

CARTOGRAPHIE Évolutive

des herbiers à Posidonie

en Région PACA
sur la période 1922 | 2011

Rapport Intermédiaire
Étude sur le littoral du département
des Alpes Maritimes

Décembre 2011

HOLON florian | JULLIAN Benoît

Production
&
Réalisation

OEIL ANDROMÈDE
7, place Cassan
34280 CARNON
FRANCE

Tel : 04 67 66 32 48
Fax : 04 67 41 93 34
Mail : contact@andromede-ocean.com
Site : www.andromede-ocean.com



CARTOGRAPHIE

Evolutive

des herbiers à Posidonie

en Région PACA

sur la période 1922 | 2011

Etude comparative de l'état des herbiers à Posidonia oceanica sur le Littoral de la Région Provence Alpes Cote d'Azur sur la période couvrant 1922 à nos jours.

Étude sur le littoral du département des
Alpes Maritimes

INFORMATIONS

Coordination Agence de l'eau :

Agence de l'eau Rhône, Méditerranée et Corse
24, Allée de Lodz
69363 LYON Cedex 7

Mail : www.eaurmc.fr

Maître d'œuvre :

Oeil Andromède
7, place Cassan
34280 Carnon
Tel : 04 67 66 32 48
Fax : 04 67 41 93 34
Mail : contact@andromede-ocean.com

Traitement des données, structuration du SIG, Mise en page des cartographies, Analyse des résultats :

HOLON Florian - Cogérant Andromède Océanologie
Mail : florian.holon@andromede-ocean.com

GUILBERT Antonin - Chargé d'étude
Mail : anto.guilbert@gmail.com

JULLIAN Benoît – Stagiaire Andromède Océanologie
Mail : benoitjullian@hotmail.fr

Traitement des données et rédaction :

HOLON Florian – Cartographie | Suivi scientifique | Analyse des résultats
GUILBERT Antonin -- Cartographie | Traitement sous SIG | Analyse des résultats | Rédaction
JULLIAN Benoît – Traitement sous SIG | Rédaction

Crédit photographique :

Laurent BALLESTA, Pierre DESCAMPS, Florian HOLON.

Crédit données SIG :

Bathymétrie et biocénoses 2010 – 2011 : Andromède Océanologie
Bathymétrie SHOM 2003 : Service hydrographique et Océanographique de la Marine
Mosaïque Orthophotographies Littorales Anciennes : Photothèque Nationale
Inventaire et impacts des aménagements gagnés sur le domaine marin : Observatoire MEDAM

Référencement du document :

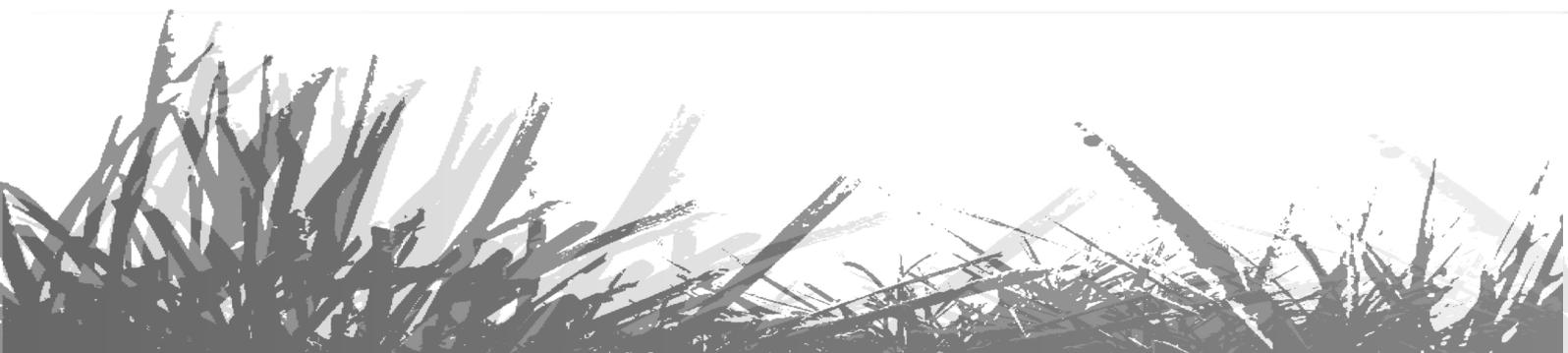
Andromède, 2011. Cartographie évolutive des herbiers de Posidonie en Région PACA sur la période 1922 - 2011, Région Provence-Alpes-Côtes d'Azur, France, NPAGE p.



RÉSUMÉ

Les peuplements de *Posidonia Oceanica* vivant en Méditerranée jouent un rôle écologique primordial. Objet de nombreuses recherches scientifiques, son statut de bio indicateur est un outil qui s'avère très efficace pour la surveillance et la gestion du littoral marin. Base de l'alimentation pour de nombreuses espèces aquatiques et véritable usine à oxygène, sa présence le long de nos littoraux est aujourd'hui menacée, principalement par l'accroissement des activités anthropiques du à l'homme. Si l'impact de ces activités sur les écosystèmes est révélé, il existe peu de données permettant de quantifier et d'analyser les dégâts réels causés au fil du temps par celles-ci. Cette étude comparative a pour mission d'étudier l'évolution de la répartition des herbiers à Posidonie à l'échelle régionale de la Région PACA sur la période couvrant 1922 à nos jours.

Le présent rapport est un rapport préliminaire concentré sur l'étude de l'évolution des herbiers de posidonie entre 1924 et 2011 dans le département des Alpes Maritimes.



SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	1
1.1 Elements de contexte et objectifs	1
1.2 Objectifs de l'étude	2
1.3 Découpage du secteur en zone d'étude	3
II. TRAITEMENTS ET MÉTHODES	6
2.1 Phase de préparation	6
2.2 Phase de traitement	9
III. PRESENTATION DES RESULTATS	-
IV. ANALYSE DES RESULTATS	-
V. CONCLUSION	-
REFERENCES	13
ANNEXES	-

I. INTRODUCTION

1.1 Elements de contexte et objectifs

Posidonia Oceanica est une espèce de Magnoliophyte de la famille des Posidonia oceanica endémique à la Méditerranée. En France, on peut observer sa présence sous forme d'herbier dans les eaux baignant le littoral Méditerranéen.

La plante se développe près du bord de côte et jusqu'à des profondeurs avoisinants les 30 – 40 mètres. Le facteur principal déterminant son implantation est la présence de lumière. La transparence de l'eau et la limpidité de celle-ci permettent ainsi à la plante d'exercer son activité photo-synthétique durant laquelle elle libère de grandes quantités de dioxygène. En colonisant les fonds côtiers, ces herbiers garantissent un rôle écologique de premier plan (Boudouresque et al., 2006) en modérant l'érosion causée par les vagues sur le littoral, mais également en abritant une biodiversité importante qui recherche abris et nourriture au cœur de ses denses prairies.

Ce rôle d'abris présente un intérêt économique intéressant pour la pêche artisanale, car nombre d'espèces dites « d'intérêts économiques » viennent s'y reproduire et ce procédé naturel garantit le renouvellement constant des stocks de poissons qui sont pêchés. Le maintien d'activités traditionnelles sur les territoires est bonifiant pour le tourisme.

Les herbiers à Posidonia Oceanica ont ainsi acquis au cours de ces dernières décennies un statut d'indicateur biologique et d'outils de surveillance déterminant pour la qualité des milieux aquatiques de nos littoraux. Mais en plus de cette valeur patrimoniale, ils participent activement à la pérennité économique de nombreuses activités (pêche, plongée sous marine, recherche scientifique).

Cet intérêt est aujourd'hui la source de la mise en place de mesures de protection : Convention de Berne (relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe), Convention de Barcelone (protection des espaces et des espèces en Méditerranée) et Directive Habitats (1992) de l'Union Européenne, La Directive Cadre sur l'Eau (2000) et l'objet de nombreuses études de milieux et inventaires biologiques depuis de nombreuses années (Leriche A et al, 2003).

La cartographie des biocénoses marines et en particulier de la répartition des herbiers est un outil adapté aux études scientifiques pour illustrer et identifier les étendues occupées par ceux-ci. Les cartes réalisées viennent en appui aux constats écologiques opérés sur le terrain et sont un instrument de visualisation et de communication très intéressant dans l'aide à la gestion et à la gouvernance des littoraux concernés.

Sur certaines parties du littoral, il existe des études complètes et des traces de ces cartographies. Les plus vieilles remontent parfois jusqu'à la fin du 19^e siècle.

Afin de mieux comprendre les dynamiques qui régissent ces milieux, des études comparatives sur l'évolution de l'herbier ont été réalisées précédemment en France (Leriche et al, 2004, 2005), mais celles-ci ne concernent qu'une partie localisée de notre territoire. Les technologies et les outils de travail ont connus une progression constante et cette étude démontre qu'il existe de fortes disparités entre les résultats des différentes cartographies, et notamment sur les tracés des limites inférieures des herbiers.

Alors peut-on tirer des conséquences de ces données ? car il semble que sur certaines cartographies anciennes, la représentation des herbiers ait été largement exagérée.

L'interprétation de photographies aériennes ne permet pas de distinguer l'herbier en totalité, la limpidité de l'eau empêchant une reconnaissance visuelle de sa limite inférieure. Aujourd'hui les interprétations dans ces profondeurs avoisinant les 20-30 mètres sont réalisées à partir de sonogrammes. Par l'absence de ces données, seule une analyse comparative sur la limite supérieure de l'herbier est réalisable.

