

Janvier 2008 – RST - DYNECO/AG/07-21/JP



**Guide de cartographie
des habitats marins**

Version condensée

Guide de cartographie des habitats marins

Version condensée

Ce rapport doit être cité ainsi :

Projet MESH, 2008. Guide de cartographie des habitats marins.
RST - DYNECO/AG/07-21/JP – Ifremer, Centre de Brest, p. 74

Le projet MESH a été financé par le programme européen
INTERREG III B.



Table des matières

Introduction	7
Contexte du Guide MESH	7
Comment utiliser le Guide MESH	8
1 - Qu'est-ce que la cartographie des habitats ?	11
1.1 - La cartographie des habitats dans MESH	13
1.2 - Pourquoi a-t-on besoin de cartes d'habitats ?	14
1.3 - Qu'est-ce qu'un habitat ?	15
1.4 - Que veut-on cartographier ?	19
1.5 - Comment se fait la cartographie des habitats ?	20
1.6 - Quelles sont les limites de la cartographie des habitats ?	22
1.7 - Gestion des données	24
1.8 - Comment planifie-t-on la cartographie des habitats ?	26
1.9 - Conclusion	27
2 - Que veut-on cartographier ?	29
2.1 - Définition de la portée du programme	29
2.2 - Détermination de l'information manquante	31
2.3 - Définition des levés à effectuer	32
2.4 - Optimisation de la télédétection	35
2.5 - Optimisation de la campagne de terrain	36
2.6 - Exécution des levés	38
3 - Comment se fait l'acquisition des données ?	41
3.1 - Pourquoi acquérir des données de cartographie d'une manière normalisée ?	41
3.2 - Compétences techniques requises pour faire des levés	42
3.3 - Lignes directrices opérationnelles pour la cartographie des habitats	43
3.4 - Utilisation d'une combinaison de techniques	46
3.5 - Organisation des données et métadonnées requises	47
3.6 - Épuration et traitement initial des données	47
3.7 - Conclusion	48
4 - Comment réalise-t-on une carte ?	49
4.1 - Choix d'une stratégie de traitement cartographique	49
4.2 - Optimisation de l'analyse des données de terrain	52
4.3 - Optimisation des couches physiques	53
4.4 - Optimisation de la construction de la carte	55
4.5 - Conception et réalisation de la carte d'habitats	56
5 - Jusqu'à quel point une carte est-elle bonne ?	57
5.1 - Qu'est-ce que l'exactitude?	58
5.2 - Comment peut-on évaluer l'exactitude d'une carte ?	59
5.3 - Comment interpréter une évaluation de l'exactitude ?	60
5.4 - Jusqu'à quel point peut-on avoir confiance en une carte ?	60
5.5 - La méthode MESH d'évaluation de la fiabilité d'une carte	61
5.6 - Comment interpréter une évaluation de la fiabilité ?	62

6 - Que peut-on faire avec une carte ?	65
6.1 - Utilisation de cartes	66
6.2 - Description de cartes	67
6.3 - Mise en commun de cartes	67
6.4 - Conversion de cartes	67
6.5 - Combinaison de cartes	68
6.6 - Diffusion de cartes dans Internet	68
Glossaire	71

Introduction

MESH est l'acronyme de **M**apping **E**uropean **S**eabed **H**abitats (Cartographie des habitats benthiques européens). C'est un programme international de *cartographie des habitats marins* qui a commencé au printemps 2004 pour se terminer en janvier 2008. Au nombre de douze, les partenaires du projet MESH viennent de cinq pays du nord-ouest de l'Europe : Royaume-Uni, Irlande, Pays-Bas, Belgique et France. Ils apportent un mélange équilibré de compétences scientifiques et techniques dans le domaine de la *cartographie des habitats*, d'expertise en acquisition et gestion de données à l'échelon national, ainsi que d'expérience de la gestion à l'aide de *cartes d'habitats*. Le projet MESH bénéficie du soutien financier du programme INTERREG IIIB. Un des objectifs majeurs de MESH était d'élaborer des normes et protocoles internationaux pour les programmes de *cartographie du fond de la mer* – le *Guide MESH de la cartographie des habitats marins*.

Contexte du Guide MESH

Le présent *Guide MESH* vise à fournir un cadre méthodologique pour la *cartographie des habitats marins*, de sorte que les programmes futurs de *cartographie* produisent des *cartes* de grande qualité qui soient compatibles entre elles et que l'on puisse rassembler dans des *cartes* communes harmonisées. Il contribuera à rendre les *cartes d'habitats* plus compatibles en décrivant pas à pas des procédures et des normes éprouvées. Les explications de chaque étape des processus de prise de décisions s'accompagnent de renvois à un dossier de documents donnant accès à des outils, à des modèles et à des descriptions détaillées d'exemples concrets et d'études de cas pertinentes.

Ce cadre constitue un guide général, étoffé de discussions approfondies, d'études de cas et de renvois vers d'autres sources d'*information*. Il est destiné aussi bien aux personnes qui commandent des levés qu'à celles qui les exécutent. En plus du présent document en français, le principal support utilisé est un ensemble de documents sous forme électronique (en anglais) qui, à partir des principes généraux de la *cartographie des habitats*, permettent à l'utilisateur d'en franchir toutes les étapes : définition de la finalité et des objectifs d'un programme de *cartographie*, conception d'une stratégie de levés, choix des techniques appropriées, acquisition, traitement et *interprétation* des données, évaluation du rendu cartographique. À toutes les étapes des levés, l'utilisateur est guidé dans la prise de décisions par un exposé des points importants enrichi de renvois à des notes, à des études de cas et à des renseignements détaillés, par exemple sur les protocoles d'utilisation de techniques précises.

Le présent *Guide MESH* vise à aider tous les intervenants dans la *cartographie des habitats*, notamment par des organigrammes montrant de manière ordonnée et systématique les décisions à prendre. Mais il ne prend évidemment pas ces décisions à votre place : il n'existe pas de méthode unique et universelle de planification et de réalisation d'un programme de *cartographie des habitats* (même s'il y a de nombreuses manières de faire fausse route !). On espère toutefois que les conseils donnés ici vous aideront à faire les bons choix et vous encourageront à motiver vos décisions.

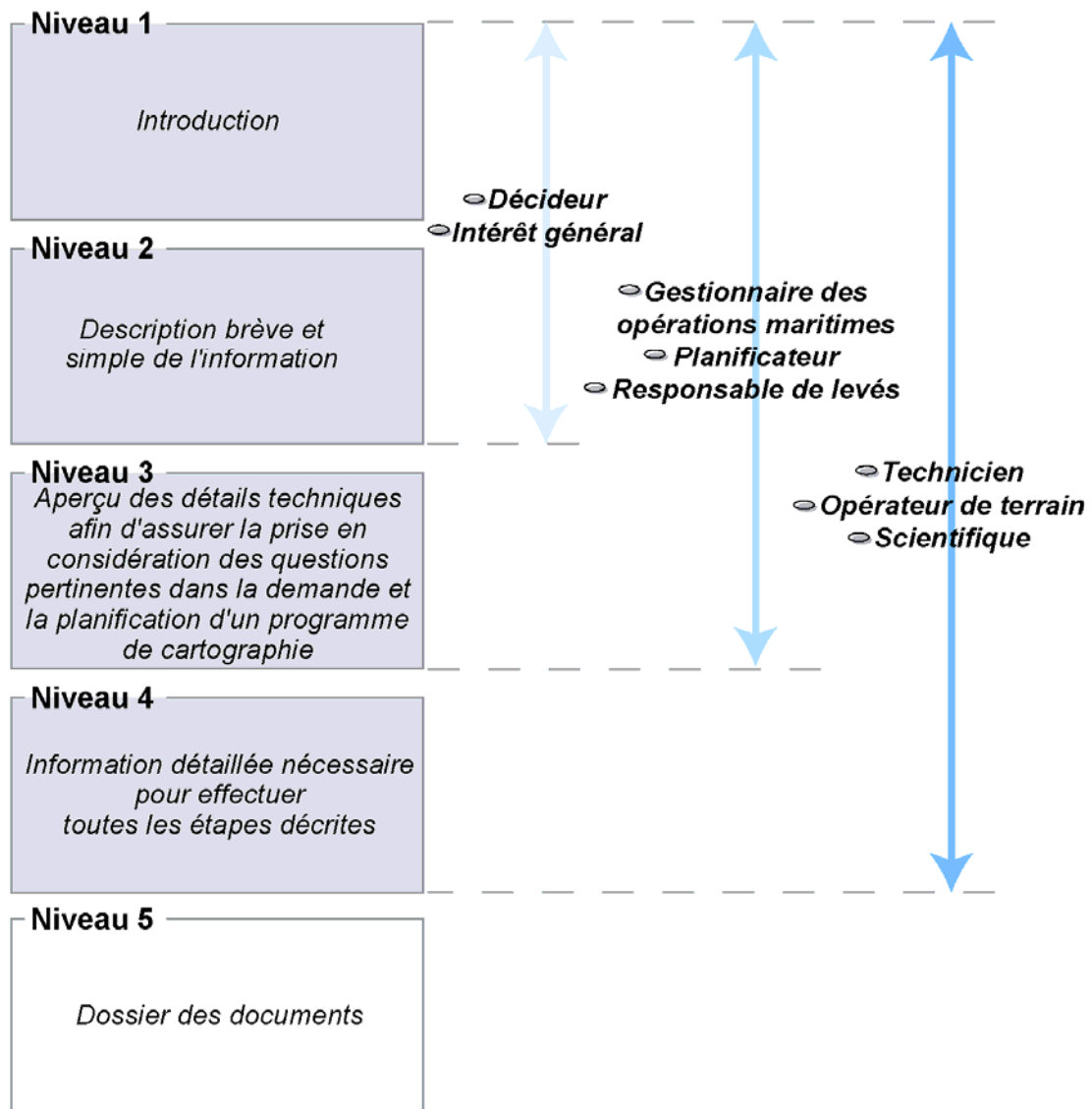
En plus de présenter d'une manière générale la *cartographie des habitats*, ce *Guide MESH* fournit des conseils portant sur chacune des étapes du processus de planification. Certaines sections sont destinées à être simplement lues, mais ce *Guide* se veut pour l'essentiel une passerelle vers l'*information* nécessaire, grâce à de nombreux renvois vers des pages Web et d'autres documents. À certains moments toutefois, vous voudrez revenir à une discussion plus générale ou aller directement voir des exemples, des études de cas ou d'autres réalisations du projet MESH.

Pour obtenir de plus amples renseignements sur le projet MESH ou accéder aux nombreux autres extraits de ce projet, veuillez consulter le site Web du projet MESH, à l'adresse www.searchMESH.net.

Comment utiliser le Guide MESH

Le *Guide* est conçu pour vous guider pas à pas dans la prise de décisions à toutes les étapes d'un programme de *cartographie des habitats*. Ses six chapitres portent chacun sur une partie différente du processus de *cartographie*. Chaque chapitre possède une structure hiérarchique qui commence au niveau supérieur par un aperçu général du sujet abordé, suivi de niveaux de plus en plus détaillés d'*information* technique généralement accompagnée d'exemples d'application des concepts dans des études réelles. Le *Guide* possède quatre niveaux d'*information*, auxquels s'ajoute un dossier de documents. Ces divers niveaux s'adressent à des publics différents, comme l'illustre la figure ci-dessous. Le présent document est limité aux niveaux 1 et 2.

Chaque chapitre comporte des couches adaptées à tous les niveaux d'intérêt



Documents

Les auteurs se sont efforcés d'ajouter des documents à l'appui de leur texte. Ces documents prennent la forme de textes, de modèles, d'images, d'outils interactifs et d'exemples (normalement assez courts) illustrant l'emploi de diverses techniques dans des programmes réels de *cartographie*. Ces documents auxquels le présent *Guide MESH* renvoie sont accessibles dans la section « Resource downloads » du site Web du projet MESH, d'où on peut les télécharger pour les consulter localement. D'autre part, un glossaire donne la définition de nombreux termes importants, et certains chapitres comportent une liste de références bibliographiques. Les mots référencés dans le glossaire sont indiqués en italiques, cependant que des mots ou des recommandations peuvent parfois faire l'objet de caractères gras. Le texte intégral de la version française du guide est disponible sur demande à l'Ifremer (Service des applications géomatiques, département Dyneco, Centre de Brest). La version originale anglaise peut être téléchargée à partir de la section « Downloadable text » du dossier des documents sur le site Internet de MESH www.searchmesh.net.

Conditions d'utilisation

Le *Guide MESH de la cartographie des habitats marins* constitue un résultat important du projet MESH, accessible sans restriction et sans frais. Les utilisateurs se servent toutefois de son contenu et des documents connexes à leurs propres risques, et les partenaires du projet MESH déclinent toute responsabilité pour toute perte subie par des tiers.

Ce *Guide MESH* et tous les documents qui l'accompagnent sont protégés par le droit d'auteur et ne peuvent être modifiés sans le consentement préalable des auteurs. Veuillez prendre connaissance des conditions d'utilisation du site Web du projet MESH.

Veuillez signaler à l'équipe du projet MESH, à l'adresse info@searchMESH.net, toute *erreur* technique ou toute difficulté d'utilisation du site Web du projet MESH.

Remerciements

Tous les partenaires du projet MESH ont contribué d'une manière ou d'une autre à la rédaction de la version originale intitulée *The MESH Guide to Marine Habitat Mapping*, que ce soit en rédigeant le texte des chapitres ou en fournissant des exemples, des figures ou des études de cas. Ils doivent être remerciés pour tous les efforts qu'ils ont faits afin que les idées de départ se concrétisent en un produit réel. Les partenaires du projet MESH remercient leurs organismes respectifs, leurs bailleurs de fonds et le programme INTERREG IIIB de leur soutien financier.

Les auteurs de ce guide sont, par ordre alphabétique : Roger COGGAN (CEFAS), Natalie COLTMAN (JNCC), David CONNOR (JNCC), Jon DAVIES (JNCC), Bob FOSTER-SMITH (ENVISION), Fiona FITZPATRICK (MARINE INSTITUTE), Jacques POPULUS (IFREMER), Jonathan WHITE (MARINE INSTITUTE), Vera van LANCKER (UNIVERSITY OF GENT).

Paul GILLILAND (NATURAL ENGLAND), Sytze van HETEREN (TNO-NITG), David LONG (BGS) et Dan FOSTER-SMITH (ENVISION) ont aussi collaboré à la rédaction.

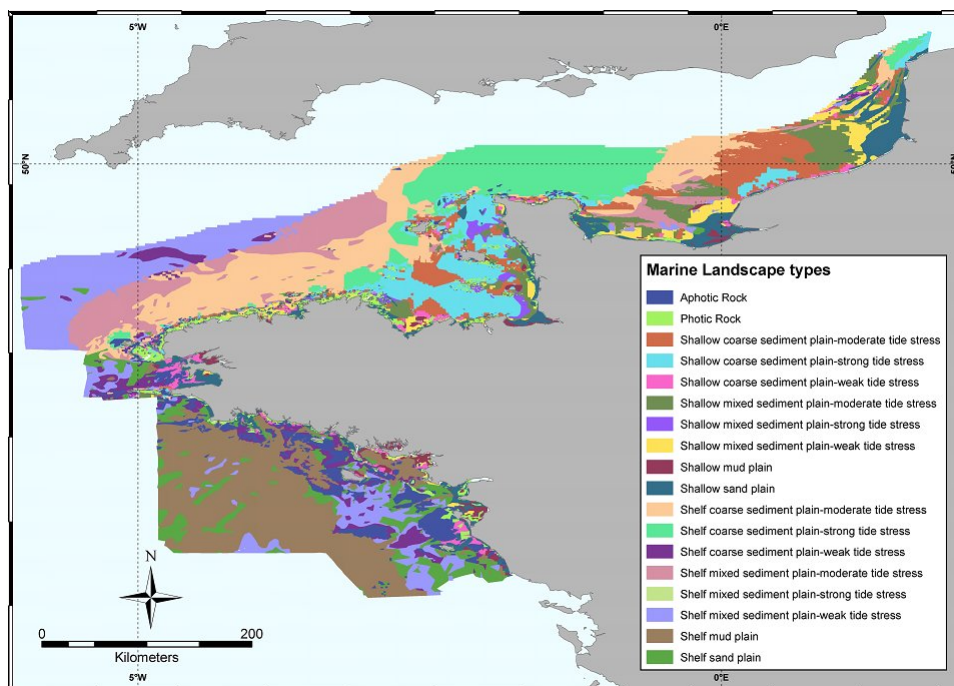
La version française est l'œuvre de Benoît THOUIN (TETRACOMM inc.), traducteur agréé En-Fr (ATIO). Brigitte GUILLAUMONT et Jacques POPULUS (IFREMER), ainsi que Mary-Christine THOUIN (TETRACOMM), en ont assuré la révision, l'adaptation et la relecture.

Marlène ROUCHON a effectué l'ensemble de la mise en forme du document, avec l'aide précieuse de Christine LE PAUL (IFREMER).

1 - Qu'est-ce que la cartographie des habitats ?

Dans le contexte du projet MESH, la *cartographie des habitats* se définit comme suit :

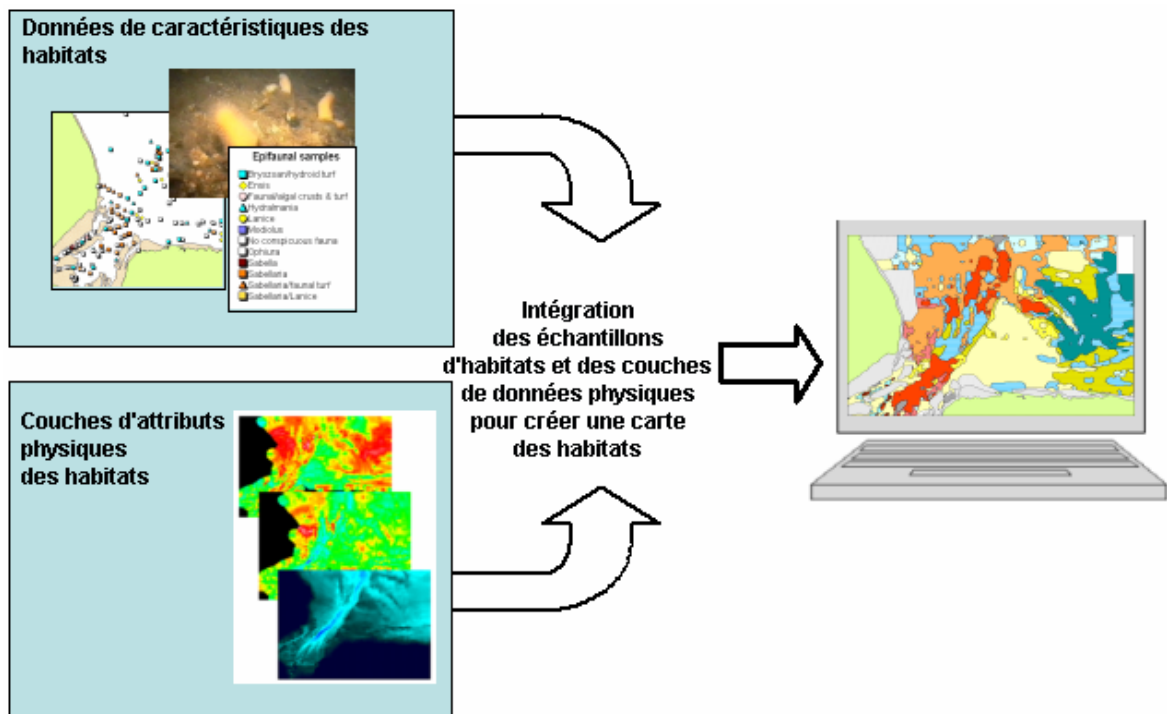
La représentation de la répartition et de l'étendue des *habitats*, résultant en une *carte* qui couvre totalement le fond de la mer et montre des frontières claires entre *habitats* adjacents.



Exemple de *carte d'habitats* globale : *paysages marins* sur les côtes de France.

Ce *Guide MESH* expose une méthode particulière, qui consiste à représenter la répartition des *habitats* en interprétant des *couches* de données physiques, souvent acquises par télédétection, à l'aide d'*information* sur les *habitats* benthiques obtenue par prélèvement et observation directs sur le terrain. Comme seule une petite fraction du fond de la mer peut être observée ou faire l'objet de prélèvements, une couverture totale des *habitats* est déduite par association entre les données physiques sur les *habitats* et les échantillons, de telle sorte que la *carte* finale constitue une prédiction de la répartition des *habitats*. Les paramètres physiques sont utilisés comme des *intermédiaires* pour représenter les données biologiques des *habitats*.

Une *carte* complète des paramètres physiques des *habitats* (les données *intermédiaires*) s'obtient directement par divers moyens de télédétection (p. ex. la bathymétrie se fait par échosondage) ou est déduite de modèles mathématiques de l'environnement marin (p. ex. l'énergie des vagues est déduite de modèles de prévisions météorologiques). Le processus logique qui établit le lien entre les données de terrain et les *cartes* physiques est désigné par le terme général de *modélisation*. Dans certains cas, ce peut être un processus simple faisant appel à l'avis d'experts, alors que dans d'autres cas, la modélisation comporte plusieurs étapes de transformation et de combinaison de nombreux jeux de données pour produire les *cartes* finales.



Résumé du processus de cartographie des *habitats* préconisé par les partenaires du projet MESH.

En résumé, le processus de *cartographie* des *habitats* comporte des levés, ainsi que l'acquisition, l'analyse et la modélisation de données pour en déduire la répartition des *habitats*, puis le dessin de *cartes* qui soient claires et adaptées aux objectifs visés.

Ce premier chapitre présente le domaine de la *cartographie* des *habitats* marins en exposant les fondements requis pour que le lecteur comprenne bien les notions de base, les utilisations et les limites de la *cartographie* des *habitats* marins, et constitue une introduction pour les chapitres suivants. Voici les sujets abordés dans ce chapitre :

- **la cartographie des habitats dans MESH.** Processus de cartographie, y compris les différentes échelles et les divers niveaux de détail ; relations entre ce que l'on peut détecter à l'aide des techniques de levé et la variabilité des *habitats* ; types de données nécessaires pour réaliser des *cartes* en faisant des liens entre variables environnementales et caractéristiques physiques et biologiques du fond ;
- **pourquoi a-t-on besoin de cartes d'habitats ?** Aperçu des principales utilisations des *cartes d'habitats* ainsi que des principaux énoncés politiques qui requièrent cette *information* ;
- **qu'est-ce qu'un habitat ?** Description du concept d'*habitat* et de ses variations d'étendue et d'échelle ; introduction aux typologies des *habitats* ;
- **que veut-on cartographier ?** Quelques notions de base de la *cartographie* des *habitats*, en insistant sur la nécessité de définir clairement le niveau de détail requis et le territoire à cartographier ; raisons pour lesquelles certains *habitats* ne peuvent pas être cartographiés ou représentés sur une *carte* à l'échelle choisie ;
- **comment se fait la cartographie des habitats ?** Différentes approches de la *cartographie* des *habitats* ; données requises pour divers types d'*habitat* ;
- **quelles sont les limites de la cartographie des habitats ?** Exposé de ce qui peut être représenté sur une *carte*, ainsi que des possibilités et des limites d'une *carte* ; raisons pour lesquelles certains *habitats* ne peuvent pas être cartographiés ; notions d'*exactitude* et de *fiabilité* ; évolution nécessaire des *cartes* en fonction de l'amélioration des données disponibles ainsi que de l'évolution de l'environnement ;

- **gestion des données** Nécessité d'une saine gestion des données ; *métadonnées* nécessaires tout au long du processus de *cartographie* ;
- **comment planifie-t-on la cartographie des habitats ?** Considérations fondamentales pour une planification efficace d'un programme de *cartographie* des *habitats* ; principales étapes du cycle de planification ; liens vers les chapitres du *Guide MESH* qui abordent chaque sujet plus en détail.

1.1 - La cartographie des habitats dans MESH

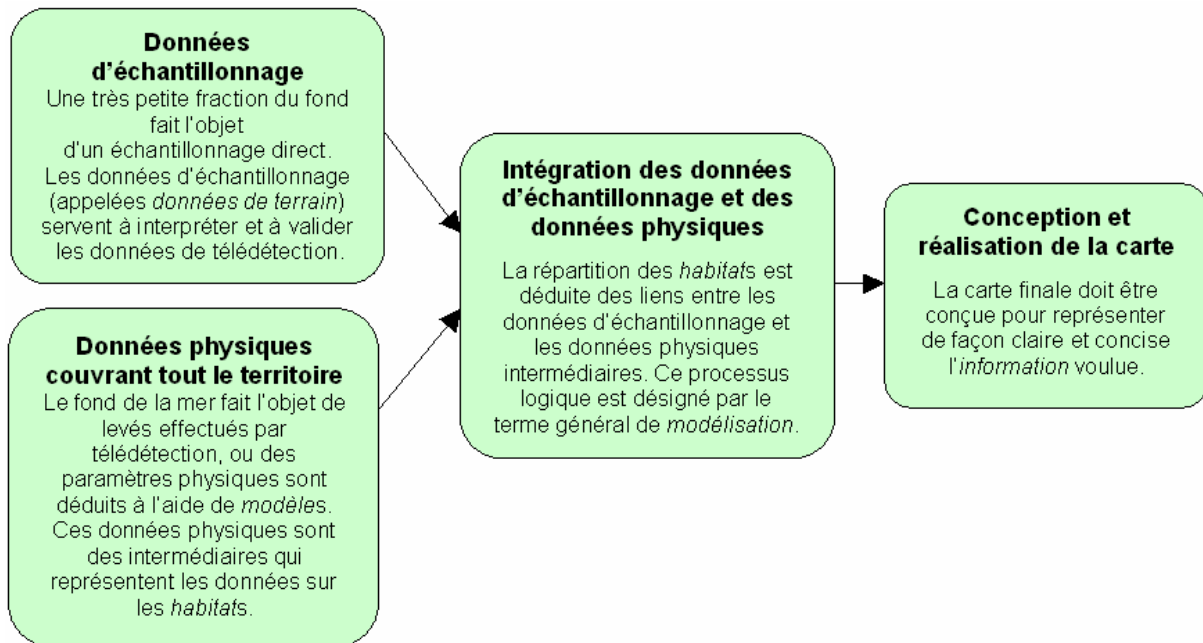
Les personnes qui commandent la réalisation d'un programme de *cartographie* des *habitats* doivent avoir un minimum de connaissances de toutes les étapes de ce processus, afin d'avoir des attentes réalistes et de veiller à ce que les travaux entrepris correspondent aux objectifs visés. Pour leur part, les opérateurs de terrain doivent avoir une bonne idée des tâches à accomplir, afin d'avoir l'assurance qu'ils acquièrent et traitent les données à un niveau compatible avec la *cartographie* des *habitats*. Cette introduction présente les fondements de la *cartographie*, de sorte que tous les intervenants d'un programme de *cartographie* des *habitats* puissent prendre ensemble des décisions sur la meilleure manière d'atteindre les objectifs visés.

Une *carte* des *habitats* benthiques montre une *prédiction* de la répartition géographique des classes d'*habitat*. La *cartographie* des *habitats* est le processus de production d'une *carte* des *habitats*. Dans la réalité toutefois, il s'agit d'un processus continu de développement de nos connaissances du milieu marin. Ce processus demeure toujours inachevé : comme les *cartes* sont de nature prédictive, elles doivent être mises à l'épreuve puis être raffinées à mesure que nos connaissances s'améliorent. Ainsi nos *prédictions* deviennent plus exactes et notre *confiance* envers les *cartes* augmente. Il ne faut pas oublier que :

Une *carte* des *habitats* est une représentation de notre meilleure estimation de la répartition des *habitats* à un moment donné, compte tenu des connaissances disponibles à ce moment.

Dans un sens plus étroit, la *cartographie* des *habitats* est la représentation de la répartition et de l'étendue des *habitats* sur l'ensemble d'un territoire, avec une indication des frontières entre *habitats* adjacents. La figure ci-après résume le processus de *cartographie* des *habitats*; on la retrouve ailleurs dans ce *Guide MESH*, avec un contenu adapté aux différents aspects du processus.

La *cartographie* des *habitats* est un processus complexe qui exige une somme considérable de compétences et de ressources afin de produire des *cartes* d'*habitats* benthiques qui répondent aux besoins des utilisateurs. Avant d'entreprendre un programme de *cartographie* des *habitats*, il est important de comprendre les motifs scientifiques et politiques pour lesquelles nous avons besoin de *cartes* d'*habitats* benthiques.



