

# Dynamique sédimentaire d'une côte à barres : cas de la côte sableuse du Languedoc-Roussillon.

Emile Akouango et Jean Paul Barusseau CEFREM, Université de Perpignan 52 Av. de Villeneuve 66860, Perpignan.

#### Résumé:

L'étude morphodynamique et hydrosédimentaire de la zone littorale du Golfe du Lion est une contribution à la compréhension de son évolution en tenant compte d'une nécessaire intégration d'échelles de temps : d'une part, celle de l'actuel par un suivi pluriannuel de secteurs côtiers particuliers, d'autre part, celle de la transgression postglaciaire.

Conduit dans deux régions où s'observent des modifications rapides de la zone littorale, le travail a été construit sur une étude des facteurs du milieu naturel et des transformations morphologiques et sédimentologiques conséquentes.

#### 1. Introduction

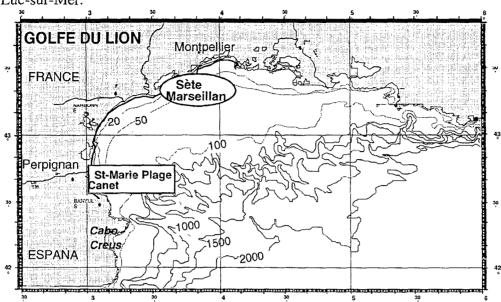
Le prisme littoral sableux du golfe du Lion comprend : une plage plus ou moins développée, enregistrant de manière temporaire les marques labiles de l'histoire météorologique immédiate et une avant-côte marquée de barres sableuses, linéaires ou festonnées, en nombre variable, séparées par des fosses de lévigation. La dynamique des barres sableuses est un des phénomènes étudiés dans ce travail. Plusieurs auteurs tels que Lippmann et Holman (1990), Ruesink et Kroon (1994), Larson et Kraus (1994) ont déjà abordé ce sujet.

## 2. Secteurs étudiés et méthodes

Cette étude rassemble des observations générales faites en différents points du golfe du Lion et présente les résultats d'une étude plus approfondie réalisée sur deux zones de 500 m chacune du lido de l'étang de Thau.

Des mesures topobathymétriques ont été faites pendant 5 ans à l'aide d'un théodolite électromagnétique Geodimeter. L'échantillonnage sédimentologique a été réalisé de façon plus ou moins systématique dans les fosses de lévigation externe (Crxe) et interne (Crxi), sur les crêtes de barres externe (Crte) et intermédiaire (Crti) et à des profondeurs particulières (-5 m et -10 m). Nous avons utilisé deux courantomètres S4 et un houlographe S4DW pour l'enregistrement des données d'océanographie physique au cours d'une opération unique dans la zone littorale du site de Sète (octobre à novembre 1994).

Les données obtenues nous ont permis de réaliser deux simulations à l'aide du modèle DUROSTA utilisé par Vellingina (1983) et Steetzel (1991; 1992c). Les analyses prennent en compte les tempêtes du 19 octobre et des 3 et 4 novembre 1994. La première tempête est caractérisée par un vent d'origine marine (80 à 120°), sa vitesse a atteint 25 m/s, la houle engendrée atteint une hauteur de 3,5 m et une période de 6 s. Le vent au cours de la deuxième tempête (2 novembre 1994) présente des directions comprises entre 140 et 180° pour des vitesses maximales de 22 m/s, les hauteurs des houles enregistrées sont plus faibles (2,5 m maximum) avec des périodes d'environ 5 s. L'estimation des volumes sédimentaires mobilisés a été faite à partir des observations de terrain à



l'aide des cartes de différence ainsi que par simulation à l'aide du même modèle à Luc-sur-Mer.

