

INFLUENCE DES APPORTS FLUVIATILES EN BAIE DE SEINE.

AVOINE J.* & CREVEL L.*

INTRODUCTION

L'étude hydrologique de la Baie de Seine, entreprise dans différentes conditions de marée et de débit fluvial, a permis de mettre en évidence deux domaines bien différenciés par la répartition des salinités (fig. 1). La partie occidentale présente un caractère franchement marin, marqué par la pénétration importante des eaux de la Manche, et où la circulation des eaux est dominée par l'existence d'un tourbillon résiduel de marée créé par la presqu'île du Cotentin (Le Hir et L'Hyavanc, 1984, Le Hir *et al.*, ce colloque). La partie orientale, où sont localisées les principales rivières, est soumise à l'influence directe des apports fluviaux, qui entraîne une stratification saline des eaux à l'origine d'une circulation résiduelle de densité. Nous résumons ici les résultats les plus importants obtenus quant aux échanges entre les systèmes estuariens, principalement celui de la Seine, et le domaine marin, en termes de dilution des eaux de la baie par les apports d'eau douce, et de dispersion des apports solides des rivières ainsi que leur contribution à la sédimentation vaseuse en Baie de Seine.

1.- INFLUENCE DES APPORTS LIQUIDES

L'impact des eaux douces dans le secteur oriental de la baie est particulièrement net en période de crue (fig. 2). Il se produit alors des écoulements d'eau dessalée selon deux directions distinctes, d'une part vers l'Ouest, d'autre part vers le Nord où l'influence fluviale se fait sentir jusqu'aux limites de la baie en Manche orientale. Les mesures réalisées dans le cadre du Réseau National d'Observation (Guillaud, 1978) et dans l'étude de la partie nord-orientale de la baie (Crevel, 1983) ont montré que la stratification des eaux est importante en toutes saisons au débouché de la Seine et plus au large. Les gradients de salinité sont cependant plus intenses en période de

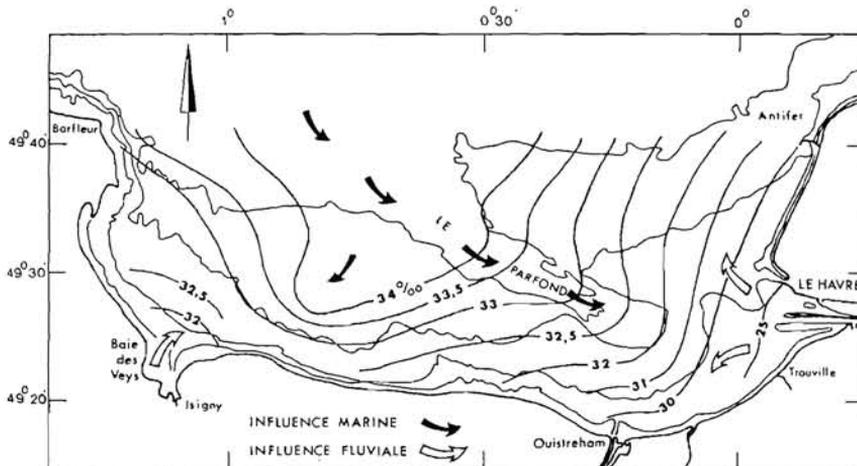


Figure 1.- Répartition des salinités à basse mer dans les eaux de surface, en période de crue et marée de vives-eaux (mars 1979).

* Laboratoire de Géologie marine, Université de Caen, 14032 Caen Cedex.