Organigramme des principales étapes de la réalisation d'une carte des habitats par l'intégration de données de terrain et de données physiques exhaustives

1.2 - Pourquoi a-t-on besoin de cartes d'habitats ?

La visualisation de la répartition spatiale, de la qualité et de la quantité des ressources benthiques est essentielle à notre compréhension des écosystèmes marins et à notre capacité de gérer l'activité humaine afin de réaliser un développement qui soit effectivement durable et de maintenir le fonctionnement des écosystèmes marins. Les *cartes* ont de nombreuses applications dans les domaines de la gestion, de la planification, des politiques et de la recherche, et constituent une partie intégrante et importante des systèmes d'*information* de gestion. Des *cartes d'habitats* sont nécessaires pour, entre autres :

- fournir une *couche d'information* essentielle à la planification spatiale et stratégique ;
- soutenir une utilisation durable des ressources benthiques ;
- aider à mettre en œuvre une approche écosystémique de la gestion de l'environnement marin ;
- aider à la protection des *habitats* rares, sensibles et menacés ;
- améliorer les bilans de l'état de l'environnement, en particulier en inscrivant les résultats des stations de *surveillance* dans un contexte géographique plus vaste ;
- aider à cibler les efforts de *surveillance* ;
- soutenir la sélection et la délimitation optimale des aires marines protégées (AMP) ;
- améliorer notre compréhension du fonctionnement des écosystèmes marins – notamment de leurs liens avec l'hydrographie, la colonne d'eau, les populations de poissons et le climat ;
- faire de la recherche scientifique ;
- évaluer l'importance, la rareté et l'étendue des *habitats* aux échelons local, régional, national et international.

En outre, les objectifs et la mise en œuvre de politiques internationales exigent de plus en plus une *information* cartographique sur les *habitats*. Mentionnons entre autres :

- la directive 92/43/CEE concernant les *habitats* naturels (1992) ;
- la déclaration ministérielle de 1996 concernant la mer du Nord ;
- la directive-cadre 2000/60/CE dans le domaine de l'eau (2000) ;
- la directive 2001/42/CE relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement (2001) ;
- la stratégie *Diversité biologique et écosystèmes* de la Commission OSPAR (2003) ;
- le Livre vert de 2006 pour une politique maritime de l'Union européenne ;
- la proposition de directive *Stratégie marine* de la Commission européenne (2007-2008).

Le terme *habitat* est souvent employé dans ces énoncés de politiques et plus généralement dans les milieux scientifiques, politiques et de la gestion environnementale. Il a par conséquent plusieurs définitions qui peuvent être source de confusion lorsque des « *cartes d'habitats* » réalisées pour répondre à certains objectifs sont transmises à des utilisateurs d'horizons différents.

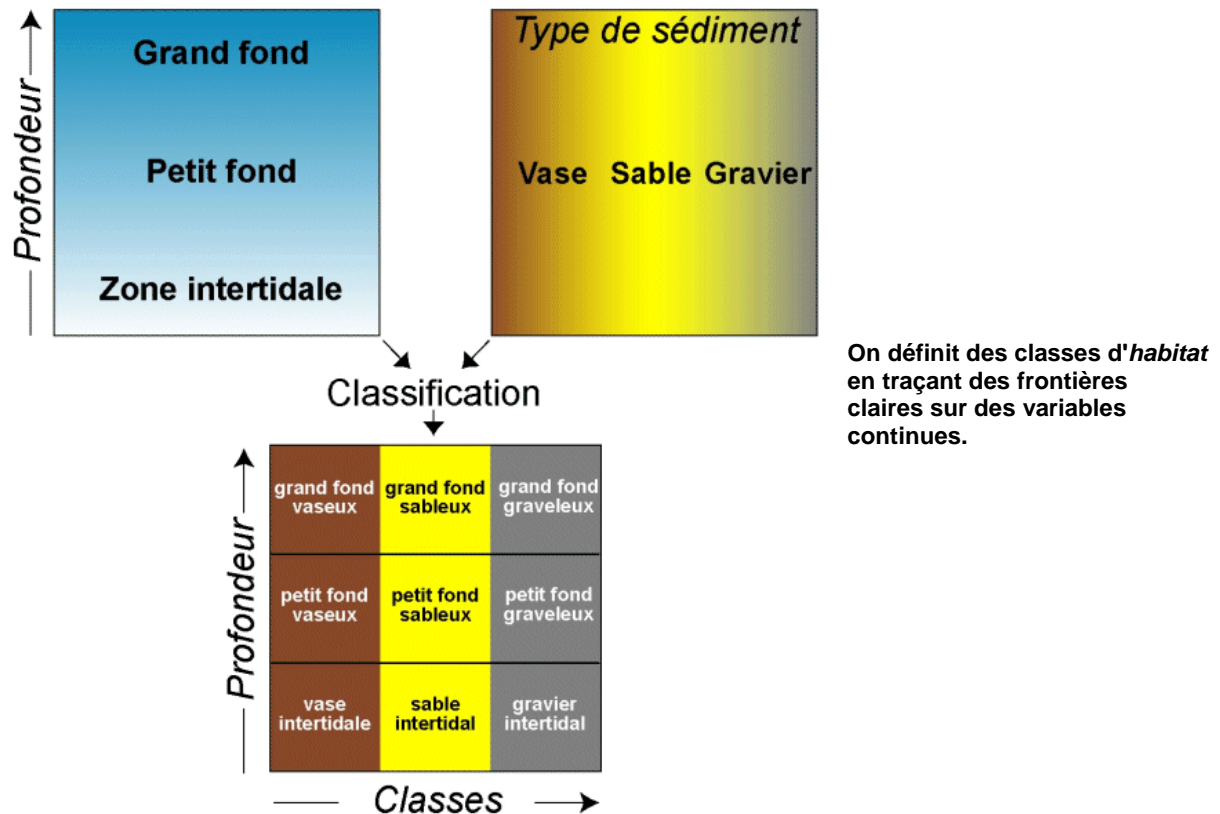
1.3 - Qu'est-ce qu'un habitat ?

Au départ, le terme *habitat* est défini comme le lieu où vit un animal ou une plante (c.-à-d. une seule espèce). Cette notion peut toutefois être étendue pour inclure plusieurs espèces (formant une *communauté* ou une *biocénose*). Dans MESH, le terme *habitat* englobe les paramètres physiques et environnementaux qui soutiennent une *biocénose* donnée, ainsi que la *biocénose* elle-même. Ainsi, un herbier de phanérogames marines sur fond sableux en eau peu profonde est considéré comme un *habitat* différent d'un récif rocheux où vivent des Laminaires et d'autres algues. De la même manière, on peut subdiviser davantage les *habitats* de sorte que l'on distingue sur un récif rocheux les *habitats* où vivent des forêts de Laminaires et ceux où vivent des algues filamenteuses et foliacées. La figure suivante montre des exemples d'*habitats*.



Un *habitat* est défini par une *biocénose* et par la structure physique qui l'héberge, par exemple littoral rocheux avec des algues, herbier de phanérogames marines sur fond sableux, récifs rocheux profonds et plumes de mer sur fond vaseux.

Dans la nature, les paramètres physiques, environnementaux et biologiques (température, salinité, profondeur, répartition géographique des espèces) changent progressivement d'un endroit à l'autre, et il y a peu de frontières nettes ou de discontinuités. Il est extrêmement difficile de visualiser et de décrire un *habitat* sans introduire de subdivisions claires de ces principaux paramètres. Pour simplifier, prenons un exemple où les *habitats* ne sont définis que par deux paramètres physiques, dont chacun est subdivisé en trois. Il y a neuf combinaisons possibles des deux paramètres physiques réunis (voir le schéma ci-après). Ces combinaisons sont des classes. L'environnement marin comporte de nombreux paramètres physiques et un grand nombre d'organismes, de sorte que le processus de *classification* est plus complexe et donne un bien plus grand nombre d'*habitats*.



Une typologie des *habitats* vise à définir les *habitats* d'une façon cohérente, de sorte que des données semblables soient constamment associées à des types d'*habitat* précis, afin que l'on puisse comparer ces données entre régions géographiques ou d'une époque à une autre. Une *typologie* des *habitats* est conçue de manière à ce que l'affectation des types d'*habitat* soit faite de façon constante par des personnes différentes, peu importe la région géographique. Il existe plusieurs typologies des *habitats* parce que la subdivision de l'environnement correspond à des besoins différents des utilisateurs. Les typologies sont souvent hiérarchiques : des *habitats* définis globalement sont subdivisés en unités de plus en plus fines, afin de répondre aux besoins d'utilisateurs qui requièrent des niveaux de détail différents. À titre d'exemple, un *habitat* de Laminaires peut d'abord être subdivisé en forêt de Laminaires (plantes densément regroupées) et prairie de Laminaires (plantes éparpillées), puis être subdivisé davantage en fonction de diverses espèces de Laminaires ainsi que des plantes et animaux qui leur sont associés (voir la figure ci-après).

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) a élaboré une *typologie* des *habitats* pour son système EUNIS (**EU**ropean **N**ature **I**nformation **S**ystem) de gestion de l'*information* sur les espèces, les sites et les *habitats*. La version la plus récente de cette *typologie* est accessible dans le site Web d'EUNIS. Il s'agit d'une *typologie* paneuropéenne des *habitats* terrestres et aquatiques mise au point pour l'AEE par le Centre thématique européen sur la diversité biologique (CTE/DB).

La partie de la *typologie* EUNIS qui porte sur les *habitats* marins est accessible en ligne. Elle comporte six niveaux hiérarchiques.

Au premier niveau de la hiérarchie, la *typologie* distingue les *habitats* marins (identifiés par la lettre « A ») des *habitats* côtiers et terrestres. Les niveaux suivants donnent des subdivisions supplémentaires à l'aide d'un système de numérotation (voir la figure ci-après).

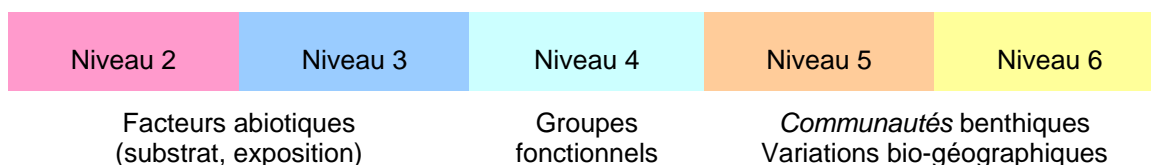
De manière générale, le niveau 2 de la hiérarchie fait appel à la zone biologique et à la présence ou l'absence de rochers comme critères de *classification*, de sorte que A1 représente les rochers littoraux et autres substrats durs, alors que A5 représente les sédiments sublittoraux (voir l'illustration). Le niveau 3 introduit l'énergie hydrodynamique dans la *typologie* des substrats durs, et les types de sédiment dans la *typologie* des substrats plus meubles. Par exemple, A1.1 désigne les rochers littoraux à haute énergie, et A5.4 les sédiments mixtes sublittoraux.

Jusqu'à ce niveau, la *typologie* est entièrement fondée sur des *attributs* physiques et sur la notion de zone biologique. Des taxons précis sont cités pour la première fois au niveau 4, où les principaux taxons de l'*épifaune* servent à distinguer les *habitats* rocheux. Par contre, pour les substrats meubles, les distinctions sont parfois encore fondées sur des *attributs* physiques et les zones biologiques. Par exemple, A1.11 désigne les *communautés* de *Mytilus edulis* ou de balanes, alors que A5.44 désigne des sédiments mixtes circalittoraux.

Au niveau 5, les distinctions sont fondées sur des *attributs* physiques et biologiques des *habitats*. Dans les substrats meubles, certaines classes sont surtout définies par l'*endofaune* et d'autres par l'*épifaune*, souvent avec la mention de noms d'espèces. Par exemple, A1.112 représente les espèces du genre *Chthamalus* présentes sur la partie supérieure exposée des rochers eulittoraux, alors que A5.441 représente *Cerianthus lloydii* et d'autres anémones fouisseuses présentes dans les sédiments mixtes vaseux circalittoraux.

Le niveau 6, le plus précis de la *typologie* EUNIS, décrit souvent des variations notables de la structure de la *biocénose* des *habitats* de niveau 5. Par exemple, A1.1121 correspond à la présence de *Chthamalus montagui* et de *Chthamalus stellatus*, alors que A1.1122 indique la présence de *Chthamalus montagui* et de *Lichina pygmaea*. Les divers taxons caractéristiques sont associés à des *attributs* environnementaux différents de l'*habitat*.

Niveaux hiérarchiques de la classification EUNIS



Les niveaux de la *typologie* EUNIS

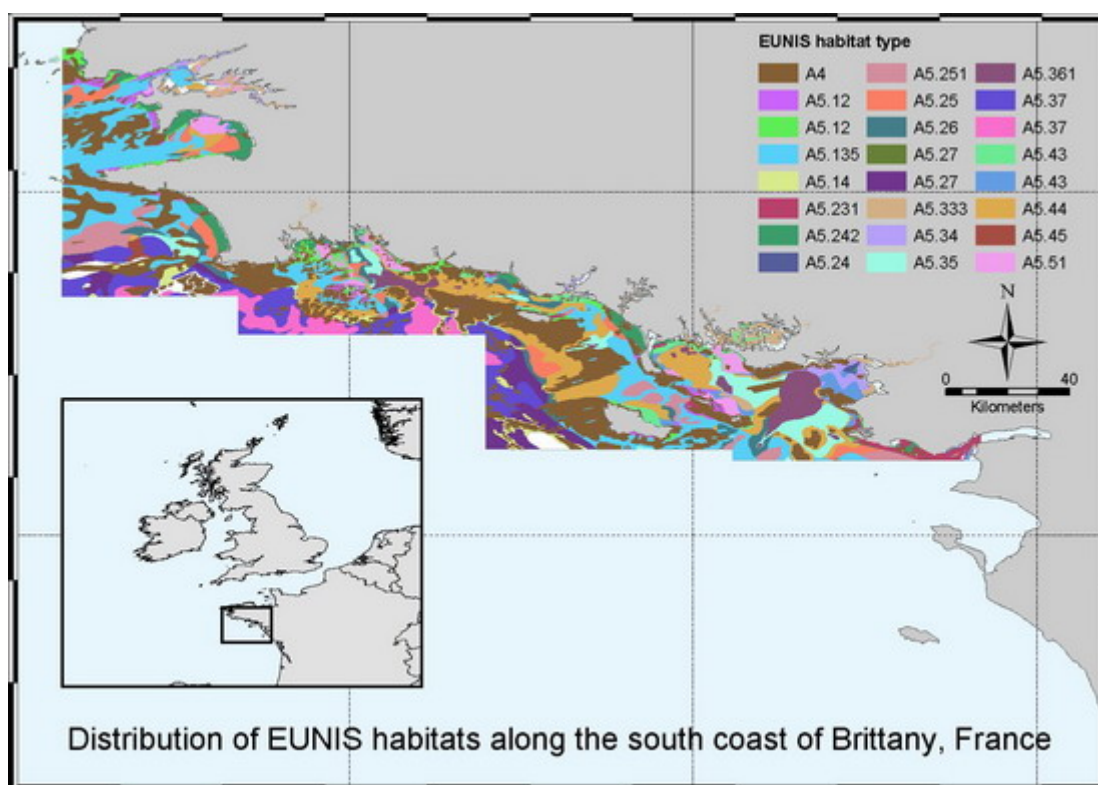


Exemple de typologie hiérarchique des *habitats* benthiques, développée pour montrer en détail les *habitats* de Laminaires

Les *cartes d'habitats* ont une signification particulière dans le contexte du projet MESH : les *cartes d'habitats* benthiques montrent une *prédiction* de l'étendue géographique et des frontières des classes d'*habitat*. Les *cartes d'habitats* montrent la taille et la forme des *habitats* ainsi que les liens entre eux et la manière dont ils s'emboîtent. L'*homogénéité* ou l'*hétérogénéité* des *habitats* et les liens entre eux sont des éléments écologiques importants que l'on peut évaluer à partir de *cartes d'habitats*. La figure ci-après donne un exemple de *carte d'habitats*.

Dans le contexte de levés et de *cartographie* du *Guide MESH*, le terme *habitat* désigne à la fois le milieu physique et la *biocénose* correspondante. Par conséquent, la *cartographie* des *habitats* englobe des structures écologiques pertinentes et va au-delà de la *cartographie* des caractéristiques purement physiques (p. ex. les sédiments benthiques), même si ces derniers permettent souvent de déduire beaucoup de choses à propos des *habitats*.

L'étape la plus importante au début du processus de *cartographie* des *habitats* consiste à définir clairement le type d'*habitat* à cartographier ; les décisions cruciales qui en découlent portent sur le territoire à cartographier et le niveau de détail à représenter sur la *carte* finale.



Une *carte d'habitats* comme celle-ci (côte sud de la Bretagne) montre la répartition des classes d'*habitat* (EUNIS).

1.4 - Que veut-on cartographier ?

La compréhension des notions fondamentales d'échelle d'une *carte* et de niveau de détail des *habitats* est essentielle à la réussite d'un programme de *cartographie des habitats*. Ces connaissances permettent à ceux qui commandent des programmes d'avoir des attentes réalistes, à ceux qui planifient des levés sur le terrain de choisir l'équipement approprié, et à ceux qui analysent les données et qui dessinent des *cartes* de livrer des produits conformes aux besoins des utilisateurs.

Une *carte des habitats* montre la répartition géographique des classes d'*habitat* du fond marin. Une *carte* peut être imprimée sur papier ou affichée sous forme électronique à un écran. Quel que soit le support, une *carte* montre une région géographique bien définie, et donc restreinte, du fond de la mer. Une définition claire du territoire à couvrir est donc essentielle à la réussite d'un programme de *cartographie des habitats*.

La représentation d'un territoire sur un support fait intervenir la notion d'échelle d'une *carte*, normalement indiquée sous forme du rapport entre les dimensions linéaires de la *carte* et celles de la région géographique représentée. Une page A4 fait environ 20 cm de largeur par 30 cm de hauteur (à la française ou mode portrait). Si elle contient une *carte* qui couvre un territoire de 2 km de largeur par 3 km de longueur, par exemple une petite baie, l'échelle de cette *carte* est de 1/10 000. À l'inverse, une structure représentée sur la *carte* par un élément de 1 cm a dans la réalité une longueur de 10 000 cm, soit 100 m. Si la même page A4 représente un territoire de 200 km par 300 km, par exemple une mer régionale comme la mer d'Irlande, son échelle est alors de 1/1 000 000, et un élément de 1 cm de longueur sur la *carte* correspond à 10 km dans la réalité.

Un élément semblable de « taille » figure dans la définition d'un *habitat* : on considère généralement que la taille minimale d'un *habitat* marin est d'environ 25 m² (5 m × 5 m). La « taille » se reflète également dans la *typologie des habitats*, où elle est couramment liée à la notion de « détail biologique ». À une extrémité du spectre, les classes d'*habitat*

représentent un très haut niveau de détail biologique, par exemple *un herbier de Zostera marina sur des sédiments grossiers*. À l'extrémité opposée, une *classe d'habitat* est très générale, par exemple un *rocher couvert d'algues* et couvre les zones intertidale et subtidale du fond marin. Le plus souvent, les *habitats* définis de manière détaillée couvrent des surfaces relativement petites du fond de la mer (de l'ordre de 10 à 100 m dans chaque dimension), alors que des *habitats* définis de manière plus générale couvrent des surfaces plus grandes (avec des dimensions supérieures à 1 km). Dans la planification d'un programme de *cartographie des habitats*, la détermination du niveau de détail biologique à représenter sur les *cartes* finales est un élément fondamental de l'ensemble du processus de *cartographie*, à cause de ses conséquences très importantes sur le choix de la stratégie de *cartographie*, de l'équipement nécessaire, du type d'analyse à effectuer, et donc sur le coût total du programme (voir le chapitre 2 : *Que veut-on cartographier ?*).

Comme on peut s'y attendre, il y a un lien très net entre le territoire à cartographier et le niveau de détail biologique à représenter lorsque l'on détermine l'effort (et donc le coût) nécessaire pour produire la *carte*. Le tableau ci-après montre l'effort nécessaire pour produire des *cartes* à chacune des extrémités du spectre du détail des *habitats* et du territoire représenté, et introduit les termes *échelle globale* et *échelle fine*, courants dans le domaine de la *cartographie des habitats*.

		Niveau de détail des habitats	
		Faible	Élevé
Territoire couvert	Grand (plus de 100 km x 100 km)	Effort correspondant au territoire à cartographier : levés typiques à <i>échelle globale</i>	Effort très important, demandant de grandes quantités de ressources : programme national de levés
	Petit (moins de 20 km x 20 km)	Les résultats ne justifient pas que l'on fasse des levés.	Effort correspondant au territoire à cartographier : levés typiques à <i>échelle fine</i>

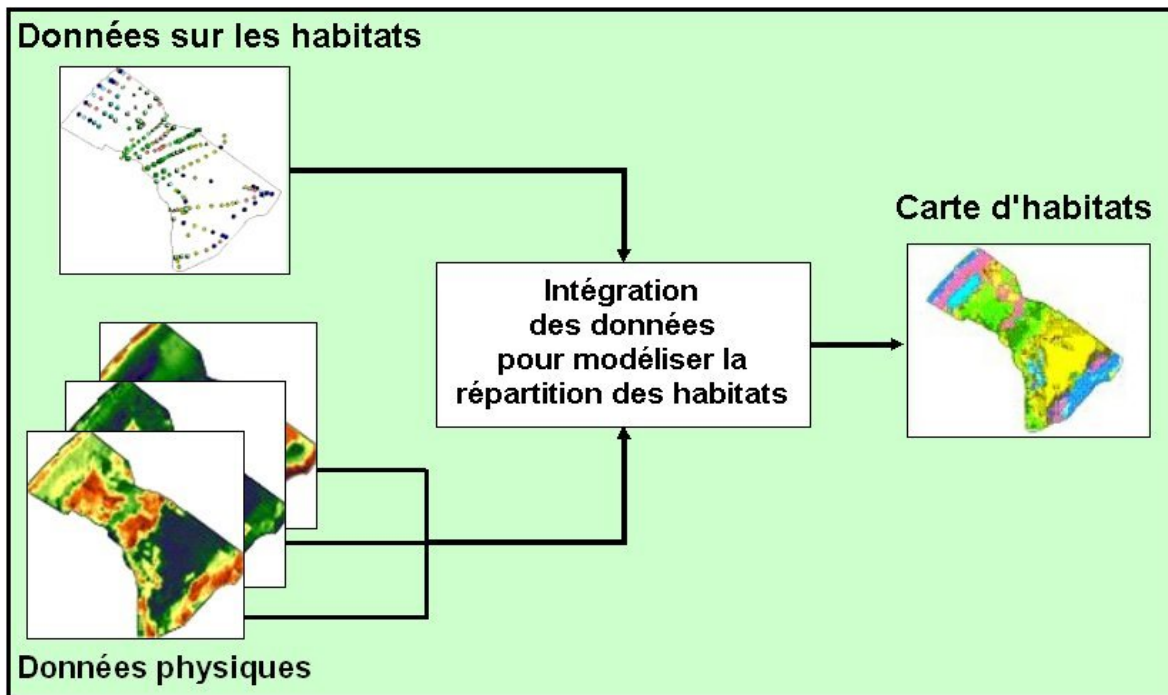
L'effort (et le financement) requis pour la cartographie des *habitats* sont liés à la fois au territoire couvert et au niveau de détail des *habitats* voulu.

Les termes *échelle globale* et *échelle fine* peuvent s'appliquer à chaque extrémité de la gamme d'activités de *cartographie* du point de vue du territoire couvert et du niveau de détail des *habitats*.

Après avoir bien défini le niveau de détail des *habitats* requis sur la *carte* finale ainsi que l'étendue du territoire à couvrir, et obtenu les ressources nécessaires pour entreprendre le travail de *cartographie*, il faut connaître les différentes méthodes disponibles de production des *cartes* finales. La sous-section qui suit porte sur les principaux points à considérer pour définir les modalités de *cartographie des habitats* du territoire choisi.

1.5 - Comment se fait la cartographie des habitats ?

Les partenaires du projet MESH préconisent un processus de *cartographie des habitats* dans lequel les *cartes* sont obtenues par l'intégration de données sur les propriétés physiques du fond de la mer (en zone intertidale ou subtidale) couvrant la totalité du territoire à cartographier, avec des observations sur les *habitats* présents à certains endroits. Ce processus est résumé par la figure ci-dessous.



Résumé du processus de cartographie des *habitats*.

Les sections précédentes ont abordé certaines questions cruciales auxquelles il faut répondre lorsque l'on commande un programme de *cartographie* des *habitats* : Le territoire à cartographier est-il vaste ou restreint ? Quel est le niveau de détail requis (*habitats* très généraux ou détaillés) ? Quelles ressources sont disponibles (temps, financement, données, équipement) ? Les réponses à ces questions orientent le processus de *cartographie* à adopter. Lorsque vient le temps d'entreprendre réellement le travail, les principales différences selon l'approche adoptée ont trait à la source des données physiques et des données sur les *habitats*. Une *carte d'habitats* peut être déduite de l'exploitation au bureau de données existantes, ou de nouvelles données acquises lors de campagnes de terrain conçues sur mesure, ou d'une combinaison des deux approches.

Voici les questions abordées dans cette section :





- **campagne de levés ou modélisation.** Selon les réponses aux questions stratégiques ci-dessus, on peut faire une étude au bureau afin de modéliser la répartition des *habitats*, ou entreprendre une campagne de levés pour acquérir de nouvelles données en vue de cartographier le territoire étudié (ou encore les deux) ;
- **télédétection et données de terrain.** Pour la plupart des programmes de *cartographie*, le mieux est d'intégrer des données de télédétection, qui couvrent tout le territoire, et des données de terrain qui permettent de valider l'*information* acquise par télédétection ;
- **types de données nécessaires.** Que l'on procède par levés ou par modélisation, il faut savoir quels types de données sont nécessaires pour cartographier le territoire étudié. Ces données ont trait aux paramètres biologiques, physiques et environnementaux dont la somme détermine les types d'*habitat* présents dans le territoire étudié.

Une *carte d'habitats* est le résultat ultime d'un processus complexe qui est loin d'être infaillible ! Toutes les phases de ce processus ont leurs points forts et leurs lacunes, et ceux qui commandent des programmes de *cartographie* des *habitats* doivent être conscients de certaines limites et sources d'*erreur* du processus de *cartographie*. Le grand avantage du traitement numérique est qu'il permet de remplacer une *carte* unique

(représentant toute la vérité ?) par un ensemble de *cartes* personnalisées dérivées d'un jeu de données et représentant chacune un aspect de la vérité.

1.6 - Quelles sont les limites de la cartographie des habitats ?

Une *carte d'habitats* montre la répartition prédite de classes d'*habitat* et d'autres *informations* obtenues par prélèvement et par télédétection, ou modélisées à partir de données de sources indirectes. Une *carte d'habitats* ne représente qu'un instantané dans le temps, et sa valeur de représentation de la répartition des *habitats* à tout moment ultérieur dépend de la *variabilité* naturelle du territoire cartographié. Mis à part les changements possibles dans le temps, d'autres limites quant à la nature de l'*information* sur les *habitats* viennent de la manière dont les données sont acquises, interprétées, représentées et conservées. Il faut comprendre ces limites puisqu'elles ont des implications importantes sur la conception d'un programme de *cartographie*, et afin que les utilisateurs aient des attentes réalistes vis-à-vis des *cartes d'habitats*. La figure suivante illustre les principales limites de la *cartographie* des *habitats*.

Peut-on...			
le voir ? (données de terrain)	le capter ? (télé-détection)	l'interpréter ? (intégration)	le représenter ? (<i>cartographie</i>)
			

Pour montrer un *habitat* sur une *carte*, il faut répondre « oui » à chacune des quatre questions ci-dessus. Pour différentes raisons :

- il est possible que l'on ne puisse pas détecter un *habitat* intéressant, soit parce que l'on n'arrive pas à le « voir » sur le terrain, soit parce que les techniques de télédétection et d'*interprétation* ne permettent pas de distinguer cet *habitat* d'autres *habitats* semblables ;
- il est possible que l'on ne puisse pas représenter un *habitat* sur une *carte* à l'échelle choisie parce que ses dimensions sont trop petites.

