

Utilisation du sondeur multifaisceaux comme outil pour la désignation et la gestion des aires marines protégées

*Marc Haerinck, Christine Dobroniak,
Peter Tinsley*



PANACHE

Suivi Protected Area Network Across
the Channel Ecosystem

Utilisation du sondeur multifaisceaux comme outil pour la désignation et la gestion des aires marines protégées

Suivi

Prepared on behalf of / Etabli par



by / par

Author(s) / Auteur(s) : Marc Haerinck, Christine Dobroniak, Peter
Tinsley

Contact :

In the frame of / dans le cadre de



PANACHE

Protected Area Network Across
the Channel Ecosystem

Axe de travail 2

Citation : Haerinck, M., Dobroniak, C., Tinsley, P., 2014. Utilisation du sondeur multifaisceaux comme outil pour la désignation et la gestion des aires marines protégées. Rapport préparé par le Dorset Wildlife Trust et le Grand Maritime de Dunkerque pour le projet Protected Area Network Across the Channel Ecosystem (PANACHE). Projet financé par le programme INTERREG France (Chanel) – England (2007 – 2013), 42 pp.

Photo de couverture : Cécile Lefevre / Agence des aires marines protégées



European Regional Development Fund
The European Union, investing in your future



Fonds européen de développement régional
L'Union Européenne investit dans votre avenir

La présente publication est soutenue par l'Union européenne (FEDER, Fonds Européen de Développement Régional), dans le cadre du programme européen de coopération transfrontalière INTERREG IVA France (Manche) – Angleterre, selon l'Objectif 4.2. « Assurer le développement environnemental durable de l'espace commun » et l'Objectif spécifique 10 « Assurer une gestion équilibrée de l'environnement et sensibiliser aux problématiques environnementales ».

Son contenu est sous l'entière responsabilité du ou des auteur(s) et ne reflète pas nécessairement l'opinion de l'Union européenne.

Toute reproduction, même partielle, de la présente publication sans le consentement de son auteur est strictement interdite. La reproduction à visée non commerciale, et notamment éducative, est autorisée sans nécessiter une autorisation écrite, sous réserve que la source y figure. Toute reproduction à visée commerciale, et notamment destinée à la vente, sans autorisation écrite préalable de l'auteur est strictement interdite.

Utilisation du sondeur multifaisceaux comme outil pour la désignation et la gestion des aires marines protégées

Use of multibeam echosounder surveys in relation to designating and managing Marine Protected Areas

ABSTRACT

This report looks at the use of multibeam echosounder survey (MBES) as a tool for designating and managing MPAs through two case studies. The first looks at how MBES data, often collected for other purposes, influenced site selection and boundary decisions during marine Special Area of Conservation and Marine Conservation Zone designation in English waters of the Channel and how MBES has been used to support management of marine protected areas, from mapping of protected features to raising awareness and public support.

The second case study looks at using repeat MBES surveys to detect morphological change in sediment habitats on the French Channel coast. The high cost of collecting MBES, mostly due to ship time, means that collaboration between agencies collecting MBES for different purposes is necessary, with the caveat that data from hydrographic surveys may have less than optimum quality backscatter information, which can reduce the value of the data for delineating seabed habitats and therefore for detecting change in condition or extent of conservation features.

KEYWORDS: multibeam, MBES, hydrographic, marine protected area, MPA, seabed habitats, sediment facies, monitoring,

RÉSUMÉ

Ce rapport porte sur l'utilisation de l'enquête de l'échosondeur multifaisceaux (SEMF) comme un outil pour la désignation et la gestion des AMP à travers deux études de cas. Le premier s'intéresse aux données issues des échosondeurs multifaisceaux, souvent collectées à d'autres fins, qui peuvent influencer le choix du périmètre des AMP lors de leur désignation dans les eaux anglaises de la Manche et, qui peuvent aussi être utilisées dans le cadre de la gestion des AMP grâce à une cartographie fine, notamment pour la sensibilisation du public.

La deuxième étude de cas porte sur l'utilisation régulière des sondages multifaisceaux pour détecter les changements morphologiques dans les habitats sédimentaires des côtes françaises de la Manche. Le coût élevé de la collecte par SEMF, principalement du à l'exploitation du navire en mer, engage à la collaboration entre les différentes agences scientifiques pour mettre en commun les données SEMF collectées à des fins différentes. Toutefois, il faut noter que les données de levés bathymétriques n'ont pas forcément la qualité nécessaire pour délimiter les habitats des fonds marins et donc pour détecter les changements d'état ou l'étendue des objectifs de conservation.

MOTS-CLÉS : échosondeur multifaisceaux, SEMF, aire marine protégée, AMP, fonds marins, dynamique sédimentaire, suivi



Sommaire

I. Introduction	1
1.1 Utilisation du système échosondeur multifaisceaux (SEMF) en tant qu'outil de suivi	1
1.2 Problèmes de qualité de rétrodiffusion	8
1.3 Études répétées, évaluation de l'évolution	9
II. Étude de cas – Utilisation des données du système SEMF dans le cadre de la sélection et de la gestion de sites d'AMP en Angleterre	10
2.1 Cartographie des habitats/caractéristiques pour la sélection/la désignation d'AMP	10
III. Étude de cas 2 – Exploitation du système SMEF pour le suivi des habitats sédimentaires dans le site Natura 2000 des Bancs des Flandres	17
3.1 Présentation du site d'étude	18
3.2 Secteurs suivis dans le cadre de PANACHE	21
3.3 Méthodologie	23
3.4 Résultats	28
Conclusions.....	38
Bibliographie	41



I. Introduction

Le projet PANACHE INTERREG IV, qui vise à assurer une meilleure cohérence entre les aires marines protégées situées dans la MANCHE entre la France et l'Angleterre, intègre plusieurs sujets clés faisant l'objet de discussions entre les nombreux partenaires participant à l'initiative. L'une des missions inhérentes au projet PANACHE consiste à partager les bonnes pratiques et les actions en vue d'assurer une approche plus cohérente du suivi des AMP et de l'essai de techniques de suivi innovantes.

Cette mission vise à mettre en lumière des pratiques qui ont déjà été testées par certains partenaires et qui peuvent être exploitées par toutes les AMP de la zone.

1.1 Utilisation du système échosondeur multifaisceaux (SEMF) en tant qu'outil de suivi

Les difficultés inhérentes à l'accès direct aux fonds marins, même dans des eaux relativement peu profondes, rendent particulièrement délicats l'étude et le suivi des aires marines protégées. Les techniques de télédétection jouent nécessairement un grand rôle dans n'importe quelle étude marine et n'importe quelle stratégie de suivi. Les systèmes échosondeurs multifaisceaux (MBES) sont largement utilisés car ils sont relativement économiques et capables de collecter des données détaillées de larges bandes de fonds marins. Cette méthode d'étude a tout de même un certain coût mais présente l'opportunité considérable d'utiliser les données collectées à d'autres fins (par ex. étude hydrographique pour la production de cartes de navigation) pour la cartographie et le suivi des habitats benthiques.

Associés à un GPS, les échosondeurs multifaisceaux sont des sondeurs bathymétriques complétés par une fonction d'imagerie. Les informations sur la profondeur et la nature des fonds marins peuvent être acquises de manière simultanée. Le principe est basé sur une technique de faisceaux croisés : l'impulsion sonore est émise et le signal réfléchi par les fonds marins est reçu par des faisceaux perpendiculaires. La zone de fond marin explorée est l'intersection entre les faisceaux émis et les faisceaux reçus (Figure 1). L'échosondeur multifaisceaux émet plusieurs faisceaux à la fois (d'une dizaine à plusieurs centaines), dans plusieurs directions, garantissant une résolution spatiale élevée.

Des corrections sont appliquées aux données reçues par l'échosondeur en ce qui concerne : les mouvements du navire (soulèvement, tangage et roulis), la marée mais également la vitesse du faisceau dans la colonne d'eau, qui varie en fonction de différents paramètres tels que la température, le courant et la salinité.



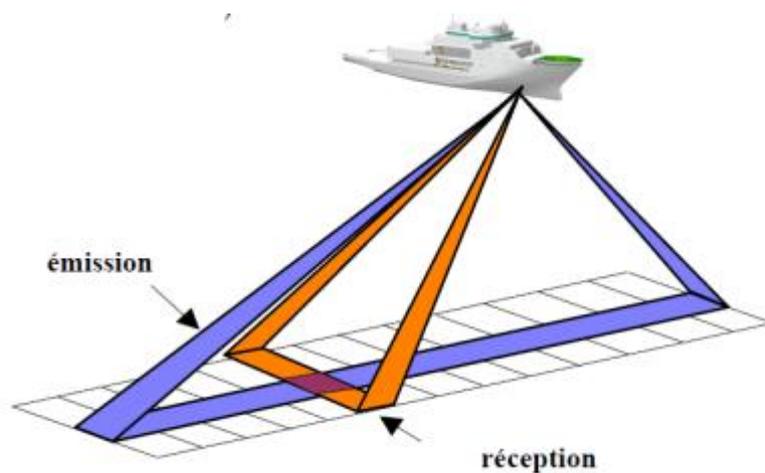


Figure 1 : Principe d'exploitation de l'échosondeur multifaisceaux (IFREMER)

Il en résulte un ensemble dense de points bathymétriques pouvant être utilisés pour créer un Modèle Numérique de Terrain (MNT) des fonds marins. Cela peut fournir de nombreuses informations sur la nature des fonds marins avec des caractéristiques de relief reconnaissables, tels que les récifs et les ridins.

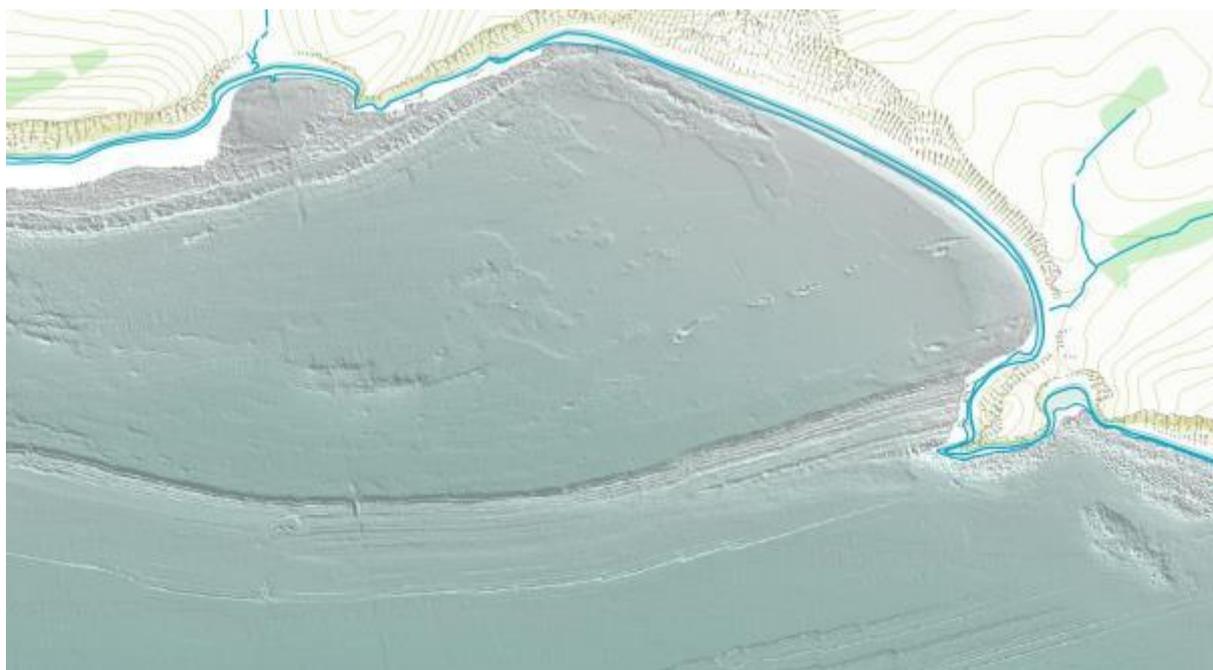


Figure 2: Bathymétrie obtenue à partir des données de l'échosondeur multifaisceaux – maillage 1 m. Les petits détails, dont une conduite d'exutoire, sont clairement visibles. Contient des données d'étude du gouvernement britannique sous copyright © Crown et droits applicables aux bases de données 2014. Contient des données MCA sous copyright © Crown. Usage inadapté pour la navigation

Un grand nombre de ces caractéristiques peuvent être cartographiées à l'œil nu directement depuis le MNT et peuvent permettre de dresser la fiche des textures des fonds marins ci-dessous.

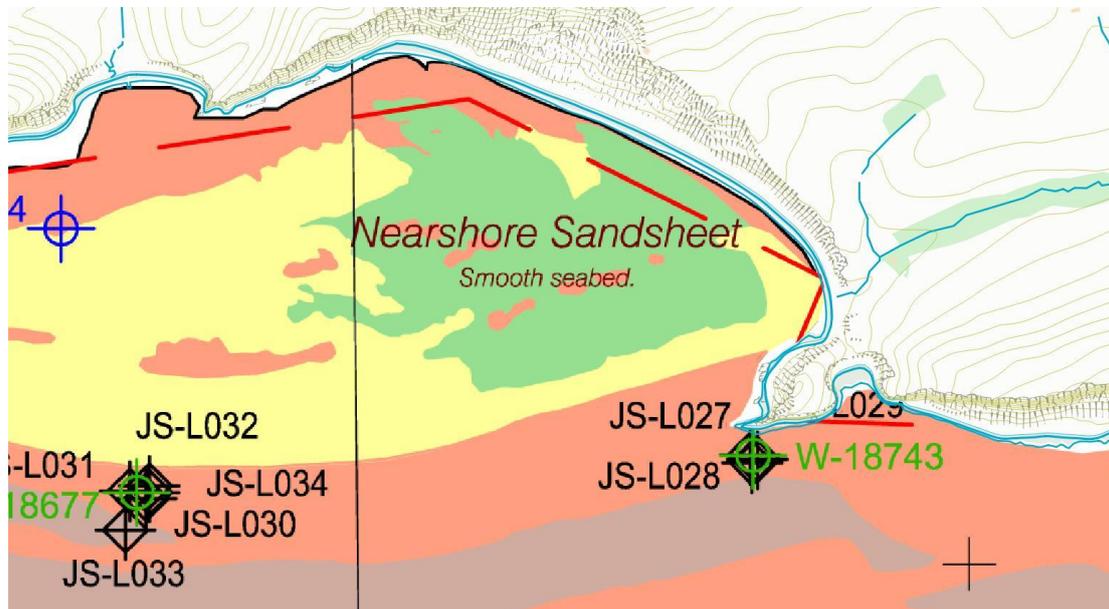


Figure 3 : Exemple de fiche de texture des fonds marins obtenue à partir des données multifaisceaux
 Contient des données d'étude du gouvernement britannique sous copyright © Crown
 et droits applicables aux bases de données 2014.
 Contient des données MCA sous copyright © Crown. Usage inadapté pour la navigation

Pour simplifier la délimitation de ces caractéristiques, il est possible de les extraire du MNT, notamment la déclivité, qui met en exergue les rides et les seuils, mais un œil exercé reste nécessaire pour distinguer les ridins des seuils rocheux.

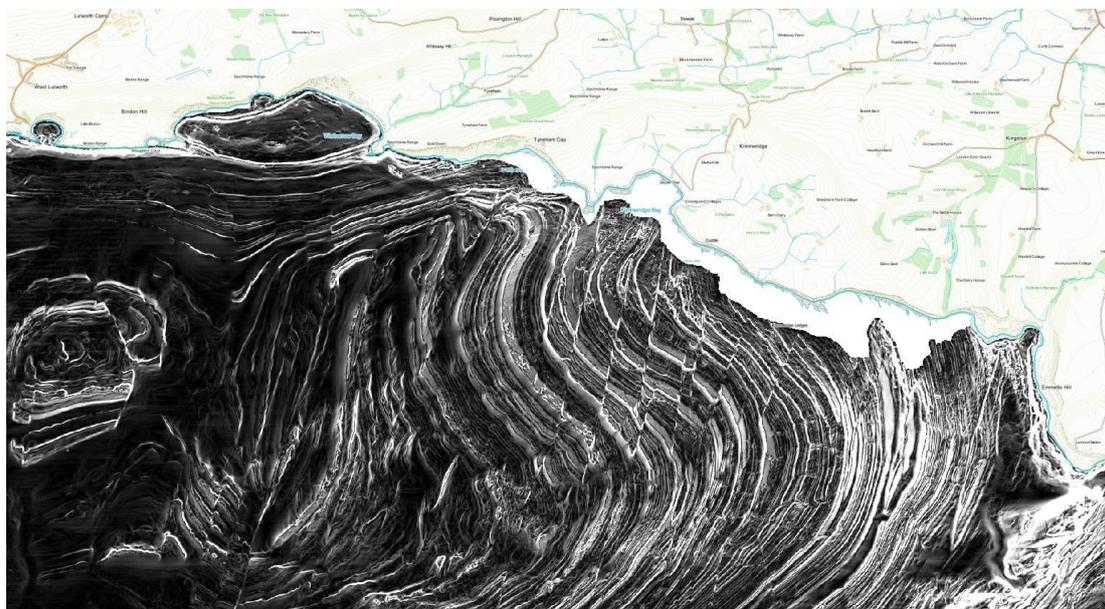
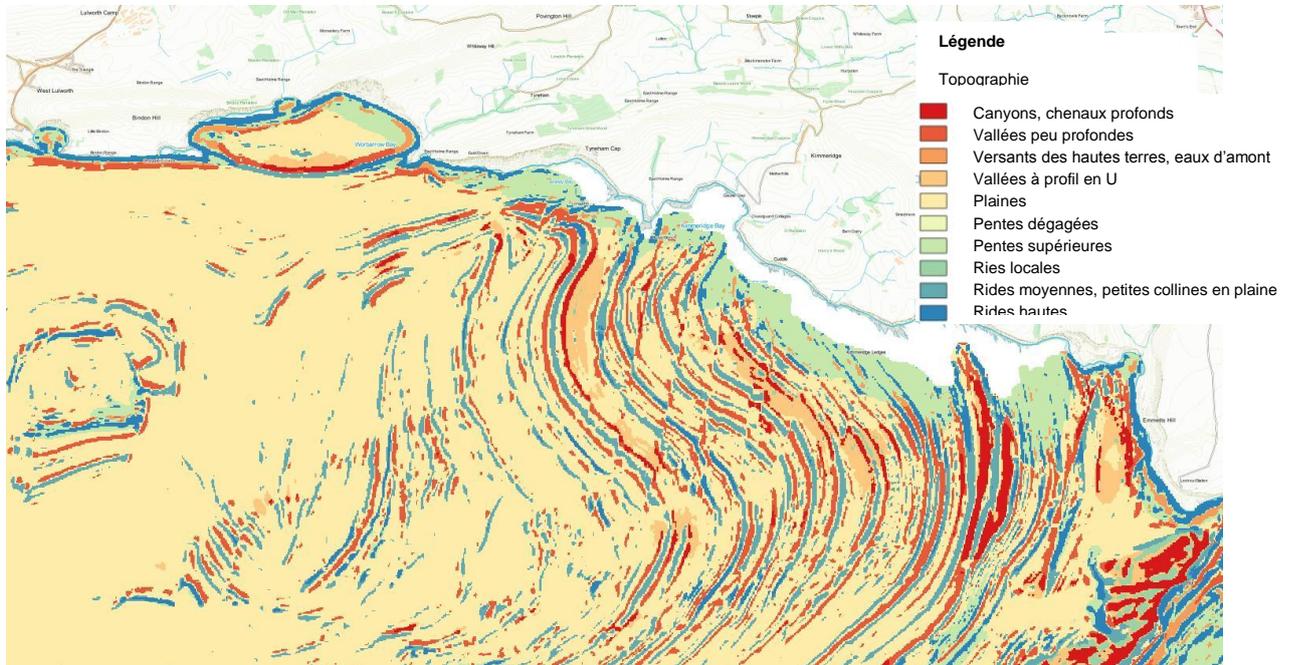


