

Cartographie des habitats benthiques en zone intertidale à partir des orthophotographies littorales

Claire ROLLET ⁽¹⁾, Chantal BONNOT-COURTOIS ⁽²⁾, Jérôme FOURNIER ⁽²⁾

⁽¹⁾IFREMER, DYNECO/VIGIES, BP 70, 29280 Plouzané (claire.rollet@ifremer.fr)

⁽²⁾CNRS - UMR 8586 PRODIG. Laboratoire de Géomorphologie et Environnement littoral, EPHE, Dinard

Résumé

Cette fiche présente la méthodologie définie dans le cadre du projet REBENT pour la cartographie des habitats benthiques en zone intertidale. La zone intertidale ou zone de balancement des marées est d'autant plus étendue que le marnage est important. Cette zone, correspondant à l'étage médiolittoral, présente souvent des faciès hétérogènes. La nature du substrat, la pente, le temps d'immersion, le mode d'exposition sont déterminants pour la caractérisation des habitats benthiques. La cartographie des biocénoses benthiques en zone intertidale nécessite la reconnaissance bio-morpho-sédimentaire détaillée des sites côtiers. Des campagnes de caractérisation systématique sur l'ensemble du littoral ne peuvent être envisagées sans la mobilisation d'une logistique lourde tant en terme de ressources humaines qu'en terme de coûts.

Les orthophotographies littorales constituent un support essentiel qui fournit une très bonne visualisation des zones à cartographier. De plus, elles font office de référence géométrique pour la définition du Référentiel Géographique Littoral (RGL). L'utilisation de ces photographies couplée à des données topographiques, des données sédimentaires et des données de référence s'avère être un outil privilégié pour l'élaboration de la cartographie des habitats benthiques. Les principales unités morpho-sédimentaires intertidales sont identifiées sur les orthophotographies, et des campagnes sur le terrain permettent de valider cette interprétation.

La typologie des habitats retenue pour la cartographie est la classification EUNIS, référence européenne. Celle-ci s'appuie sur une approche hiérarchique qui permet d'accéder à des niveaux de précision allant de la simple distinction entre les types rocheux ou meuble (niveau 2), intégrant d'une part, le mode d'exposition et le type de substrat (niveau 3), puis, d'autre part, la notion de groupement fonctionnel d'habitats (niveau 4) jusqu'à l'identification précise des peuplements benthiques définis par la présence d'espèces dominantes ou de groupes d'espèces caractéristiques (niveaux 5 et 6) (Connor *et al.*, 1997, Wyn *et al.*, 2000, EcoServe, 2001, Connor *et al.*, 2004, EUNIS, 2004). Ces derniers niveaux de qualification d'ordre biogéographique imposent généralement une méthodologie d'identification systématique et par conséquent la mise en œuvre de moyens importants. Etant donné la méthodologie retenue dans le cadre des campagnes de terrain pour la cartographie des habitats benthiques en zone intertidale, la qualification des habitats se situera au niveau 4 de la classification EUNIS, excepté lorsque la simple sortie sur le terrain permet de qualifier précisément les espèces caractéristiques de niveau 5.

Toutes les données sont géoréférencées et gérées au sein d'un système d'information à référence spatiale ou SIG. C'est autour de cette composante spatiale que s'articulent l'acquisition, la gestion et l'exploitation des données. La superposition et l'agrégation de données de source et de nature différentes sur une même zone facilite la compréhension et le suivi des habitats en zone intertidale. Le SIG est véritablement l'outil central de l'approche REBENT. Au-delà de la cartographie des habitats benthiques à l'échelle du 1/25000, le système doit permettre de gérer une base de connaissance qui pourra être exploitée pour l'identification d'habitats types, pour la qualification des secteurs en terme de sensibilité et pour l'étude de leur évolution spatio-temporelle.

Mots Clés : Cartographie, zone intertidale, orthophotographies littorales, photo-interprétation, faciès morpho-sédimentaires, validation terrain, habitats benthiques, SIG.

Objectifs et contexte

Dans le cadre du projet REBENT de mise en place d'un réseau de surveillance et de suivi opérationnel des biocénoses benthiques côtières, l'approche sectorielle se situe à un niveau intermédiaire entre l'approche zonale générale et l'approche stationnelle (Guillaumont et al. , 2001 et 2002). A ce niveau sectoriel, la cartographie des habitats benthiques en zone intertidale a pour objectifs de disposer de données de référence de l'état du milieu, de faire l'évaluation de la biodiversité et d'établir un suivi spatio-temporel d'indicateurs de qualité du milieu. Cette cartographie s'inscrit directement dans la perspective européenne du suivi de l'environnement, la directive "Habitats" et la directive cadre "Eau" (DCE).

La mise en oeuvre de la cartographie intertidale à partir des orthophotographies littorales s'appuie d'une part sur les travaux présentés dans le "Marine Monitoring Handbook" du JNCC (Davies *et al.*, 2001, Bunker *et al.*, 2001) et les travaux réalisés au pays de Galles (Wyn *et al.*, 2000), et d'autre part, sur l'expérience acquise au cours des campagnes réalisées dans le cadre du projet pilote breton (Guillaumont *et al.*, 2003 et 2004). Cette méthodologie peut s'appliquer à la cartographie des habitats benthiques en zone subtidale car, malgré des données de référence différentes, le traitement de ces données, leur gestion, et leur agrégation au sein du SIG restent identiques.

Disponibles sur la totalité de la zone côtière métropolitaine, les orthophotographies littorales (voir fiche-outil : Les orthophotographies littorales) constituent un support essentiel pour la réalisation de la cartographie des habitats benthiques en zone intertidale. Retenues comme référence géométrique pour la définition du RGL (Référentiel Géographique Littoral), ces photographies aériennes offrent une visualisation synoptique des zones à cartographier. L'interprétation des orthophotographies par différents experts, biologistes et sédimentologues, permet d'identifier les principales structures présentes. L'orthophotographie intervient donc non seulement comme référentiel géométrique, mais également en tant que support d'information utilisable pour différentes thématiques.

- **Avantages des orthophotographies :**

Les orthophotographies littorales (voir fiche-outil: Les orthophotographies littorales) :

- permettent une visualisation synoptique des zones à cartographier ;
- constituent un référentiel géométrique : en terme géographique par le système de projection choisi et en terme thématique (trait de côte, limites structurantes d'habitats, ceintures de végétation,...) ;
- sont disponibles sur l'ensemble du littoral Manche-Atlantique ;
- permettent l'enregistrement de l'état du milieu au moment de la prise de vue (état initial et suivi dans le temps) ;
- interviennent à différents niveaux de la chaîne de réalisation de la cartographie des habitats benthiques. En fonction des thématiques, l'analyse des orthophotographies s'effectuera selon des approches spécifiques ;
- offrent la possibilité d'automatiser le traitement de l'image dans les secteurs sans discontinuités radiométriques ;
- constituent un support pour la planification des campagnes de validation sur le terrain (couplée à l'utilisation des SIG et GPS) autant au niveau de la préparation des échantillonnages tant au plan sédimentologique que biologique ;
- permettent l'intégration des informations dans un système d'information géographique (SIG) assurant ainsi :
 - la cohérence géographique des données,
 - une visualisation immédiate des données,
 - l'agrégation de données,
 - l'interrogation des données disponibles selon différentes perspectives.