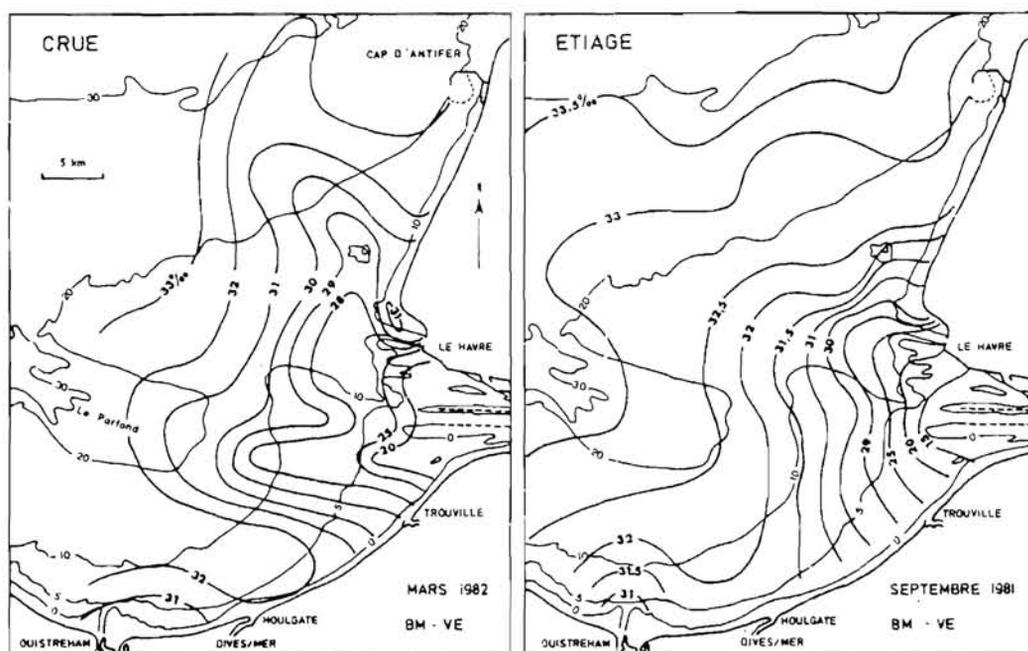


Figure 2.- Impact des apports d'eau douce sur la salinité des eaux de surface dans la partie orientale de la baie, en marée de vives-eaux, à basse mer, en période de crue (mars 1982) et d'étiage (septembre 1981).

crue. Une étude par modèle numérique montre que les gradients de densité, liés à la stratification saline, induisent une circulation résiduelle inverse en surface et en profondeur, dirigée vers l'estuaire au fond, vers le large en surface (Le Hir, 1980, Le Hir *et al.*, ce colloque). Cette configuration qui se rapproche d'une situation estuarienne a été confirmée par des mesures de courants (Le Hir et L'Hyavanc, 1985, ce colloque). L'hypothèse d'un écoulement homogène sur la verticale, qui est souvent faite pour les zones littorales à forts courants de marée, n'est donc pas toujours vérifiée. C'est là un élément à prendre en considération dans toute étude de dynamique des sédiments en suspension.

2.- DISPERSION DES APPORTS SOLIDES

2.1. Rôle du bouchon vaseux :

Dans les estuaires, le bouchon vaseux constitue un lieu de stockage provisoire pour les matières en suspension (M.E.S.) apportées par les rivières. Les études entreprises en Baie de Seine ont montré que les variations du débit fluvial jouent un rôle important sur la position et la masse totale du bouchon vaseux (Avoine *et al.*, ce colloque). Il reste cantonné dans les estuaires en période d'étiage durant laquelle la masse de M.E.S. stockée est maximale, avec un temps de résidence important, de quelques semaines à plusieurs mois selon les estuaires. En période de crue, le bouchon vaseux est déplacé vers l'aval, les M.E.S. sont partiellement expulsés en mer après un temps de résidence très bref, de l'ordre de quelques heures à quelques jours. Dans le cas de la Seine (Fig. 3), l'influence des eaux turbides sortant de l'estuaire à basse mer se fait sentir jusqu'à la dépression du Parfond, où les teneurs en M.E.S. sont de plusieurs dizaines de mg/l. La réalisation de profils verticaux montre que

