

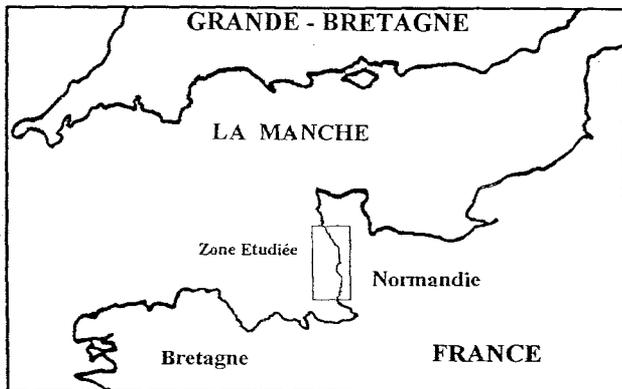


MODELISATION DE LA CIRCULATION SEDIMENTAIRE LONGSHORE RESIDUELLE LE LONG DE LA COTE OUEST DU COTENTIN (MANCHE)

F. LEVOY

Laboratoire de Géologie marine , Centre Régional d'Etudes Côtières , Université de Caen

Une bonne connaissance de la circulation sédimentaire sur les plages est nécessaire pour comprendre l'évolution d'un trait de côte et prévoir sa mobilité future. Sur la côte ouest du département de la Manche (fig.1), depuis environ 50 ans, l'évolution du littoral est très variée d'un site à un autre. Certaines zones côtières sont en érosion, d'autres sont en accrétion à des rythmes atteignant parfois plusieurs mètres par an.



L'observation de la morphologie côtière révèle l'existence d'une circulation sédimentaire longshore importante. Celle-ci est particulièrement évidente à l'extrémité des flèches sableuses barrant l'embouchure de huit petits estuaires. Afin de mieux comprendre l'évolution à moyen terme de la côte ouest du département de la Manche, la dérive littorale résiduelle annuelle a été modélisée. Ce travail repose, au préalable, sur des mesures hydrodynamiques et le calcul des transports sédimentaires à l'aide de pièges à sédiments directement dans la zone de déferlement.

1. LES HYPOTHESES UTILISEES POUR LA MODELISATION

1.1. La détermination des conditions d'agitation sur les estrans

La modélisation des transports sédimentaires sur la partie supérieure des estrans de la côte ouest du Cotentin nécessite une schématisation du climat local d'agitation (fig.2). Dans un premier temps, des mesures de houle directionnelle ont été réalisées sur trois sites de l'avant-côte du Cotentin pendant une période de huit à dix mois, qui inclut une saison hivernale. Une exploitation statistique des données obtenues a permis d'affiner la connaissance de l'agitation régionale, notamment celle des directions de propagation (fig.3).

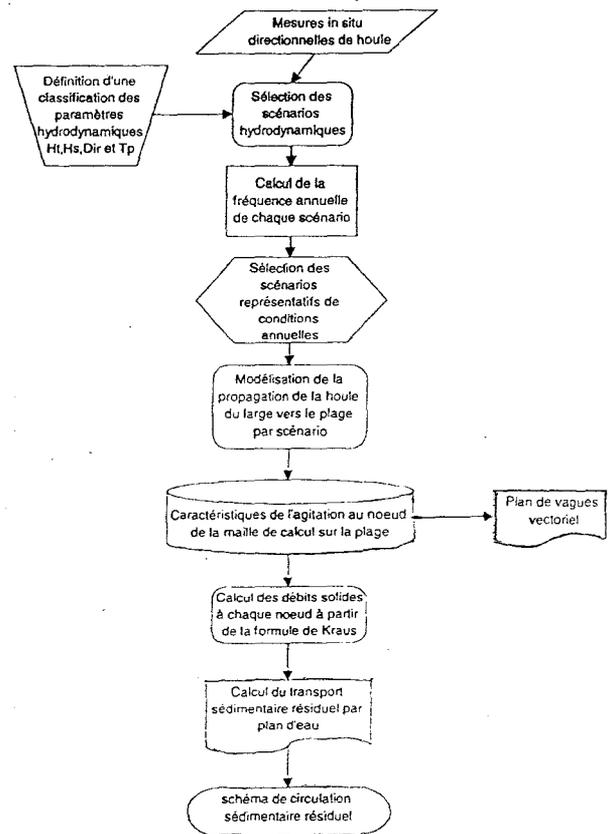


Fig. 2 : Modélisation des transports sédimentaires sur les hautes et moyennes plages

A partir des enregistrements houlographiques, des scénarios hydrodynamiques, associant la hauteur d'eau, la hauteur significative de la houle, sa période et sa direction, sont établis.

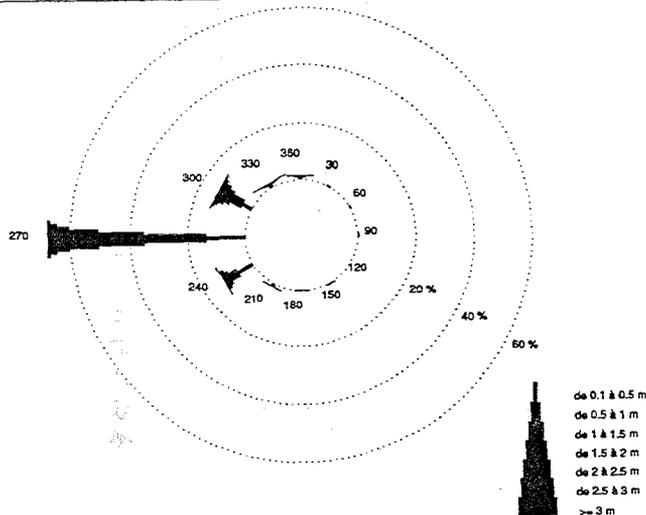
6 classes de hauteurs d'eau entre la cote - 2 et + 8 m IGN 69, 4 classes de hauteurs significatives entre 0,1 et 5 m, 4 classes de périodes significatives entre 3 et 14 secondes et 4 classes de directions de propagation entre 225° et 345° sont retenues pour caractériser ces scénarios. Près de 380 combinaisons sont théoriquement possibles. Mais, compte tenu des corrélations entre les différents paramètres (Hs et T, Hs et la hauteur d'eau,...), environ une centaine de situations hydrodynamiques est identifiée à partir des enregistrements réalisés sur le terrain.

