

LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DANS LES ESTUAIRES DE LA BAIE DE SEINE - CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT.

AVOINE J. *, DUBRULLE L. *, LARSONNEUR C. *.

La connaissance de la dynamique sédimentaire dans les estuaires permet d'appréhender les processus d'envasement et de colmatage dont ces milieux sont le siège. Elle contribue aussi à la compréhension des caractères physico-chimiques et biologiques de ces environnements complexes qui représentent des zones de transit, de transfert et de stockage. La marée constitue à côté du débit fluvial un paramètre fondamental du fonctionnement estuarien et les nombreux travaux accomplis ces dernières années dans le monde conduisent à distinguer les estuaires macrotidaux et microtidaux. Dans ces derniers, bien représentés sur la côte est des Etats-Unis, l'influence de la marée est faible, la stratification des eaux est très marquée et les écoulements de densité contrôlent la circulation résiduelle orientée vers l'aval en surface et vers l'amont au fond. Dans les estuaires macrotidaux la marée joue un rôle essentiel, d'une part en créant de forts remaniements des fonds, d'autre part en provoquant des concentrations de charges turbides indépendantes de la circulation de densité.

Avec un marnage qui varie de 3m à 7,50m la Baie de Seine est un milieu macrotidal où débouchent plusieurs estuaires, les principaux étant celui de la Seine, celui de l'Orne et le système double de la baie des Veys (voir carte de situation au début du volume). Les nombreux travaux dont ils ont été l'objet récemment (Avoine, 1981, 1982; Avoine *et al.*, 1981; Boust, 1981; Dubrulle et Larsonneur, 1984, notamment) conduisent à présenter ici une synthèse du fonctionnement estuarien en Baie de Seine. Après avoir dégagé les traits essentiels de la dynamique sédimentaire, nous examinerons quelques problèmes liés à l'aménagement et à la sauvegarde de l'environnement.

1.- LA DYNAMIQUE DES EAUX.

L'onde sinusoïdale de marée qui se propage en Baie de Seine se déforme sur les petits fonds par frottement de telle sorte que la courbe devient asymétrique; la durée du montant est alors plus courte que celle du perdant. En outre, une stabilisation du niveau marin se produit pendant 2h à 2h30 autour de la pleine mer. C'est en vives-eaux que ces caractéristiques apparaissent le mieux. Au cours de la propagation de l'onde de marée dans les estuaires, la déformation acquise dans la baie s'accroît fortement vers l'amont (fig. 1). L'élévation rapide du niveau de l'eau dans les chenaux est responsable du mascaret encore bien visible dans la baie des Veys mais très atténué dans les autres estuaires du fait des aménagements. Parallèlement, le rétrécissement des sections vers l'amont, la réflexion de l'onde sur les berges et le frottement sur le fond modifient conjointement l'amplitude de la marée. Celle-ci augmente légèrement dans la partie aval des estuaires avant de décroître progressivement vers l'intérieur (fig. 1A). Selon la terminologie de Le Floch (1961) il s'agit donc d'estuaires hypersynchrones. Il faut encore noter que sur l'Orne et les rivières de la baie des Veys, des aménagements transversaux ont fait disparaître la dynamique naturelle de l'estuaire amont.