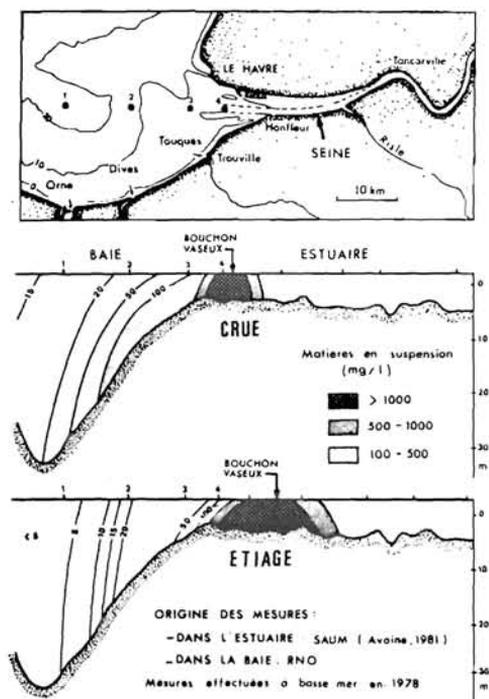


Fig. 3.- Extension vers le large du bouchon vaseux de la Seine à basse mer, en crue et en étiage.

l'expulsion du matériel estuarien n'est pas cantonnée aux eaux de surface mais intéresse toute la colonne d'eau.

2.2. Extension du panache d'eau turbide

La réalisation de coupes synoptiques en différentes conditions de marée et de débit fluvial a permis de déterminer l'extension du panache turbide formé par la sortie en mer des eaux de la Seine (fig. 4). Cette extension est étroitement corrélée avec la dessalure des eaux observée parallèlement (fig. 2), ce qui montre bien l'influence fluviale dans ce secteur de la baie, qui se traduit par un écoulement d'eau saumâtre très turbide vers l'ouest et vers le nord.

Les études microgranulométriques des suspensions dans le panache d'eau turbide ont permis de constater que le matériel situé au large présente des similitudes avec celui du bassin versant de la Seine (Dupont *et al.*, ce colloque). Il s'agit de particules très fines, dont la répartition suit assez bien celle des courbes isohalines. L'exportation de sédiments en suspension d'origine fluviale au domaine marin ne concerne donc que les éléments les plus fins; la fraction plus grossière, silto-sableuse, reste cantonnée dans l'estuaire.

2.3. Flux résiduel de sédiments en suspension :

Les mesures en point fixe des vitesses de courants et des charges en M.E.S., au cours de cycles semi-diurnes de marée, permettent de calculer le débit solide de flot et de jusant et d'en déduire le transit sédimentaire résultant, selon la méthode d'Englis et Allen (1957). Dans les estuaires macrotidaux, les chiffres obtenus n'ont qu'une valeur indicative, compte-tenu des flux verticaux se produisant à l'échelle de la marée lors des cycles érosion - sédimentation et des variations liées à la morphologie. Ce n'est plus vrai devant les embouchures et plus au large où les flux de M.E.S. peuvent être appréhendés avec une bonne précision, tout au moins en ce qui concerne les directions de transport. La fig. 5 reprend l'essentiel des données acquises devant l'estuaire de la Seine et vers le nord-est, en marée de vives-eaux, en crue et en étiage. Ces données, bien qu'incomplètes, permettent d'établir les principales caractéristiques des transits sédimentaires en suspension dans cette partie de la baie :

- en période de crue, l'expulsion de matériel en suspension depuis l'estuaire vers le domaine marin est générale, à l'exception du chenal Sud de la Seine à l'abri de l'influence directe des eaux fluviales. La dispersion des M.E.S. vers le large est importante sur toute la colonne d'eau. Par des fonds de - 15 à - 20 m, la tendance s'inverse près du fond, le transit des suspensions se fait en direction de l'estuaire, alors qu'il reste vers le large en surface. Ce schéma est tout à fait conforme à la circulation résiduelle étagée observée par Le Hir et L'Hyavanc (1985, ce colloque), particulièrement développée en période de crue lorsque la stratification saline est maximale en Baie de Seine orientale.