Les paramètres caractérisant chaque scénario sont

Fig. 3 : Agitation dans la zone des Trois Grunes

Répartition des observations des hauteurs significatives de houle en fonction des provenances

Direction (degrés)	Hauteur de houle								Total
	calme	0,1/0,5 m	0,5/1 m	1/1,5 m	1,5/2 m	2/2,5 m	2,5/3 m	>=3 m	
30			3						3
60			2						2
90			2						2
120									
150	1	1	1						3
180				1	1				2
210	1	8				1			10
240	1	46	26	9	10		2		94
270	3	105	166	120	75	33	18		527
300	2	29	33	15	14	7	5		106
330	1	8	2	2	1				15
360		5	3	1		2			11
Total	9	209	232	148	101	42	25	9	775



utilisés comme conditions aux limites de la zone d'étude pour modéliser la propagation de la houle jusqu'à la côte et définir les conditions d'agitation sur les estrans de la côte ouest Cotentin.

La propagation de la houle a été modélisée avec le code numérique HISWA de l'Université Technologique de Delft (Booij et Holthuijsen, 1992). Les courants de marée, relativement forts sur le site d'étude, n'ont pas été pris en compte. Leur influence s'est avérée négligeable sur la propagation des houles (Levoy *et al*, 1993). La maille de calcul utilisée est rectangulaire. Ses dimensions sont de 500 m sur un axe N-S et de 25 m sur un axe W-E. La figure 4 présente un exemple de simulation de la houle entre la zone de mesures au large et la côte. Les résultats obtenus ont été validés grâce à des mesures en nature réalisées simultanément sur l'avant-côte et sur les

Zone Gouville-Hauteville

Houle incidente aux NATTES

Hauteur significative $H_s=2,5$ mètres
 Direction : 300 degrés
 Période significative $T_p=7$ secondes

Niveau du plan d'eau statique : 1,25 m. I.C.N. 69

Occurrence annuelle : 0,76 %
 1m.

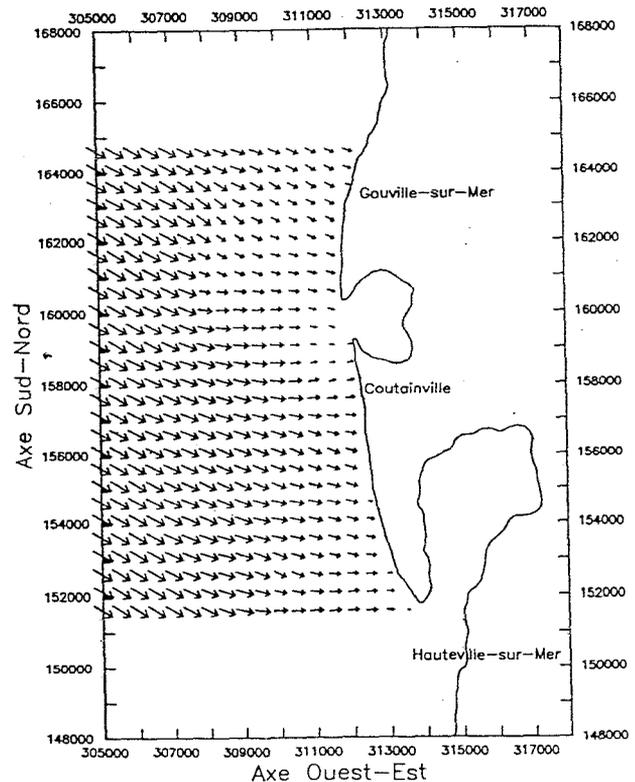


Fig. 4 : Hauteurs significatives de houle

plages. La comparaison des valeurs mesurées et calculées apparaît très satisfaisante (Levoy *et al.*, 1993).

La position du déferlement sur l'estran est déterminée en testant le paramètre γ (hauteur de la houle / hauteur d'eau) à chaque noeud de maille. Il doit être compris entre 0,3 et 1,2. Une fonction de transfert permettant de calculer la hauteur des brisants, H_b , en utilisant la houle non déferlante a été déterminée à l'aide de mesures in situ. Elle est introduite dans le code de calcul pour définir, en fonction de la pente de la plage issue d'un Modèle Numérique de Terrain et du plan d'eau statique, la limite externe de la zone de déferlement. Ainsi, pour chaque scénario hydrodynamique, les conditions d'agitation sur les hautes et moyennes plages sont calculées tous les 500 m le long de la côte ouest du Cotentin.

1.2. La quantification des débits solides

Pour calculer les transports sédimentaires induits par la houle dans la zone de déferlement, une vingtaine d'expérimentations *in situ* utilisant des pièges à sédiments unidirectionnels (Kraus, 1987, Katori, 1983,

in Horikawa, 1988) ont été mises en oeuvre sur différents sites présentant des caractéristiques morphologiques et hydrodynamiques variées. La figure 5 présente un exemple de résultats issus de ces expériences.

