



Réponses acoustiques de différents faciès morpho-sédimentaires d'une lagune côtière et d'une flèche littorale.
Acoustic data in coastal lagoon and sand spit environments.

(a) Agnès Baltzer, (b) Chantal Bonnot-Courtois, (b) Jérôme Fournier,
(c) Jean-Marc Rousset, (d) Jérôme Schoorens.

(a) Maître de conférences, (d) Etudiant, Université de Caen, Morphodynamique Continentale et Côtière (M2C),
24 rue des Tilleuls. 14000 CAEN. Tél : 02.31.56.57.45. baltzer@geos.unicaen.fr

(b) Chargés de recherche CNRS, UMR 8586 PRODIG, Laboratoire de Géomorphologie et Environnement littoral, 15,
bd de la mer 35800 DINARD. Tél : 02.99.46.10.72
. chantal.bonnot@wanadoo.fr jeromefournier@wanadoo.fr

(c) Ingénieur de recherche, UMR 6598 LMF, Groupe Hydrodynamique et Génie Océanique,
Ecole Centrale, 1 rue de la Noë, 44321 NANTES. Tél : 02.40.37.16.25.
jean-marc.rousset@ec-nantes.fr

Résumé

Etudié selon une double approche, acoustique et optique, le littoral de Sables d'Or est formé d'une longue flèche sableuse surmontée d'un massif dunaire, qui isole en arrière d'elle une lagune côtière. Les images acoustiques des unités morpho-sédimentaires identifiées sur les photographies aériennes (images optiques) révèlent : * les herbiers de zostères qui se développent au niveau des plus basses mers sur les petits fonds sableux de l'avant-côte ; * le système de rides sableuses de grande extension qui occupent la basse et la moyenne plage; le delta de flot qui s'étend à l'extrémité interne de la flèche littorale; * et enfin les vasières internes de la lagune, colonisées par la végétation halophile (le schorre) dont la bordure externe est envahie par les sables. Ainsi, la combinaison des images sonar et des photographies aériennes – validée par des observations de terrain - permet une description qualitative et quantitative (amplitudes et longueurs d'onde) des différentes unités morpho-sédimentaires. Cette double approche permet une reconnaissance rapide et fiable, donc parfaitement adaptée, pour un suivi d'évolution du littoral.

Abstract :

This study presents a combined approach of the coastal area of the « Sables d'Or » with acoustic and optical data. A sand spit, covered by dunes, which isolates a lagunal system behind it, constitutes this coastal portion. The acoustic imageries of the sedimentary structures, identified on the aerial photographs (optical imageries), show : * seagrasses meadows which grow in shallow waters on sandy substratum near lowest tide sea level ; * a sandy ridges system of large extension, from the middle to the lower beach ; a flood delta developed at the internal extremity of the sand spit and, eventually, * the internal mud flats colonized by the halophile vegetation (salt marsh) with external edges invaded by sands. Thus, the combination of sonar data, aerial pictures and field work observations allows a very precise description of the different morpho

sedimentary structures.

This double approach constitutes a fast and reliable survey method, perfectly adapted to follow the evolution of the coastal area.

Mots-clés: Imagerie sonar, herbiers de zostères, flèche littorale, rides, schorre.

Keywords: Sidescan sonar imagery, seagrasses meadows, sand spit, ridges, salt marsh.

1.Introduction

Le site des Sables d'Or constitue sur la côte orientale de la Baie de Saint-Brieuc, le seul exemple de plage adossée à une flèche littorale sableuse surmontée d'un massif dunaire. Des faciès morpho-sédimentaires très diversifiés, dont la mise en place et l'évolution résultent de l'action conjuguée des houles et des courants de marée (BONNOT-COURTOIS et LAFOND, 1994) peuvent être observés sur les quelques kilomètres de ce littoral.

Une campagne sonar a été réalisée dans le but de caractériser les différents faciès morpho-sédimentaires rencontrés depuis les petits fonds de l'avant-côte jusqu'aux secteurs les plus internes de la lagune. Ont été successivement analysés : les platiers rocheux, les herbiers de zostères, les barres sableuses de la plage externe, le delta de flot et le schorre. Les réponses acoustiques de ces différentes unités comparées aux données de la photo-interprétation et aux validations terrain permettent une description plus précise des objets, une mesure plus fine des figures sédimentaires ainsi qu'une meilleure discrimination des entités morpho-sédimentaires dans les zones submergées.