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

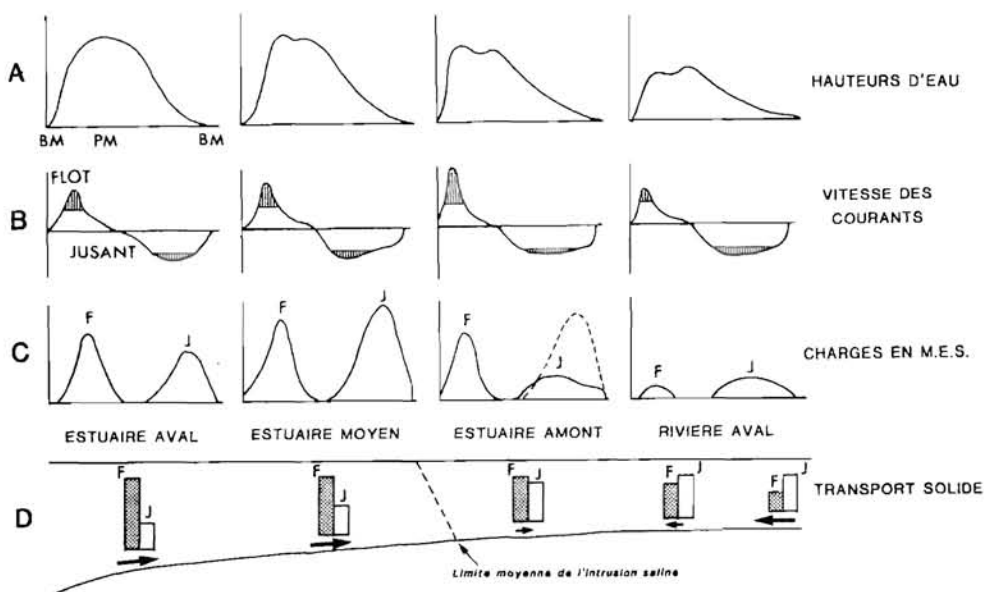


Fig. 1 - Evolution schématique des principaux paramètres physiques dans les estuaires macrotidaux de la baie de Seine - Conditions de vives-eaux et d'étiage. (F: flot; J: jusant).

L'asymétrie de la courbe de marée s'accompagne d'une asymétrie des courbes de vitesse de courant (fig. 1B). La réduction importante de la durée du montant induit une augmentation rapide des courants de flot après la basse mer. Par contre, le jusant s'établit progressivement après la longue étale de pleine mer. D'aval en amont on relève d'abord une amplification des courants de flot puis leur diminution graduelle (fig. 1B). Par ailleurs, la figure 1 montre que les courants de flot atteignent leur maximum pour des hauteurs d'eau plus élevées que celles correspondant aux maxima de courants de jusant. Ces derniers se manifestent donc essentiellement dans les chenaux principaux alors qu'au flot de rapides courants s'exercent dans les chenaux secondaires, sur leurs berges et les bancs adjacents. Ces caractéristiques également observées dans la mer des Wadden (Postma, 1961) sont particulièrement nettes dans l'estuaire de la Seine où l'effet de chasse du jusant a été amplifié artificiellement par des digues (Avoine *et al.*, 1981). Il faut ajouter que les cycles lunaires, vives-eaux-mortes-eaux et les variations du débit fluvial, altèrent le schéma général de fonctionnement décrit ci-dessus et applicable à une situation d'étiage et de vives-eaux. Lorsque l'amplitude décroît, l'asymétrie de l'onde de marée s'estompe et les vitesses des courants de flot et de jusant deviennent comparables pour des valeurs plus faibles. Par ailleurs, l'augmentation du courant des rivières lors des crues, accroît l'effet du jusant et réduit celui du flot.

La salinité des eaux estuariennes varie longitudinalement et verticalement en fonction de la marée et du débit fluvial. Comme l'ont montré Allen *et al.*, (1980, 1982) pour différents estuaires macrotidaux, la marée, par la turbulence qu'elle induit, exerce un rôle essentiel sur le mélange eaux douces-eaux salées. Aussi, ce mélange s'atténue-t-il en mortes-eaux par faibles courants; il en résulte alors une stratification beaucoup plus marquée qu'en vives-eaux. De plus, les gradients de salinité se réduisent en période d'étiage, lorsque les eaux marines pénètrent en masse dans les estuaires, tandis qu'en crue se forme un coin salé, particulièrement bien développé en mortes-eaux. Durant les périodes de fort débit, en raison du va-et-vient de l'intrusion saline au cours de la marée, il faut également souligner que les estuaires se trouvent entièrement en eau douce à basse mer.

Le calcul de la circulation résiduelle déduite des mesures eulériennes de courants dans les chenaux des trois estuaires, et d'un modèle numérique pour la Seine (Salomon, 1981), fait apparaître d'une manière générale un mouvement résultant vers l'aval, à toutes profondeurs. Par contre, une circulation étagée avec des courants résiduels vers l'amont, près du fond, et vers l'aval, en surface, prend place dans les embouchures. Le point nodal de circulation des eaux se situe donc la plupart du temps à ce niveau voire même plus au large, c'est-à-dire très en aval de la limite de l'intrusion saline. Ce schéma ne se rencontre pas dans les estuaires microtidaux où la circulation résiduelle étagée induite par les courants de densité, s'observe dans toute l'étendue de l'intrusion saline (Officer, 1975). Cette différence fondamentale est liée au régime macrotidal et au fait que les courants de jusant sont concentrés dans le chenal principal. Au flot, nous avons vu que le maximum de courant s'établit à un niveau d'eau plus élevé de telle sorte que la circulation résiduelle s'oriente vers l'amont, au-dessus des berges. Ce schéma simple se complique dans l'embouchure de la Seine qui comporte plusieurs chenaux. Là, le chenal central de navigation prolongeant le cours du fleuve constitue un chenal de jusant avec circulation résiduelle orientée vers l'aval, tandis que les chenaux adjacents, au nord et au sud, forment des chenaux de flot à résultante amont. Cette ambivalence prononcée a été largement amplifiée par les travaux d'endiguage (Avoine *et al.*, 1981). La circulation résiduelle dans les estuaires macrotidaux comme ceux de la baie de Seine présente donc des caractères plus complexes que ceux décrits en régime microtidal, d'autant plus que le stockage et le relargage d'eau en cours des cycles lunaires successifs de vives-eaux et de mortes-eaux pourrait, selon Allen *et al.* (1980, 1982), être à l'origine de mouvements résiduels importants.

