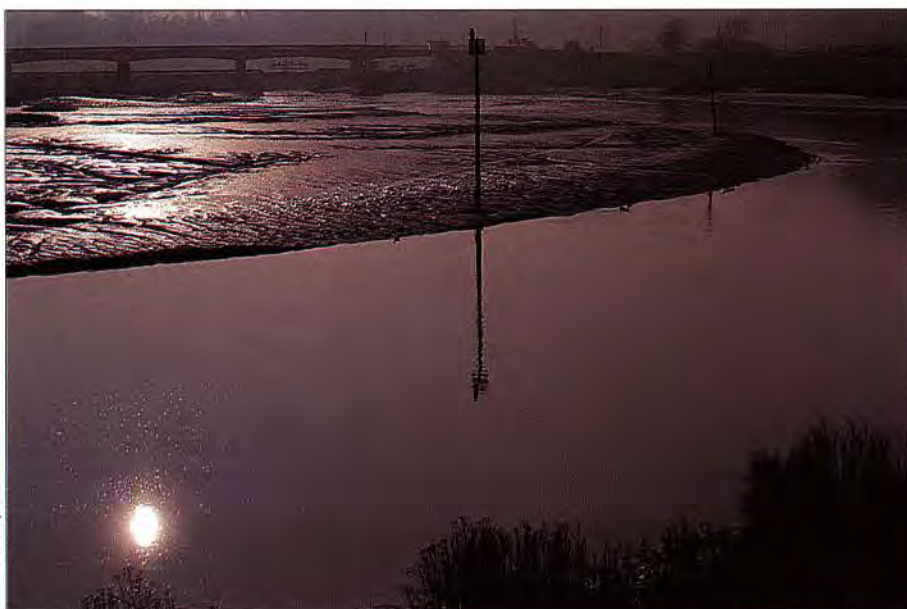


L'estuaire de la Rance géomorphologie et sédimentologie

Chantal BONNOT-COURTOIS

Une présentation de la Rance minérale : le vieux bâti précambrien résiste tandis que les sédiments meubles se déplacent sous l'action des phénomènes naturels ou des perturbations anthropiques.

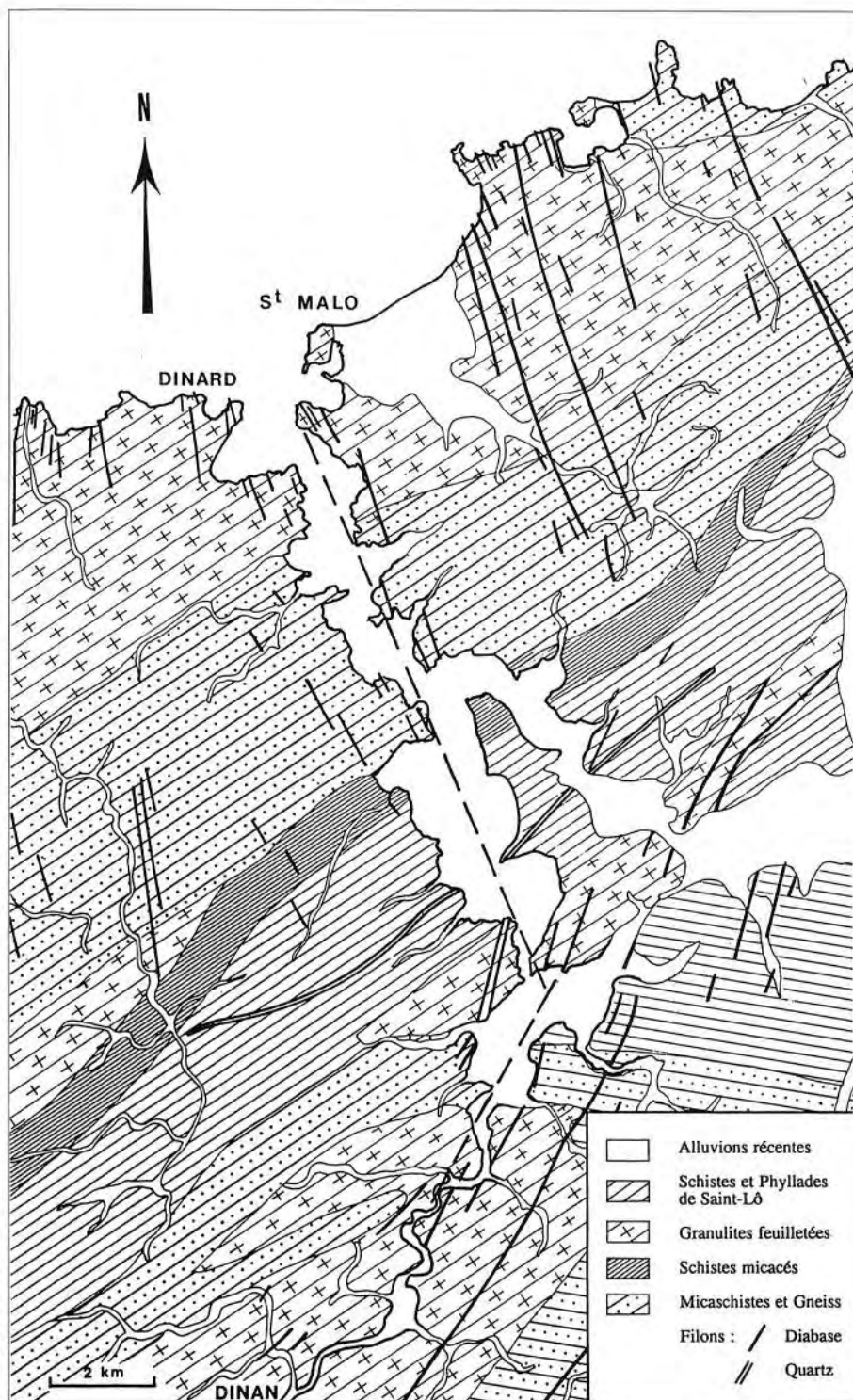


A. Blanquaert

L'envasement est important entre le viaduc de Lessard et l'écluse du Chatelier visible en arrière plan.

