



MEMOIRE de MAGISTER

Option: « Gestion et Surveillance du milieu Marin et Littoral »

Présenté par : BOUKORTT Redouane

Thème :

**Contribution à la cartographie des habitats marins
dans le cadre d'une étude d'impact**

Soutenu le 22 janvier 2015 devant le jury composé de :

Pr. HOUMA-BACHARIF. (ENSSMAL) : **Présidente**
Pr. SEMROUD R. (ENSSMAL) : Promoteur
Dr. GUERFI M. (MC. A - ENSSMAL) : Examineur
Pr. LOUANCHI F. (ENSSMAL) : Examinatrice
Mme BOUMAZA S.(MA. B – ENSSMAL) : Invitée

Sommaire

	Page
Introduction	01
Cadre de l'étude et objectifs	03
Plan et présentation des travaux.....	04
1. Généralités sur les méthodes	05
1.1. Échelle, résolution et précision	05
1.2. Observations ponctuelles et linéaires.....	05
1.2.1. Observations avec plongeur	06
1.2.2. Positionnement acoustique du plongeur	06
1.2.3. Observations avec plongeur-audio pour des vérités-terrain	08
1.2.4. Plongeur mesurant le recouvrement d'un herbier	09
1.3. Observations surfaciques.....	09
1.3.1. Les images aériennes	09
1.3.2. Les images acoustiques réalisées à l'aide de sonar latéral tracté	10
1.3.3. Les images acoustiques du procédé SACLAF DIVA	12
2. Matériel et méthodes.....	14
2.1. Description des sites d'étude.....	14
2.1.1. Ouled El Hillel	14
2.1.2. Hadjret En Nouss	15
2.1.3. Anses de Kouali	16

	Page
2.2. Techniques de cartographie utilisées pour les zones de Ouled El Hillel et Hadjret En Nouss	17
2.2.1. Positionnement des filins	18
2.2.2. Réalisation d'un filin de transect.....	19
2.2.3. Délimitation des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> de Ouled El Hillel ...	20
2.2.4. Estimation du recouvrement à partir d'une vidéo	21
2.3. Techniques utilisées pour la zone des trois anses de Kouali.....	21
2.3.1. Estimation du recouvrement à partir d'une vidéo	23
2.4. Étapes pour la production cartographique des habitats marins.....	23
2.4.1. Traitement des données	26
2.4.2. Typologie et couleurs de représentation des habitats marins sur les cartes	27
2.4.3. Récapitulatif de l'effort effectué en plongée en scaphandre pour les vérités terrain et positionnement des habitats (Tableau 4 & Annexe 4) ...	28
3. Résultatset discussion	29
3.1. Le site de Hadjret En Nouss.....	29
3.1.1. Description des principaux habitats marins de Hadjret En Nouss	30
3.1.1.1. Les herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	31
3.1.1.2. Recouvrementet type de limite inférieure de l'herbier au niveau des transects SN1, SN2 et SN3	31
3.1.1.3. Carte illustrée des principaux habitats marins, de la zone de Hadjret EnNouss	32
3.1.1.4. Site d'étude de nos jours	34
3.2. Le site de Ouled El Hillel.....	34
3.2.1. Description des principaux habitats marins de Ouled El Hillel (étape 1)..	35
3.2.1.1. Les herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	36
3.2.1.1.1. L'herbier #1 (Figure 45 & Annexe 1)	36
3.2.1.1.2. Herbiers #2 et 3 de Ouled el Hillel (Figure 48)	37
3.2.1.2. Description de l'habitat du haut-fond de Bounar	38
3.2.1.3. Habitats du linéaire côtier	39
3.2.1.4. Synthèse cartographique des principaux habitats marins de Ouled El Hillel (étape 1)	39

	Page
3.3. Le site des trois anses de Kouali.....	41
3.3.1. Description des principaux habitats marins	41
3.3.1.1. Description des habitats marins de l'anse située à l'ouest (Figure 61)	43
3.3.1.2. Description des habitats marins dans l'anse située au centre (Figure 64)	43
3.3.1.3. Description des habitats marins de l'anse située à l'Est (Figure66)	44
3.3.2. Paysages caractéristiques des trois anses de Kouali	44
3.3.2.1. Trottoirs à Vermets	44
3.3.2.2. Herbiers à <i>Posidonia oceanica</i>	45
3.3.2.2.1. Recouvrement de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> ...	46
3.3.2.2.2. Description de la limite inférieure	46
3.3.2.2.3. Positionnement de la limite inférieure de l'herbier à <i>Posidonia oceanica</i> au large des trois anses de Kouali	47
3.3.2.2.4. Illustrations des principaux habitats rencontrés	48
3.4. Discussion des résultats et évaluation de la qualité des cartes produites	50
3.4.1. Discussion des résultats des cartes produites.....	50
3.4.2. Evaluation de la qualité des cartes produites	50
Conclusion.....	52

Introduction

Le littoral est considéré comme un « éco-socio-système » aux relations complexes entre ses composantes biophysiques et celles qui sont liées aux activités humaines (Hénocque, 1997). Ces dernières sont sources de multiples nuisances et conflits d'intérêts qui perturbent le fonctionnement et la stabilité des écosystèmes littoraux (Pergent-Martini, 2000). La réduction de ces nuisances passe par (i) la mise en place de législations visant la protection des espèces, (ii) la création d'aires spécialement protégées permettant la protection des habitats et (iii) le renforcement des réglementations existantes, notamment en matière d'études d'impacts (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007).

Une étude d'impact est une démarche réglementaire qui vise à obtenir des informations sur l'environnement et à évaluer l'impact d'un aménagement avant sa réalisation, de manière à déterminer, en toute connaissance, si le projet doit effectivement être mené à son terme (UNEP, 1996). Les informations consistent en : (i) une prédiction des changements éventuels de l'environnement suite à la réalisation de l'aménagement, et (ii) des avis sur la manière dont l'aménagement doit être réalisé, de façon à ce que les perturbations induites soient aussi réduites que possibles (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007).

Les études d'impact sont un moyen d'améliorer et de rationaliser la prise de décision en matière d'aménagement. Elles visent à devenir un outil au service du « développement durable » et voient leur champ d'application s'accroître. Elles devraient, à terme, être intégrées dans toute élaboration de plans de gestion ou toute définition de processus réglementaires (PNUE, 1996). La réalisation d'études d'impact, reste encore pour plusieurs pays, une démarche originale et novatrice mais essentiellement théorique et une procédure réglementaire récente, surtout en région méditerranéenne (PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007).

En Algérie, le concept d'études d'impact est apparu dans la Loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement, qui définit les termes généraux de l'étude d'impact dans son article 130: « *L'étude d'impact est un outil de base pour la mise en œuvre de la protection de l'environnement. Elle vise à faire connaître et évaluer les incidences directes et/ou indirectes des projets sur l'équilibre écologique* » et son article 131: « *Les études préalables à la réalisation de l'aménagement ou d'ouvrages qui, par l'importance de*

leurs dimensions ou de leurs incidences sur le milieu naturel, peuvent porter atteinte à ce dernier, doivent comporter une étude d'impact permettant d'en apprécier les conséquences ».

Le décret exécutif n°90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement prévoit le contenu de l'étude d'impact, qui doit refléter l'incidence prévisible de l'unité sur l'environnement et doit comprendre au minimum les éléments suivants:

- une description détaillée du projet ;
- une analyse détaillée de l'état initial du site de son environnement naturel, socio-économique et humain ;
- les raisons et les justifications techniques du choix du projet ;
- Les mesures envisagées pour supprimer, réduire et compenser les dommages sur l'environnement ;
- L'estimation des coûts de la protection de l'environnement.

La promulgation de la loi sur l'environnement n° 90-78 sur les études d'impact et de son décret exécutif n°07-145 du 19 mai 2007 qui détermine le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études et des notices d'impact sur l'environnement comme suit : l'étude ou la notice d'impact sur l'environnement vise à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement en identifiant et en évaluant les effets directs et/ou indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement par le projet concerné. Selon l'article 6 l'étude d'impact sur l'environnement doit comprendre :

- la présentation du promoteur du projet ;
- la présentation du bureau d'étude ;
- l'analyse des alternatives éventuelles des différentes options du projet sur le choix retenu ;
- la délimitation de la zone d'étude ;
- la description détaillée de **l'état initial du site et de son environnement** portant notamment sur ses ressources naturelles, sa biodiversité, ... ;
- la description détaillée sur les différentes phases du projet... ;
- l'estimation des catégories et des quantités de résidus, d'émissions et des nuisances...,
- l'évaluation des impacts prévisibles directs et indirects... ;
- les effets cumulatifs engendrés durant les différentes phases du projet... ;

- la description des mesures envisagées par le promoteur pour supprimer réduire et/ou compenser les effets sur l'environnement... ;
- le plan de Gestion Environnemental ;
- les incidences financières allouées ;
- autres informations soumises par le bureau d'étude pour étayer ou fonder le contenu de l'étude.

Par ailleurs, l'Algérie entre dans une phase d'application des politiques internationales de conservation des espaces côtiers. La législation nationale a évolué ces dernières années de manière à intégrer les critères de développement durable à la gestion des littoraux et des espaces maritimes comme en atteste la promulgation de la loi sur l'aménagement du territoire de 2001, la loi littorale 02-02 du 05 février 2002, suivie des Plans d'Aménagement côtiers (PNUE/PAM/CAR PAP, 2006) et la loi n° 11-02 du 17 février 2011 relative aux aires protégées (Mangos et Claudot, 2013).

Ces lois étendent les dispositifs juridiques également sur les zones marines pour assurer leur conservation et la lutte contre les pollutions accidentelles du milieu marin. Par ailleurs, des décrets présidentiels définissent les objectifs de conservation spécifiques. Le plan d'action national pour la mise en place des Aires Marines Côtières Protégées (AMCP) identifie les principales orientations du processus de protection est enclenché au milieu des années 90. Cette politique de création d'AMCP passe par la perspective d'extension de certains Parcs Nationaux et Réserves Naturelles à leur environnement marin, notamment au centre et à l'Est du pays et par la création de nouveaux territoires protégés (Mangos et Claudot, 2013).

Cadre de l'étude et objectifs

En Algérie, les projets assujettis aux études d'impacts comportent : centrales thermiques, centrales de dessalement d'eau de mer, usines sidérurgiques, installations chimiques, installations d'élimination, de traitement ou de stockage des déchets,.... Ces études visent à déterminer l'insertion d'un projet dans son environnement, en identifiant et en évaluant les effets directs et indirects du projet, et vérifie la prise en charge des prescriptions relatives à la protection de l'environnement (Rizou et Ghalem, 2010). Par conséquent, les travaux développés dans la première partie de ce mémoire s'inscrivent dans le cadre des études d'impact sur l'environnement engagées avant l'implantation d'une station électrique à Hadjret

En Nouss et d'une aluminerie à Ouled El Hillel et portent plus particulièrement sur la cartographie des principales biocénoses marines benthiques littorales. Ces cartographies biocénologiques correspondent à l'analyse détaillée de l'état initial de la zone d'implantation : « état zéro ».

Par ailleurs, après la création d'une première AMCP pour les îles Habibas en 2003, l'Algérie a sélectionné cinq sites susceptibles de bénéficier de ce statut, dans le cadre d'un grand chantier d'aménagement du littoral. L'un de ces sites est celui du Mont Chenoua-Anses de Kouali, situé dans la wilaya de Tipasa (Mangos et Claudot, 2013). Par conséquent, les travaux développés dans la deuxième partie de ce mémoire consistent en un essai de cartographie des herbiers à *Posidonia oceanica*, espèce bénéficiant du statut d'espèce qu'il faut conserver en Algérie (Journal officiel n°03 du 18 janvier 2012).

Plan et présentation des travaux

Le manuscrit s'articule autour de six chapitres :

Le chapitre 1 présente les outils juridiques de protection du littoral en Algérie dans le but de contextualiser ce travail.

Le chapitre 2 présente une synthèse bibliographique de quelques techniques utilisées pour l'acquisition des informations sur les habitats marins à des fins de cartographies biocénologiques.

Le chapitre 3 regroupe la présentation des trois sites d'étude et les différentes méthodes mises en œuvre pour l'acquisition des données de terrain ainsi que le traitement informatique pour la restitution des données.

Le chapitre 4 présente une synthèse des principaux résultats obtenus lors de cette étude matérialisés essentiellement par des cartographies biocénologiques.

Le chapitre 5 présente une discussion sur les méthodes utilisées dans ce travail, les résultats obtenus pour la production des cartes biocénologiques ainsi que l'évaluation de leur qualité.

Le chapitre 6 présente les perspectives de recherche dans le but de compléter ce travail.

1. Généralités sur les méthodes

1.1. Échelle, résolution et précision

Pour la description de l'état « zéro » d'une étude d'impact, le projet doit au préalable définir l'étendue de la zone à cartographier, sa restitution sur papier et donc le format (A4 ou A3). Habituellement l'échelle numérique retenue est régionale, comprise entre 1: 25 000 et 1: 50 000 (soit 1 cm sur la carte représente 250 et 500 m sur le terrain). Il arrive que certaines études utilisent des échelles plus grandes allant jusqu'à 1:5 000, voire plus.

Le deuxième point important concerne les moyens techniques disponibles pour acquérir les données, par exemple pour une image aérienne satellitale, elle doit avoir une **bonne résolution**, c'est-à-dire une image avec la plus petite taille du pixel informatif (i.e. beaucoup de détail de terrain).

Les levés des informations sont effectués au moyen d'un GPS, mais avec quelle technique ? GPS classique, DGPS, DGPS RTK (Tableau 1), la précision du positionnement n'étant pas la même. Une carte produite est **précise** si les objets (surfaces, lignes, points) sont bien positionnés. La **qualité** des informations reportées sur une carte dépend donc de la **résolution** et de la **précision**.

Tableau 1. Précision moyenne du positionnement (Noelet *al.*, 2012).

Sigle	Système	Précision moyenne
GPS	Système standard usage civil	5 – 15 m
DGPS	Différentiel	< 1 m
DGPS RTK	Différentiel cinématique en temps réel	2 à 3 cm
DGPS RTK Centrale	Différentiel cinématique en temps réel et couplage avec centrale inertielle	1 cm

1.2. Observations ponctuelles et linéaires

Il existe de très nombreuses méthodes pour effectuer des observations, des prises de vues photo ou vidéo avec (i) un positionnement relatif (par rapport à une balise, un filin ou un piquet qui est géolocalisé, à son tour, ou (ii) directement géolocalisé. On optera pour une

méthode selon le type de travail à réaliser, les moyens disponibles (moyens à la mer, notamment, coût des équipements ...). Nous allons en citer quelques-unes.

1.2.1. Observations avec plongeur

Un plongeur suit (i) une ligne déjà posée sur le fond (transect) ou(ii) la limite d'un herbier. Dans le premier cas, le positionnement (relatif)des habitats se fait le long de la ligne, les deux bouts de la ligne reliés en surface à une bouée sont repérés par GPS. Pour le deuxième exemple le plongeur lui-même est relié à la surface par une bouée (Figure 1). Le positionnement relatif est très précis, la résolution atteint 50 cm à 1 m des observations par rapport à un référentiel fond, le positionnement absolu (Précision 5 à 15 m, si le GPS standard est utilisé) (Noelet *al.*, 2012).

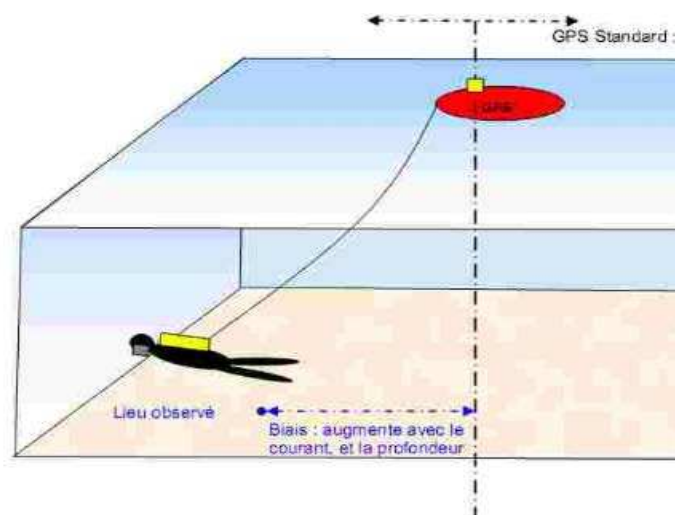


Figure 1. Plongeur tractant une bouée repérée en surface (Noel *et al.*, 2012).

1.2.2. Positionnement acoustique du plongeur

Le positionneur local acoustique sous-marin se compose de deux éléments (Figure 2) : (i) un mât surmonté d'un cadre interférométrique acoustique à base courte est fixé au fond, au sein de l'herbier par exemple ou à proximité, (ii) d'un pointeur mobile. Le plongeur muni d'un écran digital au poignet, déplace le pointeur, le long de l'herbier, arrivé au point qu'il veut positionner, il envoie un ping à la base.

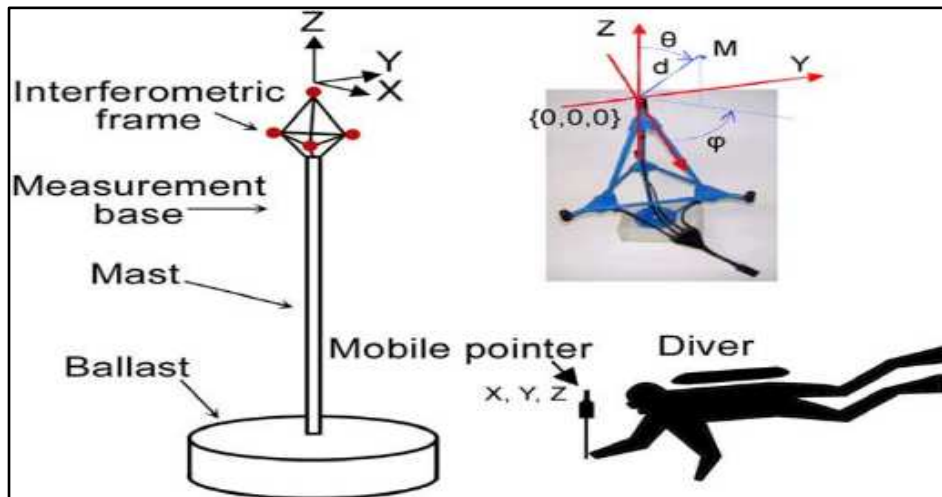


Figure 2. Équipement de positionnement acoustique de type AQUA-METRE D100, PLS

(Descamp *et al.*, 2003)

La base calcule la distance au pointeur ainsi que les deux angles suivant l'horizontale (gisement) et la verticale (hauteur angulaire), qui sont enregistrés dans le boîtier du plongeur. Le pointeur du plongeur est positionné par rapport à la base. Cette opération répétée, permet donc de faire (i) la délimitation de l'herbier (Figure. 3), mais peut aussi(ii) positionner des espèces remarquables telles que *Pina nobilis*, *Corallium rubrum* ..., (iii) de faire de la microcartographie de carrés permanents (Descamp *et al.*, 2003, 2009).

L'autre intérêt de cet équipement est de pouvoir mesurer la hauteur du fond sableux par rapport à la base, ainsi si la base est repositionnée exactement au même point, on pourra plus tard, faire une estimation de l'engraissement ou du déficit sédimentaire dans la zone (Figure 4).

Les positions relatives enregistrées sont géolocalisées en prenant la position absolue au GPS de la base. Un tel équipement permet le positionnement dans un rayon de l'ordre de 100 m autour de la base, avec une précision relative de 1.7 cm à 10 m de celle-ci et 17 cm à 100 m, et une précision absolue dépendant du GPS utilisé (Descamp *et al.*, 2003, 2009)



Figure 3. Plongeur pointant la limite de l'herbier (positionnement) (Noel *et al.*, 2012).

