



Base de données cartographique des fonds marins côtiers de la Martinique

Biocénoses benthiques

Hélène LEGRAND
Mars 2009



Observatoire du Milieu Marin Martiniquais - OMMM
3, avenue Condorcet
97200 Fort de France
tel : 0596 71 96 42
ommm@wanadoo.fr



Base de données cartographique des fonds marins côtiers de la Martinique : Biocénoses benthiques

Rapport final

OMMM

Mars 2009

H. Legrand



Projet cofinancé par le FEDER



En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
OMMM, 2009. Base de données cartographique des fonds marins côtiers de la Martinique :
Biocénoses benthiques, Rapport technique. 76p

© OMMM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse de l'OMMM.

Coordination / gestion administrative : Jean-Philippe Maréchal, Bernard Renaudie	
Collecte des données : H. Legrand (OMMM), C. Pérès (OMMM), Y. Rousseau (OMMM), ENVISION Ltd.	Financements : MEEDDAT, SEOM, FEDER
Nombre de pages : 76 Date : Mars 2009	Auteurs : Hélène Legrand
Participation/Soutien au projet : Gilles Battedou, Stéphane Defos, Jean-Louis Vernier, Laurent Juhel, Alphonse Altius, Bruno Lecomte, Michel du Vauclin, Christian Basset, les pêcheurs de Trinité, Pierre Pancarte, Gaston Samathy, Eric Jean-Joseph.	
Titre : Base de données cartographique des fonds marins côtiers de la Martinique : Biocénoses benthiques	
Projet : La « Base de données cartographique des fonds marins côtiers de Martinique : biocénoses benthiques » est un outil cartographique maritime. Commandé par la DIREN, ce projet a été coordonné par l'Observatoire du Milieu Marin Martiniquais entre 2006 et 2008. Le rapport présente les données écologiques de la frange côtière de Martinique entre 0 et 50 mètres de profondeur sous la forme de 3 couches d'information : substrat, biocénoses benthiques, et état de santé des biocénoses. La base de données structurée sous SIG (ArcView 9.1) rassemble des données cartographiques (couches thématiques) et écologiques (informations géoréférencées : photos, vidéos, commentaires). Les cartes ont été produites à la résolution 1/25 000^e et couvrent 452 km² de fonds marins. Les nombreuses vérifications faites sur le terrain et les vidéos réalisées ont permis d'obtenir une image représentative de l'état des milieux marins à l'échelle de l'île. Le croisement de ces couches d'information permet d'identifier les zones marines sensibles de la Martinique.	
Mots clés : Récifs coralliens, herbiers, substrat, techniques acoustiques, photo-interprétation, relevés vidéo, cartographie sous-marine	Diffusion : ○ non limitée ○ limitée ○ confidentiel

Sommaire

1	Introduction	9
2	Objectifs du projet	10
3	Méthodologie	11
3.1	Définition des caractéristiques du SIG.....	11
3.2	Typologie des informations collectées	11
3.2.1	Substrat	11
3.2.2	Biocénoses	13
3.2.3	Etat de santé.....	15
4	Acquisition des données.....	17
4.1	Zone 0-7 m	17
4.1.1	Interprétation visuelle des orthophotos	17
4.1.2	Vérifications sur le terrain	18
4.2	Zone 7-50 m.....	19
4.2.1	Spécifications techniques	20
4.2.2	Stratégie d'échantillonnage.....	22
4.2.3	Méthodes d'analyse des données	24
5	Résultats et Analyses	28
5.1	Résultats des vérifications terrain	28
5.1.1	Zone 0-7m.....	28
5.1.2	Zone 7-50m.....	29
5.2	Cartographie des biocénoses et du substrat.....	32
5.2.1	Réalisation des cartes	32
5.2.2	Précision des données cartographiques.....	34
5.2.3	Substrats	35
5.2.4	Biocénoses benthiques.....	37
5.2.5	Etat de santé des biocénoses	44
5.3	Bathymétrie et sonar latéral.....	48
5.3.1	Cartes bathymétriques	48
5.3.2	Mosaïques du sonar latéral	48
6	Critiques et perspectives	51
7	Synthèse et Conclusion	52
8	Utilisation des données et objectif	53
9	Données supplémentaires et produits	53
10	Références	54
11	Annexes	56

1 Introduction

Les récifs coralliens, de part leur complexité et leur forte biodiversité, comptent parmi les écosystèmes les plus productifs et les plus riches au monde (Yonge, 1972 ; Dubinsky, 1990 ; Done *et al.*, 1996 ; Spalding *et al.*, 2001). De nombreuses activités économiques, culturelles et sociales en dépendent, pour près de 8 % de la population mondiale. L'écosystème récifal assure une économie de subsistance pour environ 100 millions de personnes, par le biais des pêcheries artisanales et le développement du tourisme tropical. Les récifs coralliens sont des écosystèmes fragiles et 70 % d'entre eux sont menacés par le développement des activités humaines (Bell, 1992 ; Hughes, 1994 ; Wilkinson, 1998 ; Gardner *et al.*, 2003).

Les enjeux socio-économiques et écologiques, et les conflits d'usages qu'ils génèrent, requièrent un besoin croissant de gestion, prenant en compte les milieux, leurs ressources et les activités humaines. La gestion durable de la zone côtière est devenue un élément prioritaire des objectifs de développement en Martinique, mais le manque de données fondamentales sur la frange littorale est problématique.

Les premières études sur les écosystèmes marins de la Martinique ont débuté à la fin des années 70 (Adey, 1977 ; Battistini, 1978 ; Chassaing *et al.*, 1978 ; Laborel, 1982 ; Laborel *et al.*, 1984 ; Bouchon et Laborel, 1986) et portaient essentiellement sur la géomorphologie et la biodiversité des formations coralliennes. En 1997, Chauvaud a réalisé une cartographie des biocénoses marines côtières de la moitié sud du littoral martiniquais par télédétection. En 2000, IFREMER a financé la production d'une carte des formations sédimentaires du plateau insulaire (Augris *et al.*, 2000). Le bureau d'étude Impact Mer a réalisé plusieurs cartographies des communautés benthiques du littoral de la Martinique (Impact Mer, 1998 ; 2001 ; 2005). En 2005, la caractérisation et la cartographie globale des communautés benthiques du littoral martiniquais étaient encore inconnue.

La dégradation des écosystèmes littoraux de Martinique a été constatée dès les premières études sur le milieu marin (Adey, 1977 ; Bouchon et Laborel, 1986 ; Smith *et al.*, 1996). Un programme de suivi de l'évolution de l'état de santé des communautés coralliennes a été initié en Martinique suite à la mise en place de l'IFRECOR (Initiative Française pour les Récifs Coralliens) en 1999 sur les crédits du Ministère de l'Ecologie. Quatre stations d'observation sous-marines ont été progressivement installées sur le littoral. La méthode de suivi a été élaborée sur la base des protocoles GCRMN (Hill & Wilkinson, 2004) et CARICOMP (CARICOMP, 2001), modifiés par Bouchon *et al.* (2003). Deux campagnes de suivis sont réalisées chaque année, prenant en compte les variations saisonnières des communautés récifales. La méthode utilisée permet d'évaluer de façon précise la dynamique temporelle des communautés (OMMM, 2006). Toutefois, ces 4 sites n'offrent qu'une vision restreinte et localisée des récifs. Aucune donnée relative à l'état de santé des biocénoses marines à l'échelle de la Martinique n'était disponible à ce jour.

L'acquisition d'informations écologiques (localisation, nature, état de santé des biocénoses marines benthiques) et leur synthèse sous une forme cartographique trouve toute sa justification dans ce contexte. L'élaboration d'une base de données sur les fonds

marins de la Martinique sous SIG est essentielle à la mise en œuvre d'une politique de gestion intégrée des zones côtières.

2 Objectifs du projet

En 2002, une réflexion est engagée par le comité local IFRECOR (Initiative Française pour les Récifs Coralliens), à l'initiative de la DIREN Martinique, pour créer une base de données cartographique maritime afin d'améliorer la connaissance du milieu marin côtier et développer des outils de gestion durable du littoral martiniquais.

Cette réflexion a permis d'établir la méthodologie générale adaptée à la réalisation de l'outil martiniquais. La typologie et la précision des informations à saisir ainsi que les moyens techniques à employer ont ainsi été définis. Ces éléments, déterminés en concertation avec le réseau IFRECOR, ont fait l'objet d'un cahier des charges techniques (OMMM / Projet de constitution d'une base de données cartographique sur le milieu marin côtier – Note technique 2002).

Initié et commandité par la DIREN Martinique qui en a précisé le cahier des charges, ce vaste projet a été confié à l'Observatoire du Milieu Marin Martiniquais en 2005, après avoir mis en place un plan de financement FEDER/FIDOM/MEEDDAT sur la base du cahier des charges techniques défini.

Ce programme fait l'objet d'une thèse de doctorat de l'EPHE dans le cadre d'une convention OMMM/EPHE. M^{elle} Hélène Legrand, doctorante, a été recrutée pour mettre en œuvre les phases techniques du projet.

La « Base de données cartographique des fonds marins côtiers de Martinique : biocénoses benthiques » est un outil cartographique maritime.

L'objectif initial était de combiner les données écologiques de la frange côtière de Martinique entre 0 et 30 mètres de profondeur sous la forme de 4 couches d'information afin de disposer d'un état « zéro » de la qualité des milieux coralliens et associés : géomorphologie, substrat, biocénoses benthiques, et état de santé des biocénoses.

Après la phase d'acquisition des données acoustiques, le cahier des charges a été légèrement modifié. La couche « géomorphologie », difficile à déterminer dans la zone peu profonde en raison de l'inaccessibilité du navire, a été abandonnée. Le croisement des trois couches identifiées au départ (substrat, biocénose et état de santé) pour caractériser des biocénoses d'« intérêt écologique » a été écarté, l'intérêt écologique résultant plus du croisement des couches « biocénoses », « état de santé » et « pressions anthropiques ». Ces décisions ont été prises en accord avec les services de la DIREN Martinique. En contrepartie, la profondeur initiale de 30 m a été réévaluée à 50 m.

3 Méthodologie

3.1 Définition des caractéristiques du SIG

La base de données cartographique des fonds marins côtiers a été créée avec le logiciel ArcView 9.1, sous le système de projection Fort Desaix – UTM Zone 20N.

L'échelle de définition de l'outil SIG est au 1/25 000^e. La taille minimale des objets pris en compte est de 25 m. L'architecture des tables attributaires des couches d'information a été établie en concertation avec le service SIG de la DIREN Martinique.

3.2 Typologie des informations collectées

3.2.1 Substrat

Les sept catégories de substrat définies dans le cahier des charges et utilisées dans la base de données cartographique sont présentées dans le Tableau 1 :

Tableau 1. Typologie et description des substrats cartographiés.

Code	Substrat	Description	Photo
1	Roche	Plateforme ou blocs de roche	 ©Cécile Pérès - OMMM
2	Corail	Substrat constitué de squelettes de colonies coralliennes (vivantes ou mortes)	 ©Cécile Pérès - OMMM

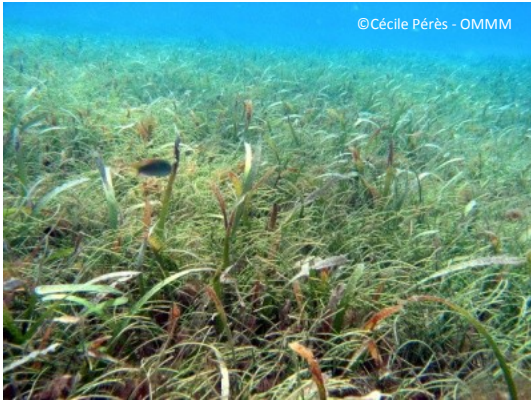
3	Sable	Substrat constitué de sable fin à grossier	 ©Envision Ltd. - OMMM
4	Détritique	Substrat de granulométrie variable constitué de débris de coraux, coquilles de mollusques, algues calcaires ou de galets	 ©Hélène Legrand - OMMM
5	Sablo-vaseux	Substrat constitué de sable très fin à argileux	 ©Envision Ltd. - OMMM
6	Vase	Substrat constitué de vases	 ©Envision Ltd. - OMMM

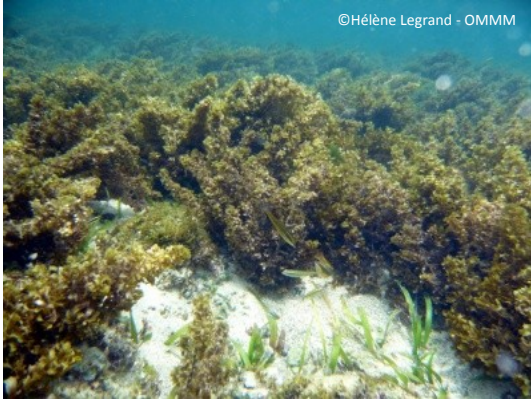
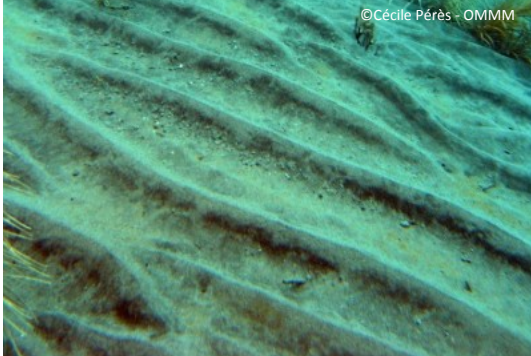
7	Sable et Roche/Corail	Substrat sableux avec alternance de blocs / avancées rocheuses ou de massifs coralliens	
---	------------------------------	---	--

3.2.2 Biocénoses

Les catégories de biocénoses définies par le cahier des charges ont été légèrement modifiées et adaptées en fonction des communautés identifiées lors des vérifications terrain. Six catégories ont été considérées (Tableau 2).

Tableau 2. Typologie et description des biocénoses marines benthiques cartographiées.