L'envasement des anses et de la partie estuarienne a été la principale nuisance vécue par les populations riveraines et les usagers de la Rance. Ce phénomène, résultant initialement d'une redistribution des sédiments fins dans la retenue à cause des nouvelles

conditions hydrologiques, s'est accru dans la partie amont de l'estuaire avec les sécheresses successives de 1988 à 1992, au point de gêner la navigation près de l'écluse du Chatelier. Cette étude fait le point sur l'origine des vases et leur dynamique de sédimentation.



Esquisse géologique du cours inférieur de la vallée de la Rance, d'après la carte géologique au 1/80 000 ème, feuille de Dinan, BRGM 1964.

Géologie et morphologie ou ceci expliquant cela

De sa source dans les schistes briovériens des landes du Mené à son embouchure entre Dinard et Saint Malo, la vallée de la Rance présente deux parties bien différentes. En amont de l'écluse du Chatelier, c'est une rivière longue de 80 km, à chenal étroit dont la vallée est entaillée de 100 m dans la plate-forme à l'amont de Léhon (Roa Morales, 1956), tandis qu'à l'aval du Chatelier, c'est le bassin maritime proprement dit, long de 20 km jusqu'à l'usine marémotrice. Au sud, la vallée conserve un aspect fluvial, étroit et sinueux jusqu'à Mordreuc, puis elle s'élargit vers l'aval en de grandes anses séparées par des pointes rocheuses.

Le tracé du cours inférieur de la Rance est largement guidé par la géologie ; il recoupe la série métamorphique briovérienne, allongée en bandes orientées SW-NE, qui comprend du sud vers le nord des formations de micaschistes, de gneiss puis les migmatites du massif de Saint Malo. La partie sud de la vallée, comprise entre Dinan et Mordreuc est entaillée dans les granulites feuilletées et la vallée s'élargit dans les séries de micaschistes de la plaine de Mordreuc. Le resserrement de

Port Saint Jean / Port Saint Hubert correspond à une bande de granulites feuilletées plus résistantes, puis, vers le nord, les anses se développent dans les zones des Schistes et phyllades de Saint Lô. A partir de la pointe Garel, le degré de métamorphisme augmente et les schistes font place vers le nord aux gneiss puis aux migmatites du massif de Saint Malo. La découpe de la ria dépend directement de la résistance des roches qu'elle entaille ; les anses larges correspondent aux schistes et micaschistes et les seuils rocheux étroits sont encadrés par des falaises élevées de gneiss et de granulites plus résistants (Choux, 1959).

Les principaux faciès pétrographiques de la série métamorphique peuvent être observés en plusieurs points du bassin maritime (Brun *in* Durand & Lardeux, 1985). La grève de Morlet, à Langrolay, présente des affleurements de "micaschistes et gneiss à grain fin en bancs décimétriques et finement folios". Plus vers le nord, dans l'anse de la Landriais, des gneiss et micaschistes affleurent et présentent un degré de métamorphisme plus intense qu'à Langrolais. On peut y observer des bancs de gneiss à gros grains et les déformations et la schistosité sont mieux marquées qu'au sud. Enfin, à partir de La Richardais et jusqu'à Dinard et Saint Malo, les gneiss sombres à



Falaise de "granulites feuilletées" de Lessart ; on distingue le chenal de navigation bordé d'enrochements (ligne sombre sous la pile gauche du viaduc) ayant entraîné dès le début du siècle un envasement de cette partie de la Rance.

grain fin contiennent de plus en plus de veines de matériel plus clair, et l'on passe progressivement au faciès pétrographique des migmatites de Saint Malo dont on peut voir de beaux affleurements sur la Promenade du Clair-de-Lune à Dinard. "La fusion partielle des gneiss donne naissance à des veinules quartzo-feldspathiques de plus en plus abondantes. Tous les intermédiaires entre le gneiss d'origine et le granite d'anatexis peuvent être observés".

La tectonique joue également un rôle important dans la morphologie côtière et le tracé en baïonnette du cours inférieur de la Rance. En effet, entre Dinan et Port Saint Jean/Port Saint Hubert, la vallée suit une orientation SW-NE, puis change brutalement de direction pour prendre une orientation perpendiculaire SSE-NNW entre Port Saint Jean et Saint Malo. Cette disposition résulte d'un système de failles, général au massif armoricain et comportant deux grandes familles de fractures : l'une orientée NNW-SSE et l'autre conjuguée NE-SW (Bournerias *et al.* 1985). Par ailleurs, de nombreux filons sont indiqués sur la carte géologique : par exemple, un filon de quartz, parallèle à la série schisteuse et plus résistant, arme la pointe du Mont Garo. D'autres filons, d'orientation différente NS, recoupent toute la série métamorphique et sont formés de dolérites moins résistantes à l'érosion.