Malgré les différences notables, les cartographies anciennes démontrent des changements importants et des modifications notables apportées sur l'herbier (Pergent Martini et al, 2006). Ainsi, à Marseille près de 90% de l'herbier a disparu (Boudouresque, 1996), et ce phénomène de régression touche l'ensemble des côtes Nord Occidentales où l'herbier est aujourd'hui encore bien présent. L'herbier Languedocien a vu sa surface diminuer jusqu'à quasi disparaître (Foulquié et Dupuy de la Granrive, 2003), les côtes varoises sont également touchées (Var, France ; Bourcier et al., 1979). Ces événements peuvent être mis en corrélation avec l'augmentation des activités humaines sur le littoral Méditerranéen ;

Ainsi, les départements de l'Hérault, des bouches du Rhône ou encore du Var (Source INSEE) ont pu voir leur population respective augmenter de plus de 100 000 habitants au cours de ces 10 dernières années. Des villes côtières comme Hyères ou St Cyr sur Mer ont multiplié par 4 leurs nombres d'habitants, c'est le cas de villes un peu plus en retrait dans les terres comme Istres qui a subit la même augmentation.

L'explosion démographique et du tourisme sur ces territoires induit une hausse des activités anthropiques, des rejets d'eaux usées, des aménagements côtiers (plages, ports, épis rocheux) gagnées sur la mer, et cela à des répercussions sur les milieux bordant le littoral méditerranéen, et en particulier les herbiers à Posidonia Oceanica qui s'y trouve.

Afin de quantifier et d'étudier l'impact que ces activités ont pu avoir sur l'évolution des biocénoses du littoral, cette étude comparative a pour mission d'étudier l'évolution des herbiers à Posidonie du secteur particulier jusqu'à l'échelle régionale de la Région PACA sur la période couvrant 1922 à 2011. Un certain nombre de sites d'intérêt particulier ont été retenus afin d'appuyer les causes établies de régression de l'herbier (Leonardo Tunesi et Charles François Boudouresque, 2006).

1.2 Objectifs de l'étude

Des cartographies des herbiers existantes apportent des informations et des illustrations concernant la présence des herbiers à Posidonie depuis le début du 19^e siècle le long du littoral français.

Le suivi de ces herbiers a dévoilé un flot d'informations importantes qui reste malgré tout très hétérogène. Cette présente étude doit permettre d'apporter d'avantage d'éléments de réponse dans l'illustration de la répartition des herbiers à Posidonie.

L'application et la mise en place des techniques et des méthodologies modernes, ainsi que l'appui de nombreuses connaissances au travers de publications à caractère scientifique sur cet habitat permettent aujourd'hui d'effectuer des investigations plus précises.

L'apport des outils informatiques a accru d'une part la précision, mais également la fiabilité des données. Là où les techniques s'appuyaient sur des informations géographiques thématiques et des observations ponctuelles de terrain, elles utilisent désormais des informations géoréférencées où chaque entité correspond à un élément de terrain géographiquement correct et vérifié par des transects de points vérités terrains. La cartographie de précision tend ainsi à remettre en question la qualité des données antécédentes, ainsi que leurs fiabilités.

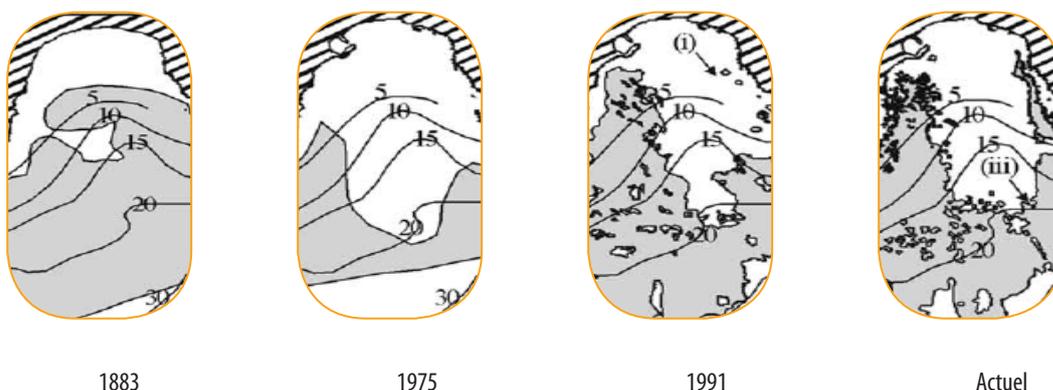


FIGURE 1 : Évolution des technologies : Accroissement de la qualité / précision (D'après Agathe Leriche et al, 2004).

Il est difficile de tirer des conclusions générales de telles données, de même que celles-ci ne sont pas présentes uniformément sur le littoral Provençal et Azuréen. Le calcul de statistiques n'est pas toujours disponible, il est intéressant d'observer l'information de localisation, de même que les formes d'herbiers qui sont représentées. Si il s'avère que la détermination d'un contour n'est pas suffisamment précise, elle peut néanmoins être le reflet d'une observation de variation dans la répartition des herbiers sur un espace.

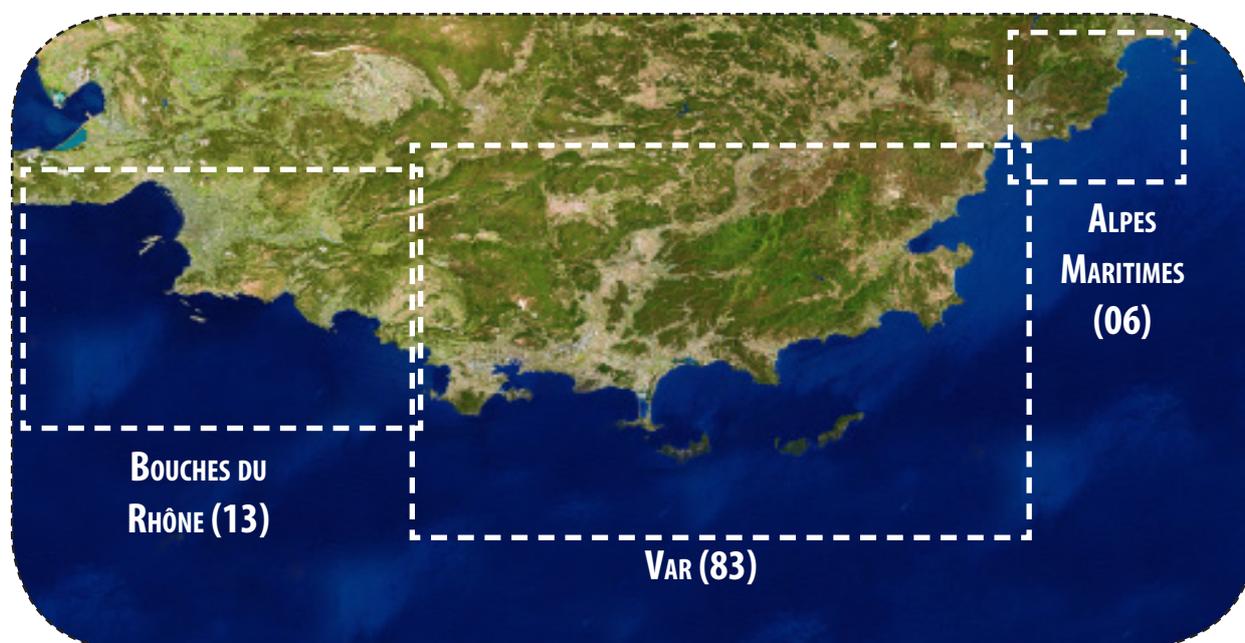
Pour tenter de comprendre certaines de ces observations des datations au carbone 14 des mattes mortes ont été réalisées sur divers sites en limite inférieure de l'herbier (aux alentours de 30 mètres) (Gravez et al., 1992), afin de déterminer les période de régression. Si des résultats montrent que la Posidonie a connu une période de régression vers le 13^e siècle, les observations actuelles démontrent que certains herbiers régressent fortement et en particulier dans la partie Nord Occidentale Méditerranéenne. Il est donc intéressant de mesurer l'évolution relative à l'ère industrielle moderne, période où l'impact des activités anthropiques humaines à eu des répercussions considérables sur l'environnement et les écosystèmes marins : surpêche industrielle, rejet de substances chimiques et organiques non traitées, explosion démographique dans les agglomérations et les villes côtières, etc. (Boudouresque et al., 2006).

1.3 Découpage du secteur en zone d'étude

Cartes Situation pour chaque département qui présente les différents sites.

Présenter le découpage des zones puis sites de manière générale sans entrer dans les détails.

