



Nature, répartition et dynamique des sédiments : Influence du contexte sédimentaire sur le développement d'infrastructures en milieu marin

Elodie MARCHES¹, Thierry GARLAN¹, Olivier BLANPAIN¹, Emeric BRENON¹

1. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Equipe sédimentologie,
13 rue du Chatellier, 29200 Brest, France. elodie.marches@shom.fr

Résumé :

Les sédiments marins sont le plus souvent considérés comme une composante environnementale dans les études préliminaires pour le développement des Energies Marines Renouvelables (EMR). Ainsi pour la définition des zones de développement des EMR, l'importance de la nature du fond marin et de sa dynamique est souvent sous-estimée. Pourtant, la répartition, la nature et la dynamique des sédiments près du fond marin jouent un rôle crucial durant les phases d'installation, d'ancrage, de connexion ou de maintenance des infrastructures d'EMR. Des études sédimentologiques sur le plateau continental métropolitain menées au SHOM ont permis de mettre en évidence que les structures sédimentaires construites sous l'action des courants comme les dunes ou les bancs, constituaient de bons traceurs de la dynamique sédimentaire. Leur analyse morphologique détaillée et leur interaction avec des obstacles au fond comme les épaves permettent d'étudier l'impact potentiel des implantations d'EMR sur l'évolution des fonds marins et, inversement, l'impact de la dynamique sédimentaire sur les infrastructures en mer. Ainsi, l'influence du contexte sédimentaire sur le développement d'infrastructures en mer agit à plusieurs niveaux : (1) influence de la nature des sédiments et de leur répartition sur le choix des sites (possibilité d'ancrage, risques sur la mise en œuvre des infrastructures) ; (2) influence de la dynamique sédimentaire sur la mobilité des fonds et impacts sur l'installation des infrastructures (risques d'enfouissement, risques mines) ; (3) influence des changements hydrodynamiques induits par la présence d'obstacles sur le fond qui vont modifier la capacité d'érosion des sédiments et engendrer des risques d'affouillement au niveau des ancrages et (4) influence du transport des particules sédimentaires dans la colonne d'eau qui peut exposer les systèmes déployés à des risques d'abrasion (impacts sur l'usure et la pérennité des installations). Une bonne connaissance des structures sédimentaires, de leur composition et de leur dynamique est donc fondamentale pour développer les EMR dans des conditions optimales de sécurité et de longévité.

Mots-clés : Sédiments, cartographie des sédiments, dynamique sédimentaire, dunes, enfouissement, affouillement.

1. Introduction

Les Energies Marines Renouvelables (EMR) ne peuvent être exploitées que dans des conditions environnementales strictes. Parmi les paramètres physiques qui composent ces conditions environnementales, les plus importants sont le vent, les vagues, les courants marins et la nature des fonds marins. Les caractéristiques du fond marin comprennent plusieurs composantes telles que la nature des sédiments (délimitation des roches, composition du sédiment), la morphologie (gradients de pente, rugosité, géomorphologie et structures sédimentaires) et la dynamique sédimentaire c'est-à-dire la capacité des sédiments à se déplacer et modifier la nature et la morphologie du fond existant. Dans cet article nous proposons de mettre en évidence l'importance de l'expertise sédimentologique dans le développement des EMR.

2. Cartographie des sédiments marins

Le long des côtes françaises, la cartographie des sédiments marins a progressé lentement depuis la parution de la première carte de nature des fonds réalisée par le service hydrographique français en 1897. Cependant, la demande a fortement augmenté pour répondre à un grand nombre d'applications telles que la sécurité de la navigation, les extractions de matières premières, la protection des habitats marins ou l'installation de systèmes liés au développement des EMR.