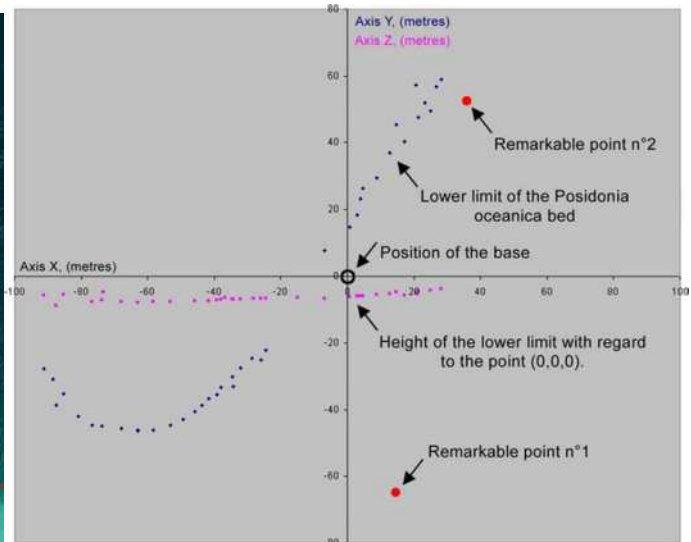


Figure 4. Mesure de la hauteur du sédiment par rapport à la base (Descamp *et al.*, 2009).

1.2.3. Observations avec plongeur-audio pour des vérités-terrain

Lorsque des vérités-terrain sont nécessaires et que les conditions ne sont pas trop sévères (grande profondeur, longue durée de plongée sans recycleur, distance importante à couvrir...), celles effectuées par un plongeur en scaphandre sont très efficaces et bien meilleures qu'avec des caméras tractées, ROV, par exemple.

Pour sa réalisation, se pose le problème de sa géolocalisation. Le plongeur tracté par un bateau observe les habitats et les communique via un téléphone sous-marin à une personne du bateau qui les reporte directement sur la carte (Figure 5). Le cap du bateau doit être celui du transect initialement prévu et effectué par le plongeur. Le positionnement (absolu) des habitats (verticale du plongeur) correspond à celui du bateau avec une légère correction.

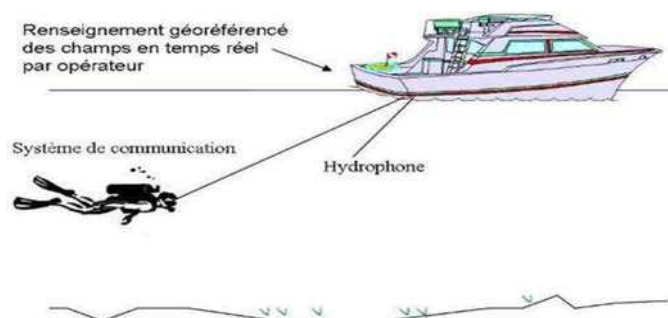


Figure 5. Principe de la méthode transect plongeur-audio (Descamp *et al.*, 2010 in Noelet *et al.*, 2012).

1.2.4. Plongeur mesurant le recouvrement d'un herbier

Pour mesurer le recouvrement d'un herbier à *Posidonia oceanica*, le plongeur tient à bout de bras une plaque en plastique translucide de 30 cm de côté, divisée en 9 carreaux (Figure 6). Il se déplace horizontalement à 3 m du fond où se situe l'herbier, puis estime le pourcentage de recouvrement ; l'opération est répétée une trentaine de fois. Il est recommandé que les distances entre les stations soient du même ordre de grandeur. La moyenne de toutes ces mesures donne le recouvrement global (Gravez *et al.*, 1995).

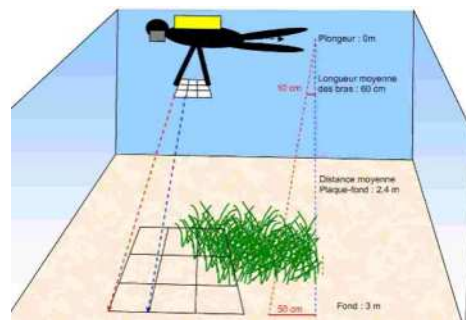


Figure 6. Plongeur mesurant le recouvrement d'un herbier (Pergent, 2007).

1.3. Observations surfaciques

Les observations surfaciques du fond marin, peuvent être réalisées de deux manières, soit par des images aériennes basées sur la mesure de la réflectance du fond, soit par des images acoustiques dont le principe de base est celui de l'échosondeur, i.e. la mesure du temps que met un ping (impulsion sonore) émis à une fréquence donnée entre l'émission et sa réception.

1.3.1. Les images aériennes

Les orthophotographies ou orthoimages sont des images aériennes ou satellitaires de la surface terrestre rectifiées géométriquement et égalisées radiométriquement. Elles se présentent sous forme de dalles et sont géoréférencées. Tous les points semblent avoir été pris à la parfaite verticale sur un terrain plat. On leur applique ensuite un processus baptisé correction radiométrique pour homogénéiser les couleurs (Denis *et al.*, 2003).

Les capteurs numériques des caméras embarqués couvrent aussi bien le domaine du visible que le rayonnement infrarouge. Ils sont embarqués habituellement à bord d'avions ou de satellites, mais récemment, des images sont obtenues grâce à des capteurs fixés à des drones, des ballons....

Concernant l'utilisation de ces images pour la cartographie des habitats marins, on est limité à une profondeur d'une quinzaine de mètres environ, mais elles permettent de « voir » les contours de certains habitats à une profondeur plus grande.

Dans ce document les seules photos aériennes utilisées sont celles récupérées à partir de GOOGLE EARTH. Elles offrent une résolution suffisante pour la délimitation des contours des habitats.

Avec les images fournies à GOOGLE EARTH, on peut atteindre une précision de l'ordre de 0.5 m et une résolution de 10 cm à quelques mètres, typiquement de 0.5 m (Noelet *al.*, 2012). Cette résolution dépend des performances du capteur embarqué par le satellite qui enregistre l'image.

En résumé, quand les images aériennes satellitaires ou aéroportées sont disponibles et que la profondeur de l'eau permet de les exploiter, elles représentent la meilleure solution pour la cartographie et le suivi. De plus GOOGLE EARTH permet d'accéder gratuitement et simplement à des images de très haute résolution (Noelet *al.*, 2012).

1.3.2. Les images acoustiques réalisées à l'aide de sonar latéral tracté

Le sonar à balayage latéral est un système acoustique de haute définition (submétrique) qui fournit une image en continu et en niveau de gris du fond marin. Il permet d'insonifier à différentes fréquences, et perpendiculairement à la route du navire, une bande constante de 50 à 1000 m de largeur en fonction de la profondeur (Figure 7).

Seule l'onde spéculaire, celle empruntant la même trajectoire après réflexion, est intégrée par le poisson. L'énergie des ondes rétro-diffusées reçues par le poisson est codée en 256 niveaux de gris. Selon l'intensité de rétro-diffusion des ondes, les nuances de gris varient en fonction (i) des différents types de fond (signal plus fort quand le fond est constitué de

roches, galets..., signal faible si le fond est sableux, vaseux..., (ii) l'allure du fond (topographie), les pentes orientées vers le poisson sont de meilleurs réflecteurs(Ehrhold, 2003)

Certaines espèces macro-benthiques peuvent être détectées et cartographiées directement lorsqu'elles sont en densité importante sur le fond (herbiers, ...).

Le sonar latéral fournit une image sonique du fond (sonogramme) (Figure 8). Cette image se présente sous forme de dalle de la réflectivité acoustique de l'interface eau – fond.

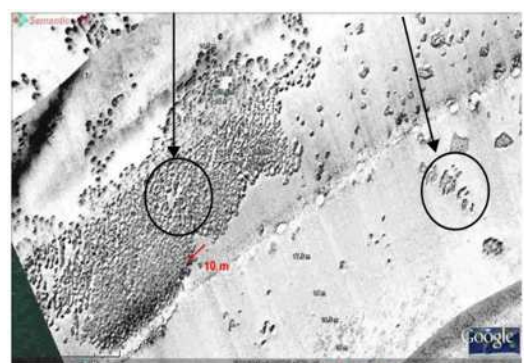


Figure 7. Sonar latéral tracté (Noelet *al.*, 2012).

Figure 8. Exemple de sonogramme(Noelet *al.*, 2012).

Le bon choix d'un type de sonar est important car il dépend de l'usage recherché. Un compromis doit être fait entre la largeur de la fauchée réalisée (une plus ou moins grande superficie explorée), la profondeur et la résolution recherchée qui dépend essentiellement de la fréquence de l'équipement (Tableau 2).

Tableau 2. Performances de quelques modèles de sonars latéraux(Noelet *al.*, 2012).

Méthode	Fréquence	Précision	Résolution	Couverture
Sonar latéral tracté	900 kHz	5 à 15 m	0.1 à 0.3 m	2 à 3 km ² par jour
Sonar latéral tracté	450 kHz	2* à 15 m	0.15 à 0.5 m	4 à 8 km ² par jour
Sonar latéral tracté	150 kHz	2* à 15 m	1 à 2 m	10 à 15 km ² par jour
Sonar latéral de coque DGPS	250 kHz	1 à 5 m	0.5 à 1 m	4 à 8 km ² par jour
Sonar latéral de coque DGPS RTK	250 kHz	0.5 à 1 m	0.5 à 1 m	4 à 8 km ² par jour

1.3.3. Les images acoustiques du procédé SACLAF DIVA

Le procédé SACLAF DIVA (Système Acoustique de Classification Automatique des natures de Fonds pour la cartographie ; Détection et Inspection Verticale Acoustique), mis au point par SEMANTIC TS, est une aide importante dans les levés des biocénoses pour réaliser la cartographie des végétations sous-marines. Il a été mis au point dans le cadre du projet de gestion des zones NATURA 2000 (Holonet *al.*, 2008). Ce système fonctionne en faisant l'analyse de la réponse acoustique reçue par le sondeur monofaisceau (détectant à la verticale du bateau), elle est différente selon que le fond est recouvert ou non de végétation (Ehrhold, 2003) (Figure 9).

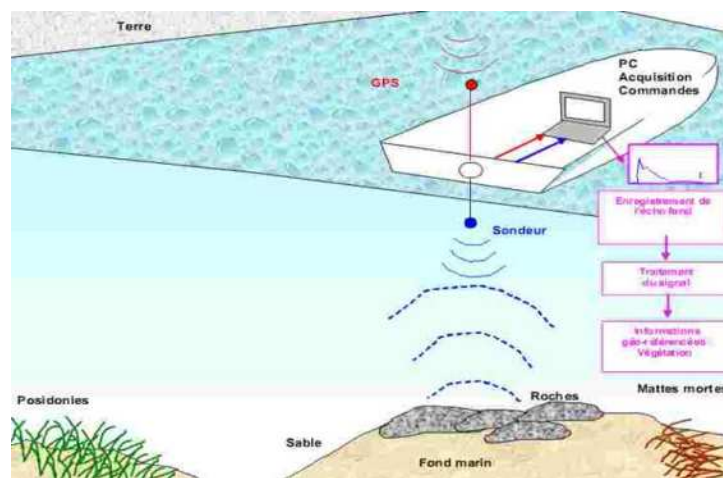


Figure 9. Sondeur monofaisceau du type SACLAF DIVA.

Ce système renseigne sur la présence de Posidonies, Zostères, Cymodocées, Laminaires (Figures 10 et 11) avec une précision de 1 m à 10 m de profondeur et 3 m à 25 m de profondeur. Il fournit aussi la bathymétrie et permet la visualisation du fond en temps réel et peut couvrir un linéaire côtier journalier de 100 km à 7 nœuds.

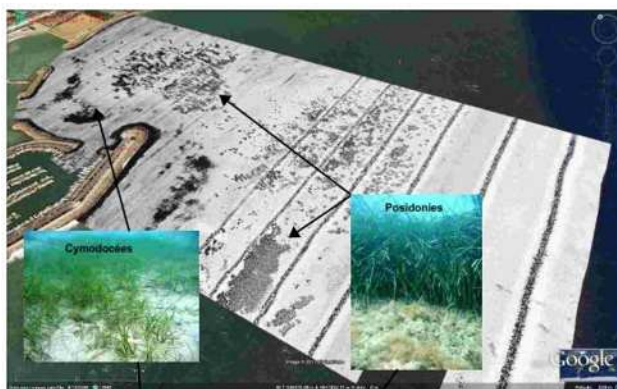


Figure 10. Exemple de sonogramme (SACLAF) (Noelet *al.*, 2012).

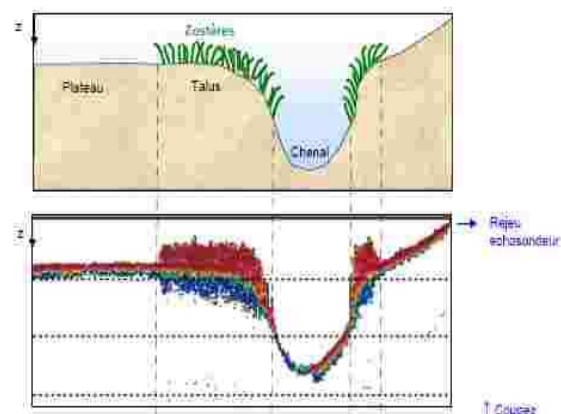


Figure 11. Sonogramme (SACLAF) (Noelet *al.*, 2012).

Enfin, la méthode innovante dite GIB (GPSIntelligent Buoy), développée dans le cadre du programme INTERREG IIB / POSIDONIA (2007). Elle utilise quatre bouées équipées chacune d'un hydrophone, d'un GPS et d'un émetteur acoustique. Ce système permet de géolocaliser un plongeur en scooter sous-marin, lui-même équipé d'un pinger.

Pour cartographier les habitats marins notamment les herbiers à *Posidonia oceanica*, il faut s'en donner les moyens, avoir une méthodologie adéquate et une qualification du personnel dans de nombreux domaines divers et variés. L'objectif à atteindre est la production de cartes biocénologiques de qualité, c'est-à-dire des cartes avec une bonne résolution et une grande précision.

2. Matériel et méthodes

Trois sites sont pris en compte dans le cadre de ce travail : Ouled El Hillel (Wilaya de Ain Témouchent), Hadjret En Nouss et les trois anses de Kouali (wilaya de Tipasa) (Figure 12).



Figure 12. Positionnement des trois sites d'étude (Source GOOGLE EARTH).

2.1. Description des sites d'étude

2.1.1. Ouled El Hillel

En décembre 2007 et janvier 2008, nous avons mené une étude dont le but est de décrire les principaux habitats marins présents sur la façade maritime jouxtant un site prévu pour la construction d'une aluminerie. Cette zone se situe à proximité du douar de Ouled El Hillel, non loin de Terga, à environ 12 km au Nord-Est de Bénisaf (Figure 13).

Le site d'étude s'étend sur une superficie de plus de 500 ha entre le linéaire côtier faisant environ 3 km de long et la ligne au large positionnée à 1.5 km de la côte qui coïncide approximativement avec l'isobathe 30 m.

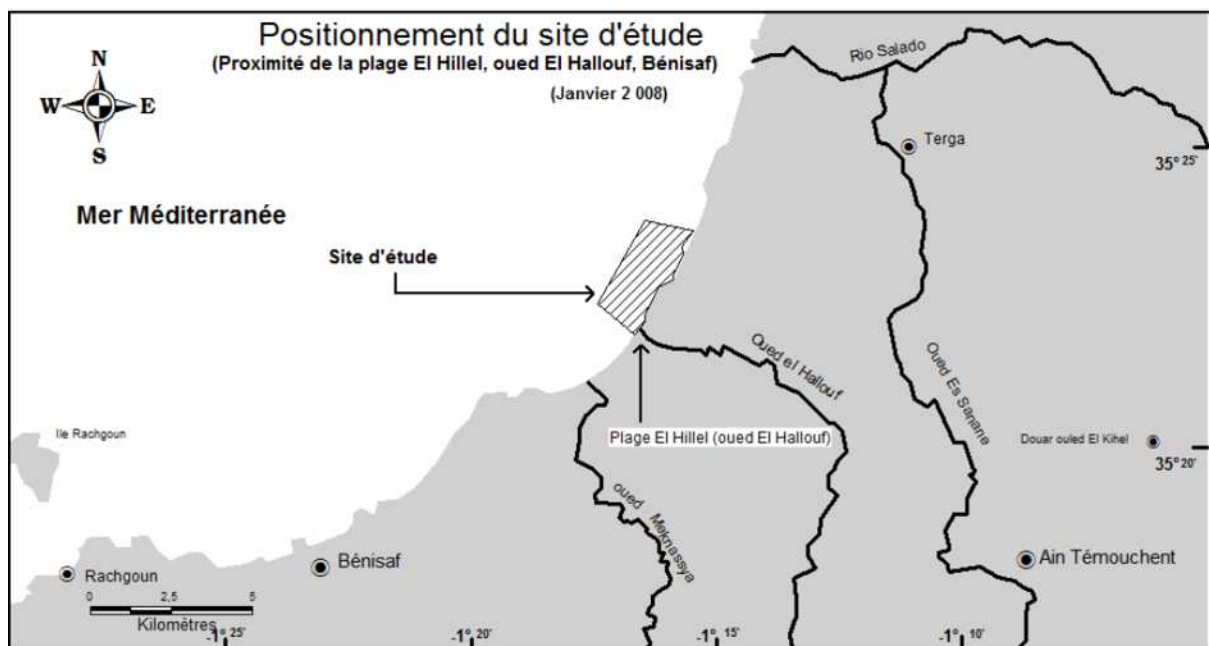


Figure 13. Positionnement du site d'étude de Ouled El Hillel.

2.1.2. Hadjret En Nouss

En avril 2006 et avril 2007, nous avons effectué une étude similaire. L'objectif était de décrire les principaux habitats marins présents dans une zone côtière située à l'Est de Hadjret En Nouss. Cette zone a été choisie pour un projet de construction d'une centrale électrique.

Le site choisi pour l'implantation de cette centrale est proche de Cherchell, est à proximité de Hadjret En Nouss, petit village compris entre Sidi Ghiles et Messelmoun (Figure 14).

La zone à prospecter se compose d'une anse peu profonde (celle de l'Ouest sur la photo (Figure 15), où la profondeur excède rarement 8 m, avec une plage à galets de dimension modeste et d'un platier étendu.

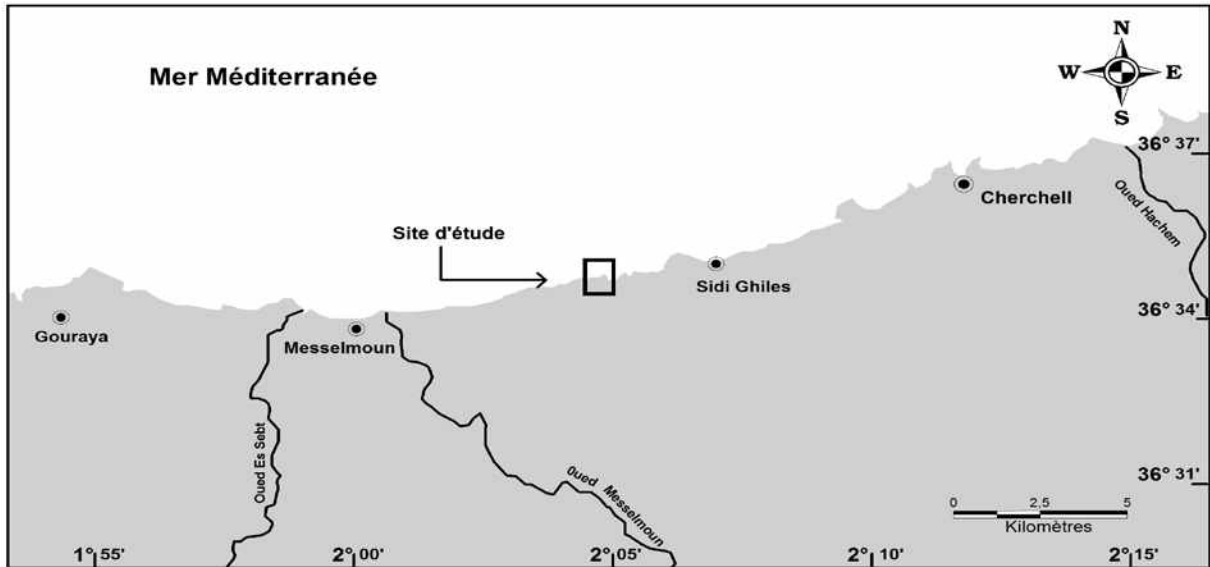


Figure 14. Positionnement du site d'étude de Hadjret en Nous.