2.Cadre morpho-sédimentaire

Situé sur la côte Est de la baie de Saint-Brieuc, le littoral de Sables d'Or les Pins coïncide avec un fossé d'effondrement limité par deux pointes rocheuses taillées dans les grès des séries détritiques rouges continentales de la formation d'Erquy-Fréhel. Cette partie de la côte est soumise à un régime macrotidal, avec un niveau théorique des pleines mers de vive-eau qui atteint 12,50 m tandis que les pleines mers de morte-eau se situent autour de 8m par rapport au zéro hydrographique. Ouverte directement au Nord, la plage est relativement protégée des houles dominantes par la présence d'îlots (îlot Saint-Michel), de platiers rocheux (Roche Plate Saint-Michel) et de pointes rocheuses (Pointe du Champ du Port). Ces houles de Nord-Ouest sont diffractées par ces obstacles de l'avant-côte de telle sorte qu'elles atteignent la partie Ouest de la plage avec une obliquité induisant une dérive littorale vers l'Ouest (PLUET et ZIMMERMANN, 1984, 1985). Les houles de Nord atteignent frontalement la plage sans rencontrer d'obstacles dans leur propagation ce qui induit des mouvements de sable transversalement dans le profil de la plage.

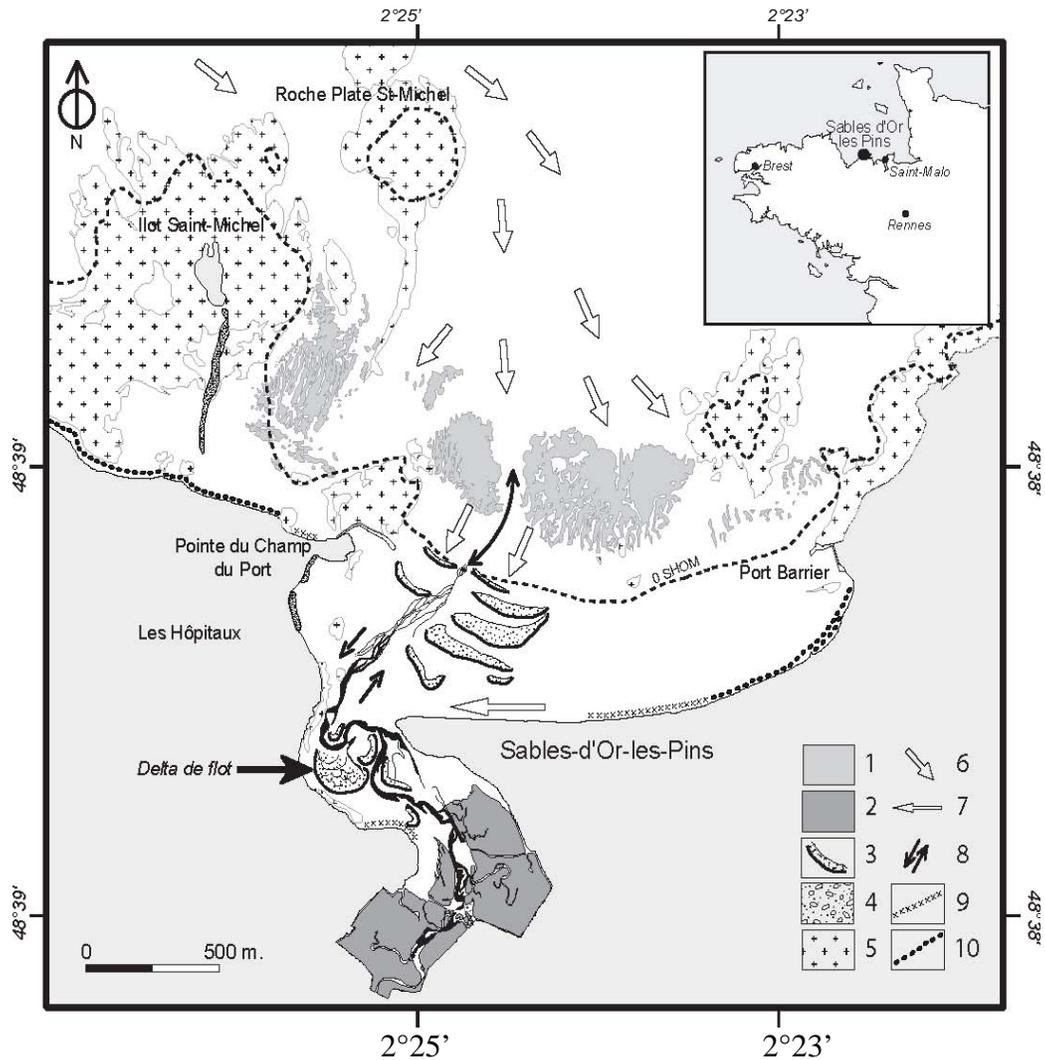


Figure.1 : Principales unités morpho-sédimentaires du littoral de Sables d'Or

- 1 Herbiers de zostères. *Seagrasses meadows*
- 2 Schorre. *Salt marsh*
- 3 Rides périlittorales. *Ridges and runnels*
- 4 Blocs et cailloutis. *Cobbles and pebbles*
- 5 Platiers rocheux. *Rock benches*
- 6 Houle dominante. *Major swell*
- 7 Dérive littorale. *Beach drift*
- 8 Courants de marée. *Tidal currents*
- 9 Enrochements. *Armour stones*
- 10 Cordons de galets. *Shingle bars*

La partie orientale de la plage à proximité du port Barrier, orientée face aux houles de Nord-

Ouest, non diffractées, est soumise à une forte agitation marquée par la présence d'un cordon de galets en haut de plage (Fig. 1).

L'avant-côte est parsemée d'écueils et d'îlots rocheux, particulièrement bien développés au Nord-Ouest de la plage, qui vont largement influencer la propagation des houles et donc la dynamique morpho-sédimentaire de la plage. Les platiers rocheux sont recouverts d'algues mais la basse plage et les petits fonds sableux sont partiellement recouverts par des herbiers de phanérogames marines à *Zostera marina*. Ces herbiers ont une structure alvéolaire très spécifique qui les distingue bien des algues, même dans les secteurs submergés sur les photographies aériennes.