Code	Biocénoses	Description	Photo
1	Communauté corallienne	La couverture corallienne est dominante sur substrat dur corallien ou rocheux. Elle peut être constituée d'une association de coraux, éponges et gorgones	
2	Herbier de phanérogames marines	Association plus ou moins dense de phanérogames marines	

3	Communauté mixte	Peuplements de coraux, éponges, gorgones formant des massifs coralliens en association avec des herbiers de phanérogames marines ou des algues vertes calcaires	 ©Cécile Pérès - OMMM
4	Communauté algale	Association d'algues sur substrats variables	 ©Hélène Legrand - OMMM
5	Communauté de spongiaires et de gorgonaires	Association de gorgones et de spongiaires sur substrat dur ou meuble	 ©Cécile Pérès - OMMM
6	Communauté de fonds meubles nus	Association clairsemée d'algues, de phanérogames et d'échinodermes sur les dépressions de sables détritiques	 ©Cécile Pérès - OMMM

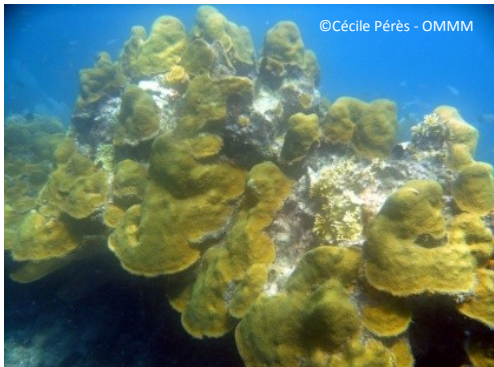
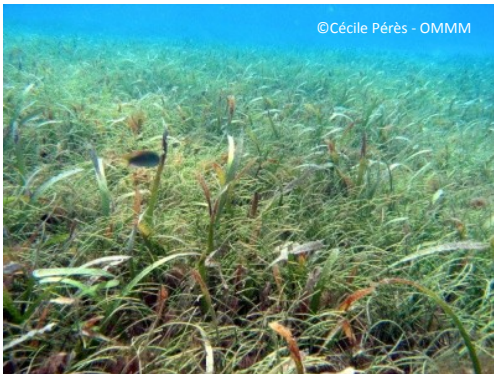
3.2.3 Etat de santé

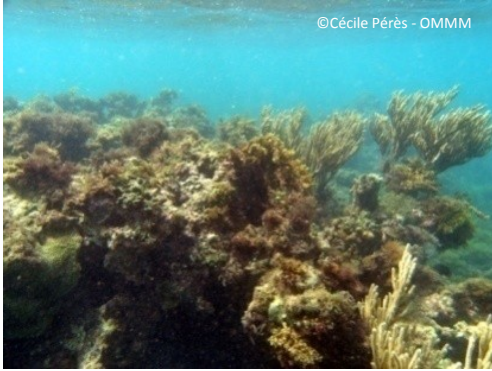
Les niveaux d'état de santé ont été déterminés *in situ* d'après l'échelle donnée par Bouchon *et al.* (2004). Cette échelle, basée sur plusieurs critères subjectifs, est une méthode d'évaluation visuelle rapide. Elle repose sur une échelle exclusivement qualitative (Tableau 3).

Les trois critères considérés pour déterminer les états de santé sont : le taux de nécroses coralliennes (ou l'appréciation de la densité des plants de phanérogames dans les herbiers), la présence de macroalgues et l'hypersédimentation des fonds. Quatre états sont différenciés pour chacune des deux communautés : très bon état, bon état, dégradé et très dégradé (Tableau 3).

La subjectivité de ce protocole peut être à l'origine d'une évaluation différente des états de santé entre plusieurs observateurs. Pour réduire ce biais au maximum, un seul observateur est intervenu dans la détermination des états de santé des biocénoses benthiques autour de la Martinique.

Tableau 3. Critères d'évaluation de l'état de santé des communautés coralliennes et des herbiers en milieu tropical récifal (d'après Bouchon *et al.*, 2004).

Etat de santé	Communautés coralliennes	Herbiers
1 = très bon état	Coraux non nécrosés avec gazon algal. Pas de macroalgues	Herbier à <i>Thalassia testudinum</i> strict
		
2 = bon état	Coraux présentant peu de nécroses, avec quelques macroalgues et/ou une légère hypersédimentation	Herbier mixte à <i>T. testudinum</i> et <i>S. filliforme</i> ou <i>S. filliforme</i> seul
		

	Coraux avec nécroses et un peuplement algal dominé par des macroalgues et / ou hypersédimentation forte  ©Cécile Pérès - OMMM	Herbier envahi par des macroalgues molles ou autre herbier  ©Cécile Pérès - OMMM
3 = dégradé	La majorité des coraux sont morts, les fonds sont envahis par les macroalgues ou entièrement recouverts de sédiments  ©Cécile Pérès - OMMM	Herbier très clairsemé quelque soit l'espèce ou envasé  ©Cécile Pérès - OMMM

4 Acquisition des données

L'acquisition des données fondamentales pour l'élaboration de la cartographie des biocénoses littorales au 1/25 000^e a nécessité l'emploi de plusieurs techniques adaptées aux profondeurs d'échantillonnage : « peu profonde » (0-7 m) et « profonde » (7-50 m).

4.1 Zone 0-7 m

La cartographie de la zone 0-7 m a été exclusivement réalisée par l'OMMM : de l'acquisition des données jusqu'à la production des cartes finales.

4.1.1 Interprétation visuelle des orthophotos

Les photographies aériennes permettent une identification visuelle directe des fonds marins à travers la couche d'eau, à des profondeurs de 0 à 12 mètres maximum selon les zones géographiques et la transparence de l'eau. La dernière campagne de photographies aériennes géoréférencées de l'IGN datant de 2004 a été utilisée pour cette étude (Figure 1).

Cinquante huit secteurs (cartes au 1/17 000^e) ont été délimités sur l'ensemble du littoral martiniquais (Annexe 1), permettant de travailler à une échelle adaptée à la précision souhaitée. Dans chaque secteur, des unités biocénotiques préliminaires ont été délimitées par identification visuelle (Figure 2).

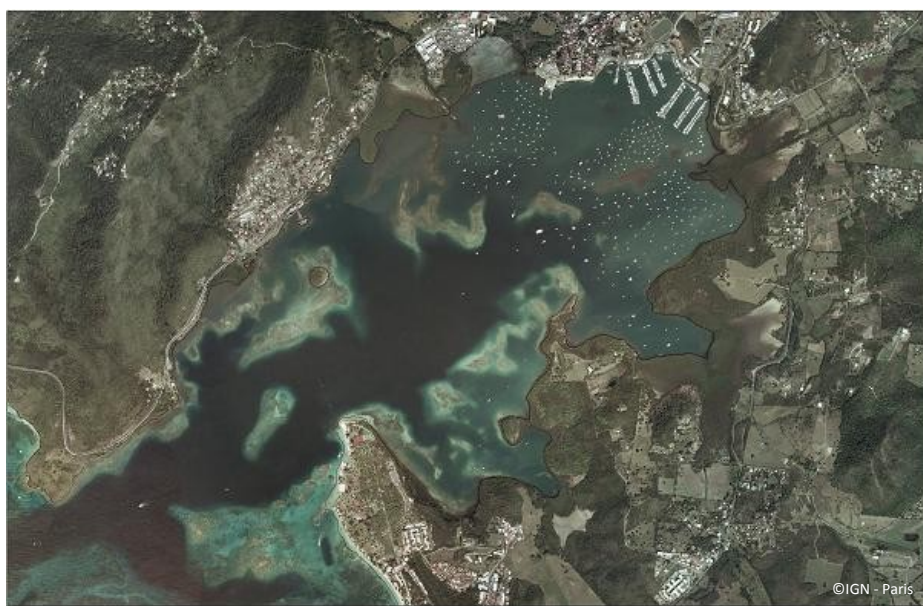


Figure 1. Photographie aérienne de la Baie du Marin en Martinique (IGN 2004).

Ensuite, des points GPS ont été positionnés sur chaque biocénose identifiée pour préparer la phase de vérification terrain (Figure 2). Ces points ont été espacés régulièrement (environ tous les 200 m) pour optimiser la couverture de la zone d'étude.

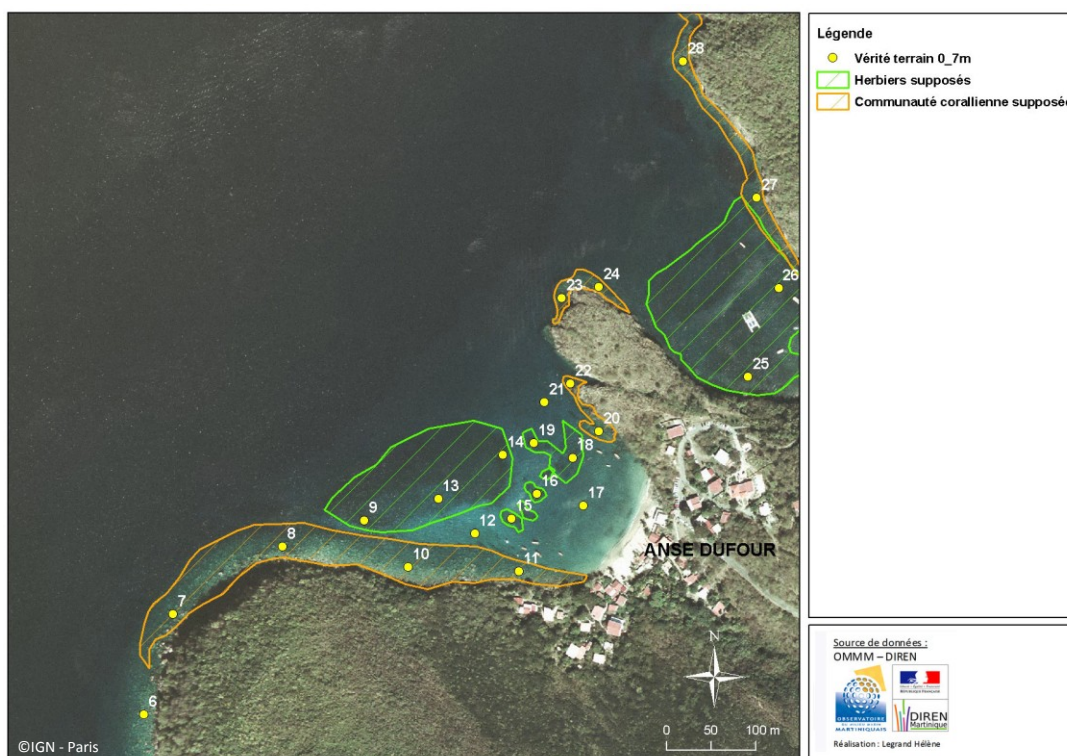


Figure 2. Exemple de délimitation des biocénoses par photo-interprétation et positionnement des points GPS pour la phase de vérification terrain du secteur de l'anse Dufour, Martinique.

4.1.2 Vérifications sur le terrain

La nature, la délimitation et l'état de santé des biocénoses, ainsi que le type de substrat, ont été vérifiés puis validés lors des sorties de terrain à l'aide des cartes préalablement préparées (Figure 2). Les vérifications ont été faites en apnée ou avec un seau de Calfat ou d'une caméra immergée depuis l'embarcation (Figure 3). Les états de santé des biocénoses ont été identifiés selon l'échelle du Tableau 3.



Figure 3. Vérifications terrain en apnée (a) et avec un seau de Calfat (b) à bord de l'Oxynoé (c). © Photos Cécile Pérès – OMMM.

La présence/absence d'espèces témoins a également été reportée (populations d'oursins, couverture en cyanophycées) lors de la saisie des données sur informatique.

Chaque biocénose a fait l'objet d'une analyse visuelle importante. L'ensemble des informations est reporté dans la base de données SIG.

4.2 Zone 7-50 m

L'identification visuelle directe en eau profonde est limitée par la transparence de l'eau. Les techniques optiques telles que les photographies aériennes, les images satellite ou encore l'imagerie hyperspectrale ne sont donc pas adaptées pour cartographier les habitats marins situés en profondeur.

D'autres méthodes plus appropriées sont utilisées, notamment les techniques acoustiques. De nombreux outils sont disponibles : les échosondeurs mono ou multifaisceaux, les sonars à balayage latéral, les sonars interférométriques, les systèmes acoustiques de classification automatique des fonds (RoxAnn, QTC-View)...

L'OMMM, ne disposant pas des connaissances et des moyens techniques pour l'utilisation de ces outils, a fait appel à un bureau d'étude pour l'acquisition des données et la réalisation de cartes des substrats et des biocénoses pour la zone 7-50 m.

Le bureau d'étude Envision Mapping Ltd., spécialisé dans la cartographie acoustique des habitats marins, a été choisi pour mettre en œuvre cette phase. Travaillant dans le monde entier, ces spécialistes possèdent une solide expérience dans le domaine tropical avec de nombreuses cartographies des habitats marins produites dans la Caraïbe (Nicaragua, Belize, Nevis/St Kitts, Saba, Curaçao).

Le choix des techniques acoustiques employées dans cette étude a été réalisé par Envision, en fonction du budget, de la précision demandée et de la taille de la zone à cartographier. En effet, chaque méthode acoustique est caractérisée par son champ d'action (quelques centaines de m² jusqu'à plusieurs milliers de m²), sa résolution mais également son coût d'utilisation.

Dans ce projet, deux méthodes acoustiques ont été combinées : un sonar interférométrique Geoswath (Figure 4a) et un système RoxAnn AGDS (Acoustic Ground Discrimination System) (Figure 4b). Le sonar interférométrique, grâce à la production d'une bathymétrie à haute résolution et de sonogrammes, permet d'identifier les caractéristiques topographiques et les principaux types de sédiment. Le système RoxAnn permet d'obtenir des informations plus détaillées sur le type de substrat à partir des paramètres "rugosité" et "dureté" obtenus par l'analyse des échos. Les données utilisées en conjonction avec les données sonar interférométriques permettent d'interpréter les fonds marins et de produire des cartes de distribution des habitats.

La mission s'est déroulée sous la forme d'une campagne d'acquisition de données acoustiques par des équipements techniques spécialisés et des vérifications terrain pour les zones subtidales entre 7 et 50 m. Deux cartes de la répartition des substrats et des biocénoses du secteur échantillonné ont été produites.

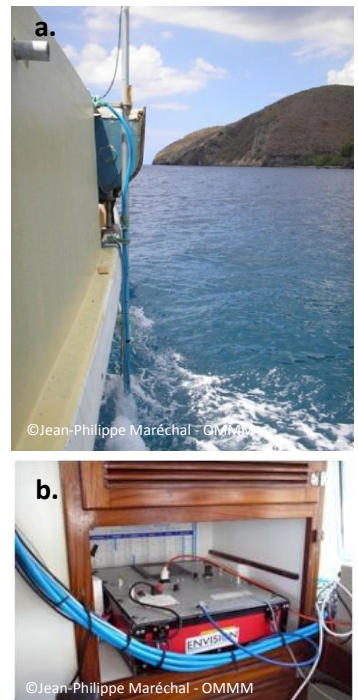


Figure 4. Dispositif du sonar Interférométrique (a) et du système RoxAnn (b).

4.2.1 Spécifications techniques

4.2.1.1 Sonar interférométrique

Le sonar interférométrique utilisé est un *GeoAcoustics GeoSwath Plus*, fonctionnant à 250 kHz. De la même manière qu'un sonar latéral, un sonar interférométrique émet une onde acoustique à incidence oblique dont le retour est enregistré en fonction du temps. La phase de l'onde est utilisée pour mesurer l'angle de retour de l'onde acoustique. La profondeur de la surface réfléchissante du fond est calculée à partir de cet angle et du temps de parcours.

Le système mesure également l'amplitude du signal sur une bande de 200 m de large et des images acoustiques (sonogramme) en teinte de gris sont obtenues à partir de cette information (Figure 5). Selon l'intensité de rétro-diffusion des ondes, les nuances de gris varient en fonction des différents types de fond. Deux facteurs interviennent sur la variation d'intensité de gris : les propriétés du sédiment qui déterminent la réflectivité et l'indice de rétro-diffusion du fond (les fonds durs ont un pouvoir de réflexion plus important que les fonds meubles) et la topographie du fond (les pentes orientées vers le capteur sont de meilleurs réflecteurs que les pentes opposées qui créent une zone d'ombre). Ce "négatif" restitue donc rigoureusement la nature et la topographie du fond. Le système offre une résolution permettant la production de modèles bathymétriques précis et détaillés.

