

---

## La mesure en sédimentologie côtière et sa représentativité

Patrice Walker<sup>(1)</sup>, Thierry Garland<sup>(2)</sup>

La cartographie des fonds sous-marins a bénéficié, au cours de ces dernières décennies, de nombreuses révolutions technologiques. L'accroissement du nombre de systèmes d'acquisition à bord des bâtiments hydrographiques (sonar latéral, sondeur de sédiments 3.5 kHz, sondeur multifaisceaux, ...) et le développement de nouveaux systèmes de mesure en laboratoire ont été mis en oeuvre afin de réactualiser la connaissance des processus et d'améliorer la cartographie des sédiments des côtes françaises. Ces apports récents sont la prolongation des travaux menés en sédimentologie depuis plus d'un siècle.

Dès le XIX<sup>ème</sup> siècle, des études sur la migration des bancs de sable et sur l'extension des strates sédimentaires, avaient ainsi été réalisées ; une carte du goulet de Brest réalisée à partir des descriptions visuelles de sédiments prélevés au plomb suiffé fut même éditée par le Service Hydrographique en 1897. Avec l'apport des systèmes d'imagerie acoustique, les mesures des caractéristiques morphosédimentaires des fonds se sont accrues : les structures sédimentaires ont été reconnues et les champs de dunes hydrauliques, de *pockmarks* ou les bancs de crépides ont fait l'objet de descriptions précises. En contre par-

---

1. Creocean, allée des Tamaris, 17000 La Rochelle, Tél. 05 46 41 13 13, Mél: p.walker@creocean.fr

2. EPSHOM, Section Géodésie-Géophysique - 13, rue du Chatellier, 29275 Brest Cedex, Mél: garlan@shom.fr

tie, il est apparu des divergences d'interprétation montrant que la connaissance devait reposer sur la confrontation de différents systèmes.

## Nature des processus observés et mesurés

### Evolution géométrique des corps sédimentaires

La mise en œuvre de méthodes de reconnaissance des fonds marins par voie acoustique est à l'origine d'un accroissement rapide des informations relatives aux caractéristiques géométriques des différents corps sédimentaires. On a pu ainsi déterminer dans un premier temps à l'aide des sondeurs monofaisceaux, les dimensions, les profondeurs et les pentes apparentes des chenaux ou des grands bancs de sable. Mais cette approche se limitait à une vision en plan vertical et une vision tridimensionnelle nécessitait alors la réalisation de séries de passages rapprochés. L'utilisation du sonar à balayage latéral puis des sondeurs multifaisceaux a ensuite permis d'accéder à une visualisation de l'extension latérale des différentes strates sédimentaires et à une meilleure compréhension de leur géométrie plane (Fig. 1). L'épaisseur des corps sédimentaires observés sur les fonds marins a pu enfin être déterminée grâce à la méthode de sismique réflexion continue.

Ces diverses techniques de mesures permettent donc de reconstituer la géométrie tridimensionnelle des entités sédimentaires sous-marines observées et d'apprécier par voie de conséquence leur évolution au cours du temps lorsque plusieurs levés successifs sont mis en œuvre. Il est alors possible de délimiter les zones en accumulation ou en érosion. Ces suivis s'avèrent en outre nécessaires pour mieux comprendre l'évolution du trait de côte ou garantir la sûreté des routes maritimes. Ils autorisent également une gestion à long terme des zones côtières en bonne connaissance de cause ce qui devient impératif lorsque des conflits d'usage de ce milieu très convoité se font jour (conflit entre les exploitants de gisements de granulats sous-marins et pêcheurs par exemple).

### Direction et intensité des transports

Les données cartographiques décrites ci-dessus constituent également des documents de base pour évaluer les caractéristiques des mouvements sédimentaires sous l'action des différents agents hydrodynamiques. La répartition des différentes masses de matériaux mobiles est en effet représentative à long terme des déplacements des sédiments. Cette approche est cependant insuffisante pour apprécier en détail l'intensité et la direction des flux de