2.- LA DYNAMIQUE DES SEDIMENTS EN SUSPENSION

Les études réalisées dans les trois estuaires considérés mettent clairement en évidence le rôle fondamental de la marée sur la dynamique sédimentaire, notamment sur la remise en suspension des dépôts et sur le piégeage des matières en suspension (M.E.S.). Plusieurs échelles de temps sont à considérer : les cycles semi-diurnes, les cycles lunaires vives-eaux - mortes-eaux et les cycles saisonniers liés aux variations du débit fluvial.

2.1 - Dynamique sédimentaire au cours d'un cycle de marée

Une étroite corrélation peut être mise en évidence entre les variations de la vitesse des courants de marée et la charge en M.E.S. près du fond (fig. 1B et 1C). Schématiquement, le maximum de M.E.S. se rencontre lors des pointes de courant de flot et de jusant, lorsque les vitesses mesurées à 1m du fond (U_{100}) dépassent la vitesse critique d'érosion des sédiments (U_c). La turbidité augmente progressivement tant que $U_{100} > U_c$ et décroît lorsque $U_{100} < U_c$. U_c varie avec la nature granulométrique des fonds. Dans le cas de la Seine qui a fait l'objet d'études détaillées, la fraction silto-argileuse est remise en suspension lorsque U_{100} dépasse 60 cm/s. L'érosion maximum se produit lorsque U_{100} atteint 100 cm/s ce qui correspond à la remise en suspension des sables fins largement dominants dans cet estuaire (Avoine, 1981).

Dans le détail, le rapport entre la charge en M.E.S. et la vitesse des courants n'est pas linéaire d'amont en aval des estuaires (fig. 1C). A l'aval, la dominance des courants de flot s'accompagne de charges turbides plus importantes au montant qu'au perdant ; la relation est alors respectée. Dans la partie moyenne, l'augmentation des vitesses de flot due au raidissement de l'onde de marée provoque de fortes remises en suspension mais les charges relevées au jusant sont supérieures malgré des courants de moindre vitesse. Dans cette portion de l'estuaire, l'addition d'une seconde source de M.E.S. provenant de remaniements amont perturbe la relation turbidité-vitesse de courants. Dans la partie amont, la

courte durée du flot, malgré des vitesses encore amplifiées, entraîne des turbidités moindres. Au jusant, les observations varient selon les estuaires. Avec une tranche d'eau relativement élevée et de faibles vitesses comme dans le cas de la Seine, les teneurs en M.E.S. sont réduites. Par contre, pour l'Orne et la baie des Veys, l'étroitesse de l'estuaire amont engendre, sous faible tranche d'eau, des turbidités importantes, indépendantes de la vitesse des courants. Au-delà de l'intrusion saline, dans la partie fluviale, vitesses de courants et charges en M.E.S. décroissent parallèlement.

La remise en suspension des sédiments par les courants de marée est à l'origine d'un bouchon vaseux, très turbide, d'autant mieux développé que les vitesses sont élevées. La figure 2A représente l'évolution schématique de ce bouchon vaseux au cours d'un cycle de marée de vives-eaux. Il se produit des phénomènes de gonflement et de dégonflement en relation avec la fluctuation des vitesses de courant.

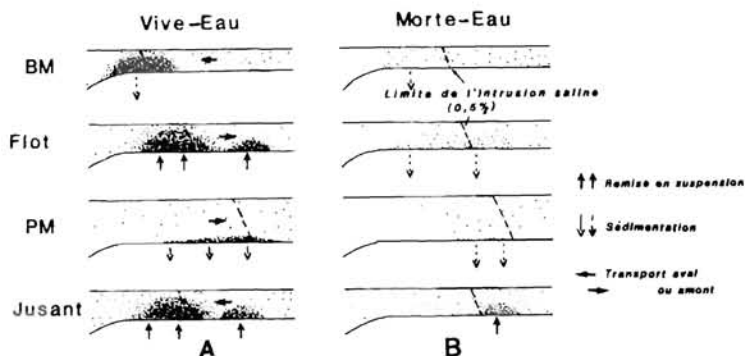


Fig. 2.- Evolution schématique du bouchon vaseux au cours de la marée, en vives-eaux et en mortes-eaux dans les estuaires macrotidaux de la Baie de Seine.