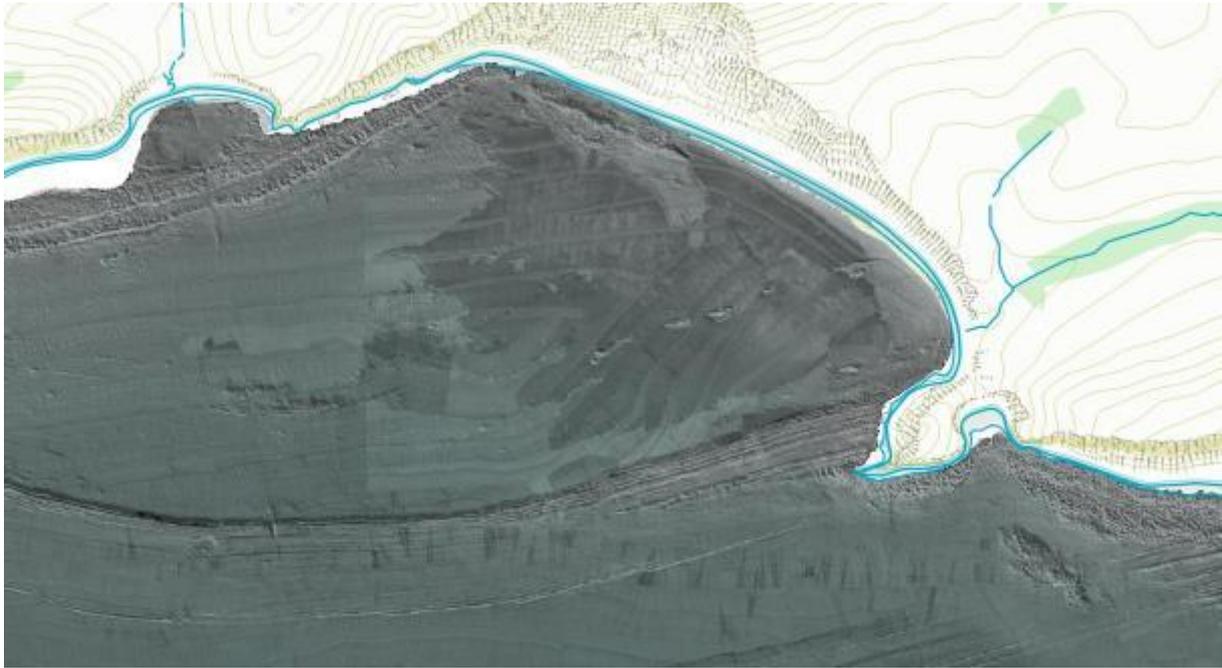
Figure 4 : Déclivité dérivée du MNT – les zones en clair indiquent des terrains plus escarpés.
 Contient des données d'étude du gouvernement britannique sous copyright © Crown
 et droits applicables aux bases de données 2014.
 Contient des données MCA sous copyright © Crown. Usage inadapté pour la navigation

L'indice de profil du terrain (TPI) est une autre caractéristique extraite, mesurant la différence de profondeur d'un point donné par rapport aux points voisins. Ces éléments peuvent être utiles pour déterminer les caractéristiques topographiques telles que les rides, les dépressions et les plaines. Il demeure impossible de distinguer les ridens des seuils rocheux, mais l'outil est utile pour caractériser les zones.



*Figure 5 : Topographie issue de l'Indice de profil du terrain.
 Contient des données d'étude du gouvernement britannique sous copyright © Crown
 et droits applicables aux bases de données 2014.
 Contient des données MCA sous copyright © Crown.
 Usage inadapté à la navigation*

L'un des avantages du système multifaisceaux est qu'il génère des données cooccurrentes de rétrodiffusion (réflectivité) avec la bathymétrie. La rétrodiffusion donne une indication de la dureté et/ou du caractère accidenté des fonds marins, ce qui peut donner les indices nécessaires pour distinguer différents types de sédiments, par exemple, apparaissant dans le MNT sous forme de zones plates identiques. L'image ci-dessous montre la rétrodiffusion superposée au MNT, permettant de délimiter les zones de sable fin (zones foncées, forte réflectivité) dans la partie Est de la baie. Malheureusement, la qualité de rétrodiffusion peut varier au fil d'une étude et elle est particulièrement sensible aux mauvaises conditions météorologiques. On peut voir des artefacts de rétrodiffusion (bandes noires vers le bas de l'image) causés par le roulis du navire réalisant l'étude. Voir p 12 une discussion approfondie à propos de la rétrodiffusion.



*Figure 6: Bathymétrie avec rétrodiffusion superposée.
Contient des données d'étude du gouvernement britannique sous copyright © Crown
et droits applicables aux bases de données 2014.
Contient des données MCA sous copyright © Crown.
Usage inadapté à la navigation*

Bien qu'il s'agisse de l'une des méthodes les plus économiques de collecte des données benthiques, le SMEF reste une solution coûteuse qui nécessite beaucoup de navigation. Il est difficile de fournir simplement un coût par zone pour une étude multifaisceaux car de nombreuses variables entrent en jeu, notamment la profondeur, mais HI1154 (contrat d'étude pour le programme DORIS, DORset Integrated Seabed survey) a couvert 683 km², jusqu'à une gamme de profondeur d'1 m ou moins. Au total, plus de 11 000 km de transects ont été créés, pour près de 70 jours de navigation et pour un coût de 329 000 £ en 2008



*Figure 7 : Zone couverte par HI1154 pour un coût de 329 000 £ en 2008.
Contient des données d'étude du gouvernement britannique sous copyright © Crown
et droits applicables aux bases de données 2014.*

Le principal usage du système SEMF consiste à cartographier les fonds marins à des fins de navigation, et des normes internationales stipulent les modes de collecte et de traitement des données. Par exemple, la norme IHO order 1A exige une couverture à 100 % des fonds marins et la capacité à détecter des objets de taille réduite, allant jusqu'à un cube de 2 m sur le fond marin. Souvent, pour réduire les coûts, les données SEMF collectées à des fins de cartographie des habitats n'essaient pas d'atteindre ce niveau d'exigence élevé – elles peuvent exploiter une approche de type « couloir » plutôt qu'une couverture complète des fonds marins par exemple, et le contrôle qualité peut être plus faible. L'inconvénient de cette approche est qu'elle réduit la valeur des données collectées aux autres parties, telles que le Bureau hydrographique britannique (UK Hydrographic Office, UKHO) ou le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine en France. Ainsi, l'un de ces organismes pourra, finalement, avoir à refaire une étude pour satisfaire les exigences de la norme IHO, ce qui représenterait une perte de temps et de ressources. En général, les données SEMF collectées à des fins de navigation seront utiles pour la cartographie des habitats, mais l'inverse n'est pas souvent vrai.

Il est de plus en plus important de rechercher des opportunités de partenariats lors de la planification des programmes d'études. Au Royaume-Uni, le programme Civil Hydrography (CHP) est le principal commanditaire d'études multifaisceaux, avec un budget annuel de 5 millions de £. Son objectif est de mettre à jour les cartes de navigation. Certains de ces travaux sont des études réalisées à nouveau, dans des zones en mutation rapide. Les autres travaux sont planifiés selon un programme à moyen ou long terme, sur la base de l'urgence et de la fiabilité des données existantes (certaines étant encore basées sur des sondages à main). En France, le SHOM partage deux de ses navires d'étude avec l'IFREMER, l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.

Reconnaissant les avantages, en particulier les économies, de la collaboration, le Royaume-Uni a récemment mis au point un accord gouvernemental relatif aux données hydrographiques visant à partager les données bathymétriques et de rétrodiffusion et à instaurer une collaboration pour la collecte des données. Cet accord prolonge les précédents accords ad hoc tels que DORIS et JIBS. Parmi les exemples les plus pertinents pour les AMP de l'Espace Manche, citons la mise en avant de l'étude pour la ZSC proposée de *Lyme Bay Reefs* permettant d'obtenir les données à temps pour la désignation. L'étude a été financée par Natural England, réalisée dans le cadre du CHP par le biais de l'Agence maritime et des gardes-côtes britanniques (*Maritime and Coastguard Agency*), en pleine conformité avec la norme IHO 1a, et les données étaient mises à la disposition de tous les organismes du gouvernement. Autre exemple d'ouverture des données : toutes les données hydrographiques britanniques sont désormais disponibles sous licence ouverte du gouvernement pour un usage élargi et peuvent être téléchargées depuis le portail INSPIRE de l'*UKHO & Bathymetry DAC* - <http://aws2.caris.com/ukho/mapViewer/map.action>.

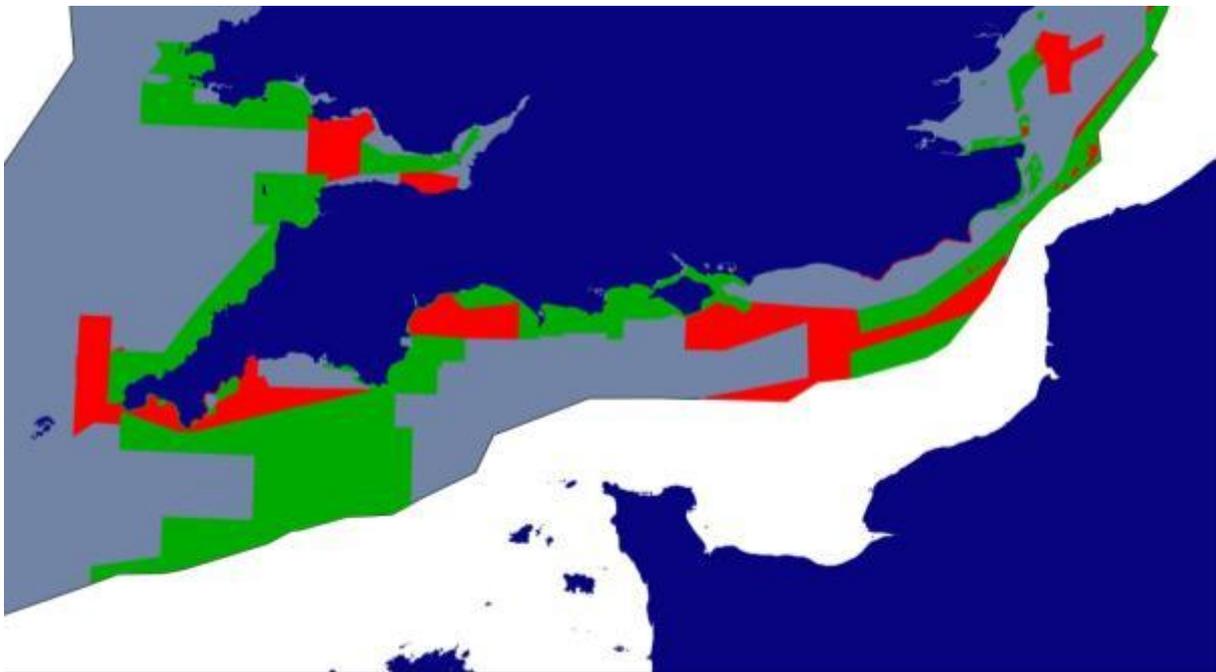


Figure 8 : Zones couvertes entrant dans le cadre du programme britannique Civil Hydrography. Les zones en vert sont terminées, les zones en rouge sont programmées pour un avenir proche.

Les données multifaisceaux françaises sont stockées dans la Banque nationale de données bathymétriques et de géophysique marine, échosondages multifaisceaux de l'IFREMER, mais la plupart des données bathymétriques sont soumises à un accès limité en raison des multiples réglementations en vigueur (UNCLOS, législation française, défense, etc.)

1.2 Problèmes de qualité de rétrodiffusion

Les études hydrographiques sont réalisées selon des normes présentant des critères élevés, produisent des ensembles de données de très bonne qualité, précieux pour la cartographie des habitats benthiques. Toutefois, plusieurs problèmes peuvent réduire leur valeur, principalement en ce qui concerne la collecte de données de rétrodiffusion. Les études hydrographiques sont principalement centrées sur la qualité des données bathymétriques, car il est nécessaire de s'assurer de la profondeur de l'eau en tout point.

La rétrodiffusion annexe est moins importante pour les études destinées à la navigation mais peut être cruciale pour distinguer les habitats benthiques. Les problèmes suivants peuvent être rencontrés lors de l'utilisation d'ensembles de données acquises principalement pour une étude hydrographique :

Perte de données

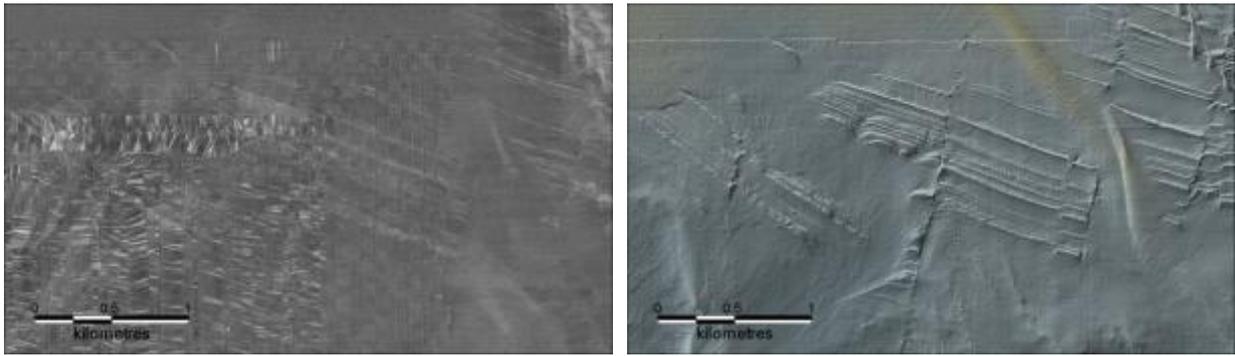
La rétrodiffusion est moins pertinente pour les études destinées à la navigation et peut être traitée avec moins de soin. L'étude DORIS s'appuyait sur quatre différents navires et deux contractants. Toutes les données bathymétriques ont été livrées au projet, mais certaines bandes de rétrodiffusion ont été irrémédiablement perdues.

Qualité des données

Les critères de la norme IHO limitent de manière stricte les conditions météorologiques dans lesquelles les navires peuvent fonctionner car l'état de la mer affecte la qualité des données collectées. L'effet des mauvaises conditions météorologiques est bien plus élevé sur la rétrodiffusion que sur la bathymétrie. Les journées perdues à cause des conditions météorologiques peuvent être coûteuses pour les sociétés réalisant les études. Ces sociétés travailleront donc dans des conditions à peine adaptées à la collecte de données bathymétriques, mais au-delà de l'acceptable en ce qui concerne la collecte de données de rétrodiffusion exploitables. Voir la Figure 9.

En fonction du système utilisé, l'opérateur pourra ajuster le gain, ce qui va poser des problèmes par la suite lorsque l'on tentera de comparer les données de rétrodiffusion de différents transects ou journées d'étude, en particulier si les réglages ne sont pas consignés dans les journaux de l'étude.





a – rétrodiffusion de piètre qualité (en bas à gauche) collectée par un navire de petite taille, au large, dans de mauvaises conditions météorologiques

b – données bathymétriques de la même zone

Figure 9 : Effet des mauvaises conditions d'exploitation sur les données de rétrodiffusion et de bathymétrie du SEMF

1.3 Études répétées, évaluation de l'évolution

Hormis les zones dans lesquelles les fonds marins évoluent rapidement et de façon régulière, les études hydrographiques ne sont pas régulièrement répétées. Cependant, lorsqu'elles le sont, l'évolution du profil, du volume et de la composition des fonds marins peut être détectée. Citons notamment le suivi d'opérations telles que la drague (d'agrégats ou pour la gestion des chenaux portuaires) et le dépôt de sédiments et d'autres matériaux sur le fond marin. Par exemple, le Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD), troisième port de France, exploite de manière régulière un sonar multifaisceaux afin de lui permettre de connaître les variations bathymétriques des fonds marins. Cet équipement dont s'est doté le GPMD en 2001 permet aux services du port de connaître l'état d'engraissement de ses bassins intérieurs ainsi que des différents couloirs de navigation qu'empruntent les navires pour rejoindre les quais du GPMD. Le port est responsable du site Natura 2000 des Bancs des Flandres désigné pour sa caractéristique « Bancs de sable légèrement recouverts d'eau de mer en permanence ». Les autorités portuaires exploitent également le système SEMF pour la détection et le suivi des mouvements et évolutions des bancs de sable et des rides.