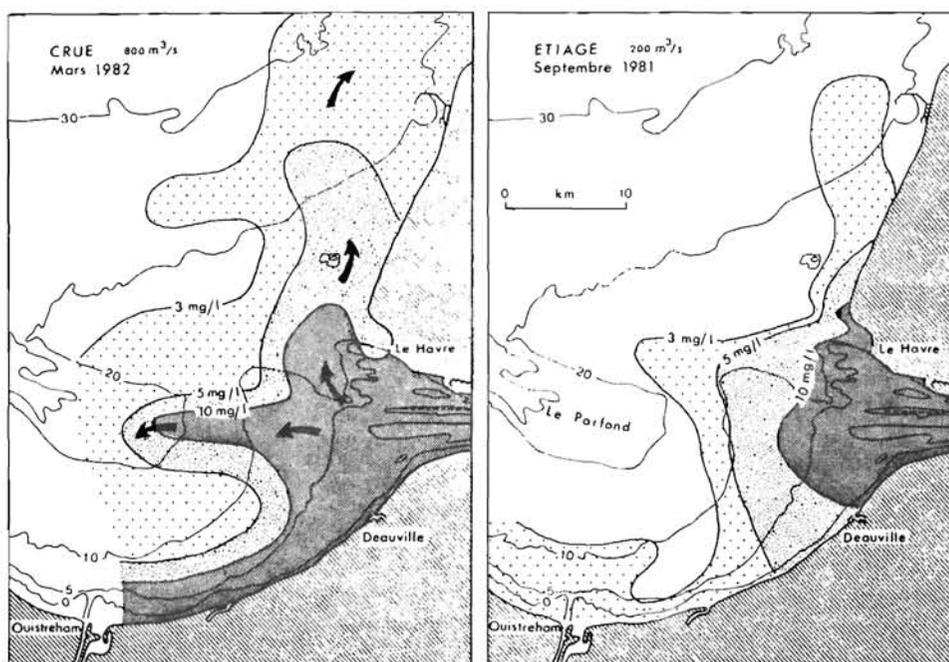


Figure 4.- Répartition des matières en suspension dans les eaux de surface de la partie orientale de la baie, en marée de vives-eaux, à basse mer, en crue et en étiage.

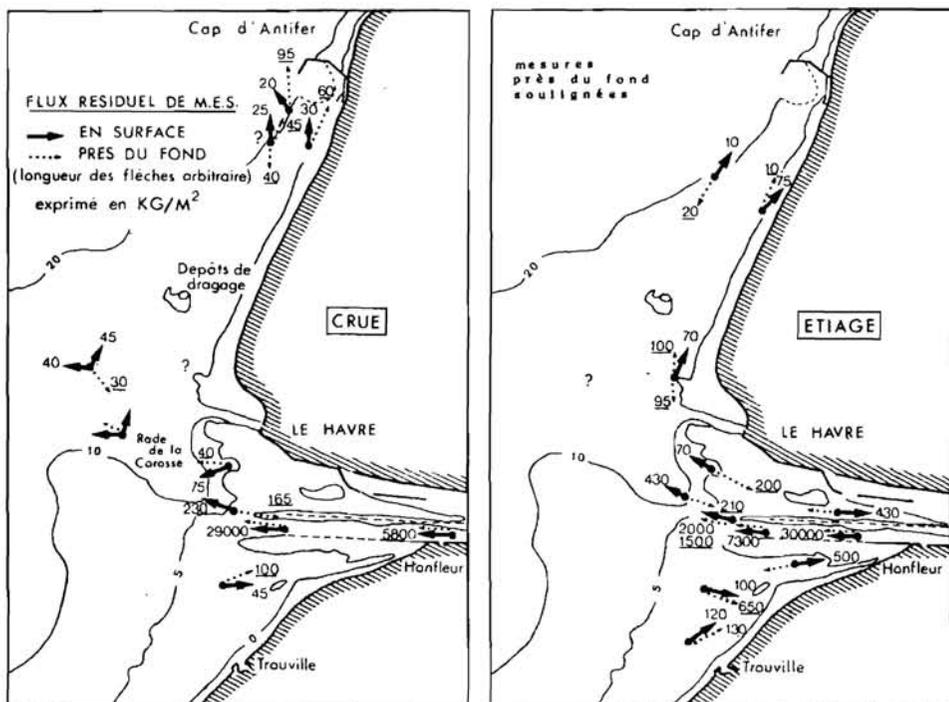


Figure 5.- Flux résiduels de sédiments en suspension dans la partie orientale de la baie, en marée de vives-eaux, en crue et en étiage.