- **Inconvénients des orthophotographies :**

- La couverture de l'ensemble de la zone intertidale dépend directement de la date et de l'heure des prises de vues aériennes qui déterminent la visibilité des structures du bas estran, à la limite des plus basses mers. Le facteur saisonnier est également déterminant pour l'identification de certains habitats, comme les formations végétales plus ou moins développées et donc visibles sur les orthophotographies littorales selon la saison.
- Il existe un décalage dans le temps entre les prises de vue aériennes et les campagnes de validation sur le terrain.
- L'utilisation de SIG impose une rigueur méthodologique concernant la localisation de l'information collectée sur le terrain à l'aide d'un GPS (voir fiche-outil : Géoréférencement en zone intertidale par GPS).
- Des limites contrastées, visibles sur l'orthophotographie littorale ne correspondent pas obligatoirement à des changements réels de faciès bio-sédimentaires puisque ceux-ci ne sont généralement pas aussi marqués mais plutôt progressifs. En effet, il serait préférable de pouvoir gérer des limites diffuses, correspondant à des zones de transition, témoignant de la capacité des espèces à s'adapter dans l'espace avec une certaine tolérance à différents facteurs environnementaux.
- Selon l'échelle définie pour le rendu cartographique, certaines informations pouvant avoir un grand intérêt du point de vue de la diversité des biotopes observés ne seront pas figurées sur la carte finale. Il est donc nécessaire de conserver et gérer le détail de ces informations qui seront le plus souvent rattachées à un point géoréférencé (x, y), de manière à ce quelles soient facilement et logiquement accessibles lors du travail d'analyse des données.

Méthodologie d'acquisition

Stratégie générale

Dans le cadre du projet REBENT, les orthophotographies littorales constituent, au départ, la donnée de base pour l'étude de la zone intertidale. D'autres types de données peuvent également être utilisées, en particulier des images SPOT, des données topographiques de sources variables (LIDAR, photogrammétrie ou minutes SHOM), des données de référence du SHOM (trait de côte au 1/25000 et contours de roche de la BDPS au 1/10000). Si ces données ne sont pas disponibles sur le secteur d'étude, il est possible d'envisager des campagnes d'acquisition pour certains types de données de référence comme une scène SPOT ou un survol LIDAR.

L'analyse des orthophotographies littorales sert à planifier les campagnes sur le terrain nécessaires à la validation de la photo-interprétation. Les contrôles terrain complètent l'identification des structures morfo-sédimentaires reconnues sur l'ortholittorale et permettent de vérifier s'il est possible d'une part, de définir des critères pertinents pour la répartition des habitats et d'autre part, de relier des teintes ou des structures à des unités bio-morpho-sédimentaires spécifiques.

L'exploitation des orthophotographies littorales de manière automatique par application d'algorithmes de traitement d'images est limité par la présence de très fortes discontinuités radiométriques entre les clichés. Le traitement d'image automatique ne sera envisagé que sur des unités de travail homogènes sur lesquelles des masques pourront être placés afin d'extraire au préalable les entités à caractériser (comme par exemple dans le cas de la délimitation des herbiers et de leur densité).

Le LIDAR (LIght Detection And Ranging), technique de télédétection par laser aéroporté permet de mesurer précisément l'altitude d'un point au sol. Outre les conditions météorologiques qui imposent l'absence de nuages entre l'avion et le sol, en zone côtière, la préparation du vol doit tenir compte de la marée. Les données sont récoltées sous forme de points avec une densité variable selon la hauteur de vol (un point pour 3 m² pour un vol à 1000 mètres d'altitude). Après validation de la précision horizontale

(50 cm) et verticale (15 cm), le traitement des données vise à produire des fichiers maillés, à différentes résolutions en fonction des besoins d'exploitation (Populus *et al.*, 2003). La résolution adoptée pour le REBENT est de 1m en zone intertidale. Cette technique permet de restituer la topographie des estrans et constitue de ce fait un outil précieux pour la préparation des campagnes de terrain, la compréhension de la dynamique des structures morfo-sédimentaires et la cartographie.

Toutes les données du REBENT sont géoréférencées. C'est autour de cette composante spatiale que s'articulent l'acquisition, la gestion et l'exploitation des données. La Figure 1 présente de manière générale la chaîne de traitement appliquée aux données dans le cadre de la réalisation de la cartographie sectorielle des habitats benthiques en zone intertidale.

Dès la préparation des données, leur acquisition, leur conversion et leur intégration se fait au sein d'un système d'information géographique. Les fonctionnalités de visualisation par couche d'information et/ou d'exploitation de données proposées au sein des SIG, comme par exemple le calcul de la pente, permettent d'optimiser le plan d'échantillonnage qui sera réalisé sur le terrain.

Les campagnes *in situ* sont destinées à :

- récolter des informations relatives à la géomorphologie et à la biodiversité ;
- réaliser les échantillonnages sédimentaires et biologiques ;
- valider la photo-interprétation ;
- valider les données de référence.

Au cours des campagnes de terrain planifiées pour la cartographie en zone intertidale, l'échantillonnage faunistique ou floristique est une détermination qualitative qui consiste à identifier les espèces présentes sans en faire le dénombrement précis. Par conséquent, lorsque la reconnaissance sur le terrain permet de déterminer les espèces caractéristiques de niveau 5 de la classification EUNIS, la qualification des habitats se fera en terme de groupements fonctionnels correspondant au niveau 4 de cette classification (EUNIS, 2004).

Chaque événement (échantillonnage sédimentaire, faunistique ou floristique, photographie, observations *in situ*, remarques) est associé à une position géographique à coordonnées XY géoréférencées. De retour de campagne, toutes les données acquises sur le terrain sont intégrées dans le système d'information géographique où elles peuvent être agrégées aux données de base afin de produire la cartographie des habitats benthiques. **Dans cette approche REBENT, le SIG est véritablement l'outil central de la cartographie des habitats en zone intertidale.**

Les orthophotographies littorales (voir fiche-outil) sont stockées de manière centralisée à l'Ifremer sur le serveur de données géographiques SEXTANT (entrepôt interne à l'Ifremer de données géographiques de référence). Représentant un volume considérable, ce serveur permet la consultation de l'emprise des orthophotographies littorales disponibles pour chaque secteur et l'identification des références internes au système de stockage qu'il est nécessaire de fournir pour l'obtention des orthophotographies littorales¹.

Une fois sélectionnées et extraites de la banque de données SEXTANT, les orthophotographies littorales couvrant la zone d'étude fournissent une vision générale de la zone à cartographier. A l'aide de cette image géoréférencée intégrée au sein d'un SIG, il est possible d'optimiser les campagnes de terrain nécessaires pour contrôler et valider la première photo-interprétation directe.

¹ La mise à disposition de ces orthophotographies auprès des partenaires REBENT se fait sur demande à adresser au gestionnaire de SEXTANT.