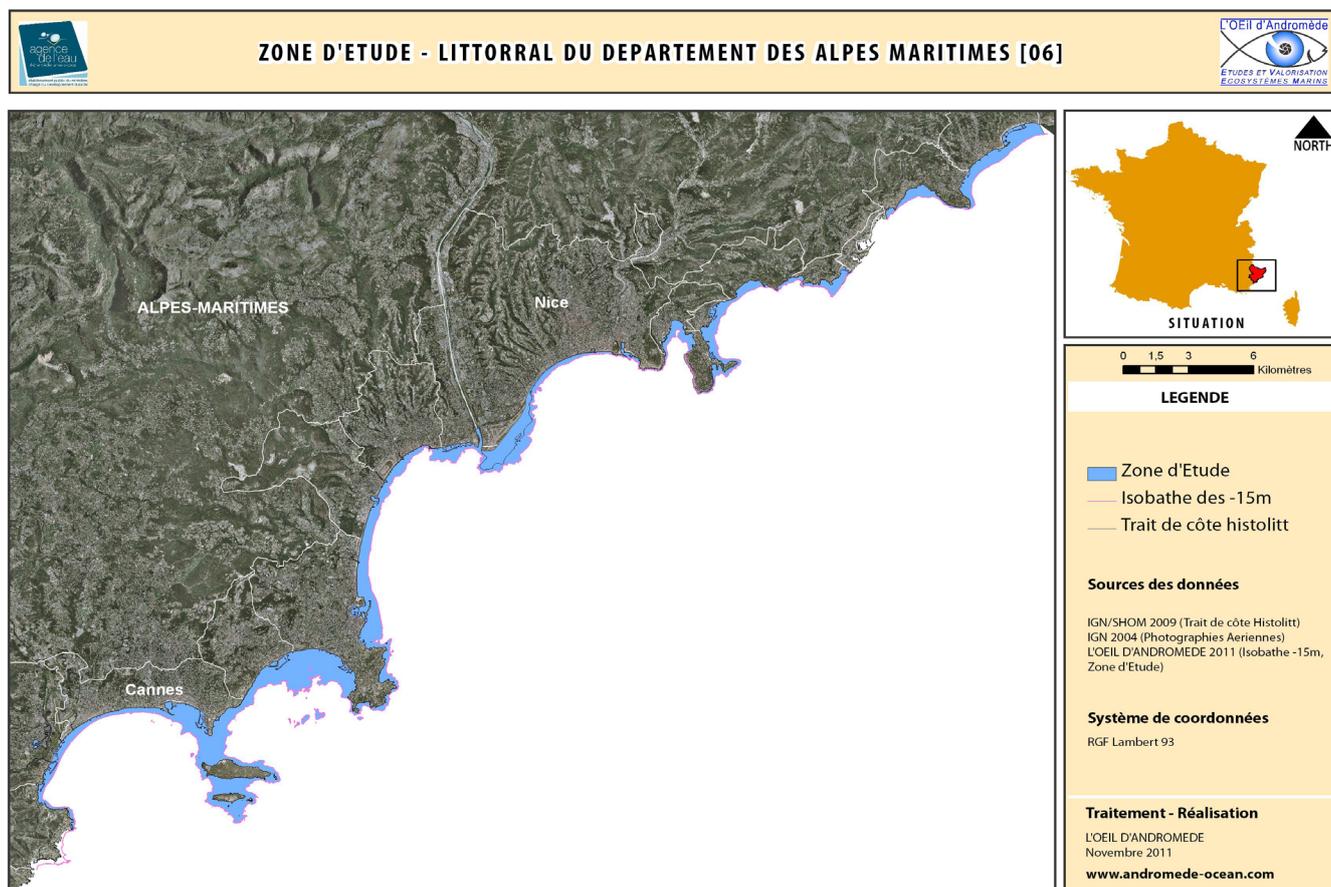
Carte illustrative avec maillage permettant d'apprécier le nombre de mailles à entrer.



Pour ce premier document, l'étude s'est concentrée sur le département des Alpes Maritimes :

- Zone d'étude

L'étude a été réalisée en premier lieu à l'échelle du département des Alpes Maritimes.

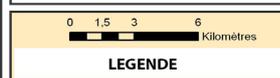
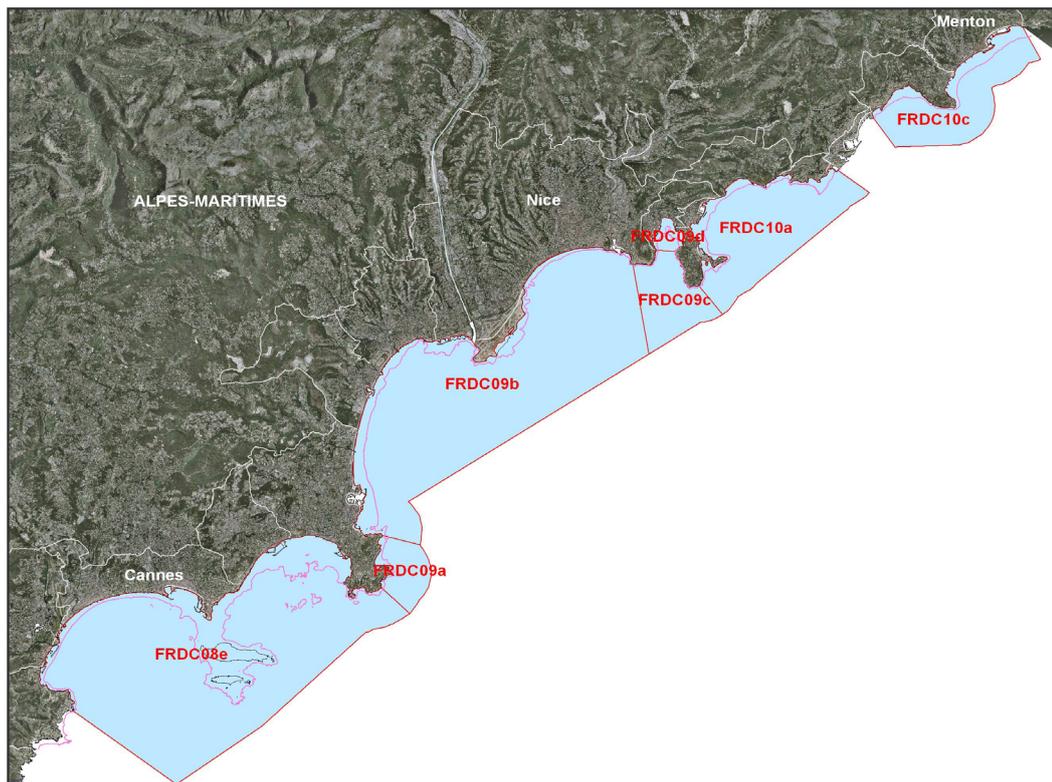


Elle a ensuite été réalisée à l'échelle des masses d'eau identifiées par l'Agence de l'Eau le long du littoral des Alpes Maritimes.

Dans les deux cas, la zone d'étude s'étend depuis le trait de côte jusqu'à l'isobathe des -15 mètres.

MASSE D'EAU DU LITTORAL DES ALPES MARITIMES

FRDC10a	Cap Ferrat - Cap d'Ail
FRDC09d	Cap d'Antibes - Cap Ferrat
FRDC09a	Cap d'Antibes - Sud port Antibes
FRDC10c	Monte Carlo- Frontière italienne
FRDC08e	Pointe de la Galère - Cap d'Antibes
FRDC09b	Port Antibes - Port de commerce de Nice
FRDC09c	Port de commerce de Nice - Cap Ferrat



LEGENDE

- Isobathe des -15m
- Trait de côte histolitt
- Masses d'Eau

Sources des données

IGN/SHOM 2009 (Trait de côte Histolitt)
IGN 2004 (Photographies Aeriennes)
L'OEIL D'ANDROMEDE 2011 (Isobathe -15m)
AGENCE DE L'EAU (Masses d'eau)

Système de coordonnées

RGF Lambert 93

Traitement - Réalisation

L'OEIL D'ANDROMEDE
Novembre 2011
www.andromede-ocean.com

II. TRAITEMENTS ET MÉTHODES

La cartographie des herbiers à Posidonie suit la procédure schématique présentée en page suivante. L'ensemble des processus se regroupent en 3 phases.

2.1 Phase de Préparation

- **Obtention et collecte des données**

Trait de côte

Le trait de côte utilisé pour définir cette zone est celui de 1924. Il a été réalisé par l'Oeil d'Andromède à partir du trait de côte de 2009 fourni par l'IGN et le SHOM (2009), et modifié d'après les photographies aériennes de 1924 du littoral des Alpes Maritimes fournies par le consortium « Région Provence-Alpes-Côte d'Azur © SHOM, IFREMER et Photothèque nationale (2008) ».

Isobathe des -15m

L'isobathe des -15m le long du littoral des Alpes Maritimes a été réalisé à partir de données bathymétriques fournies par Andromède Océanologie (de Théoule sur Mer au Cap d'Ail) et complété par des données fournies par le SHOM (du Cap Martin à Menton).

Photographies aériennes

Deux lots de photographies aériennes ont été utilisés pour la réalisation des cartographies de l'herbier sur le département des Alpes Maritimes :

- Une mosaïque géoréférencée de photographies aériennes anciennes datant de 1924 qui couvre la quasi totalité du littoral des Alpes Maritimes (excepté les alentours de Théoule-sur-Mer) (Carte-XXX). Ces données sont fournies par le consortium « Région Provence-Alpes-Côte d'Azur © SHOM, IFREMER et Photothèque nationale (2008) ». Elles ont été utilisées pour la réalisation de la cartographie de l'herbier de 1924.

Certaines photographies ne sont cependant pas exploitables pour la numérisation de l'herbier à cause d'un fort hydrodynamisme le jour des prises de vue, d'une résolution radiométrique qui diffère d'une photo à une autre, de l'utilisation d'objectifs qui induisent des déformations sur les bords de l'image ou encore de la forte présence de bruits qui provient d'une perte en qualité lors de la numérisation des clichés argentiques.

- Une mosaïque géoréférencée de photographies aériennes récentes datant de 2004 qui couvre la totalité du littoral des Alpes Maritimes (Carte-XXX). Ces données sont fournies par L'IGN (2004). Elles ont été utilisées pour la réalisation de la cartographie de l'herbier de 2010.