Ce rapport présente deux cas d'études dans lesquels un sondeur multifaisceaux a été utilisé pour une Aire Marine Protégée. Le premier cas d'étude concerne le littoral britannique du Dorset, et couvre l'usage de ce système pour l'identification et la désignation d'AMP. Le second, qui couvre la zone au large de la côte de Dunkerque, étudie les modalités d'utilisation d'un sondeur multifaisceaux pour effectuer un suivi de l'évolution des caractéristiques désignées d'une AMP, les bancs de sable.

II. Étude de cas – Utilisation des données du système SEMF dans le cadre de la sélection et de la gestion de sites d'AMP en Angleterre

Le système SEMF produit des informations topographiques détaillées sur des bandes de fonds marins avec une rétrodiffusion (réflectivité) enregistrée conjointement. Ce système est devenu l'outil de prédilection des études hydrographiques. Ainsi, de nombreuses données deviennent disponibles grâce à des programmes tels que Civil Hydrography mentionné ci-dessus. Ces données peuvent s'avérer utiles pour les gestionnaires d'AMP même si ce n'était pas la raison première de leur collecte (voir les mises en garde précédentes).

2.1 Cartographie des habitats/caractéristiques pour la sélection/la désignation d'AMP

Les données du SEMF ont été utilisées dans le cadre de deux processus de sélection des sites d'AMP dans la Manche anglaise :

- Réalisation du complément britannique des Sites marins européens pour les récifs énoncés à l'Annexe 1
- Sélection du réseau des Zones de conservation marine (MCZ)

2.1.1 [Premier exemple – Recherche de ZSC de récifs énoncés à l'Annexe 1 supplémentaires](#)

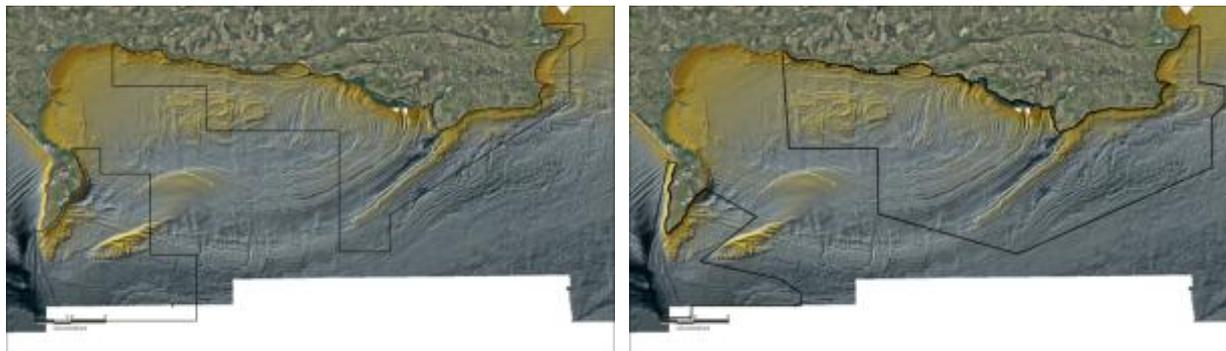
La recherche d'exemples supplémentaires d'habitats dans les récifs énoncés à l'Annexe 1 dans les eaux britanniques a commencé en 2006 sur la base des informations existantes. Très peu de ces informations contenaient des données multifaisceaux car l'Agence britannique maritime et des gardes-côtes (*Maritime and Coastguard Agency*) commençait à peine à utiliser cette technique de manière régulière. Natural England et le JNCC ont commandité quelques travaux d'étude supplémentaires pour optimiser les preuves disponibles, mais n'ont demandé aucune étude multifaisceaux approfondie pour des raisons de coûts.

La comparaison des données et les travaux d'étude supplémentaires ont permis d'aboutir à la proposition de la ZSC *Studland to Lyme Bay* en 2007. Durant la période de consultation réglementaire du public sur cette proposition le *Dorset Wildlife Trust* a fourni des preuves, avec des données complètes de couverture multifaisceaux et de rétrodiffusion collectées dans le cadre de l'initiative DORIS. Ces données ont été utilisées pour justifier la refonte des limites de la ZSC proposée entre



Studland et Portland afin de mieux suivre la répartition des habitats récifaux (voir les cartes) et d'appuyer les preuves existantes.

La zone couverte par la ZEC de récifs « *Lyme Bay and Torbay* » proposée entraine dans le cadre du programme d'étude des eaux peu profondes *Shallow Survey Programme* du *Civil Hydrography Programme*. Cette zone a été étudiée en 2010 conformément à la norme *IHO order 1a* et financée par Natural England. Les données ont été partagées dans le cadre de l'accord gouvernemental.



a – limites de la ZSC initiale proposée, sur la base d'une étude théorique
©GetMapping 2009

b – limites revues de la ZSC suite à la fourniture de nouvelles données, dont des données multifaisceaux
©GetMapping 2009

Figure 10 : Évolution des limites de la ZSC Studland to Portland suite à la fourniture des données SEMF

2.1.2 Deuxième exemple – Sélection du site de la Zone de conservation marine (MCZ)

En 2010, un certain nombre de projets régionaux en Angleterre ont commencé à identifier des Zones de conservation marine potentielles, les MCZ, qui représentaient alors une nouvelle désignation d'AMP au niveau national. Le processus était géré par des parties prenantes et la sélection du site intégrait des informations socio-économiques et écologiques. Peu de travaux d'études de soutien ont été réalisés durant le processus de sélection, l'objectif étant de s'appuyer sur les « meilleures preuves disponibles » bien que certaines parties intéressées aient réalisé ou fait réaliser de nouvelles études. Les principes de sélection du site ont été énoncés dans le document « *Ecological Network Guidance* » (Indications pour un réseau écologique). En l'absence de données élargies et détaillées, la plus grande partie de la sélection était basée sur des cartes de types d'habitats globaux pour l'ensemble du Royaume-Uni, elles-mêmes basées sur des données modélisées. Les projets recommandaient la désignation de 127 sites, mais ont rapidement rencontré des problèmes au niveau des preuves : de nombreux sites étaient suggérés pour des caractéristiques sur la base des cartes d'habitats modélisées, et peu de preuves permettaient d'appuyer la présence importante de ces caractéristiques ciblées dans les sites proposés.

Le processus de désignation a ensuite été suspendu tandis que de nouvelles preuves étaient collectées. Natural England et le JNCC ont sollicité un certain nombre d'études multifaisceaux dans les MCZ recommandées, principalement dans des sites offshore pour lesquels peu d'informations avaient été obtenues. Grâce à ces informations supplémentaires, 27 des 31 sites proposés durant la première tranche de désignations ont été mis en conformité en 2013 et 37 autres sites seront étudiés lors de la tranche suivante.

Parallèlement à ces processus, le programme *Civil Hydrography* a poursuivi ses plans d'étude à court terme, dont l'étude HI1366 à Poole Bay. Les données ont été reçues trop tard pour soutenir la désignation de la MCZ de Poole Rocks (désignée en 2013) mais corroborent fortement les preuves utilisées dans la désignation. La limite aurait vraisemblablement été légèrement plus large si cet ensemble de données avait été disponible à temps, car les récifs s'étendent au-delà des limites du site.

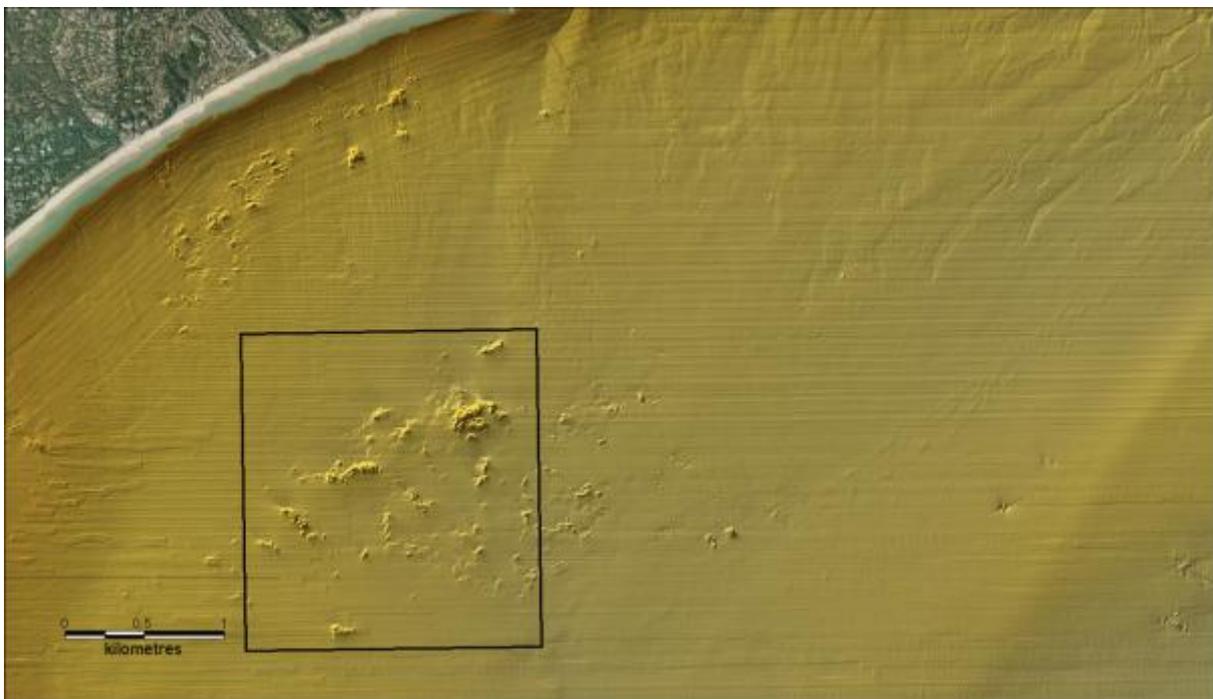
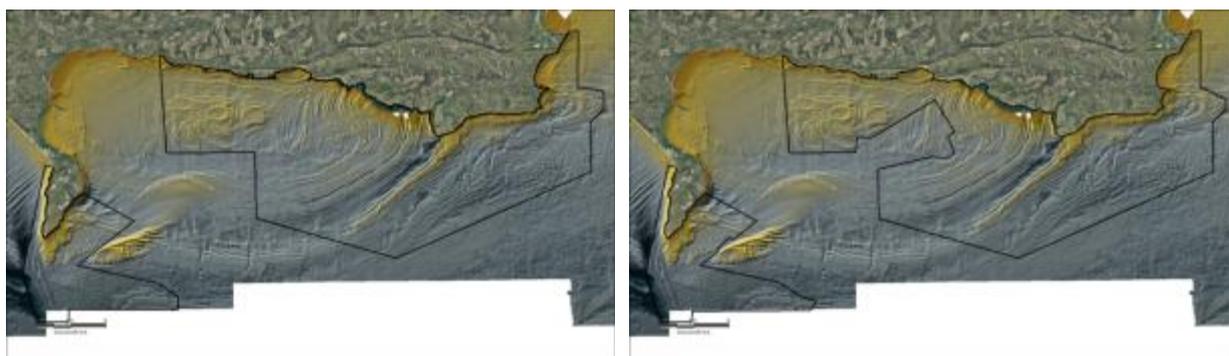


Figure 11 : Limites de la Zone de conservation marine de Poole Rocks. Des affleurements rocheux supplémentaires sont clairement visibles dans la zone de fond marin adjacente. © **GetMapping 2009**

2.1.3 Soutien des mesures de gestion

En 2013, l'Angleterre a modifié son approche de la gestion des activités de pêche dans les Sites marins européens, entraînant la limitation des types d'équipements provoquant le plus de dégâts (équipements mobiles lourds) dans les SME. Au lieu d'interdire de manière pure et simple ces équipements à travers des sites entiers, les organes de réglementation ont préféré limiter les équipements mobiles uniquement lorsqu'il existe de fortes preuves de la présence de caractéristiques vulnérables. Pour les habitats des récifs énoncés à l'Annexe 1 dans les ZSC, la plupart de ces preuves provenaient des données multifaisceaux, avec le soutien de preuves obtenues par vidéo lestée. Dans la ZSC « *Studland to Portland* » par exemple, les données utilisées pour délimiter le site ont également servi à définir une zone d'arrêt pour les activités de pêche locales en vue de limiter l'usage des équipements de pêche mobiles, bien que les deux limites ne coïncident pas exactement et qu'il existe des divergences sur ce qui constitue un habitat récifal, en particulier lorsque l'on observe un léger dépôt de sédiments sur le fond marin. Ainsi, les systèmes multifaisceaux seuls ne suffisent pas toujours pour la reconnaissance des habitats.



a – Limite de la ZSC « Studland to Portland »
©GetMapping 2009

b – zone interdite aux équipements mobiles de fond
©GetMapping 2009

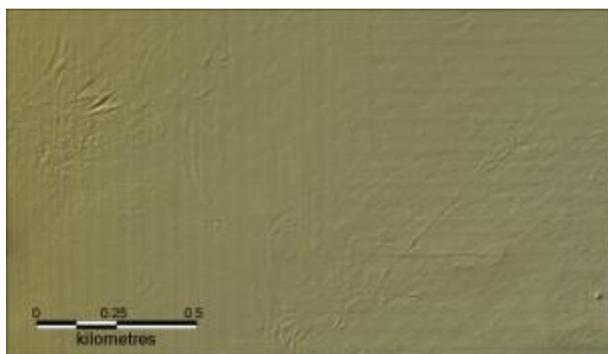
Figure 12 : Différences entre les limites de l'AMP et les mesures de gestion

2.1.4 Preuves directes de l'impact physique

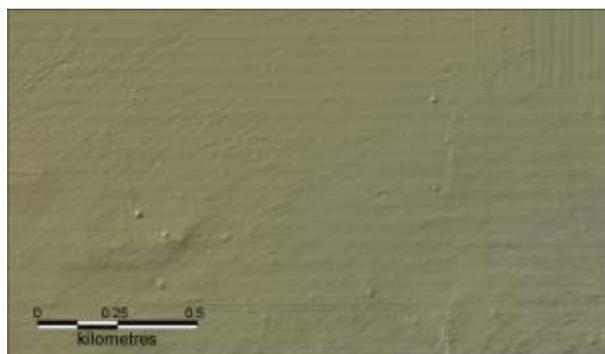
L'ensemble de données multifaisceaux DORIS n'a pas été collecté dans le but de consigner les impacts physiques sur les fonds marins, mais on observe un certain nombre d'impacts à moyen/long terme à partir des données détaillées. Cela permet alors d'utiliser les systèmes multifaisceaux comme outils de suivi de l'état ou de la conformité.

Cicatrices sur le fond marin. Les ancres des navires de grande taille mouillant dans les eaux abritées peuvent laisser des cicatrices relativement durables sur le fond marin, clairement visibles dans les données bathymétriques. Les zones draguées dans les eaux abritées sont également bien visibles. Voir les exemples ci-dessous concernant Portland Harbour.

Objets posés au fond. Il peut s'agir de n'importe quel objet, par exemple des épaves ou des excès de déblai. La Figure 13b montre plusieurs exemples d'objets positionnés soit volontairement, soit accidentellement sur le fond marin, identifiables à l'aide des données multifaisceaux.



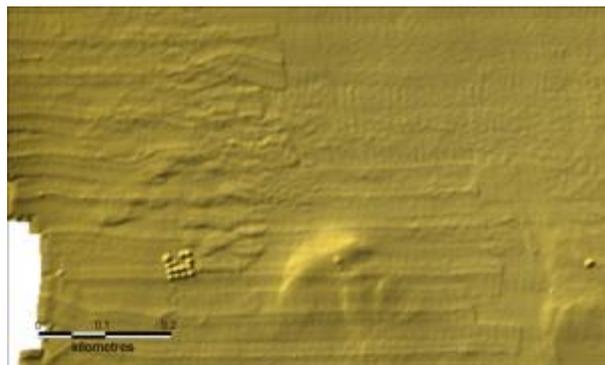
a – cicatrices laissées par les ancres des navires de grande taille dans les sédiments meubles



b – objets déposés sur le fond marin à Weymouth Bay

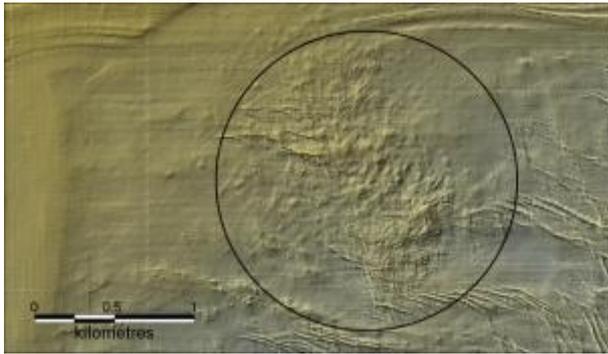


c – divers impacts sur le fond marin à Portland Harbour



d – récif artificiel et, à proximité, épave d'un char « Valentine » à Poole Bay

©GetMapping 2009



e – dépôt de déblais à Swanage

Figure 13 : Exemples d'impacts physiques sur le fond marin détectables par SEMF

2.1.5 Sensibilisation

Il peut être difficile de se rappeler à quel point les fonds marins étaient méconnus et dans quelle mesure il était délicat de les visualiser avant l'utilisation répandue d'études multifaisceaux de vastes zones. La capacité à créer des visualisations remarquables et détaillées des fonds marins dans divers formats, permet de faire vivre les fonds marins de manière encore inédite. C'est une aubaine pour tous les acteurs qui tentent d'obtenir du soutien pour la protection de l'environnement marin. Outre les affiches et les cartes interactives, les données multifaisceaux peuvent être utilisées pour créer des animations de « survol » ou des mondes virtuels pour les jeux. En 2012, DWT a créé une animation à 360° à afficher par 5 projecteurs sur un dôme de 6 mètres de haut et de 20 mètres de diamètre, sur la base des données multifaisceaux. Des illustrations d'exemple sont présentées ci-dessous.