- En période d'étiage, en dehors d'une très faible sortie de M.E.S. vers le large dans les eaux de surface, à l'aval du chenal principal et vers le nord-est, les flux résiduels s'inversent comparativement à la période de crue; les transits sédimentaires en suspension s'effectuent de la baie vers l'intérieur de l'estuaire, principalement dans les eaux de fond.

3.- INFLUENCE DES APPORTS FLUVIATILES SUR LA SEDIMENTATION.

3.1. Envasements dans les embouchures :

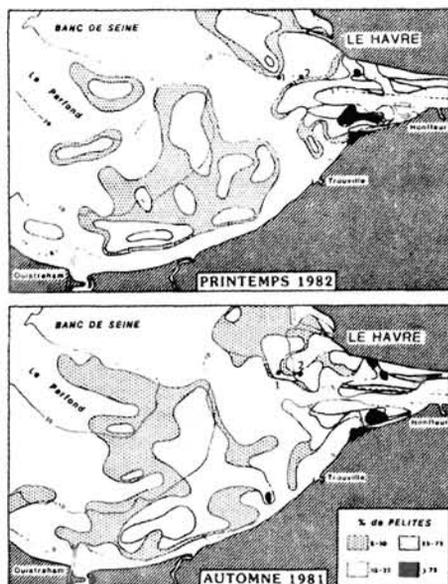


Fig. 6.- Répartition des zones d'envasement dans la partie sud-orientale de la baie, en crue (printemps 1982) et en étiage (automne 1981).

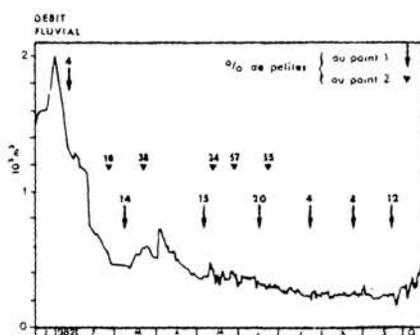


Fig. 7.- Evolution annuelle de l'envasement dans la partie Nord de l'embouchure de la Seine (localisation des points 1 et 2 figure 6).

La comparaison de cartographies de la couverture de dépôts meubles, réalisées en différentes périodes de l'année, permet d'apprécier l'étendue des envasements (% de pélites) et leurs fluctuations saisonnières (Avoine *et al.*, 1984a). La fig. 6 montre deux situations extrêmes, d'une part pendant l'automne 1981 par faible débit fluvial, d'autre part au printemps 1982 en période de crue. Il apparaît que dans l'embouchure de la Seine, les dépôts vaseux ont une extension maximale durant les crues, conséquence directe de l'expulsion du bouchon vaseux en mer et d'apports solides importants (Avoine, ce colloque). Ces mécanismes conduisent à des envasements temporaires devant le chenal principal et dans la partie aval des chenaux adjacents. Ces dépôts fins peuvent être aisément remobilisés par les houles de tempête. Ils régressent à la fin des crues lorsque leur alimentation n'est plus suffisante pour équilibrer leur érosion. Des envasements se produisent également dans les dépressions situées plus au large, principalement dans la partie aval de la rade de la Carosse, ainsi que dans l'avant-port du Havre. En période d'étiage, les dépôts fins régressent à l'aval de l'estuaire et se développent par contre davantage vers l'amont.

Le suivi sédimentologique régulier de deux points situés au Nord de l'embouchure (points 1 et 2, fig. 6 et 7), permet de préciser certains caractères de l'évolution des dépôts fins dans ce secteur. Un cycle annuel d'envasement-dévasement peut être mis en évidence, dont les principaux caractères sont :

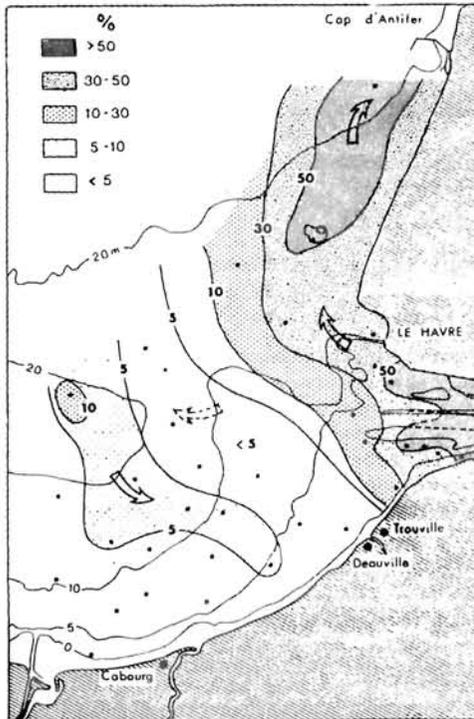
- 1) les faibles teneurs en pélites durant les crues, les apports étant expulsés à ce moment là plus au large ou déposés dans d'autres secteurs de l'estuaire;