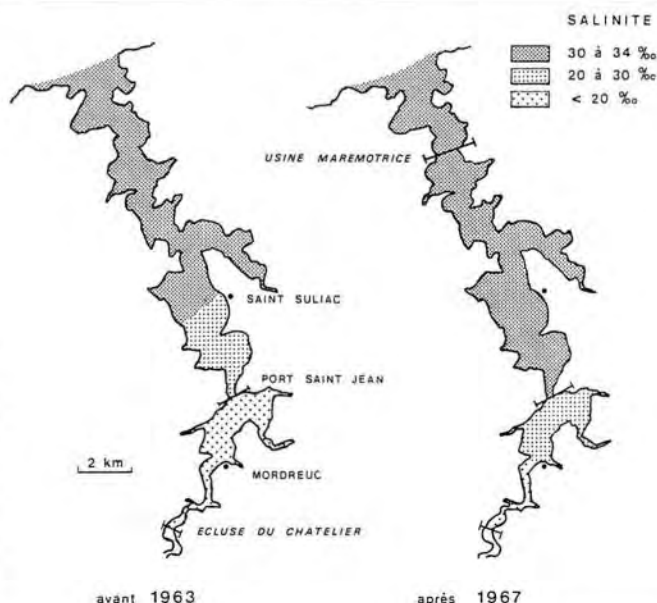
Régime hydrologique avant et après

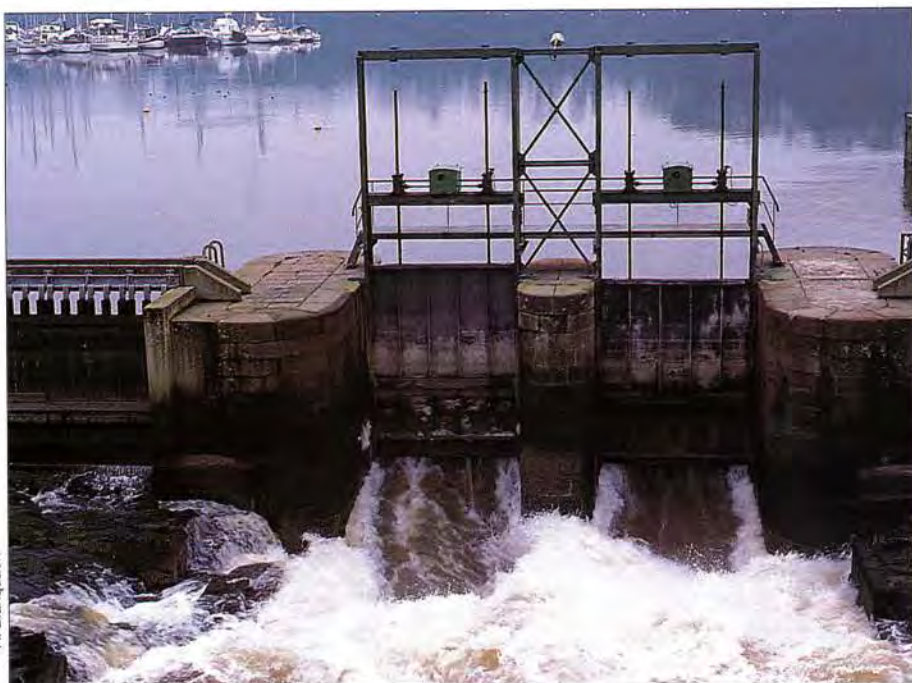
L'amplitude de la marée dans le golfe de Saint Malo où le niveau des pleines mers de vive-eau peut atteindre 13,60 m faisait de la Rance une vaste zone intertidale dans laquelle la répartition des sédiments suivait les lois de la dynamique estuarienne. Le régime macrotidal implique des volumes oscillants très importants (volume de la retenue=180 millions de m³) avec des débits entrants au niveau du barrage de 9 000 m³/s en morte-eau et de 18 000 m³/s en vive-eau. A l'inverse les débits de la Rance sont très faibles, de 7 m³/s en moyenne, avec un débit d'étiage de 0,5 m³/s et une crue décennale de 80 m³/s. La comparaison de ces débits souligne la prédominance de la mer sur le régime hydraulique de l'estuaire.

Avant l'installation de l'usine marémotrice, la Rance était une ria à stratification haline peu marquée. Les gradients de salinité permettaient de distinguer trois parties du sud au nord :

- des eaux saumâtres, à salinité faible entre l'écluse du Chatelier et Port Saint Jean ;
- une Rance saumâtre à salinité forte, comprise entre 5 et 30 ‰* et caractérisée par deux régimes saisonniers entre Port Saint Jean et Saint Suliac ;

Répartition de la salinité dans le bassin maritime de la Rance avant et après l'implantation de l'usine marémotrice, d'après Retière et Richard (1980).





Ecluse du Chatelier, limite de pénétration des eaux marines. Utilisation de l'effet chasse d'eau pour désenvaser le chenal de navigation.

- à l'aval, la Rance maritime, comprise entre Saint Suliac et Saint Malo dont la salinité était comprise entre 30 et 34 ‰.