Figure 15. Photo du site d'étude Hadjret En Nous (Source : GOOGLE EARTH, photo d'archive réalisée en mai 2003).

2.1.3. Anses de Kouali

Les anses de Kouali, au nombre de trois, sont situées dans la partie occidentale de la baie de Bou Ismaïl, à environ 70 km à l'Ouest d'Alger (Figure 16). Elles font partie de l'ensemble Mont Chenoua-anses de Kouali qui a été retenu par le ministère de l'aménagement du territoire et de la ville pour bénéficier du statut d'Aire Marine et Côtière Protégée (AMCP) (Mangos et Claudot, 2013). En effet, leurs fonds marins présentent une grande diversité

sédimentaire et biologique, avec notamment la présence de multiples herbiers de Posidonies et de centaines d'espèces, dont certaines sont menacées d'extinction et figurant à la fois sur la liste rouge (PNUE/UICN/GIS Posidonie, 1990). et sur l'Annexe II du Protocole relatif aux Aires Spécialement Protégées (Boumaza, 1995 ; Grimes, 2011 ; Mangos et Claudot, 2013).

L'objectif à atteindre est de cartographier les principaux habitats marins, de positionner et de délimiter la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* présent dans cette zone.



Figure 16. Photo du site d'étude des trois anses de Kouali (Source : GOOGLE EARTH, photo d'archive réalisée le 30 avril 2006).

2.2. Techniques de cartographie utilisées pour les zones de Ouled El Hillel et Hadjret EnNouss

L'absence de carte bathymétrique précise de grande échelle (indiquant notamment la nature du fond), ni de travaux précédents réalisés dans les deux zones n'ont été trouvés. Par conséquent, il a été décidé de procéder dans un premier temps et à titre indicatif, à un balayage systématique à l'échosondeur des deux zones d'étude. L'analyse des données préliminaires, a permis de constater que les deux zones, présentent une certaine uniformité hormis quelques zones bien précises.

2.2.1. Positionnement des filins

La méthode de prospection retenue est celle utilisant des transects. La mise en œuvre de cette méthode à Ouled El Hillel, s'est effectuée en deux étapes :

- la première étape, effectuée fin décembre 2007, la prospection est réalisée le long de 7 transects distants de 300 m environ et numérotés de T1 à T7.
- la seconde étape, effectuée début janvier 2008 comprend (04) transects numérotés de T8 à T11 situés au Sud-Ouest de la zone précédente jusqu'à la plage de Ouled El Hillel (Figure 17). Les lignes servant aux transects ont une longueur de 1.5 km.

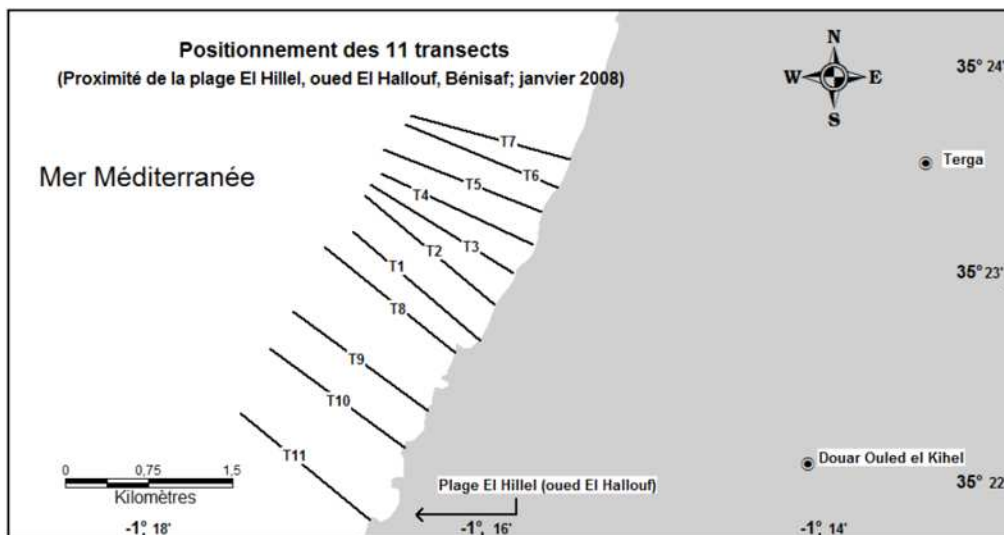


Figure 17. Positionnement des 11 transects dite de Ouled El Hillel.

Cette technique est répétée à l'identique dans la zone de Hadjret En Nous (Figure 18). 23 filins posés sur le fond pour la réalisation des transects. Les filins notés SN1, SN2 et SN3 de longueur dépassant 500 m n'ont été représentés qu'en partie, car à partir de 300 m le fond n'est constitué que de sable vaseux.

Dix plongées ponctuelles supplémentaires ont été réalisées comme vérités-terrain pour compléter la cartographie générale en dehors des zones prospectées au moyen des transects.

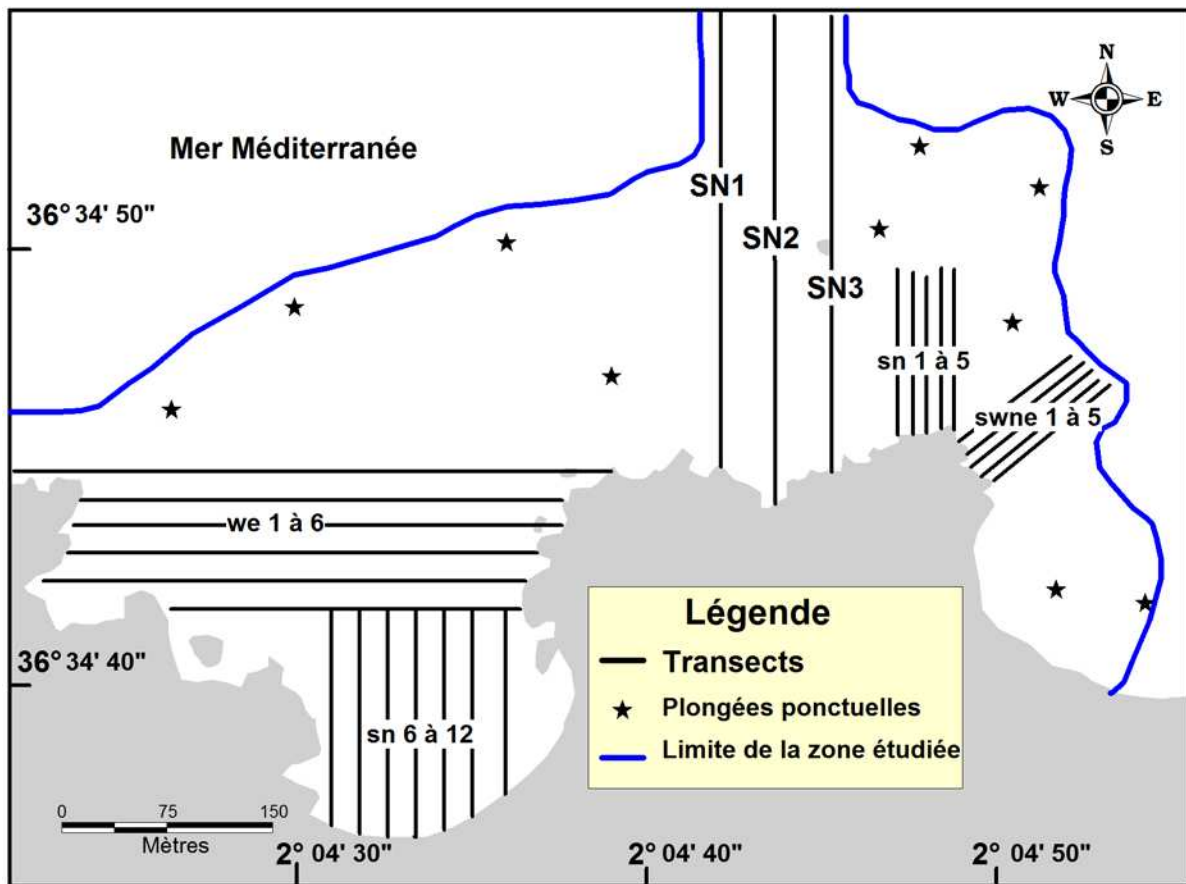


Figure 18. Position des transects et des plongées ponctuelles à Hadjret En Nous.

2.2.2. Réalisation d'un filin de transect

Pour réaliser un transect, un filin « plombé » tous les 2.5 m est filé (le plus linéairement possible) sur le fond marin à partir de la côte vers le large. Tous les 25 m, des plaquettes de plexiglas y sont fixées (Figure 19), elles permettent le positionnement, le changement d'habitats le long du filin et de recueillir la profondeur au moyen d'un profondimètre digital (porté par le plongeur) dont la précision est de l'ordre de 10 cm (Figure 20).

La ligne tirée à partir de la côte est fixée en un point positionné sur le linéaire côtier au moyen d'un théodolite avec une précision décimétrique (Figures 21 et 22). L'autre extrémité du filin est reliée au large à un corps-mort lourd et surmonté d'une bouée. La bouée est positionnée au moyen d'un GPS ainsi qu'au compas de relèvement (précision pouvant atteindre de 5 m à 15 m).



Figure 19. Plaquette indiquant une distance parcourue de 25 m.



Figure 20. Profondimètre digital indiquant une profondeur de 2.4 m.



Figure 21. La position N° 22 correspondant à la longitude 444 680 E (Hadjret En Nouss).



Figure 22. La flèche indique le point de départ du filin (Transect SN 3, Hadjret En Nouss).

Deux plongeurs suivent la ligne posée au fond, l'un des plongeurs est muni d'un caméscope (caméra 3 CCD) filme en « continu », en procédant à un balayage de la zone de part et d'autre du filin. L'autre plongeur est équipé d'un appareil photo numérique et d'ardoises immergeables pour noter tout ce qui est pertinent pour une exploitation ultérieure des données recueillies.

2.2.3. Délimitation des herbiers à *Posidonia oceanica* de Ouled El Hillel

Les quatre herbiers sont étudiés dans la zone de Ouled El Hillel par la technique décrite précédemment. Un plongeur se déplace en contournant l'herbier en tenant

verticalement une corde reliée à un flotteur qui est régulièrement positionné depuis un boti (appellation locale du canot à moteur).

2.2.4. Estimation du recouvrement à partir d'une vidéo

Le recouvrement des herbiers à partir de l'enregistrement de la vidéo ne correspond qu'à une estimation, en raison de la méthode utilisée. En effet, l'enregistrement s'était fait quasiment à 45° par rapport à la verticale, ce qui ne correspond pas à la méthode préconisée par Gravez *et al.* (1995).

2.3. Techniques utilisées pour la zone des trois anses de Kouali

Tenant compte de l'importance de l'aire à explorer (environ 120 ha). Des cartes de GOOGLE EARTH servent de base pour fond de carte et pour effectuer une segmentation approximative des habitats, dans un premier temps. Dans la zone peu profonde (n'excédant pas 10 m) le plongeur prospecte depuis la surface (en plongée libre) muni d'une caméra GoPro, d'une ardoise et d'un sondeur immergeable digital Plassimo (Figure 23). Pour les zones plus profondes, des transects sont effectués en plongée avec scaphandre à la palme ou avec scooter sous-marin (Figure 24). Le plongeur tractant derrière lui une bouée en surface qui est positionnée au GPS par une personne se trouvant sur le bateau suiveur de la bouée.



Figure 23. Sondeur sous-marin digital Figure 24. Plongeur en scooter sous-marin.

(Plassimo)

Dans cette méthode, il n'y a plus de filins posés au fond que le plongeur peut suivre, aussi il s'oriente à l'aide d'un compas (Figure 25). L'autre équipement absolument indispensable au plongeur pour assurer sa sécurité est l'ordinateur de plongée (Figure 26).



Figure 25. Compas immergeable.



Figure 26. Ordinateur de plongée.

Pendant son déplacement le plongeur prend des photos ou filme en continu. Il est important de noter que l'horloge de la GoPro est calée sur celle du GPS (l'image repérée par le time-code coïncide avec celle du GPS). Cette technique est utilisée aussi bien comme vérité-terrain, que pour estimer le recouvrement et pour cartographier la limite inférieure. Sur la figure 27 sont représentés les transects effectués en plongée libre, avec scaphandre (T3) et scaphandre et scooter sous-marin (T1 et T2). La distance totale parcourue est estimée à 2400 m pour effectuer les 24 transects.

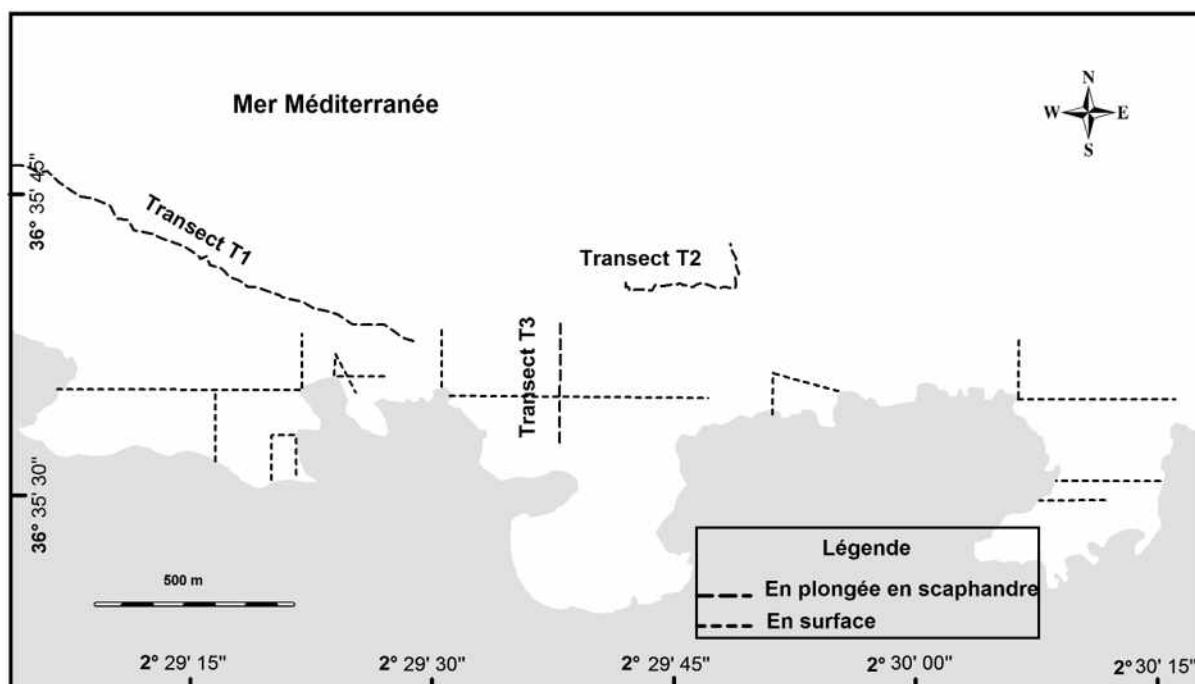


Figure 27. Transects effectués en plongée libre et en scaphandre dans les 3 anses de Kouali.

2.3.1. Estimation du recouvrement à partir d'une vidéo

La méthode utilisée pour l'estimation du recouvrement est inspirée de celle de Gravez *et al.* (1995) et Pergent *et al.* (2005). Sur tout l'enregistrement vidéo, une capture photo est faite toutes les 10'' exactement (intervalle pris arbitrairement). Le recouvrement est alors estimé sur la photo (en incrustant sur la photo un cadrage permettant de faire une estimation correspondant à 2.25 m² au sol (Gravez *et al.*, 1995). Cette méthode offre la possibilité de réduire le temps passé en plongée et de faire des estimations de recouvrement sur des surfaces d'herbiers plus importantes. À titre d'exemple, 71 photos ont été extraites des 11' 50'' de vidéo enregistrée sur le transect T1 avec le scooter sous-marin. Le recouvrement estimé le long du transect est alors obtenu en prenant la moyenne des recouvrements obtenus à partir des 71 photos extraites de la vidéo.

2.4. Étapes pour la production cartographique des habitats marins

Les enregistrements de vidéo et les photos prises sont toutes géolocalisées (horloges des appareils photo et vidéo calées sur celle du GPS, et ce, pour chaque sortie en mer). Ils sont soigneusement archivés sur PC (Figure 28).

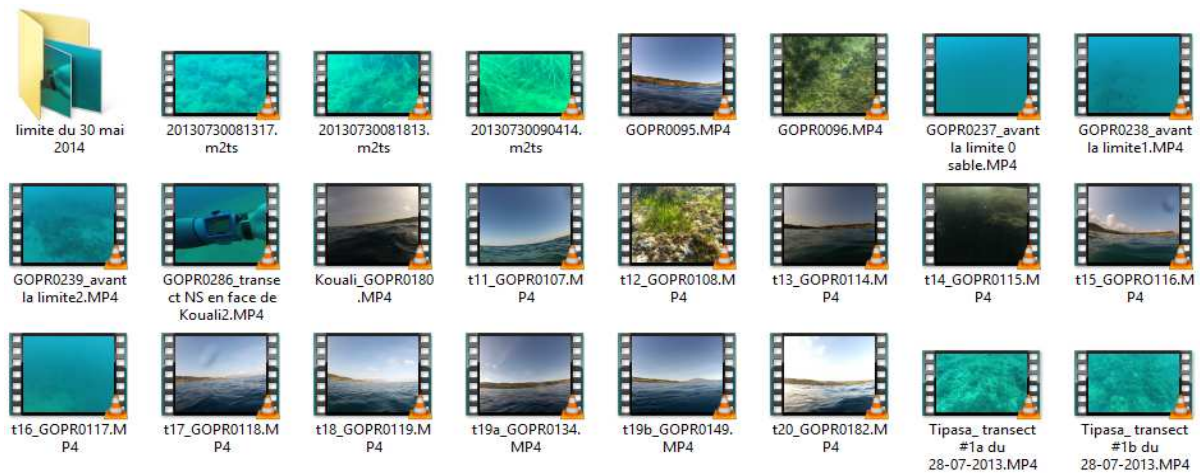


Figure 28. Archivage des données.

Les positions GPS du Garminetrex 10 sont transférées à l'ordinateur via le logiciel Base Camp, car les fichiers transmis du GPS ont l'extension **.gpxet** ne sont pas transférables directement sur PC. Les fichiers sont ensuite rapatriés sous Excel.

