports naturels et anthropiques, le groupe IV forme une digitation issue du terminal d'Antifer en direction du Sud (Fig. 3 - février), le groupe V est géographiquement bien représenté. Après de fortes agitations (Fig. 3 - mars), l'extension du groupe IV est réduite, il en reste un témoin au large de Cauville. Les particules fines mêlées aux sédiments du groupe V ont été évacuées. Ces derniers appartiennent alors au groupe II. Le calme revenu, en mai, les fonds sont recontaminés par des particules fines. Le groupe V s'étend au détriment du groupe II. Au mois de septembre, après des apports réduits et une longue évolution en période de calme dominant, les sédiments appartiennent aux groupes I et V, les mieux classés. Le domaine intermédiaire est globalement occupé par des sédiments plus grossiers qu'en période de crue et plus fins qu'en période de forte agitation.

Les évolutions enregistrées en zone intermédiaire sont dues aux contaminations du matériel en place par des éléments fins, en déséquilibre hydrodynamique. Ces envasements s'organisent suivant un cycle lié, d'une part aux volumes d'apports anthropiques et naturels, d'autre part à l'énergie du milieu (Fig. 4).

Les houles de tempête jouent un rôle dans la remise en mouvement des particules fines. Ces dernières peuvent ensuite être transportées par les courants dont l'action contrôlée par les marées a une résultante probablement constante vers le nord (L.C.H.F., 1973; Salomon, 1980, Crevel 1983). En position latérale sur le schéma (Fig. 4) figure l'échelle croissante des apports de matériel fin dans le système. Les situations sédimentaires observées sont représentées en trait gras. Les positions centrales rendent compte des conditions de forte turbulence. La périphérie est réservée aux périodes de calme hydrodynamique. Passer d'une position périphérique au centre (flèches en gras), correspond à une évolution rapide de la couverture meuble, au cours d'une tempête par exemple. Les flèches fines indiquent au contraire des évolutions lentes en période de calme hydrodynamique. Les situations sédimentaires représentées sont caractérisées par le mois durant lequel elles ont été observées. Deux situations non échantillonnées sont dessinées. Le passage direct d'une situation de type février à une situation de type septembre est probablement impossible. Une telle évolution doit transiter par une position centrale qui permet une évacuation massive des éléments fins en dehors du système.