De fortes remises en suspension ont lieu au cours du flot et du jusant, parfois très en amont de l'intrusion saline comme cela a également été observé dans d'autres estuaires (Allen *et al.*, 1977; Gallenne, 1974; Vale & Sundby, 1984). Une grande partie des suspensions se décante durant l'étalement de pleine mer de telle sorte que le bouchon vaseux disparaît presque totalement; ce phénomène montre bien qu'il est étroitement lié aux remises en suspension. Au cours du cycle semi-diurne, la masse totale de M.E.S. varie dans un rapport de 1 à 10 environ entre la pleine mer et le maximum de turbidité au cours du flot. Cette évolution cyclique, calquée sur celle des courants, s'accompagne d'un mouvement de va-et-vient au cours de la marée, de 10 à 20 km selon la dimension des estuaires considérés.

Ce modèle d'évolution du bouchon vaseux est largement représenté dans les estuaires macrotidaux. Des schémas comparables ont en effet été décrits dans d'autres estuaires français (Allen, 1972; Allen *et al.*, 1977, 1980, 1982; Beslier, 1982; Gallenne, 1974), en Grande-Bretagne, dans la Severn (Kirby & Parker, 1983) et le Tay (Dobereiner & Mc Manus, 1983), au Portugal dans le Tage (Vale et Sundby, 1984)... Compte tenu de la grande variabilité de la masse de sédiments en suspension au cours de la marée dans les estuaires macrotidaux, ces derniers diffèrent fondamentalement des environnements microtidaux où la masse du bouchon vaseux n'évolue presque pas à cette échelle de temps, sauf près du fond où se produisent des remises en suspension locales (Schubel, 1968, 1969). La turbulence restant faible, les eaux plus chargées du fond ne se mélangent pas avec la tranche d'eau supérieure. C'est tout différent en régime macrotidal où apparaissent des profils verticaux de turbidité homogènes en période de forts courants (Avoine, 1981; Kirby et Parker, 1983).

En étiage, lorsque l'influence des marées est maximum, l'évaluation des charges solides transportées au cours du flot et du jusant montre une nette prédominance du flot dans la partie aval et moyenne des estuaires ce qui entraîne une remontée des sédiments fins vers l'amont, au-delà de la limite de l'intrusion saline (fig. 1D). Ce résultat est une conséquence de l'asymétrie de l'onde de marée et du niveau élevé du plan d'eau lorsque s'établissent les courants maximaux de flot. Un type de transport analogue, dû à l'asymétrie flot-jusant, a déjà été décrit par Postma (1961) en mer des Wadden et Croën (1967) en a donné une description théorique. Il se manifeste également en régime microtidal, notamment dans les marais de Floride, où une asymétrie en faveur de jusant induit au contraire une résultante de transport vers l'aval (Boon, 1974, 1975). D'autres facteurs combinés à la marée, telle la morphologie, interviennent également, mais d'une manière générale, dans les estuaires macrotidaux, la tendance est au transport résultant vers l'amont. Allen *et al.* (1980, 1982) voient dans cette caractéristique une explication possible du piégeage des sédiments fins et du maintien du bouchon vaseux dans le domaine estuarien. Ce mécanisme oppose les environnements macrotidaux aux estuaires microtidaux dans lesquels la formation du bouchon vaseux est principalement liée à la concentration des particules en suspension au niveau du point nodal de la circulation résiduelle (Nichols et Poor, 1967).

2.2 - Influence des cycles lunaires vives-eaux-mortes-eaux

Les cycles vives-eaux-mortes-eaux se traduisent par des variations d'amplitude de 3 à 8m et des variations parallèles de la vitesse des courants de marée qui se reflètent sur la capacité d'érosion des sédiments. Ainsi, en mortes-eaux, la charge maximale en M.E.S. peut-elle être 20 fois moins importante qu'en vive-eaux (fig. 2B). Le bouchon vaseux, alors peu développé et peu évolutif, est comparable à celui rencontré dans les estuaires mésotidaux (Vale et Sundby, 1984). Ces variations cycliques de la masse de sédiments en suspension ne se rencontrent pas en régime microtidal.