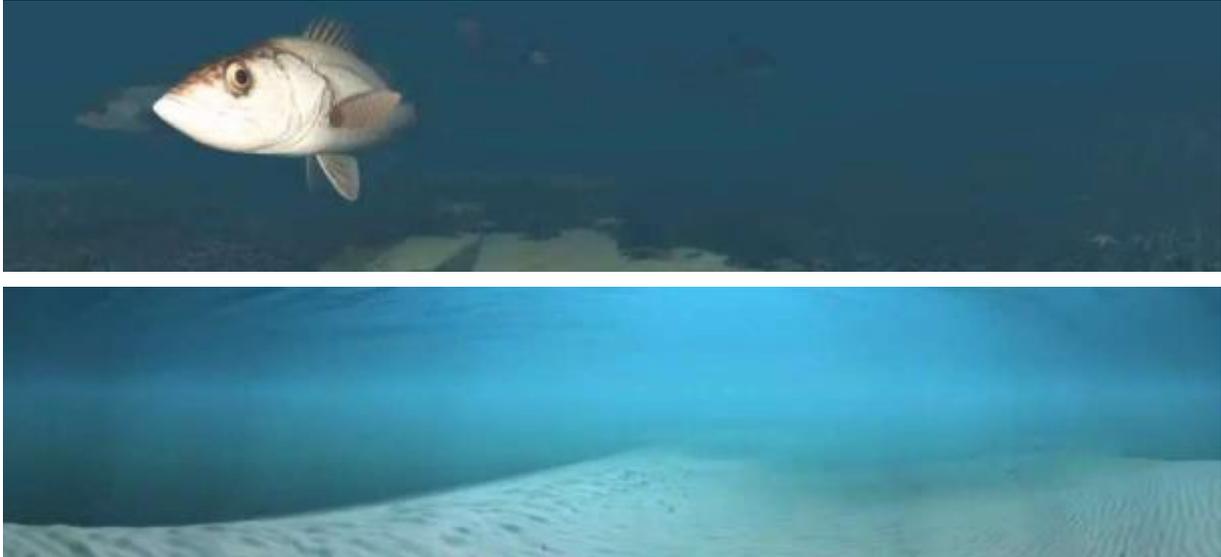


Figure 14 : Exemples d'illustrations issues d'une animation à 360° basée sur les données multifaisceaux

III. Étude de cas 2 – Exploitation du système SMEF pour le suivi des habitats sédimentaires dans le site Natura 2000 des Bancs des Flandres

L'objectif de cette mission est de mettre en lumière des pratiques qui sont déjà éprouvées par certains partenaires et qui pourraient être généralisées à l'ensemble des AMP du secteur.

Depuis plusieurs années, le Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD), troisième port de France, a pris conscience des conséquences de ses activités sur l'environnement et a développé des engagements et actions en faveur d'une meilleure gestion environnementale. En effet, les enjeux sont considérables : sur 17 km de façade, le territoire portuaire couvre 7 500 hectares et sa circonscription maritime 38 000 hectares. En outre, il est opérateur du site Natura 2000 marin des Bancs des Flandres qui lui fait face. La gestion et la conservation des écosystèmes marins soumis à une forte pression anthropique, telles que les zones côtière et portuaire, nécessitent l'emploi d'outils d'évaluation et de suivi de la qualité de l'environnement à grande échelle.

Le GPMD utilise dans le cadre du suivi des opérations de dragage et d'immersion un sonar multifaisceaux afin de lui permettre de connaître les variations bathymétriques des fonds marins. Cet équipement dont s'est doté le GPMD en 2001 permet aux services du port de connaître l'état d'engraissement de ses bassins intérieurs ainsi que des différents couloirs de navigation qu'empruntent les navires pour rejoindre les quais du GPMD. La connaissance de ce phénomène permet le déclenchement d'opérations de dragage nécessaires à la navigabilité des secteurs concernés.

Outre la connaissance des variations bathymétriques au sein de la circonscription portuaire, une autre vocation est envisageable pour le sonar multifaisceaux. Le site Natura 2000 des Bancs des Flandres est justifié par la présence d'un habitat sous-marin protégé au titre de la Directive européenne Habitats : les bancs de sable à faible couverture permanente d'eau (pSIC FR3102002). Ces bancs abritent une multitude d'espèces inféodées et constituent un excellent reposoir pour certaines espèces de mammifères marins. Une bonne connaissance de leur dynamique et de leur localisation semble donc pertinente pour une gestion efficace. Par ailleurs, ces mêmes bancs de sable en position intertidale intéressent l'avifaune, notamment nicheuse, ce qui a justifié le classement du site au titre de la Directive européenne Oiseaux (SPA FR3112006).

De ce fait, le sonar multifaisceaux apparaît comme un outil adéquat afin de mettre en évidence les éventuelles variations des bancs de sable et des rides présents au sein du site Natura 2000 des Bancs des Flandres. Il permet en effet d'apprécier la nature et la dynamique des fonds marins.

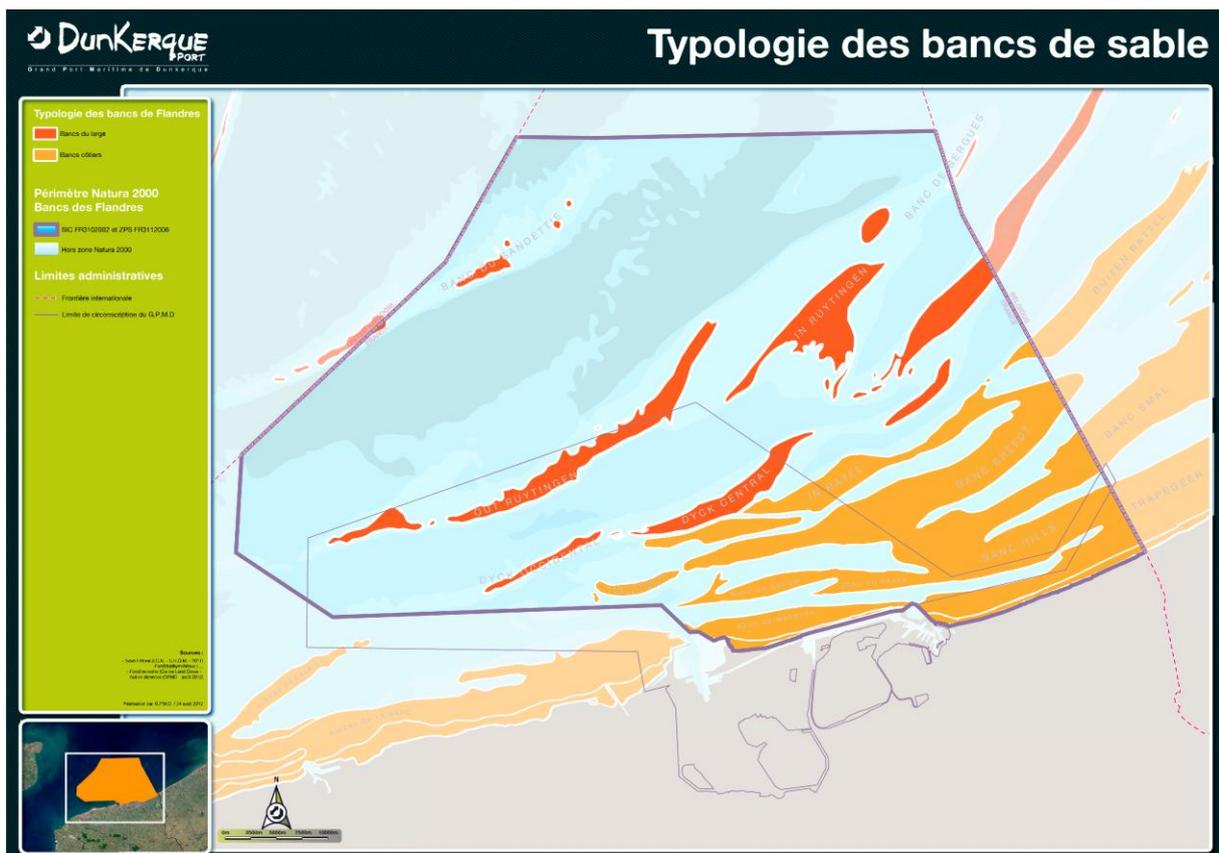


3.1 Présentation du site d'étude

3.1.1 Contexte géographique

Le littoral dunkerquois rectiligne et orienté OSO-ENE est, comme l'ensemble des côtes françaises, belges et hollandaises du sud de la Mer du Nord, principalement bordé de dunes littorales d'édification récente et de larges plages sableuses. Ces dernières se prolongent en mer par une avant-plage sableuse à pente douce, puis par des bancs sableux appartenant à l'ensemble nommé « Bancs de Flandres » sur la partie française et « Bancs de Flandre » pour sa partie belge (Vicaire, 1991).

Depuis le large vers la côte, quatre bancs bien isolés sont identifiés : l'Out Ruytingen et l'In Ruytingen, le Dyck occidental et le Dyck central. Viennent ensuite neuf bancs plus ou moins parallèles disposés en 4 alignements, qui constituent les Bancs des Flandres. On distingue l'In Ratel, le Buitten Ratten, le Breedt, le Haut-Fond de Gravelines, le Smal, le Snouw, le banc de Mardyck, le Break et le Hills. Ces structures sédimentaires sont coalescentes et leur sommet très proche du niveau des plus basses mers, les bancs les plus côtiers sont alors affleurants (Figure 155).



3.1.2 Dynamique sédimentaire

La façade maritime du Nord-Pas-de-Calais est le siège d'un important transport de sédiments, issu de l'action conjuguée des agents hydrodynamiques (courants de marée et houles) (eg. AUGRIS, et al., 1990 ; CORBAU, 1995 ; HEMDANE, 2006 ; AERNOUITS, 2005).

Au large, l'action de forts courants de marée quasiment parallèles au rivage entraîne une migration des sables parallèlement aux côtes. Le sens de cette migration dépend du transit résultant qui est orienté dans le sens du courant de marée dominant. Ainsi, le régime macrotidal dominé par le courant de flot et les houles dominantes au large qui proviennent de l'Ouest, induisent un transport sédimentaire résultant orienté vers la Belgique.

Le mouvement, parallèle à la côte, se produit principalement sur les bancs sableux, où la quantité de sédiment mobilisable est importante. Ce transport par charriage n'affecte qu'une mince couche de quelques centimètres à la surface des bancs. Par conséquent, les bancs du large peuvent être considérés comme des édifices stables à l'échelle décennale, voire centennale, mais en perpétuel renouvellement dans leur couche superficielle.

Ainsi, les Bancs de Flandres qui sont des bancs du large anciens, sont considérés comme stables. La comparaison de documents cartographiques issus des archives du SHOM, établis entre 1836 et les années 1990, montre que la plupart des bancs de la façade Nord de la Région Nord-Pas-de-Calais n'ont en effet subi que peu ou pas d'évolution spatiale (AERNOUITS, 2005).

Par ailleurs, ce résultat s'accorde avec ceux des travaux belges qui ont montré une oscillation faible de la position et du volume des Bancs des Flandres autour d'une position moyenne (DE MOOR, 2002).

Mais cette stabilité ne se retrouve pas à plus grande échelle. En effet, les bancs des Ridens, localisés face au port de Calais, se déplacent progressivement vers le Nord-Est sous l'action des courants de marée (GARLAN, 1990 ; AERNOUITS, 2005) dominés par le flot dans cette zone. Ces mêmes études au droit de Calais ont aussi montré que les modifications de la morphologie des fonds marins proches de la côte se répercutent sur le bilan sédimentaire de la zone côtière et le profil des plages.

Dans la zone côtière, les courants de marée sont atténués et l'action des houles sur les sédiments devient prépondérante par rapport à celle des courants de marée. L'action combinée de ces deux agents hydrodynamiques engendre des phénomènes complexes et un transit littoral important, à l'origine de l'évolution différentielle en termes d'érosion et d'accrétion du littoral Nord-Pas-de-Calais.

La façade Manche-Mer du Nord est, de loin, la plus exposée de toutes à l'échelle nationale au phénomène d'érosion littorale. Ainsi, le Plan Littoral d'Actions pour la Gestion de l'Erosion (SMCO, 2003) met en évidence les zones présentant des risques d'érosion et de submersions marines à moyen et long termes sur le littoral de la Côte d'Opale. Ainsi, le site Natura 2000 des Bancs des Flandres comprend les unités de gestion hydro-sédimentaires (UG) n°3, 4 et 5. Toutes présentent des zones littorales en érosion et d'autres en accrétion (Figure 16). Pour préciser la dynamique sédimentaire, l'unité de gestion n°4 (UG4) fait l'objet d'un suivi mené par l'Université du Littoral Côte d'Opale pour le compte du GPMD. Les résultats sont évoqués dans le cadre des volets WP2 et WP3 de PANACHE qui visent la connaissance et la gestion de la plateforme des « sternes », site

mouvements sédimentaires de la zone côtière. Inversement, ces modifications géomorphologiques d'avant cote agissent sur les agents morpho-dynamiques.

3.2 Secteurs suivis dans le cadre de PANACHE

Plusieurs échelles spatiales ont été analysées afin d'apprécier la pertinence d'utilisation du sondeur multifaisceaux pour confirmer ou non la mobilité des bancs.

3.2.1 Analyse à l'échelle du site

Le site Natura 2000 des Bancs des Flandres au titre de la Directive Faune Flore Habitat représente une superficie de 113 223 ha. Au vu de la surface importante et des contraintes maritimes du site, il n'existe pas actuellement un unique relevé bathymétrique de la totalité des Bancs des Flandres, mais une mosaïque de levés réalisés par différents acteurs, notamment le GPMD et le SHOM à différentes dates.

Pour cette étude, au vu de la disponibilité et accessibilité des données, il ne sera pas possible d'obtenir un différentiel. Un couplage sondage et faciès sédimentaire sera néanmoins proposé.

3.2.2 Analyse à méso-échelle, secteur d'avant-côte

Dans ses archives, le GPMD dispose d'une série de cartes bathymétriques des petits fonds du site Natura 2000. Elles couvrent les bancs de *Mardyck*, *Braek* et *Snow*. Seules les plus récentes sont réalisées à partir d'un sondeur multifaisceaux. Elles sont le résultat de mosaïques de plusieurs campagnes de mesures effectuées à différentes dates. L'analyse s'effectue dans la continuité des travaux initiés par BERTIER (2009) qui avaient notamment pour objectifs d'établir la relation entre aménagement portuaire et migration des bancs sableux.

3.2.3 Analyse à micro-échelle, zone d'inter-bancs

Au sein du périmètre du site Natura 2000 des Bancs des Flandres, le GPMD dispose de quatre zones de vidage de sédiments portuaires sains dragués: une zone Ouest-Sud (ISO : 140 ha), une zone Ouest-Nord (ION : 120 ha), une zone Centre (IC : 80 ha) et une zone Est (IEST : 100 ha). Régulièrement ces zones font l'objet de suivis bathymétriques par sondeur multifaisceaux afin d'en analyser l'évolution (Figure 1717).



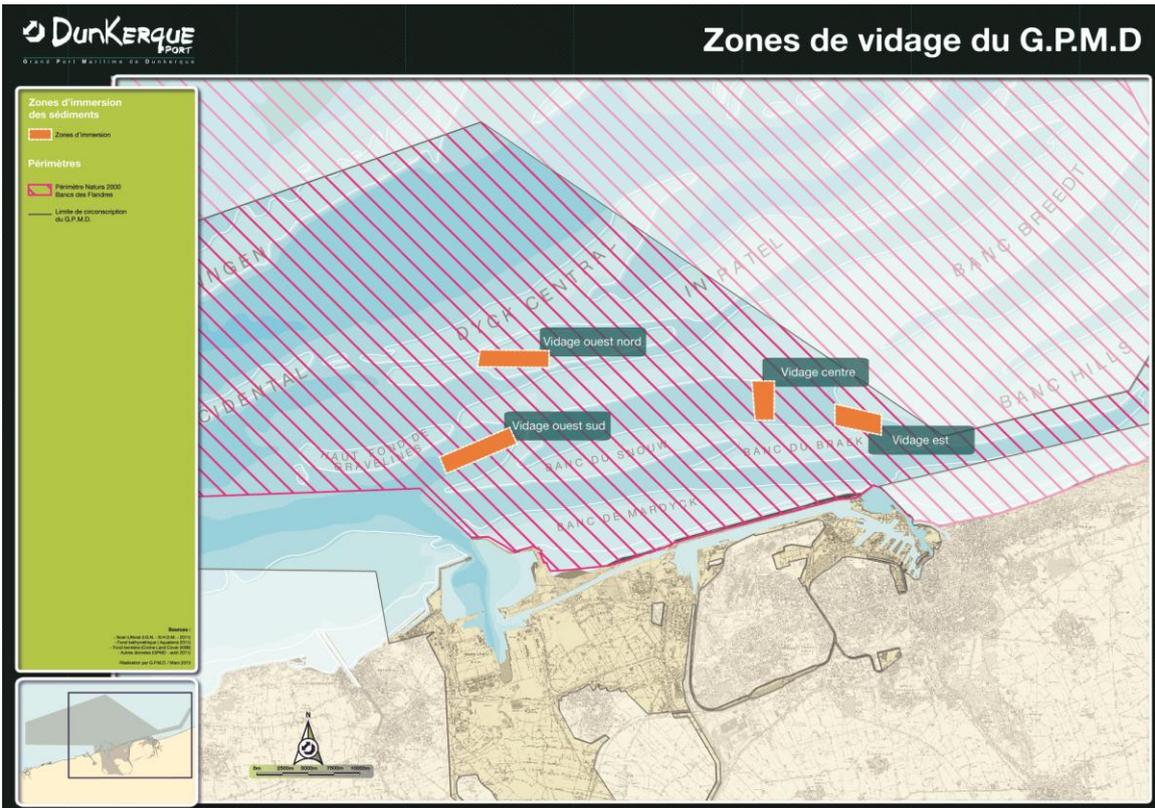


Figure 17: Location of the GPMD disposal areas monitored by bathymetric survey

3.3 Méthodologie

3.3.1 Acquisition de données bathymétriques

Couplé à un GPS, les sondeurs multifaisceaux sont des sondeurs bathymétriques ayant en complément une fonction imagerie. Ils permettent d'acquérir simultanément de l'information sur la profondeur et la nature du fond. Le principe repose sur la technique des faisceaux croisés : l'émission d'une impulsion sonore et la réception du signal réfléchi par le fond s'effectuent selon des faisceaux perpendiculaires. Ainsi, la zone du fond explorée est l'intersection entre les faisceaux d'émission et de réception (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le sondeur multifaisceaux émet au même moment plusieurs faisceaux (d'une dizaine à plusieurs centaines), dans plusieurs directions, ce qui lui garantit une grande résolution spatiale.