Pour la cartographie, les images produites par GOOGLE EARTH actuelles (ou celles archivées dans l'historique) sont utilisées comme fonds de carte. Il est intéressant de rappeler que ces images corrigées géométriquement et radiométriquement ont une résolution de l'image (pixel informatif au sol) de l'ordre de quelques cm à quelques mètres et typiquement de l'ordre de 0.5 m, avec une précision de 0.5 m (Noelet *al.*, 2012). L'étape finale est l'utilisation du logiciel Mapinfo, version 8.0, pour produire les cartes. Le synopsis de la production finale d'une carte d'habitats géoréférencés est donné dans la figure 29.

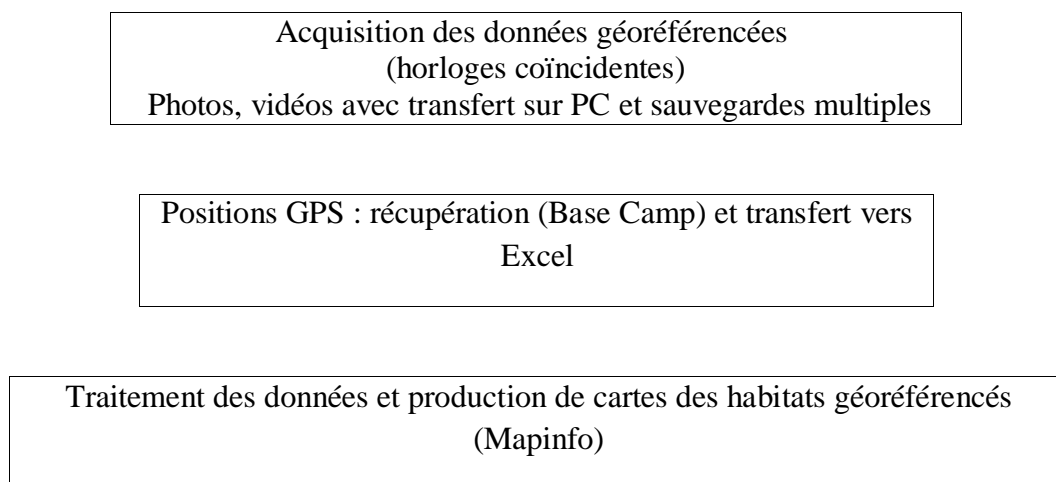


Figure 29. Synopsis de la production de cartes des habitats marins.

Il est important de pouvoir géolocaliser les images pour décrire un habitat. Si l'horloge de l'appareil photo numérique est bien calée sur celle du GPS la procédure est simple. Le logiciel BaseCamp affiche les positions du GPS, i.e. le numéro du waypoint, ses coordonnées géodésiques (dans le WGS84) la date et l'heure précise.

Concernant la GoPro, chaque photo possède ses propriétés notamment le time-code. Il suffit de repérer dans le classement des photos celle dont le time-code coïncide ou approche de celui du waypoint qui nous intéresse, c'est ainsi que la photo prise au fond est géolocalisée. Sur l'exemple suivant, une photo a été prise de la limite inférieure de l'herbier au large des trois anses de Kouali (Figure 30), son time-code indique : « vendredi 30 mai 2014 @ 10 h 14 min. et 12 sec. (Figure 31).



Figure 30. Photo prise à la limite inférieure de l'herbier, avec la GoPro (Site des 3 anses).

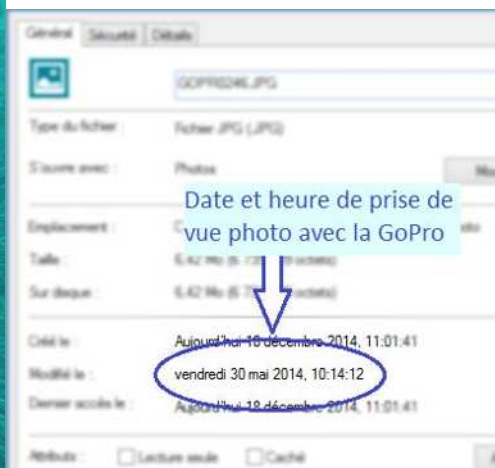


Figure 31. Time-code de photoGoPro

L'affichage de la feuille de BaseCamp nous indique que le waypoint qui correspond à cette photo est le numéro 014 avec ses coordonnées géodésiques (Figure 32). On constate dans ce cas, un léger décalage de 42'', ce qui n'est pas très significatif car le plongeur se déplace lentement sous l'eau.

01/06/2014 08:26:40

014

44 41 2 1

Randonnée

Symbol	Nom	Comment	Position	Pr	Date de modificati	Date de création
004			N36 35.746 E2 26.954		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 09:36:11
005	KOUALI00					/2014 09:36:33
006						/2014 09:50:18
007			N36 35.792 E2 29.020		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:07:42
008			N36 35.789 E2 29.028		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:09:06
009			N36 35.785 E2 29.037		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:10:10
010			N36 35.788 E2 29.040		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:10:58
011			N36 35.789 E2 29.047		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:12:03
012			N36 35.785 E2 29.055		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:12:53
013			N36 35.785 E2 29.060		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:13:57
014			N36 35.790 E2 29.065		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:14:54
015			N36 35.788 E2 29.071		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:15:44
016			N36 35.782 E2 29.073		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:16:42
017			N36 35.771 E2 29.072		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:17:40
018					01/06/2014 08:24:24	
019			N36 35.783 E2 29.087		01/06/2014 08:24:24	
020			N36 35.782 E2 29.097		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:20:56
021			N36 35.786 E2 29.103		01/06/2014 08:24:24	30/05/2014 10:21:39

Figure 32. Feuille de données BaseCamp et caractéristiques du waypoint.

Lorsque les photos sont extraites de la vidéo, elles peuvent être sélectionnées à la trame près, i.e. on retrouve la photo prise exactement (à la seconde près) quand le waypoint a été enregistré.

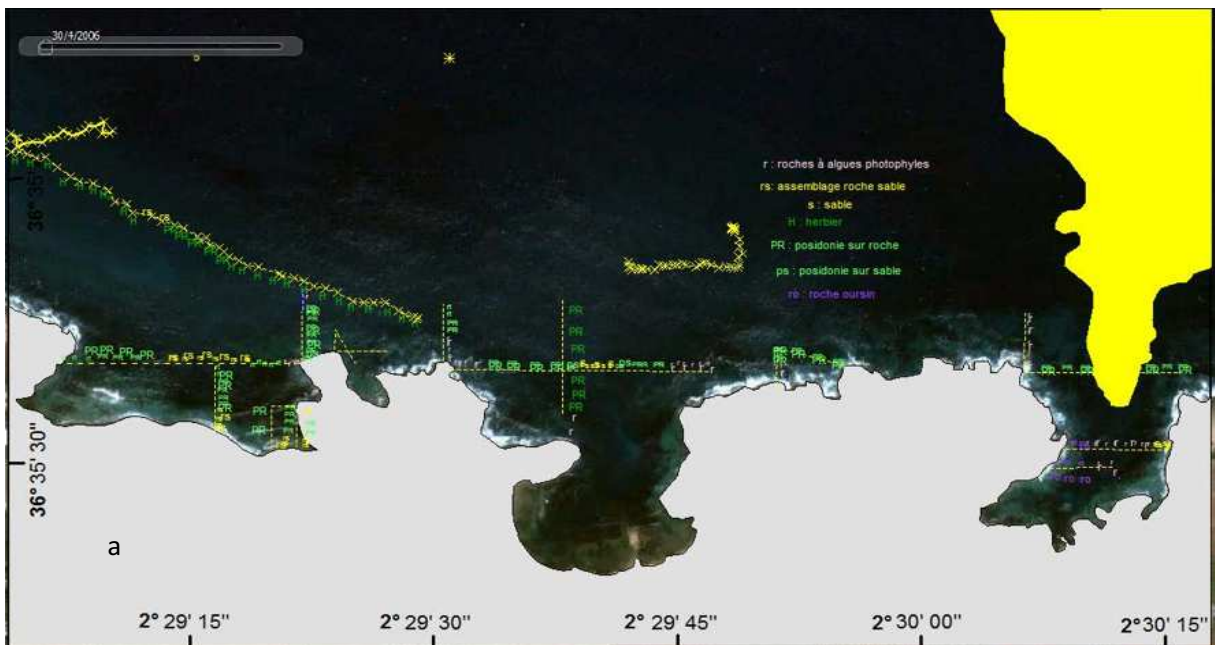
2.4.1. Traitement des données

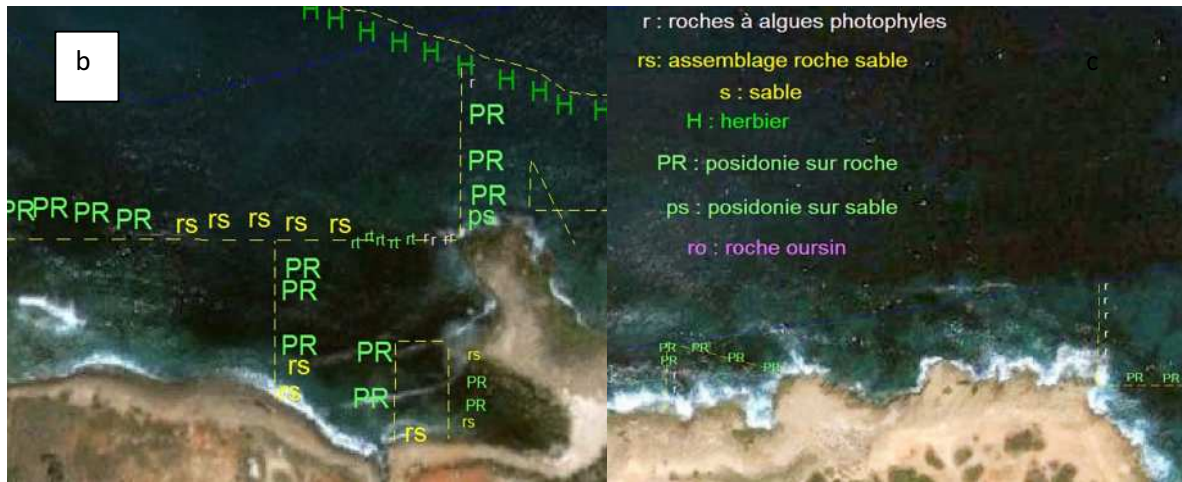
Concernant les deux premiers sites, la cartographie est immédiate puisque les habitats sont identifiés et positionnés grâce aux filins et au GPS. Pour ce qui est des anses de Kouali la technique est différente. Pour nous aider à positionner les transects; une carte de segmentation des habitats potentiels est établie au préalable(Figure 33).



Figure 33.Segmentation des habitats potentiels.

Le visionnage des prises de vue sous-marines effectuées le long des transects permet de légènder et d'identifier les différents habitats avec leur géolocalisation le long des transects (Figures 34a, b et c).





Figures 34. Légende et identification des habitats avec leur géolocalisation dans le site des trois anses de Kouali.

2.4.2. Typologie et couleurs de représentation des habitats marins sur les cartes

Pour représenter les habitats marins sur une carte biocénotique, la nomenclature (typologie et couleur) retenue est celle adoptée par de nombreux auteurs (Astruchet *al.*, 2012) et retrouvée dans des bases de données telle que celle de SEXTANT gérée par l'organisme Ifremer, concernant la cartographie des habitats marins, avec le code suivant : R (Rouge), V (Vert), B (Bleu) (Tableau 3).

Tableau 3. Code des couleurs de représentation des habitats marins (Astruchet *al.*, 2012).

Habitats	R V B	
<i>Posidonia oceanica</i>	100, 255, 205	
Substrat dur (algues photophiles)	255, 0, 0	
Sable	255, 190, 0	
Sable vaseux	255, 255, 0	
Substrat dur (coralligène)	128, 0, 128	
galets	205, 175, 200	

2.4.3. Récapitulatif de l'effort effectué en plongée en scaphandre pour les vérités terrain et positionnement des habitats (Tableau 4 & Annexe 4)

Tableau 4. Effort en plongée pour réaliser les vérités terrain

Site d'étude	Nombre de transects	Nombre de plongées
Hadjret En Nouss	26	36
Ouled El Hillel	11	15
Trois anses de Kouali	4	4

3. Résultats et discussion

Les nombreuses investigations subaquatiques ont permis d'établir des cartes des principaux habitats marins, englobant notamment les herbiers à *Posidonia oceanica*, dans les trois sites étudiés.

3.1. Le site de Hadjret En Nouss

La figure 35 constitue la carte synthétique des principaux habitats marins présents sur la zone côtière de Hadjret En Nouss, établie à partir des données recueillies en 2006 et 2007.

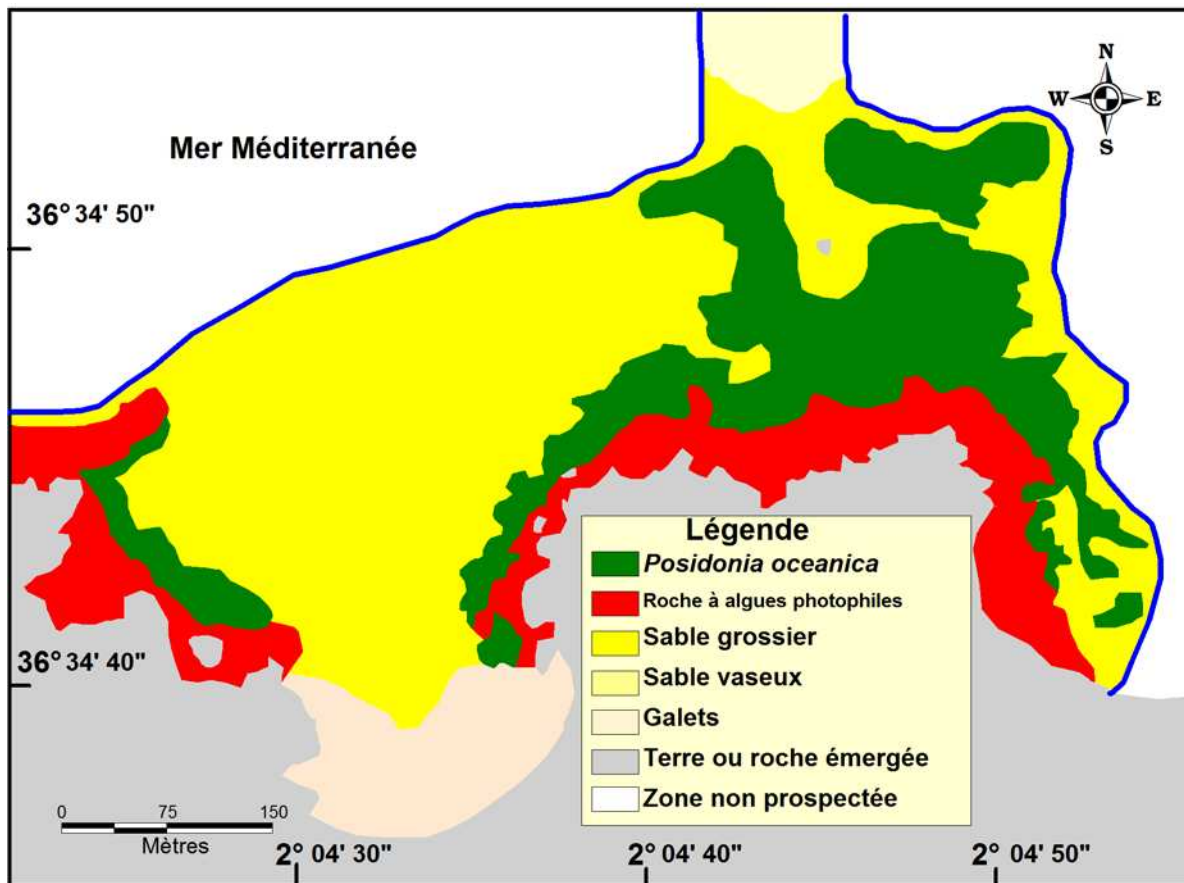


Figure 35. Cartographie des principaux habitats marins de Hadjret En Nouss.

3.1.1. Description des principaux habitats marins de Hadjret En Nouss

Le maillage resserré utilisé lors de la prospection de la zone de la plage nous a permis de faire une bonne description des habitats. La plage est constituée de gros galets qui s'étend sur une distance d'environ 75 m (Figure 36), suivi par un assemblage de gros galets et de roches métriques presque entièrement dépourvues d'algues, jusqu'à une distance d'environ 125 m (Figure 37) et enfin par un assemblage de galets, de roches métriques et de sable jusqu'à 175 m à partir du bord (Figure 38). Au large de celle-ci, on ne trouve plus que du sable grossier sillonné de ripple-marks, témoignant de l'hydrodynamisme de ce site (Figure 39). Près du bord, la roche est recouverte d'algues photophiles et de *Posidonia oceanica* (Figure 40).

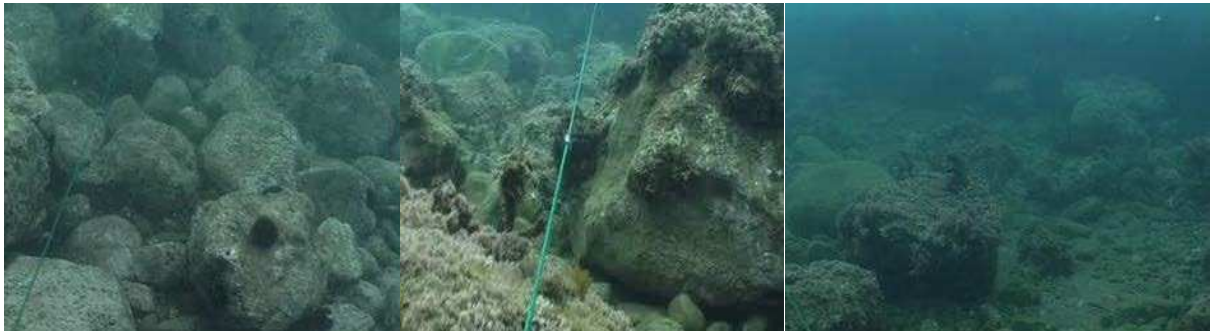


Figure 36. Substrat à galets (Hadjret En Nouss).

Figure 37. Assemblage de Galets et roches métriques.

Figure 38. Assemblage de galets, roches métriques, sable grossier.

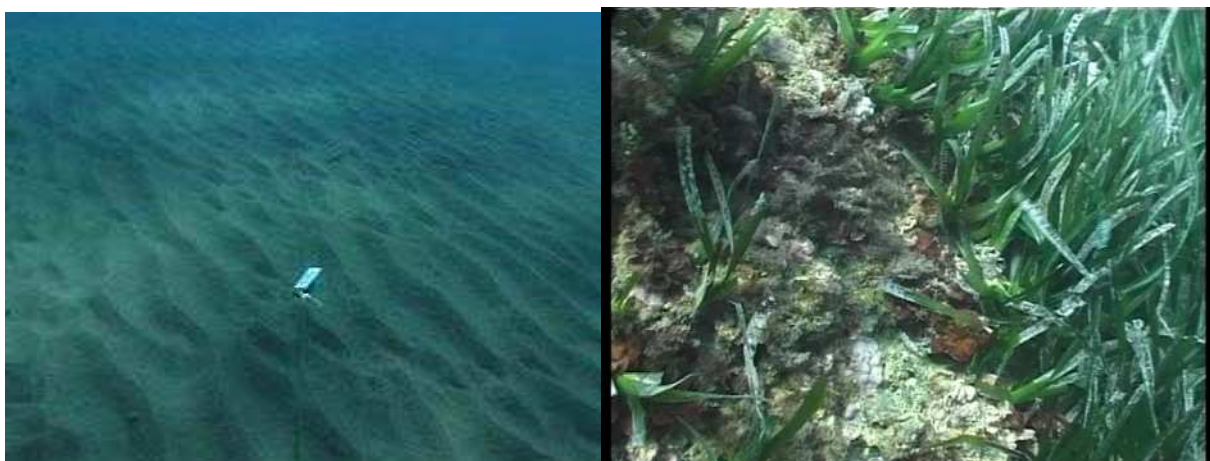


Figure 39. Sable grossier avec ripple-marks.