Dans la partie occidentale, la basse et moyenne plage présente un système de grandes rides périelitorales, orientées perpendiculairement aux houles diffractées, et qui forment une succession de barres et de bâches remontant vers l'extrémité de la flèche littorale. La flèche littorale elle-même s'étend sur une longueur de près de 2 km depuis sa racine à l'Est vers Port Barrier jusqu'à son extrémité à pointe libre à l'Ouest. Cette flèche sableuse a progressivement barré le fond de baie et isole en arrière d'elle une lagune côtière dans laquelle débouche un petit cours d'eau. La progression de la flèche vers l'Ouest repousse le chenal contre la falaise des Hopitaux et la passe d'entrée est entretenue par les forts courants de marée qui s'établissent lors du remplissage et de la vidange de la lagune. Les courants de flot transportent de grandes quantités de sable grossier qui se dispersent dans l'intérieur de la lagune sous forme d'un delta de flot, modelé par de nombreuses rides dont l'amplitude diminue progressivement depuis la passe d'entrée vers l'intérieur de la lagune. Ces sables très mobiles envahissent progressivement le revers interne de la flèche et recouvrent la bordure du schorre installé sur les sédiments fins vaseux qui occupent les secteurs les plus internes de la lagune.

3. Réponses acoustiques

Des campagnes sonar, réalisées au printemps afin de bien caractériser les réponses acoustiques des zones végétalisées, ont permis de reconnaître d'une part les petits fonds de l'avant-côte, proches du zéro hydrographique, et d'autre part, l'ensemble de la zone intertidale depuis la basse plage externe jusqu'aux secteurs internes de la lagune. L'appareil utilisé est un sonar latéral analogique, Edgetech 272 TD, qui peut fonctionner sur deux fréquences d'acquisition : 100 ou 400 kHz. Les données présentées ici sont acquises à partir d'un zodiac pour une vitesse de 3 noeuds à une fréquence de 100 kHz.