2.1 Méthodologie de réalisation d'une carte de nature des fonds

Au commencement, seules des descriptions visuelles des sédiments prélevés étaient utilisées pour décrire la nature du fond. Plus tard avec le progrès des systèmes d'acquisition en milieu marin, des données diverses ont pu être utilisées (imagerie acoustique, sismique, sondeur de sédiments, systèmes de classification...). L'émergence de l'imagerie acoustique (sonar latéral et sondeur multifaisceaux) a permis de mettre en évidence des structures sédimentaires plus petites que celles détectables par les données bathymétriques, permettant ainsi une représentation plus fine des fonds marins. Cependant, même si ces données acoustiques et surfaciques apportent beaucoup en termes de résolution et de qualité sur les cartes sédimentaires, elles doivent inévitablement être calibrées par des prélèvements (bennes, carottes sédimentaires) qui donnent des informations indispensables sur la fraction de chaque classe de particules définies selon leur taille (granulométrie).

2.2 Importance des cartes sédimentaires pour l'implantation d'infrastructures en mer

La nature du substrat est un paramètre important pour l'implantation d'infrastructures en milieu marin, encore plus spécifiquement pour celles qui sont ancrées sur le fond. La composition du fond est déterminante pour la solidité des fondations de chaque structure implantée. L'environnement idéal pour implanter des infrastructures en mer est un fond à dominante rocheuse (figure 1). Ce type de substrat est stable dans le temps

(absence de dynamique sédimentaire) et permet un déploiement sécurisé des constructions en mer. D'un point de vue plus général, les sédiments non cohésifs, pouvant être ou devenir mobiles, présentent plus de risques pour le développement d'infrastructures en mer ; ces risques augmentent avec l'épaisseur des sédiments au-dessus du substrat rocheux (figure 1).

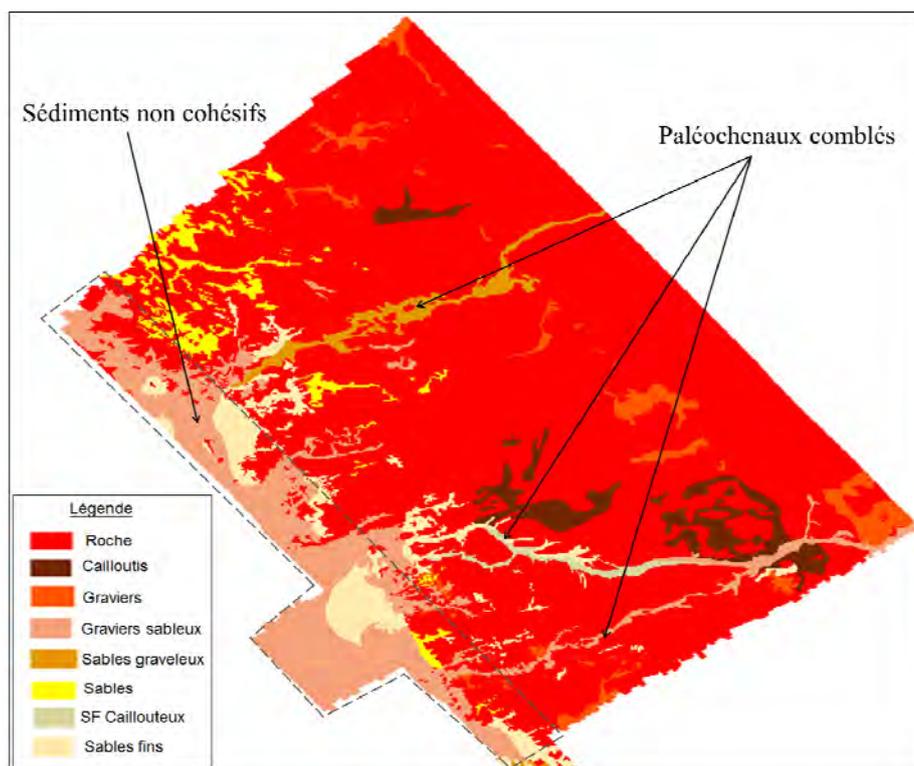


Figure 1. Exemple de carte sédimentaire sur une zone dominée par la roche (projet de ferme tidale sur les côtes françaises) – SHOM, 2012.