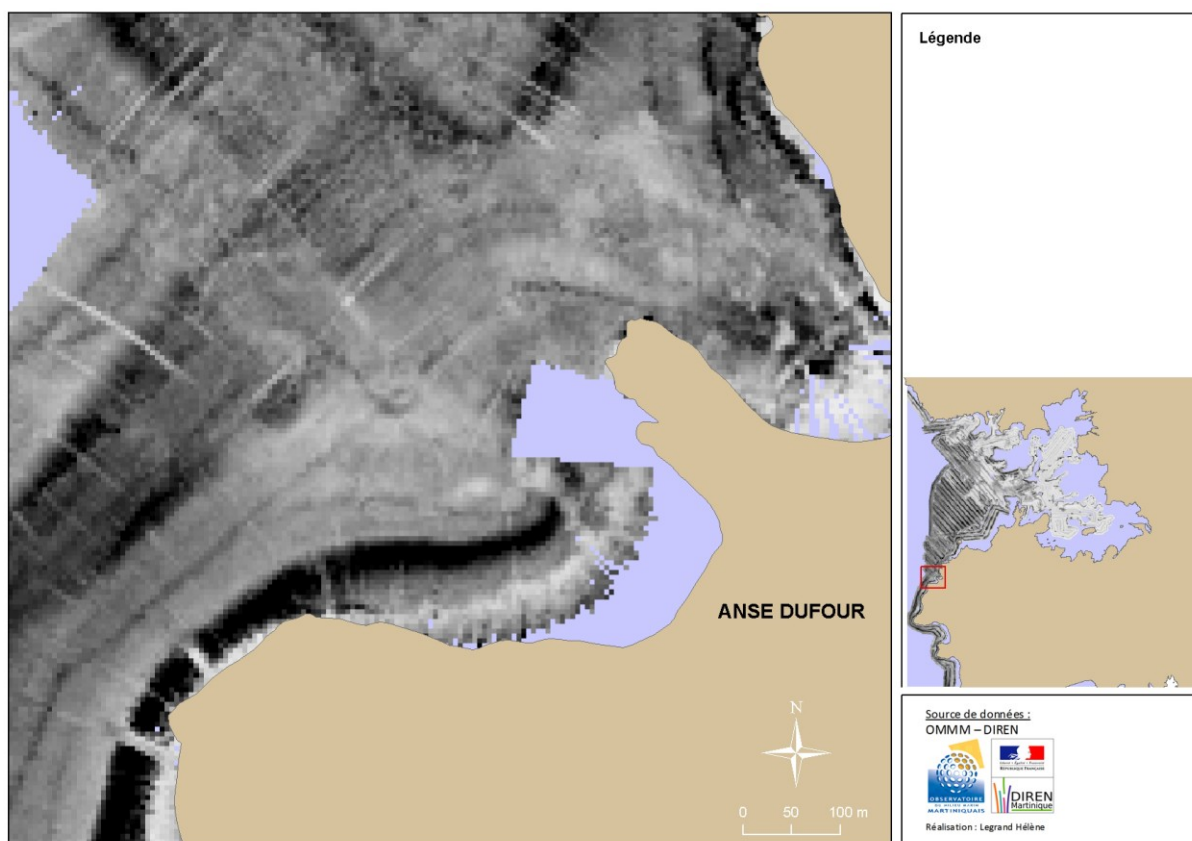


Figure 5. Exemple de sonogramme obtenu sur le secteur de l'Anse Dufour, en Martinique, à partir des données sonar latéral acquises par Envision (année 2006).

4.2.1.2 Système RoxAnn AGDS (Acoustic Ground Discrimination System)

Envision a utilisé un système *RoxAnn™ GroundMaster AGDS* fonctionnant à 50 kHz. Le système AGDS est constitué d'un échosondeur mono-faisceau capable de détecter, en dehors de la profondeur, deux informations acoustiques : rugosité (E1) et dureté (E2).

Les indices E1 et E2 correspondent respectivement au premier et au second retour de l'écho du signal émis par l'échosondeur (Figure 6). E1 correspond à la terminaison du premier écho dont le pic permet de calculer la profondeur. Le second écho (E2) résulte de la réflexion double des ondes, sur le fond et sur la surface avant de revenir au transducteur.

L'intensité des indices varie selon le type de fond, permettant d'identifier des signatures spécifiques des biocénoses. Les surfaces rugueuses produisent un écho qui s'affaiblit lentement (propriété appelée « backscatter ») alors que les surfaces lisses sont caractérisées par un déclin rapide du signal. Les surfaces dures produisent des échos forts alors que les surfaces meubles renvoient un signal faible.

Ces propriétés sont utilisées pour distinguer des catégories générales d'habitats benthiques (Foster-Smith *et al.* 2000, Foster-Smith *et al.* 2001, Foster-Smith & Sotheran, 2003).

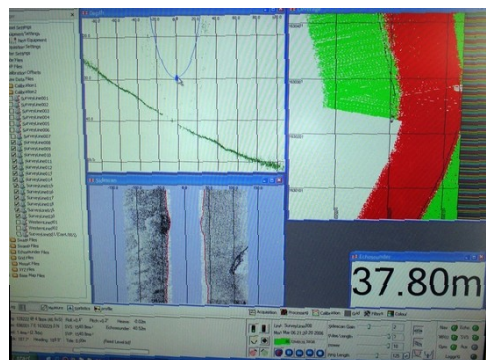


Figure 7. Capture d'écran de l'affichage en direct des profils sonar interférométrique. Campagne d'acquisition des données acoustiques Martinique, année 2006.

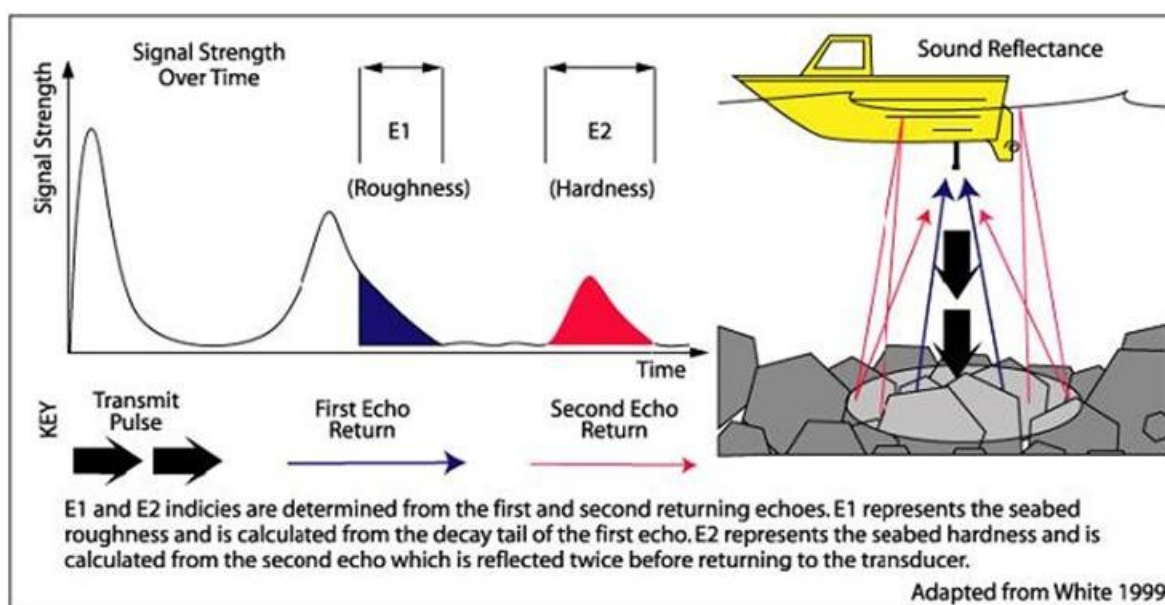


Figure 6. Schéma des échos renvoyés par le fond et analysés par le système RoxAnn pour définir les indices E1 et E2 de rugosité et dureté.

Les données acoustiques, couplées aux données GPS, sont enregistrées par un ordinateur portable, assurant autonomie et mobilité du système. Bien que les données puissent être affichées en temps réel (Figure 7), les analyses de données *a posteriori* ont été

faites par traitement d'image et SIG (Sotheran *et al.*, 1997) après avoir achevé les procédures de vérification détaillée de la qualité des données et de la précision des informations.

4.2.1.3 Système vidéo

Le calibrage des signaux acoustiques et la validation de la nature des fonds nécessitent l'acquisition de données directes telles que des prélèvements d'échantillons, carottages, vidéo sous-marines ou photographies.

Dans cette étude, un système de relevés vidéo haute qualité ponctuels a été utilisé par Envision. Le système est constitué d'une caméra étanche – 550 lignes CCTV – équipée de 6 diodes LED fournissant l'éclairage nécessaire en zone profonde. La caméra est fixée sur une plateforme stable en aluminium assurant le maintien de l'orientation de la caméra dans la colonne d'eau.

Le dispositif vidéo est relié en surface à un système d'enregistrement numérique (DVD) permettant à l'opérateur une visualisation en temps réel des séquences vidéo (Figure 8a). L'heure et la position sont relevées par un GPS connecté à un ordinateur.

La caméra est immergée (Figure 8b) et descendue au fond. Une séquence vidéo de 2 à 4 min est enregistrée.

Les informations biologiques et écologiques ont été obtenues après analyse des vidéos, et ont permis le calibrage des données acoustiques. L'échelle de classification des états de santé est la même que celle utilisée en zone peu profonde.



Figure 8. Dispositif d'enregistrement et de visualisation des relevés vidéo (a) et immersion de la caméra (b) utilisé lors des campagnes d'acquisition de données du projet de cartographie des biocénoses marines de la Martinique, années 2006-2008.

4.2.2 Stratégie d'échantillonnage

Des profils d'échantillonnage ont été planifiés avant chaque sortie en mer. La position du bateau par rapport au tracé prévu s'affiche à l'écran par le biais d'un GPS relié au système. Le capitaine du navire peut alors observer le déplacement en temps réel et suivre les profils d'échantillonnage très précisément. La Figure 9 montre la zone d'échantillonnage découpée en 8 secteurs, nommés A à H.

4.2.2.1 Campagne d'acquisition des données acoustiques

La campagne de terrain réalisée par Envision s'est déroulée du 2 au 23 mars 2006, puis a été interrompue en raison de dommages occasionnés sur le matériel suite à une collision avec des lignes de casiers de pêche. Une deuxième campagne a été nécessaire pour compléter le travail après réparation du système GeoSwath (8 au 21 juin 2006).

Les fenêtres météo et les conditions locales ont été soigneusement choisies afin d'optimiser le temps passé sur le terrain. Les opérations d'échantillonnage ont été planifiées sur une base journalière. Les périodes de temps calme ont été privilégiées pour couvrir les zones atlantiques exposées, la façade Caraïbe, plus abritée, pouvant être étudiée plus facilement.

Les données bathymétriques, sonar et AGDS ont été collectées simultanément. Un journal répertoriant les profils d'échantillonnage parcourus et les fichiers comprenant les temps et les dates a été conservé.

Les données ont été collectées avec un objectif de cartographie des biocénoses marines ; la qualité et la précision des informations ne permettent pas l'utilisation des données à des fins hydrographiques ou de navigation. L'utilisation de ces données à d'autres fins est aux risques de l'utilisateur. Envision et l'OMMM n'assurent aucune garantie quant à la précision et n'acceptent aucune responsabilité quant à l'apparition d'erreurs, d'omissions ou de conséquences venant de ces types d'utilisations.

4.2.2.2 Campagnes de vérification terrain

Les sites de vérification terrain ont été sélectionnés par Envision pour chaque zone au fur et à mesure de la progression de la campagne acoustique et de l'identification de secteurs présentant un signal acoustique différent ou intéressant. De nombreux types de fonds ont été échantillonnés et les anomalies vérifiées et corrigées.

4.2.2.3 Complément de vérification terrain

Une campagne supplémentaire d'échantillonnage par vidéos sous-marines a été mise œuvre par l'OMMM en juin 2008, en complément des relevés vidéo effectués par Envision lors de la campagne acoustique, avec le même protocole et un matériel similaire. Les points d'échantillonnage ont été positionnés dans les zones non prospectées par Envision ou sur des sites d'intérêt particulier. Ces relevés supplémentaires ont permis d'accroître la quantité de données directes et d'enrichir la base vidéo. Ils ont également permis de vérifier la pertinence du travail de cartographie du bureau d'étude et de mettre à jour et rectifier certaines erreurs de traitement des données acoustiques.

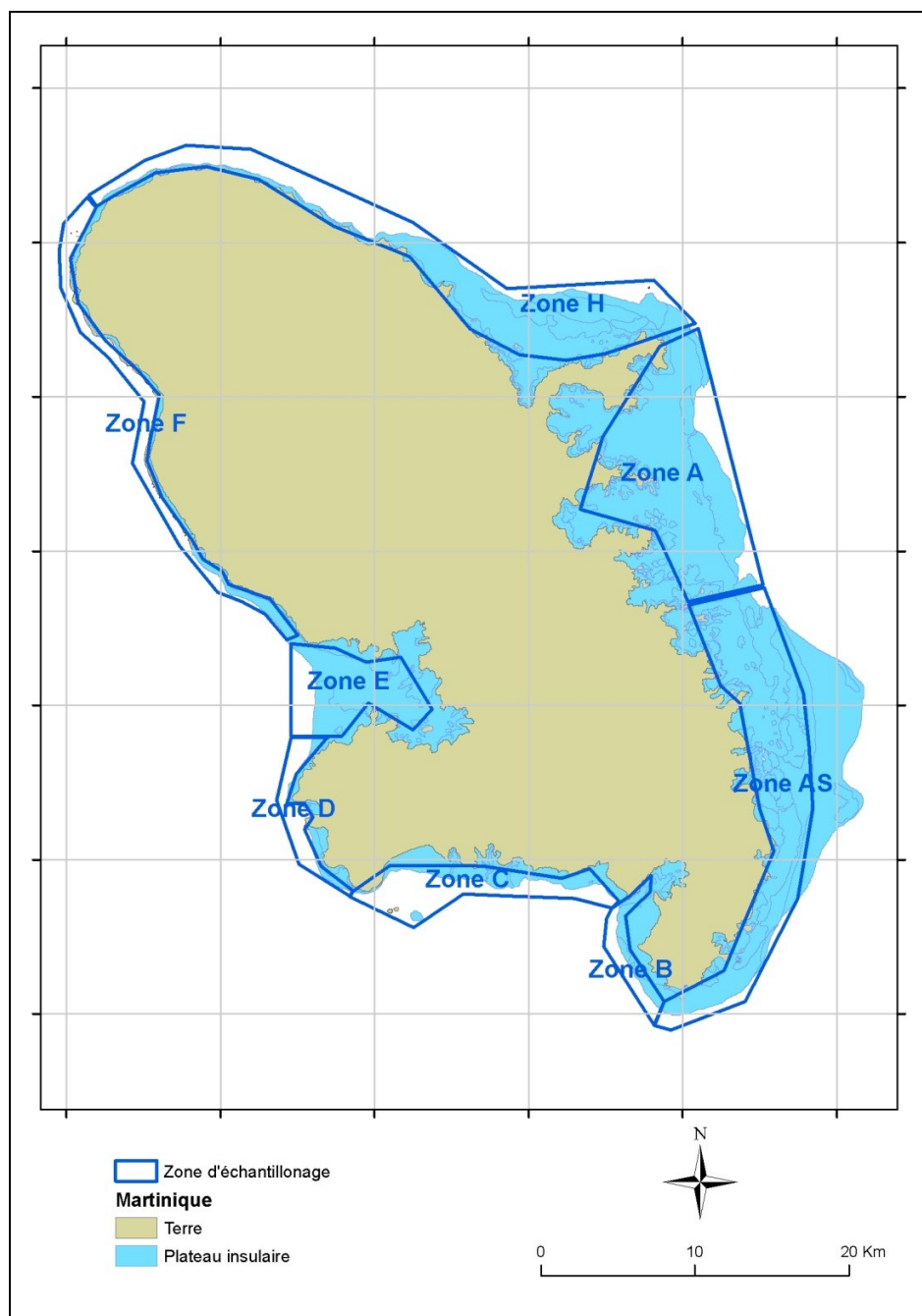


Figure 9. Découpage de la zone d'échantillonnage de la campagne acoustique menée par Envision en Martinique en 2006.