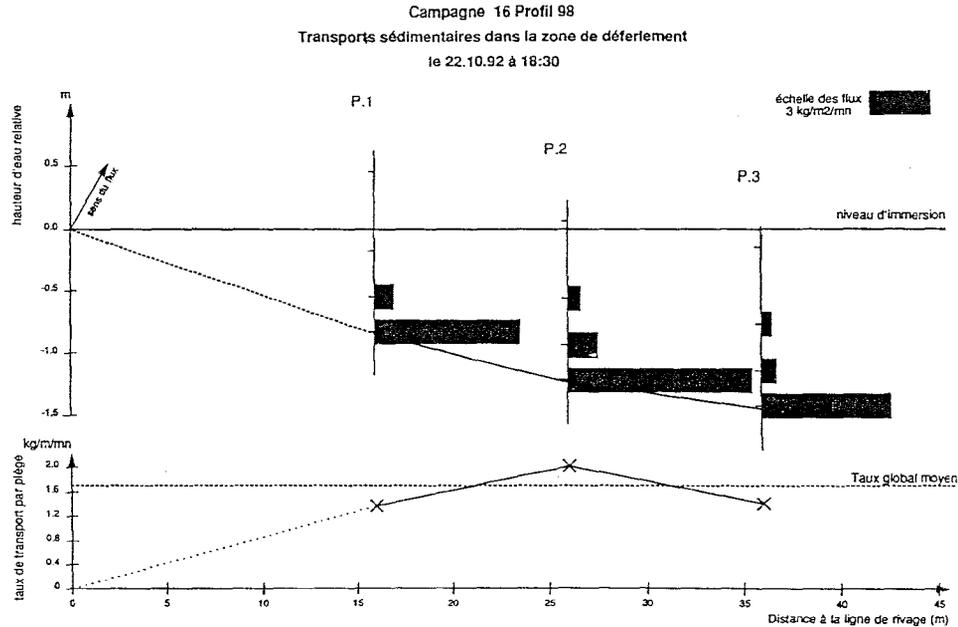


Fig. 5 : Transport sédimentaire dans la zone de déferlement

En parallèle de ces mesures de débits solides, la hauteur des brisants est mesurée à l'aide d'une mire graduée, la vitesse du courant longshore est calculée grâce à des injections de rhodamine dans le déferlement et la houle non déferlante est enregistrée à l'aide d'un capteur S4DW. La granulométrie des sédiments est déterminée à partir de prélèvements effectués à la surface de la plage et des échantillons recueillis dans les nacelles des pièges. La pente de l'estran est également déterminée grâce à un levé topographique détaillé.

Ces informations ont permis de calculer à l'aide de formules empiriques la vitesse du courant longshore et de la comparer aux mesures obtenues sur le terrain. La

formule de Komar (1979), reprise par Van Rijn (1989), ajustée à l'aide d'un nouveau coefficient empirique, est intégrée dans le code de calcul.

Les débits solides mesurés sur le terrain sont comparés à des valeurs calculées à partir de l'enregistrement des conditions hydrodynamiques et les caractéristiques topographiques et sédimentologiques du site. Quatre formules de transport sédimentaire longshore ont été testées (Kamphuis, 1986 et 1990, Van Rijn, 1989 et Kraus, 1982). La formule de Kraus (1982) donne les résultats les plus satisfaisants. Il est pourtant nécessaire de pondérer les résultats de coefficients empiriques pour tenir compte des différents types de déferlement

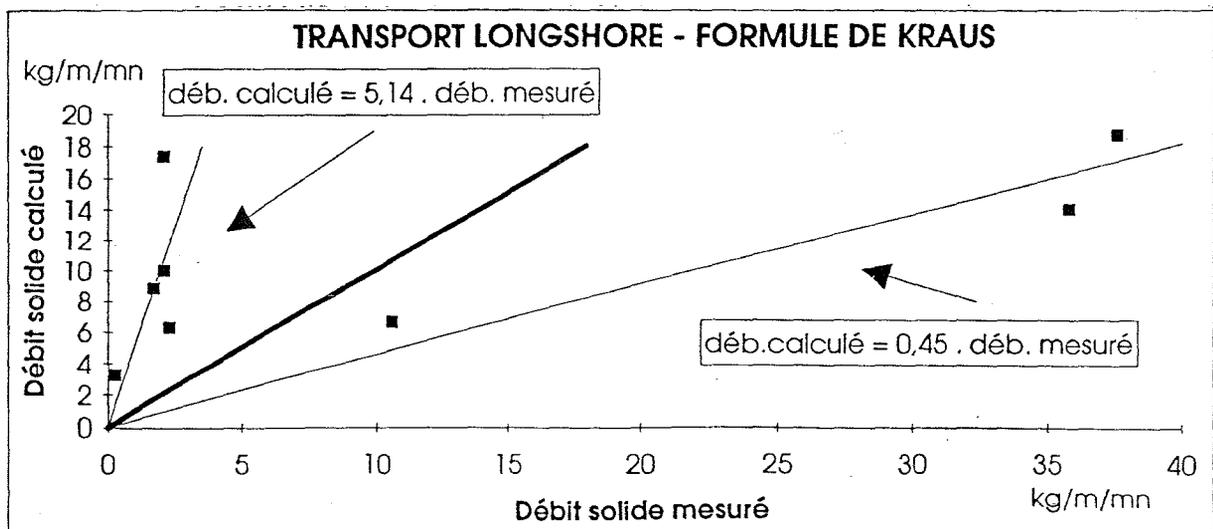


Fig. 6 : Comparaison entre débits solides calculés et mesurés du transport longitudinal

rencontrés sur les plages macrotidales (fig.6).