Fig. 1: Localisation des sites étudiés (encadré)

## 3. Formation et dynamique des barres sédimentaires

Sur la base des travaux antérieurs, les facteurs qui interviennent dans la formation des barres d'avant-côte sont les caractères de la houle, la pente, les apports et leur granulométrie et la courantologie dérivée de la houle. Ces travaux permettent d'esquisser un modèle conceptuel de la formation des barres d'avant-côte. Le moteur en est le brisant (Miller, 1976). La présence de deux à trois barres dans le golfe du Lion suggère que son action est différenciée en fonction des différents niveaux où il se forme en rapport avec la pente. Les houles de mauvais temps engendrent la barre externe ; la barre intermédiaire provient quant à elle des houles secondaires formées par la régénération des vagues après le brisant. La barre d'avant-plage, enfin, est générée en période de beau temps par retour du matériel exporté vers le large au cours des coups de mer précédents.

Barusseau et Saint-Guily (1981) et Barusseau et al. (1994) ont observé une faible variabilité de la disposition des barres dans l'ensemble du golfe du Lion. Les résultats obtenus ici confirment cette observation entre les sites étudiés (Tabl. 1).

Dans la partie roussillonnaise, les données de Canet et Sainte-Marie Plage et celles antérieures, obtenues plus au sud (le Racou, Argelès, Saint-Cyprien-Nord) montrent que le nombre de barres est inversement proportionnel à la pente (Fig. 2) dont le rôle peut être compris en fonction de l'étendue de la zone de déferlement qu'elle détermine entre la zone des brisants et le trait de côte. Les secteurs de Canet et Sainte-Marie Plage ont une pente plus faible que celles des secteurs au sud, leurs zones de déferlement sont donc plus larges, offrant une possibilité de naissance d'une houle secondaire qui crée la troisième barre.

Dans l'Hérault (Marseillan et Sète), la corrélation entre la pente et le nombre de barres est également nette (Fig. 2). On peut donc utiliser le même

raisonnement que précédemment. Cependant, les pentes trouvées sont moins fortes que celles de la partie roussillonnaise. Une relation monofactorielle conditionnerait ici trois à quatre barres. L'absence de la troisième barre à Sète et d'une éventuelle quatrième barre à Marseillan (pente très faible : 0,72%) implique un autre déterminant, notamment l'incidence des vagues à la côte. La côte est orientée SW-NE dans le secteur de Marseillan et Sète. Les vagues de SE, plus fortes dans la région, abordent presque frontalement la côte. La circulation latérale est faible et la composante du courant de retour issue de cette incidence est forte. Ces courants érodent le sédiment fin (120-330 μm) et contrarient la formation des barres. Au contraire dans la partie roussillonnaise, la côte présente une orientation N-S, la houle attaque la côte avec un angle plus élevé. Les courants latéraux sont donc prédominants et la morphologie acquise est peu modifiée, d'autant que le matériel, plus grossier (100-800 μm), est moins sensible aux remaniements.

dux iciliamem	OHES.			
Sites étudiés	barres	Profondeur (m)	Distance/Côte (m)	Pente de l'avant-Côte
Canet	3	0,5 2,5 4 - 4,5	25 250 425	1,4%
Sainte-Marie Plage	3	2 1,5 - 3 4 - 5	75 200 - 250 375 - 450	1,4%
Marseillan	3	0,5 - 1 2 4 - 4,5	0 - 50 150 - 250 400 - 500	0,72%
Sète	2	2 - 3	0 - 50 150 - 250	1,08%

Tabl. 1 : Répartition des barres dans les sites étudiés (Golfe du Lion).

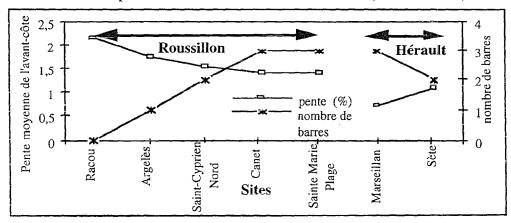


Fig. 2 : Nombre de barres en fonction de la pente moyenne de l'avant-côte.