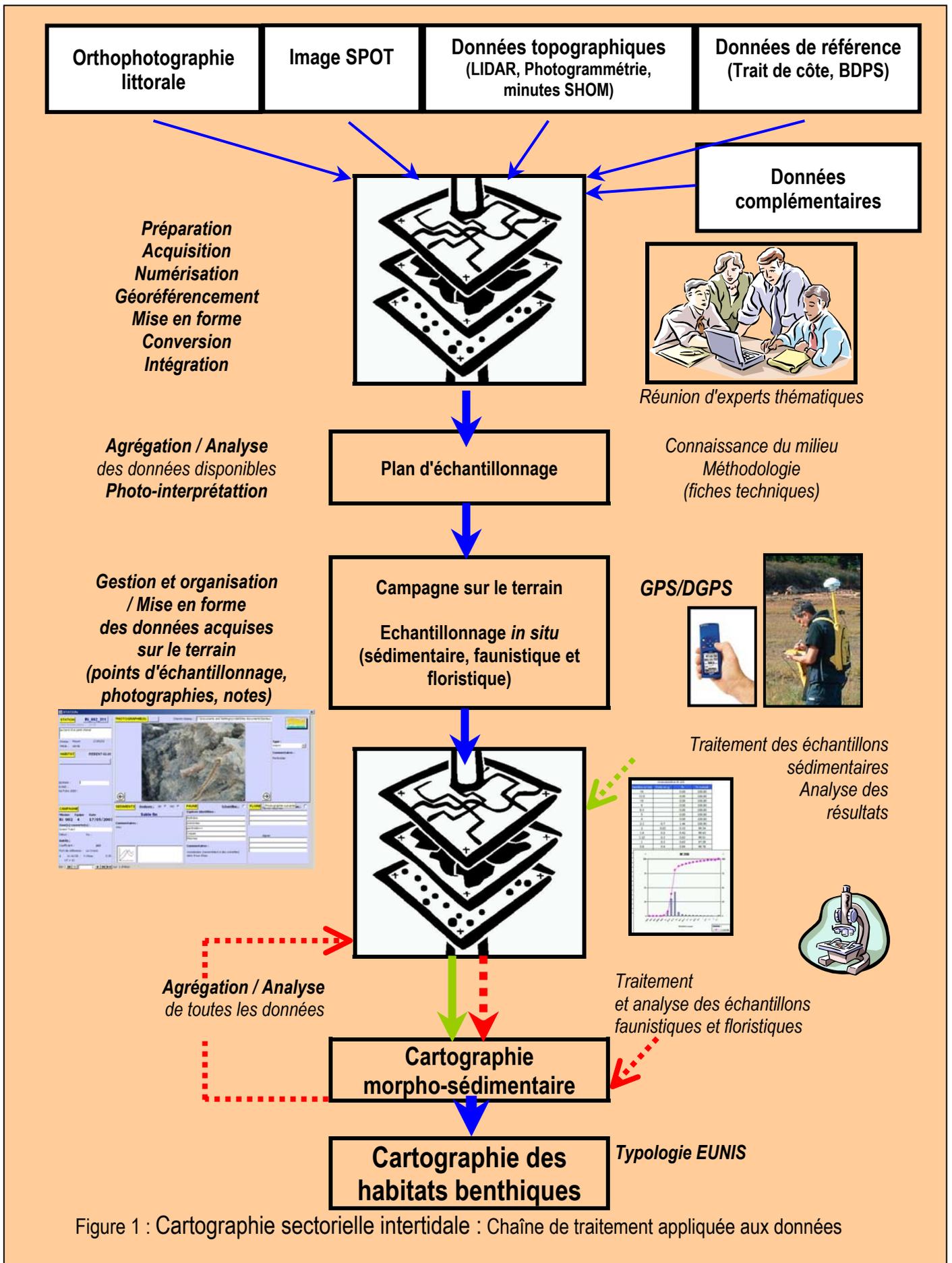


Figure 1 : Cartographie sectorielle intertidale : Chaîne de traitement appliquée aux données

Préparation des données

La première étape de **préparation** des données consiste à rassembler les documents à référence spatiale pertinents au site étudié, quelle que soit leur source, et à planifier les travaux d'acquisition ou de conversion des données. L'**acquisition** des données regroupe les opérations visant à collecter de nouvelles données à partir de campagnes sur le terrain, d'interprétation de photographies aériennes ou d'imageries satellitaires, etc... La **conversion** de données vise à transformer dans un format numérique des données à référence spatiale représentées sur des cartes ou des plans (**numérisation, géoréférencement**). Elle permet aussi de transformer le format ou la structure des données d'un document déjà en format numérique dans un format compatible avec celui utilisé dans le SIG. Au total, après un travail de **mise en forme** souvent important, l'intégration des données permet de réunir, dans un système de référence unique, les données existantes, les données converties ainsi que les données acquises dans l'ensemble cohérent que constitue la base de données à référence spatiale.

L'exploitation des données de référence comme celles de la BDPS n'est pas directe. Bien que fournies dans un format compatible avec le SIG utilisé par le cadre de REBENT, il est nécessaire de réaliser un travail de **mise en forme** qui peut s'avérer coûteux en temps. En effet, un même type d'objet, par exemple une zone rocheuse, peut être représenté par des entités géométriques différentes (point, ligne, surface). De plus, du point de vue de la qualification de l'entité, il est parfois difficile de savoir, dans le cas d'une ligne, s'il s'agit d'une limite inférieure ou supérieure, et dans le cas d'une surface, s'il s'agit d'une limite d'inclusion ou d'exclusion.

L'intégration de données topographiques, ayant le plus souvent une structure matricielle n'est pas toujours simple, car elle nécessite des étapes de **conversion** ou de **transformation** en fonction des systèmes de référence dans lesquels l'acquisition a été faite. De plus, la transformation de ces données topographiques est de deux ordres :

- une **transformation horizontale** s'appliquant sur le système de projection et qui implique un ré-échantillonnage de la donnée de type matricielle ;
- une **transformation verticale** s'appliquant sur la valeur altimétrique associée au pixel (unité de la matrice). En terme d'altimétrie, les biologistes préféreront raisonner en niveau d'immersion ou en niveau marégraphique et, par conséquent, par rapport au Zéro hydrographique SHOM. Si les données sont fournies par rapport au Zéro IGN1969, l'équivalence avec le zéro des cartes marines doit être recherchée avec un raccordement spécifique à chaque port de référence. Cependant, une correction systématique n'est actuellement possible que par application d'un facteur de correction par blocs de données ce qui peut créer un biais d'interprétation (effet de marche en bordure de bloc) et surtout une perte de la qualité de l'information acquise initialement en continu.

Plan d'échantillonnage

Une première analyse des orthophotographies littorales ou **photo-interprétation** est réalisée en fonction de critères d'identification tels que la teinte, la texture et la morphologie. Cette interprétation, couplée aux données topographiques et aux données de référence sert de base pour planifier les campagnes sur le terrain et élaborer le plan d'échantillonnage.

Les principales unités morfo-sédimentaires peuvent être clairement identifiées tandis que d'autres structures seront pointées sans pouvoir être précisément qualifiées. Toutes seront recoupées par des radiales, généralement perpendiculaires au trait de côte et s'étendant du haut vers le bas de l'estran. A l'aide du SIG, il est possible de définir précisément la position des radiales à réaliser, en se recalant facilement sur le terrain grâce à un GPS. De même le transit entre les radiales pourra être optimisé de façon à identifier les chenaux infranchissables et à réduire le temps de parcours sur le terrain. Lors du calcul de la surface de terrain à parcourir, on prévoit généralement pour le bas de l'estran, 4 heures de

travail effectif par jour (2 heures de part et d'autre de la basse mer), le reste de l'estran (moyen et haut) pouvant être parcouru pendant les 6 heures restantes de la journée. Le choix de marées d'équinoxe de plus forts coefficients sera bien entendu à privilégier afin d'accéder aux niveaux les plus bas de l'espace intertidal.

La densité de l'échantillonnage est guidée par la reconnaissance des structures morpho-sédimentaires sur les orthophotographies littorales. La densité de points doit être adaptée à la surface de l'estran à couvrir et devrait être de l'ordre de 10 échantillons au km². Il sera souvent nécessaire de vérifier l'accessibilité de certaines zones à l'aide des cartes topographiques IGN conventionnelles. Le plan d'échantillonnage initialement prévu devra parfois être adapté en cours de campagne au cas où des problèmes d'accessibilité n'ont pu être pris en compte pendant la préparation de la mission. Le temps nécessaire pour couvrir à pied une surface donnée est variable selon la nature du substrat à parcourir, l'accessibilité de la zone mais également le type et le niveau de détail des informations à collecter.