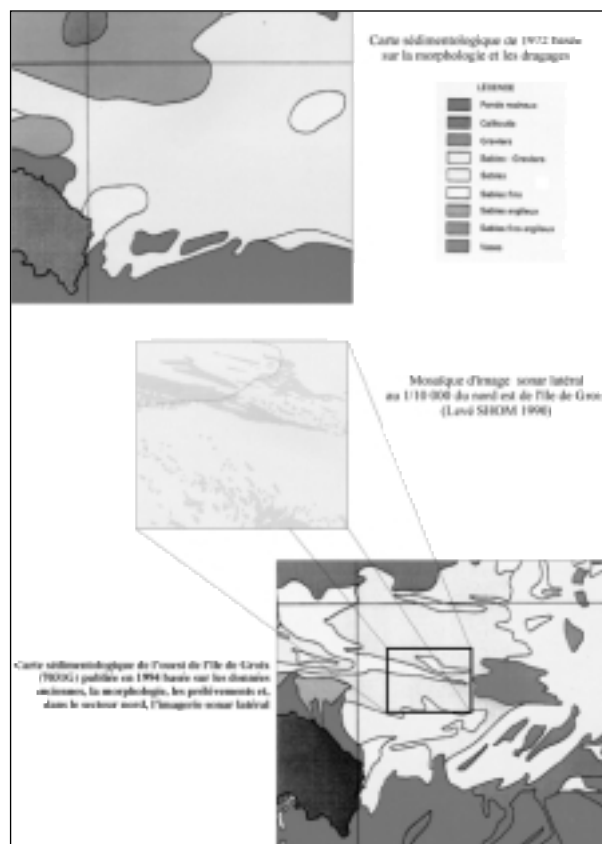


Figure 1: Différents types de cartographie des fonds sous-marins.

matériaux transitant dans la bande côtière. En effet, de nombreux corps sédimentaires sont en équilibre par rapport au contexte hydrodynamique et leur forme évolue très peu alors que des volumes conséquents de sédiments transitent à leur surface. Il est par conséquent nécessaire de décrire les caractéristiques de ces "rivières" de particules et les relations pouvant exister entre les ensembles de matériaux mobiles disponibles. Ces flux peuvent être approchés par des mesures directes ou par calcul.

L'imagerie acoustique fournie par le sonar à balayage latéral et parfois par les sondeurs multifaisceaux permet d'observer des figures sédimentaires dont la géométrie caractérise les mouvements de sédiment sur les fonds. Il est ainsi possible par cette méthode de distinguer les phases granulométriques stables et mobiles et de préciser la direction des transits de matériaux. Les objets dont les dimensions sont inférieures à la résolution des sondeurs peuvent par ailleurs être mesurés par visualisation directe en plongée ou à l'aide de caméras photographiques et vidéo.

Cette approche qualitative peut alors être complétée par des mesures de flux à l'aide par exemple, de pièges à sédiments qui seuls fourniront des ordres de grandeurs

des volumes déplacés. Les modalités des transports sédimentaires peuvent également être décrites par des méthodes indirectes utilisant la mesure de paramètres hydrodynamiques et en modélisant alors les flux par utilisation des formules de transport établies en laboratoire. Le cheminement des matériaux et l'évolution d'un stock sédimentaire donné se traduit aussi par des variations spatiales de ces composantes granulométriques. Cette propriété est ainsi utilisée pour déterminer les sens de transport en cartographiant les relations pouvant exister entre des échantillons prélevés régulièrement dans une province sédimentaire donnée.

## *Mesures réalisées et outils. Représentativité et limites des méthodes*

### **Mesures directes de la direction et de l'intensité des transports**

Les observations par mesure acoustique de la géométrie des corps sédimentaires et des figures de transport associées ne sont pas représentatives des caractéristiques du transport sédimentaire instantané. Ces indicateurs morpho-sédimentaires résultent des interactions constantes entre les écoulements hydrauliques, le substrat stable et la phase sédimentaire mobile. Ils correspondent donc à une intégrale sur un espace spatio-temporel variable du processus de transport. Si l'on peut donc déterminer leur échelle de représentativité, ces objets peuvent être utilisés pour établir la résultante des phénomènes selon des périodes de temps différentes. Ainsi, des rides de courants de hauteurs centimétriques modifieront leurs formes en quelques minutes alors que les vagues de sable ou ridins, de hauteurs plurimétriques, n'évolueront de manière significative que lorsque l'action des courants s'exercera pendant une durée plus longue, au minimum d'ordre horaire.

Ces formes sédimentaires sont essentiellement construites par les mouvements de particules en charriage sur le substrat ou en suspension à proximité immédiate du fond. Elle ne sauraient être représentatives des déplacements des sédiments les plus fins, silts et vases, à très faibles vitesses de chutes et pouvant être déplacés au sein de la masse d'eau sur de longues distances. Ces méthodes sont donc particulièrement adaptées à l'analyse des transits de la fraction sablo-graveleuse des sédiments. La compilation et l'interprétation des différentes figures sédimentaires observées fournissent fréquemment des informations sur l'influence relative des courants ou des

houles sur le transport des sédiments en un lieu donné. Elles permettent également d'apprécier la résultante du transit sédimentaire en un point fixe, soit, pour rappeler une notion utilisée en hydraulique, une image eulérienne du transport de matériaux à l'échelle d'une marée, d'un cycle de marée, d'un cycle annuel ou d'une tendance à long terme. Les formes et les dimensions des corps sédimentaires d'ordre hectométrique ou kilométrique, et les enchaînements des divers types de figures sédimentaires nous renseignent plutôt sur l'évolution des modalités de transport selon une échelle spatiale d'ordre régional et représente alors par analogie une vision résultante lagrangienne des processus de transport.