L'alternance des différents régimes océanographiques détermine la mobilité des barres. Ainsi la stabilité de la barre externe est-elle généralement notée, alors que la barre d'avant-plage, soumise aux houles plus fréquentes de beau temps est en perpétuel déséquilibre. Elle est susceptible de disparaître par accrétion au rivage, après les phases de tempête qui l'ont éloignée. Quant à la barre intermédiaire, sa mobilité est appréciable ; moindre que celle de la barre d'avant-plage mais plus forte que celle de la barre externe.

En période de tempête on observe que, toutes les barres migrent vers le large. Le module de déplacement est fréquemment de l'ordre de 100 m. Il est

toutefois moins important pour la barre externe quand elle est profonde (cas de Marseillan. Ces déplacements se caractérisent par des érosions (plage, fronts et crêtes) et des dépôts (fosses de lévigation et le glacis d'avant-côte) de matériaux.

L'approche numérique a montré qu'au cours de la première tempête, un très faible déplacement vers le large de la barre externe est prédit alors que la barre interne se décale de 40 m environ. Quant à la plage, elle subit une intense érosion. Au cours de la deuxième tempête, le déplacement calculé de la barre externe est plus important que dans le premier cas, de l'ordre de 20 m, tandis que celui de la barre interne atteint 50 m; la plage s'érode et le sable érodé se dépose sur l'avant-plage. La différence observée entre ces deux simulations résulte d'abord de l'état de la mer qui a précédé chaque tempête. S'il est caractérisé au cours de la première tempête par des hauteurs de houle faible (< 0,8 m), il est par contre plus agité dans la période qui précède immédiatement la seconde, avec des hauteurs de houles supérieures à 1,3 m. Cette agitation a pu entraîner, avant même le coup de mer, un certain déplacement de la barre. Une autre cause du plus grand déplacement des deux barres lors de la seconde simulation est la plus longue durée de la tempête (plus de 70 h contre 48 h en octobre).

La force de la houle seule ne suffit donc pas à expliquer le déplacement des barres d'avant-côte, l'état de la mer avant le coup de mer et sa durée jouent aussi un rôle notable.

L'observation de terrain comme l'application d'un modèle numérique montrent une mobilité des barres en direction du large qualitativement identique en période de tempête. Les zones d'érosion et de dépôt sont les mêmes. Par contre, la valeur des déplacements est très différente, beaucoup plus importante dans la réalité que ne l'indique la simulation (50 à 150 m contre 40 m pour la barre interne; 120 m contre 0 à 5 m environ pour la barre externe). La différence entre les deux résultats peut s'expliquer par le fait que la simulation utilise, pour caractériser la granulométrie, un paramètre de position unique (médiane = 250 µm) alors que, sur le terrain, cette variable se modifie largement le long du profil.

## 4. Débits sédimentaires

L'évaluation des débits sédimentaires a été faite en s'appuyant sur deux approches, l'une par bilan de cubature en comparant la géométrie du fond en deux moments rapprochés et l'autre par simulation mettant en œuvre un état initial de la morphologie et les données réelles d'un événement météorologique observé.

Les données de terrain ont fourni des cartes-différences réalisées pour deux situations météorologiques. Au cours de la première expérience (deux coups de mer notables séparent les levés des 13 octobre et 8 novembre 1994), on a enregistré deux grandes périodes d'échanges internes et deux périodes de restauration leur faisant suite. Par contre, entre les 8 et 15 novembre 1994, l'événement énergique entre les sondages fut bref (24 h environ) et la courte période de restauration a été marquée par une dérive littorale vers le SW. Le bilan, dans le premier cas, apparaît équilibré, le compartiment sétois du rivage n'améliorant son bilan sédimentaire que de quelque 1700 m³, ordre de grandeur de la précision sur l'évaluation. Au cours de la deuxième expérience, entre 20 et 25000 m³ de matériel ont été érodés. En définitive, la dégradation du profil est rapide; même un événement de durée limitée le transforme profondément; les