La planification de l'échantillonnage vise donc rechercher la meilleure adéquation entre la surface à cartographier, la variété des structures reconnues au préalable sur l'orthophotographie littorale, la durée de la campagne sur le terrain, le temps nécessaire à la collecte et à l'analyse des échantillons et la précision souhaitée de la cartographie.

Campagne sur le terrain

La qualité de la préparation de la campagne sur le terrain est déterminante pour l'efficacité et la qualité du travail, autant en terme de "confort" pour le déroulement des opérations sur le terrain qu'en terme d'exploitation des données recueillies.

L'échantillonnage sédimentaire, faunistique et floristique permet la collecte de données quantitatives et qualitatives au niveau des faciès sédimentaires et de la biodiversité en des points précis définis lors de la préparation de la campagne.

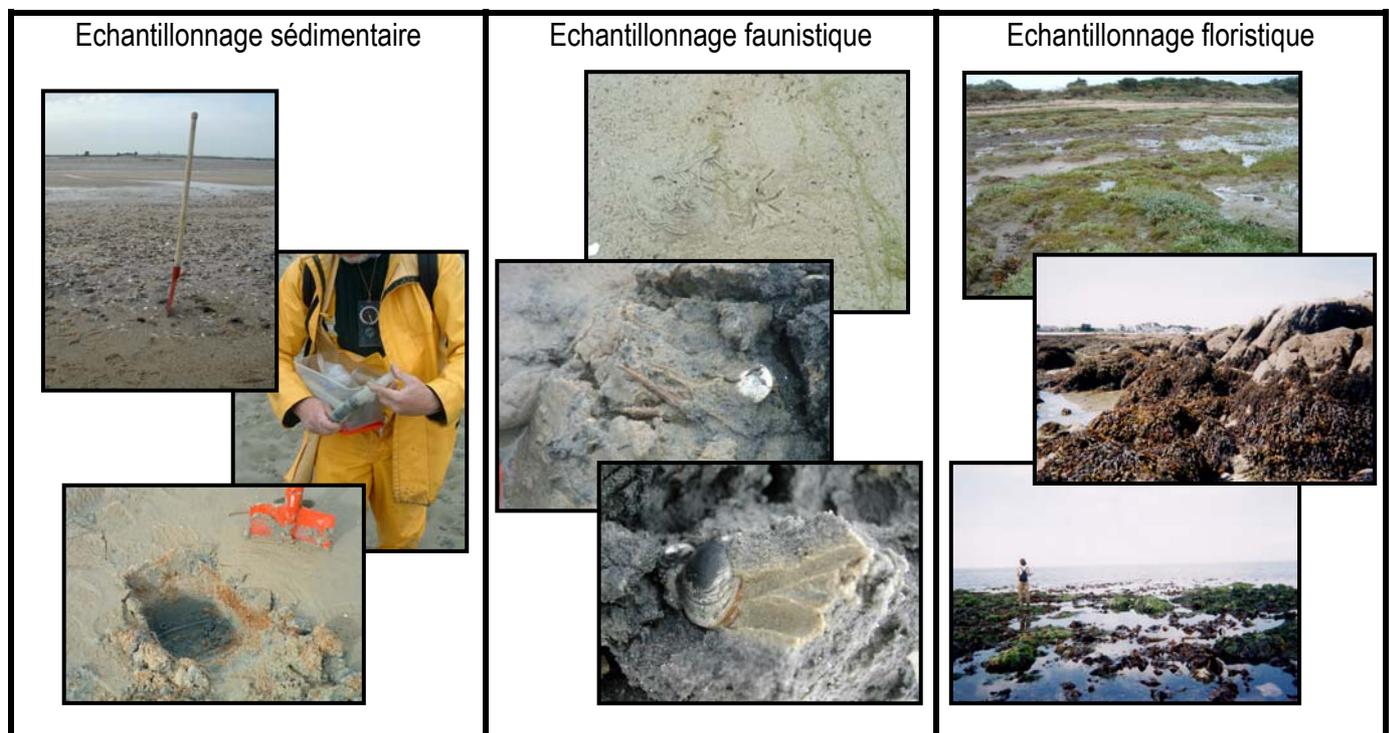


Figure 2 : Les différents types d'échantillonnage réalisés sur le terrain

Autant la méthodologie d'échantillonnage peut varier selon le type de substrat, dur ou meuble, autant la prise de données sur le terrain doit suivre une méthodologie spécifique, fixée au départ et transposable d'un secteur à l'autre, afin que les équipes de terrain utilisent les mêmes procédures de collecte d'informations et les mêmes clés d'identification des habitats. La définition d'un dictionnaire de données comprenant tous les éléments nécessaires à identifier ainsi que la mise à disposition d'une typologie simple, claire et univoque sont indispensables.

L'utilisation d'un GPS, voire un DGPS (voir fiche annexe) est indispensable :

- afin d'atteindre les points définis dans le plan d'échantillonnage ;
- afin d'enregistrer les positions de toutes les notes de terrain pertinentes permettant la localisation précise d'un phénomène ou d'une photographie et/ou d'un point d'échantillonnage sédimentologique ou biologique ;
- afin de valider (identifier ou confirmer) la localisation d'une entité numérisée lors de l'analyse de l'orthophotographie littorale
- afin de suivre les contours d'habitats directement sur le terrain (ceintures algales, unités de végétation)

Des extraits de l'orthophotographie, imprimés au 1/5000, peuvent être directement annotés sur le terrain, en utilisant des codes clairs assurant l'identification de chaque polygone tracé, et en indiquant tous les éléments pertinents à sa qualification. Les notes de terrain doivent être complétées par des photographies classiques ou vidéo qui permettront d'associer des informations visuelles aux habitats identifiés (vue panoramique, détails). Ces clichés sont une source d'informations complémentaires pour enrichir la base de données REBENT. et ils constituent une aide précieuse à la réalisation de la cartographie des habitats et seront

La délimitation précise des habitats sur substrats durs peut être difficile aussi bien sur l'orthophotographie littorale où la confusion radiométrique concernant les différentes algues est élevée, que sur le terrain en raison de l'hétérogénéité topographique (dénivelé, couloir, fissure,...). Les types de substrats durs sont extrêmement variables par leur structure et également par les habitats qui les colonisent. Cette grande diversité est typique de la zone intertidale où l'organisation des habitats est liée non seulement aux variations bathymétriques, mais également aux conditions hydrodynamiques (courants de marée, mode d'exposition). D'autres facteurs comme la température, la turbidité ou encore la salinité, renforcent cette diversité. Il en est de même pour la délimitation des habitats sur substrats meubles qui est parfois difficile sur simple interprétation des orthophotographies littorales, tant les changements de faciès peuvent être diffus.

Considérant que seules sont cartographiées les entités dont la taille (largeur - longueur) est supérieure à 5m (5m x 5m), il faut pouvoir conserver toutes les observations de terrain pertinentes, même si elles font référence à des entités trop petites pour être représentées. Afin de les intégrer au SIG, ces observations sont alors gérées comme des informations ponctuelles ("target notes" de Wyn *et al.*, 2000, et de Bunker *et al.*, 2001) associées à une position en x et en y (voire en z) qui peuvent être consultées lors de l'analyse générale du secteur (identification d'espèce particulière et sensible pouvant témoigner d'une extension ou d'une perte d'habitats...). Il est par exemple possible de rencontrer sur une surface réduite une variété importante d'habitats témoignant une biodiversité élevée. De la même façon, il sera parfois impossible de représenter sur une carte la répartition des espèces identifiées sur un secteur de forte pente. Il suffit alors d'associer sur la carte un point auquel est rattaché le profil présentant la répartition verticale des espèces observées.