Aménagements littoraux depuis 1924

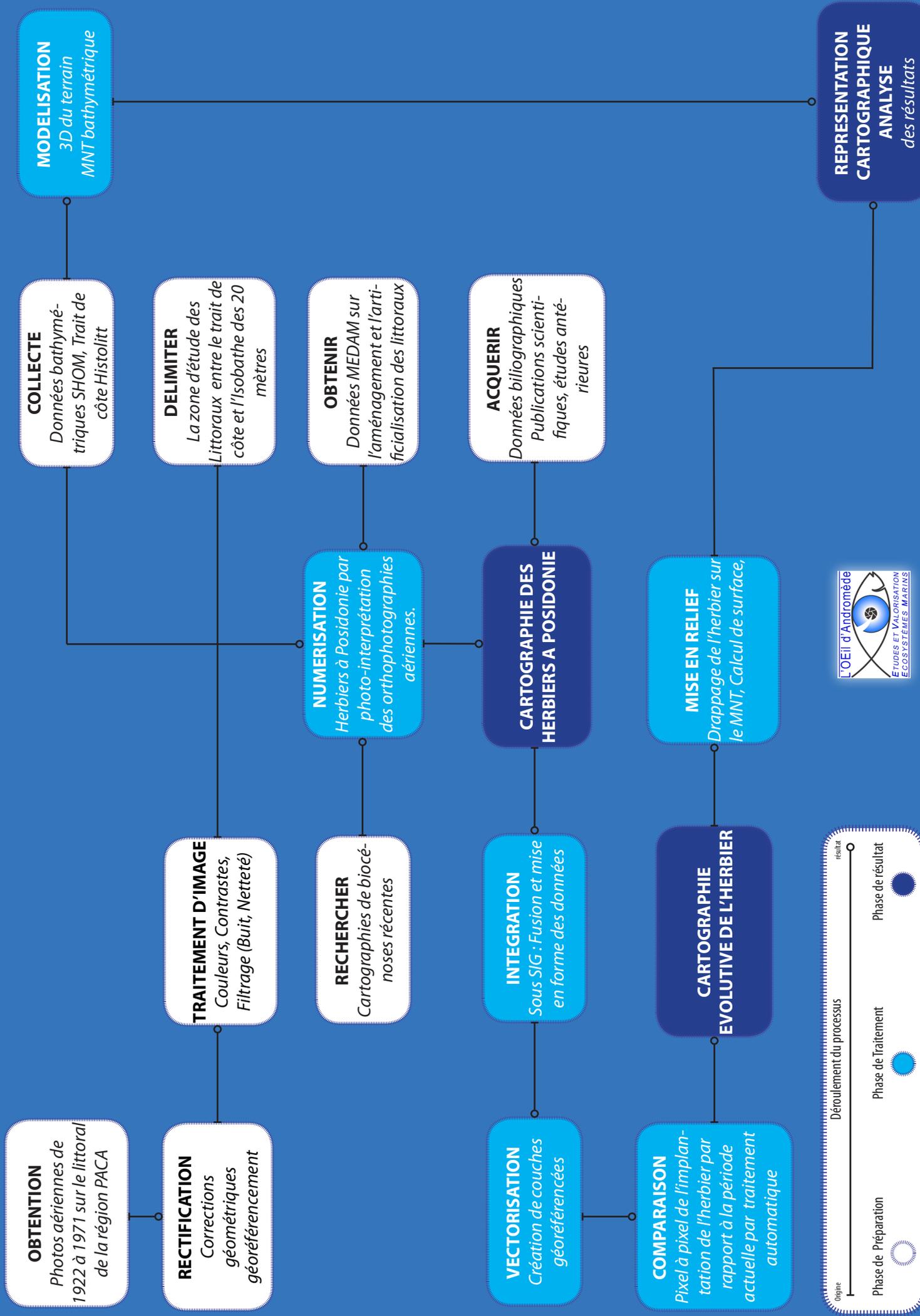
L'emprise des aménagements littoraux construits depuis 1924 a été réalisée par l'œil d'Andromède, par comparaison du trait de côte actuel (IGN/SHOM, 2009) avec celui de 1924 (Œil d'Andromède, 2011). La surface comprise entre ces deux traits de côte est considérée comme l'emprise réelle des aménagements littoraux réalisés depuis 1924

Cartographies récentes des herbiers de posidonie le long du littoral du département des Alpes Maritimes

Les cartographies récentes de l'herbier de posidonie utilisées pour cette étude proviennent de cartographies des biocénoses marines fournies par Andromède Océanologie.

Seules les données concernant la répartition des herbiers de posidonie entre la surface et -15m ont été exploitées. Les données relatives aux types de substrat ainsi qu'à la densité des herbiers n'ont pas été exploitées car l'on ne dispose pas de données similaires comparables sur l'herbier de 1924.

PROCEDURE DE REALISATION DE LA CARTOGRAPHIE EVOLUTIVE DES HERBIERS



- Préparation des données

L'interprétation des photographies aériennes permet la numérisation de l'herbier dans les petits fonds (0m à 15 mètres). Les photographies une fois corrigée géométriquement sous SIG, sont exportées par maille de dimension 5*5 kilomètres sous Photoshop au 1/20000° à la résolution de 1000 dpi, afin de préserver au maximum la qualité d'origine. Pour améliorer leurs visibilité, celles-ci sont traitées dans le but de faire ressortir les herbiers, plusieurs méthodes sont utilisées : rehaussement de contraste, utilisation de filtres rehausseur et de lissage (filtre Passe-haut et Passe-bas), ou bien correction des niveaux de gris de l'image. Le but est d'améliorer les contours, car les limites des herbiers correspondent aux changements brusques de teinte ou de densité lumineuse, de part et d'autre de celui-ci. Une fois l'image prête, la phase de numérisation peut débuter.

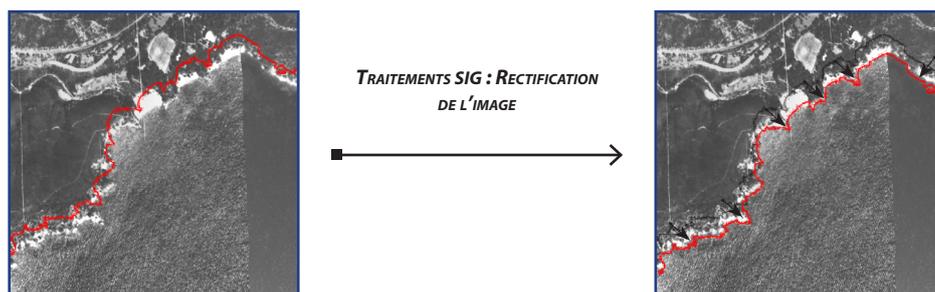


FIGURE 2 : Géorectification d'une photographie aérienne par rapport au trait de côte

2.2 Phase de Traitement

- Digitalisation des herbiers à Posidonie

La numérisation des herbiers est effectuée par traitement semi automatique. Les pixels sont sélectionnés en fonction de leurs valeurs (Image en niveau de gris codé sur 8 bits soit 255 valeurs possibles), un seuil de tolérance permet de limiter la plage de valeurs à sélectionner. Ainsi, de forts contrastes entre les zones d'interactions séparant les biocénoses vont permettre une identification plus précise des contours de l'herbier. Celles-ci apparaissent de façon variable en fonction du substrat qui les compose. Une zone claire et blanche correspond généralement à une étendue de sable, une zone foncée peut traduire différents types de fonds, confondus entre eux sur la photographie : herbiers à posidonies, matte morte, peuplements d'algues sur roche, herbiers à Cymodocée ou encore accumulation de feuilles mortes de posidonies (litière).

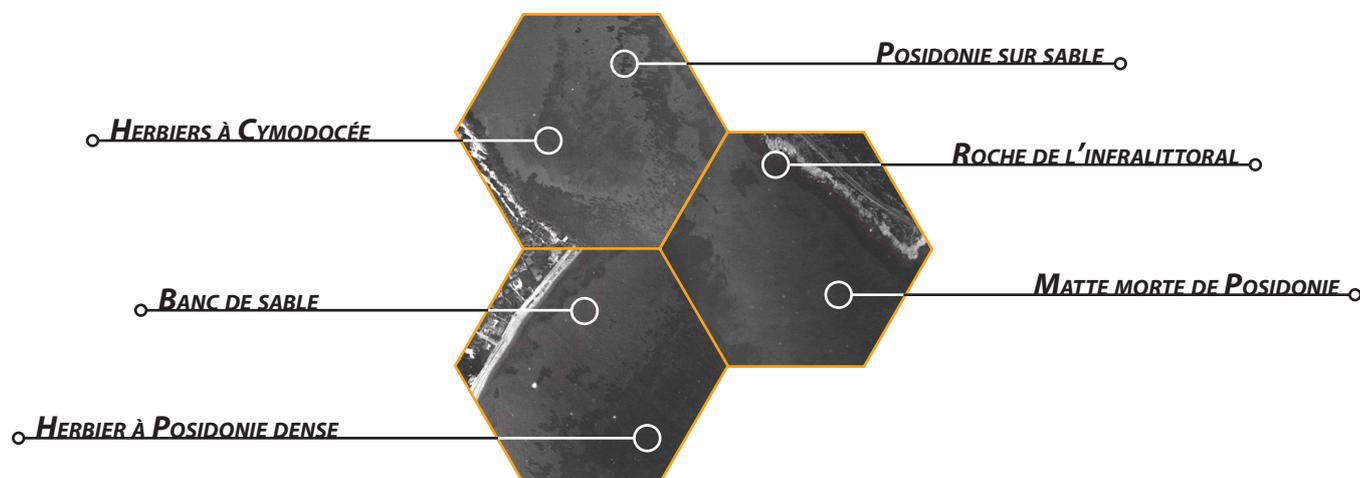


FIGURE 3 : Interprétation des fonds marins : différents cas de figure.