échanges dans le profil qui sont alors dominants conduisent le matériel à des profondeurs inférieures à la limite distale des profils étudiés (le bilan est négatif); la restauration est moins vive que la destruction mais cependant suffisamment rapide pour qu'en quelques jours, l'équilibre soit retrouvé. La dérive littorale, au moins dans la période qui fait immédiatement suite à un coup de mer, contribue à accentuer le déficit sédimentaire. Ceci d'autant plus que, dans une zone comme Sète, l'apport (NE-SW) est forcément limité par la présence du promontoire du Mont Saint-Clair et des ouvrages du port des Quilles alors que l'exportation du matériel vers le SW peut se faire sans entrave, le secteur jouant alors le rôle de source.

Par simulation, les deux cas traités sont ceux des tempêtes du 19 octobre 1994 et des 3 et 4 novembre 1994. Dans la première simulation, les volumes du sable déplacé sont proportionnels à Hs au début de la tempête (Fig. 3). Les quantités transportées demeurent ensuite invariables malgré des hausses momentanées de Hs. Le bilan du sable déplacé après 70 h de tempête donne des valeurs allant jusqu'à 26 m³/m sur une longueur de 500 m de profil S06 (environ 13000 m³ sur tout le site).

Dans le second cas étudié, le glacis d'avant-côte et la fosse de lévigation ne sont pas très sensibles à l'érosion. Par contre, on a observé un mouvement massif de sable au cours du temps de la plage au revers de la première barre et sur la crête externe. Sur le profil S01, situé dans une zone considérée comme sensible, le volume de sable déplacé après 70 heures s'élève à 7500 m³ (Fig. 4). Cette réduction du débit par rapport au premier événement s'explique par l'agitation durable de la mer dans la période qui a précédé ce second test. Cette agitation a dû soustraire une partie du volume disponible et réduit les possibilités d'érosion. On retrouve là une manifestation de la précocité des déplacements sédimentaires, dès que s'amorce le coup de mer.

Les conclusions tirées de la modélisation doivent cependant être considérées avec précaution dans la mesure où l'on estime que les produits érodés ne sont déposés que dans le profil transversal, négligeant ainsi la possibilité d'un transport non équilibré parallèle à la côte. Une autre raison restreignant la portée des conclusions est le fait que le modèle ne considère qu'une taille moyenne des grains pour l'ensemble du profil, ce qui donne une image de la réalité entachée de distorsions.

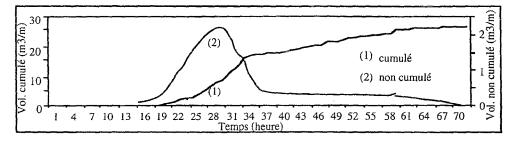


Fig. 3: Volumes calculés (bilan) du sable sur le profil S06 (18 oct. 1994)

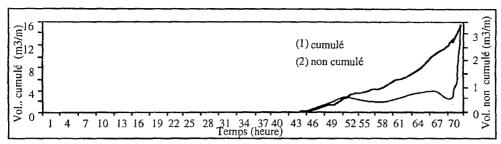


Fig. 4: Volumes (bilan) du sable déplacé sur le profil S01 (3-4 nov. 1994).

## 5. Evolution granulométrique

Les types sédimentaires, établis à partir du dénombrement statistique des valeurs modales, représentent les populations granulométriques les plus fréquentes. Sur l'ensemble du lido, on enregistre la présence de trois types : I  $(130-300 \ \mu m; 82\%)$ , II  $(300-600 \ \mu m: 8\%)$ , III  $(600-3100 \ \mu m: 10\%)$ .

Dans le profil, on a pu identifier trois secteurs sédimentologiques : Le secteur du large de -10 m à Crte où la variation de la médiane ne dépasse guère 0,5 \$\phi\$ (Tabl. 2) : c'est donc une zone de relative stabilité granulométrique. Cette stabilité s'explique par l'insuffisance du matériel grossier capable de nourrir ce secteur et par la rareté des coups de mer avec Hs > 4 m, l'action de la houle sur le fond est faible, atténuée par la profondeur.