Un premier secteur correspond aux herbiers de phanérogames marines visibles sur la photographie aérienne (Fig. 2) en face de la plage elle-même et à l'Est du platier rocheux de l'îlot Saint-Michel, en détaillant le contact entre la bordure des zostères et le substrat sableux non colonisé (Zone A). Le deuxième secteur analysé représente les systèmes de rides sableuses qui se rencontrent soit sous forme de barres et de bâches nettement visibles sur la basse plage externe, soit au niveau du delta de flot à l'entrée de la lagune (Zone B).

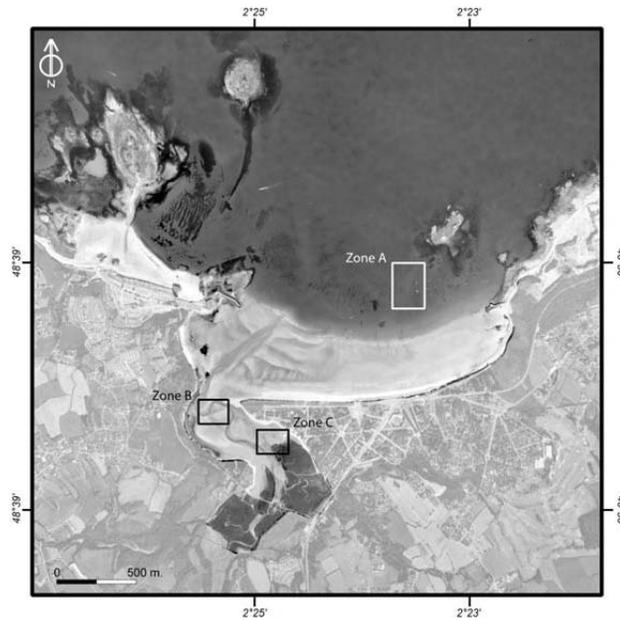


Figure 2 : Photographie aérienne IGN du littoral de Sables d'Or et position des images

Un dernier secteur correspond aux zones couvertes par la végétation halophile à l'intérieur de la lagune et au contact entre ce schorre et les sables qui envahissent sa bordure (Zone C)

3.1. Les herbiers de zostères

Les zostères sont des plantes à fleurs sous-marines (Fig. 3a) qui forment des prairies dans les parties basses des estrans, de part et d'autre du zéro hydrographique (PAILLARD et al., 1993). Leur réponse acoustique se présente sous forme de taches sombres dont le contraste varie avec la densité (Fig. 3b). A proximité Est de l'îlot Saint-Michel, l'herbier se développe en position abritée des houles dominantes. Il présente des structures alvéolaires, orientées selon les courants de marée et dont les contours délimitent des ondulations de faible amplitude qui modèlent le substrat sableux. Au centre de la plage, l'ensemble de l'herbier présente une structure plus fragmentée. Il est par ailleurs entaillé par une bande sableuse non végétalisée, orientée au Nord. La partie Est de l'image acoustique correspond au contact entre l'herbier et une zone sableuse claire dans laquelle apparaissent des bandes grises à fines rides transversales.

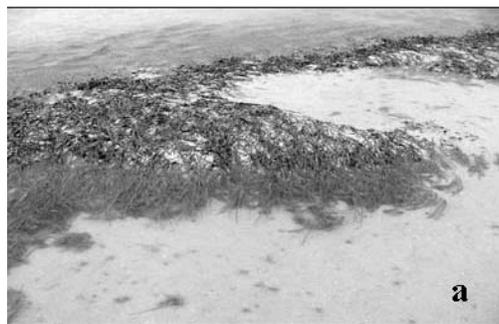


Figure 3 : Photographie (a) et sonogramme (b) des herbiers de zostères.

3.2. Les systèmes de rides sableuses

D'une part, le système de rides sableuses de grande extension de la plage externe apparaît sur l'image sonar comme une succession de bandes claires et sombres qui correspondent aux reliefs des barres et aux dépressions des bâches.