- 2) l'envasement progressif observé au printemps corrélativement à la décroissance du débit fluvial;
- 3) le faible taux d'envasement en période d'étiage estival.

Cette évolution pourrait être attribuée à la remontée en direction de l'estuaire des vases fluides déposées en crue dans la rade de la Carosse, selon des mécanismes imprécisés en l'absence d'observations directes. L'action dominante des courants de flot, en provoquant un transport résiduel en suspension près du fond en direction de l'estuaire, peut être invoquée. De même, l'action des faibles houles sur les vases fluides peut entraîner leur déplacement rapide, sans remise en suspension, comme c'est le cas dans plusieurs embouchures étudiées récemment par Kendrick et Derbyshire (1983). Dans ce dernier cas, la colonne d'eau reste peu turbide et le déplacement peut se faire par périodes successives, ce qui semble également être le cas pour la Seine selon les données disponibles.

3.2. Contribution des métaux-traces :

L'impact des apports solides des fleuves sur la sédimentation fine en baie de Seine a été abordée par l'étude des oligo-éléments métalliques dont certains constituent des marqueurs de l'influence fluviale (Boust, 1981 ; Dubrulle, 1982 ; Avoine *et al.*, 1984b). Dans le cas de la Seine en particulier (fig. 8), cet impact est clairement mis en évidence dans les secteurs envasés de l'embouchure et vers le nord, où cette influence directe est relayée par l'existence du dépôt de dragages d'Octeville dont le matériel est issu de l'estuaire après sédimentation dans l'avant-port du Havre. Vers le large, l'influence estuarienne s'atténue rapidement, et reste cantonnée en deçà de la limite des panaches d'eaux turbides mis en évidence lors des campagnes hydrologiques (fig. 4) et par l'interprétation d'images satellite en termes de charge solide (Thomas, ce colloque). Vers l'ouest, les dépôts vaseux situés au large du Calvados (fig. 6) sont pauvres en métaux-traces d'origine anthropique et semblent plutôt issus de l'érosion de sédiments péliotiques anciens, à l'affleurement dans ce secteur (Avoine, 1981). Une contamination par les



apports fluviaux apparaît cependant au nord de la dépression du Parfond. Elle peut être liée à des apports de suspensions en crue, déposées dans la dépression, puis remontées vers la côte à la belle saison sous l'action des courants de flot dominants. A cette époque de l'année, l'introduction de matériel fin contaminé par les rejets de l'usine de retraitement de la Hague peut être observée dans les estuaires de la Baie de Seine (Auffret *et al.*, 1980), ce qui confirme le transit de sédiments en suspension depuis le domaine marin vers les estuaires en période d'étiage.

Fig. 8.- Part des apports d'origine estuarienne dans les sédiments fins de la partie orientale de la baie (exprimée en %; d'après Avoine *et al.*, 1984b).

CONCLUSION

Une première synthèse schématique de l'influence des apports fluviaux dans la partie orientale de la Baie de Seine peut maintenant être proposée à la lumière de l'ensemble des résultats (fig. 9). En période de crue, la dispersion des suspensions vers le large est importante, principalement dans les eaux de surface. Il est possible dans ces conditions qu'une partie du matériel quitte la baie par le Nord-Est en direction de la Manche orientale; ce transit est amplifié par les rejets de produits de dragage au nord du Havre. La circulation résiduelle étagée permet cependant un mouvement en direction de l'estuaire près du fond, dont l'ampleur reste probablement réduite. En période de faible débit fluvial, la tendance générale s'inverse, des sédiments fins pénètrent dans les estuaires depuis le domaine marin, principalement près du fond, sous l'action dominante des courants de flot.