Figure 40. Roches recouvertes d'algues photophiles et de *Posidonia*

3.1.1.1. Les herbiers à *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica occupe une grande superficie, principalement au niveau de la partie septentrionale de la zone cartographiée. C'est un herbier sur roche et la surface occupée est estimée à 6 hectares environ, soit plus de 30 % de la surface étudiée qui avoisine les 16 hectares. La figure 41 indique les différents herbiers cartographiés et numérotés de H1 à H6 et le tableau 5 indique les surfaces correspondantes.

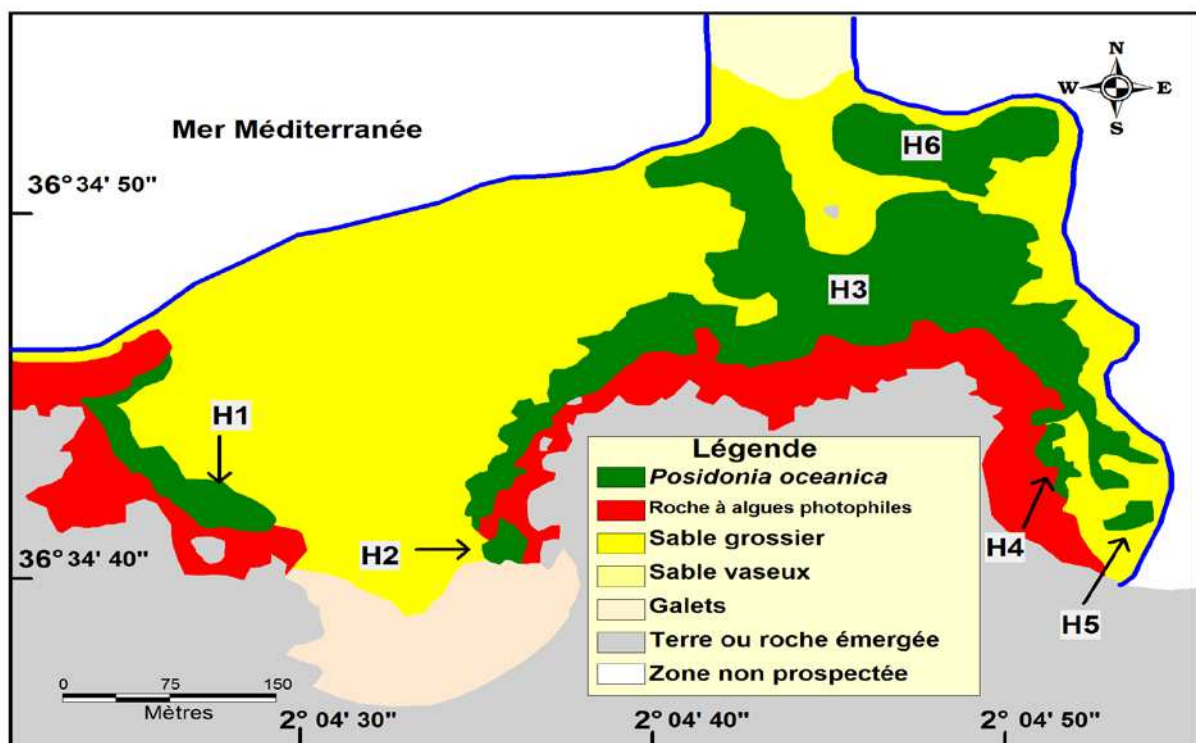


Figure 41. Numérotation des herbiers à *Posidonia oceanica* (H1 à H6) de Hadjret En Nouss.

Tableau 5. Superficies occupées par les herbiers de Hadjret En Nouss.

N° de l'herbier	1	2	3	4	5	6
Surface (ha)	0.38	0.1	3.9	0.1	0.7	0.8

3.1.1.2. Recouvrement et type de limite inférieure de l'herbier au niveau des transects SN1, SN2 et SN3

L'herbier n'est pas continu entre ses deux limites inférieure et supérieure, il est entrecoupé parfois de bandes de sable grossier présentant des ripple-marks prononcées. Le

recouvrement déduit des enregistrements vidéo concernant les transects SN1, SN2 et SN3 effectué au niveau de l'herbier H3 sont estimés à 53%, 81 %, et 69 %, respectivement ; soit un recouvrement moyen de **68 %** (Tableau 8). C'est un FORT RECOUVREMENT selon le classement établi par Charbonnel (Charbonnel et al., 2000).

La profondeur moyenne de la limite supérieure au niveau de ces trois transects est de 4 m en moyenne, tandis que celle de la limite inférieure est variable (Tableau 6). Quant à la limite inférieure, elle est dite franche selon la terminologie de Meinesz et Laurent (1978).

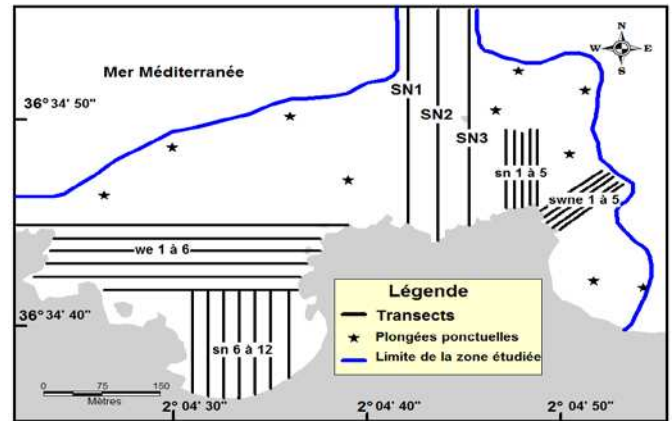


Tableau 6. Caractéristiques de l'herbier à *Posidonia oceanica* suivant les transects SN1, SN2 et SN3.

	SN1	SN2	SN3
Recouvrement (%)	53	81	69
Type de limite inférieure	Franche	Franche	Franche
Profondeur de la limite inférieure (m)	11.9	11.4	13.7

3.1.1.3. Carte illustrée des principaux habitats marins, de la zone de Hadjret En Nous

La carte des principaux habitats marins sur la façade maritime de Hadjret En Nous est représentée sur la figure 42.

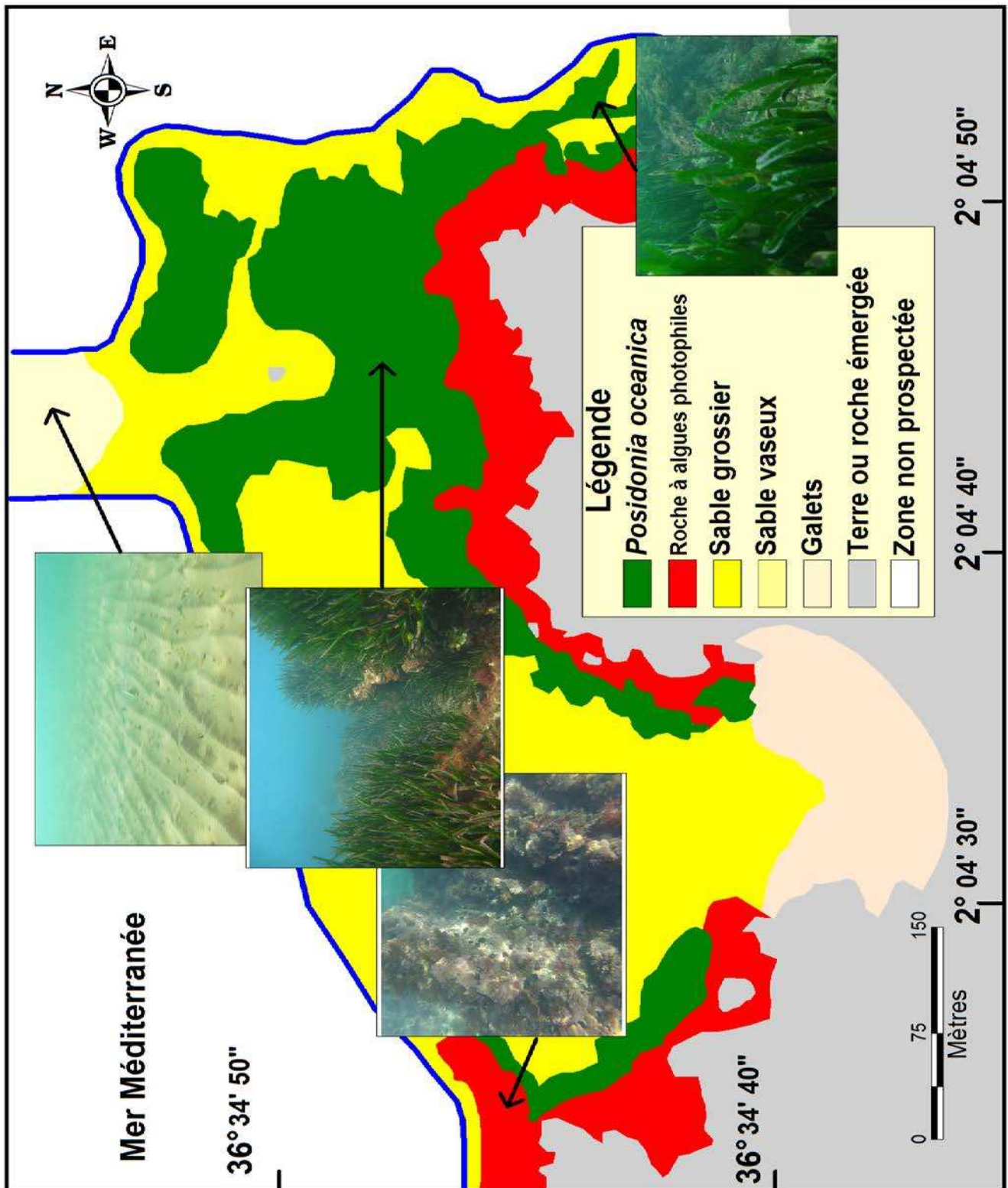


Figure 42. Carte illustrée des principaux habitats marins (Hadjret En Nous)

3.1.1.4. Site d'étude de nos jours

Le projet de construction de la centrale électrique sur le site de Hadjret en Nouss s'est concrétisé. Cette centrale alimente en électricité actuellement de nombreux foyers et industries (Fig. 43).

Les deux rejets de l'eau de refroidissement sont bien visibles par le Nord – Est. Le petit port destiné à l'acheminement par voie maritime de minerais nécessaire au fonctionnement de la centrale a pu être inséré dans la petite anse.



Photo prise avant la construction de la centrale électrique (GOOGLE EARTH du 18mai 2003)

Photo prise après la construction de la centrale électrique (GOOGLE EARTH du 2 aout 2013)

Figure 43. Le site de Hadjret en Nouss avant et après la construction de la centrale électrique

3.2. Le site de Ouled El Hillel

La figure 44 constitue la carte synthétique des principaux habitats marins présents sur cette zone côtière, établie à partir des données recueillies en 2007 et 2008, lors de l'étape 1.

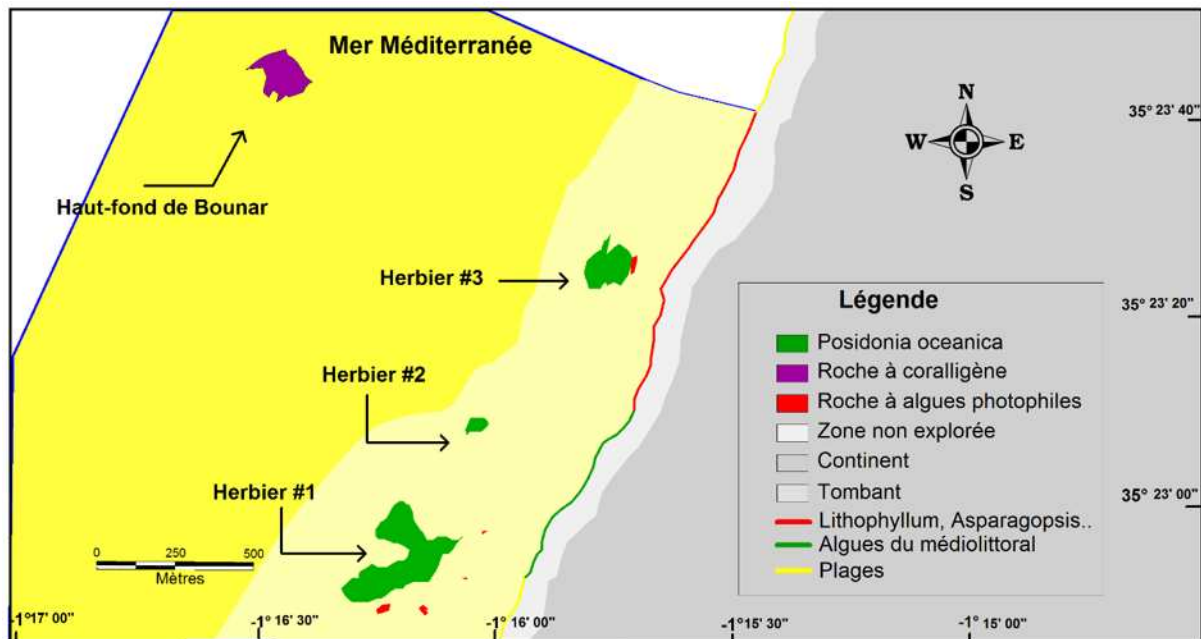


Figure 44. Principaux habitats marins à proximité de la plage d'Ouled El Hillel (étape 1).

3.2.1. Description des principaux habitats marins d'Ouled El Hillel (étape 1)

Le fond marin de cette zone est constitué principalement de sable fin présentant des ripple-marks en zone peu profonde, sa partie septentrionale est constituée d'un fond sablo-vaseux. Près de la côte, le fond est constitué de sable grossier avec la présence de quelques habitats remarquables :

- Trois herbiers à *Posidonia oceanica* de superficies de 4.6 ha (Herbier#1) 0.27ha (Herbier#2) et 1.4 ha (Herbier #3).
- un Haut-fond situé au large à 1250 m de la côte, le haut-fond de Bounar peuplé principalement de coralligène.
- Roches métriques et décamétriques entièrement immergées avec des algues photophiles et parfois de la Posidonie.
- Bande littorale d'une largeur de 15 à 20 m composée de petits rochers, de roches métriques recouvertes d'algues photophiles, à très faible profondeur.

3.2.1.1. Les herbiers à *Posidonia oceanica*

3.2.1.1.1. L'herbier #1 (Figure 45& Annexe 1)

Le centre de l'herbier est situé à environ 320 m de la côte. Il occupe une superficie d'environ de 4.6 ha et repose sur un fond compris entre 4.1 m (limite supérieure ; Figure 46) et 12.5 m (limite inférieure ; Figure 47) de profondeur. Son recouvrement est estimé à 85 %. L'assemblage constitué de roche et de matte morte occupe une surface de 3.8 ha. La limite inférieure de l'herbier est dite franche, selon la terminologie de Meinesz et Laurent (1978).

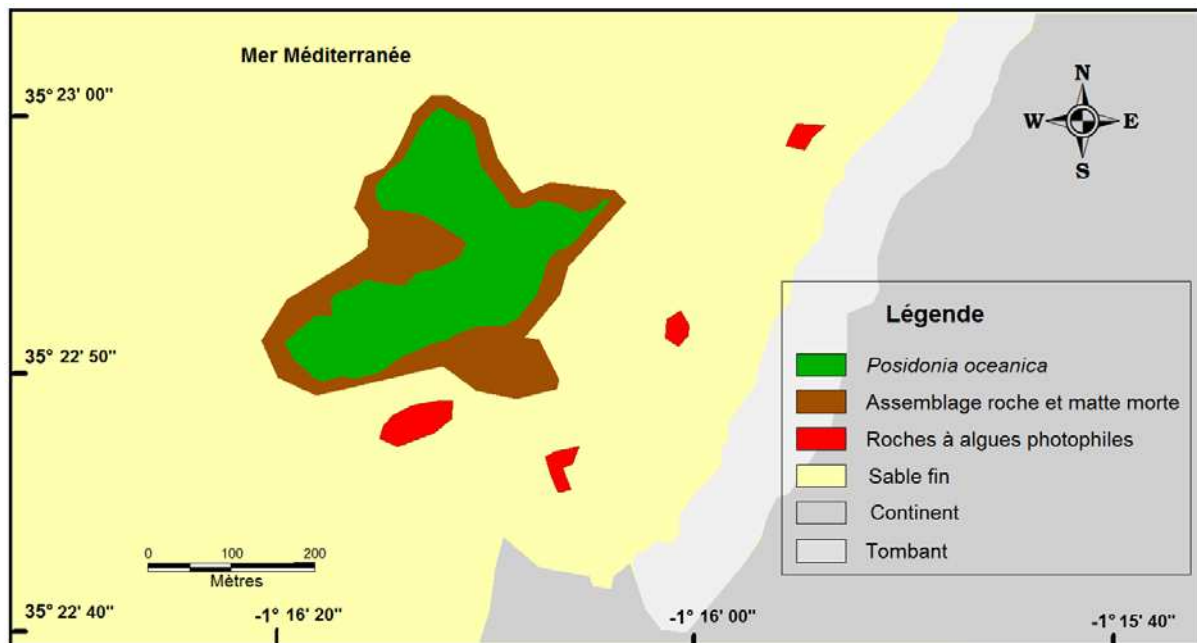


Figure 45. Herbier #1 à proximité de la plage d'Ouled El Hillel.



Figure 46. Limite supérieure de l'herbier #1 de Ouled El Hillel.

Figure 47. Limite inférieure de l'herbier #1 de Ouled El Hillel.

3.2.1.1.2. Herbiers #2 et 3 de Ouled El Hillel (Figure 48)

Les caractéristiques de ces deux herbiers sont résumées dans le tableau 7.

Tableau 7. Caractéristiques des trois herbiers de Ouled El Hillel (étape 1).