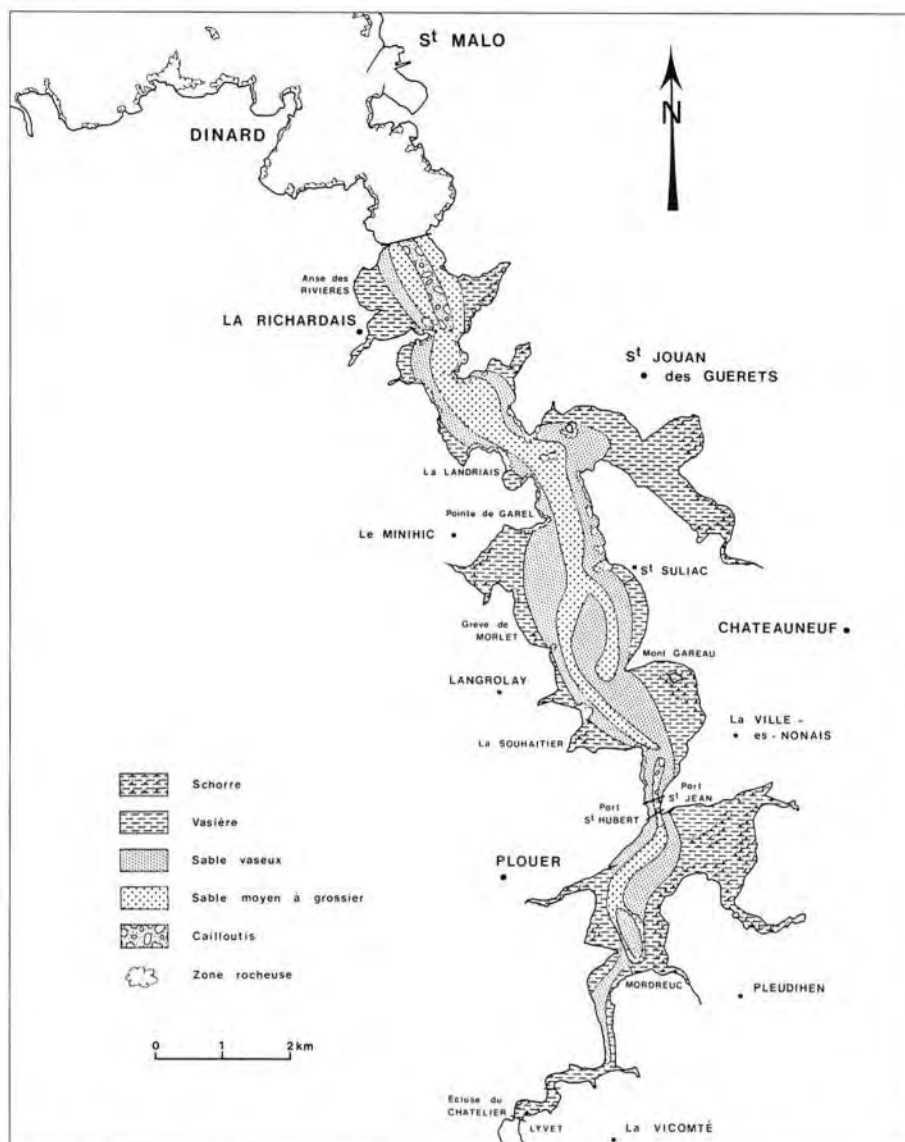
Depuis la mise en service de l'usine marémotrice, le mélange eaux douces - eaux salées n'est sensible dans la Rance que dans une faible portion du bassin maritime, comprise entre l'écluse du Chatelier et Port Saint Jean en hiver, soit 5 km, et qui se réduit en été aux 2 km qui séparent le Chatelier de Mordreuc (Roa Morales, 1956). L'étendue de la partie véritablement estuarienne du bassin maritime est donc faible par rapport aux 20 km de la ria soumis à l'influence de la marée dynamique.

Actuellement, la diminution des variations de niveau dans le bassin de retenue a atténué les fluctuations saisonnières de la salinité et repoussé vers l'amont la partie plus strictement estuarienne de la ria. La Rance maritime, à salinité comprise entre 30 et 34 ‰ s'étend de Saint Malo jusqu'au Port Saint Jean. Entre Port Saint Jean et Mordreuc, la salinité est comprise entre 20 et 30 ‰ et au-delà de Mordreuc jusqu'à l'écluse du Chatelier, la salinité peut chuter jusqu'à quelques ‰ en fonction des débits fluviaux et de l'épaisseur de la tranche d'eau.

Des vases, des sables et des cailloutis

Etudiée bien avant l'implantation de l'usine marémotrice, (Berthois L. & C., 1954, 1955 ; Bourcart & Roa Morales, 1957), la sédimentation de la Rance maritime est caractéristique des estuaires. Les différents types de sédiments se répartissent en fonction des conditions hydrodynamiques. Au fond des anses et à l'amont de l'estuaire se développe une sédimentation fine qui donne naissance à la slikke*, parfois recouverte de végétation halophile dans les parties les plus hautes des rives. L'envasement des berges de la Rance est ancien car les sédiments vaseux étaient déjà indiqués dans les anses sur une carte du Service Hydrographique de 1883 (LCHF, 1982).

Près du chenal se trouvent des faciès sableux dont la granulométrie dépend de l'intensité des courants. Dans la plaine de Mordreuc, les courants de marée atténués ne peuvent transporter que des sables fins à moyens (Choux, 1959). Les sables grossiers se



Carte morpho-sédimentaire du bassin maritime de la Rance (d'après LCHF, 1982 et Bonnot-Courtois et Le Vot, 1993).

retrouvent au niveau des bancs plus en aval de l'estuaire comme le banc des Rozias près de La Richardais. Enfin, les cailloutis occupent le fond du chenal principal dans les zones d'étranglement où les courants sont violents, comme à Port Saint Jean / Port Saint Hubert.

L'origine des sédiments de la Rance maritime est multiple et décrite par Bourcart et Roa Morales, (1957), et Choux, (1959) avant la construction de l'usine marémotrice comme :

- le mélange d'apports continentaux et lessivage du head * pour les cailloutis et les sables grossiers ;
- le remaniement de dépôts transgressifs marins tyrrhéniens (100 000 ans BP*) et flandriens (10 000 BP) pour les sables moyens ;
- l'apport maritime récent et le lessivage des limons pour les vases.