Les transits sédimentaires en suspension à l'interface estuaire - baie apparaissent étroitement liés aux variations du débit fluvial. D'une manière générale, en Baie de Seine, du matériel sort des estuaires lors des crues, et entre en étiage. Cette caractéristique se retrouve dans de nombreux environnements estuariens, qu'ils soient microtidaux (Nichols, 1977; Schubel, 1974), ou macrotidaux (Castaing, 1981; Castaing et Allen, 1981). Les différences résident plutôt dans le fait qu'il y a similitude ou non entre les sédiments expulsés en mer et ceux introduits depuis le large. Dans les estuaires de la Baie de Seine, une partie des apports fluviaux est réintroduite après leur expulsion. Il faut cependant tenir compte des départs hors de la baie, et à l'inverse de l'introduction de matériel fin d'origine variée. En l'absence de mesures de longue durée, les connaissances actuelles ne permettent pas d'établir un bilan sédimentaire précis à l'échelle de la Baie de Seine.

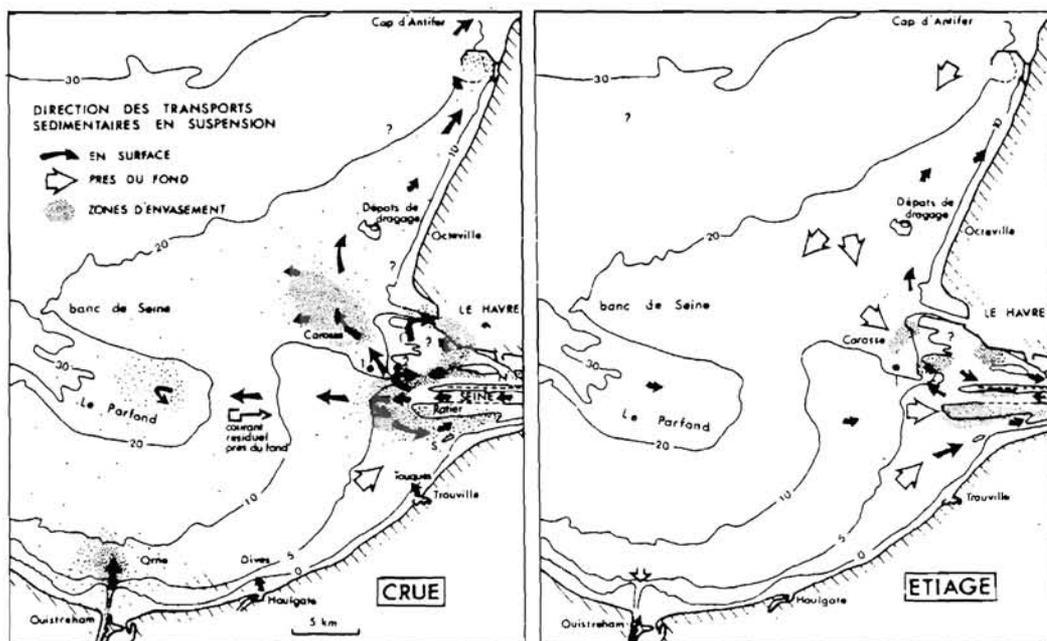


Figure 9.- Schéma synthétique des transits sédimentaires en suspension dans la partie orientale de la baie, en période de crue et d'étiage.