L'enregistrement des parcours effectués sur le terrain à l'aide d'un GPS, permet d'évaluer l'étendue réellement couverte lors de la campagne par rapport à l'ensemble de la zone à cartographier. En effet, il n'est pas possible de couvrir chaque mètre carré de terrain. Connaître la surface parcourue par rapport à la cartographie finale permettra d'évaluer l'effort minimal à consentir pour de futures campagnes de terrain.

Synthèse des étapes de préparation d'une campagne sur le terrain

Préparation de la campagne

- recherche et lecture des références bibliographiques existantes sur le site (essentiel lorsque le site n'est pas connu par les équipes de terrain),
- examen des orthophotographies littorales (avec les thématiciens) :
- identification des principales structures,
- localisation des points d'échantillonnage,
- impression sur papier de l'image à grande échelle (1/5000^{ème}) qui servira de guide et sera annotée sur le terrain,
- communication entre les équipes pour une définition claire de la typologie des habitats à cartographier.

Préparation du matériel

- DGPS/GPS :
 - vérifier la maîtrise de l'outil GPS (unités utilisées et système géodésique de référence),
 - lorsque le modèle de GPS le permet, charger les fichiers et les orthophotographies pour le secteur couvert,
 - vérifier le chargement des batteries et prévoir, dans certains cas, des batteries de secours,
 - ne pas oublier les câbles pour le transfert automatique des données enregistrées sur le GPS vers le PC ;
- PC portable :
 - vérifier les logiciels installés (SIG, transfert de données du GPS ou de l'appareil photo numérique vers le PC),
 - préparer les données pour le terrain (photos et vecteurs),
 - vérifier l'accès au système en mode administrateur afin de prévoir si nécessaire la réinitialisation du PC et/ou réinstallation des logiciels – avoir les copies des logiciels spécialisés,
- Appareil photo numérique (avec batteries de secours) et câble de transfert vers le PC,
- Paire de jumelles,
- Décamètre,
- Annuaire des marées (horaires du site),
- Carnet de notes correspondant à la version papier du dictionnaire de données (couverture rigide ou à spirale), crayons papier, films transparents à superposer sur les impressions sur papiers des orthophotographies, feutres fins indélébiles,
- Matériel de prélèvement pour l'échantillonnage sédimentaire et biologique : bêche, seringues à prélèvement et piluliers, gros feutres noirs permanents, tamis, couteau ou spatule, sacs plastiques pour les prélèvements d'échantillon, sac à dos.

Sécurité

Téléphone portable : indispensable sur l'estran en cas d'accident ou en cas de besoin s'il est nécessaire de contacter le labo ou une autre équipe de travail.

Corde, boussole, protection solaire...

Logistique annexe

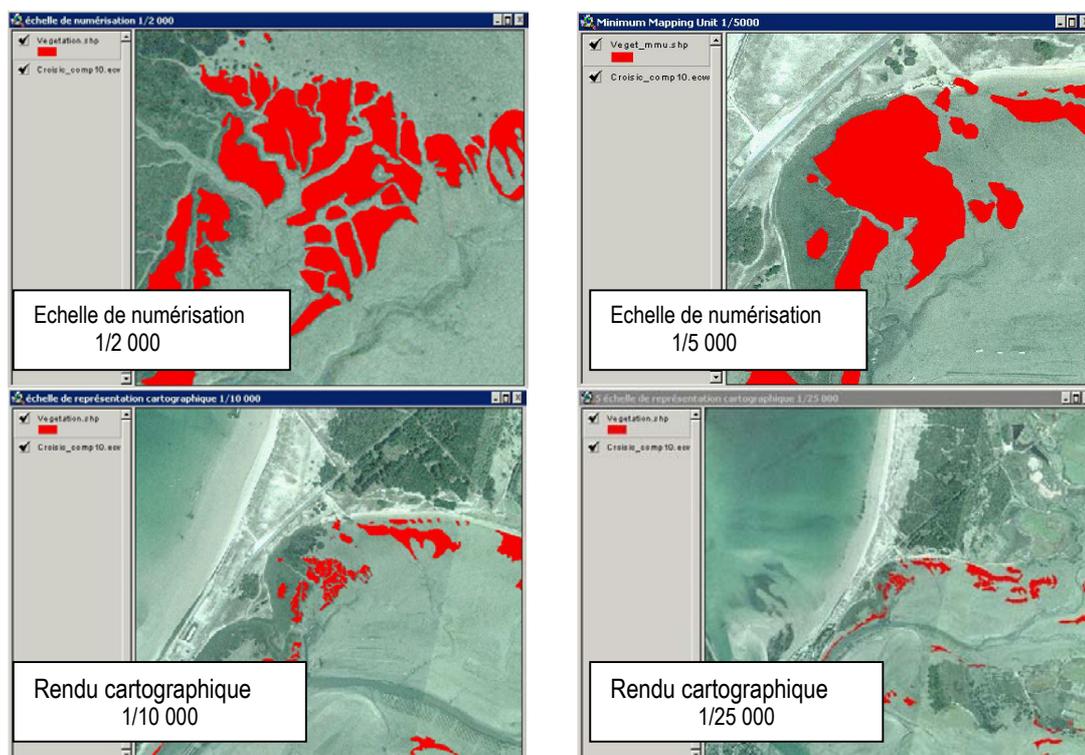
Véhicule de service / Réservation d'hôtel /...

Recommandation

L'expertise des personnes envoyées sur le terrain devra être pluridisciplinaire et/ou complémentaire afin de coupler les approches benthiques et sédimentaires. La maîtrise des outils de positionnement (GPS, DGPS) est indispensable.

Contraintes particulières

- La réalisation de la cartographie des habitats benthiques suivant une classification uniforme sur un territoire national ou même régional doit s'appuyer sur une typologie qui prend en compte les caractéristiques ou spécificités régionales et/ou locales. Le niveau 4 de la classification EUNIS correspondant à un niveau fonctionnel reste vague pour le produit cartographique. Alors que chaque catégorie de ce niveau peut hériter jusqu'à une dizaine de sous-catégories, celles-ci deviennent parfois beaucoup trop spécifiques d'un point de vue bio-géographique et il est alors difficile de trouver des correspondances avec les habitats identifiés lors des campagnes REBENT. La typologie EUNIS retenue au niveau européen est en évolution constante, et elle doit être validée par des experts nationaux qui peuvent argumenter pour la création de nouvelles catégories, lorsque cela s'avère nécessaire.
- L'apport des orthophotographies littorales peut ne pas être homogène, du fait de l'inégalité de la qualité des orthophotographies (fiche annexe), ou varie en fonction de la spécialité du photo-interprète.
- Le travail avec des données géoréférencées nécessite de vérifier le système de projection utilisé. L'intégration des données de sources multiples dans un système d'information à référence spatiale impose l'utilisation d'un système de référence unique.
- L'homogénéité de la précision de localisation des données doit être assurée grâce à l'application de méthodes de saisie appropriées. Par exemple, en système vectoriel, l'utilisation de lignes très fines peut donner une fausse impression de précision et conduire à des interprétations dépendantes du détail de la numérisation.
- D'un point de vue purement cartographique, il est nécessaire de trouver un compromis entre les besoins exprimés par l'exploitation de l'information ou le rendu cartographique, le degré de précision requis et les coûts en temps de numérisation qui en découlent. Des tests ont permis de définir qu'une numérisation à l'échelle du 1/5000^{ème} pour un rendu cartographique au 1/25000^{ème} constitue un intermédiaire acceptable où la précision des contours numérisés reste visible sur le rendu final.