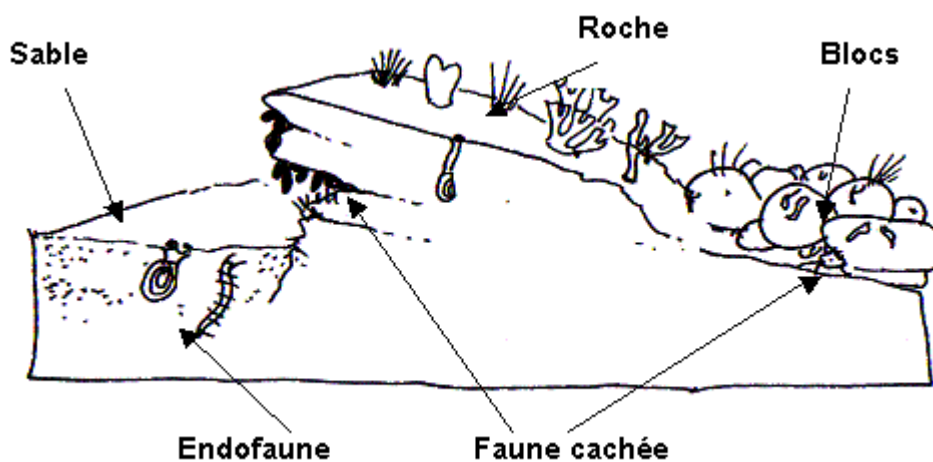
Dans la réalité, il est peu probable que l'on puisse répondre de manière catégorique aux questions ci-dessus pour tous les *habitats* potentiellement présents dans le territoire à cartographier. La réponse sera souvent plus nuancée, telle que « peut-être » ou « probablement ». Le degré de certitude avec lequel on peut répondre à ces questions dépend de notre connaissance de l'*habitat* concerné : certains *habitats*, par exemple les bancs de moules, font depuis longtemps l'objet d'études scientifiques, de sorte que l'on comprend relativement bien leur structure physique et biologique, ainsi que les facteurs physiques qui jouent un rôle important dans leur fonctionnement. Par contre, nos connaissances à propos de nombreux *habitats* des grands fonds sont très limitées, et nous ne savons pas bien s'il est possible de détecter et de cartographier ces *habitats*.

On a abordé plus haut les problèmes potentiels liés à l'échelle, à l'*interprétation* des images et à la *cartographie*. L'aire occupée par différents *habitats* benthiques varie énormément selon les conditions qui prévalent dans le milieu et la géologie sous-jacente du fond. On peut arriver à cartographier un territoire hétérogène si l'aire des unités

d'*habitats* est grande par rapport à la *limite de résolution* des capteurs et à l'échelle de la *carte*. Malheureusement, dans de nombreux territoires hétérogènes, les *habitats* sont très petits, souvent au-delà de la capacité de détection des capteurs, ou encore impossibles à représenter sur une *carte* à l'échelle choisie.

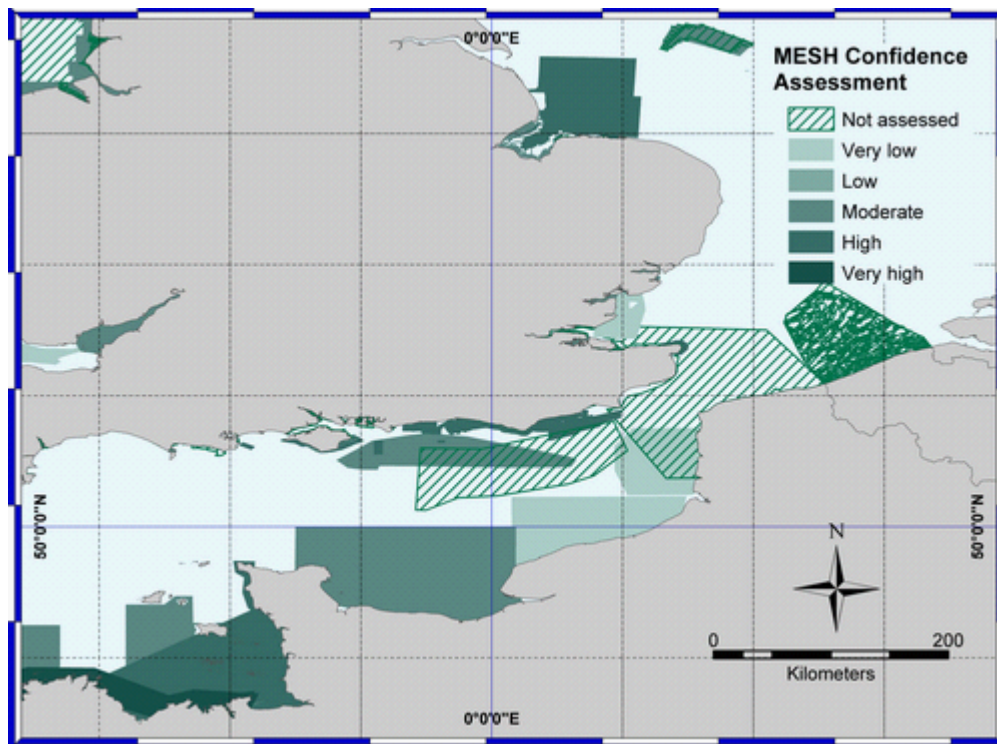
Les *habitats* (le substrat et d'autres *attributs* du milieu, ainsi que le biote) peuvent être définis par les caractéristiques biologiques et physiques observables prédominantes. Cependant, comme on le voit dans la figure qui suit, trois facteurs compliquent cette définition :

- plusieurs *habitats* sont présents sur une petite surface et mélangés à une *échelle fine* ;
- le biote caractéristique d'un *habitat* sédimentaire est surtout présent à l'intérieur du sédiment (*endofaune*) et n'est pas facilement visible ;
- la biodiversité d'*habitats* rocheux peut se manifester en grande partie dans de petites niches difficiles à échantillonner à distance (sous des corniches rocheuses, sous des blocs, dans le rocher).



Ces facteurs ont un impact énorme sur un programme de *cartographie* et sur toute utilisation de *cartes* pour répondre à des questions sur la biodiversité et sur la présence d'espèces rares qui pourraient être cruciales pour la mise en œuvre de politiques et la gestion d'activités humaines qui en découlent.

Toutes ces limites affectent la qualité de la *carte d'habitats* finale. La qualité d'une *carte* est directement liée à son adéquation à l'usage que l'on veut en faire, ainsi qu'au degré de *confiance* que l'utilisateur peut avoir en elle. La qualité se mesure souvent par l'*exactitude* et la *précision* d'un produit. L'évaluation de la qualité d'une *carte* est un processus complexe mais crucial pour l'utilisateur, en particulier s'il doit prendre d'importantes décisions fondées sur cette *carte*. Le chapitre 5, *Jusqu'à quel point une carte est-elle bonne ?*, décrit le processus d'évaluation de la qualité d'une *carte*. Les partenaires du projet MESH ont élaboré un canevas d'évaluation de la *fiabilité* d'une *carte d'habitats*, accompagné d'un outil Web qui permet d'afficher le résultat de cette évaluation sur le site cartographique de MESH. L'élaboration d'un tel canevas d'évaluation constitue une première.



Carte représentant des emprises de carte des *habitats*, avec le degré de fiabilité du rendu cartographique déterminé à l'aide de l'outil d'évaluation du projet MESH

Un programme de *cartographie des habitats* consiste à recueillir une énorme quantité de données, qui sont au bout du compte résumées dans une *carte d'habitats*. Certaines de ces données sont des produits *intermédiaires* du processus qui aboutit à la production de la *carte*. Cependant, une partie de l'*information* enregistrée ne peut pas figurer sous forme de *polygones d'habitat* sur la *carte* finale : par exemple, les noms des espèces animales et végétales prélevées ou observées ne font pas partie de la description des *habitats*. Cette *information* n'est toutefois pas perdue, et certains aspects importants (comme la présence d'une espèce rare) peuvent au besoin figurer sur une *carte* sous une autre forme. Il est essentiel de conserver dans une base de données toute l'*information* enregistrée à chaque étape du processus de *cartographie des habitats*, afin qu'elle ne soit pas perdue et qu'elle puisse se prêter à d'autres analyses et représentations, en particulier à une date ultérieure.

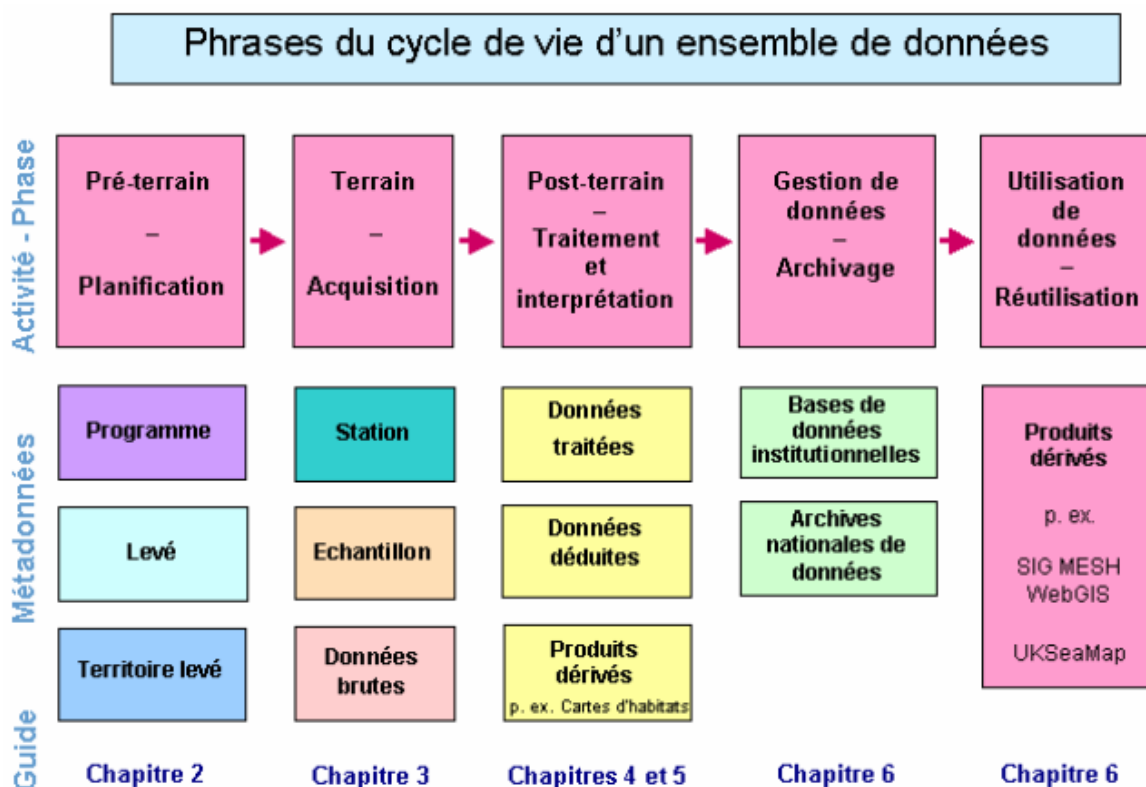
1.7 - Gestion des données

Les programmes de *cartographie des habitats* produisent des volumes considérables de données ; il est donc extrêmement important de mettre en place de bonnes pratiques de gestion des données, afin de décrire comment les données ont été acquises et traitées, et comment les *cartes* résultantes ont été réalisées. On appelle *métadonnées* l'*information* qui décrit les données. Une gestion médiocre peut entraîner la perte de données précieuses (parce qu'elles ne sont pas correctement archivées) ou leur transmission sans documentation suffisante pour que leurs destinataires puissent connaître la qualité et les éventuelles limites de ces données.

Chaque programme comprend typiquement des données d'origines différentes (données de télédétection et données de terrain), qui peuvent parfois être très volumineuses (p. ex. données de sondeurs multifaisceaux). Une saine gestion des données est donc extrêmement importante afin d'en assurer le suivi depuis l'acquisition jusqu'à l'archivage, en passant par toutes les étapes de traitement. Les partenaires du projet MESH ont mis au point un *modèle* de gestion soutenu par une base de données contenant toutes les

métadonnées pertinentes ; un canevas de la base de données est disponible et téléchargeable (voir le [fichier MetadataDataModel_v5.xls](#)). Cette base de données est conforme aux normes internationales en matière de *métadonnées* et offre aux utilisateurs des rapports qui leur permettent d'exporter des données au format approprié, afin de les transmettre à des centres d'archives ou de contribuer à des catalogues internationaux de *métadonnées*. L'équipe du projet MESH fournit également des formats d'échange (voir le chapitre 6 : *Que peut-on faire avec une carte ?*) afin que les utilisateurs puissent conserver leurs données dans un format simple facilement compatible avec d'autres activités d'acquisition de données. La gestion des données doit donc être prise en considération au cours de la phase de planification d'un programme de *cartographie des habitats*.

Tout programme de *cartographie des habitats* comporte un certain nombre de phases : planification initiale, levés proprement dits, traitement et *interprétation* des données, production des *cartes* finales. Tout au long de ce processus, il faut ajouter des *métadonnées* qui documentent les données à mesure qu'elles franchissent les différentes étapes. Souvent, les données d'un levé ont une vie propre au-delà de la production de *cartes* : elles aboutissent à différents endroits (organismes, bases de données, portails Web) et peuvent servir à d'autres études. Il est important que toutes les *métadonnées* (pertinentes) accompagnent les données dans leur périple d'une étape et d'un endroit à l'autre.



Phases du cycle de vie d'un ensemble de données, et leurs liens avec des éléments de l'organisation de levés et des chapitres du *Guide MESH*

La figure ci-dessus résume différentes phases du cycle de vie d'un ensemble de données. Les deux premières phases (pré-terrain et terrain) sont liées aux niveaux du *modèle* d'organisation de levés (voir le chapitre 3 « Comment se fait l'acquisition des données ? »), et chaque phase renvoie au chapitre correspondant du *Guide MESH*. Ce chapitre présente plus en détail les relations entre les phases, le *modèle* de levés, le traitement ultérieur des données, ainsi que leur archivage et leur réutilisation (voir aussi le [fichier MetadataDataModel_v5.xls](#)). Dans le classeur [MetadataDataModel_v5.xls](#), les échantillons recueillis au cours d'une campagne de levés (p. ex. vidéo réalisée à l'aide

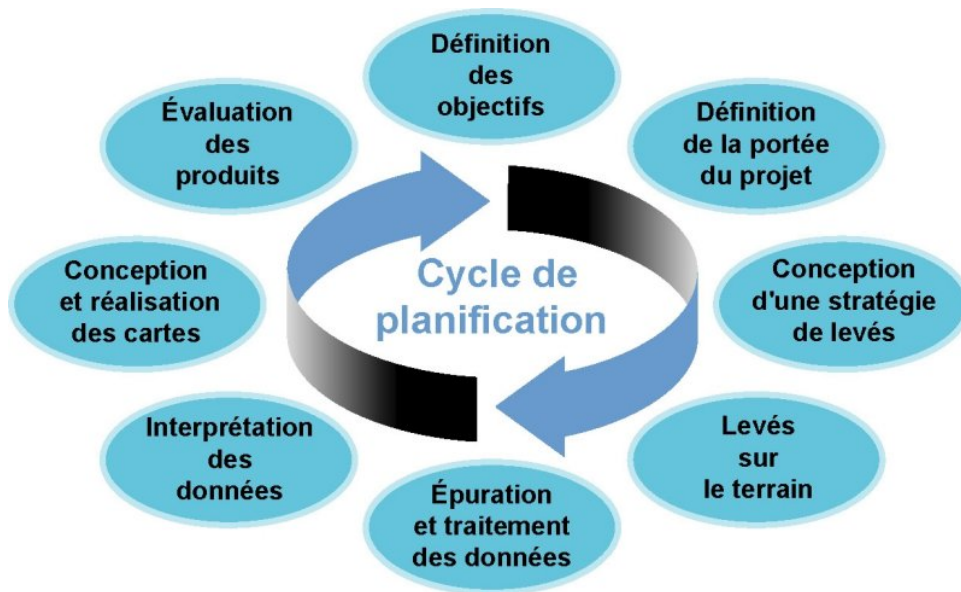
d'un système de prise de vue remorqué) sont reliés à d'autres données acquises à la même station et lors du même levé, ainsi qu'à d'autres échantillons semblables lors du traitement consécutif aux levés, puis archivés, versés dans des bases de données nationales et utilisés dans d'autres études.

1.8 - Comment planifie-t-on la cartographie des habitats ?

Toute *carte* doit être adaptée aux objectifs visés. Les planificateurs doivent avoir une idée claire de l'échelle, de la *résolution* et du niveau de détail des *habitats* sur les *cartes* à produire. Ils doivent aussi savoir comment les *cartes* seront évaluées au regard de la finalité et des objectifs initiaux du programme, afin qu'elles répondent aux normes d'assurance qualité. La planification d'un programme de *cartographie des habitats* comporte la prise en considération de chacune des étapes du processus, afin d'assurer que toute *l'information* nécessaire soit recueillie en vue de l'évaluation des *cartes* finales.

Après une définition claire des besoins en matière de *cartes d'habitats*, la planification du processus de *cartographie* commence par la définition de buts et d'objectifs réalistes afin que les *cartes* produites soient adaptées à leur finalité. Il faut procéder dès le départ à une évaluation de *l'information* disponible (qui peut exiger une courte étude au bureau) afin d'établir clairement comment acquérir les données nécessaires. Si l'on se rend compte que les données voulues sont déjà disponibles, on peut suggérer un projet au bureau pour produire les *cartes d'habitats* à partir de *l'interprétation* et de la synthèse de données existantes. Par contre, s'il manque des données essentielles sur les *habitats*, à l'échelle et au niveau de *fiabilité* requis, il faut commander de nouveaux levés. Il faut alors planifier une campagne de levés, choisir les techniques et les stratégies à déployer pour acquérir les données appropriées, en fonction des *cartes* voulues et des objectifs fixés. L'étape suivante de la planification doit porter sur l'analyse, *l'interprétation* et la *cartographie* des données. Idéalement, le plan devrait comprendre un organigramme montrant le type de données nécessaires à chaque étape du processus. Enfin, les planificateurs doivent penser au type d'évaluation requis à la fin du processus, afin d'assurer la disponibilité des données appropriées ; par exemple, si une évaluation statistique de *l'exactitude* est requise, la campagne de levés devra comprendre l'acquisition de données de terrain indépendantes à des fins de validation. La figure ci-après résume le cycle de planification d'un programme de *cartographie des habitats*.

Il est important d'avoir dès la phase de planification un bon aperçu de l'ensemble du programme, afin d'assurer l'acquisition de toutes les données et de toute *l'information* nécessaires. La planification consistera probablement à passer en revue de manière itérative chacune des principales étapes de processus de *cartographie*, jusqu'à l'obtention d'un plan clair et définitif, avant de procéder à la phase de levés sur le terrain ou directement à la phase de production des *cartes* si les données requises sont déjà disponibles.



Cycle de planification d'un programme de cartographie des *habitats*

1.9 - Conclusion

En conclusion la *cartographie des habitats* est un processus dont le résultat final est une *carte d'habitats* répondant à des besoins précis et clairement définis.

Une *carte d'habitats* :

- fournit de l'*information* dans un but précis ;
- prédit la répartition des *habitats* ;
- applique une *typologie* des *habitats* aux données observées ;
- exige une planification complète et une définition précise de sa portée, afin de s'assurer qu'elle corresponde aux objectifs énoncés.

Une *carte d'habitats* n'est pas :

- définitive ;
- simple ou simpliste.

Les prochains chapitres portent sur les différentes étapes du processus de *cartographie des habitats*.

Plus d'information....

Documents :

Les ressources documentaires en anglais concernant ce chapitre sont disponibles à l'adresse internet suivante : <http://www.searchmesh.net/Default.aspx?page=1623>

Bibliographie : (non référencée dans le texte)

Connor, D. W., J. H. Allen, N. Golding, K. L. Howell, L. M. Lieberknecht, K. O. Northen, and J. B. Reker. 2004. *The national marine habitat classification for Britain and Ireland. Version 04.05*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, UK (Internet version: www.jncc.gov.uk/MarineHabitatClassification).

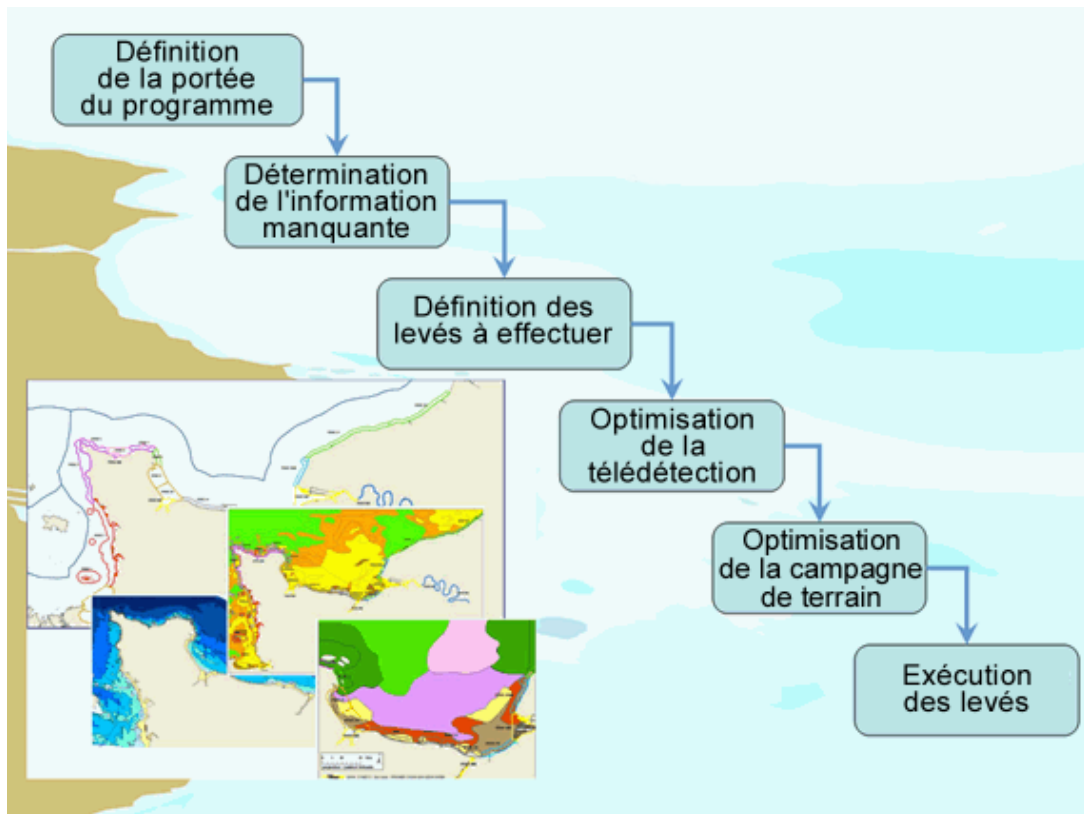
Connor, D.W., Gilliland, P.M., Golding, N, Robinson, P., Todd, D., & Verling, E. 2006. *UKSeaMap: the mapping of seabed and water column features of UK seas*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.

European Environment Agency. 2004. *EUNIS habitat classification, version 200410* (internet application: <http://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp>). European Environment Agency, Copenhagen.

ICES Working Group on Marine *Habitat* Mapping. 2006. *Report of the Working Group on marine Habitat Mapping (2006). 4-7 April, 2006, Galway, Ireland*. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen.

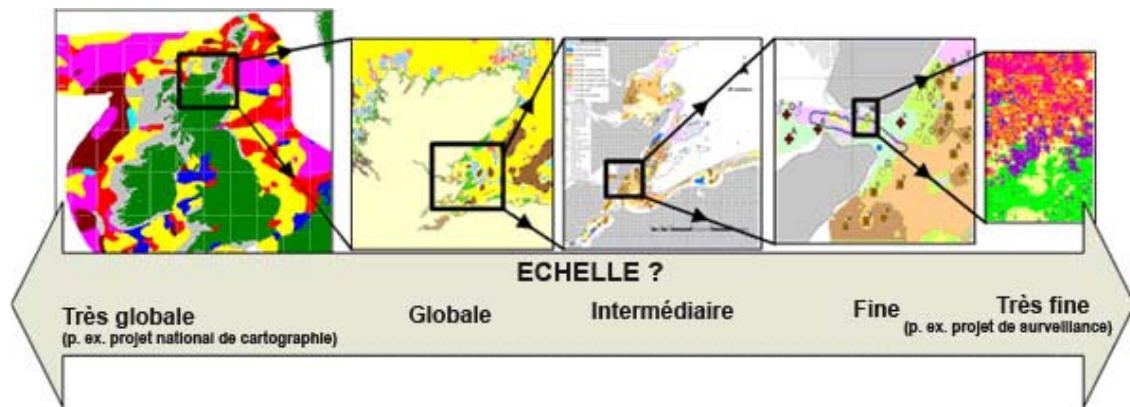
2 - Que veut-on cartographier ?

Ce chapitre vise à guider les utilisateurs dans les étapes de la planification d'un programme de *cartographie*, afin d'assurer que les produits finaux soient adaptés aux objectifs et qu'ils donnent l'*information* requise. Comme le processus de *cartographie* peut être très complexe, il est important de tenir, au cours de la phase de planification, des consultations adéquates entre les utilisateurs, les bailleurs de fonds et les producteurs de *cartes*, afin que chacun comprenne la portée du programme et les options qui se présentent pour la réalisation du travail. Pour faciliter la planification et les consultations, nous avons subdivisé le processus de planification en une suite d'étapes décrites une à une dans les sections qui suivent.



2.1 - Définition de la portée du programme

Cette étape vise à définir la finalité et les objectifs du programme de *cartographie*, afin que l'on sache exactement ce que l'on veut accomplir et pourquoi. Cette définition servira de référence pour toutes les autres étapes de la planification et déterminera avec *précision* ce que les *cartes* finales doivent (ou ne doivent pas) contenir. Il incombe à ceux qui sont à l'origine d'un programme de *cartographie* de faire connaître très clairement leurs exigences et de s'engager à fond dans la planification du programme et la définition de sa portée. Le rapport sur la portée du programme, qui résulte de cette étape, devrait être distribué aux bailleurs de fonds, gestionnaires, opérateurs de terrain et cartographes participant au programme, et pourrait faire partie d'un cahier des charges contractuel.



Échelle et utilisation d'une carte

Il y a généralement une relation inverse entre le contenu en *information* (détail et *limite de résolution*) d'une *carte* et le territoire qu'elle couvre. Les *cartes* qui représentent une vaste région contiennent habituellement une *information* généralisée, alors que celles qui couvrent une zone peu étendue contiennent ordinairement beaucoup de détails. On parle communément de *cartes à échelle globale* et à *échelle fine* respectivement, les *cartes à échelle intermédiaire* se situant quelque part entre les deux.

Les échelles très globales sont plus susceptibles de correspondre à des programmes nationaux, et les échelles très fines à des levés spéciaux visant des biotes ou des paramètres d'*habitat* particuliers à des fins de *surveillance*. La plupart des activités de gestion de l'environnement et de planification de l'espace marin requièrent un assortiment de *cartes d'habitats* situés entre ces deux extrêmes. La réalisation de *cartes à échelle globale, intermédiaire et fine* suppose des approches quelque peu différentes et constitue des éléments distincts au sein d'un programme de *cartographie* ou d'une campagne de levés, de sorte qu'il faut définir la portée du programme séparément pour chaque échelle.

Le processus de définition de la portée du programme a pour effet de déterminer le territoire à cartographier (étendue), l'échelle (p. ex. 1/250 000), la *limite de résolution* (*plus petite unité cartographique*), la *précision* spatiale (p. ex. ± 50 m) et le degré d'*exactitude* des *cartes*, ainsi que le niveau de détail de *classification* des *habitats*. Il faut souvent faire un compromis quant à l'*exactitude* d'une *carte* (mesurée par le taux de succès à prédire la présence d'un *habitat* à un endroit donné), qui peut être plus grande à condition de décrire les *habitats* de manière plus générale, donc moins précise (p. ex. au niveau 3 plutôt que 4 de la *typologie* EUNIS).