A partir de ces formulations, les transports sédimentaires longshore sont calculés pour six plans d'eau statiques couvrant une largeur de plage entre le niveau de mi-marée et le trait de côte. Sur les basses plages, le déferlement induit des transports sédimentaires longshore considérés comme négligeables, compte tenu de la réfraction importante des houles à l'approche de la côte. Dans ce cas, l'incidence des crêtes de houle est pratiquement nulle par rapport à la ligne de rivage.

A chaque noeud de la maille de calcul où les conditions de déferlement sont requises, et pour chaque scénario d'agitation, le volume des transports sédimentaires est calculé et pondéré par la fréquence annuelle de chacune des situations hydrodynamiques.

Ensuite, par niveau de plan d'eau et à chaque noeud de calcul des débits solides, une somme vectorielle des transports sédimentaires est réalisée pour calculer le transport résiduel annuel.

2. LA SIMULATION DES TRANSPORTS SÉDIMENTAIRES LONGSHORE À L'ÉCHELLE D'UNE ANNÉE

Sur les bases préalablement définies, les résultats des travaux de modélisation de la dérive littorale résiduelle mettent en évidence :

- une alimentation sédimentaire de la côte ouest du Cotentin par un flux en provenance du nord. Les débits annuels sont estimés par le modèle à environ 120 000 m³ au droit du Cap de Carteret. Ce chiffre se trouve confirmé par les expérimentations de traceurs radioactifs réalisées durant l'hiver 1984-1985 (Caillot, 1986).

- de Barneville au Havre de Saint-Germain-sur-Ay (fig.7), le transport sédimentaire s'effectue principalement vers le sud-est. Les sédiments contournent les deltas de marée au niveau de la moyenne plage. Entre chaque havre, les débits augmentent graduellement du sud vers le nord. Par exemple, ils sont estimés à 15 000 m³ à Barneville-Carteret et 78 000 m³ à Portbail.

- quelques irrégularités dans l'intensité des débits solides apparaissent entre Surville et Saint-Germain-sur-Ay. A cet endroit, le tracé de la côte est caractérisé par l'existence d'un point d'inflexion entre un secteur de côte concave et un autre convexe, plus au sud (fig.8). Ces changements d'orientation du littoral ouest Cotentin expliquent le fort gradient des transports longshore et la présence de points neutres où l'approche des houles est le plus souvent parallèle à la ligne de rivage.

- des inversions très locales de la dérive littorale sont observées immédiatement au sud de chaque havre. Elles contribuent à alimenter les flèches secondaires barrant l'entrée de ces entités morphologiques. Les embouchures des havres apparaissent comme des zones de convergence sédimentaire. Des matériaux en provenance des estrans voisins contribuent à leur colmatage et complètent les apports sédimentaires en suspension au cours du remplissage de l'estuaire.

- les secteurs de côte, où la dérive littorale s'établit vers le N, sont limités par une zone d'inversion où les débits résiduels sont théoriquement nuls. Précisément, au droit de ces zones singulières, les sédiments circulent

perpendiculairement au trait de côte en migrant sur le moyen et le haut estran sous la forme de rides

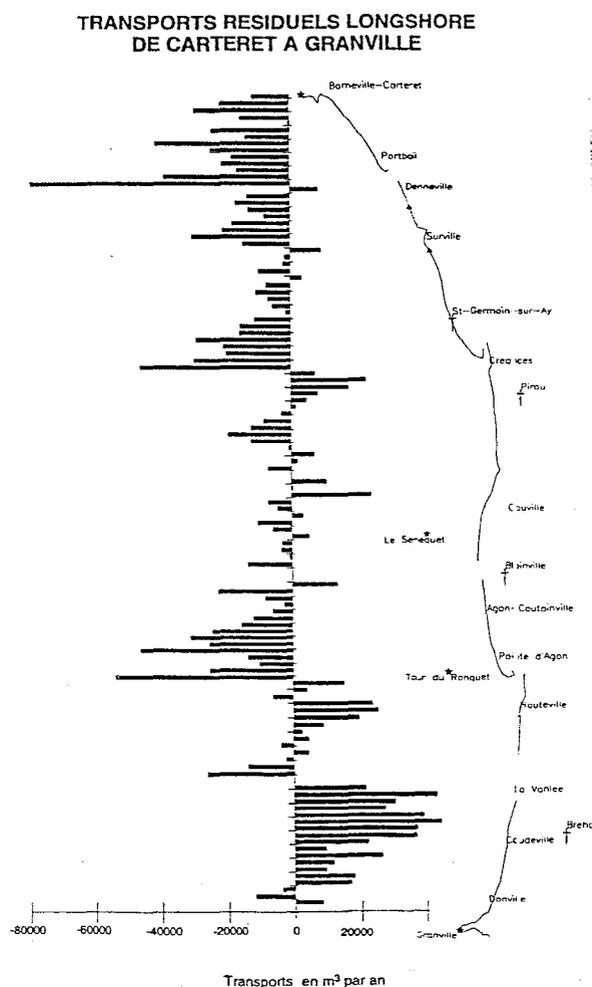


Fig. 7 : Transports résiduels longshore

pérlittorales (Farnole, 1986). Ces sédiments arrivant sur le haut de plage se dispersent latéralement en fonction des caractéristiques hydrodynamiques du moment. Ils alimentent la flèche secondaire localisée au sud des havres ou participent au transit sédimentaire général N-S.