D'autre part, au niveau du delta de flot (Fig. 4), les rides sableuses sont de grande amplitude mais de faible longueur d'onde. Elles présentent une dissymétrie avec une pente raide vers l'intérieur de la lagune ce qui indique qu'il s'agit de rides de flot. Elles sont par ailleurs remodelées en surface par d'autres rides de jusant, orientées en sens opposé et de beaucoup plus faible amplitude, ce qui donne un faciès acoustique assez tourmenté (Fig. 5). Ainsi, le renforcement des courants de marée dans la passe d'entrée dans la lagune entraîne un profond remaniement des sables grossiers et la formation de grandes rides de jusant qui se développent à proximité du chenal.

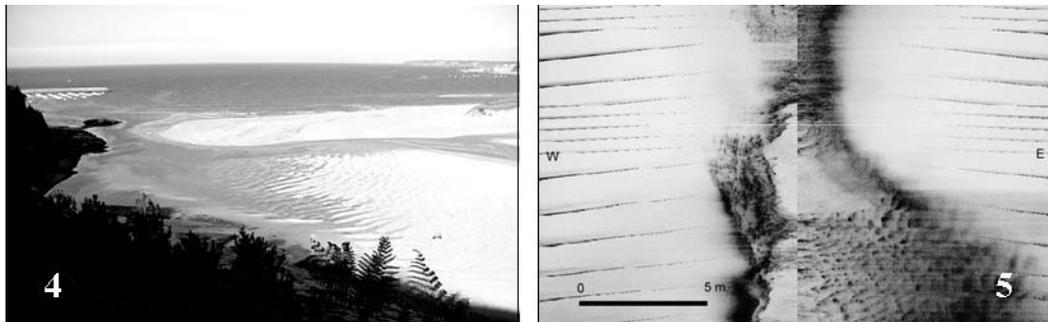


Figure 4 & 5 : Vue oblique du delta de flot et sonogramme des rides de jusant

3.3. Le schorre des zones internes de la lagune

Les schorres se développent dans les parties les plus hautes de l'estran à l'intérieur de la lagune où les conditions abritées sont favorables au dépôt de sédiments fins qui sont colonisés par la végétation halophile dès qu'un certain niveau altimétrique est atteint. Les plantes pionnières s'installent progressivement la haute slikke jusqu'à former un tapis végétal continu dont les espèces s'étagent verticalement en fonction des durées de submersion.

Une des particularités du schorre de Sables d'Or est liée au fait que les sables progressent à l'intérieur de la lagune à partir du delta de flot et qu'ils envahissent largement la bordure externe du schorre (Fig. 6). Le contact entre le schorre et la slikke est donc inhabituel puisqu'il se fait par l'intermédiaire d'une large frange sableuse présentant des touffes de végétation plus ou moins continue et marquées par un ressaut topographique.

La réponse acoustique de la végétation halophile présente un faciès très foncé à l'aspect « grumeleux ». La bordure sableuse montre une alternance de taches grisées plus ou moins claires.

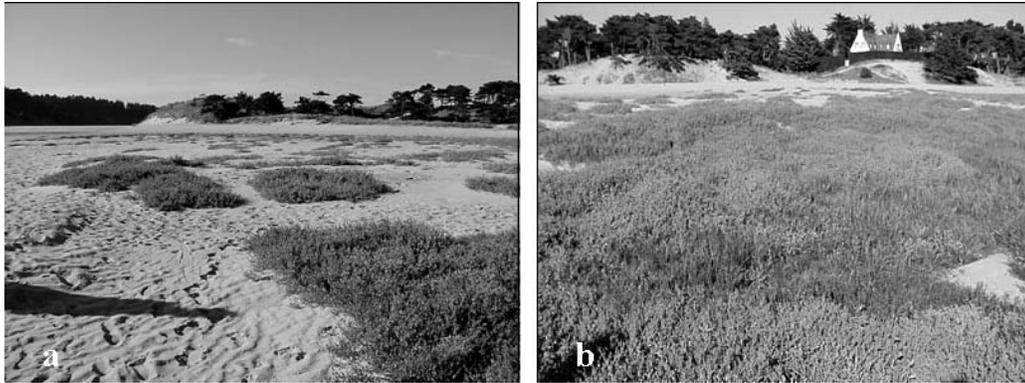


Figure 6 : Photographies de la bordure du schorre (a) et du tapis végétal continu (b)

4. Interprétation.

L'interprétation conjuguée des images aériennes et sonar (AUGRIS et CLABAUT, 2001) permet de différencier et de délimiter précisément les corps sédimentaires et bio-sédimentaires. Cette double approche a conduit par exemple à cartographier les limites précises d'extension des herbiers et à détailler les variations de la structure même de l'herbier. En effet, les herbiers qui sont localisés à l'abri de l'îlot Saint-Michel, en position très abritée des houles dominantes, ont une structure plus dense que ceux qui sont situés entre les platiers rocheux de la basse plage, plus ouverte à l'agitation de secteur Nord.