Caractéristiques/ Herbiers	Herbier #2	Herbier #3
Superficie occupée par l'herbier (ha)	0.3	1.5
Superficie occupée par la roche et matre autour de l'herbier (ha)	0.2	0.5
Profondeur de la Limite supérieure (m)	5.8	4.0
Type de la limite supérieure	Franche ?	Franche ?
Profondeur de la Limite inférieure (m)	8.7	7.2
Recouvrement (%)	85 %	90 %

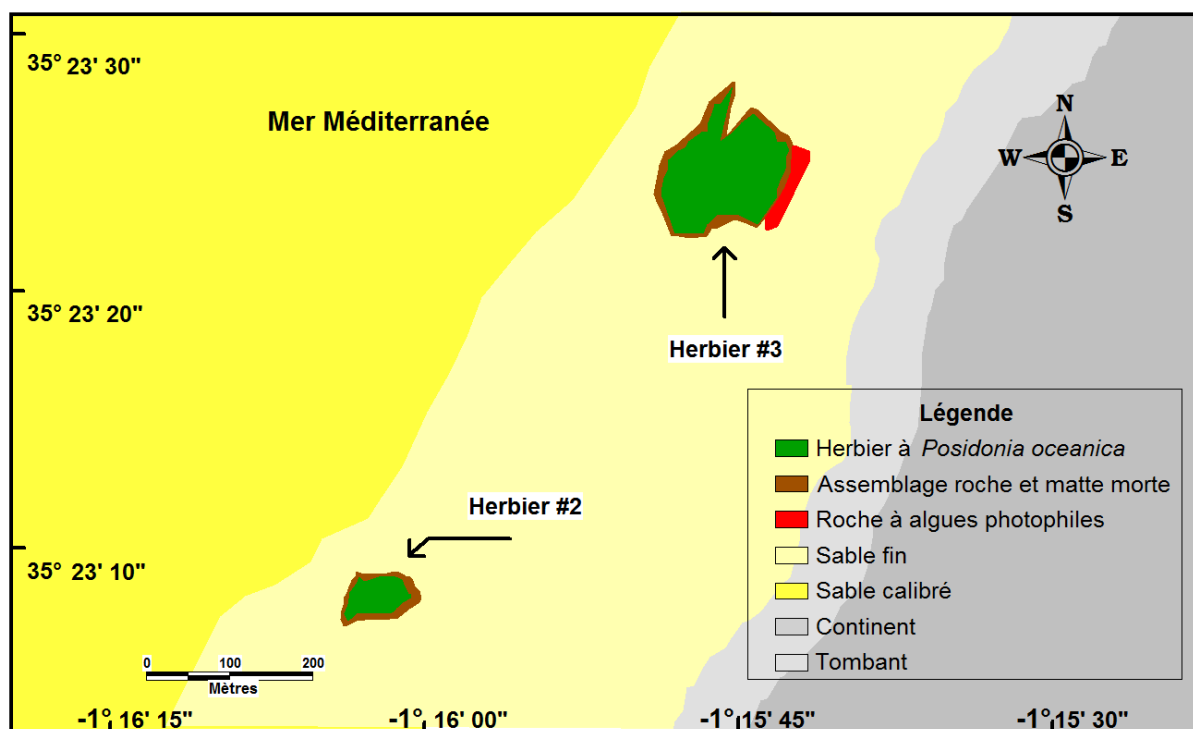


Figure 48. Herbiers #2 et 3 de Ouled El Hillel.

Les limites inférieures de ces deux herbiers présentent un fort ensablement, ce qui n'a pas permis de déterminer avec certitude le type de limite (Figures. 49 et 50), elles semblent toutefois être franches (herbiers sur substrats rocheux).



Figure 49. Limite inférieure dans l'herbier #2 (Ouled El Hillel).



Figure 50. Limite inférieure dans l'herbier #3 (Ouled El Hillel).

3.2.1.2. Description de l'habitat du haut-fond de Bounar

Ce haut-fond – mal positionné sur certaines cartes marines, et parfois inexistant sur d'autres – est situé à environ 1.35 km de la côte la plus proche sur un plateau de sable vaseux de 30 m de profondeur. Son sommet se trouve à une profondeur de 18.8 m, est positionné par $35^{\circ}.23' 44''N$ et $1^{\circ} 16' 25''W$. La superficie couverte prise à 25 m de profondeur est estimée à un hectare environ. Il est peuplé principalement de spongiaires, cœlentérés et d'algues sciaphiles (Figures 49 et 50).



Figure 51. Madréporaires sur le haut-fond de Bounar (Ouled El Hillel).



Figure 52. Algues sciaphiles sur le haut-fond de Bounar (Ouled El Hillel).

3.2.1.3. Habitats du linéaire côtier

Le cordon de faible largeur sur le linéaire côtier est peuplé par de nombreuses espèces d'algues photophiles et calcaires (Figure 53).



Figure 53. Exemples d'espèces d'algues rencontrées au niveau du linéaire côtier (Ouled El Hillel).

3.2.1.4. Synthèse cartographique des principaux habitats marins d'Ouled El Hillel (étape 1)

La cartographie des habitats marins, notamment les herbiers à *Posidonia oceanica*, établie à partir des enregistrements vidéo et photos effectués à proximité de la plage d'Ouled El Hillel, illustrée par les principaux faciès rencontrés (Figure 54& Annexe 2) (étape 1). Quant à ceux de l'étape 2, on les retrouve sur la figure 55 (étape 2).

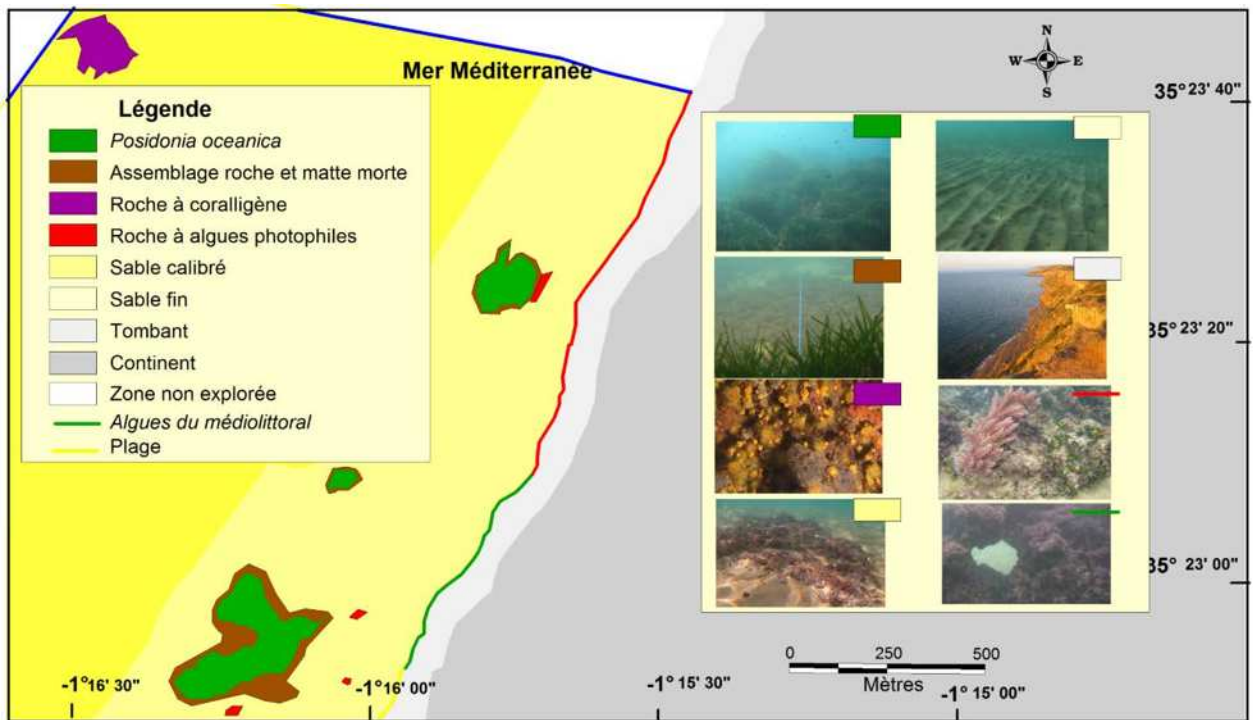


Figure 54. Principaux habitats marins à proximité de la plage de Ouled El Hillel (étape 1).

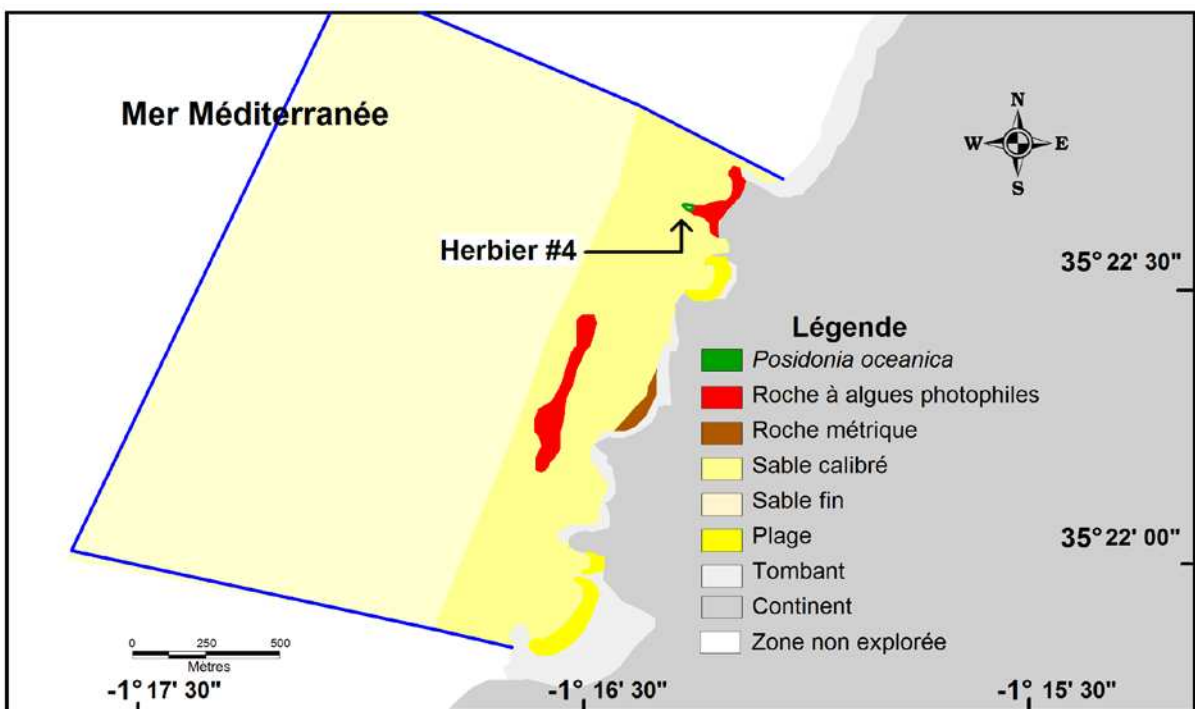


Figure 55. Principaux habitats marins du linéaire côtier de Ouled El Hillel (étape 2).

3.3. Le site des trois anses de Kouali

L'étude de ce site n'a pas pu être menée à son terme, en raison d'énormes difficultés rencontrées lors du travail en mer. En effet, l'étude initiale prévoyait la réalisation d'une carte des habitats marins de ce site et de positionner et de décrire les limites inférieures des herbiers à *Posidonia oceanica*. Par conséquent les résultats que nous présentons dans le cadre de ce travail sont partiels.

3.3.1. Description des principaux habitats marins

Les données recueillies sur le terrain ont permis d'établir une carte des principaux habitats marins trouvés, notamment les herbiers à *Posidonia oceanica* (Figure 56).

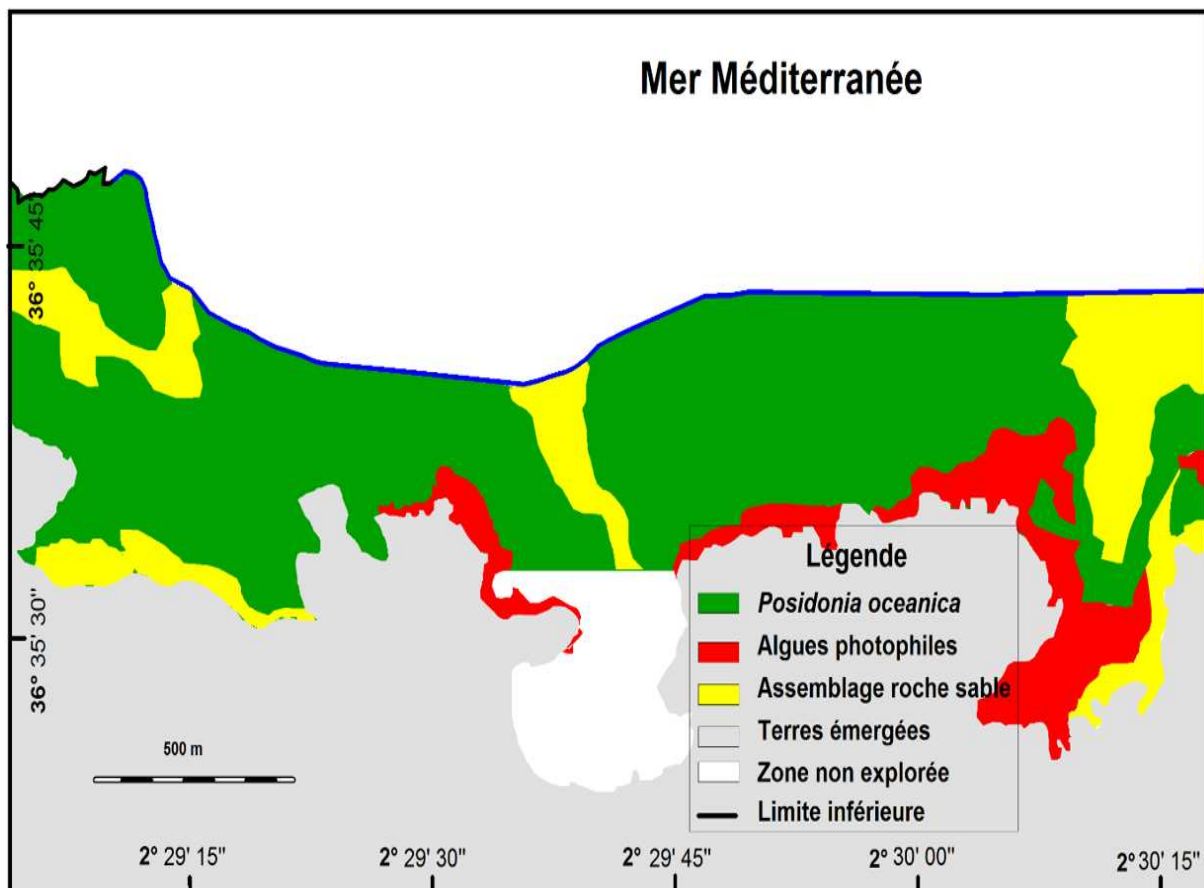


Figure 56. Principaux habitats marins aux trois anses de Kouali.

La cartographie réalisée indique que l'herbier à *Posidonia oceanica* occupe une surface importante au niveau de ce site. L'anse centrale n'est pas représentée du fait que les travaux de cartographie antérieurs effectués au niveau de cette zone n'ont pu être insérés dans notre carte, en raison de l'absence de données numériques du positionnement des habitats. Néanmoins, des cartes représentant les principales biocénoses rencontrées au niveau de cette anse sont disponibles et sont réalisées par Le Gall de (1969) (Figure 56), Boumaza (1995) (Figure 57), Naceur et Seguini (1996) (Figure 58) et Pergent *et al.* (2009) (Figure 59).

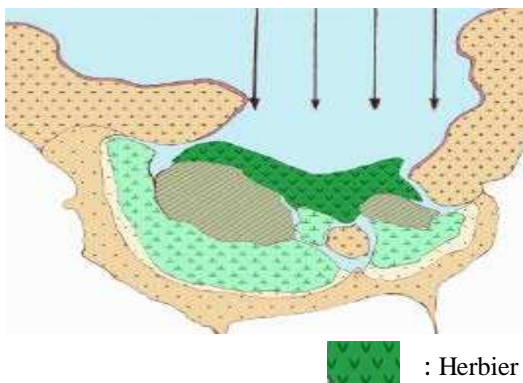


Figure 57. Carte modifiée des biocénoses marines de l'anse de Kouali de (Le Gall, 1969).

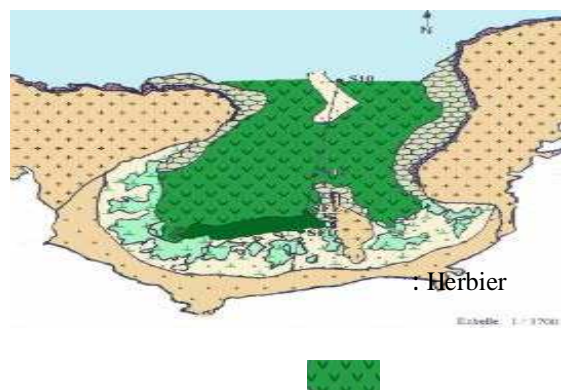


Figure 58. Carte modifiée des biocénoses marines de l'anse de Kouali (Boumaza, 1995).

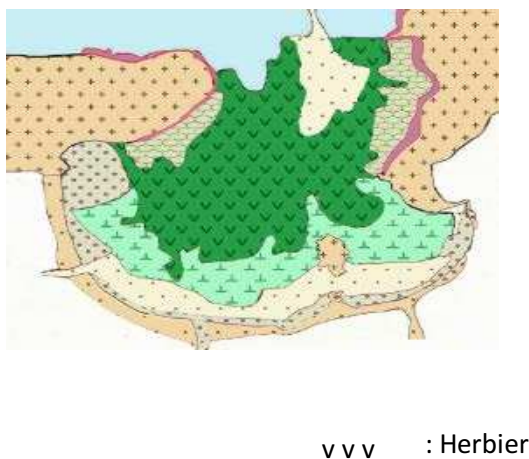


Figure 59. Carte biomorpho-sédimentologique de Kouali (Naceur et Séguini, 1996).



Figure 60. Cartographie des biocénoses marines de l'anse de Kouali de (Pergent *et al.*, 2009)

3.3.1.1. Description des habitats marins de l'anse située à l'Ouest (Figure 61)

Dans la partie sud de l'anse, le fond est en partie sableux avec de la roche recouverte d'algues photophiles (Figure 62). Au large, jusqu'à 10 m de profondeur, un assemblage de roches recouvertes partiellement de Posidonie et espacées de bandes de sable sont rencontrés.



Figure 61. Anse de Kouali située à l'Ouest.

Dans sa partie orientale, il y a présence de *Cymodoceanodosa* (Figure 63).



Figure 62. Fond sablo-rocheux avec algues photophiles



Figure 63. Assemblage de Cymodocées et de Posidonies.

3.3.1.2. Description des habitats marins dans l'anse située au centre (Figure 64)

L'anse située au centre est la plus remarquable des trois, elle est caractérisée par la présence d'un récif-barrière à *Posidonia oceanica* (Figure 65)



Figure 64. Anse de Kouali située au centre.

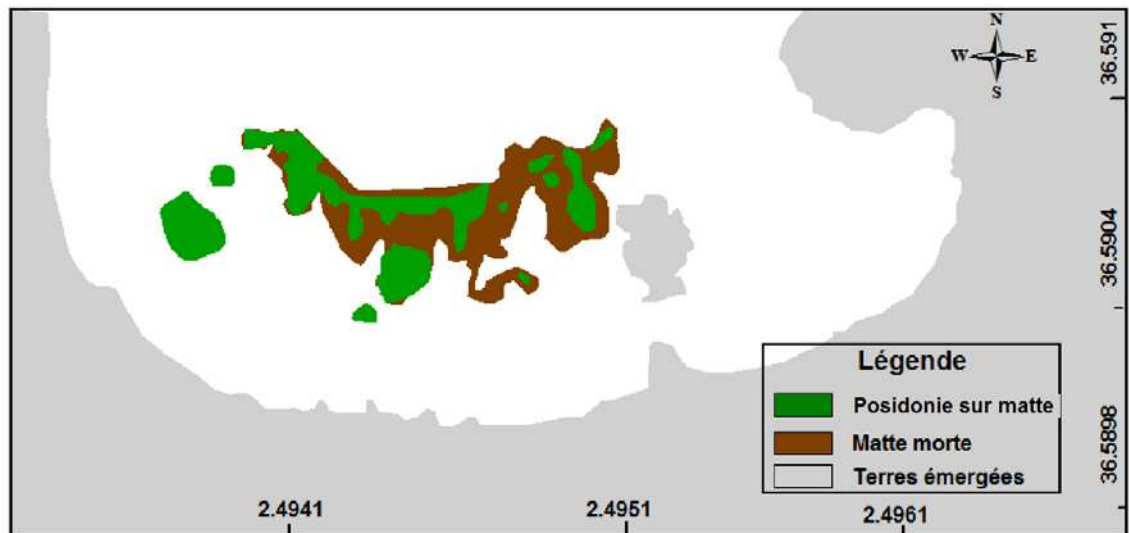


Figure 65. Cartographie du récif-barrière, anse de Kouali du centre.