4.2.3 Méthodes d'analyse des données

4.2.3.1 Traitement des données RoxAnn AGDS

Les données RoxAnn ont été acquises sur une base journalière, puis vérifiées pour supprimer les valeurs aberrantes et égales à 0 pour la profondeur ainsi que les enregistrements effectués lors des phases stationnaires du navire. Des corrections d'ajustement ont été appliquées aux valeurs de profondeur compte tenu de la position du transducteur situé sous la surface (-1 m). Les données importées et affichées sous ArcView

montrent les valeurs progressives E1 (rugosité) et E2 (dureté) (Figures 10 et 11). Toute valeur considérée comme aberrante ou suspecte par rapport aux valeurs environnantes a été supprimée.

Les données, acquises dans le géoréférentiel WGS84 ont été converties dans le référentiel Fort Desaix – UTM Zone 20N.

Les jeux de données journalières ont été comparés entre eux. Aucun changement significatif dans les données entre les jours n'a été mis en évidence. L'ensemble des valeurs E1 et E2 enregistrées sont représentées dans les annexes 2 et 3.

L'utilisation des données acquises par le système RoxAnn pour la production de cartes nécessite au préalable l'application de traitements spécifiques à l'aide de logiciels spécialisés dans le traitement des données acoustiques (GS+).

4.2.3.1.1 Interpolation

La première étape dans le traitement des données brutes acoustiques est l'interpolation. L'interpolation transforme des données ponctuelles (E1 et E2) en une surface continue grâce au calcul de nouvelles valeurs, couvrant une zone rectangulaire incluant la donnée ponctuelle originale. L'interpolation est nécessaire pour produire une surface, plus facile à appréhender pour la lecture d'une carte que des données ponctuelles. Dans un deuxième temps, l'interpolation permet d'appliquer aux données des procédures de traitement des images raster. Le jeu de données édité a été interpolé avec le logiciel *Surfer™*. Les paramètres utilisés pour calibrer l'interpolation sont présentés dans l'annexe 4.

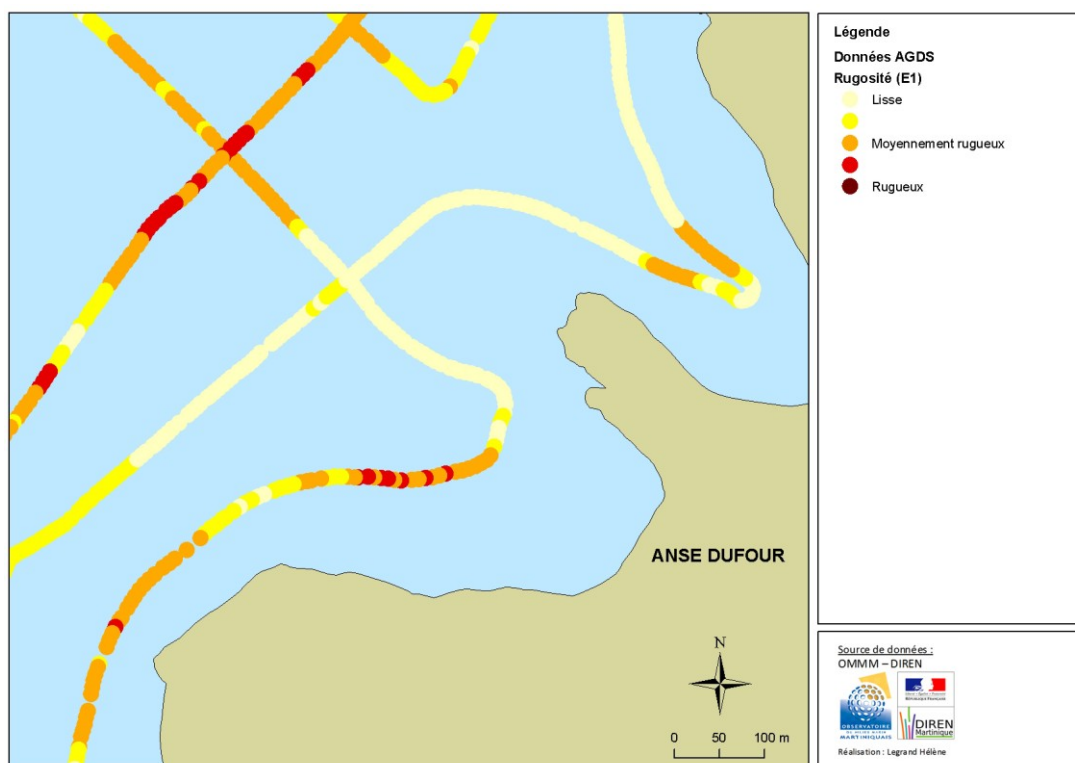


Figure 10. Représentation des valeurs E1 (rugosité) acquises par le système RoxAnn sur le secteur de l'Anse Dufour en Martinique, année 2006. Les données sont représentées selon une gamme de couleurs du plus lisse au plus rugueux.

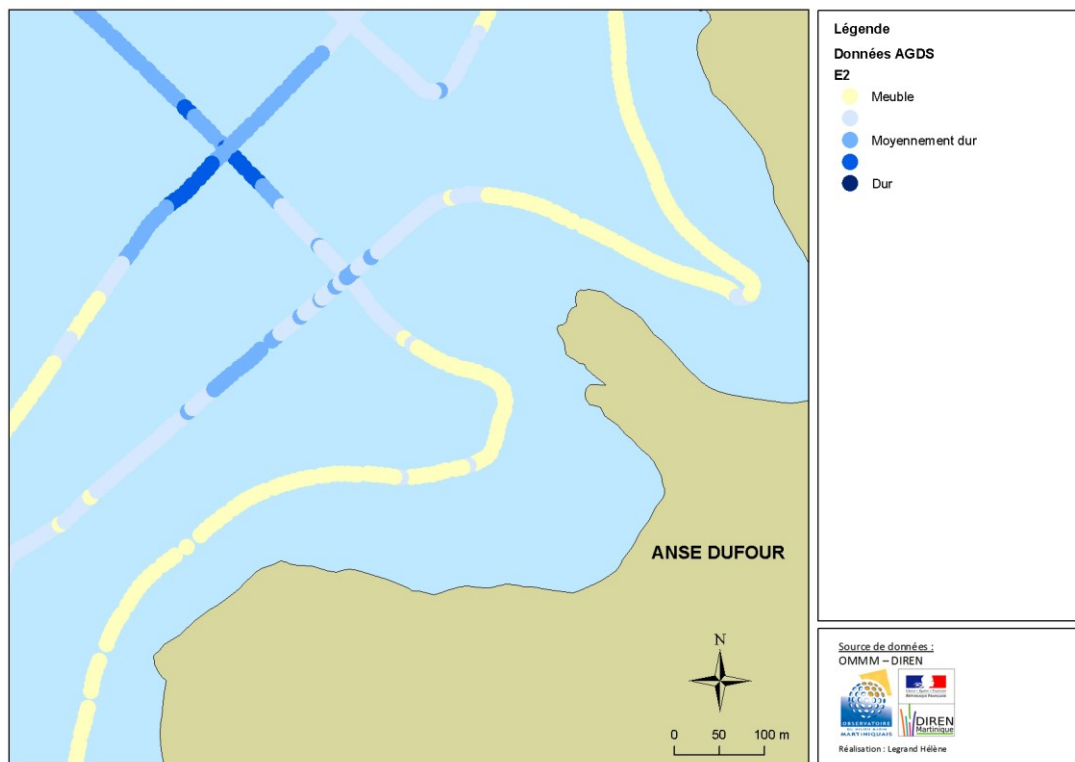


Figure 11. Représentation des valeurs E2 (dureté) acquises par le système RoxAnn sur le secteur de l'Anse Dufour en Martinique, année 2006. Les données sont représentées selon une gamme de couleurs du plus meuble au plus dur.

4.2.3.1.2 Classification

La deuxième étape de traitement des données AGDS est la classification. Elle permet d'attribuer un type de fond (obtenu grâce aux données directes vidéo) aux différents signaux acoustiques identifiés. Cette procédure est automatisée par des logiciels spécifiques tels que *Idrisi*TM.

La classification supervisée utilisant la classification par probabilité maximale est considérée comme un moyen satisfaisant d'interprétation des données multispectrales. Les différentes variables acoustiques mesurées ayant été estimées conformes aux données électromagnétiques provenant de capteurs satellites ou aériens, cette méthode de classification a pu être appliquée.

Les grilles/images raster des données AGDS ont été importées dans le logiciel *Idrisi*TM pour la phase de classification.

Les relevés vidéo ont été analysés par Envision et classés en biotopes ou à un niveau de complexité plus bas si ce degré de détail ne pouvait être atteint. Des sites de "référence" ont été créés à partir de la liste finale des biocénoses et habitats afin d'être utilisés pour la classification. Des zones tampons d'un rayon de 50 m ont été déterminées pour chaque point d'échantillonnage et les polygones générés ont été importés dans *Idrisi*TM.

Les sites de référence sont utilisés pour identifier la "signature" acoustique de chacun des biotopes. Les signatures sont utilisées pendant les classifications de probabilité maximale dans *Idrisi*TM pour classer les images acoustiques. Le procédé est répété pour les classes biologiques.

Les données des points d'échantillonnage ont été utilisées pour générer des cartes de probabilité de chaque unité de biocénose ou de substrat cartographié. Les échantillons ont été codés "1" si une biocénose (ou un type de substrat) particulière était présente ou "0" si elle était absente. Les points ont été interpolés pour produire une image de probabilité préalable avec des valeurs allant de proche de 0 (extrêmement improbable d'être présent) à proche de 1 (très probable d'être présent). Ces images ont ensuite été utilisées pour modifier les calculs de probabilité de chaque catégorie. Les probabilités sont alors contraintes par la présence ou l'absence de classes particulières dans les alentours des pixels qui ont été classés.

4.2.3.2 *Traitement des données de sonar interférométrique*

Le traitement et l'utilisation des données de sonar interférométrique nécessitent la connaissance détaillée et le calibrage de plusieurs paramètres qui permettent de corriger les valeurs de sondes bathymétriques et de replacer l'imagerie acoustique en 3D : les mouvements instantanés du navire, la célérité de l'environnement aquatique et la géométrie du système d'acquisition. Le détail du calibrage de ces paramètres est présenté dans l'annexe 5.

4.2.3.3 *Analyse des vidéos*

Tous les enregistrements vidéo ont été analysés par Envision après la phase d'acquisition des données. Les enregistrements ont été visionnés une deuxième fois afin de déterminer les biocénoses principales observées dans chaque séquence. Une image représentative de chaque relevé vidéo (Figure 12), ou plusieurs si la biocénose change significativement au sein de la séquence, est capturée. Une description initiale des biocénoses est faite, à partir de laquelle des catégories spécifiques sont définies pour la classification des communautés benthiques (Annexe 6).

Les biocénoses ont aussi été classées en fonction du type d'habitat principal (ou type de substrat) (Annexe 7). Dans le cas où plus d'un type de substrat ou de biocénose est présent, le plus important est retenu pour la classification, les autres sont notés dans un champ supplémentaire de la base de données.

Les catégories "biocénoses" et "substrats" déterminées par Envision ont été regroupées afin de correspondre aux classes définies initialement dans le cahier des charges (cf. Tableau 1 & 2).

Les séquences vidéo d'Envision ont ensuite été analysées par l'OMMM afin d'évaluer l'état de santé des biocénoses d'après l'échelle décrite dans le Tableau 3.

Les vidéos issues de la campagne complémentaire réalisée par l'OMMM ont également été analysées, la nature du substrat et des biocénoses déterminée et l'état de santé des communautés évalué.

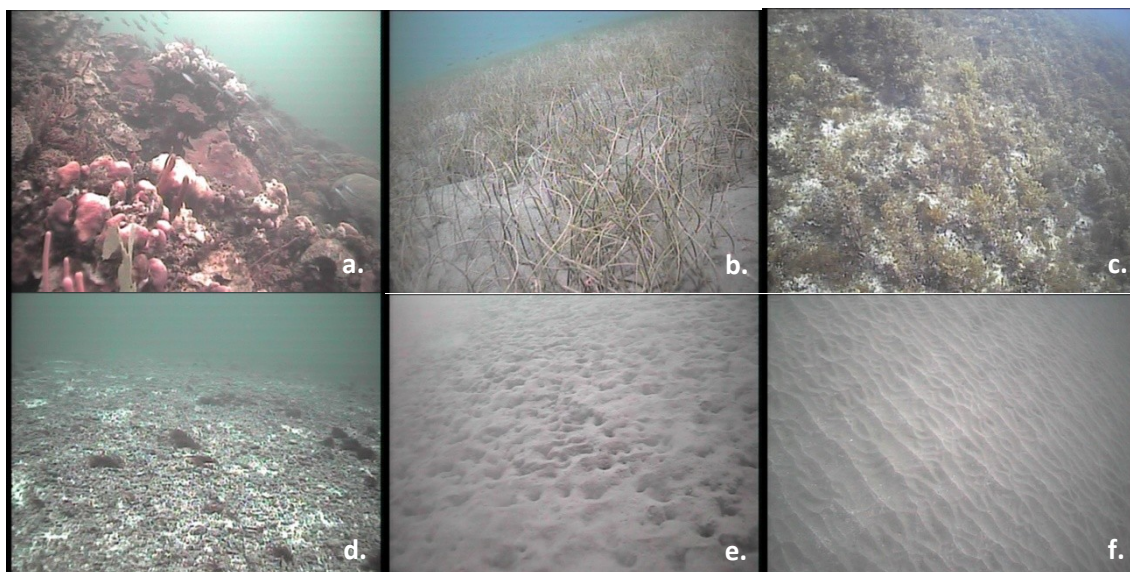


Figure 12. Exemples d'images tirées des séquences vidéos réalisées par Envision : communauté corallienne (a), herbier (b), communauté algale (c), fond détritique (d), fond sablo-vaseux (e), fond sableux (f). Données acquises lors des campagnes d'échantillonnage réalisées en Martinique par Envision, année 2006. ©Photos Envision Ltd. – OMMM.