Des corrections sont apposées aux données reçues par le sondeur par rapport : aux mouvements du navire (pilonnement, tangage, roulis), à la marée mais également par rapport à la célérité du faisceau dans la colonne d'eau qui varie en fonction de paramètres divers comme la température, le courant et la salinité.

Le GPMD effectue lui-même ses relevés bathymétriques à partir d'un navire (Frégate de 16 m) équipé d'un échosondeur multifaisceaux ATLAS FANSWEEP 20®, à une fréquence de 210 kHz et une ouverture du faisceau du sondeur de l'ordre de 600%. La précision des mesures en planimétrie est inframétrique et en altimétrie sera de plus ou moins 5 cm.

Les données bathymétriques sont ensuite traitées par le logiciel CARIS® afin de modéliser le fond marin. Pour plus d'efficacité du traitement, la précision des données brutes est ramenée à 1 mètre. De la même façon la plage des données recueillies est diminuée. Les données qui se trouvent au-delà d'une ouverture de 400% du faisceau ne sont pas prises en compte. Au delà de cette ouverture le risque de perturbations est trop important, augmentant l'imprécision de la donnée.

3.3.2 Analyse à méso-échelle, secteur d'avant-côte

En reprenant la méthodologie proposée par BERTIER (2009) sur le suivi des petits fonds, PANACHE met à jour l'analyse de la dynamique des bancs proche de la côte. Le GPMD dispose de bathymétrie couvrant une grande partie de l'UG4 pour les années 1962, 1986 puis 2000, 2007, 2011 et 2013 ainsi que uniquement au devant de la digue du Braek pour 1988. L'une des limites de cette étude est que toutes les données ne sont pas homogènes et ne couvrent pas exactement la même zone. L'analyse de l'évolution des relevés bathymétriques permet simplement d'apprécier la variation de la morphologie des petits-fonds liées au mouvement et à la migration des bancs au cours du siècle, mais pas les variations à court terme qui sont plus appréciable à une échelle plus fine.



3.3.3 Analyse à micro-échelle, zone d'inter-bancs

Dans le cadre de PANACHE, plusieurs campagnes sur les différentes zones ont été réalisées entre 2012 et 2014. Certaines n'ont pu être exploitées (2 campagnes en 2012 et 2 campagnes en 2013), car il était nécessaire de disposer de plusieurs campagnes bathymétriques sur le même secteur et avec la même précision et la même surface afin de mettre en place des méthodes identiques et de ce fait comparable. Elles ont été reconduites par la suite, afin d'obtenir un panel de données exploitables. L'ensemble des fichiers bathymétriques qui ont été utilisés pour cette étude sont présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Afin de déterminer une probable évolution des bancs et mégarides sous-marins, le GPMD a utilisé des anciennes campagnes dont il disposait avec les mêmes caractéristiques techniques. Elles sont compilées aussi dans le Tableau 1.

IC	IEST	ION	ISO
16/11/2010	15/12/2009	22/03/2010	23/03/2010
14/03/2012	01/08/2012	02/04/2012	26/03/2012
09/09/2013	04/09/2013	06/03/2014	10/03/2014

Tableau 1 : Relevés bathymétriques utilisés par le GPMD

3.3.4 Analyse des données bathymétriques

Les données obtenues à travers les relevés réalisés par le sondeur multifaisceaux et après les différentes corrections appliqués du fait de nombreux paramètres à prendre en compte (roulis, tangage, célérité de l'onde dans la colonne d'eau, ...) se traduisent sous la forme de coordonnées géographiques en longitude (X), latitude (Y) et hauteur (Z). Les données se présentent sous la forme d'un fichier de points avec les coordonnées X, Y et Z en projection Lambert 93 CC50, la référence altimétrique étant le zéro hydrographique du SHOM du port de Dunkerque (Figure 18).

Les fichiers de points des levés bathymétriques sont ensuite travaillés à l'aide du logiciel SURFER 9.0 de GOLDEN SOFTWARE, qui permet de traiter et représenter des Modèles Numériques de Terrain (MNT) en 2D ou 3D. La méthode d'extrapolation entre chaque point choisie est l'interpolation linéaire, car elle semble traduire le plus fidèlement la réalité (Figure 19). Celle-ci, consiste à utiliser la moyenne pondérée des trois nœuds du triangle contenant le point d'interpolation. Cette phase de la démarche permet, outre la modélisation du MNT, d'en définir sa résolution à travers le choix d'un maillage adapté. Dans le cadre de cette étude, un maillage de 1m x 1m a prévalu pour l'usage voulu, et au regard des capacités de calcul du matériel informatique mis à disposition. Une fois le MNT généré, une dernière étape consiste à créer des classes de couleurs en fonction de l'altitude des pixels générés afin de mettre en évidence de façon adaptée la profondeur des fonds marins. Une échelle commune pour les quatre zones étudiées a été choisie.

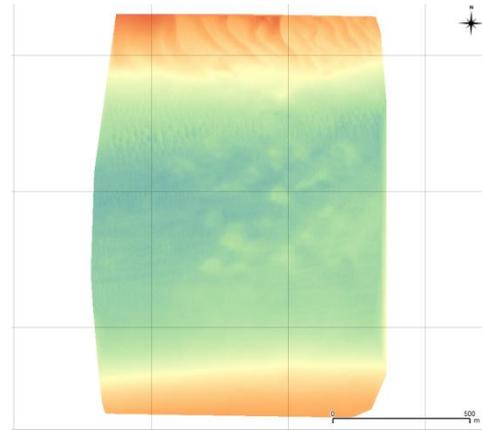
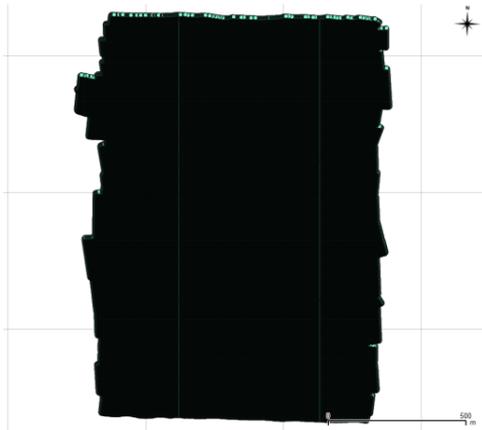


Figure 18 : Nuage de points – exemple de la zone IC

Figure 19: MNT généré – exemple de la zone IC

3.3.5 Comparaison entre deux levés bathymétriques

Dans le but de pouvoir effectuer des comparaisons et des calculs de volumes valables entre deux dates sur des superficies strictement identiques, il a été nécessaire de retravailler l'emprise spatiale de chaque fichier afin d'avoir une superficie égale pour chaque zone. Chaque bathymétrie est ensuite découpée selon l'emprise commune définie (Figure 20).

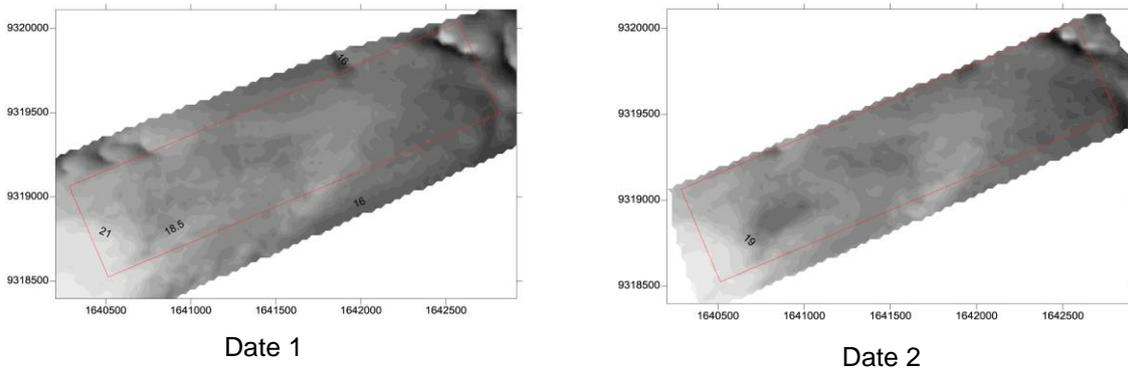


Figure 20 : Délimitation d'une emprise commune – exemple de la zone ISO

Par la suite, pour chaque zone, des bornes minimales et maximales en X et Y, communes à tous les MNT de chaque zone, ont été calculées afin de pouvoir comparer les MNT entre eux, et ainsi pouvoir soustraire les grilles entre elles et calculer des différences de volumes entre deux MNT de deux dates différentes (Figure 21).

La carte de différentiel ainsi générée permettra d'apprécier spatialement les secteurs en érosion et ceux en accrétion. Pour plus de visibilité, elle sera drapée sur le plus récent des blocs bathymétriques 3D.

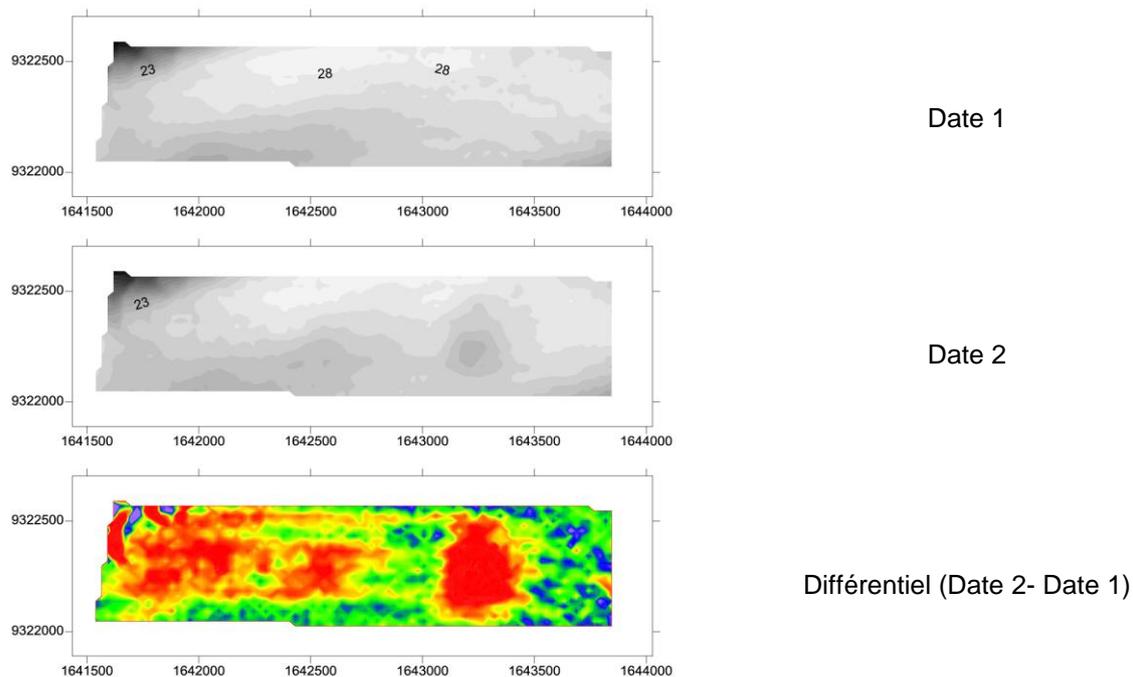


Figure 21 : Comparaison de 2 MNT – exemple de la zone ION

3.3.6 [Méthodologie pour la caractérisation des faciès sédimentaires](#)

Comme nous venons de le montrer, le traitement des données du sondeur multifaisceaux aboutit au calcul d'un modèle numérique de terrain, résultant des mesures de bathymétrie. Il peut permettre aussi une appréciation de la nature du fond en exploitant le degré de réflectivité (codé en niveaux de gris) des faciès sédimentaires. Une fois les données corrigées, une mosaïque d'images est ainsi constituée, dont chacun des pixels correspond à une surface élémentaire sur le fond, associée à un niveau de rétro-diffusion exprimé en décibels.

Les mosaïques obtenues sont comparées aux données de prélèvement ou d'observation du fond (video ou plongée *in situ*) pour être ensuite calibrées et interprétées sous la forme de faciès sédimentaires.

La méthodologie proposée consiste ainsi à aborder la cartographie des habitats avec la méthode acoustique combinée avec la « réalité de terrain ». Chacun des systèmes, pris séparément, n'a pas la prétention de fournir l'ensemble des informations requises pour obtenir une cartographie pertinente des habitats. Seule la combinaison de ces deux moyens permet d'accéder à un niveau de confiance suffisant pour définir, au final, les délimitations des faciès sédimentaires.

Le GPMD ne disposant pas des logiciels développés notamment par l'IFREMER pour faciliter le traitement de la réflectivité, le déploiement de la méthodologie à l'échelle des Bancs des Flandres s'est avéré délicat.

Dans le but de définir les grands ensembles sédimentaires caractérisant la zone d'étude, une calibration des données acoustiques a été réalisée à partir des données granulométriques issues de

campagnes de prélèvement (Figure 22 et Figure 23) sur les zones IC, IEST, ION et ISO et des données issues de CARTHAM (AAMP, 2012).

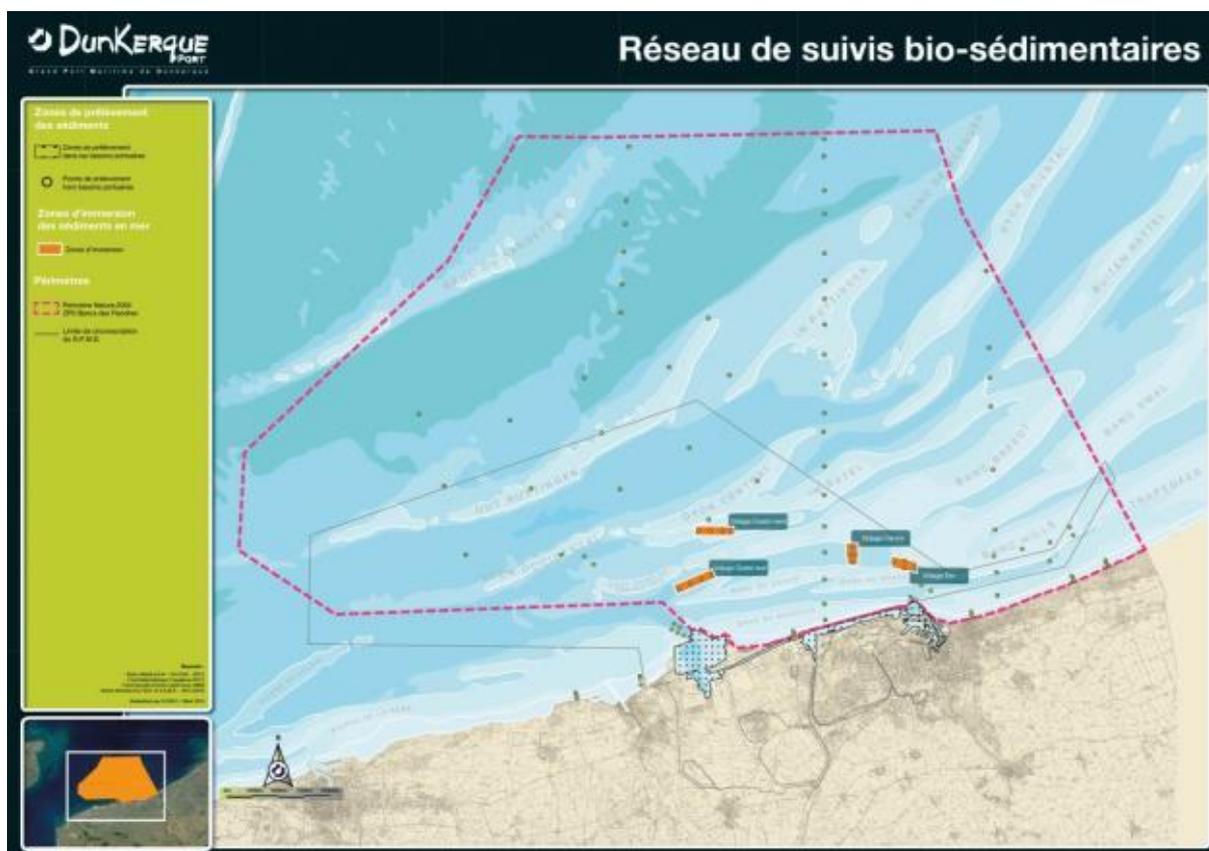


Figure 22: Points de prélèvements sédimentaires et benthiques

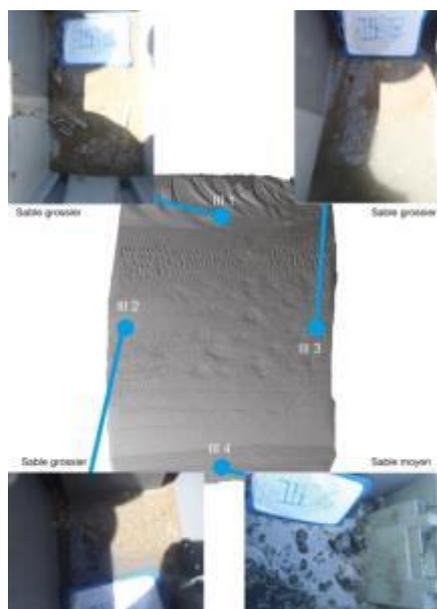


Figure 23: Caractérisation des substrats des fonds –exemple de la zone IC

3.4 Résultats

3.4.1 Bathymétrie du site Natura 2000 des Bancs des Flandres

L'ensemble des données bathymétriques que le GPMD a pu regrouper est présenté en gure . Les figures sédimentaires détectées attestent bien d'un contexte hydrodynamique de haute énergie (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Pour l'étude CARTHAM (AAMP, 2012), une précédente interpolation des données avait été effectuée, mais à une résolution moindre (Figure 26).