3.3.1.3. Description des habitats marins de l'anse située à l'Est (Figure 66)

Le fond de l'anse située à l'Est est de même nature que celui de l'anse située à l'Ouest avec prédominance de sable et absence de Cymodocées. Le fond sableux atteint 12 m par endroits.



Figure 66. Anse de Kouali située à l'Est.

3.3.2. Paysages caractéristiques des trois anses de Kouali

3.3.2.1. Trottoirs à Vermets

Il est intéressant de noter la présence sur une grande partie de cette côte des trois anses, au niveau médiolittoral de trottoirs à Vermets (Figure 67). Ils font partie des paysages marins menacés par les diverses pollutions, le piétinement ... (PNUE/UICN/GIS Posidonie, 1990). Ce sont de véritables « monuments naturels » à protéger.



Figure 67. Trottoirs à Vermets (Trois anses de Kouali).

3.3.2.2. Herbiers à *Posidonia oceanica*

L'herbier de posidonie situé au large des trois anses est important en superficie (le tracé sur la carte n'est qu'à titre indicatif). L'herbier se développe sur substrat dur et est dans son ensemble très dense (Figure 68) avec parfois la présence en son sein de roches recouvertes d'algues (Figure 69) et de bandes de sable (Figure 70).



Figure 68. Herbier à *Posidonia oceanica* au large des trois anses de Kouali.



Figure 69. Herbier à *Posidonia oceanica* avec présence de zones dépourvues de Posidonies.



Figure 70. Herbier à *Posidonia oceanica* avec présence de sable.

3.3.2.2.1. Recouvrement de l'herbier à *Posidonia oceanica*

Le recouvrement estimé en visionnant les photos extraites des enregistrements vidéo GoPro réalisées lors des transects T1 T2 et T3, en scaphandre et scooter sous-marins, soit 71, 82 et 56 images, respectivement ont conduit aux résultats suivants (Tableau 8).

Tableau 8. Recouvrement de l'herbier estimé à partir de photos.

N°Transect	Recouvrement (%)
T1	91 %
T2	94 %
T3	60 %

Si l'on compare ces résultats avec le classement établi par Charbonnel *et al.* (2000) (Tableau 9), l'herbier au niveau des deux premiers transects est à Très fort recouvrement, tandis que pour le dernier (T3) est classé à Fort recouvrement.

Tableau 9. Classement des recouvrements (Charbonnel *et al.* 2000).

Recouvrement (%)	Interprétation
> 80 %	Très fort recouvrement
$60 \leq \text{valeur} \leq 80$	Fort recouvrement
$40 \leq \text{valeur} \leq 60$	Recouvrement moyen
$20 \leq \text{valeur} \leq 40$	Faible recouvrement
< 20%	Très faible recouvrement

3.3.2.2.2. Description de la limite inférieure

La limite inférieure a été observée au niveau de deux zones principales :

- (i) La limite de l'herbier située à l'ouest (où une quarantaine de photos géolocalisées sont prises), elle présente dans sa partie Nord, de la roche recouverte d'algues (Figure 70), c'est une limite de type « franche ». Le substrat vers une plus grande profondeur est rocheux puis sableux.
- (ii) La limite de l'herbier située à l'est, au nord du transect T3 est ensablée, difficilement discernable (Figure 71).



Figure 71. Limite supérieure (ouest des 3 anses).

Figure 72. Limite inférieure (est des 3 anses).

3.3.2.2.3. Positionnement de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* au large des trois anses de Kouali

Le but initial de cette étude consistait à positionner et à décrire l'ensemble de la limite inférieure de l'herbier sur un parcours zonal d'environ deux kilomètres en scaphandre, ce qui a pu être réalisé n'est que de 350 m (Figure 73). La profondeur de la limite inférieure, mesurée à l'aide du sondeur de la vedette, est comprise entre 18.5 m et 21.3 m. Les positions ainsi que les profondeurs sont indiquées en Annexe 3.

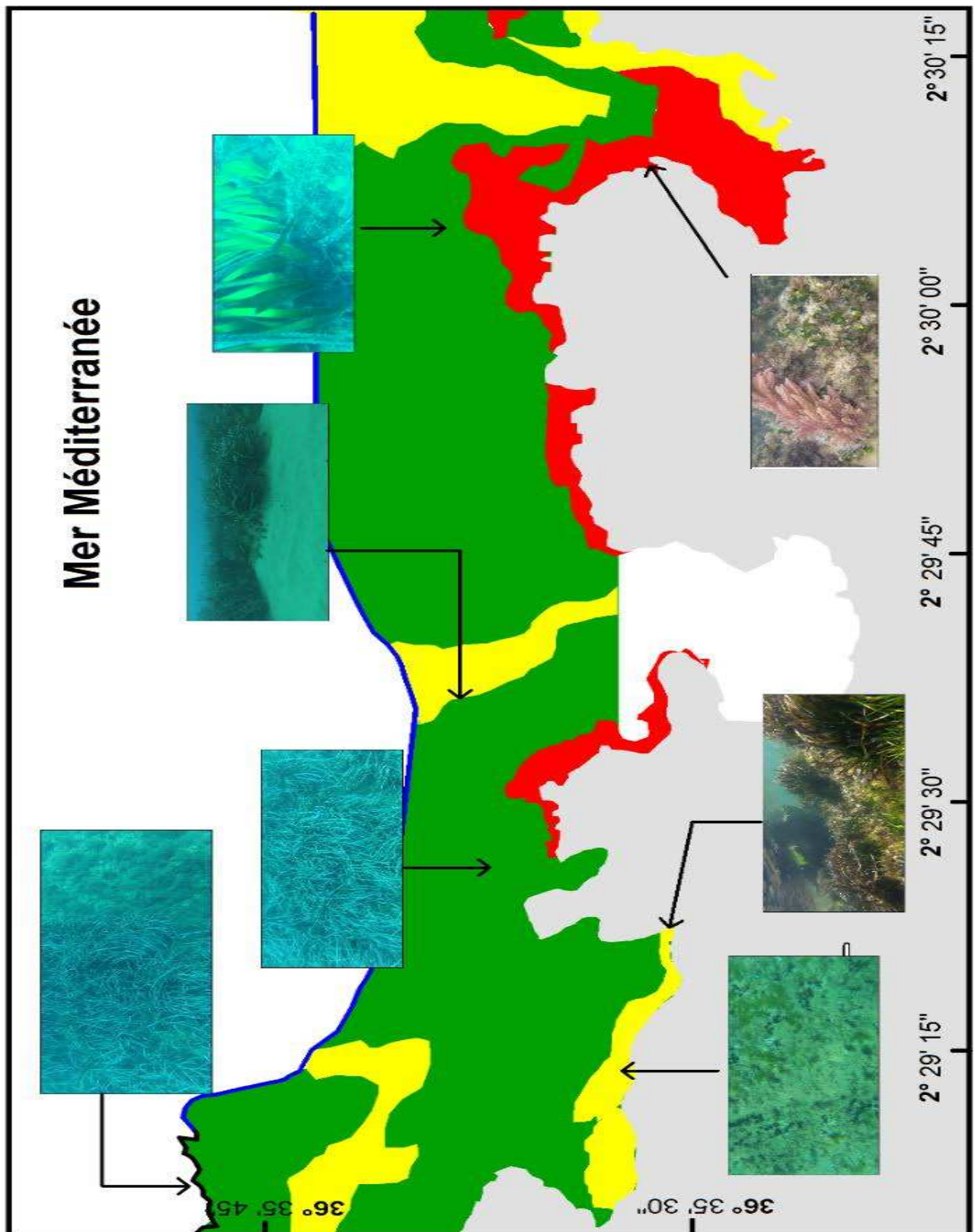


Figure 73. Illustration des principaux habitats marins aux trois anses de Kouali.

3.4. Discussion des résultats et évaluation de la qualité des cartes produites

3.4.1. Discussion des résultats des cartes produites

Ce travail a permis de décrire et d'établir des cartes régionales au 1 : 25 000^e des principaux habitats marins, en particulier celui des herbiers à *Posidonia oceanica* au niveau de trois sites du littoral algérien : Ouled El Hillel (Benisaf), Hadjret En Nouss (Tipasa) et des trois anses de Kouali (Tipasa).

La technique des transects utilisant la prise de vue vidéo et photo par un plongeur en scaphandre positionné en surface à l'aide de GPS standard (vérité-terrain), est une méthode répétable, d'un coût modéré et permet d'obtenir des résultats intéressants lorsque l'étendue de la zone observée n'est pas trop importante.

Pour réaliser ce travail, nous n'avons bénéficié d'aucune donnée exploitable (cartes digitalisées disponibles de ces zones...), ni de photos aériennes de meilleure résolution. De plus nous ne pouvions intégrer la bathymétrie dans nos cartes, les cartes disponibles sont à des échelles trop petites.

Quelle est la qualité des cartes produites ? Quelles informations intéressantes peut-on tirer de cette étude ?

3.4.2. Evaluation de la qualité des cartes produites

Pour les sites de Ouled El Hillel et de Hadjret En Nouss, l'information la plus intéressante à retenir, est d'avoir signalé probablement pour la première fois la présence de quatre herbiers dans le premier site et sept dans le second. Ensuite, ces sites sont positionnés, délimités et une estimation approximative de la surface du fond recouverte (recouvrement) a été faite. La qualité des cartes produites des habitats marins sont évaluées selon la méthode décrite par (Noël *et al.*(2012) et les résultats sont présentés dans le tableau 10.

Cette évaluation de la cartographie des trois anses de Kouali (Tableau 10) ne constitue qu'un résultat préliminaire, dans la mesure où les moyens matériels disponibles étaient insuffisants et mal adaptés pour la tâche que nous nous sommes fixée. Toutefois, un résultat

intéressant est à retenir, celui du positionnement d'une portion de la limite inférieure de l'herbier, (sur 350 m) (Tableau 11 & Annexe 3)

Tableau 10. Qualité des cartes produites sur les sites de Ouled El Hillel, Hadjret En Nouss et les trois anses de Kouali.

Site d'étude	Précision	Résolution
Ouled El Hillel	5-15 m(GPS)	0.5 m à 1 m (plongeur)
Hadjret En Nouss	0.5 m (Image GOOGLE EARTH)	0.5 m à 1 m (plongeur)
Trois anses de Kouali	0.5 m (Image GOOGLE EARTH)	0.5 m à 1 m (plongeur)

Tableau 11. Qualité de positionnement d'une partie de la limite inférieure des trois anses de Kouali.

Limite inférieure	Précision	Résolution
Trois anses de Kouali	5-15 m (GPS)	0.5 m à 1 m (plongeur)

Conclusion

La réalisation d'un projet proche du littoral nécessite avant tout la mise en œuvre d'une étude d'impact, et ce afin d'évaluer les nuisances potentielles pouvant impacter le milieu marin. Dans cette démarche il faut au préalable réaliser l'état « zéro » des habitats marins et identifier les espèces protégées et/ou menacées. La réalisation d'une cartographie de ces habitats constitue un outil nécessaire, et toutes les données acquises sur le terrain doivent être géoréférencées pour pouvoir être gérées, par la suite au sein d'un système d'information à référence spatiale ou SIG.

Parmi ces habitats marins, figurent les herbiers à *Posidonia oceanica* qui méritent de bénéficier de mesures de conservation. Par conséquent, pour mener à bien une politique de préservation et de conservation de ces herbiers, il est important d'établir des cartes de ces habitats à un instant donné « point zéro » et d'en réaliser d'autres au bout d'une période donnée afin d'en suivre l'évolution. Par conséquent, les objectifs de ce travail étaient (i) d'établir des cartes des habitats marins notamment des herbiers à *Posidonia oceanica* à une échelle régionale (au 1 : 25 000) dans trois zones du littoral algérien : Ouled El Hillel, Hadjret En Nouss et les trois anses de Kouali, d'une part et de positionner la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* au niveau des trois anses de Kouali.

La carte produite sur le premier site est d'une assez bonne résolution et de précision relativement moyenne. Par ailleurs, si l'on avait disposé des cartes aériennes de la région avec une meilleure résolution et un équipement de positionnement plus sophistiqué (DGPS – RTK), nous aurions pu obtenir des cartes avec une bonne résolution et une très bonne précision. La mise en œuvre de la technique des filins positionnés sur le fond, a été possible car les habitats que nous avons identifiés et positionnés occupent une superficie relativement modeste d'une part, et d'autre part, les habitats se trouvent à des profondeurs relativement faibles.

Concernant le site de Hadjret En Nouss, la méthode vidéo vérité-terrain dans la zone de la plage est parfaitement adaptée et a permis d'obtenir une carte de bonne qualité, mais l'effort est très élevé (beaucoup de plongées ont été nécessaires). La cartographie

de la zone située plus au large aurait pu être améliorée avec un positionnement plus précis.

Si la technique utilisée pour la cartographie des habitats d'Ouled El Hillel et Hadjret En Nouss, a permis d'obtenir des cartes de bonne qualité, elle s'est avérée non adaptée pour la cartographie des habitats situés à des profondeurs dépassant la dizaine de mètres de profondeur, comme c'est le cas au large des anses de Kouali. De plus, la surface à explorer étant trop importante, l'utilisation du sonar latéral avec le système DIVA SACLAF est tout à fait indiquée, mais le coût d'un tel équipement est élevé. En revanche, la technique avec le sonar n'est plus fonctionnelle à l'intérieur des trois anses, en raison des faibles profondeurs.

Par conséquent, dans le but de produire des cartes des habitats marins, le choix de la méthode doit tenir compte : (i) des moyens dont on dispose en mer, positionnement, photos aériennes, soniques..., (ii) de sa qualification en plongée (vérité-terrain, mesure, prise de vue sous-marine, et (iii) de la qualification du personnel quant à l'utilisation des équipements (caméras, AQUAMETRE, sonar, SACLAF...). En outre, les paramètres importants à intégrer sont la couverture de la zone à étudier, la profondeur (vérité terrain par plongeur, caméra tractée..., domaine d'utilisation des images satellitales...), la reproductibilité, le coût (matériel et humain) et ce pour produire les cartes d'habitats marins de bonne qualité, c'est-à-dire précises avec une bonne résolution.

Enfin ce travail a contribué de manière significative à notre capacité à mener des études de cartographie des habitats marins localisés à faible profondeur. Cependant, l'optimisation de ce type de travaux et plus particulièrement en profondeur, comme c'est le cas pour la cartographie de la limite inférieure des herbiers à *Posidonia oceanica*, est tributaire de l'acquisition d'équipements plus adaptés comme le DGPS-RTK, Sonar latéral,...

En outre, cette acquisition permettra à notre institution (ENSSMAL), avec le développement sans cesse croissant d'installations industrielles notamment de centrales électriques et de stations de dessalement sur le littoral algérien, d'être partie prenante dans les programmes des études d'impact auxquelles sont assujettis ces types d'installation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Astruch P., Boudouresque C. F., Bonhomme D., Goujard A., Antonioli P.A., Bonhomme P., Perez T., Ruitton S., de Saint-Martin T., Verlaque M., 2012. Mapping and state of conservation of benthic marine habitats and assemblages of Port-Cros national Park (Provence, France, northwestern Mediterranean Sea). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 26 : 45-90.
- Denis J., Hervé G., Deneux F., Sauzade D., Bonhomme P., Bernard G., Boudouresque C. F., Leriche A., Charbonnel E., Le Direac'h L., 2003. Cartographie des biocénoses marines Volet n°1 : l'herbier à *Posidonia oceanica*, Agence de l'eau RMC, Région PACA, DIREN PACA, GIS Psidonie, Ifremer, Centre d'océanologie de Marseille, Parc Marin de la Côte Bleue : 1-93.
- Descamp P., Ballesta L., Foulquié M., Bouillac G., 2003. Étude et balisage de l'herbier de Posidonie de Tancade (RNM CerbèreBanyuls) par télémétrie acoustique, L'Œil d'Andromède publ. : 1-34 + annexes.
- Descamp P., Holon F., Ballesta L., 2009. Microcartographie par télémétrie acoustique de 9 herbiers de posidonie pour le suivi de la qualité des masses d'eau côtières méditerranéennes françaises dans le cadre de la DCE. Contrat L'Œil Andromède/Agence de l'Eau, CRLR, CRPACA. Andromède publ., Montpellier : 1-59 + annexes.
- Ehrhold A., 2003. L'application des Systèmes Acoustiques de Classification Automatique des natures de Fonds pour la cartographie des habitats : SACLAF. *In* Cartographie des peuplements macrobenthiques par les méthodes acoustiques en domaine subtidale, Fiche outil 1 : l'application des SACLAF : 1-16.
- Gravez V., Gelina A., Charbonnel E., Francour P., Abellaro O., Remonnay L., 1995. Surveillance de l'herbier de Posidonie de la baie du Prado (Marseille) – Suivi 1995. GIS Posidonie publ., Marseille : 1-56.
- Grimes S., 2011. Profil de durabilité dans quelques destinations touristiques méditerranéennes: La destination touristique pilote en Algérie: la zone côtière de Tipasa. Plan Bleu, CAR/ PNUE/PAM, Sophia Antipolis: 1-78.
- Hénocque Y., 1997. Gestion intégrée des régions littorales. Vers des plans nationaux de gestion durable. *Cahier et Nature*, 125 : 17-23.
- Holon F., Descamp P., 2008. Etude et cartographie du milieu marin du site NATURA 2000 FR910 1413 «Posidonies de la côte Palavasienne », Andromède Environnement 2008. Rapport final. Contrat DIREN &Andromède Environnement. Andromèdepubl., France : 1-107+ Annexes.
- Projet POSIDONIA, 2007. Rapport final d'activité du groupe de travail « Cartographie ». Programme Interreg IIIB MEDOCC « Mise en cohérence, développement, harmonisation et validation de méthodes d'évaluation de la qualité du milieu littoral

- par le suivi de l'herbier de *Posidonia oceanica*. Ifremer, ARPAL, ENEA, GIS Posidonie, Osservatorio Liguria, BMC Studio et P. Clabaut Consultant édit., 1- 68 + Annexes.
- Mangos A., Claudot M.A., 2013. *Etude économique des effets des aires protégées marines et côtières en Méditerranée*. Les Cahiers du Plan Bleu, Valbonne, 13: 1-64.
- Le Gall J. Y. 1969. Etude de l'endofaune des pelouses de zostéracées superficielles de la baie de Castiglione. *Téthys* 1 (2) : 395-420.
- Pergent-Martini C., 2000. *Utilisation des herbiers de phanérogames marines dans la gestion du littoral méditerranéen*. Diplôme d'habilitation à diriger des recherches. Univ. Corse : 1-298.
- Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V. Ardizzone, G.D., Balestri, E., Bedini, R., Belluscio, A., Belsher, T., Borg, J., Boudouresque, C.F., Boumaza, S., Bouquegneau, J.M., Buia, M.C., Calvo, S., Cebrian, J., Charbonnel, E., Cinelli, F., Cossu, A., Di Maida, G., Dural, B., Francour, F., Gobert, S., Lepoint, G., Meinesz, A., Molenaar, H., Mansour, H.M., Panayotidis, P., Peirano, A., Pergent, G., Piazzzi, L., Pirrotta, M., Relini, G., Romero, J., Sanchez-Lizaso, J.L., Semroud, R., Shembri, P., Shili, A., Tomasello, A., Velimirov, B., 2005. Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecol. Indic.*, 5: 213-230.
- Pergent G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de Posidonies. Programme « Med Posidonie » / CAR/ASP - Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Mémoire d'Accord N°21/2007/RAC/SPA/ MedPosidonie Nautilus-Okianos: 1-21.
- Pergent G., Aktan Y., Belbacha S., Djellouli A., Dupuy de la Grandrive R., Elagil E.M., El Asmi S., Gucu A.C., Langar H., Laouar S., Pergent-Martini C., Rais C., Semroud C., Sherif M., 2009. Setting up the Med Posidonie Programme in the Mediterranean Sea. *INOC-IMST International Workshop ICZM-2009* : 144-152.
- PNUE-UICN-GIS Posidonie, 1990. Livre rouge « Gérard Vuignier » des végétaux, peuplements et paysages marins menacés de Méditerranée. *MAP Tech. Rep. Ser.*, 43, UNEP, Athene, 250 pp.
- PNUE, 1996. Environmental Impact assessment : issues, trends and practice. Scott WilsonResource Consultants & UNEP International Working group on EIA, *UNEP publ.* : 1-96.
- PNUE/PAM/CAR PAP, 2006. Programme d'Aménagement Côtier (PAC) de la « zone côtière algéroise » (PAC). Rapport final intégré. *MAP Tech. Rep. Ser.*, 64, UNEP, Athènes, 190 pp + Atlas cartographique.
- PNUE-PAM-CAR/ASP, 2007. Lignes directrices pour les études d'impacts sur les herbiers marins. C.Pergent-Martini, Le Ravallec C. édits, CAR/ASP publ., 45 pp + Annexes.