Dans tout le processus de définition de la portée d'un programme, on emploie souvent les termes site, secteur et région pour exprimer différentes étendues de territoire, mais le manque de définition de ces termes peut conduire à des malentendus au cours des consultations et de la planification. MESH propose donc les définitions ci-dessous et les inscrit dans une hiérarchie spatiale illustrée dans la figure ci-après. Un site est normalement un lieu précis d'intérêt, par exemple une plage ou une structure en mer (p. ex. une zone de rejet) dont l'étendue peut atteindre $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ (en général, aire comprise entre 1 et 100 km^2). Un secteur est normalement plus grand qu'un site et a un certain contexte géographique local comme un estuaire ou un archipel, ou une structure étendue en mer comme le banc de sable Dogger Bank ou le mont sous-marin Anton Dohrn. Son étendue peut atteindre $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ (en général, aire comprise entre 100 et $10\,000 \text{ km}^2$). Une région est une entité écologique encore plus grande, comme la Manche orientale ou la mer d'Irlande, d'une aire normalement supérieure à $10\,000 \text{ km}^2$. Ces définitions ne prétendent pas constituer des démarcations précises, mais plutôt une aide à la conceptualisation de différentes étendues de territoire pour des programmes de *cartographie*. Ainsi, on envisagera la création de *cartes à échelle globale* pour résumer l'*information* portant sur une région ou un secteur, de *cartes à échelle intermédiaire* pour donner un certain niveau de détails sur la répartition des *habitats* dans un secteur ou un

grand site, et de *cartes à échelle fine* pour donner une *information* détaillée sur la variété et l'emplacement des *habitats* présents dans un site.

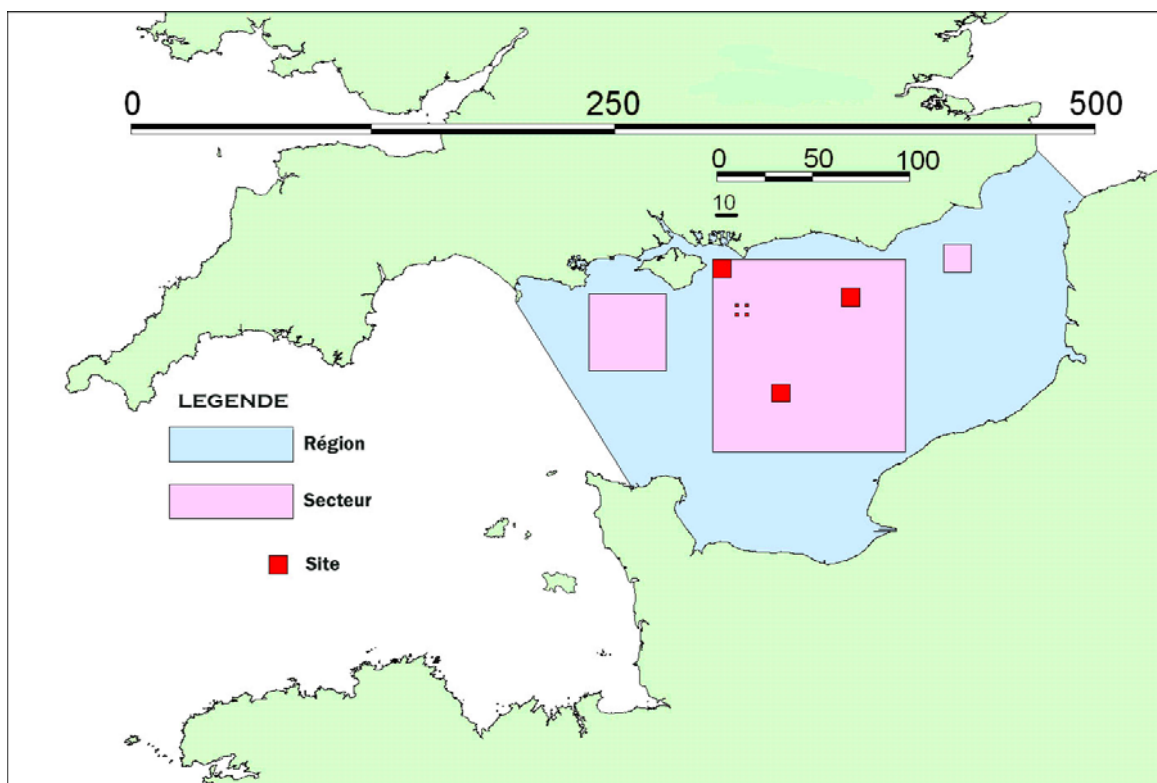


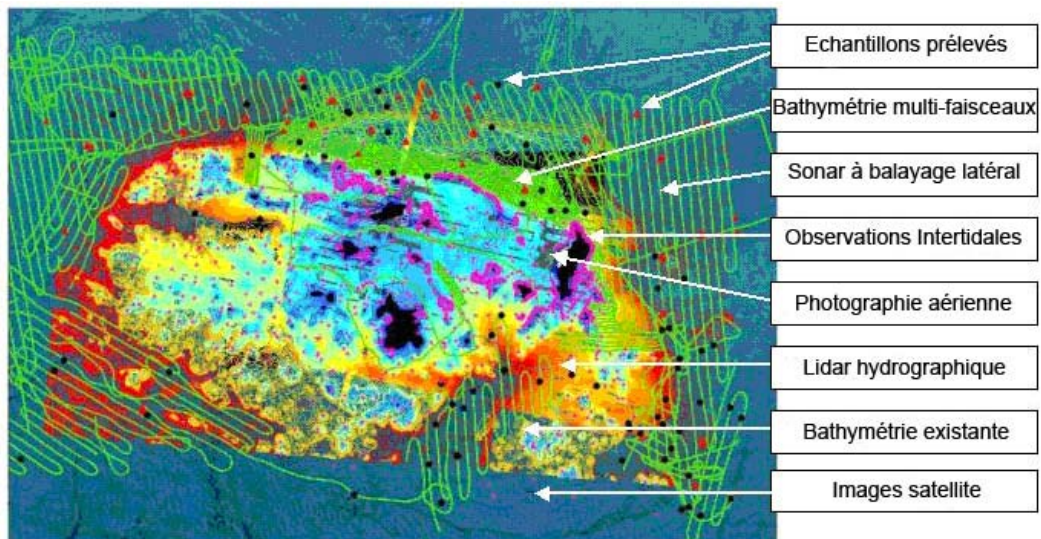
Illustration des termes *site*, *secteur* et *région* employés dans le *Guide MESH* pour désigner différentes étendues de territoire (voir le texte). On montre ici la mer régionale correspondant à la Manche orientale (telle que définie dans MESH), ainsi qu'un certain nombre de secteurs et de sites de différentes tailles.

La présente section vous guide dans le processus de définition de la portée d'un programme de *cartographie*, en résumant les points à considérer et à documenter dans un bref « Rapport sur la portée du programme ». Pour faciliter la prise de décisions, un outil interactif de « Définition de la portée du programme » est fourni sous forme d'une animation Flash^{MD}, pour vous permettre de tester et d'évaluer divers scénarios avant de compléter le rapport sur la portée du programme. Ces outils sont accessibles sur le site Internet de MESH.

2.2 - Détermination de l'information manquante

L'étape de définition de la portée du programme donne une indication des types d'*information* à présenter dans les *cartes*. La prochaine étape du processus de planification consiste à évaluer quelles données sont nécessaires pour obtenir cette *information* et jusqu'à quel point ces données sont déjà disponibles à un niveau de qualité adéquat. Les lacunes (données manquantes ou non satisfaisantes) devront être comblées par de nouveaux levés ou par l'utilisation de modèles. Une analyse exhaustive de l'existant afin de déterminer l'*information* manquante peut s'avérer cruciale pour connaître le coût total du programme de *cartographie* et la *fiabilité* que l'on pourra attendre des *cartes* finales produites.

Une *carte d'habitats* constitue une *interprétation* d'un ensemble composite de données, dont certaines résultent de mesures ou d'observations directes, alors que d'autres peuvent être déduites d'un *modèle* (p. ex. prévisions des marées).



Exemple de *couches* multiples de données utilisées pour réaliser une *carte* de l'archipel de Glénan, en Bretagne

Les besoins du programme en matière de données dépendent principalement des critères employés pour distinguer les *habitats*. Les typologies ne font pas toutes appel aux mêmes critères, et il faut comprendre dès le départ quelles données sont requises selon la *typologie* retenue. Les typologies hiérarchiques telles qu'EUNIS utilisent des critères différents selon le niveau de la hiérarchie, de sorte que certaines données sont fondamentales quel que soit le niveau de la hiérarchie (p. ex. pour les *cartes* à *échelle globale*), alors que d'autres ne sont nécessaires qu'aux niveaux détaillés (pour les *cartes* à *échelle fine*).

L'*analyse de l'existant* se fait au bureau et doit consister en une évaluation critique de la disponibilité, de la qualité, du *degré de couverture* et de la compatibilité des données existantes. En effet, l'intégrité des *cartes* risque d'être gravement compromise si l'un de ces éléments est jugé adéquat alors que ce n'est pas le cas en réalité. Cette évaluation se fait à l'aide de catalogues modernes de *métadonnées*, comme celui fourni par le projet MESH, qui indiquent en détail quelles données ont été acquises, à quel moment, à quel endroit, de quelle manière, pour quelles raisons (quoi ? quand ? où ? comment ? pourquoi ?) et, élément important, qui en est propriétaire.

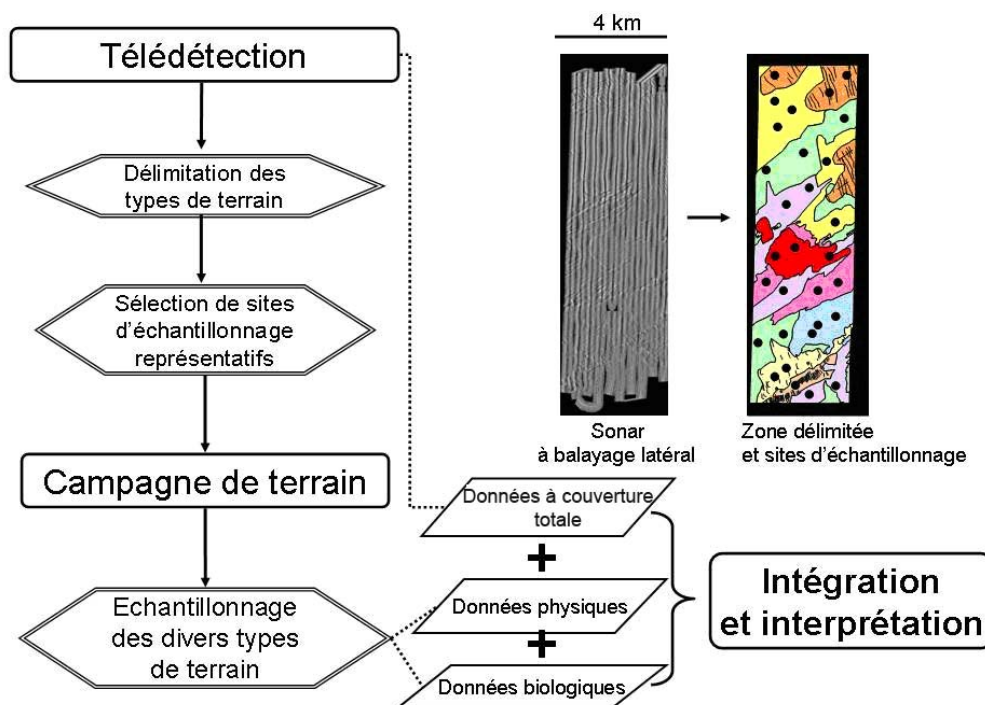
Des *cartes* existantes peuvent servir d'*intermédiaires* valables pour certains types d'*information*, mais il faut procéder à des vérifications afin de comprendre dans quelle mesure ces interprétations de données antérieures sont applicables à la réalisation de nouvelles *cartes d'habitats*. Il faut examiner attentivement les données antérieures elles-mêmes afin de s'assurer qu'elles répondent aux besoins du programme de *cartographie* en cours.

Le *Guide MESH* aborde ces questions en profondeur et fournit un tableau sommaire servant à consigner les résultats de l'*analyse de l'existant*. Cela permet de mettre en évidence les données manquantes et d'indiquer les données qui doivent être acquises au cours de nouveaux levés ou déduites par modélisation.

2.3 - Définition des levés à effectuer

Si l'*analyse de l'existant* montre le besoin d'acquérir des données par de nouveaux levés, la prochaine étape du processus de planification consiste à établir un cahier des charges des levés en question. Il faut pour cela avoir certaines connaissances sur les différentes stratégies de réalisation des levés et sur les outils d'échantillonnage disponibles.

D'une manière générale, la réalisation de levés fait intervenir la télédétection et des techniques d'échantillonnage direct. Les moyens de télédétection assurent une couverture d'une zone d'un littoral ou du fond de la mer, mais employés seuls ils ne permettent habituellement pas de détecter des *habitats*. Ils permettent plutôt de subdiviser le territoire couvert en un certain nombre de zones représentant différents types de terrain. Les techniques d'échantillonnage direct fournissent les données physiques et biologiques relatives à un certain nombre de points. Ces données sont nécessaires à l'identification et à la *classification* des *habitats*. Il est possible de produire des *cartes d'habitats* seulement par échantillonnage direct, mais cela exige un programme intense d'échantillonnage pour obtenir la couverture spatiale nécessaire. Au lieu de cela, il est plus efficace et rentable d'utiliser une combinaison des deux techniques, en ciblant l'échantillonnage direct sur différents types de terrain. On obtient ainsi une couverture totale et des données de terrain stratifiées que l'on peut ensuite intégrer et interpréter pour produire une *carte*. L'équipe du projet MESH recommande le recours à la stratégie de base suivante : télédétection, puis campagne de terrain dirigée en vue d'un échantillonnage représentatif du territoire à cartographier.

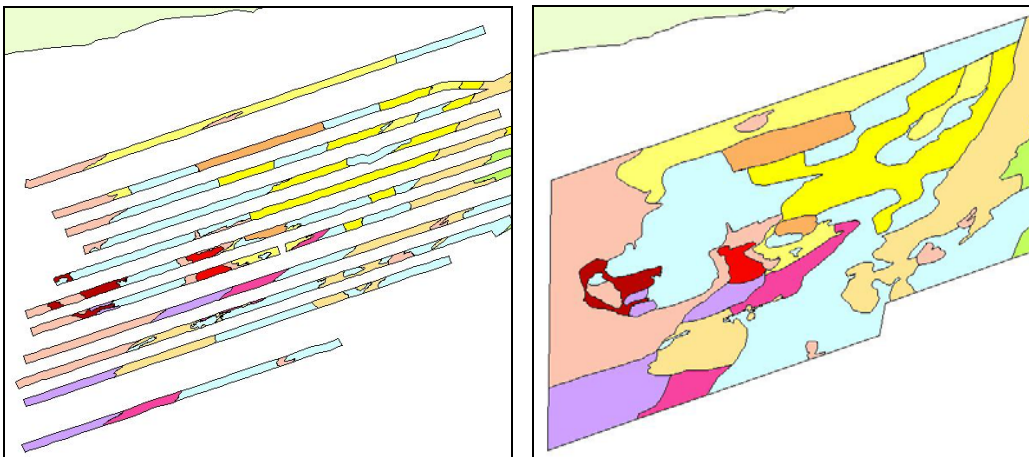


Stratégie de base de la réalisation de levés. Les données acquises par télédétection et par échantillonnage direct sur le terrain alimenteront la phase d'intégration et d'interprétation du processus de cartographie.

La télédétection et les campagnes de terrain font appel à une gamme de technologies, d'instruments et de dispositifs, dont certains fournissent plusieurs types différents de données (ou d'échantillons) alors que d'autres n'en donnent qu'un. Les techniques de télédétection optique (p. ex. imagerie satellitaire, photographie aérienne et *lidar*) sont efficaces sur le littoral et dans les eaux claires peu profondes. Les levés à bord de navires utilisent un ensemble de techniques acoustiques pour produire des images du fond. Les systèmes à haute fréquence comme les sondeurs multifaisceaux et le sonar à balayage latéral donnent des plans-images de la surface du fond, alors que les systèmes à basse fréquence (p. ex. les profileurs du sous-sol du fond) pénètrent le fond et donnent des profils des *couches* de sédiments et des strates rocheuses. Les campagnes de terrain menées sur le littoral favorisent l'observation directe, alors que celles menées à bord de navires reposent plutôt sur des prélèvements à la benne, des chaluts et l'observation à

distance (caméras vidéo et appareils photographiques). La méthode de levé dépend de la combinaison d'outils et de techniques choisie (ou disponible). Nous résumons les capacités et les limites de diverses catégories de techniques de télédétection et de travail de terrain. L'outil interactif de définition de la portée du programme permet à l'utilisateur de voir le degré d'adéquation de ces techniques sous différentes conditions du milieu. Le chapitre 3 suggère des lignes directrices concernant l'exploitation des divers outils d'échantillonnage.

Cette étape du processus de planification devrait porter sur la stratégie de réalisation des levés, en tant que plan d'action général visant à répondre aux besoins. Il faut définir le type et la quantité de télédétection nécessaires. Grâce à leur rapidité, les techniques aériennes permettent habituellement de couvrir entièrement le littoral et les zones intertidales de petit fond. Par contre, les levés à partir de navires sont souvent limités par des considérations de temps et de coûts, de sorte qu'il faut choisir entre une couverture totale d'une petite zone ou une couverture partielle d'un plus grand territoire. Une couverture inférieure à 100 % se traduit automatiquement par l'incapacité à réaliser des *cartes* à haute *résolution*, mais on peut produire des *cartes* à *résolution* plus faible avec divers degrés de *fiabilité*, à l'aide de techniques d'*interpolation* ou de levés à couverture partielle. Une stratégie de levés « imbriqués » combine une couverture partielle d'un grand territoire et une couverture plus détaillée de certaines zones présentant un intérêt particulier.



Exemple de levé à couverture partielle (à gauche) et de carte produite par interpolation (à droite). Le territoire faisant l'objet du levé a une largeur d'environ 20 km.

La stratégie de la campagne de terrain dépend de la finalité de la *carte* et du niveau de *fiabilité* requis. On a le choix de prélever un ou plusieurs échantillons de chaque zone distincte vue par télédétection ou seulement de chaque type de terrain. On peut également avoir besoin de stratifier davantage l'échantillonnage pour tenir compte de facteurs écologiques, par exemple le cycle d'immersion et d'émersion des estrans ou la profondeur et le gradient de turbidité en eau profonde.

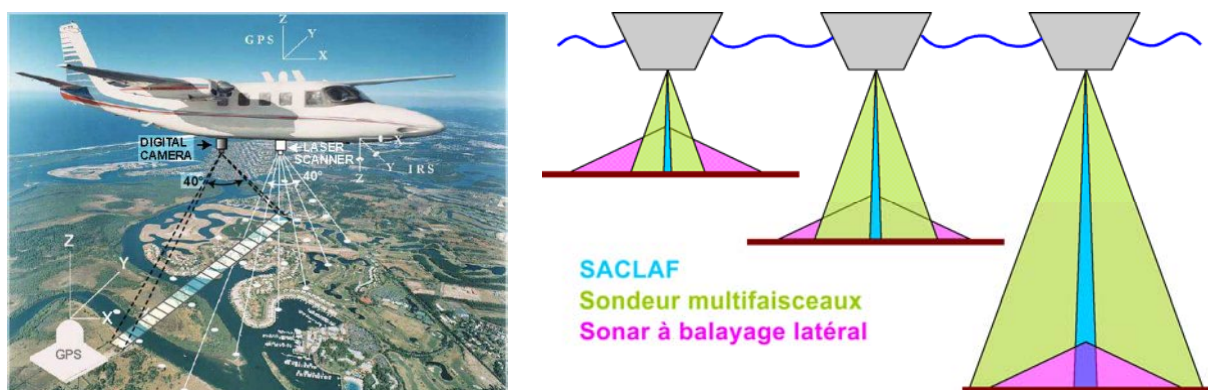
Le résultat de cette étape du processus de planification devrait être un « Cahier des charges des levés » décrivant en détail les objectifs des levés et donnant les grandes lignes des stratégies et de l'ordonnancement du travail. Le cahier des charges doit être suffisamment détaillé pour permettre à ceux qui proposent les levés d'en faire une estimation des coûts en vue de solliciter un financement ou de lancer des appels d'offres. Le plan de campagne détaillé des levés fait généralement l'objet d'un accord à un stade ultérieur et peut contenir des éléments assujettis aux résultats des premières phases des travaux. Une fois le financement assuré et un accord sur la portée du travail conclu, il est courant de revoir en détail la campagne de télédétection et la campagne de terrain pour s'assurer que la conception des levés répond de manière optimale aux objectifs du programme.

2.4 - Optimisation de la télédétection

Plusieurs plans de campagne ont pu être envisagés au cours de l'élaboration du cahier des charges des levés, mais l'optimisation du plan de campagne ne peut commencer sérieusement qu'après un accord sur les objectifs et la stratégie des levés. Le but recherché est une utilisation optimale des ressources disponibles afin de maximiser l'efficacité et la rentabilité des levés. Il faut évidemment être au courant du résultat des étapes précédentes de la planification du programme, notamment le rapport sur l'*analyse de l'existant*.

Dans le cas des levés par télédétection, l'emploi simultané de plusieurs instruments différents optimise l'utilisation de l'avion ou du navire en éliminant le besoin de répéter les mêmes trajets pour chaque instrument. Par contre, comme les conditions optimales de fonctionnement (p. ex. vitesse, altitude, profondeur) ne sont pas les mêmes pour tous les instruments, il faut veiller à concevoir le plan de campagne de manière à favoriser l'instrument le « plus important » (ou principal) tout en permettant aux autres instruments de fournir des données de qualité acceptable. Le cahier des charges des levés déterminera probablement l'instrument principal.

Les levés par télédétection à couverture totale sont généralement effectués en une suite de fauchées parallèles qui construisent une mosaïque du sol ou du fond de la mer. L'espacement entre les fauchées dépend de la *largeur de fauchée* (largeur de terrain couverte par l'instrument), qui dépend à son tour du type d'instrument et de l'altitude au-dessus du sol ou du fond. Certains instruments autorisent un réglage de la *largeur de fauchée*, une fauchée plus étroite donnant généralement une meilleure *résolution*. L'espacement optimal pour obtenir une couverture totale dépend donc des caractéristiques de l'instrument principal et du territoire levé. Dans le cas des instruments de coque, la *largeur de fauchée* augmente avec la profondeur du fond, de sorte que l'espacement entre les fauchées doit être plus petit en zone de petit fond que pour des eaux plus profondes. Ce n'est pas le cas pour des instruments remorqués (ou en vol) à une altitude fixe au-dessus du fond de la mer. Il peut en outre y avoir une orientation optimale des fauchées, par exemple perpendiculaire à la direction d'une pente importante afin de maintenir une largeur constante pour une fauchée donnée.



A gauche, levé aéroporté combiné lidar et photographie (image gracieuseté de Terra Imaging), à droite effet d'une augmentation de la profondeur de l'eau sur la largeur de fauchée de systèmes acoustiques de coque (sondeur multifaisceaux et SACLAF) et remorqués (sonar à balayage latéral).

Les levés de zones de petit fond peuvent faire appel à un mélange de techniques optiques (aéroportées) et acoustiques (sur navire), afin de minimiser les limites dues aux difficultés de pénétration dans l'eau (techniques optiques) et de navigation en eau peu profonde. Des eaux troubles et peu profondes sont susceptibles de poser des problèmes à la fois aux techniques optiques et acoustiques.

Cette étape de la planification doit résulter en une ébauche de plan de campagne de télédétection, dont la faisabilité opérationnelle sera vérifiée par les opérateurs (examen des plans de vol et de navigation, dangers de navigation, etc.).

2.5 - Optimisation de la campagne de terrain

Le rôle de la campagne de terrain est d'échantillonner les composantes physique et biologique d'un type de terrain, en vue de sa caractérisation en tant qu'*habitat*. Lorsque l'on utilise une *typologie* existante (*classification* descendante), il est important de noter les paramètres pertinents de cette *typologie*, afin de pouvoir faire la correspondance entre les échantillons ou les observations et la définition de l'*habitat* approprié. Si une *typologie* existante est non disponible ou non nécessaire, il faut noter un ensemble de paramètres physiques et biologiques de manière constante sur tout le territoire levé, afin de permettre la détermination des classes d'*habitat*, généralement à l'aide d'une analyse statistique (*classification* ascendante).

L'optimisation de la campagne de terrain consiste à choisir les bonnes méthodes d'échantillonnage et à orienter leur mise en œuvre afin d'obtenir des échantillons représentatifs de l'ensemble des types de terrain présents sur le territoire à lever. Le choix des sites d'échantillonnage est guidé par les connaissances acquises lors des levés par télédétection. Une campagne de terrain ainsi « orientée », utilise les ressources d'une manière plus efficace qu'un simple choix au hasard des sites d'échantillonnage.

Des observateurs humains entraînés sont de puissants « outils » d'une campagne de terrain, en raison de leur capacité à reconnaître et à classifier visuellement les *habitats*. Lorsqu'ils ont accès au territoire à lever, par exemple sur un littoral ou en plongée, ils peuvent l'explorer de manière intelligente, en prenant constamment des « échantillons visuels », et en orientant les efforts de prélèvement là où ils sont les plus nécessaires. Leurs compétences peuvent aussi être exploitées utilement en eau profonde, par l'utilisation de caméras vidéo ou d'appareils photographiques et le pilotage de véhicules téléguidés.

En eau profonde, la connaissance de ce qu'il y a en réalité au fond de la mer repose sur l'utilisation d'une variété de dispositifs de prélèvement. Ce sont généralement des bennes et des carottiers pour les sédiments et l'*endofaune*, des chaluts et des dragues pour l'*épifaune*. Les observateurs humains ont aussi leur place grâce à l'utilisation d'appareils photographiques et de caméras fixés sur un traîneau remorqué ou de caméras fixées sur un bâti vertical, ou encore de véhicules téléguidés, mais cela ne permet de voir que l'*épifaune* et la surface des substrats. Il faut une combinaison de ces méthodes de prélèvement et d'observation pour obtenir toute l'*information* nécessaire à la *classification* des *habitats*.



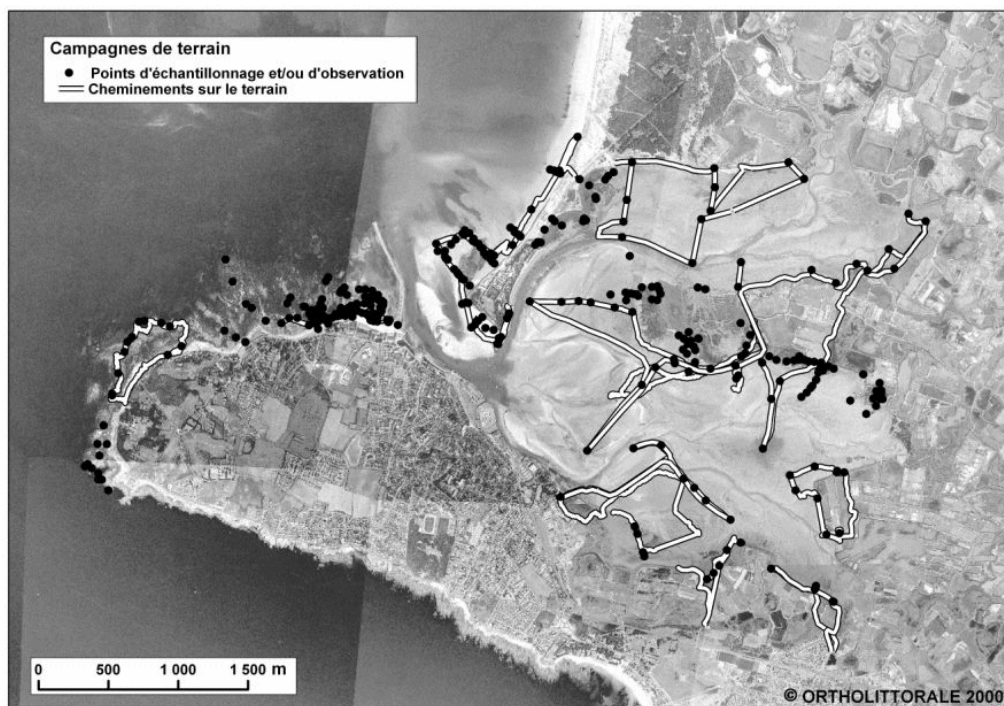
Quelques méthodes de prélèvement sur le terrain

Que les levés sur le terrain soient effectués à bord d'un navire ou sur le littoral, il faut utiliser l'*information* obtenue par télédétection pour choisir les sites de prélèvement (lieux

définis de manière générale), mais la méthode de détermination des stations de prélèvement (points définis de manière précise) est variable. Dans le cas de levés effectués à bord d'un navire, une bonne méthode consiste à planifier une série de stations et à spécifier les appareils à utiliser pour chacune, afin de tracer un trajet optimal du navire et d'arriver à chaque station en étant prêt à utiliser l'appareil. Le choix des stations de prélèvement cible des structures précises révélées par la télédétection ou désigne un lieu quelconque d'un type donné de terrain. Les mêmes principes sont applicables aux prélèvements sur le littoral ou en plongée : on indique à une personne où aller pour prélever un échantillon ; mais on peut faire mieux en laissant à l'observateur une certaine latitude pour raffiner les prélèvements en fonction de son évaluation visuelle du site. L'observateur décide alors des types et du nombre d'échantillons à prélever, ainsi que du lieu précis des prélèvements. Dans le cas particulier d'une *classification* descendante, il peut décider qu'il n'y a pas besoin de faire de prélèvement si un *habitat* est clairement identifiable par observation directe.