3. Dynamique sédimentaire

La mobilité des sédiments sur le fond apparaît comme un paramètre essentiel dans les phases de définition, d'installation, d'ancrage, de connexion et de maintenance des infrastructures liées aux EMR. Des figures sédimentaires peuvent continuellement se développer et/ou évoluer. Le développement des figures sédimentaires dépend du matériel sédimentaire disponible et de la vitesse des courants près du fond (BELDERSON *et al.*, 1982). Les premières figures susceptibles d'apparaître en milieu fortement énergétique sont les sillons d'érosion et les rides sédimentaires (figure 2). Lorsque le courant diminue et perd de sa compétence (1-1,5 m/s), des rubans sableux peuvent se former. Enfin, lorsque le courant atteint des vitesses encore plus faibles, des dunes ou des bancs peuvent se développer (figure 2).

Les EMR sont destinées à être déployées dans des environnements fortement énergétiques qui peuvent ainsi exposer les infrastructures industrielles, en fonction de la

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

disponibilité en matériel sédimentaire, au transport de sédiments (près du fond ou dans la colonne d'eau). Ce flux de particules en milieu très fortement énergétique, et pouvant causer des endommagements sur les infrastructures, est cependant encore mal connu. Trois risques majeurs pour les infrastructures marines sont liés à la dynamique sédimentaire : (1) le risque mine et les modifications de la dynamique sédimentaire naturelle, (2) l'affouillement au niveau des fondations et (3) l'abrasion des pales ou systèmes immergés dans le cas d'EMR.

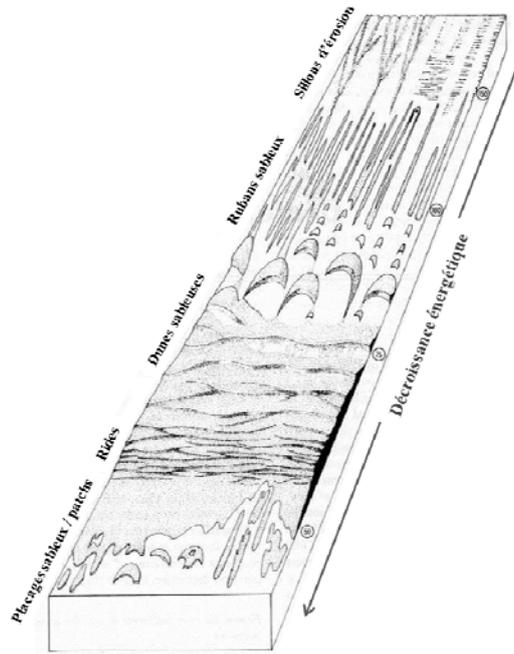


Figure 2. Organisation des figures sédimentaires en fonction de l'intensité des courants (modifié d'après BELDERSON *et al.*, 1982).

3.1 Influence de la dynamique sédimentaire et risque mines

Les constructions sédimentaires les plus spectaculaires construites sous l'action des courants tidiaux sont les dunes de sable. L'asymétrie de leur morphologie donne des informations sur la direction du courant (figure 3). Les dunes sous-marines sont très mobiles dans le temps (jusqu'à plus de 30 m/an) et ce, même à des profondeurs supérieures à 70 m (FRANZETTI *et al.*, 2013). Ainsi, les caractéristiques du fond (composition en sédiments, morphologie, épaisseur) peuvent changer en un point donné et il peut y avoir recouvrement du pied des systèmes déployés. Au-delà de modifier le fond, la dynamique des structures sédimentaires expose à des dangers tels que la mise à l'affleurement des mines de guerre. En effet, des mines peuvent être recouvertes par des sédiments puis se retrouver à l'interface eau/sédiment à la suite du déplacement des particules. Ce processus crée des risques importants pour les exploitants et les infrastructures.