Rappelons également que les documents de travail, extraits de l'orthophotographie, sont imprimés sur papier au 1/5000^{ème} afin d'être directement annotés lors de campagnes de terrain. Cette échelle permet de conserver un niveau de détail cohérent avec les levés de terrain. Les zones d'intérêt de plus de 5m x 5m peuvent y être contourées. Les zones plus petites y seront localisées par un point ("target notes").

- L'organisation du système de production de carte à partir des orthophotographies littorales nécessite beaucoup de rigueur et avant tout une compétence en SIG de la part des opérateurs.
- La généralisation de l'utilisation des SIG implique la normalisation des procédures d'acquisition et de traitements des données. La mise à disposition des données numériques doit être cadrée par des conventions d'échange et d'utilisation strictes.
- L'utilisation de logiciels spécialisés : l'intégration des données dans un SIG présente des difficultés pour des non-spécialistes de ce type de logiciel. La numérisation des contours de faciès et la création des tables attributaires réclament un travail long et minutieux. Une étroite collaboration est indispensable entre les thématiciens et les spécialistes de SIG et de traitement d'images.
- ArcGIS (produit de la Gamme ESRI) est le principal logiciel utilisé pour la création du SIG, la visualisation, l'analyse spatiale et la cartographie des données. Les formats préconisés pour réaliser les transferts de données géographiques sont :
 - pour les données vectorielles, tous les formats des produits de la gamme ESRI (Shapefile, Layer,...) ;
 - pour les données matricielles ("raster") :
 - dans le cas d'une simple visualisation, le format ".ecw", format de compression proposé par ER Mapper avec un ratio de 20 ;
 - dans le cas de traitements d'image (classification, analyse spatiale,...), le format "grid" d'ESRI, le format ".ers" du logiciel ER Mapper ou encore le format ".img" du logiciel ERDAS.

Méthodologie de gestion et de traitement

Mise en forme des données et intégration dans le SIG

La mise en forme des données acquises sur le terrain et la retranscription des notes associées, lorsque celles-ci ne sont pas intégrées à l'aide du SIG nomade directement, doivent se faire sans délai. Cette mise en forme débute dès l'intégration des données dans le SIG, la première étape étant de vérifier le positionnement des données acquises sur les documents de référence. Chaque événement, rappelons-le, est associé à une localisation par GPS, qu'il s'agisse d'un point d'échantillonnage, de note de terrain, de photographie ou de toute autre information pertinente.

La composante spatiale introduit une dimension particulière par rapport aux contraintes classiques de gestion des données (cohérence, sécurité et récupération). Il est donc nécessaire d'assurer un maximum de cohérence entre les données géométriques (connexité entre les lignes, contiguïté des polygones), de garantir la cohérence du lien entre les données géométriques et les données descriptives (au niveau de la documentation des tables associées à la délimitation des structures et des habitats), et d'assurer l'intégrité entre les différents thèmes (les polygones représentant les peuplements ne doivent pas chevaucher des polygones représentant des îles, aucun des polygones représentant des îles ne doit être superposé à des courbes bathymétriques). Cette contrainte impose nécessairement une expertise minimale en système d'information géographique (SIG).

La diversité des données acquises sur le terrain génère un nombre important de fichiers de nature et de format différents : notes de terrain, photographies, résultats d'analyse... Ces informations doivent pouvoir être complétées au fur et à mesure de l'avancement des analyses et du dépouillement des données, et elles doivent être accessibles rapidement et simplement. Ainsi, la création de géodatabase

(concept d'ESRI) par secteur d'étude est actuellement mise en place. Toutes les notes et descriptions associées à une entité géométrique sont directement liées à celle-ci dans une table attributaire à l'intérieur de la géodatabase. Les photographies sont gérées séparément en raison de leur volume et/ou encore des différentes versions (niveau de résolution) utiles à converser selon leur usage. Le système conserve le chemin à suivre pour aller chercher les photographies à afficher. Cette organisation est tout à fait transparente pour l'utilisateur qui, à partir d'ArcGIS et grâce à l'utilisation d'une extension ESRI, a accès par simple 'clic' sur une station à un formulaire regroupant toutes les informations associées à celle-ci et gérées au sein de la géodatabase (Piel, 2004).

Le formulaire type (Fig. 4) associé à chaque lieu de prélèvement ou observation compile les données suivantes : le nom ou l'identifiant de la station, le nom ou l'identifiant de la campagne, la nature des échantillonnages réalisés (sédimentaire, faunistique et floristique), le résultat de leur traitement, le nombre de photographies associées et leur description, etc.... Ce formulaire contient donc toutes les informations définies au niveau du dictionnaire de données et qui seront nécessaires à l'identification de l'habitat.

Figure 4 : Formulaire type compilant toutes les informations associées à une station et gérées au sein d'une géodatabase.

Dès que les résultats du traitement des échantillons sédimentaires sont disponibles, ceux-ci sont intégrés dans la base de données.

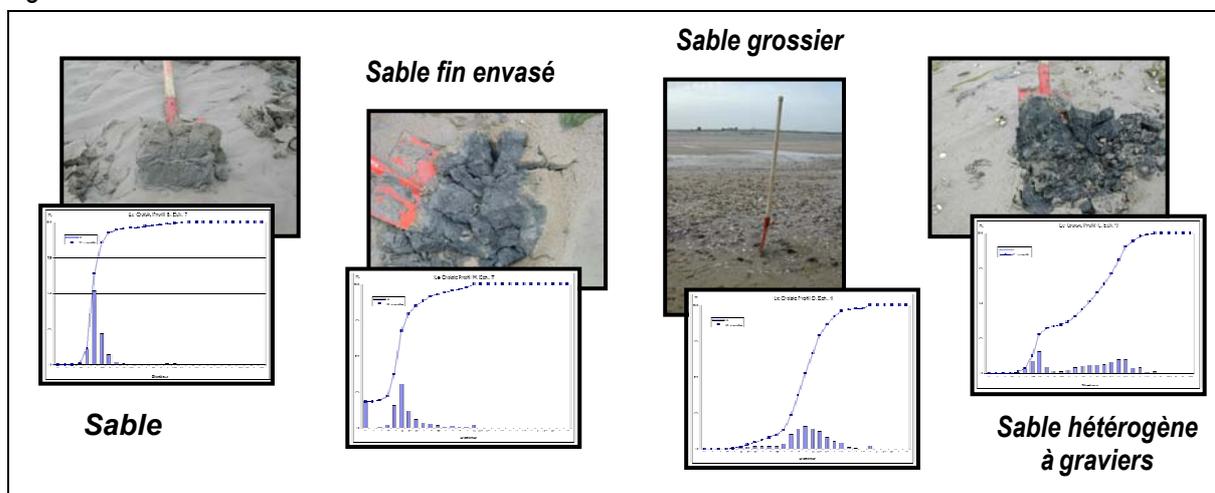


Figure 5 : Exemples de résultats de traitement d'échantillons sédimentaires

L'analyse de ces résultats couplée à l'agrégation de toutes les données disponibles permet la production de la cartographie morpho-sédimentaire. En effet, l'analyse en 2,5D des données LIDAR permet de mettre en évidence les grandes structures sédimentaires et souligne les détails de la morphologie de l'estran. Des coupes transversales, également réalisées à partir des données LIDAR aident à quantifier l'amplitude des accumulations sédimentaires ou la profondeur des chenaux. La cartographie morpho-sédimentaire constitue un préalable indispensable à la cartographie des habitats benthiques.