Il est important que les prélèvements soient représentatifs plutôt qu'exhaustifs, car il est facile de se surcharger d'échantillons qu'il est ensuite long et coûteux de traiter, d'analyser et d'interpréter. Pour que les échantillons soient représentatifs, il faut faire appel aux techniques appropriées d'échantillonnage sur chaque type de terrain, mais une stratification supplémentaire peut également être nécessaire pour couvrir les zones écologiques (p. ex. selon la profondeur, la salinité et la turbidité) dont on sait qu'elles ont une influence sur la répartition des espèces.

Il faut fixer des exigences minimales d'échantillonnage, en fonction du degré d'*exactitude* et de *fiabilité* de la *classification* requis dans les *cartes* finales. Un échantillon unique de chaque type de terrain suppose que ce dernier est homogène, alors que des réplicats permettent une certaine évaluation de la *variabilité* entre les strates (type de terrain + zone écologique) d'échantillonnage et au sein de ces strates. Le nombre de réplicats est déterminé par une règle *empirique*, par l'avis d'experts ou par une évaluation formelle liée à l'*hétérogénéité* ou à l'*homogénéité* du terrain perçue par un instrument de télédétection (« modèle d'allocation optimale »).



Stations et profils d'échantillonnage d'une campagne de terrain en Bretagne

Dans bien des cas, il faudra mettre en réserve une fraction des échantillons prélevés sur le terrain afin de tester l'*exactitude* des *cartes* produites. Il faut tenir compte de ces échantillons de validation dans le cahier des charges de la campagne de terrain.

L'optimisation de la campagne de terrain est souvent un processus itératif qui doit conserver une certaine souplesse. Une ébauche du plan de campagne peut être remise aux opérateurs de terrain pour qu'ils en vérifient la faisabilité opérationnelle (accès aux sites, dangers de navigation, santé et sécurité au travail, etc.). Par contre, les détails du plan de campagne dépendent souvent des résultats de la télédétection et des conditions qui prévalent sur le terrain au moment de l'échantillonnage.

2.6 - Exécution des levés

Le résultat du processus de planification répond de manière claire aux questions suivantes :

- que veut-on cartographier ? (finalité du programme, dans le rapport sur la portée du programme) ;
- pourquoi veut-on cartographier cela ? (objectifs du programme, dans le rapport sur la portée du programme) ;
- où a-t-on besoin de nouvelles données ? (*analyse de l'existant*) ;
- quelles campagnes de terrain sont nécessaires pour acquérir ces données ? (programme de levés, stratégie et cahier des charges des levés, choix des outils).

Cette *information* permet de préparer le travail de terrain, et notamment de dresser la liste de l'équipement nécessaire, sans oublier des pièces et appareils de rechange en nombre suffisant pour faire face aux éventuelles pannes.

Pour assurer la qualité des données acquises, la manipulation des appareils sur le terrain doit respecter des procédures reconnues. Il existe de nombreux protocoles et normes de levés, qui diffèrent toutefois selon l'objectif précis des levés et qui peuvent aller au-delà ou en deçà des exigences de la *cartographie des habitats*. C'est pourquoi, au chapitre suivant, intitulé *Comment se fait l'acquisition des données ?*, nous établissons un ensemble de lignes directrices recommandées pour chacune des techniques de levé dans le contexte d'un programme de *cartographie des habitats*.

Plus d'information....

Documents :

Les ressources documentaires en anglais concernant ce chapitre sont disponibles à l'adresse internet suivante : <http://www.searchmesh.net/Default.aspx?page=1624>

Bibliographie :

Coggan, R.A. (2006) Developing a strategy for seabed mapping at different spatial scales. In Cefas 2006, Monitoring the Quality of the Marine Environment, 2003 – 2004. Scientific Series Aquatic Environment Monitoring report 58:13-34. ISSN 0142-2499

Coggan, R., Populus, J., White, J., Sheehan, K., Fitzpatrick, F. & Piel, S. (eds.) (2007). Review of Standards and Protocols for Seabed *Habitat* Mapping. MESH project document.

James, J.W.C., Coggan, R.A., Blyth-Skyrme, V.J., Morando, A., Birchenough, S.N.R, Bee, E., Limpenny, D.L., Verling, E., Vanstaen, K., Pearce, B., Johnston, C.M., Rocks, K.F., Philpott, S.L. & Rees, H.L., (2007). Eastern English Channel Marine *Habitat* Map (EECMHM). Scientific Series Technical Report, Cefas, Lowestoft, 139.

Mackie, A.S.Y., James, J.W.C., Rees, E.I.S., Darbyshire, T., Philpott, S.L., Mortimer, K. Jenkins, G.O. & A. Morando, (2006). The Outer Bristol Channel Marine *Habitat* Study. BIOMÔR Reports 4: 500 pp. Amgueddfa Cymru – National Museum Wales, Cardiff. ISBN 0-7200-0569-8.

3 - Comment se fait l'acquisition des données ?

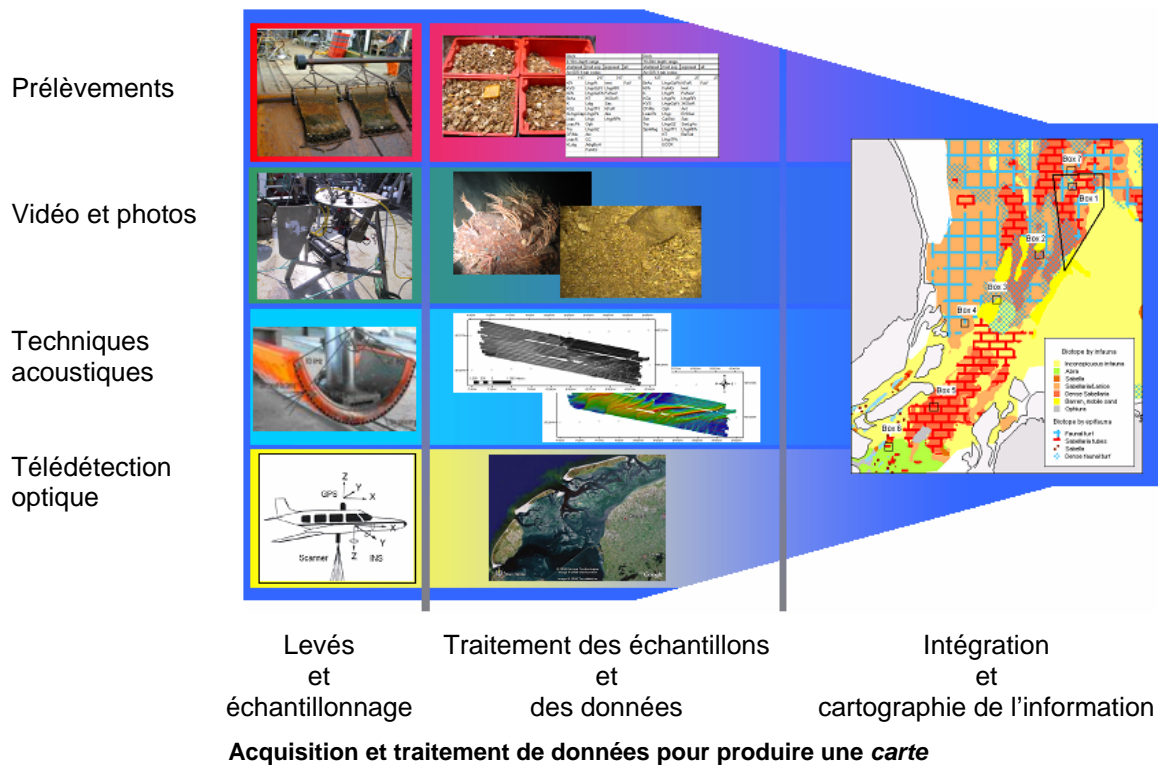
Ce chapitre explique comment l'acquisition des données doit se faire conformément à un ensemble de méthodes normalisées, afin qu'elles puissent être comparées à d'autres données, et acquises à divers moments et par différents opérateurs. Il contient des conseils pratiques sur l'acquisition et l'enregistrement des données (section sur les lignes directrices opérationnelles), sur l'utilisation conjointe de plusieurs techniques et sur le traitement des données selon des normes adéquates en vue de leur analyse et de leur *interprétation*. Après avoir choisi les méthodes de levé et établi les besoins d'échantillonnage, il faut effectuer le travail de terrain dans les meilleures conditions possibles, en tenant compte des contraintes de temps et de coût ainsi que des ressources disponibles.

De nombreux outils sont disponibles pour la *cartographie* des *habitats* benthiques : techniques acoustiques (échosondeurs), techniques de prélèvement (bennes, carottiers, dragues et chaluts), imagerie du fond (photographie et vidéo) et télédétection (satellites et photographie aérienne). Ce chapitre vise à expliquer en général comment on utilise différentes techniques pour la *cartographie* des *habitats* marins, quelles sont leurs exigences d'exploitation et comment les données sont enregistrées. De plus, ce chapitre aborde les fondements du traitement et de l'épuration grâce auxquels les données seront prêtes à être analysées et interprétées. Un renvoi est fait en fin de chapitre vers les « Lignes directrices opérationnelles » (ROGs ou « Recommended operating procedures ») disponibles sur le site web de MESH.

3.1 - Pourquoi acquérir des données de cartographie d'une manière normalisée ?

La méthode d'acquisition des données joue un rôle crucial pour l'extraction et *l'interprétation* de l'information qu'elles contiennent et pour leur représentation sur des *cartes*. Le terme « données » englobe de nombreuses formes d'information : on pense souvent à des nombres, mais ce peuvent être des descriptions, des photographies, des bandes vidéo, des images et même des échantillons physiques. Afin d'assurer que les données soient d'une qualité suffisante pour pouvoir être affichées ou imprimées d'une manière qui permette de les comprendre, de les interpréter et de les comparer avec d'autres types d'information, l'échantillonnage et les prélèvements doivent être effectués conformément à des procédures normalisées (ou lignes directrices opérationnelles).

Si une technique n'est pas utilisée de manière appropriée, elle risque de donner une information inadéquate par rapport au but visé. C'est pourquoi il faut utiliser chaque technique d'une façon prédéterminée et appropriée. Même un outil très simple comme une petite drague utilisée par-dessus bord en eau peu profonde pour recueillir des échantillons du fond peut s'avérer un puissant instrument de levé d'*habitats* benthiques si on l'utilise de manière structurée – conformément à un ensemble de règles prédéfinies.



3.2 - Compétences techniques requises pour faire des levés

Une gamme aussi vaste de techniques exige des cartographes une compréhension de nombreuses facettes de la technologie marine, des techniques de levé et des sciences. Des connaissances en biologie et géologie marines sont essentielles : taxinomie, composition des diverses *biocénoses*, matériaux benthiques, ainsi qu'une idée de l'étendue prévisible des *habitats*. Il faut aussi être familiarisé avec les opérations en mer, par exemple le fonctionnement d'une grosse benne et la manière de la déployer par-dessus bord. Il faut aussi une certaine connaissance des techniques de télédétection couramment employées en *cartographie* des *habitats*. À titre d'exemple, il faut une compréhension minimale de la physique des échosondeurs pour juger des détails des images acoustiques qu'ils donnent.

Ce chapitre expose les connaissances requises pour l'acquisition des données. Celles-ci doivent être accompagnées de registres précis sur les lieux et méthodes d'acquisition – les *métadonnées*. Ensuite, l'analyse des données exige des connaissances approfondies dans les domaines de l'épuration et du contrôle de qualité, de l'intégration des données et des applications d'analyse statistique.

Plusieurs aspects de l'acquisition et du traitement des données sont propres à chaque technique, alors que d'autres sont communs à certains groupes de techniques. Comme il y a une grande variété des techniques, il est raisonnable de donner autant que possible et en détail (sans submerger le lecteur), l'*information* nécessaire pour que chaque technique puisse être utilisée avec succès en vue de la réalisation de *cartes d'habitats*.

3.3 - Lignes directrices opérationnelles pour la cartographie des habitats

Voici les lignes directrices opérationnelles que l'on peut télécharger à partir du site Web du *Guide MESH* :

Téledétection de la zone l'intertidale et de petits fonds	Téledétection de la zone subtidale	Opérations de terrain
Image numérique aéroportée	SACLAF	Carottiers-boîtes
LIDAR	Sonar latéral	Chaluts et dragues
Image satellitale	Sondeur monofaisceau	Vidéo
Photographie aérienne	Sondeur multifaisceaux	
	Profileurs du sous-sol	
	Imagerie sismique 3D	

3.3.1 - Techniques de télédétection visible

Les techniques de télédétection constituent des méthodes de levé très avancées. L'utilisation d'images aériennes et satellitaires pleinement géoréférencées, dans le spectre visible ou non visible, est courante dans le domaine de la *cartographie des habitats* benthiques. Ces techniques sont généralement appropriées dans les zones intertidales et les petits fonds où l'eau est suffisamment claire. Le rayonnement électromagnétique est facilement absorbé par l'eau, et sa pénétration dépend de la clarté de l'eau (en général jusqu'à 10 m dans une eau claire).



Orthophotographie aérienne des Abers, dans le nord de la Bretagne. On voit l'embouchure de la ria, avec des herbiers de *Zostera*, d'aspect moucheté, et un certain nombre de hauts-fonds et d'îlots entourés d'une épaisse couche de Fuciales.

Qu'elles soient aériennes ou satellitaires, ces techniques dépendent d'une exploitation spécialisée. Les lignes directrices opérationnelles décrivent en détail les sources de données et les instruments disponibles, les moyens techniques mis en œuvre et la manière de les utiliser. En général, elles ne s'attardent pas aux détails du déploiement des moyens techniques, qui tendent à déborder de la sphère de compétence des organismes de *cartographie des habitats*. Dans le cas des techniques de photographie

aérienne numérique (capteurs multispectraux ou hyperspectraux de type Casi par exemple) ainsi que du *lidar*, des levés de territoires précis sont confiés en sous-traitance. Pour ce qui est de l'imagerie satellitaire, les données sont acquises auprès d'organismes compétents qui exploitent les systèmes et se chargent des aspects techniques.

3.3.2 - Techniques acoustiques

Les techniques acoustiques consistent en des appareils qui émettent dans la colonne d'eau de l'énergie sonore sous forme d'une suite continue d'impulsions et qui détectent l'écho qui revient. Les différences dans la force de l'écho servent à déterminer la morphologie des structures ainsi que les caractéristiques et propriétés physiques du fond de la mer. La profondeur est calculée à partir de la vitesse du son dans l'eau et du temps que met l'écho à revenir. Ces valeurs peuvent être mesurées avec une très grande *précision* de sorte que, combinées à des systèmes précis de positionnement et de captage du mouvement, elles permettent de produire des *cartes* très précises du fond de la mer. De la même manière, à partir de la vitesse du son dans une entité stratigraphique, par exemple des sédiments de surface, on peut déterminer l'épaisseur de l'entité en question.

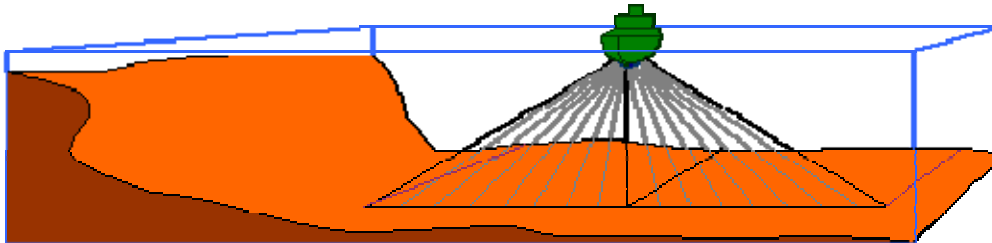


Schéma du mode de fonctionnement des techniques de balayage acoustique

Parmi les systèmes acoustiques, on distingue les échosondeurs monofaisceau, les systèmes acoustiques de *classification* automatique des natures de fonds (*SACLAF*), les échosondeurs multifaisceaux, les sonars à interféromètre, les sonars à balayage latéral et les profileurs du sous-sol du fond.

3.3.3 - Techniques de prélèvement

Les techniques de prélèvement sont essentielles dans les programmes de *cartographie* des *habitats*, car elles fournissent les données de terrain sur la composition réelle du fond. On les utilise souvent en conjonction avec des techniques de télédétection optique ou acoustique, auquel cas elles permettent de fonder la *classification* des *habitats*. Cependant, un échantillonnage suffisamment dense du territoire à lever suffit pour définir les *habitats* et établir leur répartition. Des prélèvements ponctuels à intervalles réguliers constituent le fondement des programmes de *surveillance* qui visent à connaître les impacts de l'activité humaine et l'évolution de la composition du fond.

Les prélèvements fournissent en général deux catégories d'*information* : un échantillon du matériau benthique – échantillon physique –, dont on analyse la structure du point de vue géologique, et un échantillon des organismes qui vivent sur ou dans le fond de la mer – échantillon biologique –, que l'on peut identifier et compter pour connaître le détail de la *biocénose* présente en un lieu précis. En principe, les échantillons biologiques et physiques devraient résulter de prélèvements distincts, mais certains groupes ont l'habitude de prendre une partie d'un échantillon pour en faire une analyse géologique. Il ne faut pas procéder de cette manière, car il est alors impossible d'obtenir des données quantitatives, tant pour l'échantillon biologique que pour l'échantillon physique. Pour que les prélèvements biologiques donnent une *information* quantifiable, il faut absolument plusieurs réplicats, et donc prélever un plus grand nombre d'échantillons.



Photographie d'un échantillon prélevé à la benne d'un substrat de cailloutis (noter la règle qui donne une indication de l'échelle)

Plusieurs dispositifs sont communément employés pour les prélèvements dans le fond de la mer. Chacun est conçu pour fournir un certain type d'échantillon d'un type donné de terrain. Les bennes et les carottiers sont souvent utilisés pour prélever des échantillons tant physiques que biologiques dans des sédiments meubles, non consolidés, alors que les chaluts et les dragues ne donnent que des échantillons biologiques.

Les bennes souvent utilisées sont les bennes Shipek, Hamon, Van Veen et Day. Plusieurs types de carottiers peuvent également servir à faire des prélèvements. Chacun a ses avantages et ses inconvénients selon le matériau benthique, le type d'échantillon requis et son volume. La taille de l'instrument de prélèvement détermine celle du navire sur lequel il sera déployé (ou vice versa) et le nombre de personnes qu'il faut pour le manipuler. Pour faire une analyse granulométrique représentative, il faut un plus gros volume de sédiments graveleux que de vase.

Un critère important de choix du dispositif de prélèvement est le type d'échantillon voulu : échantillon physique, *endofaune* (animaux qui vivent enfouis dans le substrat) ou *épifaune* (animaux qui vivent sur le substrat). Une connaissance préalable ou une intuition du matériau benthique est également un critère. Les chaluts et les dragues sont à éviter sur des *habitats* fragiles qui pourraient être gravement endommagés.

Le prélèvement à la benne donne des échantillons du fond qui sont perturbés. Pour prélever un échantillon non perturbé, il faut utiliser un dispositif de carottage. Les carottes donnent de l'*information* sur la variation du matériau sous le niveau du fond et à propos de la profondeur de l'activité biologique. Parmi les dispositifs de carottage, mentionnons les carottiers-boîtes, les méga-carottiers, les carottiers à gravité et les vibro-carottiers. La profondeur de pénétration dépend du type d'équipement et de la nature du matériau benthique.

3.3.4 - Traitement des échantillons et mesures géotechniques

L'analyse géologique des sédiments révèle beaucoup de choses sur la nature du fond de la mer. Une simple description peut suffire à faire correspondre un échantillon à une *classe* d'une *typologie* comme celle d'EUNIS (p. ex. « sable vaseux circalittoral » ou « sédiments mixtes circalittoraux »). On obtient une description plus détaillée en analysant la taille et la proportion relative des grains d'un échantillon, la forme de ces grains, la compacité du sédiment, la grandeur des espaces entre grains, sans oublier évidemment le type de matériau – métamorphique, sédimentaire, biogène –, son origine et son âge. Toutes ces données révèlent non seulement l'histoire d'une zone du fond marin, mais aussi les liens entre différentes zones.

3.3.5 - Techniques d'imagerie sous-marine

Les techniques d'imagerie sous-marine comprennent la photographie et la vidéo sous-marines. Les appareils photographiques et caméras vidéo peuvent être montés sur un

bâti vertical, un traîneau ou un véhicule téléguidé. Ces techniques font maintenant partie intégrante des levés benthiques et des programmes de *cartographie des habitats*, en particulier pour les campagnes de terrain complétant des levés acoustiques. Les traîneaux sont remorqués à l'arrière d'un navire et les caméras sur bâti vertical immergées sur le côté du navire pendant que celui-ci dérive ou avance très lentement (à moins de 1 nœud). Les véhicules téléguidés sont mis à l'eau sur le côté du navire pendant que celui-ci est à l'ancre ou reste à une position fixe à l'aide d'un système dynamique de navigation et de positionnement. De nombreux documents ont été publiés à propos de l'utilisation d'appareils photographiques et de caméras vidéo pour la *cartographie des habitats*.



Photographie numérique prise à partir d'un véhicule téléguidé *Sea Tiger*.

3.4 - Utilisation d'une combinaison de techniques

La plupart des levés destinés à la *cartographie des habitats* font appel à une combinaison de plusieurs techniques qui fournissent des données complémentaires sur un même territoire. Ces techniques sont utilisables simultanément, comme le profilage du sous-sol du fond et l'échosondage acoustique, ou l'une après l'autre comme le prélèvement à la benne et le remorquage d'une caméra vidéo.

Les besoins qui justifient le recours à une combinaison de techniques sont de nature variée : obtenir des données qui mesurent différentes variables d'une même zone, afin de mieux distinguer les *habitats* et d'obtenir de meilleures *cartes* ; compléter par une campagne de terrain les données de télédétection ; obtenir des données ciblées et détaillées sur une petite zone du territoire levé, afin d'étudier des aspects ou des activités spécifiques, ou de permettre une extrapolation à d'autres zones. À titre d'exemple de ce dernier cas, on peut étudier les variations de répartition sur divers échelons, avec des réplicats à l'échelon local (dizaines de mètres) et régional (milliers de mètres). D'autre part, une combinaison de techniques peut résulter d'une collaboration entre divers groupes, p. ex. utiliser un magnétomètre en même temps que des échosondeurs pour obtenir des données géophysiques dans le cadre d'une campagne conjointe d'études géologiques et de *cartographie des habitats*.

Il faut prendre en considération les interférences possibles entre techniques de levé. Des interférences directes entre les ondes sonores émises par deux systèmes acoustiques peuvent créer du bruit ou des vides dans les données. D'autres interférences sont dues à une mauvaise utilisation d'un instrument, qui fait en sorte par exemple que les ondes sonores rebondissent sur la coque du navire ou sur un autre appareil remorqué. En règle générale, il faut éviter l'utilisation simultanée d'appareils qui fonctionnent à des fréquences voisines, à moins de disposer de systèmes de déclenchement indépendants.

3.5 - Organisation des données et métadonnées requises

Les levés effectués pour la *cartographie* des *habitats* produisent de très grandes quantités de données, qu'il faut organiser et gérer avec soin. De plus, les levés sont effectués à l'aide de multiples techniques et par de nombreuses personnes, ce qui rend encore plus complexe le suivi des données acquises (quelles données, pourquoi, par qui, comment, où, quand ?) et des liens entre elles. Une fois les levés terminés, il se peut que les données soient transmises à d'autres personnes ou organismes pour être traitées, analysées et conservées. Il est important que les renseignements essentiels soient enregistrés d'une manière structurée au moment des levés, de sorte que, malgré le passage du temps et la transmission à des tiers, leur traitement et leur *interprétation* ne soient pas compromis par des lacunes concernant les détails des levés. Il ne suffit pas de se fier à la mémoire des opérateurs de terrain pour savoir comment chaque donnée a été acquise !

Il y a trois aspects principaux à prendre en considération.

- Comment les données des levés doivent-elles être organisées ?

Il faut gérer les multiples techniques, personnes, lieux, dates et échantillons afin de bien documenter les liens entre toutes ces facettes des données acquises. Ce n'est pas très utile de photographier les échantillons prélevés si par la suite on ne se rappelle plus quelle photographie correspond à quel échantillon.

- Quelle information doit être enregistrée ?

Les métadonnées enregistrées doivent indiquer aux futurs utilisateurs des données comment elles ont été acquises, où, quand, par qui et selon quelles normes, et comment elles ont été traitées. Ce sont ces renseignements cruciaux sur la provenance des données qui permettent aux utilisateurs de savoir à quelles fins elles sont adéquates (ou, plus important encore, à quelles fins elles ne le sont pas). Il faut tenir compte de l'utilisation possible des données au-delà du programme en cours, par exemple dans des archives nationales et internationales. Les données d'un sondeur multifaisceaux ont-elles été acquises conformément aux normes hydrographiques internationales afin de pouvoir servir à la réalisation de *cartes marines* ? Est-il possible d'intégrer des données sur les prélèvements à la benne sans connaître le calibre du tamis utilisé ?

- Comment les données doivent-elles être conservées ?

Il faut enregistrer les données sur un support approprié et les étiqueter correctement, afin d'assurer qu'elles soient aisément utilisables dans l'avenir, qu'elles ne se détériorent pas avec le temps et qu'elles puissent être facilement intégrées à des données semblables provenant d'autres sources. Des données mal étiquetées (dont on ne sait pas où et quand elles ont été acquises) sont des données coûteuses qui n'auront que peu ou pas de valeur dans l'avenir.

3.6 - Épuration et traitement initial des données

Toutes les techniques de levé et d'échantillonnage exigent une *surveillance* en cours d'exploitation, afin d'assurer leur bon fonctionnement ainsi que la *fiabilité* des données ou échantillons obtenus. Pour ce faire, on peut notamment consigner les *métadonnées* appropriées, qui agissent dans bien des cas comme une liste de vérification permettant de s'assurer que les données sont correctement enregistrées. Après l'acquisition des données, il faut effectuer certaines opérations de traitement, d'épuration et de stockage afin que les données soient prêtes pour la phase d'analyse, décrite au chapitre 4. Ce traitement initial consiste à vérifier que les données sont correctes, c'est-à-dire qu'elles reflètent réellement les variables qu'elles visent à décrire, au bon endroit et au bon

moment. À la fin de cette étape, on devrait disposer d'un jeu de données « brutes » épurées, prêtes à archiver ou à transmettre à la prochaine phase d'analyse, en vue de la réalisation d'une *carte d'habitats* ou de toute autre utilisation pour laquelle les données sont pertinentes.

3.7 - Conclusion

Pour produire de bonnes *cartes d'habitats* benthiques, il faut des données qui aient été acquises, traitées et analysées avec soin. Après avoir choisi les techniques de levé appropriées, il faut les utiliser correctement et enregistrer avec *précision* les données acquises. Les notions de *fiabilité* d'une *carte* et de *confiance* sont abordées au chapitre 5.

La gamme des techniques disponibles pour faire des levés d'*habitats* benthiques est incroyablement vaste et ne cesse de se développer. Le choix des techniques et des applications d'acquisition de données doit être guidé par l'*information* nécessaire pour produire les *cartes* finales. Les méthodes de conversion des données acquises en une *information* qui peut être cartographiée fait l'objet du prochain chapitre, *Comment réalise-t-on une carte ?* On y aborde l'*interprétation* des données de télédétection, la représentation des données ponctuelles et vectorielles, et s'il y a lieu leur extrapolation à l'ensemble du territoire représenté, ainsi que l'intégration de données acquises à l'aide de diverses techniques et analysées selon des méthodes différentes.

Plus d'information.

Documents :

Les ressources documentaires en anglais concernant ce chapitre sont disponibles à l'adresse internet suivante : <http://www.searchmesh.net/Default.aspx?page=1626>

Bibliographie :

Coggan, R., Populus, J., White, J., Sheehan, K., Fitzpatrick, F. & Piel, S. (eds.) (2007). Review of Standards and Protocols for Seabed *Habitat* Mapping. MESH project document.