Depuis la construction de l'usine marémotrice, la répartition des sédiments dans le bassin maritime a été

modifiée de la façon suivante (Retière & Richard, 1980 ; Retière, 1989 ; LCHF, 1982, 1986) :

- les sédiments fins ont augmenté dans les anses de la zone centrale de l'estuaire. Les vasières recouvrent toutes les parties hautes des anses situées entre l'usine marémotrice et le Port Saint Jean. Au sud de l'estuaire, dans la plaine de Mordreuc, elles couvrent toute la haute slikke en avant du schorre*. Entre Mordreuc et l'écluse du Chatelier, dans la partie la plus amont du bassin maritime, la vase occupe toutes les surfaces exondées et le chenal de la rivière ;

- les sables vaseux qui relaient la slikke vers le chenal sont en augmentation et s'étendent sur la majeure partie de l'estuaire entre Mordreuc et le bras de Chateauneuf ;

- les sables moyens et grossiers sont localisés dans les zones profondes du chenal au nord de Port Saint Jean. Leur proportion augmente vers l'aval du bassin maritime ;

- les cailloutis sont limités aux zones de plus forts courants, au niveau de l'étréture du Port Saint Jean / Port Saint Hubert, et à proximité du barrage où les fonds ont été "décapés" (LCHF, 1982), et où les profondeurs ont augmenté depuis la construction.

Lieu d'interférence entre les actions marines et les actions fluviales, le milieu estuarien est caractérisé par sa dynamique propre, dominée par la rythmicité des marées mais fortement influencée par le débit du cours d'eau et les caractéristiques variables de celui-ci. D'aval en amont, l'onde de marée se propage avec un retard croissant et repousse les eaux douces apportées par le fleuve et, dans un estuaire à morphologie très irrégulière comme la Rance, la dispersion de l'énergie est sensible dès l'aval. Les eaux marines salées se mélangent aux eaux douces et une certaine stratification haline apparaît, d'autant mieux marquée que l'amplitude de la marée est plus faible ("estuaire à coin salé"), mais sensible cependant sous forme d'un gradient vertical même dans les estuaires bien mélangés comme la Rance.

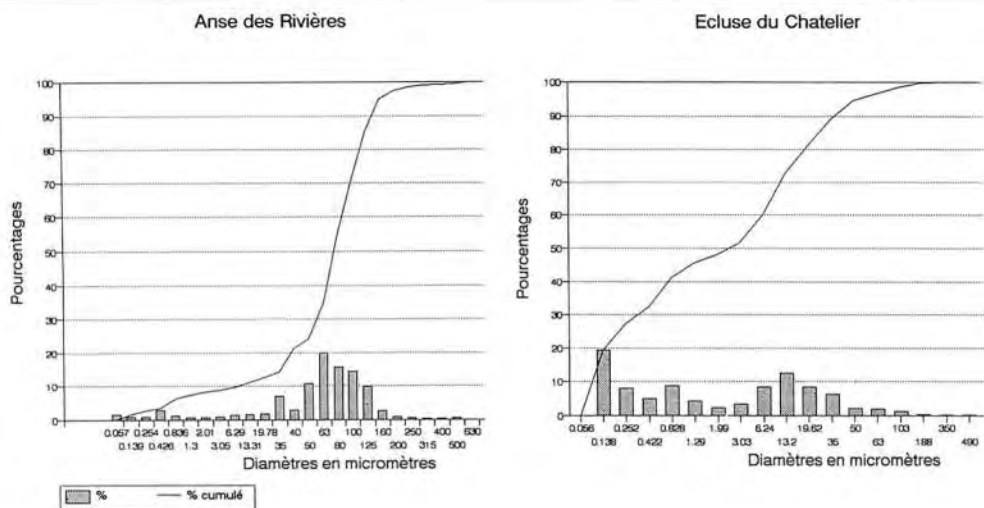
Dans les estuaires, les matières en suspension sont des particules fines, véhiculées par les courants, qui se déposent dans toutes les zones de calme hydrodynamique, en particulier

sur les berges des anses et dans les parties les plus en amont du système sédimentaire estuarien. L'envasement des berges de la Rance et de la partie amont du bassin maritime proche du Chatelier, constaté par les riverains, correspond à une évolution naturelle de l'estuaire qui aboutit à une accumulation des vases dans toutes les zones où l'agitation est faible ce qui se retrouve également dans les estuaires voisins du golfe normand-breton comme l'Arguenon. Mais le fonctionnement de l'usine marémotrice implique une augmentation de la durée des étales et une réduction du marnage entraînant une modification des courants, ce qui influence la dynamique des matières en suspension qui circulent dans l'estuaire.

Les vases de la Rance, que sont-elles, d'où viennent-elles ?

Les vases de la Rance sont des sédiments silico-détritiques fins, formés d'un mélange de particules quartzo-feldspathiques appartenant à la classe granulométrique des silts (63 μ m) et de minéraux argileux de taille beaucoup plus faible (< 2 μ m). Tout comme il existe un gradient granulométrique entre les sédiments fins des berges jusqu'aux sables du chenal, la proportion relative des silts par rapport aux argiles diminue de l'aval vers l'amont de l'estuaire. Les sédiments de la partie amont du bassin maritime, près de l'écluse du Chatelier sont très fins et contiennent plus de 90 % de matériel inférieur à 40 μ m. Au fur et à mesure que l'on va vers l'aval, la proportion de sables fins augmente dans les sédiments et la fraction vaseuse proprement dite (< 40 μ m) ne représente plus que 30 à 60 % du sédiment au niveau de Mordreuc (Bonnot-Courtois & Lafond, 1991).