- au sud de Créances, le tracé général du trait de côte change d'orientation (fig.9). Jusqu'à Pirou, les transports sédimentaires portent vers le nord. Ils atteignent 22 000 m³ à la Pointe du Becquet, au sud de l'embouchure du Havre de Saint-Germain. Un point d'inversion de la dérive littorale résiduelle est localisé juste au nord de Pirou, au droit du raccordement entre le delta de jusant du havre et le platier de Pirou. Ensuite, le transit vers le sud reprend, atteignant 19 000 m³ devant cette station balnéaire et alimentant sur la haute plage la flèche nord du havre de Geffosse. Cependant, sur le moyen estran, les sédiments circulent du sud vers le nord au sud de Pirou, de manière diamétralement opposée à la circulation de haut de plage. Une zone de convergence sédimentaire, différente de celle observée au niveau des havres, est donc identifiée. Sa localisation est parfaitement en phase avec l'évolution morphologique pluriannuelle de la plage de Pirou, largement bénéficiaire en sédiments depuis de nombreuses années.

Fig. 8 : Transports résiduels de de haute et moyenne plage dans la zone de Surville-Créances

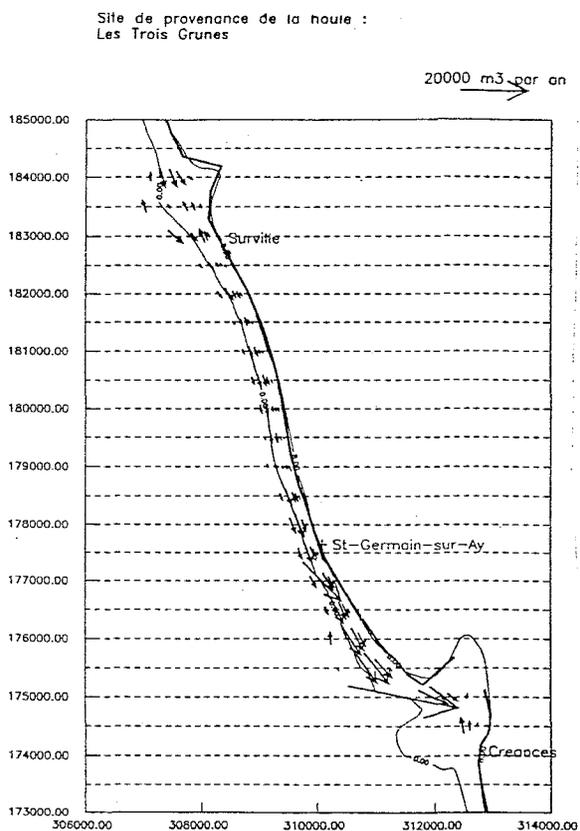


Fig. 9 : Transports résiduels de de haute et moyenne plage dans la zone de Créances-Gouville-sur-mer

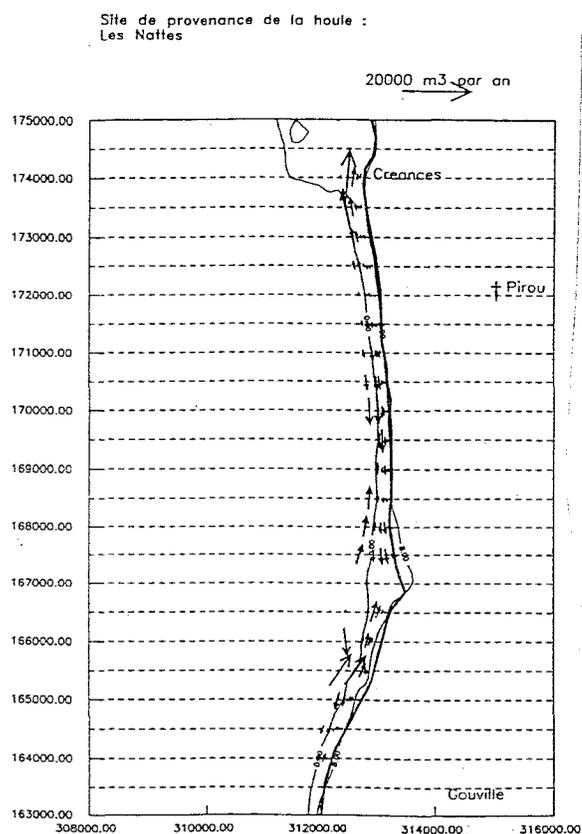


Fig. 10 : Transports résiduels de de haute et moyenne plage dans la zone de Hauteville-St Martin de Bréhal