Les cycles lunaires sont à l'origine de cycles sédimentaires importants en régime macrotidal. Les études entreprises, notamment sur la Gironde (Allen, 1972; Allen *et al.*, 1975, 1977) et sur la Loire (Gallenne, 1974), ont conduit leurs auteurs à mettre en évidence la formation de crème de vase durant les mortes-eaux, période de sédimentation, et son érosion au cours des vives-eaux. Cependant, des lentilles turbides semblables à celles décrites dans ces estuaires n'ont pas été observées dans ceux de la Baie de Seine. Il semble que la nature dans l'ensemble plus sableuse des sédiments en soit la cause. Ce matériel relativement grossier, introduit par la mer, est largement prédominant sur les apports fluviaux fins de telle sorte qu'il se crée un bouchon silto-sableux. C'est là une différence notable entre les estuaires de la Baie de Seine et la plupart des autres estuaires macrotidaux connus.

2.3 - Influence des variations du débit fluvial

Les variations de débit fluvial jouent un rôle important dans la dynamique sédimentaire estuarienne, en particulier sur la position, l'extension et la concentration du bouchon vaseux (fig. 3A). En étiage, ce dernier reste cantonné dans les estuaires et la masse de sédiments en suspension est maximale.

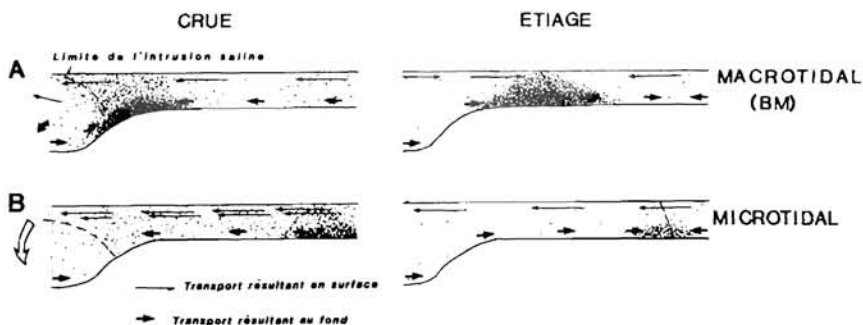


Fig. 3 - Extension schématique du bouchon vaseux, en étiage et en crue, en régimes macrotidal et microtidal.

Lorsque le débit fluvial augmente, le bouchon vaseux est déplacé vers l'aval et partiellement expulsé en mer ; la quantité de M.E.S. stockée en estuaire décroît donc fortement. En termes de charges solides, les courants de jusant sont alors prédominants sur les courants de flot et leur résultante s'oriente vers l'aval dans tout l'estuaire.

Ce schéma s'oppose à celui rencontré dans les environnements microtidaux (fig. 3B), où le bouchon vaseux est d'autant mieux développé que le débit fluvial est élevé (Schubel, 1974 ; Nichols, 1977). En étiage, le bouchon vaseux, très peu turbide, est situé en amont, à la limite de l'intrusion saline, dans la zone du point nodal de circulation. Lors des crues, le système est fortement déséquilibré. Les apports solides et l'érosion des fonds due aux courants de jusant fortement amplifiés par le débit élevé de la rivière, sont à l'origine de la formation d'un bouchon vaseux très turbide qui se maintient dans la même zone que précédemment c'est-à-dire très en amont de l'intrusion saline rejetée alors à l'aval. Selon les études de Schubel (1974) et Nichols (1977), le milieu retrouve ensuite son équilibre en 4 à 8 semaines.

3 - CONSEQUENCES SUR L'ENVIRONNEMENT

Les processus sédimentaires qui viennent d'être décrits ont de nombreuses répercussions sur l'environnement estuarien et les abords marins proches. Les principaux problèmes qui se présentent en Baie de Seine concernent la maintenance des chenaux de navigation, les ensassements intertidaux, subtidaux et portuaires, les problèmes de pollution.

À l'intérieur des estuaires, les mouvements sédimentaires à l'échelle d'une marée sont considérables. La remise en suspension maximale lors du flot équivaut en effet à une érosion de 1cm sur l'ensemble du domaine fluvio-marin. C'est, nous l'avons vu, le bouchon vaseux qui contrôle la sédimentation, tout particulièrement dans les ports et les chenaux.