Par ailleurs, l'éventail de jusant au débouché de la lagune côté Ouest forme un chenal de vidange trop balayé par les courants pour permettre aux zostères de s'installer. De même, l'image sonar permet de placer précisément la limite Est de l'herbier de zostères (zébrures de direction Nord/Sud) avec la couverture sableuse à fines rides Est/Ouest. Cette limite d'extension de l'herbier dans la partie orientale de la basse plage, peut être mise en relation avec les directions des courants et des houles qui convergent vers la pointe rocheuse du Port Barrier.

Outre cet aspect descriptif et qualitatif, l'imagerie sonar permet de quantifier rapidement l'amplitude des rides, tant au niveau des barres et bâches de la plage externe que pour celles du delta de flot. Ces données précisent les observations de terrain et soulignent les variations des conditions hydrodynamiques responsables de la mise en place et de la dynamique de ces corps sédimentaires.

Elles permettent une analyse détaillée des limites d'extension des herbiers de zostères, de l'amplitude des barres et bâches de la plage et des rides du delta de flot, et de l'ensablement progressif du schorre des zones internes de la lagune. Ces résultats conduisent à l'identification des réponses acoustiques d'objets très variés et caractéristiques des milieux littoraux et d'autre part à mettre en relation l'extension des structures sédimentaires avec les conditions hydrodynamiques pour préciser l'impact des houles à l'Est et à l'Ouest de la plage.

5. Conclusion

Les échelles emboîtées d'observation entre les photographies aériennes (1/25000) et les images sonar (1/1000 à 1/1500), dont l'interprétation et les signatures doivent être validées par les observations de terrain, permettent d'affiner la reconnaissance et de préciser les limites et mesures des structures morpho-sédimentaires. Ces méthodes sont particulièrement adaptées au littoral où la dynamique sédimentaire est très active et où les évolutions doivent être suivies de façon rapide et fiable à quelques années d'intervalle ou après des événements météorologiques ponctuels à fort impact morphogénétique sur le milieu.

6. Références

1. Augris C. et Clabaut P. (2001) – Cartographie géologique des fonds marins côtiers exemples le long du littoral français. *Document IFREMER : Bilans et perspectives*. 75 pages.

2. Bonnot-Courtois C. et Lafond L.R. (1994) Dynamique sédimentaire du littoral de Sables d'Or les Pins (Côte d'Armor). *Cahiers Nantais*. Défense des côtes ou protection de l'espace littoral .n° 41-42, p.106-115

3. Paillard M., Gravez V., Clabaut P., Walker P., Blanc J.J., Boudouresque C.F., Belsher T., Urscheler F., Poydenot F., Sinnassamy J.M., Augris C., Peyronnet J.P., Kessler M., Augustin J.M., Le Drezen E., Prudhomme C., Raillard J.M., Pergent G., Hoareau A., Charbonnel E. 1993. *Cartographie de l'herbier de posidonie et des fonds marins environnants de Toulon à Hyères (Var – France)*. *Reconnaissance par sonar latéral et photographie aérienne. Notice de présentation*. Ifremer & GIS Posidonie publ. 36 p.

4. Pluet J. et Zimmermann C. (1984) – Etude de la dynamique actuelle du littoral des Côtes du Nord du Cap d'Erquy au Cap Fréhel. *Mémoire Maîtrise Géogr. Phys.* Univ. Paris VII, 113 p.

5. Pluet J. et Zimmermann C. (1985) – Analyse des processus de l'évolution morphologique et sédimentologique de la plage des Sables d'Or. *Mémoire DEA*. Univ. Paris XI, Orsay, 40 p.