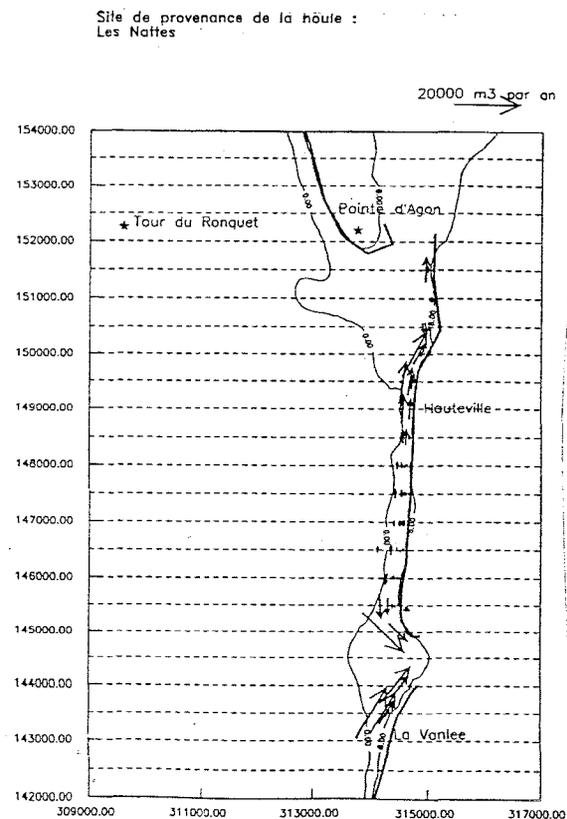
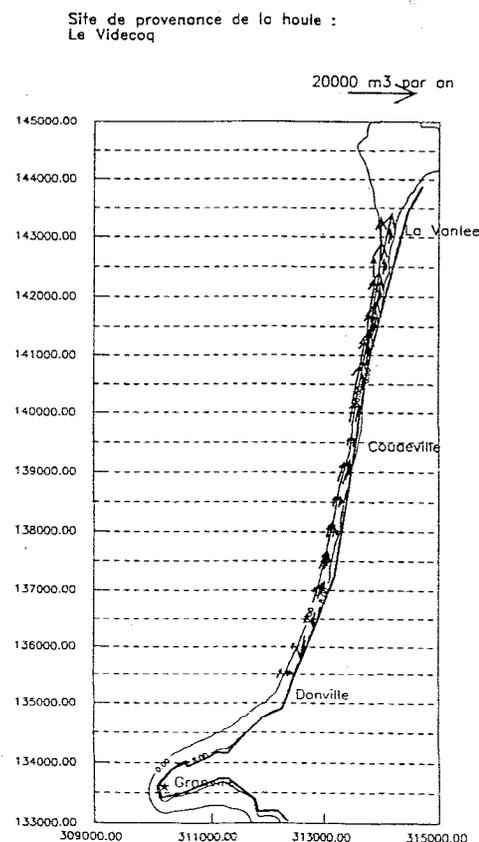


Fig. 11 : Transports résiduels de de haute et moyenne plage dans la zone de St Martin de Bréhal-Granville



- le secteur d'Anneville à Blainville présente une dynamique apparemment complexe. Au droit du Havre de Geffosse, sur le moyen estran, les sédiments circulent du sud vers le nord. Ils contribuent à alimenter la zone de Pirou et les systèmes de rides périlittorales mis en évidence au nord du Havre de Geffosse. La morphodynamique de l'embouchure de ce havre est donc complètement opposée à celle observée sur les havres du nord de la zone d'étude. La flèche principale est située au sud de la passe. Ces conclusions sont en accord avec la position initiale du delta de marée de cet estuaire. Sa localisation était beaucoup plus septentrionale avant les travaux d'endiguage réalisés à l'embouchure. Au droit de Gouville, les sédiments circulent vers le nord sur la haute plage et vers le sud sur la moyenne plage. Cette complexité s'explique par les irrégularités du platier Gouville-blainvillais qui affectent fortement la propagation des houles et modifient localement l'incidence des crêtes à la côte en fonction du niveau du plan d'eau statique.

- le schéma de circulation N-S, observé entre Carteret et Saint-Germain-sur-Ay, se rétablit à nouveau entre Blainville-sur-Mer et la Pointe d'Agon. Les débits solides varient de 3 000 m³ au sud de Gouville à 13 000 m³ à la pointe nord du Havre de Blainville et de 15 000 m³ au sud de Coutainville à 45 000 m³ à la Pointe d'Agon. Des zones d'inversion de la dérive sédimentaire sont mises en évidence le long de la flèche sud du havre de Blainville et à Montmartin-sur-Mer. Si la circulation N-S des sédiments peut être mise en évidence sur le moyen estran au droit du Havre de Blainville à partir de l'analyse morphodynamique, celle-ci, comme pour le havre de Saint-Germain, n'a pu être soulignée devant le havre de Regnéville. Les expérimentations de traceurs radioactifs réalisées sur le delta de marée de ce havre semblent cependant confirmer cette circulation (Gourlez *et al.*, 1982).

- au sud du Havre de Regnéville, la circulation sédimentaire longshore diffère nettement des secteurs côtiers plus au nord. La dérive des sédiments est principalement S-N. Les débits maximums sont atteints devant Hauteville-sur-mer avec 25 000 m³ par an et devant Saint-Martin de Bréhal, avec environ 44 000 m³. Des inversions locales sont néanmoins observées au droit de la flèche nord du havre de Lingreville. A Donville-les-Bains, un équilibre entre les mouvements sédimentaires longitudinaux N-S et S-N s'instaure nécessairement sur une courte distance compte tenu du changement d'orientation du trait de côte au niveau du cap de Granville (fig.10 et 11).

3. LA DÉLIMITATION DES CELLULES CÔTIÈRES DE CIRCULATION SÉDIMENTAIRE LONGSHORE SUR LA PARTIE SUPÉRIEURE DES ESTRANS

En se basant sur les travaux de Stapor et May (1983) et Lowry et Carter (1982) sur la détermination de cellules côtières, la modélisation de la circulation sédimentaire le long de la côte ouest du Cotentin entre le cap de Carteret et Granville permet de mettre en évidence (fig.12):

- l'existence de deux principaux compartiments sédimentaires, respectivement entre le Cap de Carteret et le Havre de Lessay et entre Créances et le Roc de Granville.