Les mesures par *pièges à sédiments* sont pratiquées à proximité du fond ou dans la colonne d'eau si les transports en suspension sont dominants. Les systèmes les plus simples sont constitués par des poches légères et "transparentes" aux courants, installées sur des bâtis fixes ou orientés selon le sens de l'écoulement. Ces collecteurs fournissent donc des indications sur les quantités de sédiments en transit récupérés durant la période de mesure, soit une fois encore une intégrale du flux sur la surface et pendant le temps considéré.

Des dispositifs de mesure plus élaborés s'attachent à évaluer la *perturbation de certaines grandeurs physiques* par le flux de particules. Certains enregistrent les bruits des particules sur le fond, qui sont plus intenses lorsque le flux transporte de nombreux éléments grossiers en charriage. D'autres équipements sont basés sur une mesure de l'atténuation d'un rayonnement lumineux ou sur l'effet néphelométrique et caractérisent directement le flux de sédiments transportés dans l'eau en suspension. La mesure de ces grandeurs physiques peut donc être considérée comme représentative des variations du débit sédimentaire au cours du temps mais nécessite une calibration préalable sur site pour pouvoir être interprétée en termes de volumes et de granulométrie des matériaux déplacés.

### **Mesures indirectes des agents hydrodynamiques**

La méthode la plus couramment utilisée pour évaluer les transports sédimentaires est basée sur la mesure des contraintes hydrodynamiques provoquées par l'action souvent conjuguée des houles et des courants. Ces grandeurs sont ensuite utilisées pour calculer les débits sédimentaires à l'aide de formules de transport établies par mesure en canal.

### **Mesures granulométriques**

Pour la cartographie et pour la calibration des données acoustiques (imagerie, sismique Très Haute Résolution), il est nécessaire de pouvoir disposer d'un minimum d'ana-

lyses de prélèvements. Les données les plus anciennes obtenues à l'aide du plomb suiffé sont très riches de par leur densité importante, mais ne correspondent qu'à une description humaine et peuvent donc montrer des différences selon l'opérateur. Plusieurs dizaines de milliers de descriptions de ce type peuvent être utilisées pour chaque carte sédimentologique côtière au 1: 50 000. Ces données sont obsolètes lorsque la dynamique sédimentaire est importante, elles permettent dans ce cas de visualiser l'évolution des fonds au cours du temps; mais dans la majeure partie des cas, lorsque les sédiments sont en équilibre avec les facteurs hydrodynamiques, ces données demeurent exactes et sont corroborées par les données plus récentes.

Les laboratoires universitaires demeurent les principaux possesseurs des données granulométriques issues de l'analyse des sédiments prélevés. Les analyses de ces prélèvements ne sont pas normées ce qui entraîne des écarts d'interprétation d'une région à l'autre. Ainsi les coquilles étaient par le passé extraites avant analyse granulométrique. De tels résultats ne peuvent donc être pris en compte avec des données récentes. De même les échantillons prélevés par dragages paraissent inutilisables lorsque l'on observe au sonar latéral des variations très rapides de la nature du fond liées à la présence de rides ou de rubans sableux.

### Cartographie de la nature des fonds

Le premier projet de cartographie systématique des côtes métropolitaines fut réalisé en 1912 par le professeur Thoulet à partir de l'analyse des données plomb suiffé du Service Hydrographique. De nouvelles cartes furent ensuite publiées par plusieurs organismes publics, à diverses échelles, dans les années 60. Les dragages et prélèvements à la benne utilisés pour ce faire permirent d'améliorer la description des sédiments et de multiplier les symboles et figurés reportés sur ces cartes. La densité d'informations disponibles était cependant souvent faible et les limites des différents faciès demeuraient imprécises et laissaient une large part à l'interprétation.

Avec l'imagerie sonar latéral (Fig. 2), le sédimentologue a enfin obtenu une visualisation des fonds lui permettant de connaître les limites des faciès sédimentaires, calibrés par l'analyse en laboratoire des prélèvements. Une cartographie précise des sédiments a donc ainsi pu être réalisée à de grandes échelles (1: 5 000, 1: 15 000). De telles cartes sont encore rares et il faudrait plus de deux siècles avant que la totalité des 160 000 km<sup>2</sup> du plateau continental français soient couverts intégralement avec une telle précision. Le sonar latéral, classiquement uti-

lisé en hydrographie pour rechercher les épaves et obstructions, offre une imagerie des fonds de grande qualité. Les cartes morpho-sédimentaires obtenues permettent de circonscrire les zones rocheuses, de caractériser les changements de fond et de cartographier les zones rocheuses, ou les structures sédimentaires telles que mégarides, rubans sableux, vagues de sables, ...