Dans le cas de la Seine par exemple, des ensassements importants se produisent devant les écluses du canal de Tancarville en période d'étiage, lorsque le bouchon vaseux occupe la partie amont de l'estuaire, à 25 km de l'embouchure environ. L'ensassement du port de Honfleur est un phénomène plus constant dû à sa position aval, dans la zone de balancement du bouchon vaseux. La difficulté de maintenir une souille en amont de Honfleur a fait renaître un vieil adage : plus on drague profond, plus il y a sédimentation. En l'occurrence, des expériences mettant en oeuvre des traceurs radioactifs ont confirmé la remise en suspension

de sédiments sableux situés à l'aval de la souille et leur transfert vers l'amont, induisant le colmatage observé (Avoine *et al.*, 1984b). D'ailleurs la tendance au colmatage est générale dans les estuaires de la Baie de Seine fortement alimentés à l'aval par des apports marins sous l'action des houles et des courants de flot très actifs en période d'étiage. On évalue notamment à plus de 4 millions de m³ les dépôts annuels dans l'estuaire de la Seine, la contribution fluviale ne représentant qu'à peine le 1/6 de cet important volume. Dans le cadre de leur évolution postglaciaire, les estuaires considérés sont aujourd'hui séniles, la tendance est à la formation d'un chenal étroit, peu profond, cheminant entre des zones hautes, progressivement hors d'eau. Malgré une accentuation de cet évolution par endiguages successifs, la Seine apparaît comme le moins évolué des systèmes estuariens étudiés en offrant encore des surfaces naturelles propices à l'accumulation d'importants volumes de sédiments. A l'opposé, le colmatage estuarien est presque total en baie des Veys.

La sédimentation vaseuse qui s'accompagne de pollutions chimiques ou organiques est étroitement liée aux variations du débit fluvial. En crue, le bouillon vaseux est partiellement expulsé hors des estuaires, du matériel sédimentaire est évacué en mer. Au contraire en étiage, les transports prédominants s'effectuent vers l'amont. L'utilisation d'oligoéléments métalliques comme traceurs permet de caractériser ces mouvements ; l'estuaire de l'Orne en donne un bon exemple en considérant le nickel comme marqueur des suspensions (fig. 4).

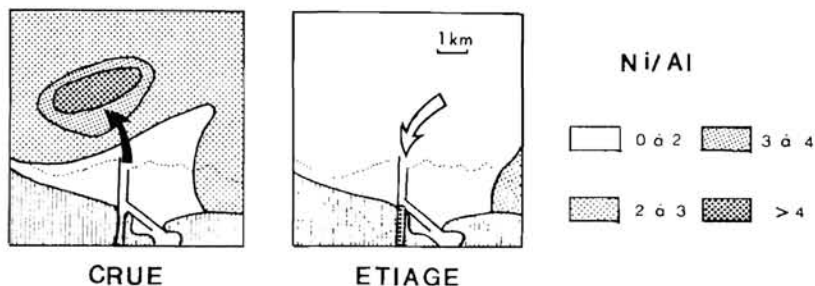


Fig. 4 - Répartition des teneurs en nickel normalisées à l'aluminium dans les sédiments de l'embouchure de l'Orne, en crue et en étiage.

Il apparaît que durant les crues les sédiments s'accumulent dans l'avant-port de Caen-Ouistreham, dans le chenal et dans le domaine marin proche. Pendant les longs étiages, le matériel déposé devant l'embouchure est progressivement remobilisé, mélangé, pour une partie dispersé en Baie de Seine, une autre partie étant réintroduite dans l'estuaire accompagnée de particules marquées par des radionucléides industriels provenant du large (Auffret *et al.*, ce colloque). Dans l'estuaire de la Seine, des envasements comparables se produisent dans le port du Havre et dans l'embouchure (Avoine et Crevel, ce colloque). Quant à ceux qui se manifestent en baie des Veys, ils ont un impact important sur la qualité sanitaire des parcs à huîtres de la région de Grandcamp (Dubrulle et Larssonneur, 1984); ils sont schématisés sur la figure 5. En crue, des sédiments vecteurs de polluants sont transportés en mer avec le jusant, puis partiellement réintroduits dans la baie avec le flot. Par décantation autour de la pleine mer, des dépôts s'effec-

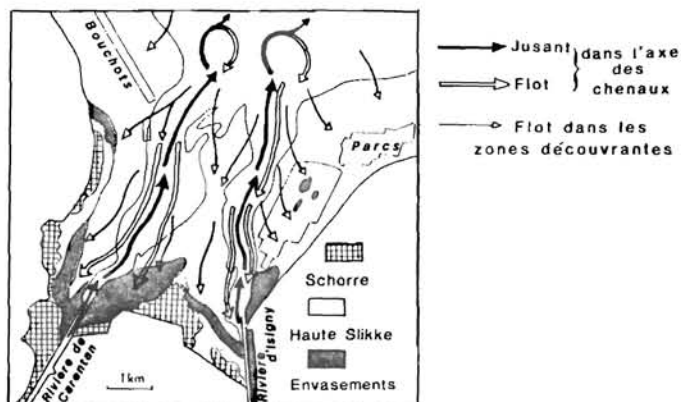


Fig. 5 -

Représentation schématique du fonctionnement hydrosédimentaire de la baie des Veys.