5 Résultats et Analyses

5.1 Résultats des vérifications terrain

5.1.1 Zone 0-7m

La phase de vérification terrain réalisée en apnée pour la zone peu profonde a nécessité 64 jours de terrain pour vérifier 2 284 points. Toutes les informations collectées sur le terrain ont été intégrées sous SIG. La base de données est structurée comme suit :

- Le numéro du point vérifié (*Id_Point*)
- La latitude et la longitude en Fort Desaix UTM (*Coord_X* et *Coord_Y*)
- Le numéro de la carte au 1/17.000^e où le point a été effectué (*Carte*)
- La commune correspondante (*Commune*)
- Le substrat défini par le cahier des charges (*Substrat*)
- La biocénose définie par le cahier des charges (*Biocénoses*)
- L'état de santé évalué pour la biocénose
- Les principales observations (*Observatio*) effectuées sur le terrain
- La date d'échantillonnage (*Date_terra*)

Attributs de Vérifié terrain 0_7m									
Id_Point	Coord_X	Coord_Y	Carte	Commune	Substrat	Biocénoses	Etat_santé	Observatio	Date_terra
1	728462	1592987	28	Sainte-Anne	Sable	Communauté de fonds meubles nus	0	Sable	09/11/07
2	728367	1592870	28	Sainte-Anne	Sable	Communauté de fonds meubles nus	0	Sable	09/11/07
3	728139	1592926	28	Sainte-Anne	Détritique	Herbiers	2	HM	09/11/07
4	728214	1593048	28	Sainte-Anne	Sable	Herbiers	2	HM dense, maj. Syr.	09/11/07
5	728337	1593134	28	Sainte-Anne	Sable	Communauté de fonds meubles nus	0	Sable	09/11/07
6	728150	1593235	28	Sainte-Anne	Sable	Communauté de fonds meubles nus	0	Sable	09/11/07
7	728047	1593023	28	Sainte-Anne	Détritique	Herbiers	2	HM	09/11/07
8	727908	1592853	28	Sainte-Anne	Détritique	Communauté algale	0	Algues sur fond détritique	09/11/07
9	727964	1593176	28	Sainte-Anne	Détritique	Herbiers	2	HM	09/11/07
10	727875	1593354	28	Sainte-Anne	Sable	Communauté de fonds meubles nus	0	Sable	09/11/07
11	727747	1593054	28	Sainte-Anne	Sable	Communauté algale	0	Algues sur sable	09/11/07
12	727265	1592878	28	Sainte-Anne	Détritique	Communauté algale	0	Algues sur fond détritique	09/11/07
13	727174	1593098	28	Sainte-Anne	Détritique	Communauté algale	0	Algues sur fond détritique	09/11/07

L'organisation retenue pour la base de données permet à l'utilisateur de faire des recherches selon les attributs. Par exemple "quels sont les points de vérification terrain effectués sur la commune du Marin ?" ou "quels sont les points caractérisés par une biocénose d'état de santé 1 (très bon état) ?"

Une base de données photos importante (> 1 000 photos) a également été constituée lors de cette campagne de terrain afin d'illustrer les biocénoses remarquables rencontrées ainsi que leur état de santé. Chaque photo est nommée suivant le numéro du point vérifié ainsi que la carte d'échantillonnage (1/17 000^e) correspondante (exemple : C45_12(2).jpg correspond à la carte 45, point 12, photo 2).

5.1.2 Zone 7-50m

Au total, 487 relevés vidéo ont été réalisés autour de la Martinique sur 40 jours de terrain : 342 lors de la campagne d'échantillonnage acoustique réalisée par Envision de mars et juin 2006, et 145 lors de la mission de complément effectuée par l'OMMM en juin 2008.

L'identification des substrats et des communautés benthiques a été effectuée comme décrit précédemment (cf § 4.2.3.3). Les Figures 13 et 14 donnent la localisation de chaque relevé vidéo, codé en couleurs différentes pour le substrat et la biocénose respectivement.

Les relevés vidéo sont décrits dans la base de données SIG selon les critères suivants :

- L'identifiant *ID* du relevé vidéo
- La latitude et la longitude en Fort Desaix UTM (*Coord_X* et *Coord_Y*)
- Le secteur où le relevé vidéo a été effectué (*Area*)
- Le numéro de la prise (*Take_No*) correspondant à la vidéo éditée
- La date d'échantillonnage (*Date_terra*)
- Le substrat défini par le cahier des charges (*OMMM_HAB*)
- Le substrat défini par Envision (*HABITAT*)
- La biocénose définie par le cahier des charges (*OMMM_LIFE*)
- La biocénose définie par Envision (*LIFEFORM*)
- L'état de santé évalué pour la biocénose
- Les principales observations (*OBSERVATIO*, *DESCRIPT1*, *DESCRIPT2...*)

Attributs de Relevés Vidéo												
ID	Coord_X	Coord_Y	AREA	TAKE_NO	Date_terra	OMMM_HAB	HABITAT	OMMM_LIFE	LIFEFORM	Etat_santé	OBSERVATIO	DESCRIPT1
1	721878	1637494	AREA_H	1	du 08/06/06 au 21/06/06	RUBBLE	CONSOLIDATED RU	REEF	DEGRADED REEF	1	SOFT CORALS, SM	Gorgonians (fans
3	722351	1637603	AREA_H	2	du 08/06/06 au 21/06/06	RUBBLE	CONSOLIDATED RU	REEF	TURF ALGAE	2	OCCASIONAL SPON	consolidated rubb
4	722886	1637172	AREA_H	3	du 08/06/06 au 21/06/06	ROCK	ROCK	ALGAE	MACROALGAE		THICK MACROALGA	rock with macroa
5	725036	1636343	AREA_H	4	du 08/06/06 au 21/06/06	ROCK	ROCK	REEF	DEGRADED REEF	3	PARTLY DEAD COR	consolidated larg
7	729686	1628240	AREA_H	5	du 08/06/06 au 21/06/06	ROCK	ROCK	SPONGE & GORGO	DEGRADED REEF		SOFT CORAL AND T	Rock + sand + tur
8	727814	1636720	AREA_H	6	du 08/06/06 au 21/06/06	SAND AND ROCK	SAND RIPPLES AND	REEF	DEGRADED SPUR &	2	SAND RIPPLES AND	spur and groove i
9	726353	1637476	AREA_H	7	du 08/06/06 au 21/06/06	RUBBLE	CONSOLIDATED RU	ALGAE	TURF ALGAE		SPONGES AND OCC	Consolidated rubb
11	726027	1637566	AREA_H	8	du 08/06/06 au 21/06/06	SAND AND ROCK	SAND RIPPLES AND	REEF	DEGRADED SPUR &		SPONGES, SMALL G	Spur and groove
189	691541	1642950	AREA_F	1	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND RIPPLES	SEAGRASS	SEAGRASS		SHELLY SAND RI	SHELLY SAND RI
190	691182	1642040	AREA_F	2	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND	SEAGRASS	ALGAE AND SEAGR		PATCHY SEAGRAS	STABILISED SAND
191	690532	1641260	AREA_F	3	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND AND ROCK	SAND AND ROCK	SPONGE & GORGO	TURF ALGAE		SOFT CORALS AND	SAND WITH ALG.
192	690305	1641369	AREA_F	4	du 02/03/06 au 23/03/06	ROCK	ROCK	REEF	DEGRADED REEF	2	TURF ALGAE, WITH	Slope of the Perle
193	690302	1640406	AREA_F	5	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND	SEAGRASS	ALGAE AND SEAGR	3	SAND WITH PATCHE	Sparse patches of
194	689843	1639671	AREA_F	6	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND RIPPLES	INFALUNA	SEAGRASS		SOME ALGAL FILM	Barren sand with
195	689972	1638545	AREA_F	7	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND	SEAGRASS	ALGAE AND SEAGR	3	SAND HILLS (INFAU	Sparse patches of
196	690200	1637673	AREA_F	8	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND	SEAGRASS	SEAGRASS	3	SAND HILLOCKS, P	Sparse patches of
197	690337	1637286	AREA_F	9	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND	INFALUNA	ALGAL FILM		BURROWED SAND,	BURROWED SAND
198	691026	1635942	AREA_F	10	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND	SEAGRASS	SEAGRASS	2	SEAGRASS BED VI	Patches of dense
199	691529	1634939	AREA_F	11	du 02/03/06 au 23/03/06	SAND	SAND	SEAGRASS	SEAGRASS	3	SPARSE SEAGRAS	SAND WITH SPAR

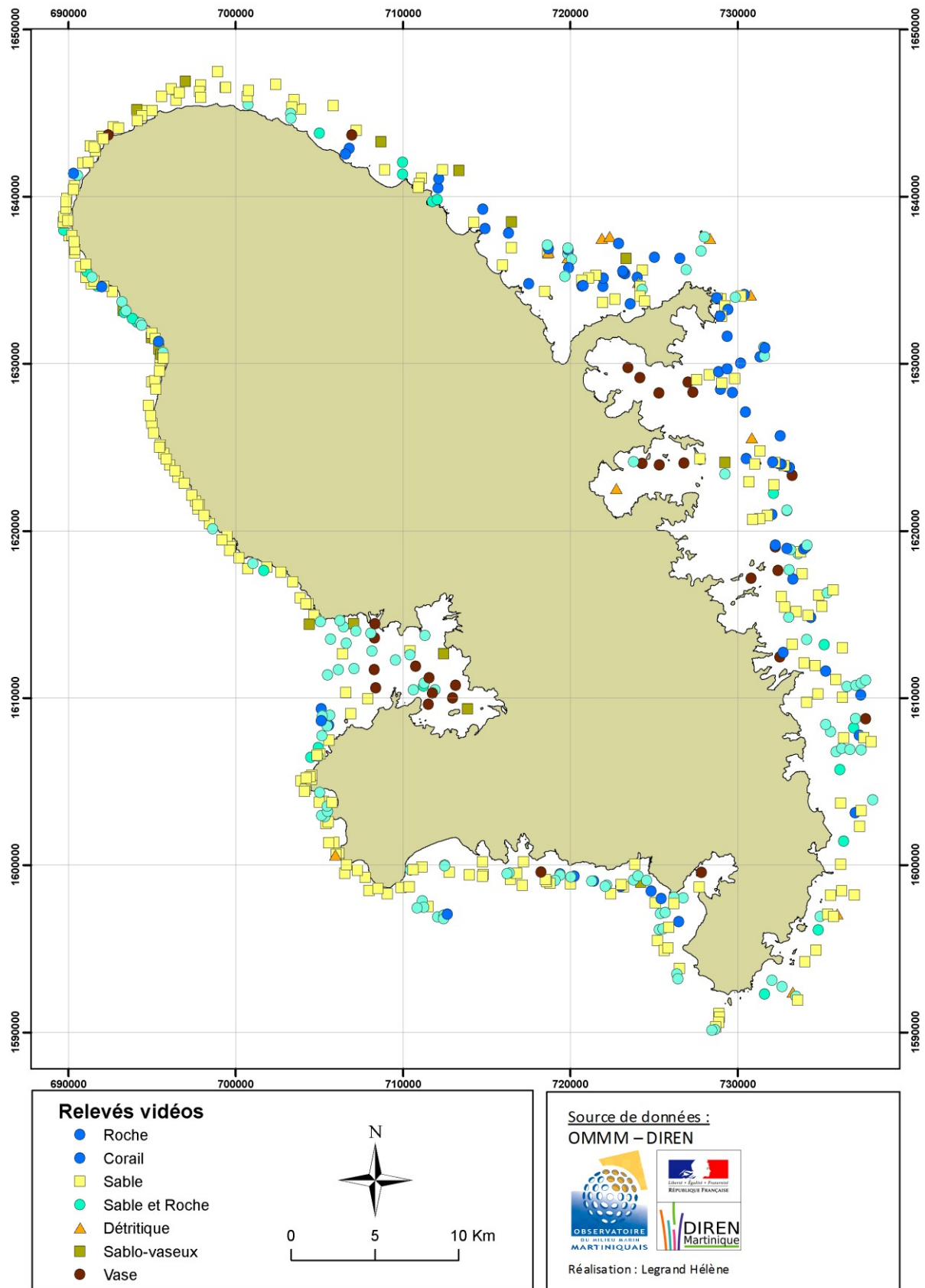


Figure 13. Localisation des relevés vidéo effectués autour de la Martinique (Envision et OMMM) et représentés en fonction du type de substrat. Campagne d'échantillonnage 2006 – 2008.

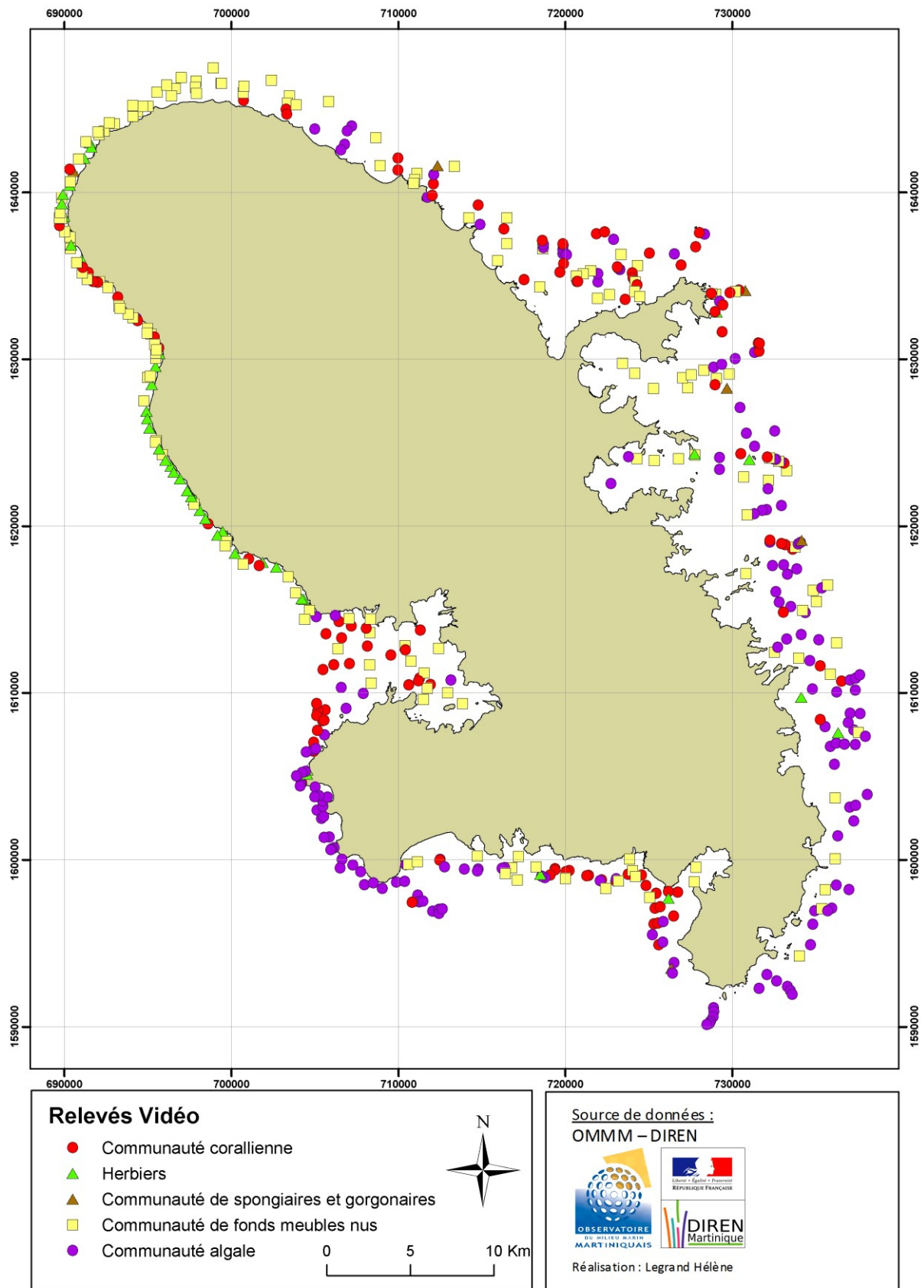


Figure 14. Localisation des relevés vidéo effectués autour de la Martinique (Envision et OMMM) et représentés en fonction du type de biocénose. Campagne d'échantillonnage 2006 – 2008.