Entre Mordreuc et Port Saint Jean, les teneurs en fractions fines sont variables et peuvent rester élevées dans les secteurs de haute slikke où de la crème de vase fraîchement déposée contient jusqu'à 80 % de fraction inférieure à 40 μ m. Un peu en aval du Port Saint Jean, les sédiments de l'anse de La Souhaitier contiennent près de 50 % de fraction fine. Cette finesse des vases s'atténue vers l'aval du bassin maritime puisque la basse slikke de l'anse des rivières à



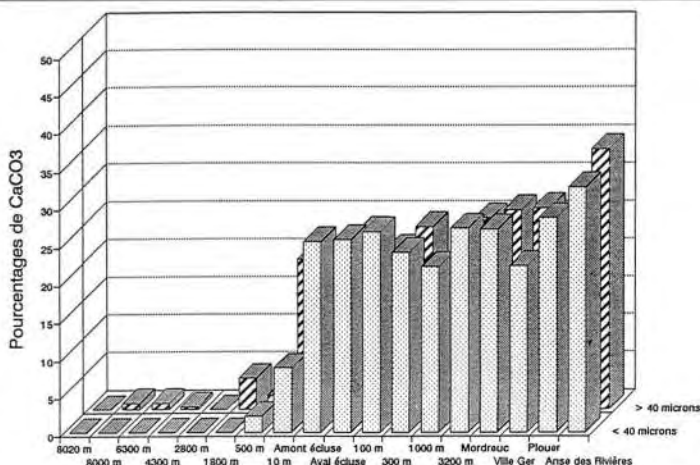
Courbes granulométriques des sédiments du bassin maritime de la Rance à proximité de l'écluse du Chatelier et dans l'anse des rivières.

La Richardais ne contient plus que 25 % de fraction inférieure à 40 μm .

Avec une médiane à 1 μm et une fraction silteuse peu représentée et très fine (35 μm), la vase du Chatelier présente une courbe granulométrique de forme hyperbolique, témoin d'un dépôt par décantation dans une zone calme. Par contre, la courbe granulométrique des sédiments de l'anse des rivières est caractérisée par un mode principal entre 60 et 100 μm , mettant en évidence la prédominance d'une phase silteuse et sableuse plus grossière à côté d'une fraction fine argileuse qui ne représente plus que 10 % du sédiment.

Les teneurs en calcaire des sédiments de la Rance permettent de discriminer l'origine des vases. En effet, les vases de la Rance fluviale comprise entre l'écluse de Léhon et l'écluse du Chatelier sont pratiquement dépourvues de calcaire, les teneurs n'excédant pas 0,8 % jusque dans la partie amont du bassin de Lyvet. La partie aval de ce même bassin située contre l'écluse du Chatelier comprend des sédiments plus riches en calcaire, avec une augmentation des teneurs de 6 à 20 %. Ceci implique une entrée d'eau de mer dans la partie fluviale de la Rance et un faible apport de sédiments marins dans la partie amont proche de l'écluse du Chatelier.

Teneurs en calcaire des vases de la Rance fluviale et du bassin maritime.



A l'aval de l'écluse du Chatelier, les teneurs en calcaire des vases sont élevées et toujours supérieures à 20 %, dès la crème de vase située contre le musoir de l'écluse. Vers l'aval et jusqu'à Plouer, les sédiments contiennent entre 20 et 30 % de calcaire. Le point le plus aval du bassin maritime est l'anse des rivières dont les sédiments sont riches en calcaire (33 %), surtout pour la fraction grossière en raison de la présence de débris coquilliers. Ces teneurs sont tout-à-fait comparables à celles des sédiments littoraux des régions voisines, comme l'estuaire de l'Arguenon ou la tange de la baie du Mont Saint Michel.

La Rance ne prend pas sa source dans un aquifère calcaire et traverse des terrains cristallins dont la nature pétrographique ne peut fournir du CaCO_3 . En conséquence, les sédiments vaseux du bassin maritime de la Rance ont une origine marine et se différencient de ceux de la partie fluviale par une rupture nette des teneurs en calcaire au niveau de l'écluse du Chatelier. Une faible contamination des sédiments du bassin de Lyvet par des apports venant de l'aval apparaît mais elle ne s'enregistre qu'à proximité de l'écluse.

La composition moyenne des vases de la Rance et des estuaires voisins du golfe normand-breton peut se résumer en un tableau (voir ci-dessous).

Les vases du bassin maritime ont une composition analogue à celles des estuaires voisins et se distinguent bien des sédiments de la Rance fluviale par leurs fortes teneurs en calcaire et leur moindre proportion en matière organique. Le cortège des minéraux argileux évolue également d'un pôle continental où prédomine la kaolinite à un pôle marin plus riche en smectite.

Le "bouchon vaseux"

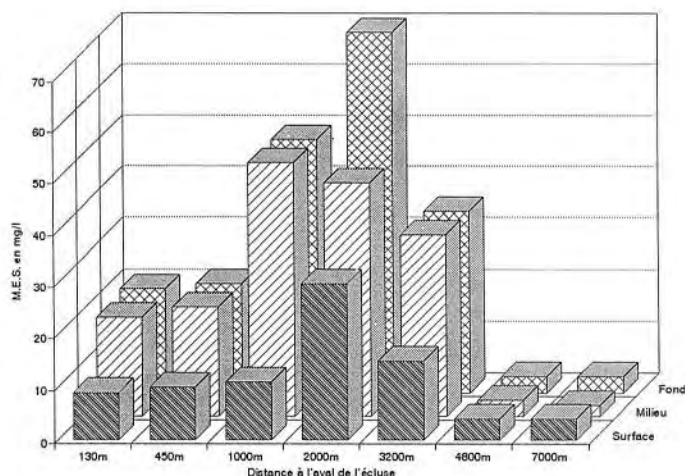
Les matières en suspension suivent le devenir des masses d'eaux et les gradients verticaux de densité donnent lieu à des courants résiduels, orientés généralement vers l'amont au fond et vers l'aval en surface (Ippen & Harleman, 1969). A l'extrémité amont de l'intrusion saline se situe une zone de convergence des courants résiduels ou point nodal qui suit les fluctuations saisonnières amont-aval de l'intrusion saline. Les matières en suspension piégées dans la zone du point nodal constituent le "bouchon vaseux" où la turbidité est très forte et dont la position moyenne dans l'estuaire dépend du débit fluvial (Allen & Klingebiel, 1974).