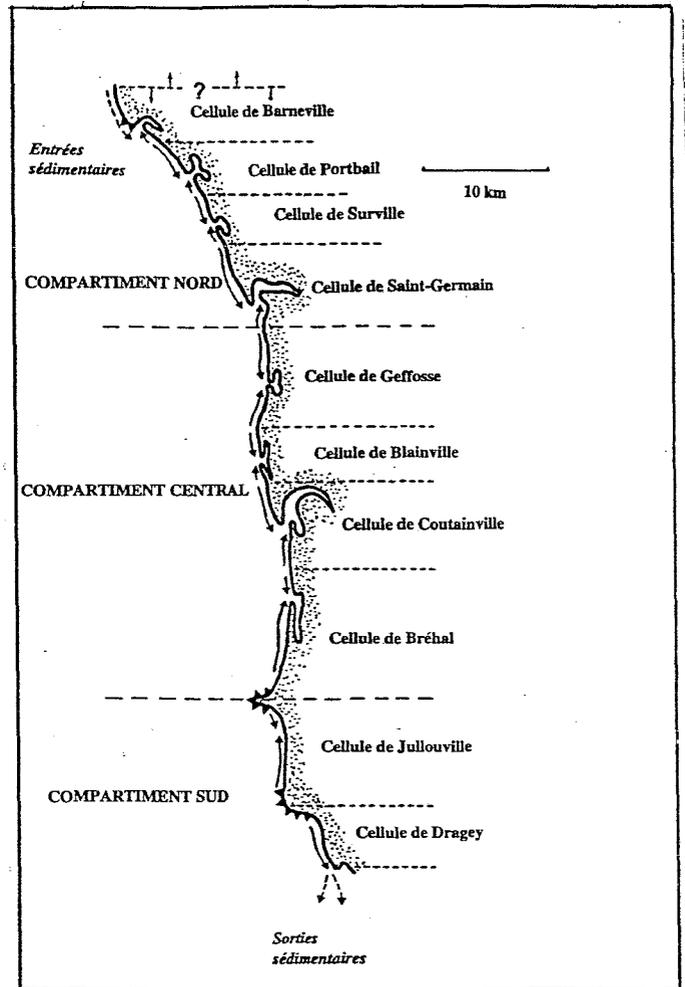


Fig. 12 : Délimitation des cellules sédimentaires de la côte ouest du Cotentin à partir de la modélisation de la circulation sédimentaire longshore résiduelle annuelle.

- la frontière du compartiment nord est ouverte au niveau de Carteret avec une alimentation sédimentaire en provenance de la plage d'Hatainville, située immédiatement au nord. Les transports de sédiments sont majoritairement unidirectionnels, vers le SE, sous l'influence des houles d'ouest.

- la frontière entre les compartiments nord et sud, au nord de Pirou, est probablement ouverte. Mais les échanges sableux doivent y être relativement restreints. Le changement d'orientation du tracé général de la côte explique l'existence de cette frontière. Plus au sud, les flux longshore sont moins organisés. La décroissance de l'énergie des houles et la complexité bathymétrique expliquent ce changement de régime sédimentaire et notamment l'apparition de mouvements essentiellement S-N.

- le cap de Granville constitue un obstacle infranchissable aux sédiments sableux de l'estran, compte tenu de son avancée vers le large, de l'altimétrie des fonds à son droit et de la discontinuité du stock sédimentaire.

- au total, huit cellules de circulation secondaire sont identifiées, quatre dans chaque compartiment. Elles englobent l'embouchure d'un havre vers lequel convergent les mouvements sédimentaires de hauts et moyens estrans.

- ces cellules sont fortement dissymétriques par rapport à l'embouchure des havres. De Carteret à Créances et de Blainville à Montmartin, la plus grande partie du linéaire de côte de chaque cellule est localisée au nord des havres. Au sud des embouchures, des remontées de sables transversalement à la côte alimentent les mouvements sédimentaires secondaires S-N. De Geffosse à Gouville et de Montmartin à Donville, la configuration des cellules est diamétralement opposée. Le degré d'exposition aux houles dominantes et la bathymétrie de l'avant-côte sont deux facteurs antagonistes qui expliquent cette circulation.

Les débits solides calculés sont très variables dans l'espace. Ils sont maximum au niveau du Cap de Carteret, dépassant les 100 000 m³ par an et le long des flèches sableuses comme à Portbail, à la Pointe du Banc et à la Pointe d'Agon. Ils sont minimum pour les secteurs côtiers parfaitement orientés N-S. Ces résultats doivent être rapprochés de l'évolution pluriannuelle du trait de côte. Les mouvements sédimentaires maximums correspondent à des secteurs de côte où la ligne de rivage est très mobile. Au contraire, les zones les plus stables sont caractérisées par des transports sédimentaires assez faibles.

CONCLUSIONS

La côte ouest du Cotentin entre le Cap de Carteret et celui de Granville est un système hydrosédimentaire complexe composé de multiples sous-systèmes ouverts à différentes échelles.

L'orientation du trait de côte et les conditions générales d'agitation permettent d'expliquer le fonctionnement des unités mises en évidence.

Les forts gradients de transport sédimentaire calculés se traduisent sur le terrain par une évolution très contrastée des plages et du trait de côte. Des zones de sous-alimentation sédimentaire (les apports sont plus faibles que les départs) ou de sur-alimentation (les départs sont plus faibles que les apports) sont mises en évidence. Ces phénomènes sont relativement bien corrélés avec les tendances évolutives pluriannuelles du trait de côte.

Dans un contexte transgressif, avec une élévation du niveau marin d'environ 5 à 6 cm durant les cinquante dernières années, l'évolution de la côte du Cotentin désavoue le principe de Brunn (1954). La modélisation des transports sédimentaires résiduels annuels montre qu'il est absolument nécessaire de prendre en compte la dynamique des sédiments sur les plages pour comprendre l'évolution du trait de côte. L'existence de transferts sédimentaires latéraux perturbe à l'échelle du siècle l'évolution du trait de côte. De ce fait, il est fort probable que les zones d'érosion de demain ne seront pas celles d'aujourd'hui (Levoy, 1994).