5.2 Cartographie des biocénoses et du substrat

5.2.1 Réalisation des cartes

La réalisation des cartes finales des substrats et des biocénoses a nécessité plusieurs étapes. Chaque carte produite est le résultat de la combinaison de la carte réalisée pour la zone 0-7 m (à partir de la photo-interprétation et des vérifications terrain) et de la carte réalisée pour la zone 7-50 m (à partir des données acoustiques et des relevés vidéo).

Les cartes de la zone 0-7 m (substrats et biocénoses) sont obtenues après intégration sous SIG de l'ensemble des données recueillies sur le terrain et correction des contours préliminaires délimités par identification visuelle (Figure 15).

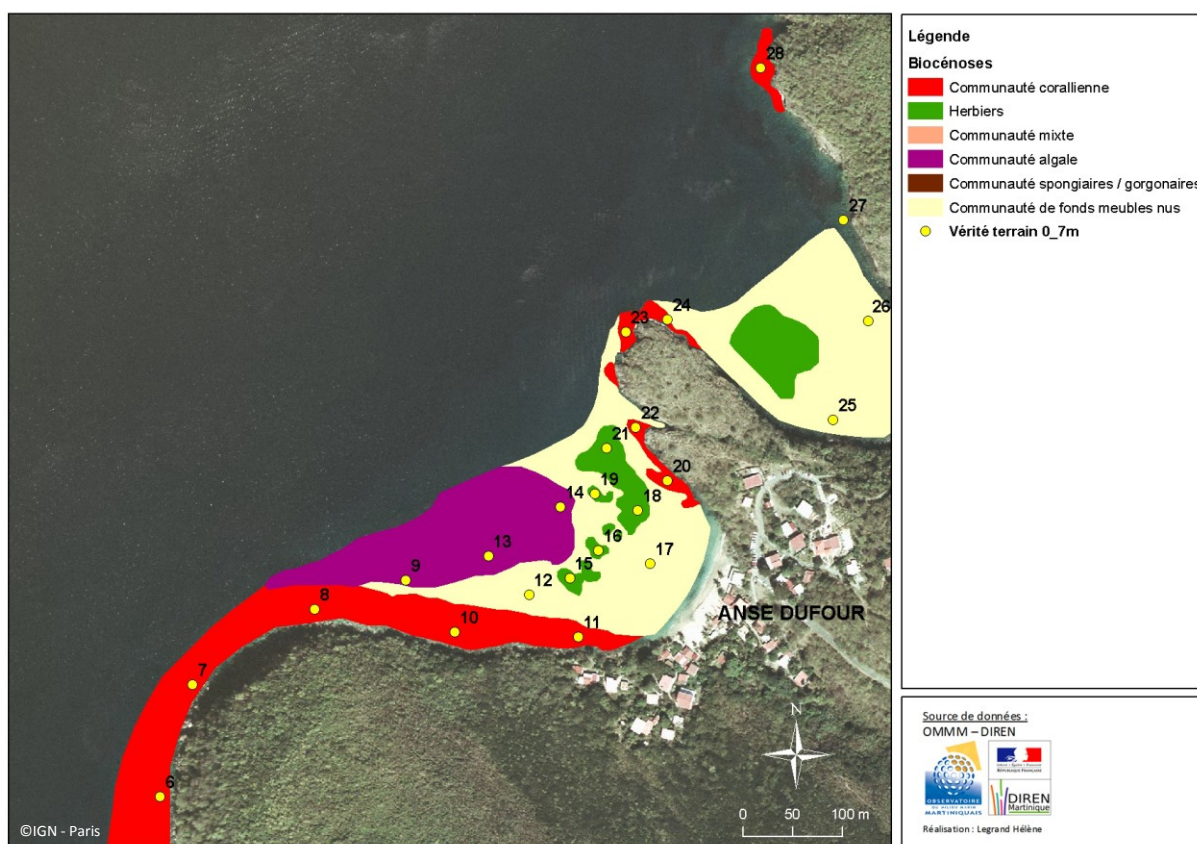


Figure 15. Cartographie finale des biocénoses de la zone 0 – 7 m pour le secteur de l'Anse Dufour, en Martinique. Compilation des données OMMM, années 2006-2008.

Les cartes de la zone 7-50 m (substrats et biocénoses) ont été produites par Envision après l'analyse des données acoustiques et leur classification grâce aux relevés vidéo effectués lors des campagnes d'échantillonnage (342 relevés).

L'affichage sous SIG de la couche produite par Envision avec celle obtenue pour la zone 0-7 m a fait apparaître des zones de superposition (Figure 16). Cette superposition est normale : d'une part, l'acquisition des données acoustiques se faisant sur une bande de 100 m de chaque côté des lignes de passage du navire, les données acquises peuvent parfois couvrir des fonds inférieurs à 7 m, notamment dans les zones où les pentes sont très accores. D'autre part, l'interpolation effectuée lors du traitement des données acoustiques

amplifie cet élargissement dans les zones de faible profondeur. Enfin l'exceptionnelle transparence de l'eau dans certains secteurs a permis une photo-interprétation des fonds au-delà de 7 m, parfois jusqu'à 12-14 m, empiétant ainsi sur la zone 7-50 m.

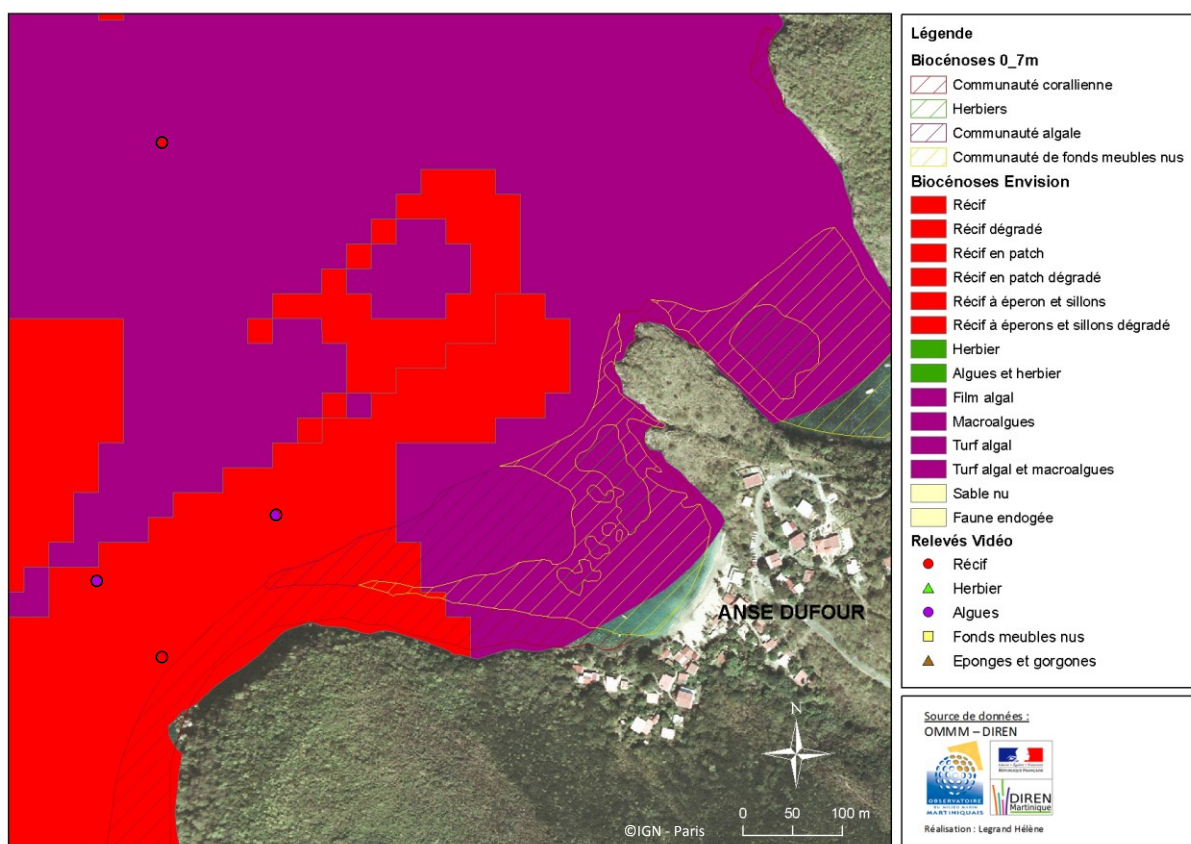


Figure 16. Exemple de superposition de la cartographie des biocénoses produite par Envision entre 7 et 50 m et de la cartographie finale des biocénoses entre 0 et 7 m pour le secteur de l'Anse Dufour, Martinique. Combinaison des données des campagnes d'échantillonnage des années 2006 – 2008.

Pour corriger cette superposition, les cartes produites par Envision pour la zone 7-50 m ont été découpées aux limites des cartes produites pour la zone 0-7 m, ces dernières étant privilégiées du fait de la précision d'acquisition et du nombre de vérités terrain effectuées (2284 points).

Les cartes produites par Envision ont ensuite été retravaillées par l'OMMM. Les catégories de substrats et de biocénoses ont été regroupées afin de correspondre aux classes définies dans les Tableaux 1 et 2. La délimitation et/ou la nature des substrats et des biocénoses ont pu être modifiés si nécessaire, grâce aux relevés vidéo complémentaires effectués par l'OMMM (145 relevés) et sur la base des connaissances des fonds marins de la doctorante en charge du projet (Figure 17).

Au final, deux cartes ont été produites pour l'ensemble du littoral martiniquais entre 0 et 50 m de profondeur couvrant une superficie de 452 km² (159 km² pour la zone 0-7 m et 293 km² pour la zone 7-50 m) : une carte des substrats (Figure 25) et une carte des biocénoses benthiques (Figure 26). Les cartes présentées dans ce rapport en version papier sont à petite échelle, par conséquent tous les détails ne sont pas visibles. Les données

numériques sont disponibles dans le cédérom accompagnant ce rapport et permettent à l'utilisateur de consulter les cartes à une échelle plus appropriée.

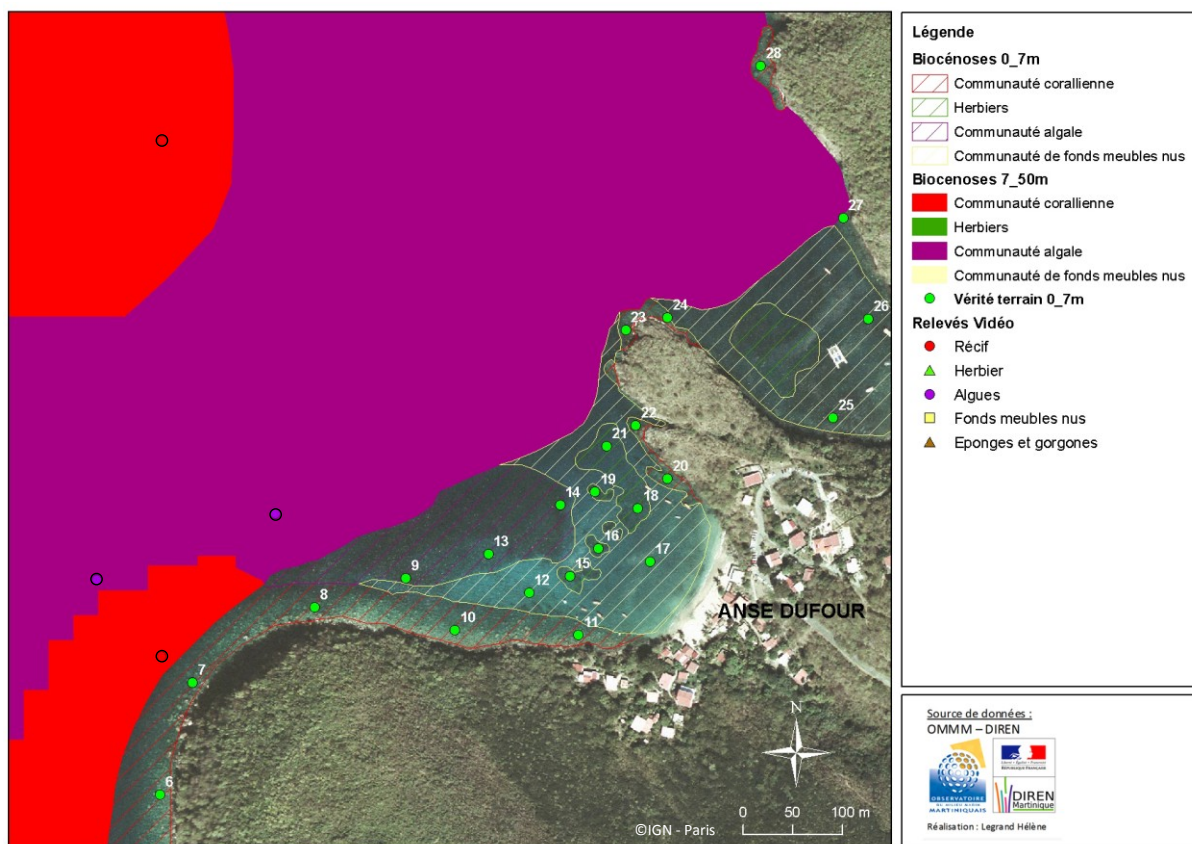


Figure 17. Cartographie finale des biocénoses pour les zones 0-7 m et 7-50 m après modifications pour le secteur de l'Anse Dufour, Martinique. Combinaison des données des campagnes d'échantillonnage des années 2006 – 2008.

5.2.2 Précision des données cartographiques

Le degré de précision (ou la marge d'incertitude) des cartes produites est différente pour les zones 0-7 m et 7-50 m, en raison des techniques employées pour cartographier les substrats et les biocénoses. Le travail de photo-interprétation de clichés aériens est basé sur une reconnaissance visuelle des entités sous-marines par un observateur. La précision de définition des contours est donc tributaire de l'échelle de saisie sous SIG et de l'observateur. Dans le cadre de ce projet, la délimitation des communautés a été réalisée à des échelles de l'ordre du 1/1 500^e par un seul observateur. Les vérités terrain effectuées, même si elles ne correspondent pas à un échantillonnage systématique, ont permis de vérifier et d'adapter ces délimitations si nécessaire (ainsi que la nature du substrat et de la biocénose) sur un grand nombre de points (2284 points). Le degré de précision est estimé à 10-30 m.

Il est beaucoup plus difficile de déterminer le degré de précision des cartes produites à partir de données acoustiques, dont le traitement est automatisé par des logiciels spécifiques basés sur des calculs de probabilité et des interpolations. Seule la détermination des signatures acoustiques (à partir des relevés vidéo) pour la classification des signaux

acoustiques est effectuée par un technicien. La précision globale des cartes a été supervisée par Envision.

5.2.3 Substrats

5.2.3.1 Structuration de la base de données SIG

La base de données SIG de la cartographie des substrats est constituée de deux couches, selon la profondeur étudiée : 0-7 m et 7-50 m. Elle donne systématiquement : le code du substrat (Tableau 1), le substrat observé, la surface associée et la commune correspondante (Figure 18).