Schématiquement, le bouchon vaseux est repoussé en amont lors des marées de vive-eau et surtout en période d'étiage du cours d'eau. Au contraire, une crue fluviale pendant une période de morte-eau déplace le bouchon vaseux vers l'aval de l'estuaire et peut même l'expulser au-delà de l'embouchure où il peut alimenter les vasières du plateau continental. Le dépôt des matières en suspension - et donc l'envasement - est lié à la position du bouchon vaseux et varie donc en fonction des saisons.

Dans le bassin maritime de la Rance, des mesures de turbidité ont été réalisées en 1991 et en 1993 afin de localiser la position du bouchon vaseux (Bonnot-Courtois & al. 1993). En 1991, les teneurs en matières en suspension à proximité de l'écluse du Chatelier atteignaient 100 mg/l tandis que la turbidité naturelle n'excède pas 10 mg/l en aval de Mordreuc. A cette époque, le bouchon vaseux était repoussé à l'extrême amont de la partie estuarienne

	Rance fluviale	Bassin maritime	Estuaires voisins
Teneurs en CaCO_3	0 %	30 %	35 %
Matière organique	7.5 %	3.5 %	2.7 %
Minéraux argileux			
+++ = dominant	Kaolinite +++	Illite +++	Illite +++
++ = associé	Illite ++	Kaolinite ++	Smectite ++
+ = secondaire	Smectite +	Smectite +	Kaolinite +
= présent	Chlorite	Chlorite	Chlorite

Position et structure du "bouchon vaseux" dans la partie amont du bassin maritime en février 1993 (M.E.S. : matière en suspension).



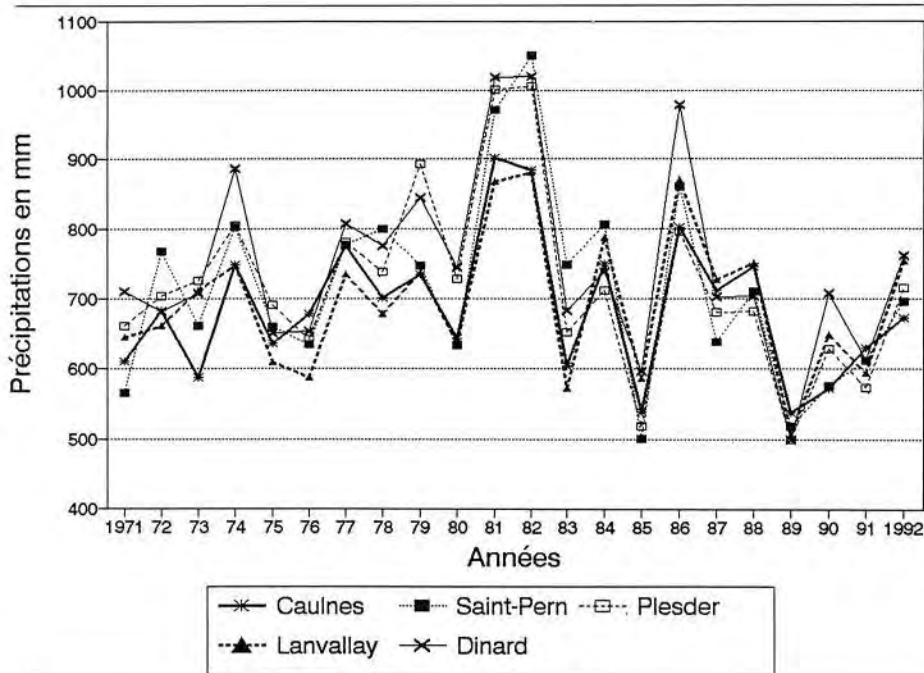
du bassin maritime et bloqué contre l'écluse du Chatelier. En 1993, une nouvelle campagne de mesures montre que la position du bouchon vaseux s'est déplacée vers l'aval puisque l'on observe un pic de turbidité à environ 2 km en aval de l'écluse du Chatelier.

La position du bouchon vaseux étant directement liée à l'équilibre entre le débit fluvial et la marée, l'accélération de l'envasement constaté entre 1990 et 1992 doit être relié à une réduction des débits de la Rance pendant la même période. En effet, la pluviométrie dans cinq stations réparties sur l'ensemble du bassin versant a subi des fluctuations importantes depuis une vingtaine d'années. Quelle que soit la station considérée, entre l'amont à Caulnes et l'aval à Dinard, les années 1989, 1990 et 1991 se caractérisent par des déficits importants de 20 à 30 % par rapport à la moyenne annuelle, calculés sur la période 1971-1990, des précipitations dans le bassin versant. Les années 1976 et 1985, marquées par la sécheresse avaient été suivies par des années à pluviométrie moyenne, voire nettement supérieures à la moyenne pour 1986. Par contre, l'année 1989, particulièrement déficitaire en pluies n'a pas été compensée par les deux années suivantes où la pluviométrie est toujours restée inférieure à la moyenne. Cette sécheresse pendant trois années consécutives a eu pour

conséquence un étiage prolongé de la Rance et donc une remontée du bouchon vaseux dans la partie amont de l'estuaire. Les pluies intervenues à l'automne 1992 ont permis de rétablir un débit acceptable de la Rance qui a eu pour effet de repousser le bouchon vaseux à quelques kilomètres en aval de l'écluse du Chatelier.