PNUE- PAM- CAR/ASP, 1999. Plan d'action pour la conservation de la végétation marine en mer Méditerranée. CAR/ASP publ., Tunis :1-47.

Segueni O., Nacer Y. K. 1997. *Cartographie biomorphosédimentologique de l'ansede Kouali (Tipaza)*. Mém. Ing., ISMAL, Algérie,

Liens Internet :

Aqua-mètre D100 PLS. Manuel d'utilisation [en ligne], <http://www.plsm-instrumentation.com> (consulté le 20 décembre 2014)

La méthode DIVA : un procédé innovant pour le levé biocénotique [en ligne], <http://www.semantic-ts.fr/fr/saclaf-diva/> (consulté le 15 novembre 2014)

Rizou L., Ghalem N., 2010. Procédure d'étude d'impact sur l'environnement en Algérie [en ligne], <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/eia/documents/Events/TunisApr10/> (consulté le 31 décembre 2014)

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure : 01 Plongeur tractant une bouée repérée en surface (Noel et <i>al.</i> 2012).....	04
Figure : 02 Équipement de positionnement acoustique de type AQUA-METRE D100, PLS (Descamp et al., 2003)	05
Figure : 03 Plongeur pointant la limite de l’herbier (positionnement) (Noel et al., 2012)....	05
Figure :04 Mesure de la hauteur du sédiment par rapport à la base (Descamp <i>et al.</i> , 2009.).....	05
Figure : 05 Principe de la méthode transect plongeur-audio (Descamp et al., 2010 in Noel, 2012).....	06
Figure : 06 Plongeur mesurant le recouvrement d’un herbier (Pergent, 2007).....	06
Figure : 07 Sonar latéral tracté (in Noel et al, 2012).....	07
Figure : 08 Exemple de sonogramme (in Noel et al, 2012)	07
Figure : 09 Sondeur monofaisceau du type SACLAF DIVA, Semantic TS, 2014)	08
Figure : 10 Exemple de sonogramme du type SACLAF DIVA, Semantic TS,2014)	08
Figure : 11 Sonogramme (SACLAF), (in Noel C. et al., 2012)	08
Figure : 12 Positionnement des trois sites d’étude (Source GOOGLE EARTH)	10
Figure : 13 Positionnement du site d’étude de Ouled el Hillel (Benisaf)	11
Figure : 14 Positionnement du site d’étude de la centrale électrique de Hadjret En Nouss ..	11
Figure : 15 Photo du site d’étude Hadjret en Nouss (Source : GOOGLE EARTH, photo d’archive réalisée en mai 2003)	12
Figure : 16 Figure 16. Photo du site d’étude des trois anses de Kouali(Source : GOOGLE EARTH, photo d’archive réalisée le 30 avril 2006)	12
Figure : 17 Positionnement des 11 transects (Site de Ouled el Hillel)	13
Figure : 18 Position des transects et des plongées ponctuelles (Hadjret en Nouss)	14
Figure : 19 Plaquette indiquant une distance parcourue de 25 m.....	14
Figure : 20 Profondimètre digital (indiquant 2.4 m)	15
Figure : 21 La position N° 22 correspondant à la longitude 444 680 E (Hadjret en Nouss)	15
Figure : 22 La flèche indique le point de départ du filin (Transect SN 3, Hadjret en Nouss)	15
Figure : 23 Sondeur sous-marin digital (Plassimo)	15
Figure : 24 Plongeur en scooter sous-marin	15
Figure : 25 Compas immergeable	16
Figure : 26 Ordinateur de plongée	16
Figure : 27 Transects effectués en plongée libre et en scaphandre dans les 3 anses de Kouali (Tipaza).....	16
Figure : 28 Archivage des données	17
Figure : 29 Synopsis de la production de cartes des habitats marins	18
Figure : 30 Photo prise à la limite inférieure de l’herbier de posidonie, avec la GoPro (Site des 3 anses).....	19
Figure : 31 Time-code de photo GoPro	19
Figure : 32 Feuille de données BaseCamp. Caractéristiques de wpt	19
Figure : 33 Segmentation des habitats potentiels	20

	Page
Figure : 34a	Légende & identification des habitats avec leur géolocalisation dans le site des trois anses de Kouali..... 20
Figure : 34b	Légende & identification des habitats avec leur géolocalisation dans le site des trois anses de Kouali..... 21
Figure : 34c	Légende & identification des habitats avec leur géolocalisation dans le site des trois anses de Kouali..... 21
Figure : 35	Cartographie des principaux habitats marins de Hadjret En Nouss..... 28
Figure : 36	Substrat à galets (Hadjret en Nouss)..... 28
Figure : 37	Assemblage de galets, roche métrique (Hadjret En Nouss)..... 28
Figure : 38	Assemblage de galets, roche métrique, sable grossier..... 28
Figure : 39	Sable grossier avec ripples marks (Hadjret en Nouss)..... 28
Figure : 40	Roches recouvertes d'algues photophiles et de Posidonie (Hadjret en Nouss).. 28
Figure : 41	Numérotation des herbiers à <i>Posidonia oceanica</i> (H1 à H6) de Hadjret En Nouss 30
Figure : 42	Carte illustrée des principaux habitats marins (Hadjret En Nouss) 32
Figure : 43	Le site de Hadjret en Nouss avant et après la construction de la centrale électrique..... 33
Figure : 44	Principaux habitats marins à proximité de la plage de Ouled le Hillel (Etape 1) 34
Figure : 45	Herbier #1 à proximité de la plage de Ouled El Hillel..... 35
Figure : 46	Limite supérieure de l'herbier #1 de Ouled El Hillel 35
Figure : 47	Limite inférieure de l'herbier #1 de Ouled El Hillel..... 35
Figure : 48	Herbiers #2 et 3 de Ouled El Hillel..... 36
Figure : 49	Limite inférieure dans l'herbier #2 (Ouled El Hillel). 37
Figure : 50	Limite inférieure dans l'herbier #3 (Ouled El Hillel)..... 37
Figure : 51	Madréporaires sur le haut-fond de Bounar (Ouled El Hillel) 37
Figure : 52	Algues sciaphiles sur le haut-fond de Bounar (Ouled El Hillel)..... 37
Figure : 53	Exemples d'espèces d'algues rencontrées au niveau du linéaire côtier (Ouled El Hillel)..... 38
Figure : 54	Principaux habitats marins à proximité de la plage d'Ouled El Hillel (étape 1) 39
Figure : 55	Principaux habitats marins du linéaire côtier d'Ouled El Hillel (étape 2)..... 39
Figure : 56	Principaux habitats marins aux trois anses de Kouali. 40
Figure : 57	Carte modifiée des biocénoses marines de l'anse de Kouali de (Le Gall, 1969) 41
Figure : 58	Carte modifiée des biocénoses marines de l'anse de Kouali (Boumaza, 1995). 41
Figure : 59	Carte biomorpho-sédimentologique de Kouali (Naceur et Séguini, 1996)..... 41
Figure : 60	Cartographie des biocénoses marines de l'anse de Kouali de (Pergent <i>et al.</i> , 2009)... 41
Figure : 61	Anse de Kouali située à l'Ouest 42
Figure : 62	Fond sablo-rocheux avec algues photophiles 42
Figure : 63	Assemblage de Cymodocées et de Posidonies..... 42
Figure : 64	Anse de Kouali située au centre..... 42
Figure : 65	Cartographie du récif-barrière, anse de Kouali du centre..... 43
Figure : 66	Anse de Kouali située à l'Est 43
Figure : 67	Trottoirs à Vermets (Trois anses de Kouali)..... 44
Figure : 68	Herbier à <i>Posidonia oceanica</i> au large des trois anses de Kouali..... 44
Figure : 69	Herbier à <i>Posidonia oceanica</i> avec présence de zones dépourvues de

Posidonies.....	44
-----------------	----

	Page
Figure : 70 Herbier à <i>Posidonia oceanica</i> avec présence de sable.....	44
Figure : 71 Limite supérieure (ouest des 3 anses).....	46
Figure : 72 Limite inférieure (est des 3 anses).....	46
Figure : 73 Illustration des principaux habitats marins aux trois anses de Kouali.....	48

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau : 01	Précision moyenne du positionnement (Noel et <i>al.</i> , 2012).....	04
Tableau : 02	Performances de quelques modèles de Sonars latéraux (Noel C. et <i>al.</i> , 2012) .	10
Tableau : 03	Code des couleurs de représentation des habitats marins, (ASTRUCH et <i>al.</i> , 2 012).....	27
Tableau : 04	Effort en plongée pour réaliser les vérités-terrain	27
Tableau : 05	Superficies occupées par herbiers (Hadjret en Nous)	25
Tableau : 06	Caractéristiques de l’herbier à <i>Posidonia oceanica</i> suivant les transects SN1, SN2 & SN3 (Hadjret En Nous).....	31
Tableau : 07	Caractéristiques des 3 herbiers (Ouled El Hillel) [Etape 1]	36
Tableau : 08	Recouvrement de l’herbier à partir de photos (3 anses de Kouali)	45
Tableau : 09	Classement des recouvrement (Charbonnel et <i>al.</i>).....	45
Tableau : 10	Qualité des cartes produites sur les site de Ouled el Hillel, Hadjret en Nous et les trois anses de Kouali.....	50
Tableau : 11	Qualité de positionnement d’une partie de la limite Inférieure des trois anses de Kouali	50

ANNEXE 1

Positions et profondeurs de la limitation de l'herbier à *Posidonia oceanica* #1
à proximité de la plage de Ouled el Hillel, superficie de 4.6 ha
(levés effectués en décembre 2007),
(les coordonnées sont en degrés décimaux dans le système géodésique WGS84)

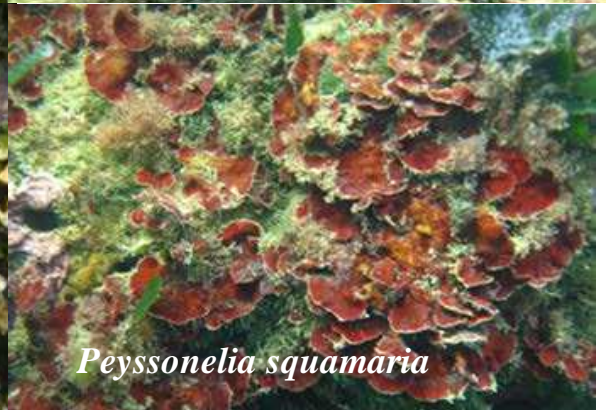
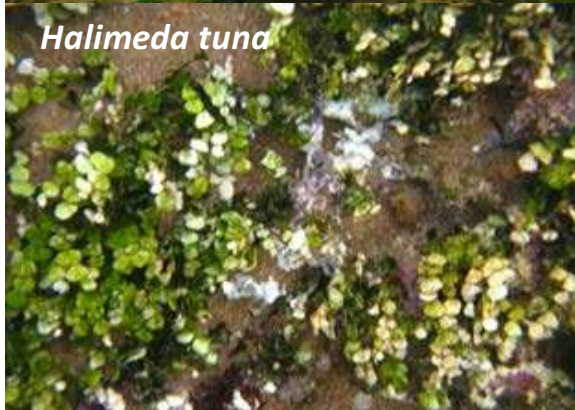
Herbier à *Posidonia oceanica* #1

Waypoint #	Position	Profondeur
062	N35.38242 W1.26778	5.5 m
063	N35.38233 W1.26797	5.6 m
064	N35.38228 W1.26817	6.2 m
065	N35.38236 W1.26836	6.5 m
066	N35.38239 W1.26853	6.3 m
067	N35.38242 W1.26869	7.2 m
068	N35.38233 W1.26886	7.6 m
069	N35.38233 W1.26906	8.2 m
070	N35.38247 W1.26919	8.8 m
071	N35.38261 W1.26931	8.8 m
072	N35.38278 W1.26947	9.6 m
073	N35.38294 W1.26953	9.9 m
074	N35.38311 W1.26956	9.4 m
075	N35.38328 W1.26967	10.7 m
076	N35.38328 W1.26975	9.3 m
077	N35.38336 W1.26989	11.9 m
078	N35.38342 W1.27003	12.5 m (prof. maximum)
079	N35.38331 W1.27019	11.0 m
080	N35.38322 W1.27028	11.3 m
081	N35.38286 W1.27050	10.7 m
082	N35.38275 W1.27069	11.3 m
083	N35.38258 W1.27086	12.0 m
084	N35.38244 W1.27086	11.6 m
085	N35.38231 W1.27075	11.0 m
086	N35.38231 W1.27053	10.0 m
087	N35.38225 W1.27022	10.0 m
088	N35.38217 W1.27006	9.3 m
089	N35.38206 W1.26983	9.2 m
090	N35.38197 W1.26967	8.8 m
091	N35.38181 W1.26975	8.5 m
092	N35.38175 W1.26989	8.6 m
093	N35.38167 W1.27011	9.1 m
094	N35.38164 W1.27031	8.9 m
095	N35.38150 W1.27050	9.6 m

096	N35.38153 W1.27075	8.1 m
097	N35.38156 W1.27100	8.8 m
098	N35.38147 W1.27117	8.9 m
099	N35.38142 W1.27139	10.4 m
100	N35.38133 W1.27147	11.2 m
101	N35.38117 W1.27144	8.5 m
102	N35.38117 W1.27167	8.4 m
103	N35.38089 W1.27208	11.5 m
104	N35.38069 W1.27194	9.4 m
105	N35.38061 W1.27181	9.5 m
106	N35.38050 W1.27167	9.2 m
107	N35.38047 W1.27156	9.7 m
108	N35.38050 W1.27144	8.9 m
109	N35.38053 W1.27131	8.6 m
110	N35.38050 W1.27114	8.7 m
111	N35.38056 W1.27083	8.4 m
112	N35.38064 W1.27069	7.8 m
113	N35.38075 W1.27050	7.4 m
114	N35.38078 W1.27036	7.8 m
115	N35.38086 W1.27017	7.1 m
116	N35.38092 W1.26989	7.4 m
117	N35.38097 W1.26983	6.6 m
118	N35.38106 W1.26953	5.5 m
119	N35.38106 W1.26936	4.7 m
120	N35.38106 W1.26917	5.4 m
121	N35.38114 W1.26900	5.5 m
122	N35.38122 W1.26892	4.8 m
123	N35.38139 W1.26875	4.1 m (profondeur minimum)
124	N35.38164 W1.26864	6.2 m
125	N35.38175 W1.26861	5.9m
126	N35.38186 W1.26850	6.4 m
127	N35.38192 W1.26831	4.6 m
128	N35.38203 W1.26817	5.1 m
129	N35.38219 W1.26803	4.8 m
130	N35.38228 W1.26792	4.6 m
131	N35.38244 W1.26783	5.4 m

Nota :Centre de l'herbier : est à la position : -1.268983°, 35.381945°

ANNEXE 2
Faune et flore associées au site de Ouled el Hillel







Laphogorgia ceratophila
(gorgone orange)



Myriapora truncata



Eunicella cavolinii
(gorgone jaune)



Eunicella cavolini



Ellisella paraplexanroides

ANNEXE 3

Positionnement et mesure de la profondeur d'une partie de la limite inférieure de l'herbier à *Posidonia oceanica* aux Trois anses de Kouali effectué le 30 mai 2014.

Les coordonnées géographiques sont en degrés décimaux dans le système géodésique WGS84

Les profondeurs ont été mesurées en surface à l'aide d'un échosondeur de marque Furino

Les positions ont été prises au gps de marque Garmin modèle etrex 10

Wpt	Longitude	Latitude	Profondeur (m)
9	2,4838	36,5964833	20,9
10	2,48395	36,5964167	19,3
11	2,484	36,5964667	19,5
12	2,48411667	36,5964833	19,7
13	2,48425	36,5964167	18,7
14	2,48433333	36,5964167	18,7
15	2,48441667	36,5965	19,8
16	2,48451667	36,5964333	18,5
17	2,48455	36,5964333	19
18	2,48453333	36,5963	17,2
19	2,48465	36,59635	19,4
20	2,48478333	36,5963833	17,9
21	2,48495	36,5963667	18,1
22	2,48505	36,5964333	19,7
23	2,48513333	36,5964333	19,5
24	2,48521667	36,5964667	21,3
25	2,4853	36,5965333	20,8
26	2,4854	36,5965	19,9
27	2,48548333	36,5964667	19,8
28	2,48563333	36,5965167	20,5
29	2,4857	36,59655	20,5
30	2,48575	36,5966167	20,7
31	2,48585	36,5966	20,9
32	2,48601667	36,5966667	21
33	2,4861	36,5965	19,5
34	2,48616667	36,5965333	20
35	2,48598333	36,5965	19

(La précision est de l'ordre de 5 – 15 m, GPS)

ANNEXE 4

Récapitulatif des efforts en plongée en scaphandre pour réaliser les observations le long des transects et des vérités terrain (ponctuelles)

1) Site Hadjret en Nouss (avril 2006 et avril 2007)

Nombre de transects : 26

Transects	Longueur (m)	Profondeur maximale (m)	Période de travail sur le terrain
SN1	500	18.5	Avril 2 006
SN2	550	20.0	Avril 2 006
SN3	525	18.7	Avril 2 006
sn 1 à 5	120	12.0	Avril 2 007
sn 6 à 12	160	7.5	Avril 2 006
we 1 à 6	250 à 420	6.9	Avril 2 006 et 2007
swne 1 à 5	110	6.8	Avril 2 007
Total :	≈ 5 500		

Nombre de plongées effectuées en scaphandre :

- Vingt six (26) le long des filins
- Dix (10), plongées ponctuelles (vérité terrain)

2) Site de Ouled el Hillel

Nombre de transects : 11

Transects	Longueur (m)	Profondeur maximale (m)	Période de travail sur le terrain
7	450	11.4	Décembre 2 007
4	400	12.2	Janvier 2 008
Total :	≈ 4 500		

Nombre de plongées effectuées en scaphandre : 15

- Onze (11) le long des filins
- Deux (02) sur le haut-fond de Bounar ,
- Deux (02) plongées ponctuelles (vérité terrain)

3) Site des anses de Kouali

Nombre de plongées effectuées en scaphandre: 04

- Deux (02) plongées en scaphandre avec scooter sous-marin (T1 & T2)
- Deux (02) plongées en scaphandre
- Dix-sept (17) plongées libres (en surface)

Transects	Longueur (m)	Profondeur maximale (m)	Période de travail sur le terrain
T1	710	23.1	05 août 2013
T2	265	22.1	05 août 2013
T3	190	16	30 mai 2 014
Limite inférieure	214	21.3	30 mai 2 014
Total :	≈ 1 400		