Attributs de Substrat 0_7m

FID	Shape*	Code	Substrat	Surface	Carte	Commune
0	Polygone	3	Sable	1058745	10	Grand Rivière
1	Polygone	1	Roche	963	10	Grand Rivière
2	Polygone	3	Sable	310009	9	Le Prêcheur
3	Polygone	1	Roche	1748	9	Le Prêcheur
4	Polygone	1	Roche	1368	9	Le Prêcheur
5	Polygone	1	Roche	1180	9	Le Prêcheur
6	Polygone	1	Roche	1825	9	Le Prêcheur
7	Polygone	1	Roche	3534	9	Le Prêcheur
8	Polygone	1	Roche	42107	9	Le Prêcheur
9	Polygone	3	Sable	144694	9	Le Prêcheur
10	Polygone	1	Roche	16690	9	Le Prêcheur
11	Polygone	3	Sable	54910	9	Le Prêcheur
12	Polygone	1	Roche	495	9	Le Prêcheur
13	Polygone	1	Roche	996	9	Le Prêcheur
14	Polygone	1	Roche	873	9	Le Prêcheur
15	Polygone	1	Roche	3496	9	Le Prêcheur

Attributs de Substrat 7_50m

FID	Shape*	ID	Code	Substrat	HABITAT	Surface	Commune
0	Polygone	10	7	Sable et Roche	SAND & ROCK	52604	Les Anses d'arlet
1	Polygone	13	3	Sable	SAND	781675	Les Anses d'arlet
2	Polygone	14	1	Roche / Corail	ROCK/REEF	179195	Les Anses d'arlet
3	Polygone	17	1	Roche / Corail	ROCK/REEF	144564	Les Anses d'arlet
4	Polygone	32	1	Roche / Corail	ROCK/REEF	9989	Sainte-Marie
5	Polygone	33	4	Détritique	RUBBLE/ROCKS ON SAND	1873	Sainte-Marie
6	Polygone	35	7	Sable et Roche	RIPPLED SAND & ROCK/REEF	8741	Sainte-Marie
7	Polygone	36	4	Détritique	RUBBLE/ROCKS ON SAND	3746	Sainte-Marie
8	Polygone	37	3	Sable	RIPPLED SAND	4371	Sainte-Marie
9	Polygone	38	1	Roche / Corail	ROCK/REEF	1249	Sainte-Marie
10	Polygone	39	1	Roche / Corail	ROCK/REEF	2497	Sainte-Marie
11	Polygone	41	4	Détritique	RUBBLE/ROCKS ON SAND	4370	Sainte-Marie
12	Polygone	42	1	Roche / Corail	ROCK/REEF	624	Sainte-Marie
13	Polygone	43	3	Sable	RIPPLED SAND	6867	Sainte-Marie
14	Polygone	44	7	Sable et Roche	RIPPLED SAND & ROCK/REEF	5619	Sainte-Marie
15	Polygone	45	4	Détritique	RUBBLE/ROCKS ON SAND	624	Sainte-Marie

Figure 18. Structuration de la base de données SIG des biocénoses des zones 0-7 m et 7-50 m du littoral de la Martinique.

Chaque polygone de substrat de la zone 0-7 m est identifié par le numéro de la carte au 1/17 000^e correspondante, permettant des requêtes sur des secteurs précis.

La nature du substrat définie au préalable par Envision (*HABITAT*) pour la zone 7-50 m a été conservée pour une meilleure précision, si nécessaire (Figure 18).

5.2.3.2 Répartition géographique générale sur le littoral de Martinique

Le substrat le plus représenté autour de la Martinique (44 % des fonds entre 0 et 50 m) est le *sable* avec 19 909 ha (Tableau 4). Les fonds sableux sont présents sur l'ensemble du littoral martiniquais (Figure 25), dont 64 % entre 7 et 50 m. Sur les zones de forte exposition

à la houle, comme la côte nord-Atlantique, la présence de rides ou de mégarides est souvent visible (Figure 19). Le substrat sableux peut être l'habitat de différentes biocénoses : les communautés de fonds meubles nus, les herbiers ou encore la communauté algale.

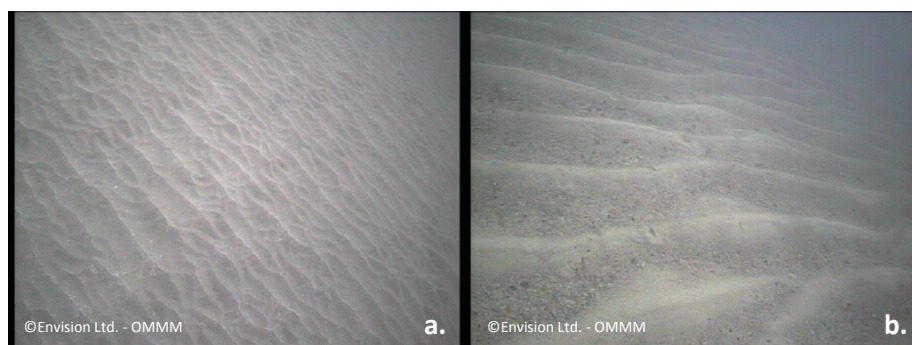


Figure 19. Photos de (a) rides et de (b) mégarides du substrat sableux au large de Sainte Marie sur la côte atlantique de la Martinique. Année 2006.

La deuxième catégorie majoritaire (16 % de la zone côtière) est le *substrat sablo-vaseux* avec 7 034 ha, réparti essentiellement dans les fonds profonds des baies (78 %) de la côte martiniquaise (Tableau 4).

Tableau 4. Répartition des types de substrats cartographiés (ha) en fonction de la zone bathymétrique (0-7 m ou 7-50 m) sur le littoral de la Martinique.

Profondeur	Corail	Détritique	Roche	Sable et Roche	Sable	Sablo-vaseux	Vase	Total
0 – 7 m	2 052	830	592	464	7 192	1 559	3 138	15 827
7 – 50 m	-	671	4 949	5 348	1 2717	5 475	-	29 263
Total	2 052	1 500	5 540	5 812	19 909	7 034	3 138	45 090

Deux catégories sont présentes dans des proportions équivalentes : le *substrat rocheux* (5 540 ha) et le *substrat mixte sable et roche* (5 812 ha) (Tableau 4). Le substrat *roche* cartographié pour la zone profonde (7-50 m) par le bureau d'étude Envision ne fait pas la distinction entre un substrat de nature rocheuse et un substrat de nature corallienne. Cette catégorie représente plutôt un "*substrat dur*".

Le *substrat* strictement *corallien* n'a été réellement cartographié qu'entre 0 et 7 m de profondeur et occupe 2 052 ha, soit 13 % des fonds de cette zone.

De même, l'analyse des données par Envision n'a pas permis de séparer le *substrat vaseux* du *substrat sablo-vaseux*. La catégorie "*sablo-vaseux*" pour la zone 7-50 m rassemblerait donc les deux types de substrat. Le *substrat vaseux* n'a donc été cartographié que pour la zone 0-7 m, dans les baies (Figure 25), où il représente 3 138 ha soit 20 % des fonds marins côtiers peu profonds.

Enfin, le type de substrat le plus faiblement représenté est le *substrat détritique*, avec 1 500 ha localisés majoritairement dans les fonds peu profonds de la côte sud de l'île (Figure 25).

5.2.4 Biocénoses benthiques

5.2.4.1 Structuration de la base de données SIG

La base de données SIG de la cartographie des biocénoses est constituée de deux couches distinctes : une couche spécifique aux biocénoses de la zone 0-7 m, et une couche des biocénoses de la zone 7-50 m.

La base de données présente systématiquement : le code de la biocénose (Tableau 2), la biocénose observée, la surface associée et la commune correspondante (Figure 20).

Attributs de Biocénoses 0_7m

FID	Shape*	Code	Biocénoses	Surface	Carte	Commune
299	Polygone	2	Herbiers	5517	20	Les Anses d'Arlet
300	Polygone	2	Herbiers	107779	20	Les Anses d'Arlet
301	Polygone	2	Herbiers	2691	20	Les Anses d'Arlet
302	Polygone	2	Herbiers	1029	20	Les Anses d'Arlet
303	Polygone	1	Communauté corallienne	1206	20	Les Anses d'Arlet
304	Polygone	4	Communauté algale	333411	20	Les Anses d'Arlet
305	Polygone	5	Communauté de spongiaires et gorgon	101063	20	Les Anses d'Arlet
306	Polygone	2	Herbiers	285806	21	Les Anses d'Arlet
307	Polygone	2	Herbiers	3825	21	Les Anses d'Arlet
308	Polygone	1	Communauté corallienne	6738	21	Les Anses d'Arlet
309	Polygone	4	Communauté algale	532404	21	Les Anses d'Arlet
310	Polygone	5	Communauté de spongiaires et gorgon	20437	21	Les Anses d'Arlet
311	Polygone	1	Communauté corallienne	18180	21	Les Anses d'Arlet
312	Polygone	2	Herbiers	2588129	22	Le Diamant
313	Polygone	2	Herbiers	1523	22	Le Diamant
314	Polygone	1	Communauté corallienne	11201	23	Le Diamant

Enreg: 0 sur 1076 Sélectionnés.

Attributs de Biocénoses 7_50m

FID	Shape*	ID	Code	Biocénoses	LIFEFORM	Surface	Commune
40	Polygone	76	1	Communauté corallienne	DEGRADED REEF	19980	La Trinité
41	Polygone	77	4	Communauté algale	ALGAL FILM	1249	La Trinité
42	Polygone	78	6	Communauté de fonds meubles	BARREN SAND	1248	La Trinité
43	Polygone	79	4	Communauté algale	TURF ALGAE & MACRO ALGAE	4370	La Trinité
44	Polygone	80	6	Communauté de fonds meubles	BARREN SAND	8117	La Trinité
45	Polygone	81	4	Communauté algale	TURF ALGAE & MACRO ALGAE	624	La Trinité
46	Polygone	82	4	Communauté algale	ALGAL FILM	4371	La Trinité
47	Polygone	83	1	Communauté corallienne	DEGRADED REEF	6869	La Trinité
48	Polygone	85	6	Communauté de fonds meubles	BARREN SAND	625	La Trinité
49	Polygone	86	6	Communauté de fonds meubles	BARREN SAND	625	La Trinité
50	Polygone	88	4	Communauté algale	ALGAL FILM	9365	La Trinité
51	Polygone	89	4	Communauté algale	ALGAL FILM	96153	La Trinité
52	Polygone	90	1	Communauté corallienne	DEGRADED REEF	14361	La Trinité
53	Polygone	91	6	Communauté de fonds meubles	BARREN SAND	624	La Trinité
54	Polygone	96	4	Communauté algale	TURF ALGAE	14986	La Trinité
55	Polygone	98	1	Communauté corallienne	DEGRADED REEF	4371	La Trinité
56	Polygone	100	1	Communauté corallienne	DEGRADED REEF	1248	La Trinité

Enreg: 0 sur 924 Sélectionnés.

Figure 20. Structuration de la base de données SIG des biocénoses des zones 0-7 m et 7-50 m de la Martinique.

Chaque polygone de biocénose de la zone 0-7 m est identifié par le numéro de la carte au 1/17 000^e correspondante, permettant des requêtes sur des secteurs précis.

La nature de la biocénose définie au préalable par Envision (*LIFEFORM*) pour la zone 7-50 m a été conservée pour une meilleure précision, si nécessaire (Figure 20).

5.2.4.2 Répartition géographique générale sur le littoral de Martinique

La biocénose benthique la plus fréquente du littoral de Martinique (44 % des fonds entre 0 et 50 m) est la *communauté de fonds meubles nus*, représentant 20 226 ha (Tableau 5). La majeure partie de cette communauté (70%) est présente dans les fonds de baies et dans le nord Atlantique de l'île (Figure 26), entre 7 et 50 m de profondeur. L'identification

des espèces caractérisant cette biocénose n'a pas été réalisée (organismes endogés tels que des mollusques, vers, crustacés, échinodermes et certains poissons vivant dans des trous (anguilles jardinières, blennies, marionnettes ...). Les terriers de vers ou de poissons sont parfois nettement visibles ainsi que certains animaux comme les holothuries ou les lambis (Figure 21).

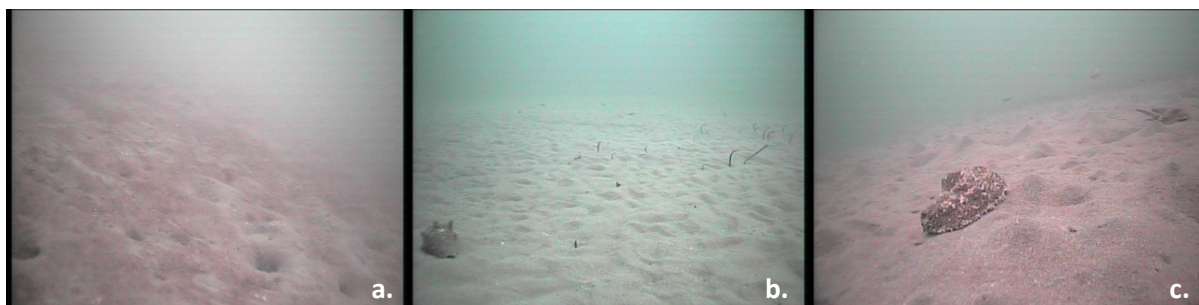


Figure 21. Photos de communauté de fonds meubles nus extraites des relevés vidéo réalisés pour la zone 7-50 m. (a) présence de terriers sur fond sablo-vaseux, (b) anguilles jardinières et lambi sur fond sableux, (c) holothurie sur fond sableux. ©Photos Envision Ltd. – OMMM.

La communauté algale (31 % de la zone côtière) couvre 14 060 ha (Tableau 5) et prédomine sur le littoral, essentiellement sur la façade atlantique et le sud-ouest de la Martinique (Figure 26) (74 % en zone profonde). L'importance, en terme de couverture, de cette communauté est en partie liée à la capacité des algues à coloniser différents substrats : rocheux, corallien, sableux, détritique (Figure 22) dans des conditions favorables à leur développement. Les principales espèces d'algues sont des macroalgues molles, et appartiennent aux groupes des Sargasses et Dictyotales ou des algues rouges (*Gracilaria sp*, *Hypnea sp*, *Halymenia sp*, *Galaxaura sp* ...).