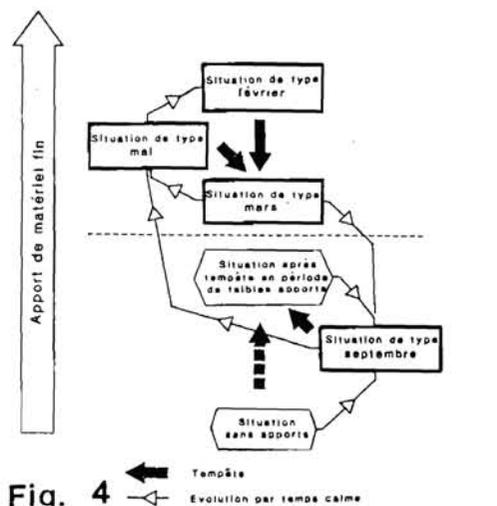


Fig. 4
Schéma de l'évolution de la couverture sédimentaire

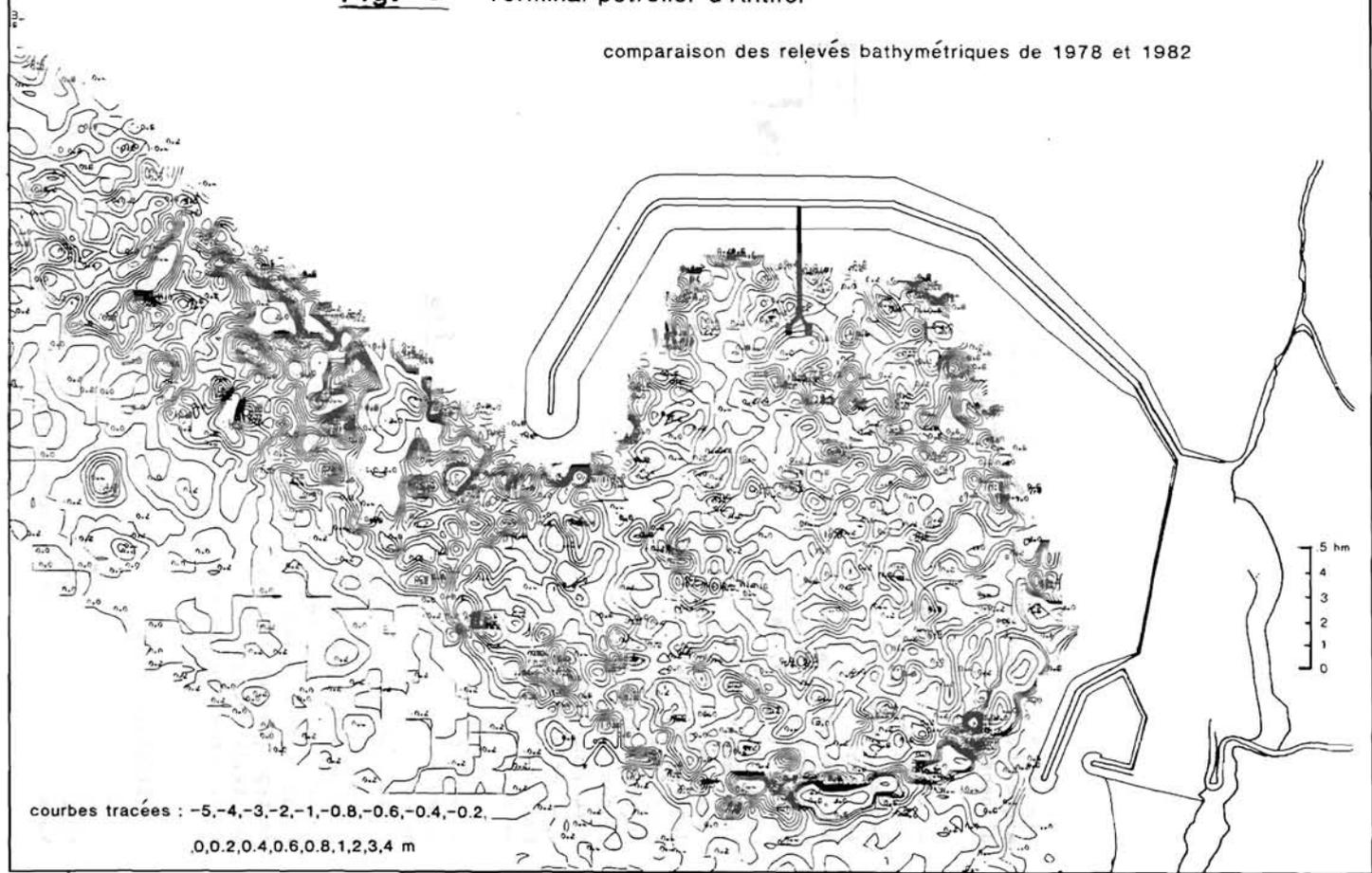
3 - EVOLUTION PLURI-ANNUELLE DE LA COUVERTURE MEUBLE

Les études préliminaires à la construction du terminal pétrolier d'Antifer ont permis de dresser une carte précise de la zone côtière (L.C.H.F., 1973). Nous utiliserons celle-ci comme référence, préférentiellement à celle de 1967 (Larsonneur et Hommeril, 1967) qui présentait une maille plus lâche. Après la construction du terminal, en 1978, une campagne d'échantillonnage (Avoine, 1981) a été réalisée en baie de Seine orientale.

Les cartes de 1973 et 1978, concernant la fraction péltique, montrent un panache continu de sédiments envasés, enraciné sur le dépôt d'Octeville.

Fig. 5 Terminal pétrolier d'Antifer

comparaison des relevés bathymétriques de 1978 et 1982



Les variations de teneur sont imputables aux modes de prélèvement. Les valeurs sont comparables à celles que nous avons pu noter lors de nos campagnes, en 1982.

Dans la région immédiate du port d'Antifer, entre 1973 et 1978, Monbet (1980) a constaté un accroissement important de la teneur en pélites dans les sédiments. Un envasement se produit tout particulièrement dans la partie NW du terminal où les teneurs dépassent 90 %.

Nous avons voulu dresser le bilan sédimentaire de cette zone. La digue artificielle du terminal d'Antifer a créé un domaine favorable au piégeage des particules en suspension. La comparaison des relevés bathymétriques précis de 1978 et 1982 a été réalisée par cartographie assistée par ordinateur (Fig. 5).

Dans l'enceinte du terminal, les exhaussements les plus importants se trouvent au nord d'une ligne orientée sensiblement NW-SE, passant par la pointe de la digue, et principalement contre celle-ci. Il ne faut pas oublier le port de service et ses abords. Celui-ci avait été rapidement comblé dès sa construction (Lesueur, 1976). Les érosions observées au sud de la zone creusée artificiellement sont probablement dues à des affaissements de talus. Des creusements, à l'extrémité de la digue sont très importants. Ils sont liés à l'effet de cap induit par cette dernière.