Au cours de la digitalisation, les données bibliographiques, ainsi que des données complémentaires sur la bathymétrie de la zone sont consultées régulièrement afin d'éviter toute erreur d'interprétation élémentaire sur la nature du substrat, mais également pour obtenir des renseignements sur les dynamiques hydriques qui régissent les milieux, ainsi que les modifications que celui-ci a connu.

Une fois la digitalisation terminée et validée, la cartographie obtenue est intégrée sous SIG afin de pouvoir être vectorisée. Les polygones sont dessinés automatiquement à partir du raster représentant l'herbier. Une série de traitements raster vont permettre de supprimer les zones de blancs qu'incombe l'utilisation du JPEG, ainsi qu'un certain nombre de pixels éparses qui sont dû au bruit des photos aériennes exploitées.

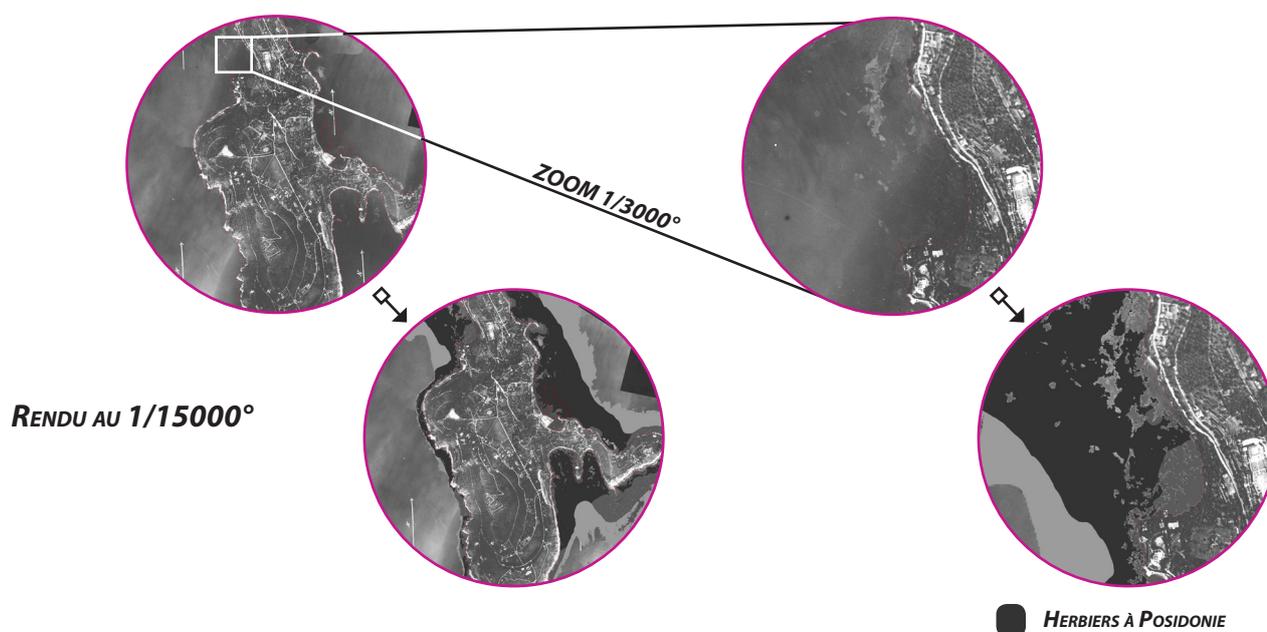


FIGURE 4 : Digitalisation de l'herbier, l'échelle de travail au 1/5000° permet d'obtenir la précision voulue.

- Contrôle qualité

La prise en compte de la qualité et de la précision des données qui sont fournis sont un élément primordial au sein de notre démarche. Afin de considérer au mieux les erreurs liées à l'interprétation des photographies aériennes, ainsi que les erreurs liés à l'absence de données exploitables sur ces mêmes clichés, un indice de certitude est mis en place. L'herbier est ainsi classé en 3 catégories :

- **Degré 1** : Les contours de l'herbier sont nets, on distingue parfaitement son implantation, ainsi que le type de substrat sur lequel il se développe et les habitats qui se trouve en interaction avec celui-ci.

- **Degré 2** : La limpidité de l'eau, la houle ou encore le manque de luminosité détériore la visibilité dans les petits fonds, ce qui rend l'interprétation plus difficile. Certaines tâches d'herbiers peuvent être oubliées ou rajoutées, mais l'expérience et les connaissances du photo interprète, ainsi que l'appui des données externes tendent à rendre l'interprétation encore fiable.

- **Degré 3** : A ce niveau, l'herbier est digitalisé par extrapolation, à l'aide de l'appui de données bibliographiques récentes. La présence de l'herbier est cependant confirmé par un élément bibliographique existant (Biblio des biocénoses, MNT).

CERTITUDE 1
FORT CONTRASTE
HERBIER DISTINCT

CERTITUDE 2
ATTENUATION DES CONTOURS

CERTITUDE 3
DISPARITION DES LIMITES
FRANCHES ENTRE BIOCÉNOSES

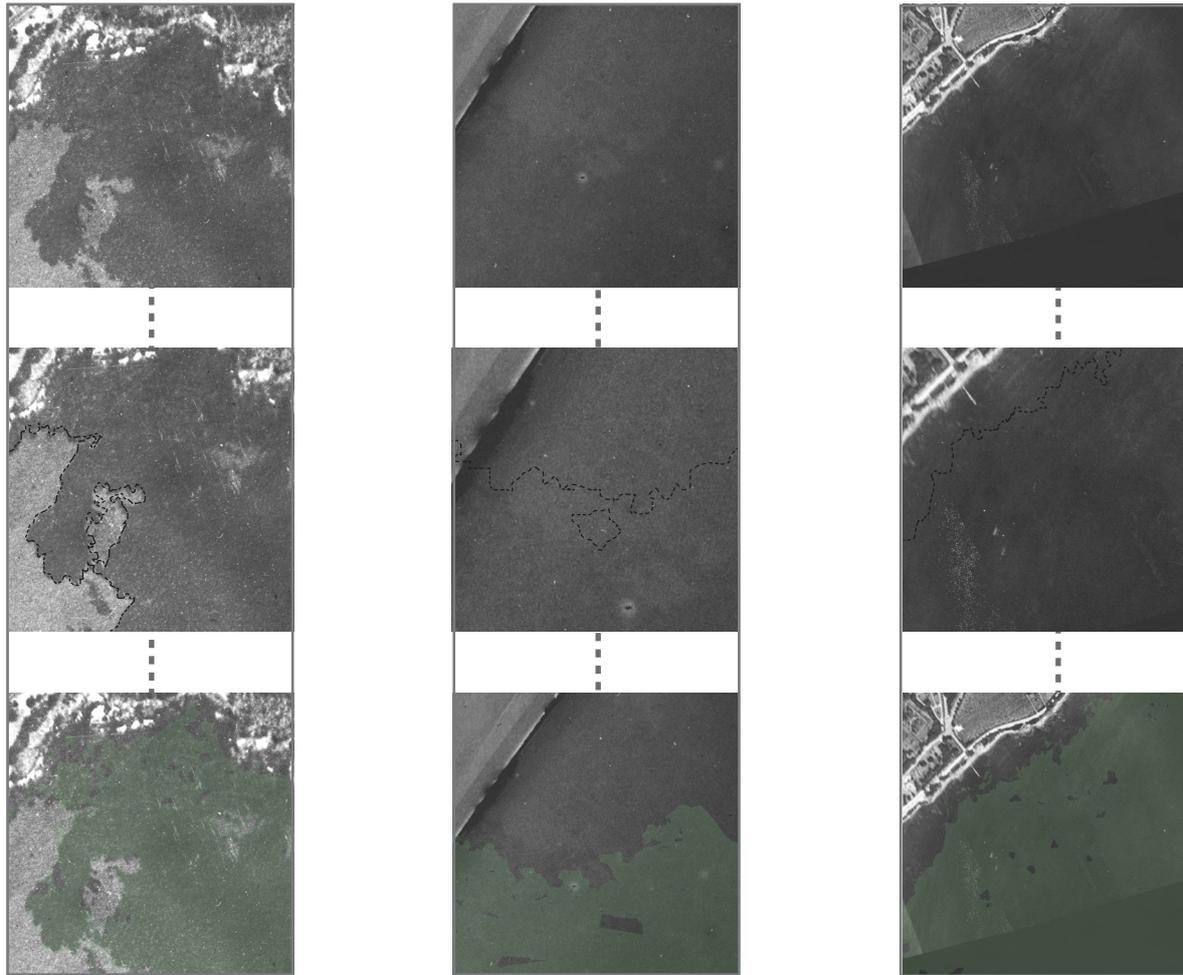


FIGURE 5 : Illustration de différent cas présent lors de la numérisation

- **Cartographie évolutive : méthode comparative de pixel à pixel**

La cartographie évolutive de la répartition de l'herbier compare pixel à pixel l'implantation de celui-ci entre la période actuelle et les données vectorisées précédemment. L'utilisation du mode raster permet la création de modèles qui par le biais d'opérateurs arithmétiques simples calculent automatiquement la différence entre les deux raster. La procédure appliquée permet d'obtenir un raster rangé en 3 classes. D'une part les pixels communs aux deux raster qui représentent l'herbier stable, d'autre part les pixels présents sur une seule des deux couches de départ, selon l'état de leur présence sur l'un ou l'autre des raster, cela démontre une progression ou une régression de l'herbier.