tuent dans les zones abritées, en particulier sur les parcs à huîtres les plus internes. Sous l'influence des courants de marée et des houles, le dé-senvasement se produit en périodes de faibles débits et le matériel fin est en partie repoussé vers l'amont dans les chenaux et sur les slikkes adjacentes; il pourra être repris par la crue suivante. Il faut souligner que dans cette baie, les importants travaux de poldérisation ont presque entièrement fait disparaître les vasières susceptibles de recevoir les charges turbides et de les stocker. Le double système estuarien est pratiquement réduit aux chenaux aménagés des rivières de telle sorte que son influence s'est accrue sur le proche horizon marin.

Un dernier problème important sur le plan pratique concerne le temps de résidence de l'eau et des suspensions dans les estuaires. Compte tenu du degré de colmatage des estuaires, des endiguements et de la dynamique du bouchon vaseux en fonction des variations du débit fluvial, les temps de résidence sont très courts en période de crue, de l'ordre de quelques heures à quelques jours, alors qu'ils atteignent quelques semaines à plusieurs mois en étiage. Ces données sont à prendre en considération dans l'établissement des bilans massiques de contaminants. Il convient également d'évoquer le rôle du régime macrotidal dans certains mécanismes chimiques au niveau des estuaires. En période d'étiage, il est classique d'observer un enrichissement de la phase dissoute pour de nombreux métaux, au niveau du bouchon vaseux, résultant de la remise en suspension qui provoque un relargage d'une fraction des métaux à l'état particulaire et favorise le mélange des eaux interstitielles avec les eaux de l'estuaire. Ce phénomène a été particulièrement bien décrit dans la Seine (Boust, 1981; Avoine *et al.*, 1984a). En période de crue, l'intensité des apports fluviaux et les très courts temps de résidence expliquent la relative homogénéité observée dans l'ensemble de l'estuaire. Le caractère macrotidal des milieux considérés, par les turbulences et les brassages qu'il entraîne, conduit enfin à des taux de pollution relativement modérés malgré l'importance des apports.

3 - CONCLUSION

Les estuaires de la baie de Seine présentent des caractères typiquement macrotidaux avec :

- de fortes turbulences induites par les courants de marée;
- une circulation résiduelle orientée vers l'aval dans les chenaux principaux et vers l'amont dans les zones latérales;
- un bouchon "vaseux" de nature principalement silto-sableuse dont la dimension et la concentration suivent étroitement le cycle de marée.

Son développement est plus important en étiage, alors qu'il est partiellement évacué en crue;

- une tendance au transport sédimentaire vers l'amont sous l'action dominante du flot due à l'asymétrie de l'onde de marée. La conséquence est un colmatage progressif résultant principalement d'apports marins, à dominante sableuse.

C'est en étiage et en vives-eaux que la plupart de ces caractéristiques ressortent le plus nettement.

- Allen G.P. (1972).- Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. Thèse, Bordeaux, 314 p.
- Allen G.P., Sauzay G., Castaing P. & Jouanneau J.M. (1975).- Transport and deposition of suspended sediment in the Gironde estuary, France. In : Willey M. (ed). Estuarine processes, t.2, Academic Press, New-York, p. 63-79.
- Allen G.P., Castaing P. & Jouanneau J.M. (1977).- Mécanismes de remise en suspension et de dispersion des sédiments fins dans l'estuaire de la Gironde. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XIX, n° 2, p. 167-176.
- Allen G.P., Salomon J.C., Bassoullet P., Du Penhoat Y. & De Grandpré C. (1980).- Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. Sediment. Geol., vol. 26, p. 69-90.
- Allen G.P., Castaing P. & Salomon J.C. (1982).- Effets de la marée sur le mouvement de l'eau et des sédiments dans les estuaires. Mém. Soc. Géol. Fr., N.S. n° 144, p. 5-16.
- Auffret J.P., Guéguéniat P., Lepy M.C., Patry J.P. & Saur H. (1985).- Les radionucléides émetteurs gamma dans les sédiments de l'estuaire de l'Orne pendant les années 1977-1983. Ce volume N° 21.
- Avoine J. (1981).- L'estuaire de la Seine : sédiments et dynamique sédimentaire. Thèse 3ème cycle, Caen, 236 p.
- Avoine J. (1982).- Mécanismes contrôlant la dynamique des sédiments en suspension dans l'estuaire de la Seine. Mém. Soc. Géol. Fr., N.S. n° 144, p. 17-25.
- Avoine J., Allen G.P., Nichols M., Salomon J.C. & Larssonneur C. (1981).- Suspended sediment transport in the Seine estuary, France : effect of man-made modifications on estuary-shelf sedimentology. In : Nichols M.M. & Allen G.P. (eds). Estuary-shelf interrelationships, Mar. Geol., vol. 40, n° 1/2, p. 119-137.
- Avoine J., Boust D. & Guillaud J.F. (1984a).- Flux et comportement des contaminants dissous et particulaires dans l'estuaire de la Seine (France). Proc. Symp. on contaminant fluxes through the coastal zone, Nantes, Rap. 2 (à paraître).
- Avoine J., Caillot A., Hoslin R., Larssonneur C., Massias J. & Quesney M. (1984b).- Mise en évidence des mouvements sédimentaires en Baie de Seine à l'aide de traceurs radioactifs. Contribution à l'étude du comblement de l'estuaire de la Seine. XVIIe journées de l'Hydraulique, Marseille, p. I.2.1.-I.2.8.
- Avoine J. & Crevel L. (1985).- Influence des apports fluviaux en Baie de Seine. Ce volume, N° 10.
- Beslier A. (1982).- Les caractères hydrosédimentaires de la rivière de Morlaix. Trav. Stat. Biol. Roscoff, N.S. n° 28, p. 1-57.