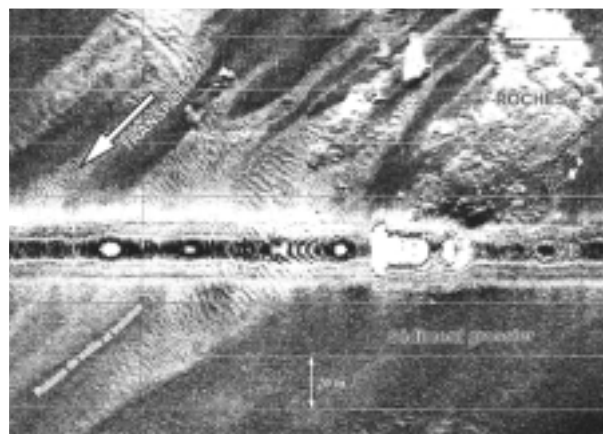


Figure 2: Le sonar à balayage latéral: un outil précieux pour établir les cartes sédimentologiques et pour mesurer les transports de matériaux en domaine subtidal.

Les cartes présentent une grande précision mais restent malgré tout peu discriminantes puisqu'elles ne suffisent pas pour différencier les sables des vases ou les cailloutis des graviers, ... Cette méthode comme toutes les méthodes acoustiques impose des points de calage du modèle sédimentaire obtenu à l'aide de prélèvements qui permettront de qualifier la nature des variations observées. En effet, des bancs de crépidules peuvent mimer des affleurements rocheux, et de faibles variations de dureté et/ou de teneur en eau d'un même sédiment font parfois croire à des changements de fonds très importants.

Le système RoxAnn traite, en temps réel, les signaux acoustiques émis par un sondeur bathymétrique et réfléchis par le fond. La détermination par le système de deux coefficients de rugosité et de dureté des fonds, traduits après apprentissage des différents types de matériaux, permet ainsi d'obtenir une qualification du sédiment. Une dizaine de classes sédimentaires, des vases aux roches, peuvent ainsi être discriminées. Ces données permettent de caractériser la nature et l'extension des sédiments là où celles-ci étaient mal définies. Elles viennent ainsi en complément des informations obtenues avec le sonar latéral mais fournissent à plus basse fréquence, une meilleure différenciation de la granulométrie.

Lorsque les données acoustiques continues (sonar latéral, RoxAnn, ...) font défaut, les prélèvements doivent être analysés à la lumière de la morphologie et de l'hydrodynamique. C'est pourquoi il est souvent nécessaire de réaliser des cartes d'aide à l'interprétation concernant :

- *la géomorphologie* : analyse des bandes de sondes, cartes bathymétriques précises (isobathes espacées de 2 mètres), restitutions photogrammétriques de l'estran et du domaine tidal ;
- *l'hydrodynamique* : analyse des courants de marée, des courants résiduels, comparaison de levés bathymétriques.

### Cartographie de l'évolution des fonds

La comparaison de deux levés bathymétriques successifs permet d'évaluer les zones en érosion ou en cours de sédimentation. La précision de ces calculs reste cependant insuffisante lorsque les évolutions observées sont du même ordre de grandeur que l'incertitude absolue de la mesure. Ainsi, une variation bathymétrique de l'ordre du mètre ne peut pas être considérée en général comme significative.

Cette méthode de mesure indique principalement la tendance à long terme sur un site donné mais ne peut traduire à elle seule les modalités du transport. Les matériaux sont partis ou s'accumulent en un point donné mais aucune indication sur le mode de transport ou le devenir des sédiments mobilisés ne peut être déduite de cette constatation. Seules la forme de l'accumulation ou les figures d'érosion peuvent alors renseigner sur le sens du transport, l'origine ou la destination des sédiments.

### Conclusions

La cartographie de la répartition des sédiments et les connaissances en matière de dynamique sédimentaire ont fait l'objet récemment de progrès rapides et la précision des mesures s'est accrue dans des proportions considérables. Cette amélioration significative des connaissances en domaine subtidal est liée à la complémentarité des différentes approches mises en œuvre :

- cartographie acoustique ;
- mesures et modélisation des processus hydrodynamiques ;
- mesures granulométriques et point de vue naturaliste.

La dynamique des sédiments reste cependant un phénomène très complexe en raison de l'influence et des variations rapides d'un grand nombre de facteurs : courants, houles, granulométrie et disponibilité des matériaux, ... Il est donc nécessaire d'interpréter avec prudence et discernement les résultats des mesures et d'en apprécier précisément les limites et incertitudes. La publication et l'utilisation de certaines valeurs "moyennes", comme par exemple les volumes mobilisés par la dérive littorale décrits par le catalogue sédimentologique des côtes de France, conduisent à des conclusions souvent erronées et justifient alors des partis d'aménagement dont les conséquences peuvent être dommageables pour l'environnement côtier.