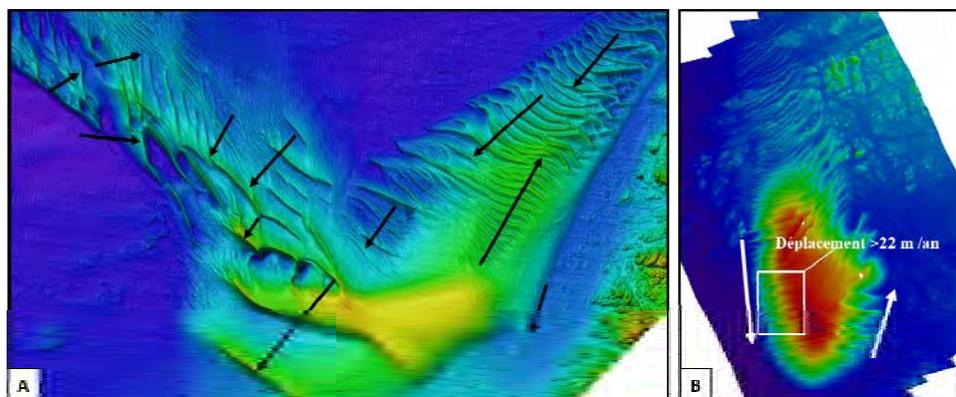


Figure 3. Exemples de dunes sous-marines et de leur dynamique (levés SHOM).

Des dunes pouvant atteindre plus de 10 m de hauteur peuvent se déplacer de plusieurs mètres par an (figure 3). Par conséquent, il peut y avoir apparition de munitions anciennes sur des sites en exploitation qui étaient vierges de toute mine lors de l'étude préliminaire. Si la présence d'infrastructures en milieu marin change les courants locaux (intensité et direction), les bancs de sables et les dunes à proximité seront les premiers impactés, servant ainsi d'indicateurs des changements induits par leur présence et justifiant un suivi de ces structures sédimentaires. L'impact des infrastructures sur la dynamique des sédiments (et inversement) doit impérativement être étudié avant toute exploitation par des EMR.

3.2 Affouillement

Parfois, la dynamique sédimentaire ne modifie pas seulement la morphologie des structures sédimentaires mais aussi la composition des sédiments. Dans des environnements de forts courants, le processus le plus souvent observé est l'érosion. La présence d'obstacle sur le fond change l'hydrodynamique et donc le transport sédimentaire. Des études ont permis de mettre en évidence les différentes formes d'affouillement observées en fonction de la direction des courants principaux par rapport aux obstacles présents sur le fond. Une classification issue d'observations et de modélisations a été proposée par QUINN (2006 ; figure 4).

Les épaves sont de très bons marqueurs de ces processus d'érosion et d'affouillement. L'introduction d'une épave sur le fond va entraîner une augmentation de la vitesse des courants autour de l'obstacle. Les marques d'affouillement créées sont bien décrites depuis l'émergence des imageries acoustiques par sonar latéral ou sondeur multifaisceaux. En général, les publications mettent en évidence la formation d'un creusement en amont de l'épave et de longs rubans sableux en aval (queues de comète ; figure 5). Toutes ces signatures sédimentaires sont des indicateurs de la direction des courants dominants (figure 5). Une analyse long-terme des épaves montre qu'il existe

plusieurs types de figures d'affouillement qui dépendent de la morphologie du fond et de l'intensité des courants. Ces différents types peuvent être classés en 4 catégories principales (GARLAN *et al.*, 2015 ; figure 5). Les infrastructures en mer peuvent aussi être assimilées à des obstacles, de taille différente, mais produisant le même type d'impacts. Ces observations sont donc à prendre en compte dans l'évaluation de la protection des pylônes des EMR car une érosion accrue autour de ces derniers pourrait conditionner la durabilité des infrastructures.