Sur la zone cartographiée, les apports ont été quantifiés. Nous avons planimétré les zones d'exhaussement et d'érosion dans l'enceinte du port. Le bilan, positif, de l'ordre de 769 000 m³ de février 1978 à janvier 1982, est sous-évalué. Les régions proches des digues, favorables à la sédimentation n'ont pas été cartographiées. Pour la zone investiguée, ceci correspond à une élévation moyenne de 0,05m/an. Durant cette même période, sur le dépôt d'Octeville, 6 173 000 m³ ont été largués. Notre bilan indique donc que 10 à 12 % au moins des rejets effectués à Octeville sont piégés par la digue. Des études par traceurs ont montré (L.C.H.F., 1973) que 70 % des rejets sur le dépôt étaient entraînés. Elles estimaient en outre à 0,17m/an l'exhaussement probable dans l'enceinte du port. Les calculs de flux de matières en suspension, le long du littoral cauchois (Crevel, 1983), et les traçages radioactifs ont montré un net transit vers le Nord. Le dépôt de dragage d'Octeville est donc en grande partie responsable des envasements constatés dans le port d'Antifer. Un déplacement de ce dépôt pourrait-il améliorer la situation? Plus à l'ouest, et à la même latitude, les produits de dragage risqueraient d'être réintégrés dans la dynamique sédimentaire de l'estuaire en raison des résiduelles en suspension, le long du littoral cauchois (Crevel, 1983). Rejetés au NW de l'emplacement actuel, au-delà de l'isobathe -20m, les matériaux seraient entraînés vers le Nord et participeraient moins au comblement du terminal pétrolier mais les transports seraient allongés, d'où un surcoût important.

Les campagnes sédimentaires que nous avons réalisées ont précisé les variations de la couverture meuble. Les fluctuations sont essentiellement localisées dans la zone intermédiaire au-delà de -13m. Les distinctions n'ont été possibles que par l'utilisation de l'analyse factorielle. Ces changements liés principalement aux apports anthropiques et naturels d'une part, et aux conditions hydrodynamiques d'autre part, s'organisent suivant un schéma cyclique. La digue du terminal d'Antifer, en favorisant la rétention de matériel fin, est un élément déterminant de la dynamique sédimentaire dans ce secteur. Le système n'est néanmoins pas clos, et des pertes de matières en suspension s'effectuent vers le Nord.

Depuis 1978, la sédimentation de la baie de Seine nord-orientale semble stabilisée à l'échelle pluri-annuelle, malgré les fluctuations reconnues et les envasements dans l'enceinte du terminal pétrolier d'Antifer.

- AVOINE J. (1981). - L'estuaire de la Seine. Thèse 3ème cycle Caen, 236 p., ronéot..
- AVOINE J., BOUST D., CREVEL L., DUBRULLE L., GUEGUENIAT P. (1984). - Sédiments et dynamique sédimentaire en baie de Seine. XVIII Jour, Hydr., Marseille.
- BLANK J.P., KOROSK B.P. (1979). - Etude des courbes granulométriques globales par l'analyse factorielle des correspondances. Rev. Géomorpho. Dyn., t. 28, sér. 1, p 1-13.
- CREVEL L. (1983). - Contribution à l'étude de la dynamique sédimentaire dans la partie nord-orientale de la baie de Seine. Thèse 3ème cycle, Paris XI, 185 p., ronéot..
- GRELET - PUTERFLAM Y. (1981). - Lecture commentée de sortie de programmes en analyse des données. Bull. Assoc. Dev. An. Donn., N° 11, 147 p..
- LABORATOIRE CENTRAL D'HYDRAULIQUE DE FRANCE (1973). - Etude du littoral entre Le Havre et Antifer:
- Mesures en nature, sédimentologie et géomorphologie. Port Auton. du Havre, rap. ronéot., 49 p..
- Etude théorique et interprétation des résultats. Port auton. du Havre, rap. ronéot., 24 p.,
- LARSONNEUR C. (1977). - La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise au point et utilisée en Manche. J. Rech. Océanogr., Vol. 212, p. 33-39.
- LARSONNEUR C., HOMMERIL P. (1967). - Sédimentation dans la partie orientale de la baie de Seine. Rev. Soc. Sav. de Haute Normandie, t. 47, p. 45-75.
- LESUEUR P. (1976). - Terminal pétrolier du Havre-Antifer, étude sédimentologique D.E.A. Nantes, rap. ronéot., 26 p..
- MONBET Y. (1980). - Evolution des peuplements benthiques. Port Auton. du Havre, rap. ronéot., 114 p..
- RIVIERE A. (1977). - Méthodes granulométriques, techniques et interprétation. Masson éd. Paris.
- SALOMON J.C. (1980). - Etude de l'estuaire de la Seine, modélisation numérique des phénomènes physiques. Univ. Bret. Occ., rap. inédit.