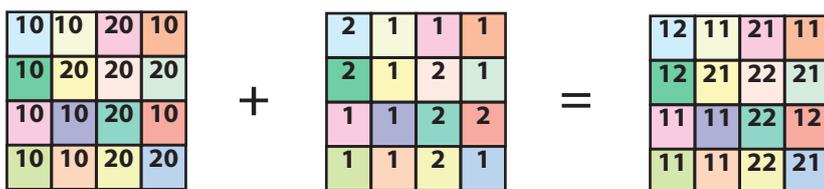


FIGURE 6 : Addition de matrices de pixels.

Les deux images utilisées pour l'évolution sont codées de manière binaire :

- Cartographie ancienne :

- Valeur du pixel = 10 : Présence de l'herbier – certitude niveau 1
- Valeur du pixel = 20 : Présence de l'herbier – certitude niveau 2
- Valeur du pixel = 30 : Présence de l'herbier – certitude niveau 3
- Valeur du pixel = 40 : Autres substrats

- Cartographie actuelle :

- Valeur du pixel = 1 : Présence de l'herbier
- Valeur du pixel = 2 : Autres substrats

Les deux rasters d'emprises sont additionnés. L'utilisation de calculs arithmétiques sur des données rasters au sein d'un SIG permet de calculer de grandes surfaces. Ces calculs sont lourds, car opèrent pixel par pixel et demandent des ressources informatiques suffisamment puissantes, mais elles opèrent de manière automatique et évitent toute nouvelle manipulation externe de données qui tendent à diminuer la qualité des rendus rasters lors d'exports.

- Résultat cartographie évolutive :

- Valeur du pixel = 11 : Stabilité de l'herbier - certitude niveau 1
- Valeur du pixel = 12 : Régression de l'herbier, certitude niveau 1
- Valeur du pixel = 21 : Stabilité de l'herbier - certitude niveau 2
- Valeur du pixel = 22 : Régression de l'herbier, certitude niveau 2
- Valeur du pixel = 31 : Stabilité de l'herbier - certitude niveau 3
- Valeur du pixel = 32 : Régression de l'herbier, certitude niveau 3
- Valeur du pixel = 41 : Progression de l'herbier.
- Valeur du pixel = 42 : Autres substrats, élimination de cette valeur par post traitement, afin d'obtenir les 3 états de l'herbier qui nous intéresse.

Ainsi, ce traitement permet d'aboutir à un résultat homogène et automatisé, même si la manipulation des données avant et après calcul reste lourde et consommatrice en temps et ressource informatique (allocation d'un ordinateur effectif qui s'occupe des calculs et des conversions Raster > Vecteur pendant plusieurs jours durant cette phase).

- **Modélisation 3D du terrain et calculs statistiques**

Les données bathymétriques viennent en complément des cartographies biocénotiques. L'exploitation des modèles numériques de terrain bathymétrique aide à l'interprétation et à la lecture des fonds, notamment lorsque la photographie aérienne ne permet la reconnaissance du relief, celui-ci porte les traces des forces hydrodynamiques qui modèlent les fonds marins et des modifications qu'apportent les activités humaines (mouillage de bâtiments à fort tonnage, installation de conduites et câbles sous marins, enrochements). Ces représentations 3D permettent également, en complément de leurs aspects esthétiques le calcul de statistiques concernant le volume et la surface des éléments se situant à sa surface.

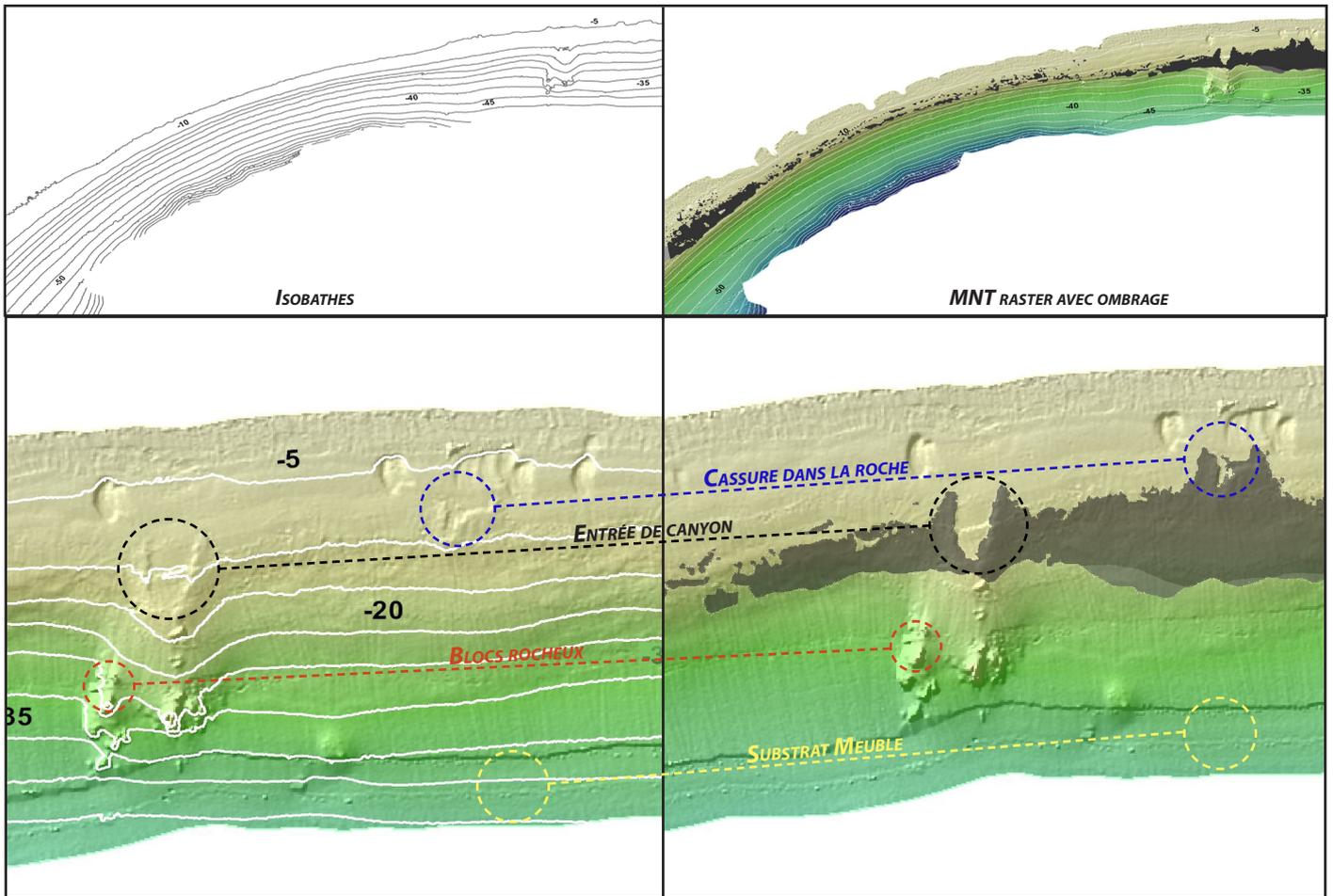


FIGURE 7 : L'observation d'un MNT amène des renseignements importants sur la connaissance du terrain et dans l'interprétation des biocénoses.

- Interprétation visuelle d'une photographie aérienne : détails de la phase opérationnelle

1. Choix de la méthodologie : Photo-interprétation ou classification automatique ?

Afin de traiter les photos aériennes, le premier cycle de réflexion a porté sur les méthodes qu'il peut être judicieux d'employer ou celles qu'il est possible de mettre en œuvre.

Ainsi, il est apparu qu'une analyse de type spatial des données permettrait une meilleure caractérisation des entités représentant l'herbier à Posidonie. Le premier élément évocateur est celui de la différence spectrale et radiométrique existante entre les photographies issues d'années différentes. Il existe en effet, une diversité de qualité au sein de l'ensemble des photographies constituant notre lot de données à traiter. La caractérisation des herbiers devrait ainsi d'avantage porter sur la forme, la taille, la structuration ainsi que la texture des pixels qui le représentent.

L'analyse texturale et structurale de notre lot de données a permis de faire ressortir que d'un point de vue cartographique ce qui caractérise le mieux les herbiers est la texture et la forme sous lesquelles ceux-ci ressortent à la lecture d'une image.

L'ensemble de pixels représentant ainsi l'herbier est délimitée par une plage de valeur de gris. En fonction de l'aspect de la colonne d'eau supérieure (état de la mer lors de l'acquisition), ceux-ci peuvent ressortir avec plus ou moins de contrastes selon la force du courant, la limpidité de l'eau ou encore la force de la houle. Ainsi l'herbier est représenté de multiples sortes et cela va peser sur sa reconnaissance et sa représentation cartographique.