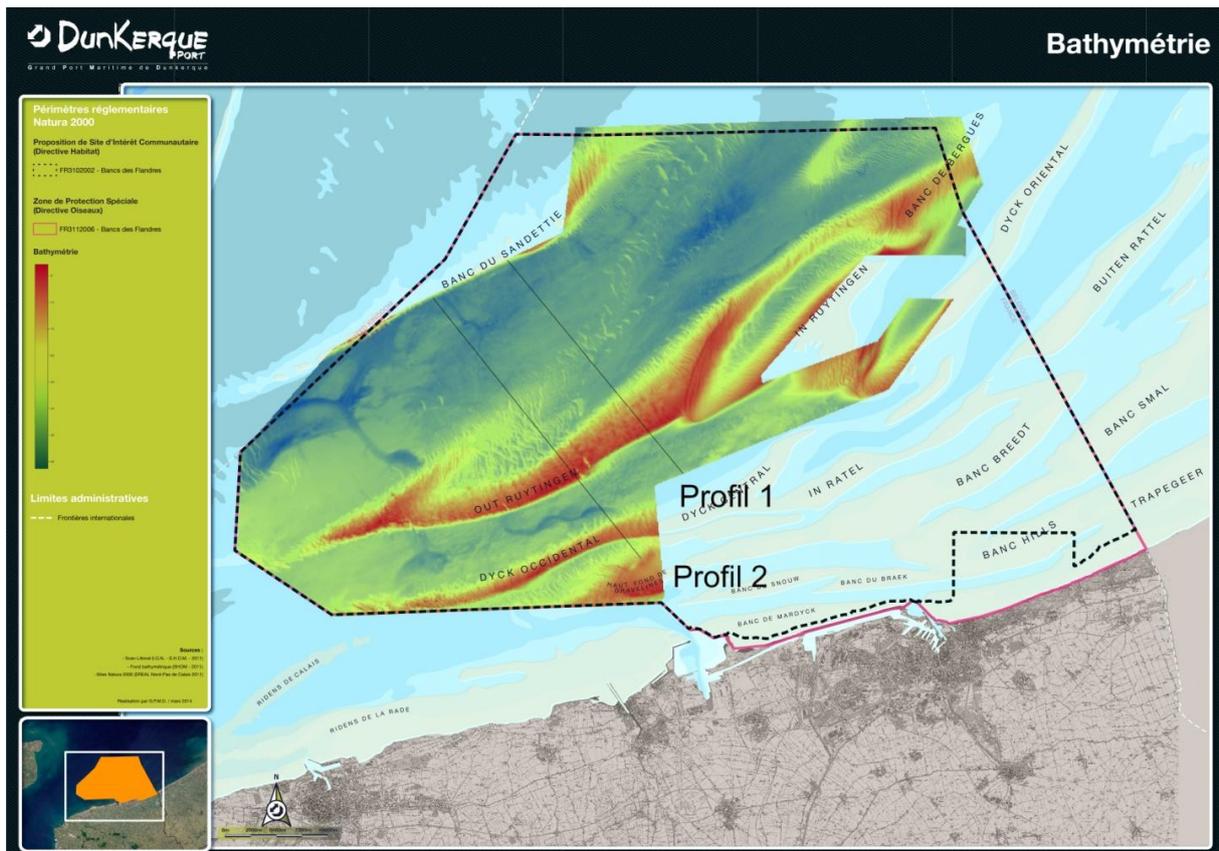


Figure 24: Interpolation de la bathymétrie utilisant les données disponibles de deux profils pour le site Bancs des Flandres

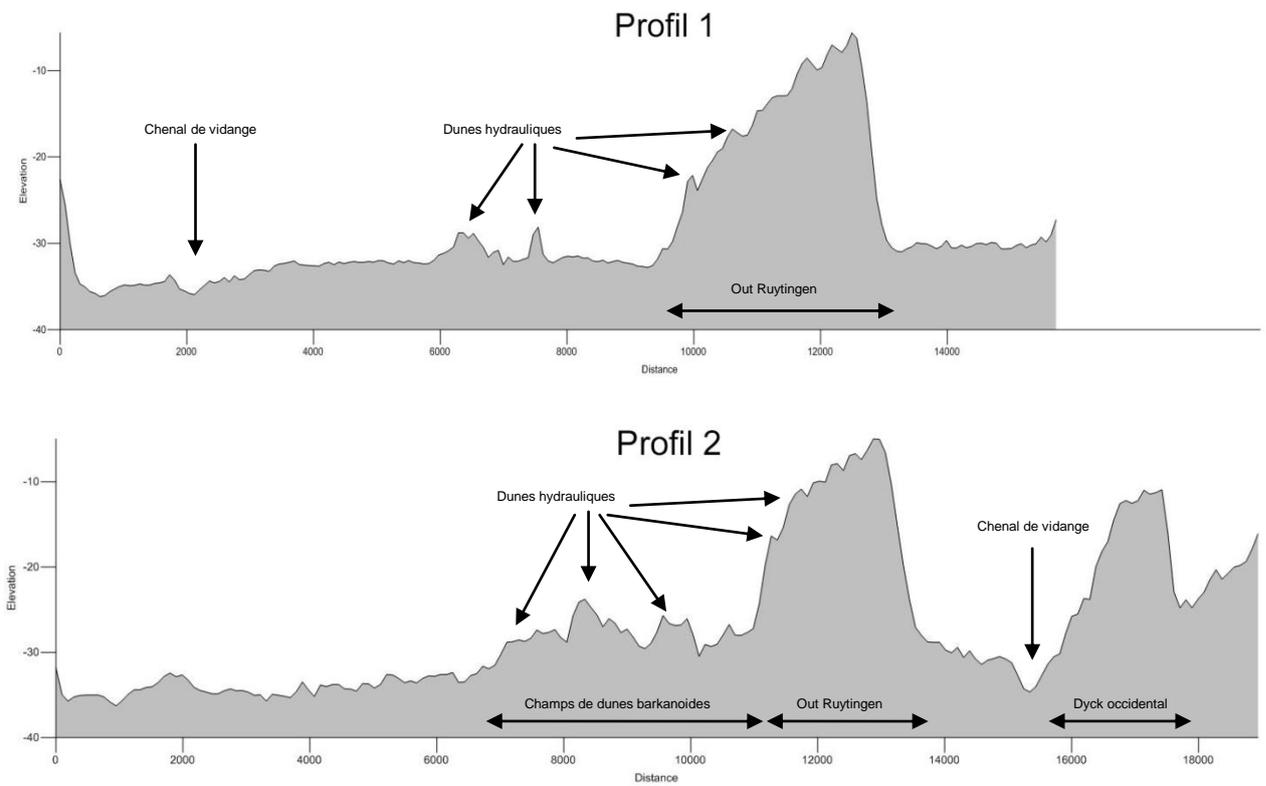


Figure 25 : Coupes topographiques

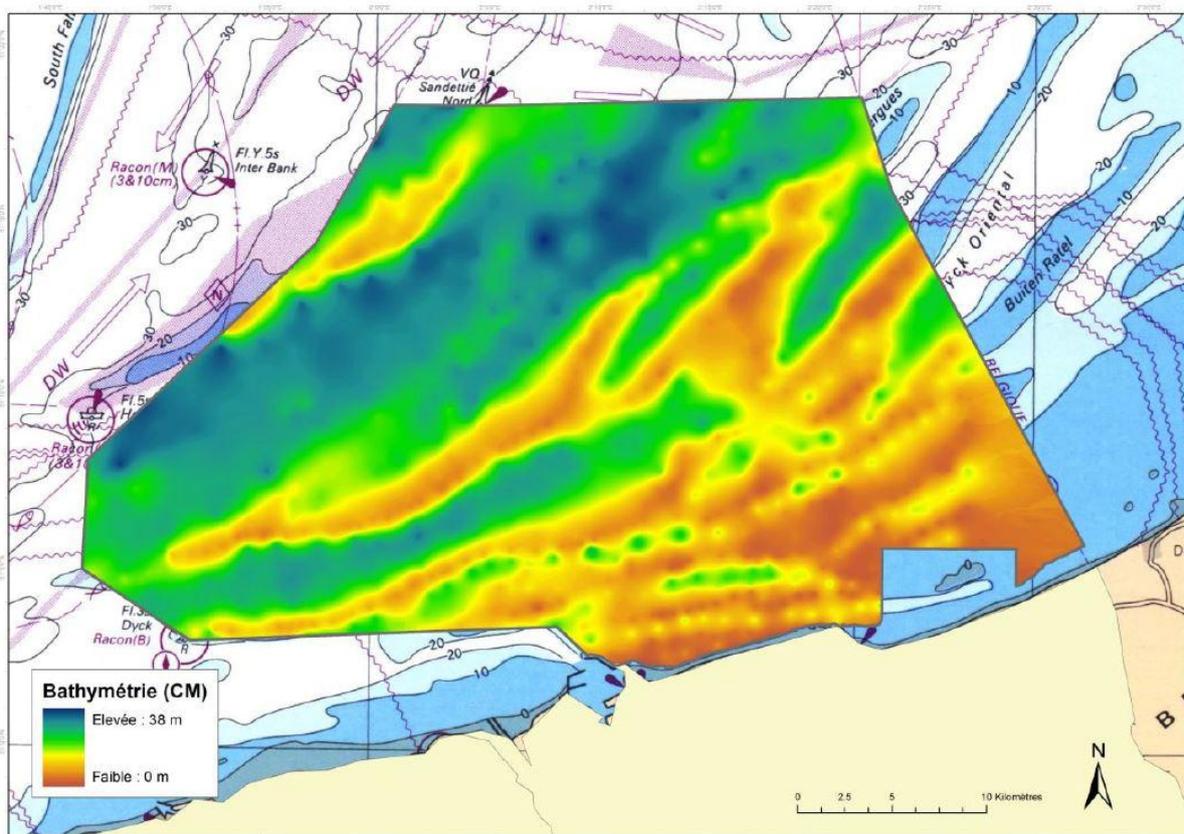


Figure 26 : Interpolation de la bathymétrie du site des Bancs des Flandres pour l'étude CARTHAM (AAMP, 2012)

L'analyse des faciès sédimentaires à partir des données acoustiques de l'écho-sondeur multifaisceaux s'est avérée délicate et non représentative de la globalité du site ou à l'échelle de l'UG4. En effet, lors du paramétrage du sonar, le GPMD privilégie la qualité de l'acquisition de la bathymétrie au détriment de celle de la réflectivité.

Toutefois, 3 faciès sédimentaires semblent se dégager et sont fortement corrélés à la bathymétrie.

- Le faciès à sables grossiers : Sans corps sédimentaires, il correspond aux faciès acoustiques réfléchissants homogènes ou rugueux. Il occupe la quasi-totalité de la partie ouest du site notamment entre les bancs *Out Ruytingen* et *Dyck occidental*. Il reflète plutôt les faciès sédimentaires d'inter-bancs.
- Le faciès à sables moyens : Il correspond aux faciès acoustiques réfléchissants modelés par des dunes hydrauliques. Prépondérant, il occupe essentiellement la partie est du site.
- Le faciès à sables fins : Il correspond aux faciès acoustiques ayant une très faible réflectivité. Il est trouvé au plus proche de la frontière belge.

Les résultats obtenus sont cohérents avec les résultats de CARTHAM (AAMP, 2012), mais au vu du manque de qualité des données initiales, ils ne peuvent être qualifiés de conclusifs dans ce rapport (Figure 27).

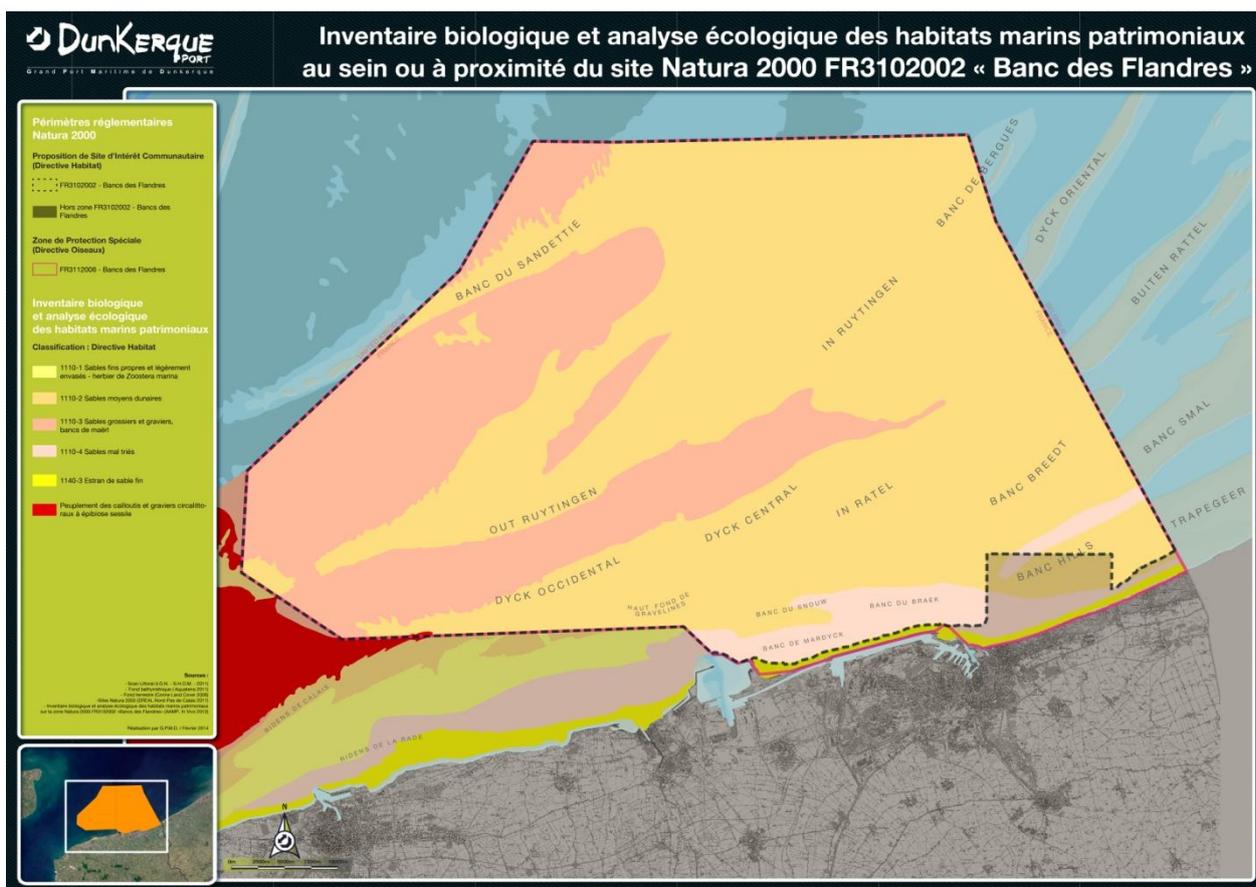


Figure 27 : Cartographie des habitats d'intérêt communautaire du site des Bancs des Flandres pour l'étude CARTHAM (AAMP, 2012)

3.4.2 Bathymétrie de l'avant-côte de l'UG4

Une analyse de l'évolution des fonds bathymétriques de l'UG4 a été réalisée à partir des levés réalisés (Figure 28). Les cartes bathymétriques de 1962 et 2000 montrent des différences importantes dans la morphologie de l'avant-côte (Bertier, 2009). Ces modifications des fonds sont liées aux grands travaux entrepris durant cette période pour les diverses extensions du port, notamment la construction complète de la digue du Braek, de l'avant-port Ouest et la création du canal des Dunes. Ces aménagements portuaires ont fortement influés sur la morphologie des petits-fonds.

Entre 1962 et 2000, outre la zone de forte érosion des fonds devant l'entrée de l'avant-port Ouest, liée à la création de l'avant-port et au creusement d'un chenal de navigation, on note une tendance à un léger approfondissement du chenal à plusieurs endroits, ainsi qu'un élargissement du chenal dans la partie Ouest. Ces variations dans la morphologie du chenal, qui peuvent être vraisemblablement expliquées en partie par les travaux de dragages pour la création de l'avant-port Ouest de Dunkerque, se manifestent sur la carte des variations bathymétriques par une zone d'érosion parallèle à la côte.