White, J., Mitchell, A., Coggan, R., Southern, I. and Golding, N. (2007). Seafloor Video Mapping: Collection, Analysis and Interpretation of Seafloor Video Footage for the Purpose of *Habitat Classification* and Mapping. MESH.

4 - Comment réalise-t-on une carte ?

Ce chapitre décrit comment les données (« images » de télédétection et données de terrain) sont transformées et intégrées pour produire une carte d'*habitats* biologiques adaptée à sa finalité. Il faut aussi noter que les données peuvent elles-mêmes avoir fait l'objet d'un processus d'analyse et d'interprétation à partir des sources originales, en particulier dans le cas de cartes d'*habitats* à *échelle globale* faites sans apport de terrain..

Les principales étapes de la réalisation d'une carte d'*habitats* telle que préconisée dans le Guide MESH font intervenir des données biologiques et des données sur les *habitats* (résultant normalement d'un échantillonnage direct du fond) et des couches complètes de données sur les variables physiques des *habitats*, appelées dans toute la suite couches physiques (normalement obtenues par télédétection, déduites à partir d'échantillons ou prédites par des modèles). L'intégration des données et la modélisation des *habitats* sont nécessaires pour déduire les relations entre données biologiques et données physiques. Ces relations permettent de prédire la répartition des *habitats*.

La production d'une carte d'*habitats* comporte quatre étapes principales :

1. optimisation de l'analyse des données biologiques de terrain ;
2. sélection et déduction des meilleurs intrants disponibles et des couches physiques les plus appropriées (cela comprend l'analyse des données de télédétection) ;
3. construction de la carte à l'aide des techniques les plus appropriées d'interprétation grâce à l'intégration des données et à la modélisation ;
4. conception et réalisation de la carte de telle sorte qu'elle soit adaptée à sa finalité.

Le succès du rendu cartographique risque d'être mitigé si l'une de ces étapes n'est pas bien réalisée !

Les sections qui suivent abordent les stratégies possibles de cartographie, puis présentent les diverses techniques que l'on peut employer au cours des étapes énumérées ci-dessus.

4.1 - Choix d'une stratégie de traitement cartographique

La cartographie des *habitats* benthiques fait nécessairement intervenir une forme ou une autre de modélisation. Dans ce contexte, on peut considérer comme un modèle toute représentation du fond de la mer à partir d'une étude systématique et d'une analyse des manifestations de la répartition des *habitats*. Il s'agit d'une définition intentionnellement vague, qui englobe aussi bien l'interprétation « à l'œil » par des experts que des modèles à base de règles ou des modèles statistiques résultant d'une analyse approfondie des données.

D'une manière générale, on n'emploiera pas la même stratégie pour une approche cartographique à *échelle globale* ou à *échelle fine*.

L'approche cartographique des *habitats* à *échelle globale* pour de très grands territoires (p. ex. mers entières ou eaux nationales) fait le plus souvent appel à des couches cartographiques des principaux paramètres physiques, que l'on combine pour obtenir une prédiction de la répartition d'une vaste gamme de types d'*habitat* définis (p. ex. les niveaux 3 et 4 de la typologie EUNIS). Les données utilisées proviennent de sources multiples (voir le chapitre 1, Qu'est-ce que la cartographie des *habitats* ?), et les SIG conviennent très bien à ce genre de modélisation. Étant donné le degré d'erreur et d'incertitude des couches de données en entrée, les cartes obtenues sont nécessairement plutôt sommaires et générales.

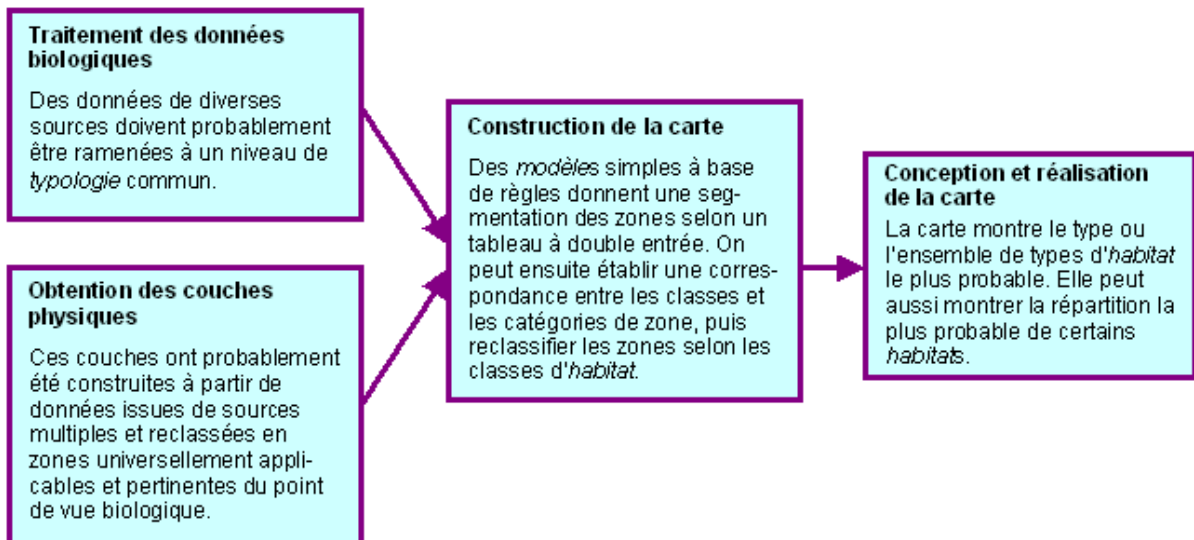
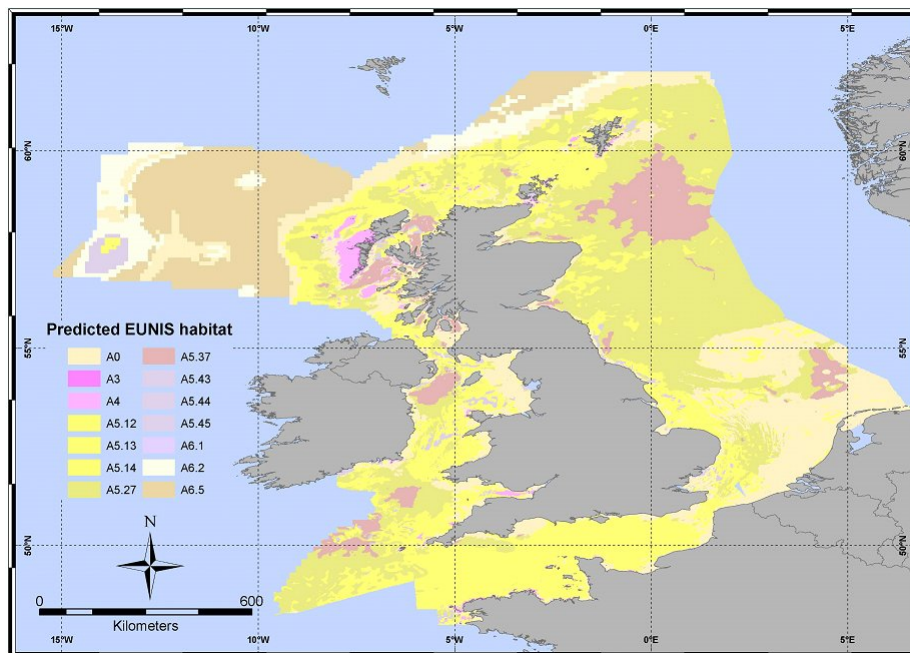


Schéma de l'approche de la cartographie à *échelle globale*

La modélisation se fonde sur l'application de règles générales qui reposent sur une connaissance de relations de cause à effet valables dans une vaste région géographique. Le territoire est subdivisé en catégories d'*habitat*, en fonction de combinaisons d'un nombre limité de zones pour chacune des principales variables structurantes du milieu (p. ex. profondeur, substrat et énergie hydrodynamique). L'opinion d'experts peut être requise pour reclassifier les paramètres physiques en un petit nombre de catégories biologiquement pertinentes, sans recourir à des méthodes statistiques sophistiquées pour justifier les bornes supérieure et inférieure des variables structurantes.



Carte de prédiction de classes EUNIS de niveau 3 obtenue par la méthode des triplets

La méthode des « triplets » du projet MESH constitue un exemple de cas où les trois variables du niveau 3 de la typologie EUNIS (substrat, profondeur et tensions de cisaillement) sont combinées pour donner une idée générale de la répartition des *habitats* à l'*échelle globale*. L'approche des *paysages marins* est semblable, mais comprend une couche pour la pente, qui facilite la compréhension du rendu cartographique d'un point de vue physiographique.

À l'autre extrémité du spectre, un levé unique d'un petit territoire se fait généralement selon une approche fondée sur les données. Cette approche permet de prédire des *habitats* définis de façon plus précise (p. ex. niveaux 4 et 5 de la typologie EUNIS), et la campagne de terrain est généralement plus détaillée. En particulier, des « signatures » sont créées à partir des couches physiques (en général des valeurs de réflectance acoustique ou dans le spectre électro-magnétique) en utilisant les données de terrain comme sites d'apprentissage. L'interprétation des données de chaque levé est propre à ce levé, et l'on ne tente pas d'en déduire des règles transférables à d'autres levés. La classification supervisée d'images obtenues par télédétection constitue un exemple de cette stratégie, qui a été adoptée pour de nombreux levés. Un logiciel de SIG spécifique pour le traitement d'images est probablement nécessaire. Les images des sonars à balayage latéral permettent de distinguer un beaucoup plus petit ensemble d'*habitats* et peuvent être plus faciles à interpréter que dans le cas de grands territoires : leur interprétation *intermédiaire* pour produire des cartes d'*habitats* physiques peut être court-circuitée par l'interprétation directe des *habitats* biologiques.

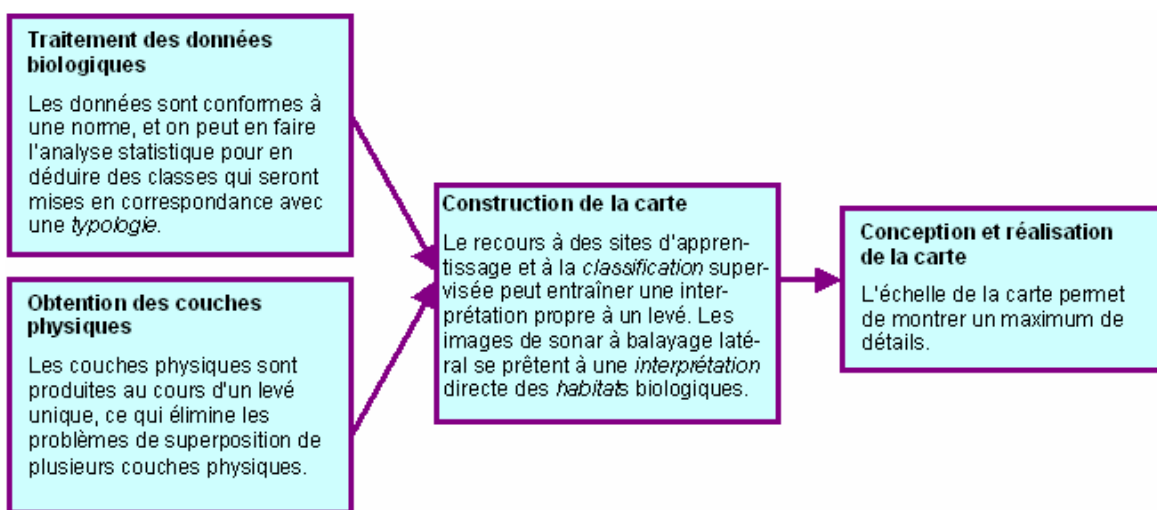
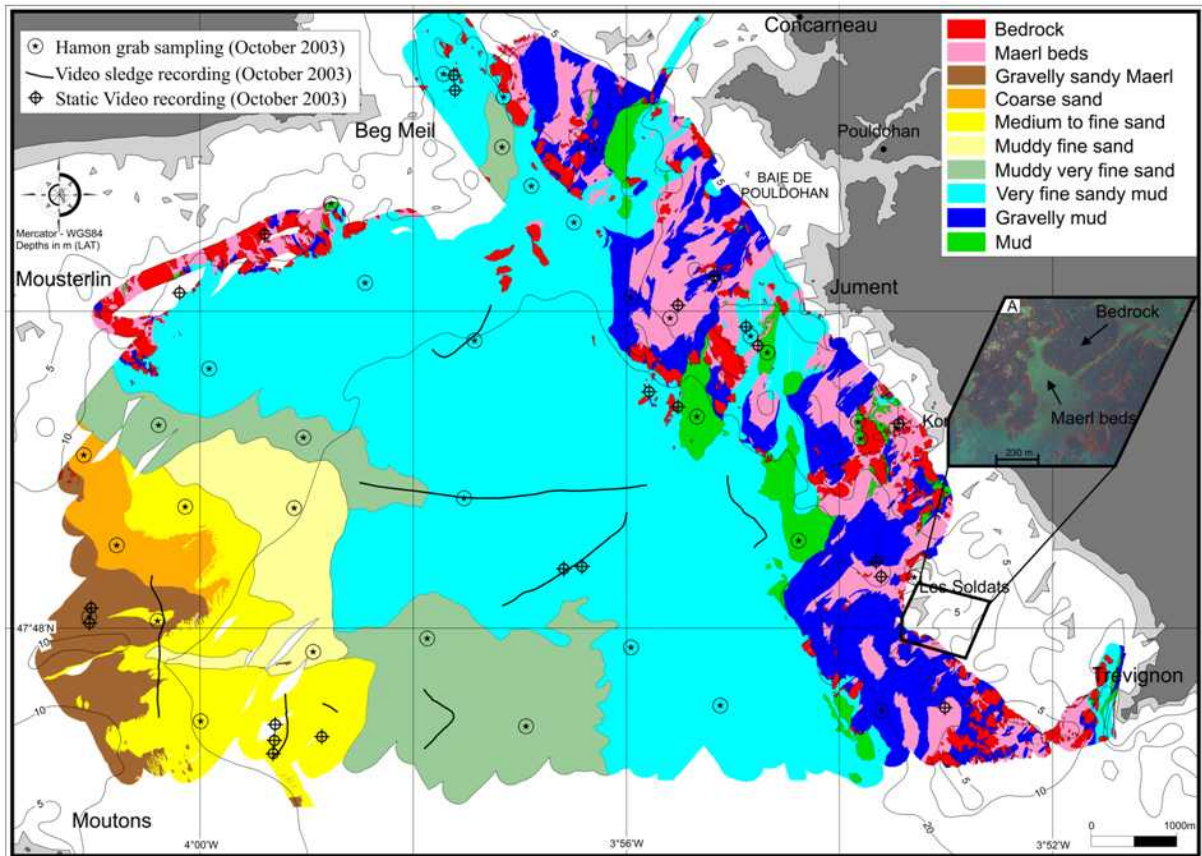


Schéma de l'approche de la cartographie à échelle fine

C'est à propos des cartes à échelle *intermédiaire* qu'il est le plus difficile de donner des conseils. Les données proviennent probablement de nombreux levés effectués dans le cadre d'une campagne de grande envergure ou de plusieurs campagnes différentes. Certaines données peuvent être tirées directement des levés, alors que d'autres (par exemple sur les tensions de cisaillement) résultent de modèles mathématiques. Plusieurs stratégies sont possibles : (a) utilisation de techniques statistiques pour étudier les relations entre divers facteurs physiques et la *biocénose*, et de statistiques spatiales pour optimiser l'interpolation, surtout centrée sur des données ; (b) modèles à base de règles ou de connaissances. Des approches mixtes sont également possibles. L'approche statistique est plus facile à mettre en œuvre sur un seul type d'*habitat* (p. ex. bancs de moules) que sur toute la gamme des *habitats* présents dans un territoire.



Exemple de carte à échelle fine : habitats subtidaux de la baie de Concarneau, projet Rebent.

4.2 - Optimisation de l'analyse des données de terrain

La première étape de la production d'une carte d'*habitats* consiste à traiter, à analyser et à classer les données biologiques afin qu'elles puissent être intégrées aux couches physiques pour produire au bout du compte une carte d'*habitats* biologiquement pertinente.

Les données de terrain constituent un élément vital du processus de cartographie en ce qui concerne les caractéristiques physiques et biologiques. Elles sont nécessaires pour valider les données de télédétection et pour affecter des types de terrain aux régions cartographiées (p. ex. affleurements rocheux, plages de sable). Il est toutefois important de déterminer les classes d'*habitat* qui seront cartographiées. Il faut faire, entre des *biocénoses* et les variables physiques correspondantes, des associations qui permettront de déduire la répartition des *habitats* là où des couches physiques seront disponibles (par échantillonnage ou modélisation).

Il y a deux approches fondamentales de la détermination des classes d'*habitat* sur une carte :

1. l'application directe d'une typologie existante (classification descendante) par l'observation sur place, en faisant appel au jugement d'experts pour faire la correspondance entre ce que l'on voit sur le terrain et les classes de la typologie ;
2. la détermination des classes d'*habitat* à partir des données de terrain, par une analyse des données permettant de faire des associations significatives entre des paramètres physiques et biologiques (classification ascendante).

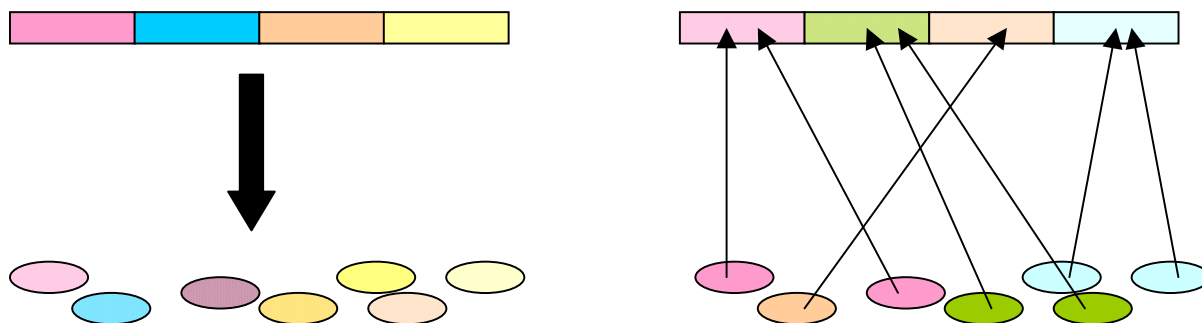


Schéma illustrant les approches descendante et ascendante de la détermination des classes d'*habitat*. Dans l'approche descendante (à gauche), la typologie existante (rectangles) est appliquée aux échantillons (cercles). Dans l'approche ascendante (à droite), les similarités entre échantillons servent à déterminer les classes.

Les deux approches exigent de l'utilisateur une connaissance approfondie de la typologie qu'il utilise et de sa structure, afin qu'il puisse l'appliquer correctement et avoir confiance en l'exactitude des classes ainsi déterminées.

4.3 - Optimisation des couches physiques

La deuxième étape principale de la production d'une carte d'*habitats* consiste à sélectionner les couches physiques les plus appropriées. Cela peut exiger une certaine préparation des données brutes (p. ex. des nouvelles données de télédétection qui ont été acquises).

À ce stade, on suppose que des couches de données acquises au cours d'un même levé (ou d'une série de levés coordonnés), par exemple des cartes acoustiques, ont été préparées selon une norme acceptable (voir le chapitre 3, Comment se fait l'acquisition des données ?). Il s'agit ici de préparer ces données et les données provenant d'autres sources pour les intégrer aux données de terrain afin de produire des cartes d'*habitats* biologiquement pertinentes. On peut adopter une approche rudimentaire, ou faire une analyse plus poussée en étudiant le rôle de nombreuses variables. La sélection des variables principales sera guidée par l'expérience acquise au cours de l'analyse des données de terrain.

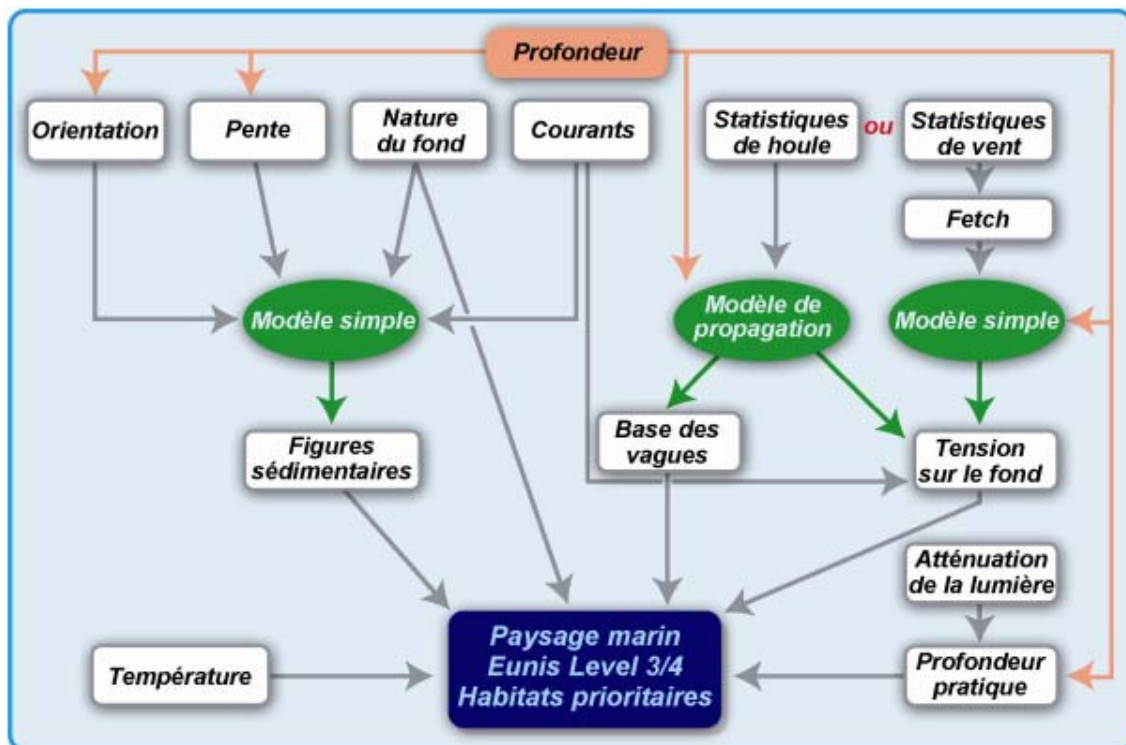
L'adéquation d'un lieu à une espèce donnée (et par extension à une *biocénose* caractéristique d'un type d'*habitat*) dépend en grande partie de facteurs physiques et environnementaux. Cependant, la présence de facteurs favorables à un *habitat* ne signifie pas qu'une espèce donnée soit présente, car de nombreux autres facteurs (compétition, histoire du recrutement, prédation, activités humaines, etc.) peuvent entraîner son absence.

Un petit nombre de facteurs physiques et environnementaux ont une importance universelle dans la détermination de la répartition de toutes les espèces marines et de tous les types d'*habitat* marin. Trois d'entre eux, énumérés ci-dessous, sont considérés comme fondamentaux dans la typologie EUNIS et constituent les données de base d'une cartographie prédictive aux niveaux 3 et 4 de la typologie EUNIS pour tout le territoire couvert par le projet MESH (ce que l'on appelle le « carte de triplets » montrée p. 50).

- Substrat – Le substrat (p. ex. rocher, sable, vase, blocs) est cartographié sous forme de classes définies selon une échelle granulométrique (p. ex. l'échelle de Wentworth) ou selon les proportions relatives de silt, de sable et de gravier (le triangle de Folk). Cependant, les caractéristiques cruciales du substrat varient considérablement d'une espèce et d'un *habitat* à l'autre, de sorte que des variables continues et définies de manière précise, telles que le pourcentage de silt ou la taille médiane des grains,

peuvent être plus significatives sur le plan biologique et donc mieux adaptées à une modélisation. Certaines de ces variables peuvent être déduites de données de télédétection grâce à l'interprétation d'experts ou au moyen d'une classification automatisée.

- Bathymétrie – De nombreuses contraintes environnementales importantes qui jouent sur la répartition des espèces sont liées à la profondeur. Le degré de pénétration de la lumière est souvent donné en fonction de la profondeur, mais cela dépend des conditions locales et régionales de turbidité de l'eau.
- Énergie hydrodynamique – L'énergie hydrodynamique au fond de la mer peut être mesurée, mais elle est souvent modélisée à partir d'autres facteurs, et il y a plusieurs manières de l'exprimer et de la calculer.

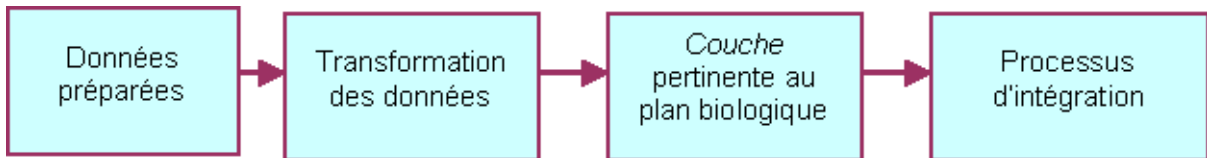


Combinaison de données environnementales en vue d'une modélisation des *habitats*. Selon la résolution des couches de données, le résultat peut être un *paysage marin*, un modèle aux niveaux 3 et 4 de la typologie EUNIS, ou un modèle centré sur des *habitats* prioritaires.

Il faut être conscient que d'autres variables peuvent s'avérer des facteurs importants de la répartition de certaines espèces ou d'*habitats* particuliers, par exemple la température et la salinité de l'eau, le transport de sédiments, les figures sédimentaires. De plus, les levés peuvent entraîner la mesure de propriétés impossibles à interpréter de manière immédiate quant à des facteurs biologiquement pertinents, telles que la réflectance et la rétrodiffusion acoustiques.

Les variables requises pour la cartographie des *habitats* dépendent du territoire et des *habitats* à cartographier, ainsi que de la finalité de la carte : la cartographie d'un vaste territoire contenant une grande variété de types d'*habitat* peut exiger un grand nombre de variables, alors que le gradient de pénétration de la lumière et la salinité de l'eau entre autres peuvent être considérés comme constants dans une petite zone et donc ne pas être nécessaires.

Comme on l'a indiqué plus haut, les données des variables et des couches physiques sélectionnées peuvent devoir subir une transformation avant leur intégration aux données de terrain. Diverses techniques de transformation peuvent être appliquées aux données pour produire des couches physiques prêtes à intégrer aux données sur les *habitats*.



Le processus de transformation peut être très simple (p. ex. changement de format comme la conversion de données vectorielles en données matricielles ou vice versa) ou faire intervenir des méthodes complexes telles que des calculs et opérations de classification sur des points (p. ex. calculs de pente à partir de données bathymétriques), une reclassification ou même une modélisation sophistiquée (p. ex. utilisation de techniques géostatistiques avancées pour l'interpolation optimale de la répartition de sédiments).

Enfin, les couches physiques obtenues doivent être combinées selon une stratégie qui les rende le plus pertinentes possible sur le plan biologique.

4.4 - Optimisation de la construction de la carte

La troisième étape de la production d'une carte d'*habitats* met l'accent sur l'intégration et la modélisation de données. Diverses stratégies peuvent être nécessaires pour intégrer les données de terrain et les couches physiques. L'objectif est de produire une couche cartographique donnant la répartition des classes d'*habitat*. Comme pour les autres étapes, les méthodes d'intégration des données biologiques de terrain et des couches physiques sont plus ou moins simples ou complexes selon le cas.

- Mise en correspondance des classes d'*habitat* biologiques et des couches physiques auxquelles elles sont superposées, puis regroupement des correspondances semblables. La construction d'un tableau à double entrée est la technique la plus couramment employée. Certains problèmes risquent de se poser, en grande partie liés à la répartition des points d'échantillonnage, qui est souvent biaisée en faveur d'*habitats* particuliers.
- Interprétation directe des *habitats* représentés par les images de sonar à balayage latéral, les images de rétrodiffusion acoustique, les modèles bathymétriques, ainsi que les photographies aériennes et satellitaires, en faisant appel aux connaissances et au jugement d'experts. Sur le littoral, il peut s'agir d'une interprétation directe sur le terrain de photographies aériennes, en marchant sur le rivage ou à l'aide de caméras sous-marines. Le catalogue MESH des signatures d'*habitat* donne un aperçu des signatures connues de certains *habitats*. L'utilisation de signatures peut être relativement fructueuse pour des territoires simples ou peu étendus, mais un grand territoire est plus susceptible de donner lieu à des confusions quant à la répartition des biotes sur des structures similaires. Certaines images pourraient devoir subir une reclassification après l'intégration aux données de terrain.