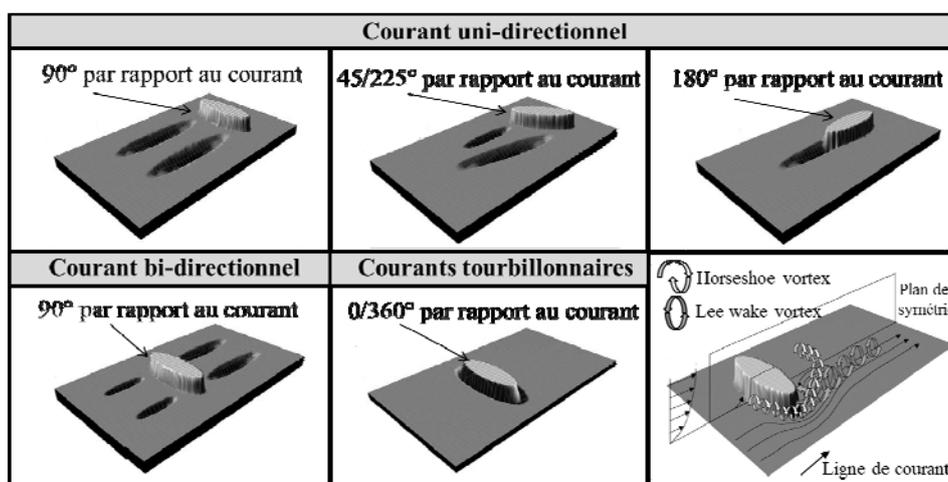


Figure 4. Classification des marques d'affouillement autour d'une épave en fonction du type de courant et de sa direction par rapport à l'obstacle (d'après QUINN, 2006).

3.3 Abrasion

Dans les milieux hautement énergétiques les infrastructures marines seront soumises à un transport en suspension significatif de particules sédimentaires ou de débris d'origine biologique. Ce flux constant de matière en suspension expose à des risques de corrosion et d'endommagement important des pièces les plus fragiles des structures industrielles. Afin de mieux établir le niveau de dommages engendrés, la dynamique sédimentaire doit être étudiée. La mise en mouvement des particules solides est étroitement liée aux caractéristiques physiques du sédiment telles que la taille des particules, leur poids immergé, la vitesse d'advection, la concentration en particules ou encore l'angle d'impact (LIU *et al.*, 2012). Dans des environnements extrêmes (forts courants tidaux et fortes vagues), la connaissance de ces paramètres est très peu connue alors que les sédiments impliqués sont potentiellement les plus dangereux (cailloutis, graviers et sable).

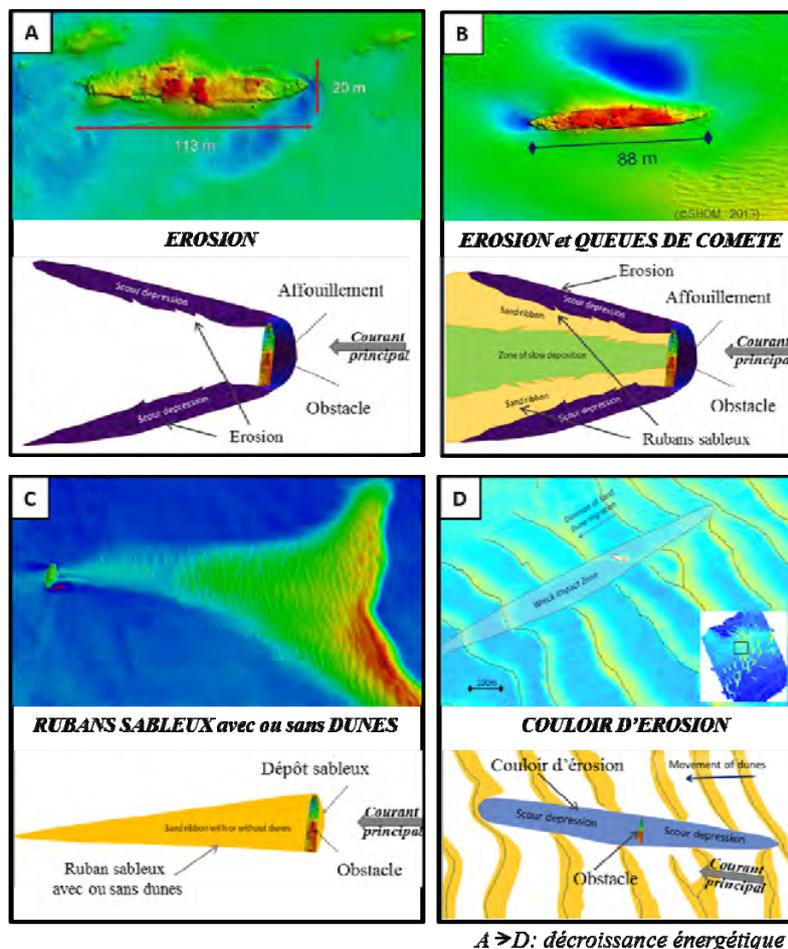


Figure 5. Classification des marques d'affouillement à partir de l'analyse des épaves (GARLAN et al., 2015).