Niveau/Sites	LBC	Crtii	Crxi	Crti	Crxe	Crte	-5 m	-10m
Marseillan	1,35	1,48	1,60	2,19	1,97	2,47	2,43	2,82
Sète	-0,12	2,22	1,47	2,28	2,15	2,53	2,57	2,82

Tabl. 2 : Evolution de la médiane (unité  $\phi$ ) en fonction des étages par site.

De la crête de barre externe à la crête intermédiaire, s'étend un deuxième secteur sédimentologique caractérisé par des variations granulométriques amples dans le temps ( $\Delta$ > 2  $\phi$ ). Les indices granulométriques deviennent très fluctuants sous l'influence alternée de la houle et ses courants directs ou dérivés.

La limite de barre de collision (LBC) correspond au dernier secteur, caractérisé par de fortes modifications granulométriques. Au cours du temps, ce secteur est contraint de s'adapter aux changements de régime océanographique. Les populations moyennes sont érodées en période de haute énergie laissant en place des populations plus fines (effet d'abri) et grossières (effet de masse).

Considéré en fonction des tendances granulométriques moyennes, il existe donc une variabilité saisonnière qui oppose un épisode hivernal inscrit entre novembre/décembre et février/mars à un épisode post-hivernal qui correspond au printemps et à l'été.

La mobilité des fractions sédimentaires a été étudiée au cours d'une tempête (19 octobre 1994). Les différences entre deux distributions granulométriques successives d'un sédiment local reflètent le changement de texture à deux moments d'un épisode de remaniement mais l'ampleur des transformations ayant conduit au passage du sédiment initial au sédiment final reste inconnue. La seule solution pratique consiste donc à modéliser des enlèvements ou des arrivées de particules, selon une loi de fréquence déterminée,

à partir d'une distribution originale connue. Nous avons opéré en considérant que la distribution des fractions apportées ou exportées était normale et en jouant sur les valeurs du mode, de l'écart type et du pourcentage de sédiment à extraire en cas d'érosion ou à importer en cas de dépôt.

Les échantillons ont été prélevés le 18 octobre 1994 à - 5 m, en Crte et en Crxe dans les profils S01 et S06 (distributions initiales), et le 21 octobre 1994, prélevés aux mêmes étages après la tempête du 19 octobre 1994, qui donnent les distributions finales. Pour chaque étage, les paramètres directeurs des transformations qui expliquent le mieux les changements texturaux observés sont consignés dans le tableau 3. On constate que la transformation, après le passage de la perturbation, est gouvernée par un apport de matériel nouveau à - 5 m (seulement 20 à 30 %) et dans la fosse de lévigation (40 à 60 %) tandis que sur la crête de barre externe c'est un enlèvement de 60 à 90% de particules qui justifie le mieux la modification observée de la granulométrie. Les populations mobiles sont comprises entre 2 et 2,7 \u03c4. La population dominante extraite ou déposée n'est donc pas représentative de la distribution du sédiment initial existant mais plus certainement des facteurs gouvernant le transport sédimentaire et de leur variabilité.

Etage/ Profil	Mode (ф)	Ecart type (σ)	Importation (%)	Extraction (%)
S01-5 m	2,3	0,35	20	
S06-5 m	2,5	0,40	30	
S01-Crte	2,1	0,35		90
S06-Crte	2,7	0,30		60
S01-Crxe S06-Crxe	2,0 2,2	0,30 0,30	60 40	

Tabl. 3: Populations mobiles au cours de la tempête du 19 octobre 1994

La simulation montre aussi qu'il n'y a pas identité entre les populations granulométriques enlevées (sur la crête) et les populations importées (sur les fonds de -5 m et dans les fosses de lévigation). Cependant, les études effectuées par Greenwood et al. (1976), Guillen et Palanques (1994), Akouango (1997) ont montré que des crêtes de barres sont des zones d'érosion au cours des tempêtes, notamment en faveur de la fosse de lévigation. On peut donc assurer qu'il y a héritage sédimentaire, mais un héritage qui oriente plutôt les fractions grossières des populations érodées (modes à 2,0 et 2,2  $\phi$ ) vers la fosse de lévigation et les fractions fines (modes à 2,3 et 2,6  $\phi$ ) vers les profondeurs plus grandes (-5 m). En outre, l'existence de courants longitudinaux forts dans la fosse de lévigation légitime aussi la sélection de matériaux plus grossiers.