Schéma d'une approche de cartographie directe

- Modélisation statistique des *habitats*. La plupart des techniques statistiques disponibles se répartissent en sept catégories : régression multiple et ses formes généralisées, techniques de classification, enveloppes environnementales, techniques d'ordination, méthodes bayésiennes, réseaux neuronaux, autres méthodes, y compris

des méthodes mixtes. Le choix des méthodes dépend surtout de l'étendue et de la qualité des données. Des logiciels spécialisés et des compétences techniques de haut niveau peuvent être nécessaires.

4.5 - Conception et réalisation de la carte d'habitats

Au cours de cette quatrième et dernière étape de la production d'une carte d'*habitats*, un élément important à considérer est de savoir si le produit final sera sous forme imprimée ou électronique. Une carte imprimée doit être interprétée à une échelle déterminée, alors qu'une carte électronique permet à l'utilisateur de faire à sa guise des zooms avant ou arrière pour obtenir la résolution voulue. Mais même avec une carte électronique, l'utilisateur doit savoir jusqu'à quelle échelle les données permettent de faire un zoom tout en demeurant adéquates ou significatives.

Cette section contient un bref guide de la cartographie électronique, qui porte notamment sur la création de cartes adéquates des *habitats* benthiques et à leur visualisation dans un système d'information géographique (SIG). Il propose quelques solutions pratiques pour améliorer le rendu cartographique.

Parmi les éléments importants de la conception d'une carte, on aborde la bonne utilisation de systèmes de coordonnées, les métadonnées, ainsi que l'enregistrement des *attributs* dans une table (codes d'identification, noms des structures, etc.).

Plus d'information....

Documents :

Les ressources documentaires en anglais concernant ce chapitre sont disponibles à l'adresse internet suivante : <http://www.searchmesh.net/Default.aspx?page=1625>

5 - Jusqu'à quel point une carte est-elle bonne ?

Ce chapitre du Guide MESH vise à présenter les questions relatives à l'exactitude et à la fiabilité d'une carte. Il aborde la notion d'exactitude sous l'angle d'une mesure mathématique, et la fiabilité comme la propriété d'une carte qui permet à un utilisateur d'avoir confiance en elle. Il présente enfin une méthode mise au point dans le cadre du projet MESH pour évaluer la fiabilité d'une carte.

Les termes relatifs à la qualité d'une carte sont nombreux : exactitude, fiabilité, précision, valeur, utilité, confiance, etc. Certains de ces termes désignent des notions très subjectives, alors que d'autres évoquent des mesures objectives utilisables dans n'importe quelle évaluation. Quelle est la signification de ces termes et comment faut-il les employer ? Un bon point de départ consiste à aborder les notions d'exactitude et d'erreur, de fiabilité et d'incertitude.

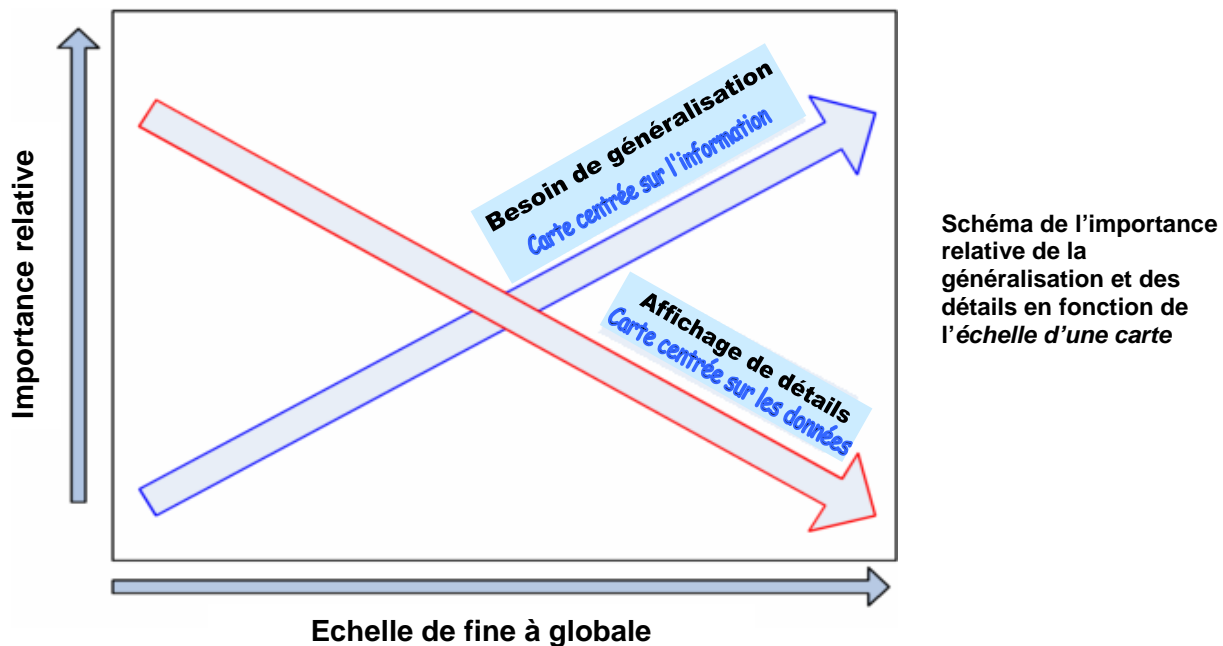
L'exactitude est une mesure de la valeur prédictive d'une carte, c'est-à-dire de sa capacité à représenter le monde tel qu'il est dans la réalité. Si une carte arrive à prédire correctement la présence d'un *habitat* en un point donné, elle est bonne. Sinon, elle est mauvaise.

La fiabilité d'une carte, qui va de pair avec la confiance que l'on peut avoir en elle, est une notion plus subjective qui fait intervenir un jugement sur l'importance relative de plusieurs facteurs : le niveau de détail de l'information, la « distance » entre la carte et la réalité (quasi-coïncidences), la pertinence de la carte par rapport à sa finalité, etc.

Lorsque l'on utilise une carte, jusqu'à quel point peut-on être confiant que son contenu est fiable ? Lorsque l'on demande un levé, jusqu'à quel point est-on certain que la carte d'*habitats* résultante répond aux attentes ? Lorsque l'on produit une carte, comment communiquer aux utilisateurs son exactitude et ses limites ?

Une évaluation de l'utilité d'une carte dépend de la finalité et des utilisations de cette carte. Une même carte peut être très utile pour donner une vue d'ensemble, mais de peu d'utilité si l'on recherche l'exactitude à un niveau élevé de détail. Quel genre d'information doit accompagner une carte pour préciser les utilisations pour lesquelles elle est conçue ? Ces questions très délicates font l'objet de ce chapitre du Guide MESH, où l'on aborde les points à considérer afin que les utilisateurs aient des attentes réalistes envers une carte, sans toutefois amoindrir la contribution valable des cartes d'*habitats* dans le domaine de la planification spatiale en milieu marin. Le projet MESH couvre une gamme extrêmement vaste d'échelles cartographiques. Ce chapitre montre des exemples qui illustrent cette diversité et donne des conseils sur la manière d'évaluer l'exactitude et la fiabilité d'une carte.

Les cartes d'*habitats* vont des cartes très générales à *échelle globale* aux cartes très détaillées à *échelle fine*. La manière d'évaluer une carte peut être très différente selon l'échelle. Une carte à *échelle globale* couvrant un très vaste territoire est produite à partir de multiples sources, et le résultat doit être jugé sur la crédibilité et le processus de combinaison de ces sources. À l'autre extrémité du spectre, une carte à *échelle fine* d'un petit territoire, produite à partir d'un levé unique, sera jugée sur la précision des données de terrain et l'exactitude des classes d'*habitat*. Souvent, les opérateurs de terrain ne font aucune évaluation d'exactitude, et c'est à l'utilisateur de juger du degré de fiabilité d'une carte et du degré de confiance qu'il peut avoir en elle. Ce chapitre aborde l'évaluation des cartes de deux points de vue différents : d'une part, les mesures d'exactitude effectuées par les cartographes, et d'autre part, le jugement des utilisateurs quant à la fiabilité des cartes, qui justifie l'usage que l'on en fait. Ce dernier point est particulièrement important, car souvent des cartes produites à certaines fins sont utilisées par d'autres personnes pour des applications différentes.



5.1 - Qu'est-ce que l'exactitude?

Dans le domaine de la cartographie des *habitats*, l'exactitude est une mesure de la valeur prédictive d'une carte, c'est-à-dire de sa capacité à représenter le monde tel qu'il est dans la réalité. L'erreur est une mesure de l'inexactitude, c'est-à-dire de l'écart entre la carte et la réalité. L'exactitude et l'erreur se mesurent de manière mathématique à partir des succès et échecs, autrement dit des prédictions correctes et erronées de la carte. Il est à noter que cette définition de l'exactitude met l'accent sur la prédiction d'une classe d'*habitat* en un point (d'une carte au trait) ou en un pixel (d'une carte maillée). En d'autres termes, l'exactitude a deux aspects – la bonne *classe* au bon endroit. Cette notion est souvent désignée par le terme exactitude classificatoire (les données du point X sont-elles bien classifiées?). Ce genre d'exactitude comprend clairement un élément de positionnement. Par exemple, les frontières entre *habitats* adjacents sont-elles situées au bon endroit? Autrement dit, un changement d'*habitat* prédit par la carte correspond-il à la frontière entre les deux *habitats* dans la réalité?

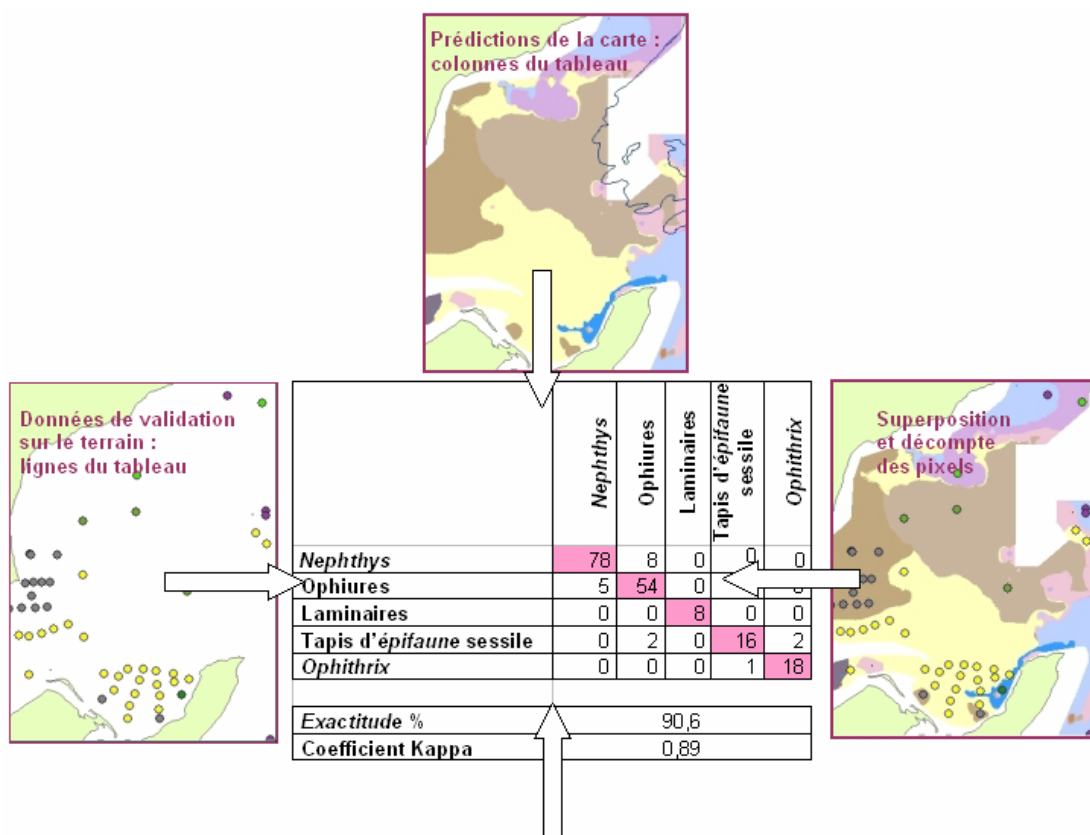
L'exactitude est l'un des critères possibles d'évaluation de la fiabilité d'une carte. Cependant, une mesure mathématique stricte de l'exactitude peut être trompeuse, en particulier lorsque l'on compare deux ou plusieurs cartes. Par exemple, une carte peut classer les *habitats* d'un territoire en *habitats* rocheux ou sableux et représenter ces deux classes avec un degré très élevé d'exactitude. Une autre carte peut représenter ces mêmes *habitats* comme une mosaïque de plusieurs types différents d'*habitats* rocheux ou sableux. La seconde carte risque d'être beaucoup moins exacte, mais contient davantage d'information utile qui permet un certain degré d'erreur. Ce dernier point est important, car il souligne l'intervention du jugement de l'utilisateur pour laisser place à une certaine inexactitude. Un utilisateur peut donc avoir davantage confiance en l'information contenue dans la seconde carte, qui est pourtant moins exacte. Le problème vient du fait que, même si de nombreuses mesures d'exactitude sont mathématiquement fondées, elles laissent de côté la question centrale de la confiance qu'inspire une carte. Une même mesure appliquée à différentes cartes risque de donner une impression erronée de leur degré relatif de « succès ».

En fait, il y a souvent un compromis entre contenu en information et exactitude d'une carte : une carte qui montre un grand nombre de classes sur un thème particulier contient plus d'information qu'une carte qui ne représente qu'un petit nombre de classes ; par

contre, le degré d'inexactitude quant à la prédiction de la répartition des *habitats* risque d'être plus élevé si le nombre de classes est grand.

5.2 - Comment peut-on évaluer l'exactitude d'une carte ?

On a présenté plus haut l'exactitude comme une mesure mathématique de la capacité d'une carte à prédire correctement le type d'*habitat* en un point (ou pixel) donné. Supposons qu'une carte prédise la présence de la classe « A » au point « X » ; si cela est confirmé par l'observation, alors la carte est exacte pour ce point, sinon elle est inexacte pour ce même point. C'est là le fondement de toute mesure d'exactitude. Si la proportion de prédictions erronées est grande, alors la carte est inexacte et risque de ne pas beaucoup inspirer confiance. Pour calculer l'exactitude d'une carte, on superpose les données de terrain (ou mieux encore, les données de validation sur le terrain) et les prédictions de la carte, et l'on présente les résultats de cette superposition dans une matrice de confusion.



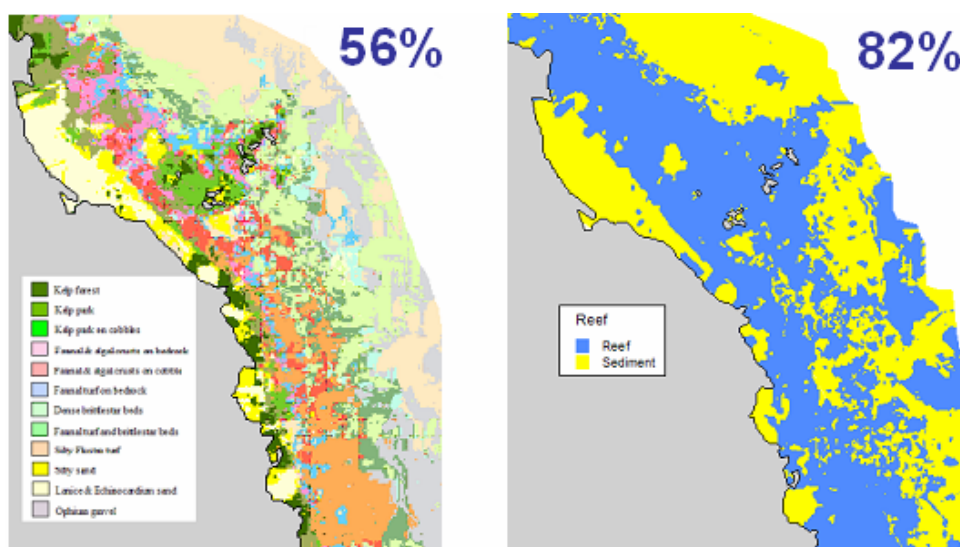
Décompte des succès et échecs - Calcul des indices d'exactitude

Superposition de données de validation sur le terrain et de prédictions d'une carte pour produire une matrice de confusion

Les cellules de la diagonale principale de la matrice contiennent le nombre d'occurrences de la classe correctement prédites par la carte. Les autres cellules donnent le nombre de prédictions erronées. La mesure de base de l'exactitude est le pourcentage de prédictions correctes. Des mesures plus évoluées tiennent compte de la proportion des prédictions qui pourraient être correctes par « pur hasard ». D'autres méthodes de mesure de l'exactitude sont présentées plus loin.

5.3 - Comment interpréter une évaluation de l'exactitude ?

Étant donné la complexité du domaine de la mesure de l'exactitude, il ne suffit évidemment pas de dire qu'exactitude égale utilité. L'exemple ci-dessous montre deux versions d'une même carte : l'interprétation des données a produit une douzaine de classes d'*habitat*, avec une fiabilité de 56% mesurée par une matrice de confusion telle que dans la figure ci-dessus. Certaines d'entre elles sont de la catégorie des récifs (affleurements de rochers et de blocs), et les autres sont des *habitats* sédimentaires. Si l'on regroupe les diverses classes en ces deux catégories, l'exactitude augmente considérablement (82%). Cela peut sembler évident. La première carte est moins exacte parce que, à titre d'exemple, il est plus difficile de faire la distinction entre une forêt et une prairie de Laminaires qu'entre un *habitat* rocheux et un *habitat* sédimentaire. Il est très possible que des gestionnaires veuillent simplement savoir où il y a des récifs. Par contre, la carte de gauche est beaucoup plus riche d'information sur la répartition des *habitats* récifaux, et un certain degré de confusion peut être acceptable, en particulier entre des *habitats* semblables.



Une carte qui contient moins de classes peut être plus exacte, mais probablement moins utile pour l'utilisateur.

La carte de gauche est plus exacte, mais est-elle plus utile ? Dans l'interprétation et l'analyse d'un jeu de données, il faut généralement faire un compromis entre exactitude et contenu en information. À un extrême, l'interprétation peut viser à montrer des variations subtiles qui ne sont tout simplement pas appuyées par les données. À l'autre extrême, les *habitats* sont si généraux que l'information est presque toujours inutile. Au lieu de mesurer l'exactitude d'une carte, on peut évaluer la fiabilité de la carte pour une finalité particulière.

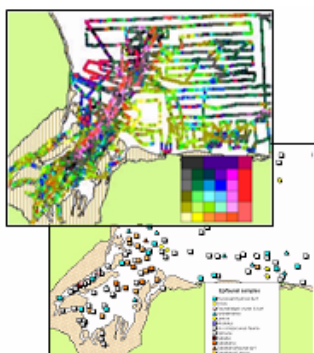
5.4 - Jusqu'à quel point peut-on avoir confiance en une carte ?

Appliquée à une carte résultant d'un seul levé, la mesure de l'exactitude permet aux parties prenantes d'indiquer quelle est la valeur prédictive de la carte. Il devrait toutefois ressortir clairement de la discussion qui précède à propos de l'exactitude que l'interprétation des mesures d'exactitude pose des difficultés. Ces difficultés se multiplient lorsqu'une carte d'*habitats* est produite à partir de données de nombreuses sources différentes. On pourrait arriver à évaluer l'exactitude des cartes servant d'intrants, mais les cartes publiées sont rarement accompagnées de mesures de leur exactitude et n'ont peut-être même pas fait l'objet de telles mesures. Il est possible d'évaluer l'exactitude de

la carte finale à *échelle globale* en mesurant sa valeur prédictive par rapport à un jeu de données d'essai. Les résultats risquent toutefois de ne pas être particulièrement significatifs ni faciles à interpréter.

Une évaluation de la fiabilité constitue une autre manière de juger de l'utilité d'une carte. C'est une évaluation de nature plus subjective qui repose sur un certain nombre de critères différents. Elle peut être faite par un utilisateur, par un simple examen de la carte d'*habitats*, ainsi que des rapports et des cartes auxiliaires qui l'accompagnent, au regard de critères représentatifs d'une norme de cartographie. Ces critères peuvent se présenter sous forme d'une liste de vérification ou de questions. La carte publiée contient-elle des renseignements sur les sources de la carte et de ses données ? S'il y a un rapport, celui-ci indique-t-il clairement comment la carte a été produite

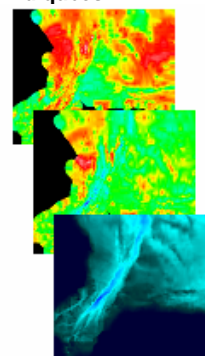
Les données d'origine sont-elles illustrées ?



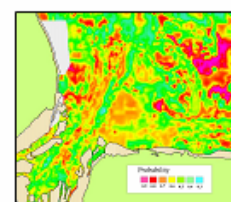
Le processus d'analyse et d'interprétation est-il clair ?



Les étapes cruciales de l'interprétation sont-elles indiquées ?



Y a-t-il une forme de mesure d'exactitude ou d'incertitude ?



Elements de base de l'assurance qualité d'un processus de cartographie

Les cartes interprétées montrent souvent une partie des données d'origine. À titre d'exemple, les cartes de nature des fonds du SHOM (cartes « G ») ont en cartouche des cartes qui montrent l'emplacement des prélèvements à la benne, des carottages, ainsi que les cheminements des levés. La densité et la répartition des données de terrain donnent une très bonne indication de l'incertitude probable liée à l'interprétation. C'est une bonne pratique de fournir une carte des données originales montrant la valeur des données ponctuelles. L'interpolation peut introduire dans les données des artefacts qui sont souvent manifestes lorsque l'on compare les données ponctuelles aux résultats de l'interpolation.

5.5 - La méthode MESH d'évaluation de la fiabilité d'une carte

Cette section décrit la méthode mise au point dans le cadre du projet MESH pour l'évaluation systématique de la fiabilité d'une carte. L'équipe du projet MESH a compilé de nombreuses cartes produites à différentes fins, sur une période de plusieurs années, à l'aide d'un grand nombre de techniques différentes et à partir d'une variété de sources. Dans bien des territoires, des cartes se chevauchent, et les utilisateurs ont besoin de savoir à quelles cartes ils peuvent davantage se fier. Ce guide sera en outre utile pour les auteurs de futures cartes puisqu'ils pourront déterminer les facteurs susceptibles d'en augmenter ou diminuer la fiabilité. La fiabilité a plusieurs aspects, et toute évaluation risque d'être très subjective et liée à la personne qui fait l'exercice. Évidemment, s'il faut pouvoir comparer des cartes, l'évaluation doit être aussi objective que possible.

Les partenaires du projet MESH ont décidé de concevoir un système d'évaluation de la fiabilité et d'enregistrer les facteurs de confiance sous forme de nouvelles métadonnées, afin qu'elles soient accessibles avec les métadonnées de base qui décrivent chaque carte. Les métadonnées déjà compilées dans le cadre du projet n'étaient pas

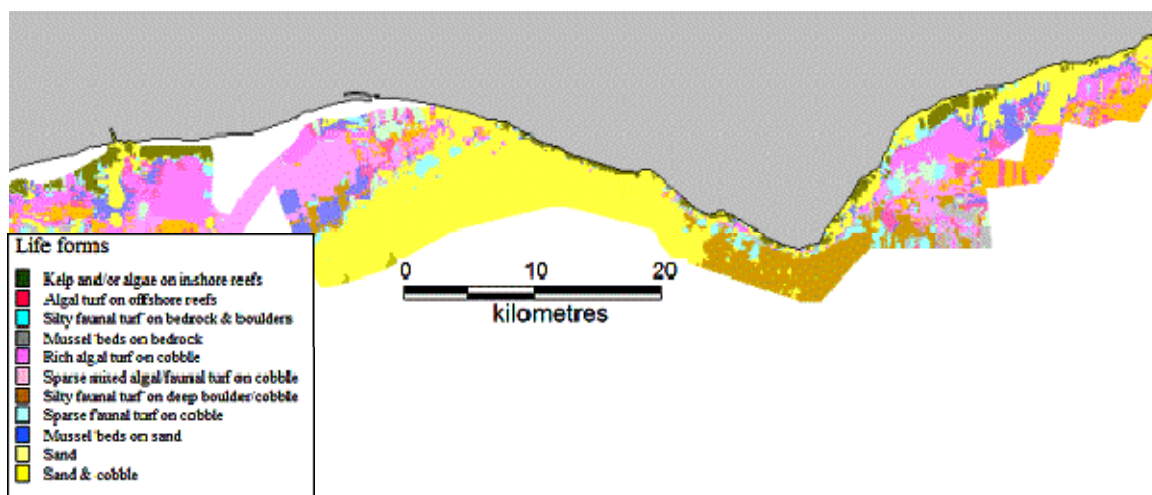
suffisamment détaillées pour prendre des décisions objectives à propos de divers aspects de la fiabilité d'une carte. La méthode MESH d'évaluation de la fiabilité d'une carte a pour but de visualiser dans le SIG webGIS de MESH une note globale de fiabilité calculée à partir de la description des programmes de cartographie, en les reliant à un jeu complet de notes détaillées afin que le processus d'évaluation demeure transparent. Les notes globales de fiabilité servent à comparer rapidement des cartes, alors que les notes détaillées permettent aux utilisateurs de voir pourquoi une carte a obtenu une note plus élevée qu'une autre. Un barème de notation fondé sur plusieurs critères permet aussi aux planificateurs des levés de prévoir l'effet des modifications de certains paramètres sur la qualité globale d'un levé. Autrement dit, un tel barème peut servir d'outil de planification.

La méthode MESH constitue un compromis entre l'exhaustivité d'une part, et la facilité de compréhension et d'utilisation d'autre part. Il ne fait pas de doute que de nombreux critères ont été laissés de côté, et les notes attribuées à chaque carte peuvent être remises en question. Ce système n'est pas conçu pour détecter des différences subtiles entre cartes, mais plutôt pour donner une évaluation simple et solide. Même si une note attribuée pour un critère précis est contestable, cela n'aura pas beaucoup d'effet sur la note globale attribuée à une carte. Même si l'on peut critiquer la conception et le fonctionnement de la notation multicritère, au moins la méthode est exposée au grand jour, car les points de décision sont clairement définis et s'accompagnent de conseils visant à normaliser l'attribution de notes par des personnes différentes.

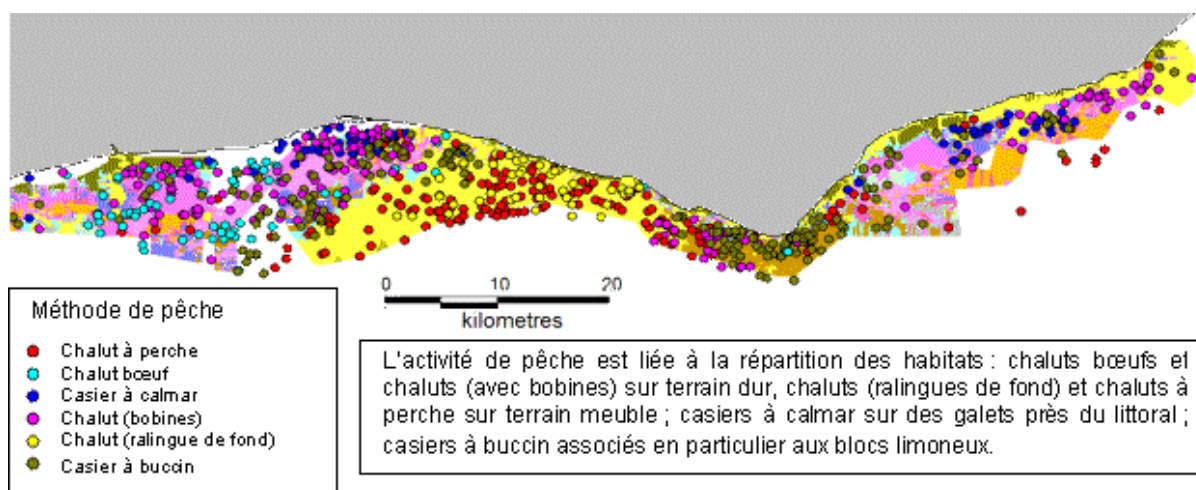
5.6 - Comment interpréter une évaluation de la fiabilité ?