- Auffret J.P., Guéguéniat P., Lepy M.C., Patry J.P. & Saur H. (ce colloque).- Les radionucléides émetteurs gamma dans les sédiments de l'estuaire de l'Orne pendant les années 1977-1983.
- Avoine J. (1981).- L'estuaire de la Seine: sédiments et dynamique sédimentaire. Thèse de 3ème cycle, Caen, 236 p.
- Avoine J. (1985).- Evaluation des apports fluviaux dans l'estuaire de la Seine. Ce volume, N° 9.
- Avoine J., Allen G.P., Nichols M., Salomon J.C. & Larssonneur C. (1981).- Suspended sediment transport in the Seine estuary, France : effects of man-made modifications on estuary-shelf sedimentology. In : Nichols M.M. & Allen G.P. (eds). Estuary-shelf interrelationships, Mar. Geol., sp. iss., vol. 40, n° 1/2, p. 119-137.
- Avoine J., Boust D., Crevel L., Dubrulle L. & Guéguéniat P. (1984a).- Sédiments et dynamique sédimentaire en Baie de Seine. XVIIIèmes Journées de l'Hydraulique, Marseille, p. I.3.1. - I.3.8.
- Avoine J., Boust D. & Guillaud J.F. (1984b).- Flux et comportement des contaminants dissous et particulaires dans l'estuaire de la Seine (France). Symp. on Contaminant Fluxes through the Coastal Zone, Nantes, Rap. 2., ICES Ed., à paraître.
- Avoine J., Dubrulle L. & Larssonneur C. (1985).- La dynamique sédimentaire dans les estuaires de la Baie de Seine - conséquences sur l'environnement. Ce volume, N° 16.
- Boust D. (1981).- Les métaux-traces dans l'estuaire de la Seine et ses abords. Thèse de 3ème cycle, Caen, 186 p.
- Castaing P. (1981).- Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde. Thèse Bordeaux, 530 p.
- Castaing P. & Allen G.P. (1981).- Mechanisms controlling seaward escape of suspended sediment from the Gironde; a macrotidal estuary in France. In : Nichols M.M. & Allen G.P. (eds.). Estuary-shelf interrelationships, Mar. Geol., sp. iss., vol. 40, n° 1/2, p. 101-118.
- Crevel L. (1983).- Contribution à l'étude de la dynamique sédimentaire dans la partie nord-orientale de la Baie de Seine. Thèse de 3ème cycle, Caen, 164 p.
- Dupont J.P., Lafite R. & Lamboy M. (1985).- Contribution de l'étude des suspensions à la compréhension des mécanismes hydrosédimentaires estuariens et littoraux en Manche centrale et orientale. Ce volume, N° 12.
- Guillaud J.F. (1978).- Interprétation des résultats du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. Point d'appui Baie de Seine. Rap. ronéot., CNEXO, 85 p.
- Inglis C.C. & Allen F.H. (1957).- The regime of the Thames estuary as affected by currents, salinity and river flow. Proc. Inst. Civ. Engin., vol. 7, p. 827-868.
- Jeandel C., Martin J.M. & Thomas A.J. (1980).- Origine et comportement des isotopes du plutonium et du césium 137 dans l'estuaire de la Seine. C.R. Acad. Sci., Paris, t. 291, p. 125-128.
- Kendrick M.P. & Derbyshire B.V. (1983).- Factors affecting the supply and distribution of sediment in some tropical ports. In : Dynamics of Turbid Coastal Environments, Can. J. Fish. Aquat. Sci., vol. 40 (suppl. 1), p. 35-43.
- Le Hir P. (1980).- Calcul par modélisation numérique de la structure verticale des courants et application à la baie de Seine. Thèse de Docteur Ingénieur, Brest, 122 p.

- Le Hir P. & L'Hyavanc J. (1984).- Etude des circulations moyennes en baie de Seine à partir de mesures de longue durée. XVIIIèmes Journées de l'Hydraulique, Marseille, p. IV.4.1. - IV.4.5.
- Le Hir P. & L'Hyavanc J. (1985).- Observations de courant en Baie de Seine. Ce volume, N° 1.
- Le Hir P., Salomon J.C., Le Provost C., Chabert d'Hières G. & Mauvais J.L. (1985).- Approche de la circulation résiduelle en Baie de Seine. Ce volume, N° 6.
- Nichols M.M. (1977).- Response and recovery of an estuary following a river flood. J. Sed. Petrol., vol. 47, n° 3, p. 1171-1186.
- Schubel J.R. (1984).- Effects of tropical storm Agnes on the suspended solids of the northern Chesapeake bay. In : Gibbs R.J. (ed.). Suspended solids in water, Plenum Press, New York, p. 113-132.
- Thomas Y.F. (1985).- Etude des transports de matières en suspension en Manche par emploi de l'imagerie CZCS. Ce volume, N° 15.