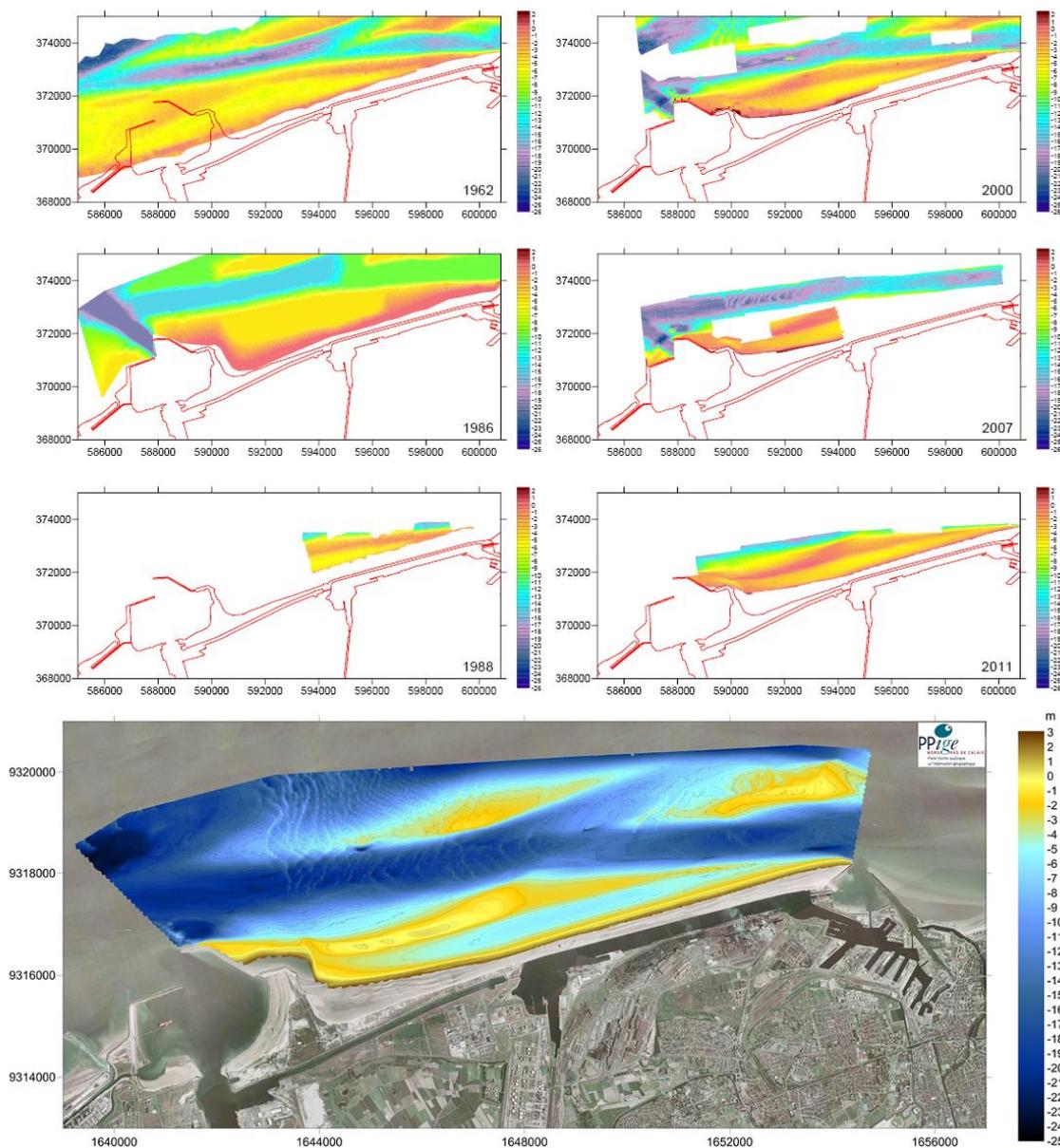


Figure 28: Bathymétries de l'avant-côte de l'UG4 en 1962, 1986, 1988, 2000, 2007, 2011 et 2013
(HEQUETTE & al, 2012 et 2014)

Pour cette même période, les zones d'exhaussement sont moins importantes, en nombre et en surface, par rapport aux zones d'abaissement des fonds. On note toutefois, une accumulation au nord-est de l'UG4, directement lié à l'implantation de la jetée du Clipon et du Ruytingen, et qui sera à l'origine de la plateforme-sableuse des « Sternes », dont le suivi est évoqué pour les volets WP2 et WP3 de PANACHE. Enfin, on observe des exhaussements à l'est au devant de la digue du Braek, qui correspondent à une accumulation dans l'inter-banc et le débordement du banc de *Mardyck*. Ce phénomène confirme l'hypothèse d'un transfert de sédiments longitudinalement dans ce secteur entrainant un accroissement de ce banc que ce soit vers le large ou la côte.

L'utilisation des données de 1988, bien que ne couvrant qu'une petite zone proche du littoral, nous permet également d'attester de la migration des bancs proche de la côte. Par la suite, les évolutions sont à nouveau plus naturelles et les petits fonds ont tendance à retrouver leur morphologie de 1962 (BERTIER, 2009).

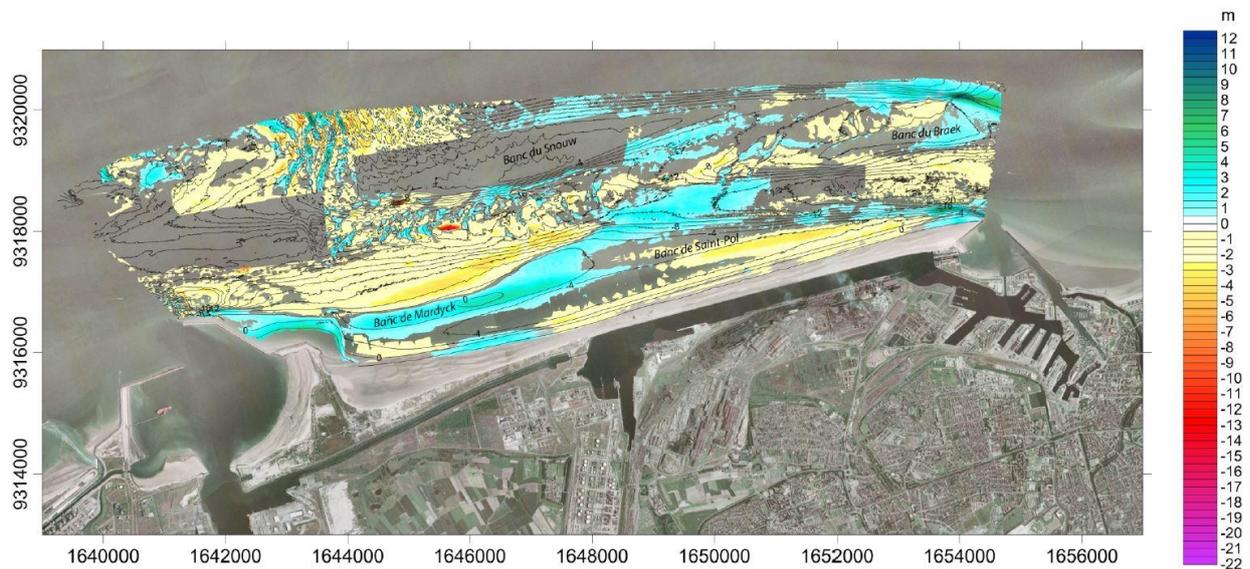


Fig. 38 : Différentiel bathymétrique entre 2000 et 2013. Les isobathes représentent la bathymétrie levée en octobre 2013 (les profondeurs sont en mètres par rapport au 0 hydrographique à Dunkerque).

Figure 29 : Différentiel bathymétrique de l'avant-côte de l'UG4 entre 2000 et 2013 (HEQUETTE & al, 2014)

Entre 2000 et 2013 (Figure 29), l'avant-côte a subi de profondes modifications morphologiques. En effet, la partie ouest du chenal intermédiaire présente une érosion d'un mètre en moyenne pouvant atteindre -5 m par endroits. Cette érosion est associée à l'engraissement du flanc externe du banc de *Mardyck* dont l'exhaussement peut atteindre +3,5 m. Ces modifications traduisent un élargissement et un creusement du chenal associé à un stockage de sédiment sur le banc de *Mardyck* et sa progression vers l'est (HEQUETTE & al, 2014).

3.4.3 Discussion

L'analyse de l'évolution des petits-fonds à meso-échelle apporte de nombreuses indications sur les tendances générales d'évolution des fonds, mais ne permet pas de percevoir l'impact d'événements se produisant sur de courts pas de temps.

3.4.4 Bathymétrie des zones d'inter-banc

a) Zone centre- IC

Cette zone d'inter-bancs se situe au nord du banc du Braek et au sud du banc du Breedt, à une profondeur maximale de 22 m (Figure 30).

Le différentiel entre mars 2012 et septembre 2013 révèle une accrétion dans la cuvette, au sud de la zone, c'est-à-dire au pied du talus formé par le flanc nord du banc du Braek. Ceci confirme la mobilité des bancs sableux avec des conditions d'agitation en provenance du sud, qui permettent ce dépôt au nord du banc du Braek, en situation d'abri relatif.

A une échelle de temps plus large, le bilan volumétrique entre novembre 2010 et septembre 2013 montre une zone quasiment stable.

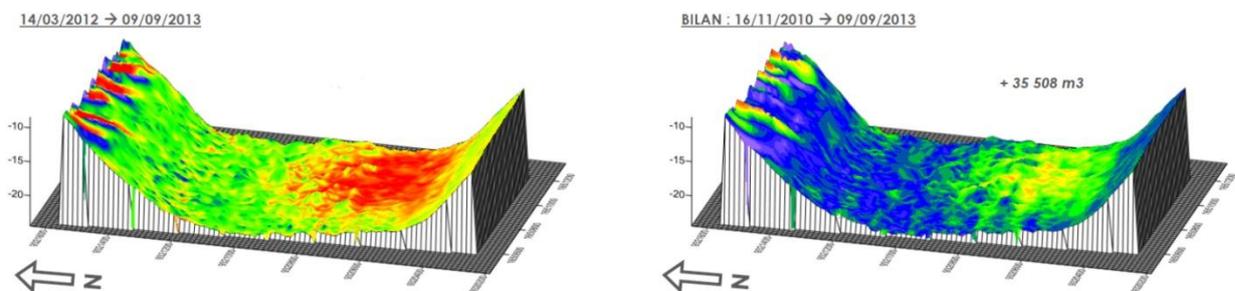


Figure 30 : Différentiels bathymétriques de la zone IC (IDRA, 2014)

b) Zone est - IEST

Dans la continuité de la zone IC, cette zone IEST est elle aussi localisée dans une cuvette au pied du flanc nord du banc du Braek à une profondeur maximale de 19m (Figure 31 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Entre août 2012 et septembre 2013, la variation volumétrique est faible. Seule une légère accrétion se produit sur la partie centrale du flanc Nord du banc du Braek, et une légère érosion au sommet du banc.

Le bilan sur l'ensemble de la période étudiée fait apparaître une nette sédimentation sur la quasi-globalité de la zone. Les sédiments se sont préférentiellement déposés en contrebas, ainsi que sur la pente correspondant au flanc nord du banc du Braek. Confirmant la mobilité des bancs comme pour la zone IC. D'autant plus que l'érosion du sommet de ce même banc laisse aussi présager un léger déplacement de la crête de celui-ci vers le nord.

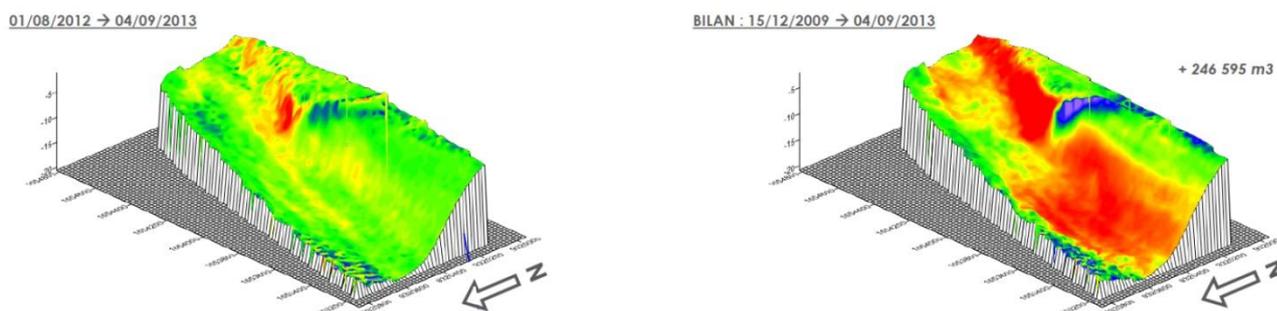


Figure 31 : Différentiels bathymétriques de la zone IEST (IDRA, 2014)

c) Zone Ouest-Nord - ION

Située sur le banc *Buitten Ratten*, la zone relativement plate atteint la profondeur de 27m (Figure 32). Une sédimentation se produit entre avril 2012 et mars 2014, au pied du talus Nord-Ouest où les profondeurs sont moindres (jusqu'à -10 m), et dans une zone située entre la partie centrale et l'Est de la zone, créant une « bosse ».

Au final, sur l'ensemble de la période d'étude, la sédimentation prédomine nettement sur la quasi-totalité de la zone étudiée, probablement par suite de l'apport de sédiment.

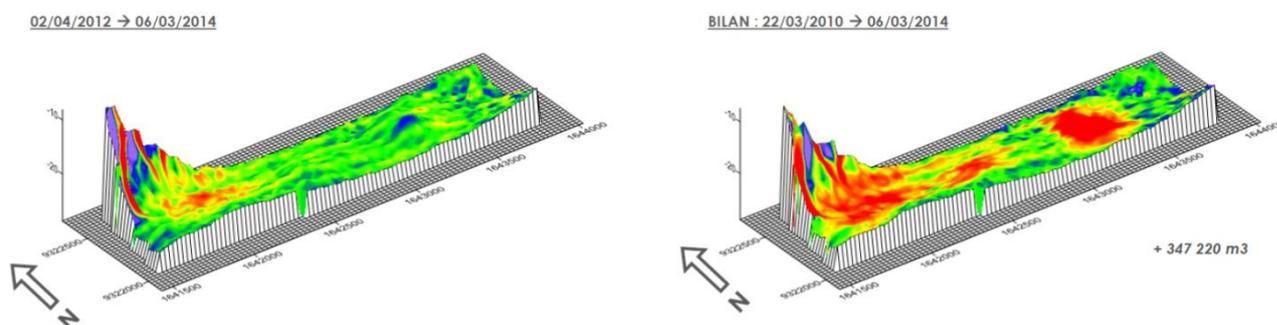


Figure 32 : Différentiels bathymétriques de la zone ION (IDRA, 2014)

d) Zone Ouest-Sud - ISO

A une profondeur d'environ 20 m, c'est une zone de vidage fréquemment utilisée par le GPMD pour ses dragages (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Entre mars 2012 et mars 2014, période de mesure est deux fois plus longue que pour les autres sites, on observe une érosion sur l'ensemble de la zone. Ce qui apparait logique puisque l'érosion de produit d'abord sur les zones de sédimentation récentes qui forment des obstacles davantage exposé aux courants, et où les sédiments sont moins tassés et présentent moins de cohésion.

Sur l'ensemble de la période considérée, le bilan volumétrique fait apparaître une érosion généralisée

qui se produit essentiellement dans la partie sud-est, tandis qu'un dépôt de sédiments peut également être observé de manière localisée au sud-ouest.

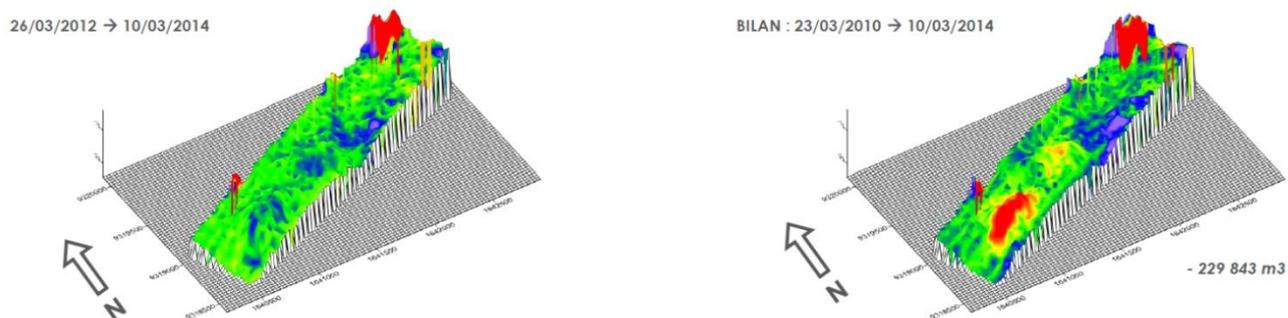


Figure 33: Différentiels bathymétriques de la zone ISO (IDRA, 2014)

3.4.5 Discussion

Les résultats des levés bathymétriques par écho-sondeur multi-faisceaux effectués dans sur le site des Bancs des Flandres suggèrent une migration des dunes hydrauliques mais que les déplacements de sable affectent surtout les parties sommitales des bancs. DE MOOR (2002) avait établi une conclusion similaire sur la partie belge des Bancs des Flandres.

Les variations volumétriques constatées sont la résultante à la fois des opérations de clapage et des mouvements sédimentaires naturels dus aux conditions hydrodynamiques dynamiques de la Mer du Nord. Il semble que les sédiments clapés puissent être pris en charge et dispersés plus rapidement que les sédiments en place, en raison du fait qu'ils forment un amas de sédiments plus exposé aux phénomènes d'érosion d'une part, mais également parce que les sédiments y sont moins tassés, et plus facilement dispersés (IDRA, 2014).

Une analyse plus fine notamment des profils devrait permettre d'éclairer l'analyse concernant les déplacements de bancs. Toutefois, une rapide analyse de quelques profils bathymétriques des formes sédimentaires (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) montre qu'à l'échelle annuelle, les dunes se sont systématiquement déplacées vers l'est. Cette tendance est visible notamment pour les dunes hydrauliques du secteur IEST. Ces déplacements se traduisent par des migrations de l'ensemble du corps dunaire, et non plus uniquement de la partie sommitale. Toutefois, en Manche, FERRET (2011) pointait que les modalités de ces déplacements peuvent varier d'une dune à l'autre. Et, que sur les pas de temps courts, les migrations des dunes étaient souvent la conséquence de la morphodynamique des petites dunes qui leur sont surimposées. Au final, utiliser le suivi des crêtes dunaires paraît judicieux pour apprécier la dynamique des fonds, à condition que l'échelle soit au minimum annuelle.