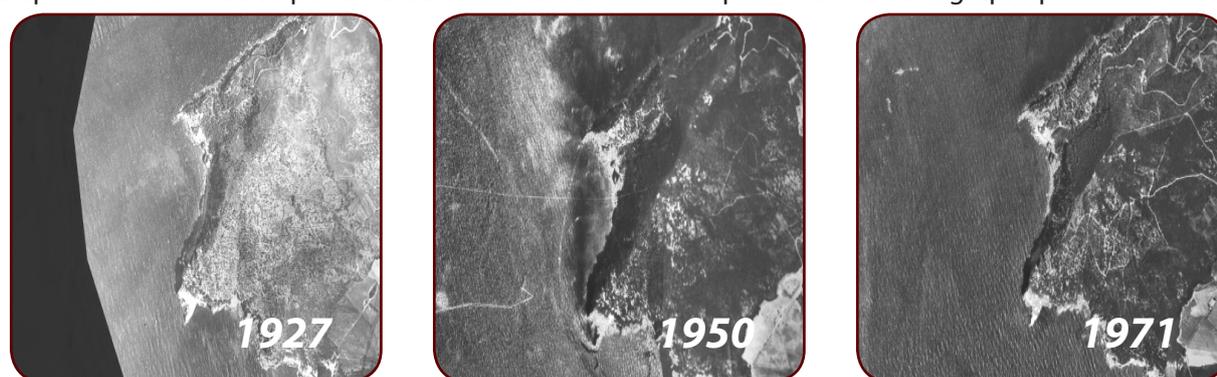


FIGURE 8 : Différence de radiométrie entre les clichés : Evolution des capteurs, différence de période d'acquisition. Photo du milieu : Mauvaise Etat de du cliché qui sera laissé de côté lors de la numérisation.

L'intérêt d'adopter une méthodologie basée sur la classification automatique ou assistée est de pouvoir travailler sur de grandes surfaces en automatisant les traitements. L'hétérogénéité des données à traiter est un élément important à prendre en compte, comme le montre la figure précédente où seul l'extrait de 1927 est exploitable.

L'interprétation visuelle est actuellement la méthode la plus adaptée pour intégrer les informations structurales. Pour illustrer d'avantage les propos précédents, voici une comparaison d'une interprétation après segmentation sur un extrait d'image de bonne qualité, ainsi qu'une interprétation visuelle en comparaison.



FIGURE 9 : Parcelle d'essai. Localisation : Large de Cap Martin (06)

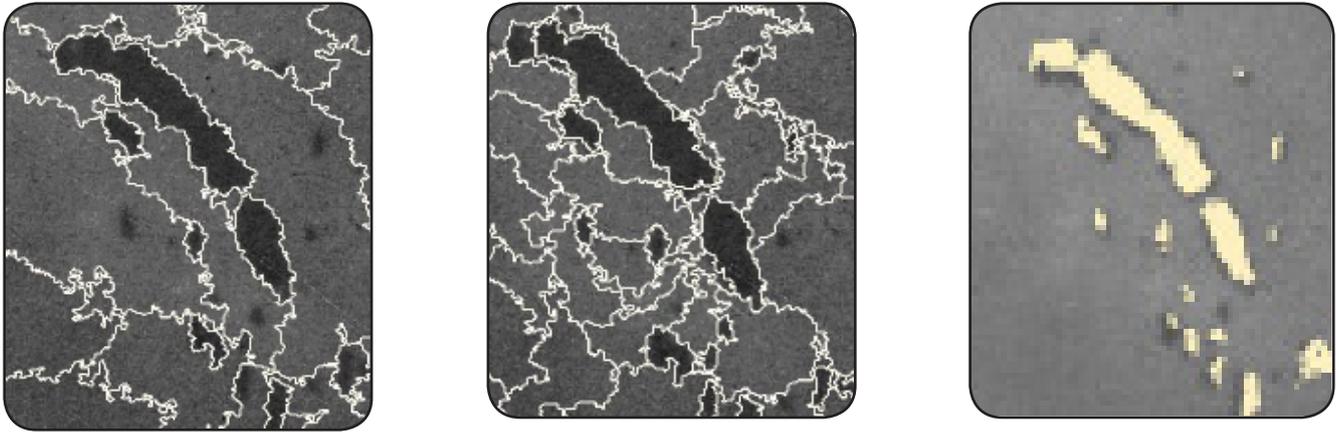


FIGURE 10 : A gauche : Segmentation de Niveau 1 (niveau le moins précis). Au centre : Segmentation de Niveau 2 (niveau le précis). A droite : Interprétation visuelle et digitalisation sous Photoshop de la présence de l'herbier. La segmentation de l'image permet d'identifier les différentes zones à classifier. Il est possible d'affiner la segmentation en fonction des exigences de l'utilisateur, mais cela demande beaucoup de ressources systèmes supplémentaires.

Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence la qualité d'interprétation visuelle obtenue grâce à la photo-interprétation assistée par ordinateur (PIAO). Les outils de sélection automatique disponibles sous Photoshop ont ainsi été utilisés pour la digitalisation de l'herbier, car ils permettent en gérant les options de seuil et de contraste de travailler sur l'image brute, ainsi que d'appliquer des filtres de traitement d'image afin d'en améliorer la qualité sous le même interface. Ils permettent l'affichage d'information complémentaire comme des informations sur le relief ou encore des données de bibliographie actuelle.

A. NOUVELLE SÉLECTION
B. AJOUTER À LA SÉLECTION
C. SOUSTRAIRE DE LA SÉLECTION
D. INTERSECTION AVEC LA SÉLECTION

TOLÉRANCE : DÉTERMINE LA GAMME DE COULEURS DES PIXELS SÉLECTIONNÉS : UNE VALEUR EN PIXELS COMPRISE ENTRE 0 ET 255. UNE VALEUR FAIBLE SÉLECTIONNE LES QUELQUES COULEURS SIMILAIRES AU PIXEL SÉLECTIONNÉ. UNE VALEUR PLUS ÉLEVÉE PERMET DE SÉLECTIONNER UNE PLUS LARGE GAMME DE COULEURS.

PIXEL-CONTIGUS : SÉLECTIONNE UNIQUEMENT LES ZONES ADJACENTES DE MÊME COULEUR. À DÉFAUT, TOUTS LES PIXELS DE MÊME COULEUR DANS L'IMAGE SONT SÉLECTIONNÉS.

HERBIER
ISOBATHES
PHOTO-AÉRIENNE

FIGURE 11 : Gestion des calques sous Photoshop et Barre d'outils de sélection assistée (Sélection par Baguette).

Le traitement de données image présente des aspects bien divers. Il utilise des approches statistiques et mathématiques complexes qui permettent avec la puissance des ordinateurs d'aujourd'hui de traiter et réaliser des classifications très précises. Néanmoins, l'interprétation visuelle que le cerveau peut élaborer reste une méthode fiable et souple. Les traitements d'images existants ne sont pas encore susceptibles de reconstituer et d'imiter ce que le cerveau peut faire.

Ainsi, dans le cadre de ma mission les solutions qu'auraient pu m'apporter les logiciels commerciaux où la plupart du temps les classifications sont imposées avec peu de choix et des restrictions importantes dans l'utilisation des versions d'essais n'ont pas porté leurs fruits.

Il aurait donc fallu plus de temps d'étude et de mise en œuvre, ainsi que de moyens pour pouvoir envisager une méthode de traitement automatique permettant de gagner certainement du temps de production.

2. Qualité d'une interprétation visuelle

- Mesure de la qualité

La première partie de ce chapitre Méthodologie a permis de présenter l'ensemble des techniques et méthodes employées tout au long de la mission afin d'aboutir à une cartographie évolutive des herbiers à Posidonie. Un retour sur l'interprétation des images, ainsi que les traitements qui leurs ont été faits est intéressant dans la mesure où la discussion précédente sur l'application d'une classification automatisée a permis d'intégrer les notions de précision et de fiabilité de résultat.

La précision des données porte sur l'exactitude qu'il existe entre sa géométrie et les relations qu'elle a avec les entités voisines (surface, distance, volume), ainsi sa véritable position sur le terrain. Il faut donc admettre qu'au moment même où l'on observe un cliché photographique sous ses yeux, sa résolution ainsi que les déformations qui peuvent être induites au cliché détériore la précision de l'analyse qui est portée dessus.

La précision de forme n'est pas la seule en cause à la fin du processus concernant la qualité des données. Les erreurs d'affectation d'un pixel classifié en herbier à Posidonie ou encore la fiabilité de détection sont en outre source d'amointrissement de la qualité finale du rendu. Il est possible de structurer les divers éléments déterminant la précision d'une donnée au travers de ce tableau de synthèse, ceci va permettre d'évaluer la qualité de l'interprétation.

Qualité Géométrique Précision géométrique	Qualité sémantique Attribut des classes
PRÉCISION DE POSITION : Fluctuation des écarts entre la position nominale de l'objet dans le jeu de donnée et la position exact sur le terrain. Ex : Décalage d'entités par rapport à la position réelle de l'objet sur le terrain.	PRÉCISION : Correspondance entre la classification donné à un pixel et sa véritable classification. Ex : Confondre un herbier à Cymodocée avec un herbier à Posidonie.
PRÉCISION DE FORME : Qualification des éléments géométriques, de leurs précision de position planimétrique et altimétrique, de l'exactitude de leurs surfaces, volumes ou courbures. Ex : Qualité du détoutage des contours d'un herbier qui correspond plus ou moins à la réalité.	FRÉQUENCE : Nombre d'erreurs d'affectation concernant la classification d'objets Ex : Quantité plus ou moins importante d'erreurs de classification d'un pixel.

FIGURE 12 : Tableau récapitulatif des erreurs existentes et qui déterminent selon leur récurrence la qualité de la donnée.

Pour réaliser un travail qui correspond à une application thématique correcte et qui garantisse au maître d'œuvre une fiabilité des informations rendues, il est indispensable de connaître à la fois la qualité des données que l'on utilise et de fournir une évaluation des données que l'on produit (ici des interprétations thématiques, des cartes, illustrations concernant la mise en place de degrés de certitude,...). Aucune méthode ne permet d'obtenir une qualité parfaite de la donnée et une modélisation exacte du terrain.