Toute carte d'*habitats* est prédictive, et ce n'est qu'à l'usage que l'on peut vraiment la mettre à l'épreuve. Une carte inspire davantage confiance si elle a été examinée et approuvée par des experts externes et par des personnes qui connaissent le territoire couvert. Certaines cartes ont prouvé à l'occasion d'une validation indépendante qu'elles prédisent correctement les classes d'*habitats*. La plupart du temps, c'est à l'usage et en subissant l'épreuve du temps que les cartes montrent jusqu'à quel point elles sont acceptables.

Certaines cartes peuvent obtenir une note de fiabilité médiocre, mais cela ne veut pas dire qu'elles sont peu utiles dans certaines applications. De fait, il est possible qu'une telle carte s'avère concordante avec une source de données complètement indépendante, et que cela amène l'utilisateur à revoir son opinion de la carte. À titre d'exemple, la carte d'*habitats* ci-dessous a été produite à partir de données acquises entre 1994 et 1996, sur différents navires, uniquement à l'aide d'un *SACLAF*, avec des espacements variables des passages (souvent de plus de 500 m), et des données de terrain inégalement réparties, acquises uniquement à l'aide de caméras vidéo remorquées. L'outil d'évaluation donne une note globale de 51 % pour cette carte, ce qui correspond à un degré de fiabilité très faible.



La seconde carte comporte une couche supplémentaire constituée de données d'observation des activités de pêche (codées selon la méthode de pêche). Ces données, acquises entre 2004 et 2006, sont également limitées quant à leur exactitude. Par contre, la correspondance entre les activités de pêche et la répartition des *habitats* est manifeste.



Une carte peut donc s'avérer utile même si au départ elle n'inspire pas une grande confiance. On en conclut également qu'une stratégie de levés, même si elle n'est pas idéale, mais seulement la meilleure possible étant donné les contraintes, permet de produire des cartes valables.

Plus d'information....

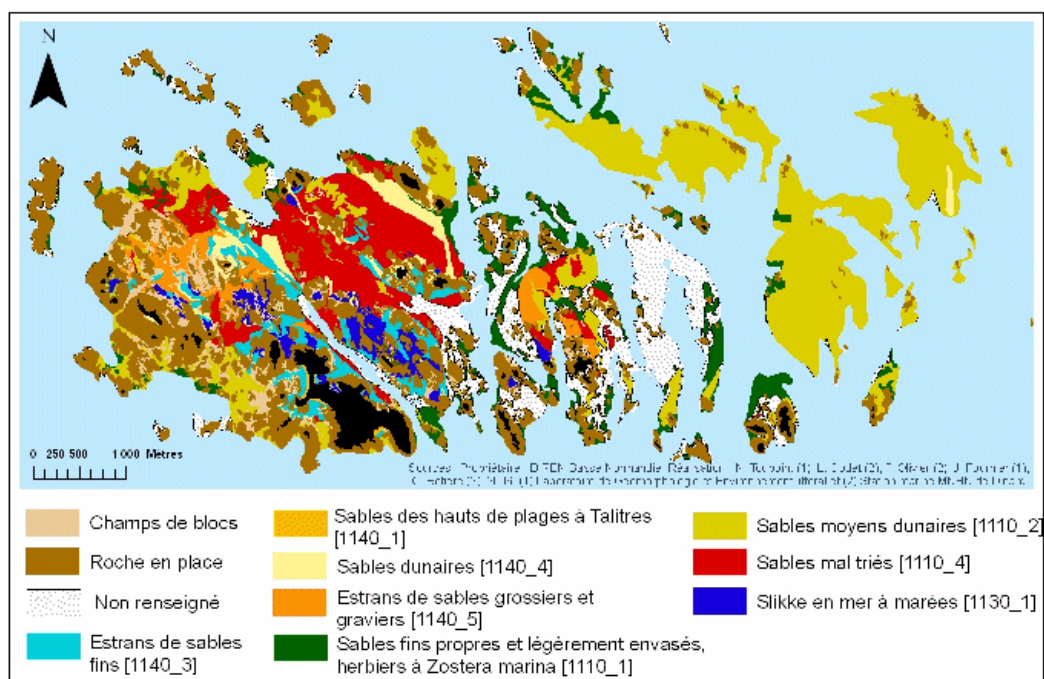
Documents :

Les ressources documentaires en anglais concernant ce chapitre sont disponibles à l'adresse internet suivante : <http://www.searchmesh.net/Default.aspx?page=1617>

6 - Que peut-on faire avec une carte ?

Une carte d'*habitats* est un produit visuel et l'aboutissement d'un processus complexe qui fait intervenir l'interprétation de données par des experts, en vue de transmettre un message précis à l'utilisateur. Ce chapitre aborde l'utilisation de cartes pour la gestion environnementale – ce pour quoi les cartes ont été produites – ainsi que d'autres utilisations possibles au-delà de leur finalité d'origine.

Pour de nombreuses personnes, une carte est une œuvre d'art à admirer, mais pour d'autres, c'est un outil essentiel qui contribue à la résolution de problèmes environnementaux complexes. Afin d'aider les utilisateurs à comprendre la contribution des cartes à la gestion de l'environnement, la première section de ce chapitre montre des exemples de la manière dont des cartes ont servi à résoudre des problèmes concrets, puis aborde les liens entre les perceptions des utilisateurs et le succès de l'exploitation des cartes. En plus de la carte proprement dite, il faut fournir des détails qui décrivent la carte et qui aident les utilisateurs à interpréter l'information qu'elle contient. La deuxième section explique comment une carte peut être décrite à l'intention d'autres personnes au moyen de ce que l'on appelle des métadonnées. Elle vise aussi à sensibiliser les intervenants du domaine de la cartographie des *habitats* quant à l'importance des métadonnées. Les cartes d'*habitats* doivent autant que possible être accessibles à la collectivité élargie des sciences et de la gestion du milieu marin, afin d'éviter d'inutiles dédoublements d'efforts pour acquérir des données dans un même territoire.



Carte des *habitats* marins intertidaux de l'archipel des îles Chausey. Cette carte entre dans l'élaboration du document d'objectif de Natura 2000 (source Diren de Basse-Normandie).

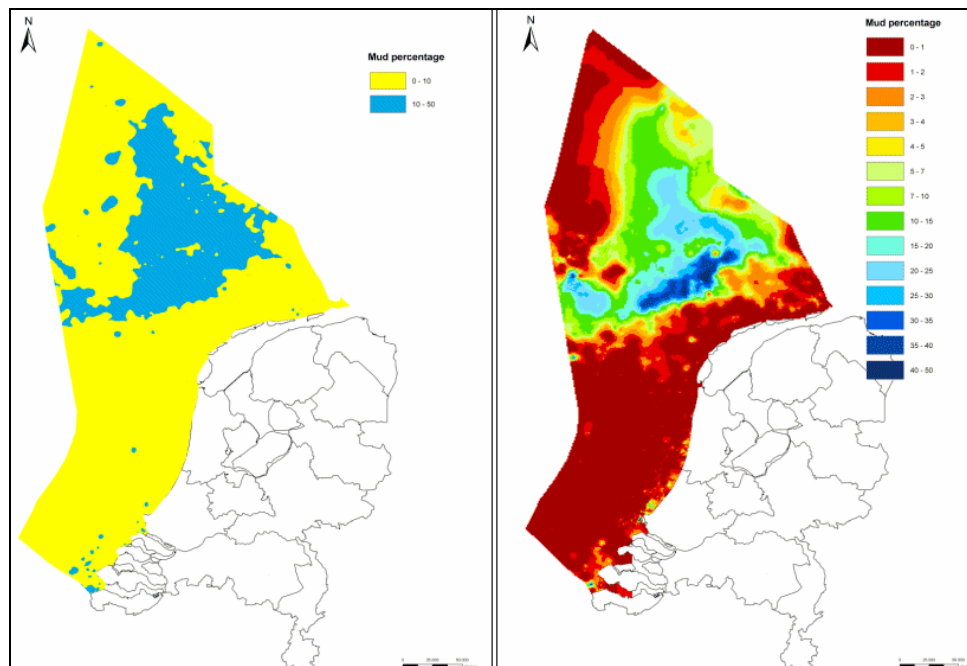
Lorsqu'ils produisent une carte d'*habitats* marins, les cartographes choisissent les entités cartographiques les mieux adaptées à la finalité de la carte, par exemple pour décrire des structures physiques à *échelle globale* ou une information biologique détaillée. La variété des raisons pour lesquelles on dresse des cartes du fond de la mer entraîne une variété presque aussi grande d'entités cartographiques. Dans le contexte de la cartographie des *habitats* marins, ces entités sont des classes d'*habitat*. Un ensemble défini de classes d'*habitat* s'appelle une typologie des *habitats*. Dans le cadre du projet MESH, on appelle traduction le processus de conversion des classes d'*habitat* d'une typologie à une autre. La quatrième section de ce chapitre aborde les avantages et la faisabilité d'une telle

traduction, ainsi que les processus qui permettent de la réaliser. Lorsque l'on rassemble des cartes produites dans le cadre de divers programmes de cartographie des *habitats*, il est probable que des cartes se chevauchent en certains endroits. Un tel chevauchement ne pose aucun problème en soi. Cependant, les cartes qui se chevauchent ont probablement été produites à des échelles différentes, à des fins différentes et avec des méthodes différentes. Même après une traduction dans une typologie commune, il est prévisible que des cartes ne concordent pas toujours dans les zones où elles se chevauchent. La cinquième section de ce chapitre donne des conseils à propos de la combinaison de cartes, en particulier dans le cas de cartes qui se chevauchent ou qui ont été conçues pour être visionnées à des échelles différentes.

Les progrès rapides de l'informatique depuis une dizaine d'années ont accéléré l'accès aux données et leur traitement, ce qui a modifié radicalement notre approche de la recherche et de la gestion en matière d'environnement marin. Il est maintenant possible de rechercher rapidement de l'information de multiples sources dans Internet, et même de télécharger des données (de manière réelle pour les stocker, ou virtuelle par un accès dynamique) en vue de les afficher et de les analyser localement. La dernière section de ce chapitre explique comment rendre des cartes accessibles par Internet, que ce soit en alimentant ou en créant un site Web, et résume comment combiner des cartes avec d'autres cartes accessibles en ligne.

6.1 - Utilisation de cartes

Une carte d'*habitats* est un produit visuel et l'aboutissement d'un processus complexe qui fait intervenir l'interprétation de données par des experts. Une carte est conçue pour transmettre des messages précis à l'utilisateur. Il ne faut pas oublier qu'une carte représente une vérité et non la vérité : il suffit de comparer les cartes du plateau continental des Pays-Bas produites pour des ingénieurs et pour des biologistes. Une même structure ne sera pas cartographiée de la même manière par des personnes différentes, sauf si celles-ci s'entendent pour utiliser les mêmes données en suivant les mêmes protocoles.



Pourcentage de vase sur le plateau continental néerlandais, à gauche produite principalement à partir d'estimations visuelles de la proportion de vase, à droite produite à l'aide d'outils numériques et à partir de mesures de la proportion de vase.

Afin d'aider les utilisateurs à comprendre la contribution des cartes à la gestion de l'environnement, le Guide MESH accessible in extenso sur le site Internet MESH montre des exemples de la manière dont des cartes ont servi à résoudre des problèmes concrets, puis aborde les liens entre les perceptions des utilisateurs et le succès de l'exploitation des cartes. Les cartes du fond de la mer sont précieuses et constituent une denrée relativement rare, parce qu'elles reposent sur des données coûteuses à acquérir et longues à interpréter. Il est donc essentiel de tirer le maximum d'un gisement de données, aussi bien au moment où celles-ci sont acquises que par la suite. Le chapitre évoque donc l'utilisation d'une carte d'*habitats* au-delà de sa finalité première ainsi que le cycle de vie d'une carte au-delà de son utilisation première prévue. Ci-dessous sont énoncés quelques principes de base relatifs à une bonne dissémination des cartes d'*habitats* vers leurs utilisateurs.

6.2 - Description de cartes

Toute carte est produite pour transmettre de l'information à des personnes. En plus de la carte elle-même, il faut fournir des données qui décrivent la carte et aident les utilisateurs à interpréter l'information qu'elle contient. Une carte peut être décrite à l'intention d'autres personnes au moyen de ce que l'on appelle des métadonnées. Elle vise aussi à sensibiliser les intervenants du domaine de la cartographie des *habitats* quant à l'importance des métadonnées. La cartographie des *habitats* est un processus long et coûteux, dont les produits – les cartes d'*habitats* – constituent de ce fait une ressource extrêmement précieuse. Une description utile et exacte de cette ressource est presque aussi précieuse que la ressource elle-même, et les métadonnées constituent donc une composante essentielle de la cartographie des *habitats* marins.

6.3 - Mise en commun de cartes

Les cartes d'*habitats* doivent autant que possible être accessibles à la collectivité élargie des sciences et de la gestion du milieu marin, afin d'éviter d'inutiles doublons d'efforts pour acquérir des données dans un même territoire. L'équipe du projet MESH a défini des formats d'échange de données et mis au point des outils pour épurer et mettre en forme des fichiers de formes ArcGISMC. Le fait de compiler ainsi des données existantes joue un rôle vital dans le processus de cartographie des *habitats* : ces données peuvent intervenir à chacune des étapes principales d'un programme de cartographie, depuis la planification initiale (p. ex. pour déterminer si de nouvelles données sont requises) jusqu'à la production (p. ex. en fournissant des couches de données supplémentaires à analyser) et à l'interprétation des résultats (p. ex. en situant des résultats locaux dans un contexte géographique plus large).

6.4 - Conversion de cartes

Dans le cadre du projet MESH, on appelle « traduction » le processus de conversion des classes d'*habitat* d'une typologie à une autre, et notamment vers la typologie EUNIS. Devant une panoplie de cartes – souvent créées à des fins différentes, puis regroupées dans le cadre d'un projet de compilation de données – il est naturel de vouloir utiliser ces cartes pour répondre à des questions sur la présence et l'étendue de certains *habitats*. Il est impossible de répondre à ces questions sans d'abord convertir les cartes à un ensemble commun d'entités cartographiques, en l'occurrence des classes d'*habitat*. Une telle traduction est essentielle dans le domaine de la cartographie des *habitats* marins, afin que les cartes puissent servir à répondre au plus grand nombre possible de questions.

6.5 - Combinaison de cartes

Lorsque l'on rassemble des cartes produites dans le cadre de divers programmes de cartographie des *habitats*, il est probable que des cartes se chevauchent en certains endroits. Un tel chevauchement ne pose aucun problème en soi. Cependant, les cartes qui se chevauchent ont probablement été produites à des échelles différentes, à des fins différentes et avec des méthodes différentes. Même après une traduction dans une typologie commune, il est prévisible que des cartes ne concordent pas toujours dans les zones où elles se chevauchent. De plus, chaque carte est produite pour être vue à une échelle précise, et la combinaison de plusieurs cartes en une seule vue cartographique électronique (par exemple dans un SIG ou un site interactif de cartographie) permet à l'utilisateur de faire à sa guise des zooms avant ou arrière afin de voir la carte à l'échelle de son choix. Cela donne l'illusion de cartes sans échelle, contrairement aux cartes imprimées, où la taille d'une structure que l'on peut distinguer dépend de la grandeur de la feuille de papier utilisée. Cette section propose quelques solutions aux problèmes posés par la combinaison de cartes électroniques, notamment ceux qui sont dus au chevauchement de cartes et à leur visualisation à une échelle variable. Une carte est conçue pour transmettre un message à l'utilisateur, et les cartographes se plaisent souvent à dire qu'« une image vaut mille mots ». La clarté du discours de ces « mille mots » une fois qu'une carte est combinée avec d'autres dépend du succès avec lequel on a relevé les défis de la combinaison de plusieurs cartes.

6.6 - Diffusion de cartes dans Internet

Les progrès rapides de l'informatique depuis une dizaine d'années ont accéléré l'accès aux données et leur traitement, ce qui a modifié radicalement notre approche de la recherche et de la gestion en matière d'environnement marin. Il est maintenant possible de rechercher rapidement de l'information de multiples sources dans Internet, et même de télécharger des données (de manière réelle pour les stocker, ou virtuelle par un accès dynamique) en vue de les afficher et de les analyser localement. La diffusion de cartes dans Internet présente plusieurs avantages importants, autant pour les propriétaires que pour les utilisateurs de cartes : la diffusion de l'information permet d'économiser des ressources en faisant connaître les données déjà disponibles et ainsi éviter des levés supplémentaires ; les propriétaires bénéficient de la publicité à propos de données qu'ils possèdent ; les cartes sont accessibles au personnel à l'extérieur du réseau Intranet ou du réseau local de leur bureau. Ces avantages s'accompagnent néanmoins de certains problèmes : la multiplication des sites Web de cartographie entraîne souvent de la confusion chez les utilisateurs sur les sites à consulter pour trouver des données sur le milieu marin. La disponibilité de cartes en ligne amène des non-experts à utiliser et à interpréter des cartes dans n'importe quel but, sans avoir à consulter des spécialistes des *habitats*, ni à réfléchir aux méthodes employées pour les levés. On ne ressent plus comme autrefois le besoin de communiquer avec les auteurs des cartes. Avant de décider de réaliser un site Web pour la diffusion de données de cartographie, il est essentiel de vérifier si l'on ne pourrait pas économiser des ressources en versant plutôt ces données dans un site Web de cartographie existant.

La technologie des SIG sur micro-ordinateur et l'avènement de normes internationales relatives aux données permettent de réaliser des visualisations complexes de données spatiales, souvent à partir de données situées à la fois sur place et dans des serveurs Internet à distance. Cette section explique comment rendre des cartes accessibles par Internet, que ce soit en alimentant ou en créant un site Web, et résume comment combiner des cartes avec d'autres cartes accessibles en ligne.

Plus d'information....

Documents :

Les ressources documentaires en anglais concernant ce chapitre sont disponibles à l'adresse internet suivante : <http://www.searchmesh.net/Default.aspx?page=1628>

Glossaire

analyse de l'existant [*gap analysis*] – n. f.

Démarche qui vise à déterminer l'information manquante et donc les données à acquérir pour produire une carte.

attribut [*attribute*] – n. m.

Caractéristique d'un objet cartographié.

biocénose [*biocenosis*] – n. f.

Ensemble des animaux et végétaux qui vivent en un lieu donné.

carte [*map*] – n. f.

Représentation simplifiée d'un territoire qui met en évidence les relations spatiales entre les objets qu'il contient.

cartographie [*cartography*] – n. f.

Processus de création d'une carte donnant de manière claire et concise de l'information à partir de données, à une échelle adaptée à son objet.

classe [*class*] – n. f.

Catégorie affectée à un ensemble d'attributs, à des fins de représentation sur une carte.

classification [*classification*] – n. f.

Processus d'affectation de classes à un ensemble de données.

communauté [*community*] – n. f.

Ensemble d'espèces vivantes ayant de nombreux liens entre elles au sein d'un système organisé.

confiance [*confidence*] – n. f.

Appréciation par l'utilisateur de la fiabilité d'une carte relativement à son objet.

couche [*layer*] – n. f.

Dans le contexte d'une carte numérique, ensemble de données géographiques du même type. Par exemple, dans le cas d'une carte topographique, les routes, le relief, les parcs nationaux, les frontières politiques et les cours d'eau peuvent donner lieu à cinq couches distinctes.

degré de couverture [*coverage*] – n. m.

Proportion d'un territoire pour laquelle des données ont été acquises.

échelle fine [*fine scale*] – n. f.

Échelle d'une carte qui représente un petit territoire par unité de surface, avec beaucoup de détails. Synonyme : grande échelle.

échelle globale [*broad scale*] – n. f.

Échelle d'une carte qui représente un grand territoire par unité de surface, avec peu de détails. Synonyme : petite échelle.

empirique [*empirical*] – adj.

Fondé sur l'expérience et l'observation plutôt que sur des données scientifiques prouvées.

endofaune [*infauna*] – n. f.

Ensemble des organismes benthiques qui vivent enfouis dans les sédiments.

épifaune [*epifauna*] – n. f.

Ensemble des organismes qui vivent à la surface du sol, notamment au fond de la mer.

erreur [*error*] – n. f.

Différence entre une mesure et la réalité qu'elle décrit. L'erreur peut être de nature qualitative (inexactitude) ou quantitative (imprécision).

exactitude [*accuracy*] – n. f.

Conformité d'une valeur mesurée (grandeur ou attribut) avec la réalité. L'exactitude indique jusqu'à quel point une donnée est correcte. Ne pas confondre avec la précision, qui se rapporte au degré d'erreur du résultat d'une mesure.

fiabilité [*reliability*] – n. f.

Qualité d'une carte qui représente fidèlement la réalité. L'exactitude et la précision d'une carte sont deux aspects de sa fiabilité.

grande échelle [*large scale*] – n. f.

Synonyme d'échelle fine.

habitat [*habitat*] – n. m.

Lieu reconnaissable à ses caractéristiques physiques et sa biocénose, et qui évolue à un rythme donné dans l'espace et dans le temps.

hétérogénéité [*heterogeneity*] – n. f.

Degré de diversité de différents attributs dans un territoire donné. L'hétérogénéité a des conséquences pratiques sur la cartographie des habitats. Si une plus petite unité cartographique est hétérogène, il faut la représenter à l'aide d'une classe mixte ou d'une certaine mesure de la diversité, ou encore simplifier en montrant la classe prédominante. Par ailleurs si de nombreux petits polygones de classes différentes sont regroupés sur une carte, la fiabilité de la position exacte de chaque classe risque d'être réduite.

homogénéité [*homogeneity*] – n. f.

Degré de similitude de divers attributs dans un territoire donné. À l'intérieur d'un polygone donné d'une carte, les attributs de la classe d'habitat correspondante ont une valeur unique, même s'il y a une hétérogénéité mesurable.

HTML

Abréviation de *HyperText Markup Language* ou langage de balisage hypertexte.

incertitude [*uncertainty*] – n. f.

Degré de manque de fiabilité d'une carte. L'inexactitude et l'imprécision sont deux aspects de l'incertitude.

information [*information*] – n. f.

Données auxquelles une interprétation confère une signification.

intermédiaire [*proxy*] – adj.

Dans le domaine de la *cartographie*, se dit d'une variable mesurable qui en représente une autre non directement mesurable.

interpolation [*interpolation*] – n. f.

Estimation d'une valeur non mesurée en un point à partir des valeurs mesurées en des points avoisinants.

interprétation [*interpretation*] – n. f.

Attribution d'une signification à des données par une analyse orientée. En cartographie des habitats, application systématique de signatures, de typologies, de modèles et de règles à des données spatiales en vue de représenter une prédiction de la répartition d'attributs.

langage de balisage extensible [*extensible markup language*] – n. m.

Langage universel de balisage utilisé pour l'échange d'information, que ce soit ou non dans le Web. Contrairement au langage de balisage hypertexte, qui décrit les modalités de présentation de l'information à l'aide d'un nombre fixe de balises, le langage de balisage extensible décrit la structure des éléments d'un document et permet à l'utilisateur de définir de nouvelles balises. Abréviation : XML

langage de balisage hypertexte [*hypertext markup language*] – n. m.

Langage de balisage utilisé pour la création de pages Web. Un langage de balisage combine contenu textuel et données supplémentaires de présentation de ce contenu. Abréviations : *HTML*

largeur de fauchée [*swath width*] – n. f.

Largeur de la bande de territoire couverte lors d'un passage unique d'un appareil de télédétection.

lidar [*LiDAR*] – n. m.

De l'anglais *Light Detecting And Ranging*. Technique de levé qui mesure l'altitude en utilisant le temps de trajet d'un rayon laser. La lumière infrarouge est adaptée à la détection du sol, alors que la lumière verte, en raison de sa capacité de pénétration dans l'eau, permet de faire des levés bathymétriques.

limite de résolution [*resolution limit, resolution*] – n. f.

Différence minimale entre deux valeurs d'une grandeur mesurée par un instrument. Plus la limite de résolution d'un instrument est petite, plus son pouvoir de résolution est grand.

métadonnées [*metadata*] – n. f. plur.

Information décrivant des données, par exemple leurs caractéristiques et leur provenance.

MNT [*DTM*] – n. m.

Abréviations de modèle numérique de terrain.

modèle [*model*] – n. m.

Dans le contexte de la cartographie des habitats benthiques, toute représentation du fond de la mer fondée sur une investigation systématique de ses paramètres. Tout modèle doit être mis à l'épreuve afin que l'on puisse établir sa valeur prédictive.

paysage marin [*marine landscape*] – n. m.

Ensemble d'habitats marins constituant un tout et qui possède des caractéristiques sédimentaires, une morphologie et une hydrodynamique propres et importantes dans la détermination des biocénoses hébergées.

petite échelle [*small scale*] – n. f.

Synonyme d'échelle globale.

pixel [*pixel*] – n. m.

De l'anglais *picture element*. Plus petite unité d'information sur une image ou une carte maillée. Un pixel est généralement carré ou rectangulaire. En télédétection, unité de base de l'acquisition de données.

plus petite unité cartographique [*minimum mapping unit*] – n. f.

Taille de la plus petite structure représentée sur une carte, à ne pas confondre avec la taille minimale d'un habitat. La taille au sol de la plus petite unité cartographique change avec l'échelle de la carte.

polygone [*polygon*] – n. m.

Sur une carte, figure fermée définie par un ensemble de paires de coordonnées (x,y), la première et la dernière paires étant identiques et toutes les autres étant différentes. Dans le contexte d'une carte d'habitats, un polygone est réputé représenter une zone homogène.

pouvoir de résolution [*resolving power, resolution*] – n. m.

Capacité d'un instrument à distinguer deux valeurs voisines. Plus le pouvoir de résolution d'un instrument est grand, plus sa limite de résolution est petite.

précision [*precision*] – n. f.

Variabilité des mesures d'une même grandeur. La précision indique jusqu'à quel point une mesure se rapproche de la grandeur réelle. Ne pas confondre avec « l'exactitude », qui se rapporte à la conformité d'une valeur mesurée avec la réalité.

prédiction [*prediction*] – n. f.

Dans le contexte d'une carte d'habitats, action d'annoncer la classe d'habitat ou la valeur d'un paramètre en un lieu donné.

probabilité [*probability*] – n. f.

Rapport entre le nombre de cas favorables à l'occurrence d'un événement et le nombre total de cas possibles. La *probabilité* d'un événement impossible est de 0, et celle d'un événement certain de 1.

résolution [*resolution*] – n. f.

En informatique, nombre de pixels par unité de surface ou nombre total de pixels d'une image. La résolution s'exprime par deux nombres, qui donnent respectivement le nombre de pixels dans le sens horizontal et dans le sens vertical (p. ex. 1024 x 768). Noter que le mot anglais *resolution* et par voie de conséquence le mot français *résolution* sont souvent employés pour désigner les deux concepts différents de **pouvoir de résolution** et de **limite de résolution**, ce qui peut être source de confusion.

SACLAF – n. m.

Système acoustique de classification automatique des natures de fonds.

surveillance [*monitoring*] – n. f.

Ensemble d'observations, de mesures et d'évaluations continues et répétées d'un milieu ou d'un phénomène, effectuées à l'aide de méthodes comparables selon un calendrier et en des lieux bien définis, et dans un but déterminé.

système d'information géographique [*geographic information system*] – n. m.

Ensemble intégré de logiciels et de données servant à visualiser et à gérer de l'information sur des lieux géographiques, à analyser des relations spatiales et à modéliser des processus spatiaux. Un système d'information géographique constitue un cadre pour l'acquisition et l'organisation de données spatiales et de l'information connexe, en vue de leur analyse et de leur représentation. Abréviation : SIG.

topologie [*topology*] – n. f.

Ensemble des relations spatiales entre des structures adjacentes ou reliées entre elles dans une couche de données géographiques. Dans une base de données géographiques, la topologie permet de définir et d'appliquer des règles d'intégrité des données. On peut par exemple définir la règle suivante : « Il ne peut y avoir aucun chevauchement de deux polygones, et l'ensemble des polygones d'une carte doit couvrir la totalité du territoire représenté. »

typologie [*classification scheme*] – n. f.

Système de classification fondé sur divers attributs.

valeur prédictive [*predictive power*] – n. f.

Capacité d'une carte à prédire correctement le contenu d'une plus petite unité cartographique.

validation sur le terrain [*ground validation*] – n. f.

Ensemble d'observations effectuées sur le terrain pour tester la valeur prédictive d'une carte d'habitats.

variabilité [*variability*] – n. f.

Propriété d'une grandeur de donner lieu à des valeurs différentes lorsque l'on répète un même processus de mesure dans des conditions précises.

XML

Abréviation de eXtensible Markup Language ou langage de balisage extensible.