Il est important de noter que les catégories sédimentaires sur lesquelles s'appuie EUNIS (Connor *et al.*, 2004) ne correspondent pas aux catégories couramment utilisées dans le cadre d'une approche strictement sédimentaire. Ce manque de correspondance est lié au fait que le niveau de précision pour qualifier un type de substrat associé à un habitat est moins élevé que pour une caractérisation du faciès sédimentaire. De plus, les coupures des grandes catégories comme les sables et les sédiments grossiers sont différentes.

Catégories selon EUNIS (mm)				Catégories selon Wentworth (1922) (mm)	
Blocs	Blocs (Boulders)	gros	> 1024	256 - 4096	Blocs
		moyens	512 - 1024		
		petits	256 - 512		
Sédiment grossier	Galet (Cobbles)		64 - 256	64 - 256	Galet
	Cailloutis (Pebbles)		16 - 64	4 - 64	Cailloutis
	Gravier (Gravel)		4 - 16		
Sable	Sable grossier (Coarse sand)		1 - 4	2.00 - 4.00	Gravier
				1.00 - 2.00	Sable très grossier
	Sable moyen (Medium sand)		0.25 - 1	0.50 - 1.00	Sable grossier
				0.25 - 0.50	Sable moyen
	Sable fin (Fine sand)		0.063 - 0.25	0.125 - 0.25	Sable fin
Vase	Vase (Mud) (silt and clay fraction)		< 0.063	< 0.063	Silt
				< 0.004	Clay/Argile

Tableau 1 : Comparaison entre les catégories sédimentaires selon EUNIS et selon Wentworth (d'après Passchier, 2004).

Il ne peut y avoir passage direct de la cartographie morpho-sédimentaire à la cartographie des peuplements benthiques puisque les contours de faciès sédimentaires ne correspondent pas obligatoirement à des limites de répartition des peuplements benthiques. De plus, la présence d'espèces caractéristiques observée sur le terrain ne coïncide pas toujours avec la liste de description des espèces caractéristiques du peuplement identifié au niveau 4 de la classification EUNIS. Ces difficultés dans l'analyse des données montrent qu'elles doivent être soumises à l'avis d'experts.

La cartographie finale est fondée sur l'information extraite des orthophotographies littorales et validée par des contrôles de terrain, puis couplée à des données supplémentaires comme les faciès sédimentaires, le Lidar, la bathymétrie et le mode d'exposition.

Types d'informations collectées

Il est nécessaire de distinguer deux types d'informations collectées sur le terrain : celles qui sont associées aux polygones, et celles qui, tout en étant géoréférencées, correspondent à des notes ponctuelles.

1) Les informations directement liées aux polygones pourront être stockées dans des tables attributaires en prenant soin d'assurer un lien avec les entités géographiques grâce à un identifiant unique. Elles permettront la qualification du peuplement représenté selon les critères définis par la typologie :

- type de substrat;
- mode d'exposition ;
- espèces caractéristiques ;
- habitat dominant ;
- nature rare ou sensible du peuplement ;
- état (bon, moyen, pauvre) ;
- habitat "secondaire" ne pouvant pas être représenté directement mais étant suffisamment dispersé pour mériter une mention, ou toute information pertinente pouvant être directement associée au polygone.

2) Les notes ponctuelles ou "target notes" correspondent à des commentaires sur :

- les informations relatives à la présence d'habitat tout à fait spécifique ou remarquable mais dont la répartition est tellement réduite (< 5 x 5 m) qu'il ne peut être représenté sous forme polygonale ;
- les coupes ou profils de répartition verticale pour des secteurs où la topographie particulièrement abrupte ne peut être représentée par la cartographie plane ;
- les positions des photographies et des vidéos avec leurs commentaires (orientation des photos, amplitude des structures, observations de terrain, etc....);
- les positions des échantillonnages (biologiques ou sédimentologiques) ;
- la localisation d'entités ou structures d'origine anthropique ayant une emprise sur plusieurs polygones.

Etant données les grandes étendues à couvrir lors d'une campagne sur le terrain, la qualification de polygones ne peut pas toujours être issue d'une observation directe mais peut découler d'une extrapolation ou d'une observation à distance (utilisation de jumelles). Il est par conséquent utile de pouvoir renseigner la qualité de l'information dans un attribut en indiquant la méthode d'identification employée (vérité terrain ou extrapolation).

Métadonnées

Dans un système d'information complet, les métadonnées ont une fonction déterminante de relais car elles permettent l'utilisation adéquate des données par les autres utilisateurs. Il est essentiel de les publier et de pouvoir les rechercher car elles ont pour objectif de rendre les données compréhensives et échangeables entre les différents utilisateurs au cours du temps.

Le standard retenu pour la description des données géographiques est la norme ISO 19115 (Information Géographique – Métadonnées). Cette norme contient de nombreuses rubriques qui permettent de renseigner les documents à référence spatiale et, par conséquent, les données qui y sont représentées, ainsi que les informations relatives à la diffusion des données à l'externe. Les rubriques obligatoires doivent comporter une description minimum des données afin de garantir la qualité de leur utilisation par les différents partenaires du REBENT.

Au minimum, les métadonnées devront contenir les informations suivantes :

- l'identité des données,
- l'auteur et/ou le propriétaire,
- la projection cartographique,
- le système de référence géodésique,
- les échelles de représentation,
- les normes de conception utilisées (traçabilité de la source),
- la période représentée par les données (dates des levés ou de saisie),
- les dates de conception et de mise à jour,
- les sources de données (échantillonnages sédimentaires et biologiques, imageries aériennes, acoustiques et satellitaires, cartes existantes),
- l'organisme responsable de la mise à jour,
- le degré de précision,
- la qualité et la validation,
- l'intégralité de la représentation (les données sont-elles disponibles pour tout le territoire ?),
- les modes d'extraction,
- les formats de diffusion (format d'échange),
- les droits de diffusion (existence de convention, confidentialité);
- les distributeurs des données (livrées en intégralité ou filtrées).

Contrôle qualité

- Le soin et la rigueur dans la préparation de la campagne sur le terrain déterminent l'efficacité et la qualité du travail, autant en terme de "confort" pour le déroulement des opérations sur le terrain qu'en terme d'exploitation des données acquises.
- Les équipes de terrain doivent connaître et être formées à la méthodologie d'acquisition des données. En particulier, elles doivent lister toutes les informations nécessaires à collecter sur le terrain et maîtriser la typologie utilisée par la cartographie.
- Autant la méthodologie d'échantillonnage peut varier selon le type de substrat, dur ou meuble (se référer aux différentes fiches spécifiques), autant la prise de données sur le terrain doit suivre une méthodologie spécifique, fixée au départ et transposable d'un site à l'autre.
- Après la campagne sur le terrain, la retranscription des notes et la mise en forme des données collectées nécessitent du temps et doivent être réalisées dans des délais les plus courts possible, idéalement à la fin ou au retour de la campagne.
- Il est absolument nécessaire de conserver la traçabilité des orthophotographies littorales utilisées pour la photo-interprétation (date d'édition et lieu de stockage), de même que l'on doit être capable de retrouver les clichés photographiques ayant servi de support pour la cartographie des habitats.