Les études de terrain sont inhérentes à toute étude spatiale et permettent d'apprécier et valoriser la qualité du rendu. Cette étude évolutive s'appuyant uniquement sur des données bibliographiques antérieures, il a été porté un soin particulier à bonifier chaque traitement ou manipulation de celles-ci afin de limiter la perte ou l'altération d'informations.

Nous allons voir une vue plus détaillée des traitements qui ont été appliqués aux photographies aériennes.

- Traitement des photographies

• Principe

Les clichés photographiques enregistrent le rayonnement dans le domaine du visible. Les radiations bleues permettent une meilleure visualisation des peuplements en profondeur, car elles sont favorisées par leur importante pénétration dans l'eau. Les radiations vertes accentuent le contraste de l'herbier par rapport à son environnement, avec des variations en fonction de la profondeur (Lefèvre et al, 1984). Les radiations rouges pénètrent très peu dans l'eau et fournissent des informations concernant les peuplements et les types de fonds superficiels.

• Procédure

La procédure de traitement appliquée aux clichés suit deux étapes, l'une pour rectifier les décalages existants sur une base géographique de référence (Système de coordonnées géographique : RGF 93 (cf. lexique), l'autre pour les transformer en information géographique thématique : c'est la numérisation des herbiers.

• Géoréférencement

La correction géométrique des photographies aériennes est effectuée après numérisation au scanner. Cette étape a été réalisée par l'IGN, celui-ci mets ensuite sa banque d'images à disposition des institutions les sollicitant. En région PACA, c'est le CRIGE qui centralise ces données et les mets à disposition sur son géoportail. Cette correction géométrique des photographies aériennes consiste à attribuer une géométrie de référence, afin de rectifier les distorsions dues aux prises de vue et à la numérisation. La correction consiste à répertorier sur l'image de travail, puis sur le document de référence, plusieurs amers ou points de calages dont le géoréférencement est connu avec précision, de façon à ajuster géographiquement l'image sur le plan de référence. Ce plan de référence correspond généralement à la BD ORTHO de l'IGN (photographies ortho rectifiées à l'aide de modèles numériques de terrain).

• Information thématique

Les limites des peuplements de la Posidonie correspondent aux changements brusques de teinte ou de densité lumineuse, de part et d'autre d'un contour plus ou moins régulier. Les zones de contact entre les différentes biocénoses apparaissent toutefois de façon variable. En effet, si une zone claire et blanche correspond généralement à une étendue de sable, une zone foncée peut traduire différents types de fonds, confondus entre eux sur la photographie (Boudouresque et al, 1987) : l'herbier de Posidonie, mattes mortes, peuplements d'algues sur roche ou tout simplement accumulation de feuilles mortes de Posidonies (litière) et roche nue. La cartographie des herbiers correspond donc à une cartographie de contours où la position des limites de l'herbier est interprétée.

• Digitalisation

La complexité des sites étudiés (littoral de la région PACA), en terme de topographie, de bathymétrie et de turbidité des eaux selon les localisations, rend parfois difficile l'interprétation et la distinction des herbiers. Si l'identification des herbiers sur sable, même à profondeur importante est plus aisée, les peuplements sur matte morte et roches photophiles sont la plupart du temps moins différenciables, même à faible profondeur du substrat sur lequel il se trouve. La turbidité de l'eau atténue la visualisation des peuplements en profondeur, c'est pourquoi la digitalisation des herbiers a été effectuée jusqu'à une profondeur de 20 mètres au-delà de laquelle, il est rarement identifiable. L'ensemble du rayonnement étant absorbé par les eaux en particulier les ondes courtes, seule la bande bleue parvient à percer cette masse d'eau, c'est la raison pour laquelle on parle de grand bleu sous l'eau.

Les conditions de prise de vue, techniques et météorologiques, sont déterminantes pour obtenir une photographie de qualité. Le choix du format de négatif, de la focale, de l'altitude de vol et de la saison de prise de vue optimise la visualisation et la distinction colorimétrique des peuplements subaquatiques (Lefèvre et al., 1984). Il est également important de tenir compte de l'heure de prise de vue et des conditions météorologiques, afin d'éviter les zones de réflexion spéculaire, les plans de vague et les ombres portées, qui masquent les structures benthiques (cf lexique).

S'il est possible de s'assurer de ces paramètres lors de la mise en œuvre d'une campagne de photographie aérienne actuelle, rien ne permet de garantir qu'ils aient été pris en compte pour les photographies d'époque à disposition, et utilisés sur l'ensemble du secteur d'étude de la région PACA. Les photographies datent de plusieurs campagnes d'acquisition IGN datant de 1922 / 1927 / 1936 / 1937 / 1942 / 1944 / 1950 / 1955 / 1971 et sont fournies sous forme de mosaïques d'images ou Albums rassemblés par date.

Si seule une partie a été utilisée pour la digitalisation, c'est parce qu'au sein d'une même année, il existe parfois de fortes disparités de radiométrie, mais également de décalage géométrique. Evoquée précédemment, la fiabilité du rendu cartographique s'appuie sur la qualité de la correction géométrique, qui dépend de la quantité de points d'amers ou de calage et de leur répartition sur l'ensemble de l'image.

En effet, la photographie aérienne présente une déformation géographique qui s'accroît régulièrement dans chaque direction, en s'éloignant du centre du cliché (déformation barillet ou coussinet). Une correction optimale nécessite une répartition des amers dans les quatre directions de l'image. Cette hypothèse idéale est rarement atteinte en milieu marin (Pasqualini, 1997), où le linéaire de côte relativement rectiligne ne permet généralement la prise d'amers que dans deux directions principales. Ainsi la précision géométrique reste variable selon les zones et les albums.

La résolution spatiale des clichés est quand à elle identique pour toutes les photos. Elles sont acquises au 1/25000^e, la résolution d'un pixel est de 25 cm.

• Remarques

Le fond d'information principal apporté par les photographies aériennes offre une surface renseignée sur les petits fonds de 0 à 20 m. Complétée avec les données bibliographiques et bathymétriques, elles servent de base à la constitution de la carte de la répartition des herbiers à Posidonie et de la cartographie évolutive de l'état finale. Ces données sont indispensables pour tendre vers une validation suffisante des informations issues de leur interprétation.

A ce stade de la procédure de traitement, les informations thématiques obtenues sont disposées à être travaillées sous SIG. Les données pourront ainsi être corrélées avec les autres couches d'informations, de même que des données quantitatives de surface et de répartition pourront être déduites.

III. PRESENTATION DES RESULTATS

VOIR DOCUMENT DE TRAVAIL EN ANNEXE

V. CONCLUSION

REFERENCES

- **HOLON F, DESCAMP P**, 2007. Cartographie et analyse des biocénoses marines entre Antibes et Cap d'Ail Contrat Communauté d'Agglomération Nice Côte d'Azur.
- **HOLON F, DESCAMP P**, 2008. Surveillance de l'herbier de Posidonie – Année 2008. Observatoire Marin - Sivom du Littoral des Maures.
- **LEFEVRE, J.R, VALERIO, C, MEINESZ, A**, 1984. Optimisation de la technique de photographie aérienne pour la cartographie des herbiers de Posidonies. In: Boudouresque, C.-F., Meinesz, A., Fresi, E., Gravez, V. (Eds.), Second International Workshop on Posidonia Beds. GIS Posidonie Publication, Marseilles, pp. 49–55.
- **BOUDOURESQUE, C.F., GRAVEZ, V., MEINESZ, A., MOLENAAR, H., PERGENT, G., VITIELLO, P.**, 1994. L'herbier à Posidonia oceanica en Méditerranée: protection légale et gestion. In: Pour qui la Méditerranée au 21^e siècle? Villes des rivages et environnement littoral en Méditerranée. Okéanos, Montpellier, pp. 209-220.
- **PASQUALINI, V, PERGENT-MARTINI, C, CLABAUT, P, PERGENT, G**, 1998. Mapping of Posidonia oceanica using aerial photographs and side scan sonar: application off the Island of Corsica (France). Estuarine, Coastal and Shelf Science 47, 359e367/.(doi:10.1006/ecss.1998.0361).
- **MEINESZ A., J.-M. ASTIER, E. BELLONE, J.-R. LEFEVRE, I. GENOT, B. HESSE AND P. VITIELLO** - 1993. Impact les aménagements gagnés sur la mer le long des côtes françaises de la Méditerranée. (Régions Provence - Alpes - Côte d'Azur et Corse). Bulletin d'Ecologie, 24 (2-3-4) : 100-103.
- **LERICHE A, PASQUALINI V, BOUDOURESQUE CF, BERNARD G, BONHOMME P, CLABAUT P, DENIS J**, 2005. Spatial, temporal and structural variations of a Posidonia oceanica seagrass meadow facing human activities. Aquatic Botany 84 (2006) 287–293.
- **BOUDOURESQUE C.F, BERNARD G, BONHOMME P, CHARBONNEL E, DIVIACCO G, MEINESZ A, PERGENT G, PERGENT-MARTINI C, RUITTON S, TUNESI L**, 2006. Préservation et conservation des herbiers à Posidonia Oceanica. RAMOGE pub. : 1-202
- **HENRY AUGIER**. Guide des fonds marins Méditerranéen. Ed Delachaux et Niestle, 2007.
- **LERICHE A, BOUDOURESQUE CF, BERNARD G, BONHOMME P, DENIS J**, 2003. A one-century suite of seagrass bed maps: can we trust ancient maps? Estuarine, Coastal and Shelf Science 59 (2004) 353 – 362.