Ce qu'il faut retenir

La géomorphologie du bassin maritime de la Rance est directement guidée par la géologie et présente une succession d'anses larges et basses correspondant aux schistes et mica-schistes encadrés par des seuils rocheux étroits formés de falaises élevées de gneiss et de granulites plus résistants. L'implantation et l'exploitation de l'usine marémotrice ont entraîné des modifications du régime hydrologique, principalement par réduction du marnage et prolongation de la durée des étales. La répartition des sédiments superficiels de l'estuaire, qui ont majoritairement une origine marine, suit la distribution des courants de marée, atténués depuis la mise en service de l'usine, et qui sont directement influencés par la morphologie de la ria. Les parties resserrées où les courants conservent une certaine vitesse comprennent des sables moyens et grossiers, tandis que les secteurs évasés des anses ou la



Pluviométrie dans le bassin versant de la Rance, depuis 1971.

partie la plus amont du bassin maritime sont des zones d'annulation des courants. Il s'y dépose des vases de plus en plus fines et ces milieux évoluent vers un colmatage progressif typique de la dynamique sédimentaire estuarienne. En cas de sécheresse prolongée, les débits fluviaux, sont fortement réduits, ce qui provoque une accélération de l'envasement dans les secteurs les plus amont de l'estuaire nécessitant l'entretien du chenal de navigation. ■

B.P. : abréviation de l'anglais Before Present, l'année considérée comme le présent étant fixée à 1950 de notre calendrier.

Schorre : partie haute d'un marais littoral, formée de vase, recouverte de végétation halophile.

Slikke : partie basse d'un marais littoral, vase non colonisée par la végétation et recouverte à chaque marée.

Ce que l'on peut lire

ALLEN G.P. et KLINGEBIEL A. 1974 - La sédimentation estuarienne : exemple de la Gironde. Bull Centre Rech. Pau. SNPA. v.8, p. 263-293.

BERTHOIS L. et C. 1954 - Etude de la sédimentation dans l'estuaire de la Rance. Première partie : Granulométrie des sédiments. Bull. Lab. Maritime de Dinard. fasc. 40, p. 4-14.

BERTHOIS L. et C. 1955 - Etude de la sédimentation dans l'estuaire de la Rance. Deuxième partie : Minéralogie des sédiments. Bull. Lab. Maritime de Dinard. fasc. 41, p. 3-18.

BONNOT-COURTOIS C. et LAFOND L.R. 1991 - Caractérisation et comportement des

Ce qu'il faut entendre par :

Faïlles conjuguées : fractures résultant de l'action d'une même contrainte et faisant entre elles un angle donné.

Décennal : événement se reproduisant en moyenne avec une fréquence d'une fois tous les dix ans.

‰ : salinité en pour mille ou en gramme de sel par litre d'eau.

Head : formation superficielle comportant des matériaux anguleux de toutes tailles, mis en place sous forme de coulées de boue (ou de solifluxion) sous climat périglaciaire.



A. Blanquaert

A marée basse, l'envasement de la partie estuarienne est bien visible près de l'écluse du Chatelier.

vases dans l'estuaire de la Rance. Rapport EDF/RIVAGES/Lab. Géomorphologie EPHE Dinard, 113 p.

BONNOT-COURTOIS C., LAFOND L.R. et LE VOT M. 1993 - Suivi d'une chasse hydraulique expérimentale dans la partie amont du bassin maritime de la Rance. Rapport EDF/RIVAGES/Lab. Géomorphologie EPHE Dinard, 24 p.

BONNOT-COURTOIS C. et LE VOT M. 1993 - Dynamique sédimentaire estuarienne dans le bassin maritime de la Rance. 4^{ème} congrès français de Sédimentologie. Lille, 17-20 nov. 1993, Publication ASF, Paris, n° 19, p. 53-54.

BOURCART J. et ROA MORALES P. 1957 - Les dépôts vaseux de la Rance maritime et du Mont Saint-Michel. Bull. Soc. Géol. France. (6), VII, p. 545-552.

BOURNERIAS M., POMEROL C. et TURQUIER Y. 1985 - La Bretagne du Mont Saint-Michel à la Pointe du Raz. Guides Naturalistes des Côtes de France. Ed. Delachaux et Niestlé. 256 p.

B.R.G.M. 1964 - Carte géologique au 1/80 000^e Feuille de Dinan. 3^{ème} édition.

CHOUX J. 1959 - Contribution à l'étude sédimentologique des formations meubles de la Rance maritime. Bull. Soc. Géol. Miner. Bretagne. fasc. 1, p. 37-66.

DURAND S. et LARDEUX H. 1985 - Bretagne. Guides Géologiques Régionaux. Ed. Masson, 2^{ème} édition, 209 p.

IPPEN A.T. et HARLEMAN M. 1969 - Salinity intrusion effects in estuary shoaling. Proc. Amer. Soc. Civ. Engin., 95, p. 9-27.

L.C.H.F. 1982 - Etude sédimentologique de l'estuaire de la Rance. Rapport Général Institution interdépartementale pour l'aménagement de la Rance propre / DDE Ille et Vilaine. 21 p.

L.C.H.F. 1986 - Evolution des conditions de navigation dans la partie amont de l'estuaire de la Rance. Rapport EDF/CRTT Ouest / GME Bretagne / DDE Ille et Vilaine. 15p.

RETIERE C. 1989 - Energie marémotrice et environnement aquatique. La Houille Blanche., n°2, p. 133-147.

RETIERE C. et RICHARD O. 1980 - Conséquences écologiques de 10 années de fonctionnement de l'usine marémotrice de la Rance. Rapport EDF/Lab. Maritime Dinard. 71 p.

ROA MORALES P. 1956 - La marée de salinité, la turbidité et les sédiments de la Rance maritime. thèse Dr. Univ. Paris, 157 p.

Chantal BONNOT-COURTOIS, URA 904 du CNRS : Dynamique et gestion des espaces littoraux, Laboratoire de Géomorphologie EPHE, Dinard.