Malgré les nombreux travaux réalisés sur la dynamique des sédiments (e.g. MIGNIOT, 1977), il persiste des lacunes de connaissances sur l'identification et la caractérisation de ces processus physiques qui empêchent encore les scientifiques de répondre précisément aux questions fondamentales sur les modes de transport des différentes classes de taille de sédiments, le volume de sédiments transporté par charriage ou en suspension et la taille maximale de particules transportées à différentes hauteurs par rapport au fond. Il existe des preuves de la dynamique sédimentaire de particules grossières et de leurs dégâts, révélés par des dispositifs océanographiques déployés sur le fond marin qui ont été relevés couverts de cailloutis et fortement endommagés. Cependant, très peu de mesures ont pu être acquises dans des environnements extrêmes. Les quelques études menées dans de tels environnements montrent une dynamique de particules grossières mais qui est encore trop mal connue pour pouvoir alimenter les modèles. Il apparaît donc nécessaire d'acquérir de nouvelles données afin d'évaluer précisément le potentiel de dégâts pouvant être engendré par ce flux sédimentaire.

4. Conclusions

Les aspects sédimentologiques n'apparaissent donc pas comme un élément crucial dans les phases initiales de définition des zones d'EMR. Cependant, la sédimentologie joue un rôle important dans (i) l'installation des systèmes d'ancrage (fondations et risques mines), (ii) la pose et l'atterrage des câbles (épaisseur des sédiments, composition des sédiments, risques mines et de mise à l'affleurement après installation par mouvement des sédiments), (iii) la phase d'exploitation (abrasion des pâles, affouillement et fragilisation des pylônes ou au contraire formation de rubans sableux et recouvrement, modification des volumes sédimentaires avoisinants par changement dans la dynamique des dunes, changements du transport sédimentaire...). Tous ces impacts peuvent affecter le milieu marin et les modifications engendrées sur un fonctionnement de plusieurs décennies ne sont pas négligeables. Un suivi du flux sédimentaire au cours de l'exploitation apparaît donc essentiel, notamment pour les sites envisagés en environnements extrêmes où les processus qui régissent cette dynamique sont encore mal connus. L'impact de particules (des sables aux galets) en termes de vitesse ou de hauteur de transport au-dessus de fond ne peut être évalué avec précision ni avec un modèle de transport ni avec l'analyse de données. Le besoin de mesures in situ est donc essentiel pour comprendre les mécanismes de transport et le degré de dégâts potentiels associés.

5. Références bibliographiques

- BELDERSON R.H., KENYON N.H., STRIDE A.H. (1982). *Holocene sediments on the continental shelf west of the British Isles. The geology of the Eats Atlantic Continental Margin*. Institut of geological Sciences Report, pp 157-170.
- FRANZETTI M., LE ROY P., DELACOURT C., GARLAN T., CANCOUËT R., SUKHOVICH A., DESCHAMPS A. (2013). *Giant dune morphologies and dynamics in a deep continental shelf environment: Example of the banc du four (Western Brittany, France)*. *Marine Geology*, Vol. 346, pp 17–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2013.07.014>
- GARLAN T., MARCHES E., BRENON E. (2015). *A classification of scouring marks in macrotidal environments from analysis of long term wreck marks*. The proceeding of the Coastal Sediments 2015, World Scientific Publishing Co, San Diego, USA. http://dx.doi.org/10.1142/9789814689977_0202
- LIU YW., CHO SW., HSU T.H. (2012). *Impact abrasion of hydraulic structures concrete*. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 20(3), pp 253-258.
- MIGNIOT C. (1977). *Action des courants, de la houle et du vent sur les sédiments*. *La Houille Blanche*, n°1, pp 9-47. <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1977001>
- QUINN R. (2006). *The role of scour in shipwreck site formation processes and the preservation of wreck-associated scour signatures in the sedimentary record – evidence from seabed and sub-surface data*. *Journal of Archaeological Science*, Vol. 33(10), pp 1419-1432. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2006.01.011>