#### 6. Conclusion

Les principales conclusions que l'on peut tirer de cette étude sont les suivantes :

Le nombre des barres n'est pas uniquement déterminé par la pente de la côte mais aussi par l'incidence des houles qui règle l'importance relative des composantes transversales et longitudinales des houles et des courants littoraux.

Lors des tempêtes, les barres dans leur ensemble s'éloignent du rivage de manière progressive, rapide, mais pas forcément régulière. Une particularité de l'évolution du système réside dans l'individualisation d'une barre d'avant-plage qui se développe surtout en période de reconstruction quand le matériel sédimentaire revient à la plage. L'utilisation d'un modèle numérique montre une bonne adéquation qualitative des résultats qu'il fournit avec ce qui est observé, même si l'ampleur des changements est plus faible.

#### **BIBLIOGRAPHIE**

Akouango, E., 1997 -Morphodynamique et dynamique sédimentaire dans le golfe du Lion. contribution à l'étude de la zone côtière dans l'actuelle et le quaternaire récent. *Th. univ. de Perpignan* 200pp.

Barusseau, J.P., Akouango, E., Bâ, M., Descamps, C. and Golf, A., 1996. -Evidence short term retreat of the barier shorelines. *Quaternary Sce. rev.*, Vol. 15, pp763-771.

Barusseau, J.P., Descamps, C., Radulescu, M., Akouango, E. et Gerbes, A., 1994., - Morphosedimentary multyear changes on a barred coast (Gulf of lions, Mediterranean Sea, France) *Mari. Geol.* 122, 47-62.

Barussea, J.P. et Saint-Guily, B., 1981 -Disposition, caractères et mode de formation des barres d'avant-côte festonnées du littoral du Languedoc-Roussillon (France). *Ocea. Acta.*, 4, 3, p 297-304.

Greenwood, B. and Davison-Arnott, R.G.D., 1976. -Marine bars and nearshore sedimentation. Eds. Soc., Econ., Paleon., Miner., Spec., Publ., 24, 1-23.

Guillen, J. and Palanques, A., 1993. -Longshore bar and systems in a microtidal, storm-wave dominated coast: The Ebro Delta (Northestern). *Marine geology*, 115. p239-252.

Larson, M. et Kraus, N.C., 1993. - Temporal and spatial scales of beach profile change, Duck, North Carolina. *Marine geology*, 177 (1994), p75-94.

Lippmann, T.C. and Holman, R.A., 1990. -The spatial and temporel variability of sand bar morphology. *Geophys. Res.*, 95 (C7): 11575-11590.

Miller, R.L., 1976. -Role of in surf zone prediction: sedimentation and waves forces. in: Davis, R.A. and Ethington R.L., Beach and nearshore sedimentation. *eds SEPM, Tulsa, Okla.*, 92-115.

Ruessink, B.G. and Kroon, A., 1994. -The behaviour of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling, the Neterlands: 1965-1995. *Marine geology*. 121., P 187-197.

Steetzel, H.J., 1991. -A model for profile changes during storm surges. *Proceedings Costal Sediment* Vol. 1, pp618-630, Steattle.

Steetzel, H.J., 1992c. -Vergelijking DROS/DUROSTA (comparaison DUROS/DUROSTA). Research report Delf Hydraulics H1201, part II.

Vellingina, P., 1992c. - Predictive computational model for beach and dune erosion during storm surges. *Proceedings of the Conference on Coastal Structures*. Vol. 83, ASCE, pp. 806-819.