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'étude globale concernant la défense contre la mer de la côte du département de la Manche. Cette étude a été financée par le Conseil Général de la Manche, le Conseil Régional de Basse-Normandie, le Secrétariat d'Etat à la Mer et le Ministère de l'Environnement.

Bibliographie

- Booij N. et Holthuijsen L.H. 1992. User manual for the program HISWA, Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, 68 p.
- Brunn P. 1954. Coast erosion and the development of beach profile. Technical Memorandum, 44, Beach Erosion Board, U.S. Army Corps of Engineers.
- Caillot A. 1986. Bilan de l'étude effectuée au moyen de traceurs radioactifs dans le Golfe Normano-Breton sur les sites de Barneville, Carteret, Hatainville et Sciottot. C.E.A. Rapport ORIS/SAR/S/86-123/C 282.
- Farnole P. 1986. Morphogénèse et dynamique sédimentaire sur la côte ouest du Cotentin. Thèse 3ème cycle. Université Paris-sud, Orsay, 204 p, 81 fig.
- Horikawa K. 1988. Nearshore dynamics and coastal processes. Univ. of Tokyo Press, 522 p.
- Kamphuis J.W., Davies M.H., Nairn R.B. et SAYAO O.J. 1986. Calculation of littoral sand transport rate. Coastal Engineering, Vol. 10, 1-21.
- Kamphuis J.W. 1990. Littoral transport rate, Proceedings of the 22nd Coastal Engineering Conference, ASCE. Vol. 3. 2402-2415.
- Komar P.D. 1979. Beach slope dependence of longshore currents. Journal of Waterway, Ports, Coastal and Ocean Division, ASCE. Vol.5, WW4.
- Kraus N.C. 1987. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. Journal of Coastal Research, Vol 3, n°2, 139-152.
- Kraus N.C., Isobe M., Igarashi, H., Sasaki, T.O. and Horikawa, K. 1982. Field experiments on longshore sand transport in the surf zone. Proceedings of the 18th Coastal Engineering Conference, ASCE, 969-988.
- Gourlez P., Azoeuf P., Hoslin R., Jeanneau B., Migniot C. et Lorin J. 1982. Etude des mouvements sédimentaires dans la zone Pointe d'Agon-Montmartin (Manche) au moyen de traceurs radioactifs. Rapport ORIS/SAR/S/82-06.40 p.
- Levoy F., Monfort O., Rousset H. et Larssonneur C. 1993. Modélisation des transports sédimentaires sur les plages macrotidales, Exemple sur la côte ouest du Cotentin (Normandie, France). Société Hydrotechnique de France, colloque hydrotechnique Transports solides en eaux continentale et littorale-17 et 18 nov. 1993, 1-21.
- Levoy F. 1994. Les effets à attendre d'une élévation du niveau de la mer sur l'évolution du trait de côte. Compte-rendu du séminaire du 6-7 décembre 1993. Ministère de l'Environnement (sous presse).
- Lowry P. et Carter R.W.G. 1982. Computer simulation and delimitation of littoral power cells on the barrier coast of southern county Wexford, Ireland. J. Earth Sci. R. Dubl. Soc. 4, 1982, 121-132
- Orford J.D. and Bowden R. 1984. Prediction of coastal erosion in southern Cardigan bay. Unpubl. Rept., Welsh office, Cardiff.
- Stapor Jr. F.W. et May J.P. 1983. The cellular nature of littoral drift along the northeast Florida coast. Mar. Geol., 51, 217-237
- Van Run L.C. 1989. Handbook sediment transport by currents and waves, Delft Hydraulics.

QUESTION DE P. FARNOLE

1) Des plans de vagues ont-ils été réalisés ?

REPONSE

Oui, environ 300 plans de vagues ont été réalisés sur le secteur de côte entre Carteret et Dragey. Ces simulations de la propagation de la houle entre les sites de mesures de houle et les plages couvrent pratiquement 95 % des conditions hydrodynamiques annuelles.

2) Explications sur le transit sédimentaire S-N dans le secteur sud de la côte ouest du Cotentin.

REPONSE

Entre l'embouchure du havre de la Vanlée et Granville, d'une part et entre Saint Pair et Carolles d'autre part, la dérive longshore résiduelle annuelle est orientée S-N. Elle est opposée au sud du cap de Champeaux.

Les enregistrements de houle réalisés pendant près d'un an sur le site de Videcoq à environ 7 km au droit de Granville montrent que la fréquence des directions de propagation comprise entre 225° et 285° est de 90 %. Les

houles d'WNW et NW ne représentent que 6 % des conditions enregistrées. Compte tenu de l'orientation du trait de côte entre Saint-Martin de Bréhal et Granville, l'angle d'incidence des houles au déferlement est donc ouvert vers le nord, générant une dérive sédimentaire S-N.

Pour le secteur Saint-Pair-Carolles, le trait de côte est pratiquement orienté N-S. Cependant, compte tenu des directions les plus fréquentes des houles au large et de leur propagation à la côte, le courant longshore porte au nord. Les débits solides sont cependant plus faibles que pour le secteur précédent du fait d'une incidence moyenne des crêtes de houle au déferlement plus fermée par rapport à l'orientation du trait de côte.

3) Les plans de vagues confirment-ils une obliquité sud-nord ?

REPONSE

Les plans de vagues réalisés confirment bien sûr l'obliquité S-N, car ils sont à l'origine du calcul des caractéristiques de la houle au déferlement.