- La qualité de la photographie aérienne, son géoréférencement, l'effort d'échantillonnage et la surface couverte lors d'une campagne de terrain, les conditions météorologiques lors de la marée ou encore l'outil de positionnement utilisé (GPS ou DGPS) sont autant de facteurs pouvant influencer la qualité du produit final (Bunker *et al.*, 2001).
- Des méthodes de 'contrôle qualité' préconisent le contrôle de 5% des sites par une double campagne réalisée par 2 équipes différentes et le contrôle de 2% des sites réalisé par des experts externes au laboratoire (Wyn *et al.*, 2000 ; Bunker *et al.*, 2001).
- La composante spatiale introduit une dimension particulière en terme d'intégrité des données. Du point de vue de la gestion de données, il est donc nécessaire, en plus des contraintes classiques (cohérence, sécurité et récupération), :
 - d'assurer un maximum de cohérence entre les données géométriques (connexité entre les lignes, contiguïté des polygones),
 - de garantir la cohérence du lien entre les données géométriques et les données descriptives au niveau de la documentation des tables associées à la délimitation des structures et des habitats,
 - d'assurer l'intégrité entre les divers thèmes, les polygones représentant les peuplements ne doivent pas chevaucher des polygones représentant des îles, aucun des polygones représentant des îles ne doit être superposé à des courbes bathymétriques.

Cette contrainte impose une expertise minimale en système d'information géographique (SIG).

Données produites

Les données produites à partir de l'exploitation des orthophotographies littorales sont :

- la carte morpho-sédimentaire dont les faciès sont établis à partir de l'analyse granulométrique des échantillons prélevés sur le terrain et incluant les habitats remarquables (schorre, herbiers, ...),
- la carte morpho-sédimentaire dont les faciès auront été adaptés à la classification EUNIS,
- la carte des peuplements benthiques élaborée à partir des observations de terrain et comportant les listes d'espèces reconnues sur le site,
- la carte des peuplements adaptée à la classification EUNIS, niveau 4 et niveau 5 pour lequel les espèces ne sont pas forcément identiques, en raison des variations biogéographiques qui ne sont pas toutes répertoriées dans la version actuelle 9 d'EUNIS.

Ces données peuvent se présenter sous différents formats selon le type d'approche (sectorielle ou stationnelle), leur niveau d'utilisation dans la chaîne de réalisation de la cartographie ou encore la catégorie de personnes à qui s'adressent les données (scientifique ou grand public). En effet, l'échelle et le niveau de généralisation de l'information peuvent varier selon le niveau de lecture cartographique.

Afin d'assurer une vision d'ensemble cohérente de la zone intertidale, il a déjà été précisé que le rendu cartographique se fera essentiellement au 1/25 000. Il est cependant possible pour certains secteurs d'intérêt particulier, d'envisager une plus grande échelle : au 1/10 000 voire au 1/5 000 dans quelques cas tout à fait spécifiques.

Du point de vue format, la diffusion des données se fait principalement en format numérique géoréférencé via l'internet, sur CD-Rom ou DVD. Ce format doit être défini de manière claire et univoque, autorisant les échanges de données entre partenaires. La structure des tables attributaires associées aux couches d'informations doit répondre aux besoins d'interrogation du SIRS et par conséquent suivre les typologies définies par les thématiques cartographiées. Il est également

possible de choisir une forme de diffusion plus "classique", avec une production de cartes imprimées sur papier.

Tout document cartographique doit être accompagné de commentaires écrits, de métadonnées associées aux différentes couches d'information géographique utilisées et d'une documentation détaillée rappelant la méthodologie employée pour sa réalisation (photo-interprétation, plan d'échantillonnage, validation terrain, notes complémentaires, photographies, ...).

Références

Bonnot-Courtois, C. et J. Fournier, 2003. APD Réseau Benthique, Elaboration d'un protocole de cartographie morpho-sédimentaire des estrans. Rapport Ifremer-CNRS-EPHE, 31p.

Bunker, F., B. Foster-Smith and J. Perrins, 2001. Procedural Guideline 1-1, Intertidal resource mapping using aerial photographs, pp165-178 from Marine Monitoring Handbook, JNCC, UK Marine SACs Project, 405 p.

Connor, D. W., D. P. Brazier, T. O. Hill and K. O. Northen, 1997. Marine Nature Conservation Review: marine biotope classification for Britain and Ireland. Volume 1. Littoral biotopes. Version 97.06. Peterborough, JNCC.

Connor, D. W., J. H. Allen, N. Golding, K. L. Howell, L. M. Lieberknecht, K. O. Northen and J. B. Reker, 2004. The Marine Habitat Classification for Britain and Ireland Version 04.05. Peterborough, JNCC. ISBN 1 861 07561 8 (internet version)

URL : www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification

Davies J., Baxter J., Bradley M., Connor D., Khan J., Muray E., Sanderson W, Turnbull C and M. Vincent, 2001. Marine Monitoring Handbook, JNCC, UK Marine SACs Project, 405 p.

Ecological Consultancy Services Ltd (EcoServe), 2001. SENS MAP – Methods for Mapping Seashore and Seabed Biotopes in Ireland, 12 p.

EUNIS, European Nature Information System, European Environment Agency, 2004. Version 9 URL: eunis.eea.eu.int

Guillaumont, B. et al., 2002. Réseau Benthique (REBENT), Développement d'un pilote breton, Elaboration de l'Avant-Projet Détaillé (APD) – Phase 2. Ifremer, Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral, RST.DEL/AO 02.07/BREST – décembre 2002, 196 p. + annexes.

Guillaumont, B. et al., 2004. Réseau Benthique (REBENT), Région Bretagne, Avancement des travaux, Année 2004. Ifremer, Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Littoral, RST.DEL/AO 04.15/BREST – décembre 2004, 36 p. + annexes.

Kendall, M.S., M.E. Monaco, K.R. Buja, J.D. Christensen, C.R. Kruer, and M. Finkbeiner, R.A. Warner, 2001. (On-line). Methods Used to Map the Benthic Habitats of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands URL: biogeo.nos.noaa.gov/products/benthic NOAA National Ocean Service, Biogeography Team, 45p.

MESH, 2005. Review of standards and protocols for seabed habitat mapping. MESH action 2.1, INTERREG IIIb-NW European program. 192 p.

Passchier, S., 2004. Particle size analysis (granulometry) of sediment samples, Workshop Paper, MESH-Review of Standards and Protocols, 11 p.

Piel, S. 2004. Gestion des données de terrain au sein d'une géodatabase, R.INT./DEL/AO

Populus J., A. Laurentin, C. Rollet, M. Vasquez, B. Guillaumont, C. Bonnot-Courtois, 2004. Surveying coastal zone topography with airborne remote sensing for benthos mapping. EARSeL eProceedings.

"Remote Sensing of the Coastal Zone", Ghent, June 5-7, 2003. Vol. 3, n° 1, p. 105-117. URL : www.earsel.org

Rollet, C., (document interne). Système de gestion de la base de donnée du REBENT – Analyse préliminaire. Ifremer, DEL/AO.

Wyn, G., P. Brazier and M. McMath, 2000. CCW Handbook for Marine Intertidal Phase 1 Survey and Mapping, 101p.

Fiches outil

Rollet C., 2003. [Les orthophotographies littorales](#). Fiche Outil – Projet REBENT, 5p.

Rollet C., 2003. [Géoréférencement en zone intertidale par GPS](#). Fiche Outil – Projet REBENT, 13 p.