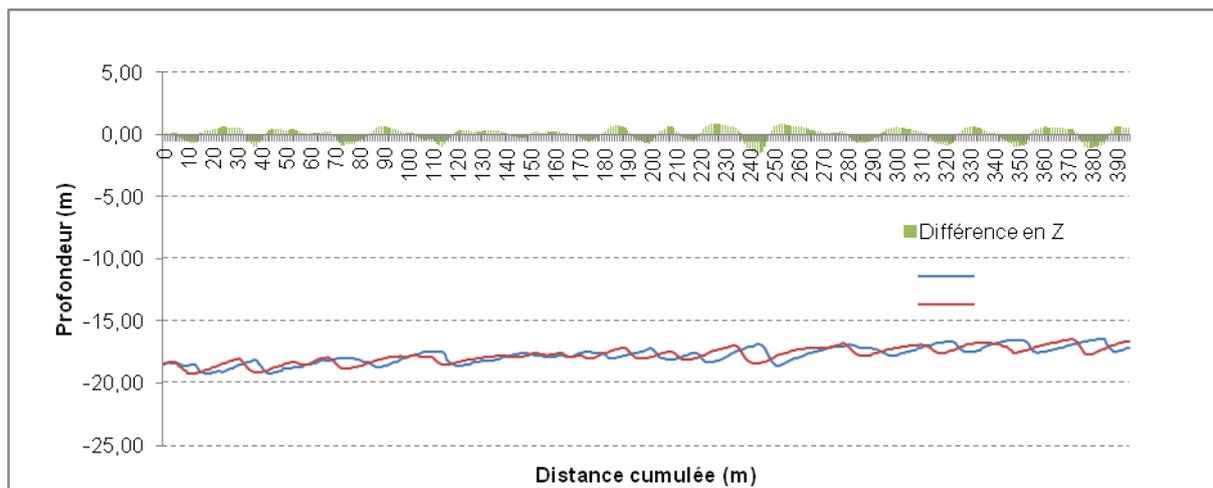


Figure 34: Comparaison de 2 profils au niveau de champs de dunes – exemple nord-ouest de la zone IEST

Une autre conclusion issue des observations met en évidence l'influence des conditions hydrodynamiques et notamment la saisonnalité sur la dynamique sédimentaire. En effet, les levés estivaux montrent des tendances aux dépôts issus de conditions estivales habituellement plus calmes. Tandis que les levés hivernaux révèlent un abaissement de la surface topographique car les conditions hivernales sont de manière générale plus agitées et propices à une érosion et une remise en suspension des sédiments (IDRA, 2014). Pour confirmer cette observation, il pourrait être procédé à une collecte puis une analyse des données de houles et de courants mesurées pendant la période d'étude bathymétrique. Une étude répondant à cette question a été effectuée dans la partie ouest des Bancs des Flandres au niveau de la plateforme des « Sternes » afin de répondre à la problématique de gestion du WP3 de PANACHE.

Conclusions

A l'image des photographies aériennes ou des images satellitaires qui ont révolutionné la cartographie de la surface terrestre, les échosondeurs multifaisceaux ont profondément modifié la perception du fond des océans. Les données acquises lors des missions permettent une fois traitées de visualiser la morphologie et la qualité des fonds marins en 2D ou 3D.

Bien que la collecte des données multifaisceaux soit coûteuse, de nombreuses possibilités de collaboration existent entre les agences et les données peuvent (et doivent) être partagées pour maximiser leur utilisation. Différents usagers ont différents besoins en ce qui concerne la qualité des données. La couverture et la précision de position sont importantes pour les études destinées à la navigation et la rétrodiffusion est importante pour la cartographie des habitats. Vu que la plupart des études sont réalisées pour la navigation, la qualité de la rétrodiffusion est souvent une priorité moindre et peut être à peine adéquate, médiocre voire inutile.

Même sans rétrodiffusion de qualité, de nombreuses informations peuvent être tirées des données multifaisceaux haute résolution, avec l'assistance apportée par différents outils d'analyse de terrain. De nombreuses caractéristiques, telles que les seuils rocheux et les vagues/dunes de sédiments, peuvent être identifiées à partir du Modèle Numérique de Terrain dérivé des données multifaisceaux. C'est ce qui a été utilisé, avec et sans données supplémentaires de vérification, pour fournir la preuve de la présence et de l'étendue de caractéristiques de conservation potentielles lors de la sélection des sites d'AMP.

La résolution des données (pouvant être inférieure à 1 m) est telle que les impacts physiques de certaines activités anthropiques sur le fond marin peuvent être identifiées : cicatrices d'ancres, marques de dragage, matériaux déposés, etc. Cela signifie que l'on ne peut plus compter sur la mer pour cacher ces impacts, ce qui a toujours été un problème lors de la gestion des activités en mer. Des études répétées permettent de détecter une évolution au fil du temps : il peut s'agir d'activités anthropiques (dépôt de déblai excédentaire issu du dragage, par exemple) ou naturelles (migration des bancs de sable ou mouvements liés aux tempêtes). IDIER (2002) et FERRET (2011) ont légitimé l'utilisation de cette technologie pour apprécier la migration des bancs de sable en Manche. L'originalité de ce travail produit pour PANACHE provient de la stratégie d'étude qui est basée sur l'emboîtement de plusieurs échelles spatiales (échelles du banc, d'une unité sédimentaire ou du site dans sa globalité) et temporelles (année, plusieurs décennies). La méthode du système multifaisceaux s'est révélée pertinente. Elle a permis : 1) de confirmer de manière objective la migration des structures sédimentaires, 2) de poser comme primordiale l'adoption d'une approche multiscalaire et enfin, 3) d'amorcer un début de réflexion concernant l'importance des caractéristiques hydrodynamiques (courants de marée, houle, conditions météorologiques) dans la dynamique du milieu. Dans les volets WP2 et WP3 de PANACHE, afin d'apprécier au mieux la dynamique hydro-morphosédimentaire des Bancs des Flandres au niveau littoral, l'utilisation de l'échosondeur multifaisceaux est couplée à des levés topographiques à haute résolution spatiale à l'aide d'un DGPS

(*Differential Global Positioning System*) possédant une précision altimétrique de ± 3 cm et une précision de positionnement centimétrique. Une fois couplés et après corrections des variations du niveau d'eau dû à la marée, les deux levés bathymétrique et topographique réalisés à la même période, permettent d'obtenir des Modèles Numériques de Terrain (MNT) et d'avoir une vision globale du système hydrosédimentaire. Les deux technologies s'avèrent dans ce cas complémentaires.

Enfin, l'échosondeur a montré qu'il peut œuvrer à l'optimisation des stratégies de reconnaissance des faciès sédimentaire et habitat, en minimisant les échantillonnages sédimentaires et biologiques, et donc les analyses en laboratoire coûteuses notamment en temps. La mise en œuvre des systèmes acoustiques permet donc une économie de moyens sans compromettre la qualité des résultats.

L'engagement du public est une conséquence significative de l'usage répandu des systèmes multifaisceaux : lorsqu'il est possible de mieux visualiser les fonds marins, il devient plus facile pour le public d'établir un lien avec les paysages sous-marins car de nombreuses caractéristiques sont reconnaissables de manière intuitive : les récifs et les dunes par exemple. C'est une aide précieuse pour obtenir le soutien élargi nécessaire à la désignation et à la gestion d'aires marines protégées. L'importante disponibilité de données détaillées sur les fonds marins s'est avérée d'un grand intérêt pour les plongeurs amateurs. En retour, ils fournissent de précieuses informations de vérification.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ levé bathymétrique ▪ données de réflectivité du fond permettant une cartographie rapide des faciès ▪ les études répétées permettent de déterminer les évolutions physiques ▪ une fois collectées, les données peuvent être utilisées à de nombreuses fins : plus économiques ▪ cadence d'acquisition élevée ▪ vitesse élevée du navire ▪ précision de l'information ▪ adaptable sur un navire de petite taille ▪ données pouvant intégrer les SIG ▪ visualisation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ coût élevé ▪ volume très important des données numériques acquises et difficultés de post-traitement ▪ enregistrements des paramètres extérieurs (célérité, salinité, roulis) nécessitant un post-traitement ▪ nécessité de techniciens expérimentés ▪ conditions de maintenance délicates ▪ données de rétrodiffusion/réflectivité de moindre qualité que celles des balayages latéraux ▪ données de rétrodiffusion/réflectivité importantes pour la définition des habitats mais la qualité est souvent compromise dans les levés hydrographiques

Tableau 2 : Avantages et inconvénients de l'échosondeur multifaisceaux

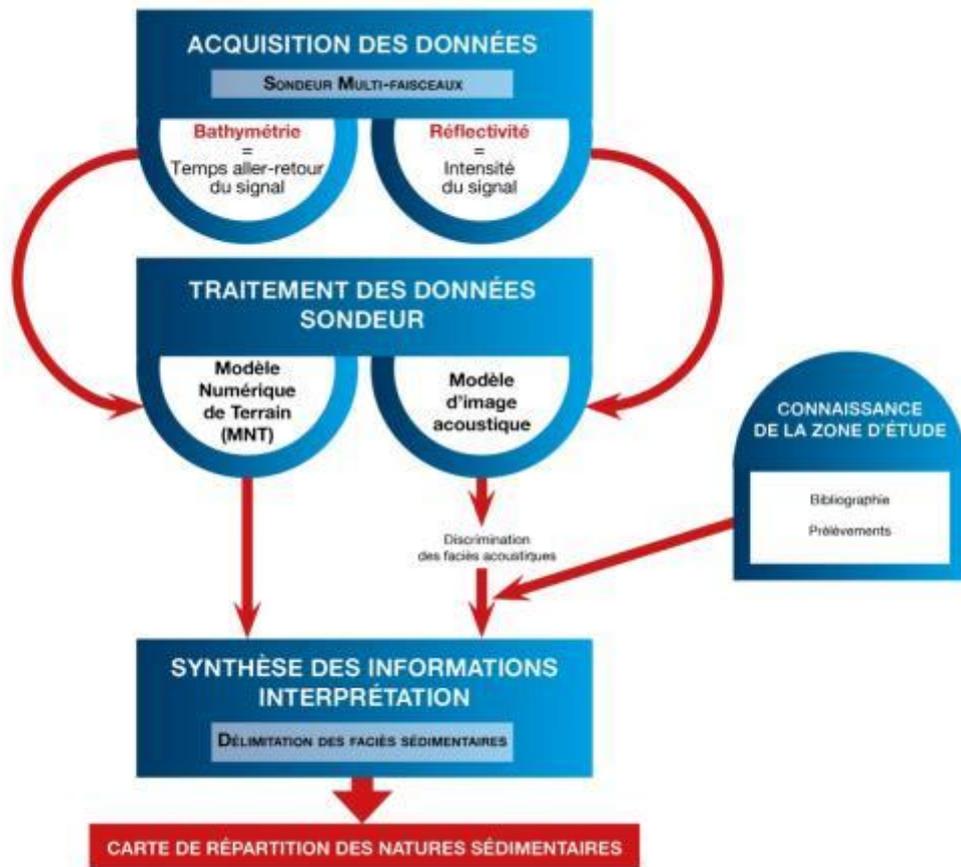


Figure 35 : Possibilité d'utilisation de l'échosondeur multifaisceaux.

Bibliographie

Aernouts D., 2005. *Le rôle des changements bathymétriques à l'avant-côte sur l'évolution des littoraux meubles du Cap Gris-Nez à Dunkerque, Côte d'Opale, Nord de la France*. PhD thesis in physical geography, Université du Littoral Côte d'Opale, 248 p.

Agence des Aires Marines Protégées, 2012. *Inventaire biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux sur la zone Natura 2000 Bancs des Flandres*. Programme CARTHAM. 110 p + appendices.

Augris C., Clabaut P. et Vicaire O., 1990. *Le domaine marin du Nord-Pas-de-Calais – Nature, morphologie et mobilité des fonds*. Edition IFREMER – Région Nord-Pas-de-Calais, 93 p.

Axelsson, M., Dewey, S., & Plastow, L. (2011). *Dorset Integrated Seabed Survey (DORIS) Drop-down camera (ground-truthing) survey report*. Seastar Survey Ltd.

Bertier J., 2009. *Analyse multi-échelle de la morphodynamique d'une plage artificielle, Avant-Port Ouest de Dunkerque (Nord de la France)*. PhD thesis, ULCO, Dunkirk, 292 p.

Chaverot S., 2006. *Impacts des variations récentes des conditions météo-marines sur les littoraux meubles du Nord-Pas de Calais*. PhD thesis, Université du Littoral Côte d'Opale, 251 p.

Chaverot S., Héquette A., Cohen O., 2005. *Evolution of climatic forcings and potentially eroding events on the coast of Northern France*. Proceedings 5th International Conference on Coastal Dynamics, Barcelona, Spain, April 2005, Cd-Rom, 11 p.

Corbau C., 1995. *Dynamique sédimentaire en domaine macrotidal : exemple du littoral du Nord de la France (Dunkerque)*, PhD thesis, Université des Sciences et Techniques de Lille-Flandres, 225p.

Ferret Y., 2011. *Morphodynamique de dunes sous marines en contexte de plateforme megatidale*, Thesis, Université de Rouen, 324p.

Garlan T., 1990. *L'apport des levés bathymétriques pour la connaissance de la dynamique sédimentaire. L'exemple des Ridens de la Rade*. Symposium Eurocoast, p72-75.

Guisan, A., Weiss, S.B., Weiss, A.D. (1999): *GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution*. *Plant Ecology* 143: 107-122

Hemdane Y., 2006. *Dynamique hydrosédimentaire de l'avant-côte de type macrotidal : le cas du littoral du Nord-Pas de Calais, France*. Physical geography thesis, Université du Littoral Côte d'Opale, 195p.



Héquette A. et Aernouts D., 2010. *The influence of nearshore sand bank dynamics on shoreline evolution in a macrotidal coastal environment, Calais, Northern France*. Continental Shelf Research, 30, 1349-1361.

Héquette A., Ruz MH., Marin D., Sipka V., 2012. *Suivi morpho-sédimentaire de l'UG4*. Rapport annuel 2011 (2011 annual report). Laboratoire LOG, ULCO, 45p.

Héquette, A., Ruz MH, Cartier A., D. Marin, Sipka V., 2014. *Suivi morpho-sédimentaire de l'UG4*. Rapport annuel 2012 (2012 annual report). Laboratoire LOG, ULCO, 56p.

Idier D., Ehrhold A. and Garlan T., 2002. *Morphodynamique d'une dune sous-marine du Détroit du Pas de Calais*. Comptes Rendus Geosciences, 334(15): 1079-1085.

IDRA, 2014. *Etude des différentiels bathymétriques sur les zones de vidage du GPMD de 2010 à 2013*, 24 p.

IFREMER, 2010. *Sondeurs multifaisceaux*. Available at: <http://flotte.ifremer.fr/Presentation-de-la-flotte/Equipements/Equipements-acoustiques/Sondeurs-multifaisceaux>

International Hydrographic Organisation. (2008). *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. Monaco: International Hydrographic Bureau.

Maspataud A, 2011. *Impacts des tempêtes sur la morphodynamique du profil côtier en milieu macrotidal*. PhD thesis, ULCO, Dunkirk, 467 p.

Natural England. (2007). *Inshore Special Area of Conservation: Poole Bay to Lyme Bay dSAC Selection Assessment*. Natural England.

Natural England. (2010). *Inshore Special Area of Conservation (SAC) Studland to Portland cSAC Selection assessment*. Natural England.

Natural England and the Joint Nature Conservation Committee. (2010). *Marine Conservation Zone Project Ecological Network Guidance*. Natural England/JNCC.

Southern Inshore Fisheries and Conservation Authority Marine and Coastal Access Act 2009 (2009 c23) *Bottom Towed Fishing Gear Byelaw*.

Tresca A., 2013. *Contrôle souple de la dynamique éolienne sur un littoral artificialisé et propositions de gestion : le cas de la façade maritime du Grand Port Maritime de Dunkerque*. PhD thesis, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkirk, 432p.

Vicaire O., 1991. *Dynamique hydro-sédimentaire en mer du Nord méridionale (du Cap Blanc-Nez à la frontièrebelge)*. PhD thesis, Université des Sciences et Techniques de Lille-Flandres Artois, 255 p.





PANACHE

Protected Area Network Across
the Channel Ecosystem

PANACHE is a project in collaboration between France and Britain. It aims at a **better protection** of the Channel marine environment through the **networking** of existing marine protected areas.

The project's five objectives:

- Assess the existing marine protected areas network for its ecological coherence.
- Mutualise knowledge on monitoring techniques, share positive experiences.
- Build greater coherence and foster dialogue for a better management of marine protected areas.
- Increase general awareness of marine protected areas: build common ownership and stewardship, through engagement in joint citizen science programmes.
- Develop a public GIS database.

France and Great Britain are facing similar challenges to protect the marine biodiversity in their shared marine territory: PANACHE aims at providing a **common, coherent and efficient reaction**.

PANACHE est un projet franco-britannique, visant à une **meilleure protection** de l'environnement marin de la Manche par la **mise en réseau** des aires marines protégées existantes.

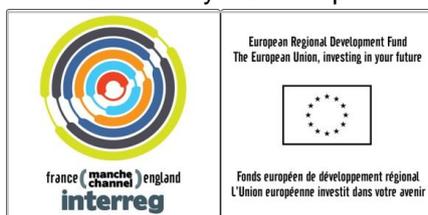
Les cinq objectifs du projet :

- Étudier la cohérence écologique du réseau des aires marines protégées.
- Mutualiser les acquis en matière de suivi de ces espaces, partager les expériences positives.
- Consolider la cohérence et encourager la concertation pour une meilleure gestion des aires marines protégées.
- Accroître la sensibilisation générale aux aires marines protégées : instaurer un sentiment d'appartenance et des attentes communes en développant des programmes de sciences participatives.
- Instaurer une base de données SIG publique.

France et Royaume-Uni sont confrontés à des défis analogues pour protéger la biodiversité marine de l'espace marin qu'ils partagent : PANACHE vise à apporter une **réponse commune, cohérente et efficace**.

- www.panache.eu.com -

Financed by / financé par



PANACHE Project partners / Partenaires du projet PANACHE