- Boon J.D. (1974).- Optimized of discharge and suspended-sediment transport in a salt-marsh drainage system. In : Relations sédimentaires entre estuaires et plateaux continentaux, Mém. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine, n° 7, p. 67-73.
- Boon J.D. (1975).- Tidal discharge asymetry in a salt marsh drainage system. Limnol. Oceanogr., Vol. 20, p. 71-80.
- Boust D. (1981).- Les métaux-traces dans l'estuaire de la Seine et ses abords. Thèse 3ème cycle, Caen, 186 p.
- Dobereiner C. & Mc Manus J. (1983).- Turbidity maximum migration and harbor siltation in the Tay estuary. In : Gordon D.C. Jr. & Hourston A.S. (eds.). Dynamics of turbid coastal environments, Can. J. Fish. Aquat. Sci., n° 40 (suppl. 1), p. 117-129.
- Dubrulle L. & Larsonneur C. (1984).- La baie des Veys: étude hydrosédimentaire. Rap. ronéot., 115 p.
- Gallenne B. (1974).- Les accumulations turbides de l'estuaire de la Loire. Etude de la crème de vase. Thèse 3ème cycle, Nantes, 323 p.
- Groen P. (1967).- On the residual transport of suspended matter by an alternating tidal current. Neth. J. Sea Res., 3 : 564-574.
- Kirby R. & Parker W.R. (1983).- Distribution and behavior of fine sediment in the Severn estuary and inner Bristol Channel, U.K. In : Gordon D.C.Jr. & Hourston A.S. (eds.). Dynamics of turbid coastal environments, Can. J. Fish. Aquat. Sci., n° 40 (suppl. 1), p. 83-95.
- Le Floch J.F. (1961).- Propagation de la marée dynamique dans l'estuaire de la Seine et la Seine Maritime. Thèse, Paris, 507 p.
- Nichols M.M. (1977).- Response and recovery of an estuary following a river flood. J. Sed. Petrol., vol. 47, n° 3, p. 1171-1186.
- Nichols M.M. & Poor G. (1967).- Sediment transport in a coastal plain estuary. J. Waterways and harbors, Proc. Am. Soc. Civil Engin., vol. 93, n° WW4, p. 83-95.
- Officer C.B. (1976).- Physical oceanography of estuaries. Wiley, New-York, 465 p.
- Postma H. (1961).- Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea. Res., vol. 1, p. 148-190.
- Salomon J.C. (1981).- Modelling turbidity maximum in the Seine estuary. In : Nihoul J.C.J. (ed.). Ecohydrodynamics, Elsevier oceanography series, vol. 32, p. 285-317.
- Schubel J.R. (1968).- Turbidity maximum of the northern Chesapeake bay, Science, vol. 161, p. 1013-1015.
- Schubel J.R. (1969).- Size distributions of the suspended particles of the Chesapeake bay turbidity maximum. Neth. J. Sea. Res., vol. 4, p. 283-309.
- Schubel J.R. (1974).- 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.
- Vale C. & Sundby B. (1984).- The relationship between the turbidity maximum and the tidal amplitude in the Tagus estuary. (sous presse).