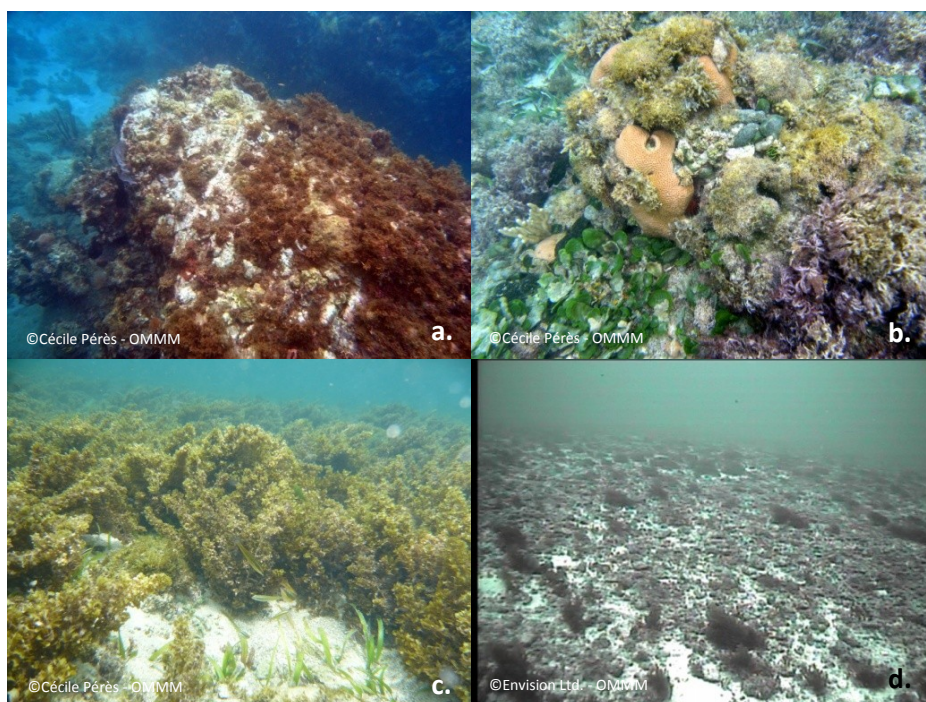


Figure 22. Photos de communauté algale colonisant différents substrats : (a) rocheux, (b) corallien, (c) sableux, (d) détritique.

Le pourcentage de couverture du substrat atteint parfois 100 %, limitant la colonisation par d'autres organismes benthiques. Sur la façade atlantique, le remplacement progressif de la *communauté corallienne* par les macroalgues (Figure 22b) est un phénomène ancien (Adey, 1977).

Tableau 5. Répartition des biocénoses benthiques cartographiées (ha) en fonction de la zone bathymétrique (0-7 m et 7-50 m) pour la région Martinique. Années 2006-2008.

Profondeur	Communautés coralliennes	Herbiers	Communautés algales	Communautés de fonds meubles nus	Communautés mixtes	Communautés de spongiaires et gorgonaire	Total
0 – 7 m	1 296	4 676	3 599	6 023	251	114	15 949
7 – 50 m	4 301	298	10 461	14 203	-	-	29 263
Total	5 587	4 974	14 060	20 226	251	114	45 212

Les *communautés coralliennes* occupent 5.587 ha le long du littoral martiniquais, soit 12 % des fonds marins côtiers, dont 77 % entre 7 et 50 m. Elles sont principalement localisées dans le sud de l'île, le nord-est de la côte atlantique et à la sortie de la baie de Fort de France (Figure 26).

La catégorie "*communauté corallienne*" définie par le cahier des charges ne prend pas en compte le facteur "géomorphologie" de la construction corallienne. Deux types de communautés coralliennes sont différenciés en Martinique : la *communauté corallienne sur roche* et la *communauté corallienne bioconstruite*. La première est caractérisée par un peuplement corallien se développant sur un substrat rocheux : les coraux forment des petites unités dispersées colonisant le substrat (Figure 23a). La seconde est représentée par un peuplement corallien bioconstructeur, composé d'espèces massives, formant des édifices importants par concrétion au cours du temps (Figure 23b). Ces deux communautés ne sont pas différentes dans leur composition spécifique et dans leurs peuplements associés. Le développement d'une *communauté corallienne bioconstruite* est en réalité lié aux conditions environnementales et géomorphologiques. L'activité volcanique (cendres, lave, température) ou des pentes abruptes limitent la construction corallienne. Les coraux scléactiniaires nécessitent un éclaircissement important (photosynthèse des algues symbiotiques) et se développent dans des secteurs peu profonds (0-50m). La répartition de ces deux communautés est calquée sur les caractéristiques géologiques de l'île. Au nord, seules des *communautés coralliennes sur roche* sont présentes. Sur la côte atlantique est et sud-est, partie la plus ancienne de l'île, le récif originel, érodé par la houle océanique n'est plus composé majoritairement que de coraux encroûtants. Toutefois, des zones de récifs frangeants, abrités par le récif barrière, sont constituées de *communauté corallienne bioconstruite*. Sur la côte sud caraïbe de l'île et à l'entrée de la baie de Fort de France, le plateau insulaire peu profond et les eaux calmes ont permis le développement de *communautés coralliennes bioconstruites*. Les plus importantes sont localisées de l'entrée de la baie du Marin jusqu'à l'anse du Diamant où elles forment une barrière presque continue.

Les récifs coralliens de Martinique sont composés à 52% de *communautés coralliennes sur roche*, présentes essentiellement entre 7 et 50 m (Tableau 6). Les *communautés coralliennes bioconstruites* couvrent 2 675 ha répartis équitablement entre les zones peu profonde et profonde.

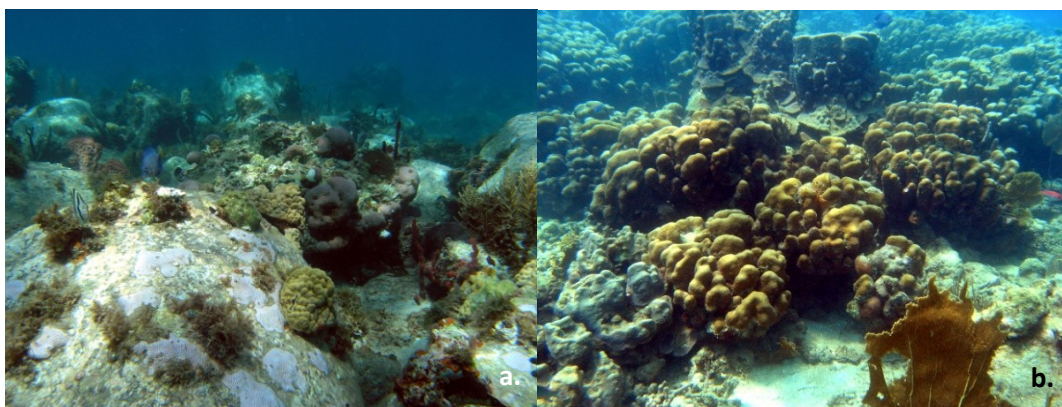


Figure 23. Photos de (a) communauté corallienne sur roche et de (b) communauté corallienne bioconstruite en Martinique. ©Photos Cécile Pérès – OMMM.

Tableau 6. Répartition des surfaces (Ha) des deux types de communautés coralliennes en fonction de la zone bathymétrique sur les côtes de Martinique. Années 2006-2008.

Profondeur	Communautés coralliennes (surface en Ha)	
	sur roche	Bioconstruites
0 – 7 m	107	1 179
7 – 50 m	2 805	1 496
Total	2 912	2 675

Les herbiers couvrent 4.974 ha et se développent à faible profondeur (0-7 m) pour 94 %, en raison de leurs exigences écologiques (lumière nécessaire à la photosynthèse). Les plus grandes étendues d'herbiers se trouvent dans la moitié sud de l'île, dans la région du Vauclin et entre Sainte Anne et le Diamant (Figure 26). Dans ces secteurs, les lagons, largement développés en arrière du récif, constituent un environnement propice au développement de cette biocénose. Six espèces de phanérogames marines ont été identifiées en Martinique mais les herbiers sont presque exclusivement composés de deux espèces : *Thalassia testudinum* et *Syringodium filiforme*. Celles-ci peuvent être présentes séparément (Figure 24a et 24b) ou ensemble (Figure 24c) dans le cas d'herbier mixte. Une troisième espèce est parfois visible, *Halophila decipiens* (Figure 24d). Elle est présente uniquement sur la côte nord caraïbe. *Thalassia testudinum* est considérée comme l'espèce la plus sensible aux perturbations naturelles ou anthropiques. Un herbier strictement composé de cette espèce est représentatif de l'état de santé optimal de la communauté.

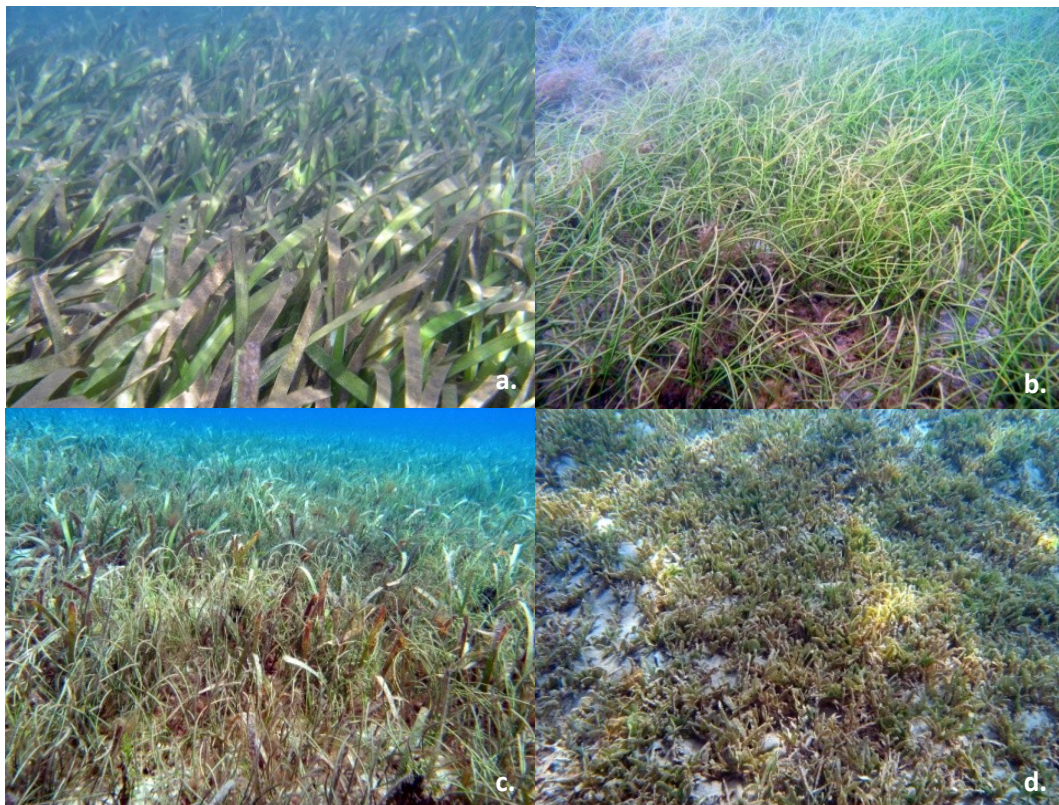


Figure 24. Photos (a) d'herbier à *Thalassia testudinum strict*, (b) d'herbier à *Syringodium filiforme strict*, (c) d'herbier mixte (mélange des deux espèces précédentes) et (d) d'herbier à *Halophila decipiens*. ©Photos Cécile Pérès – OMMM.

Les *communautés mixtes* et les *communautés de spongiaires et gorgonaires* sont strictement présentes entre 0 et 7 m et représentent moins de 1 % des biocénoses cartographiées.

La *communauté mixte*, associant herbier et communauté corallienne, serait considérée comme une zone "tampon" entre les deux types de biocénoses et non une biocénose à part entière. Or cette biocénose, bien que faiblement présente, a la particularité de rassembler des peuplements (ichtyofaune, coraux) caractéristiques des deux communautés. Constituée d'herbiers elle se situe en général à faible profondeur, dans les lagons en arrière des barrières récifales, ou dans les baies.

La *communauté de gorgonaires et de spongiaires* couvre 114 ha. Elle est caractérisée par la présence d'éponges et de gorgones qui dominent les peuplements.

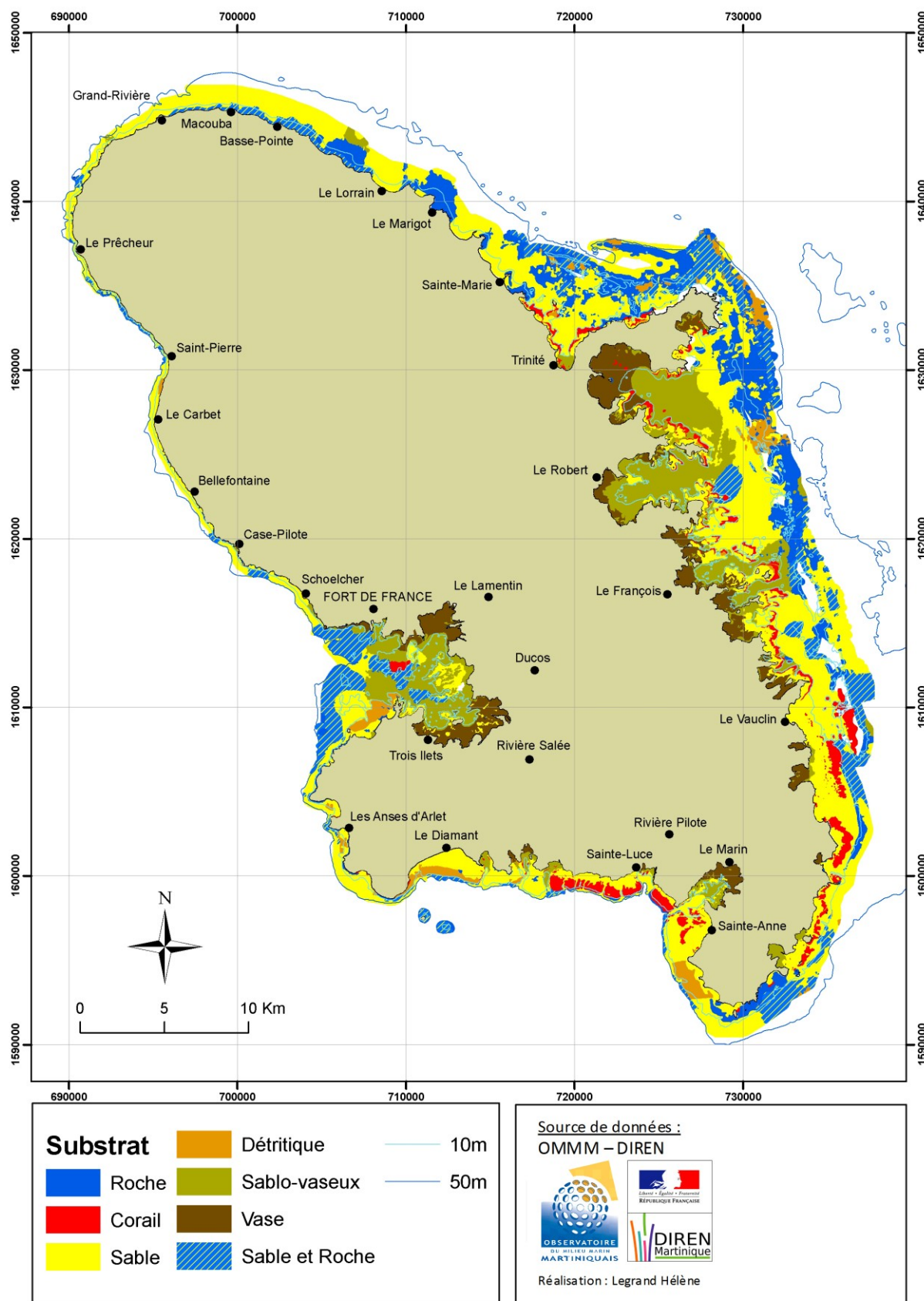


Figure 25. Cartographie des substrats du littoral de la Martinique pour la zone côtière 0-50 m. Années 2006-2008.

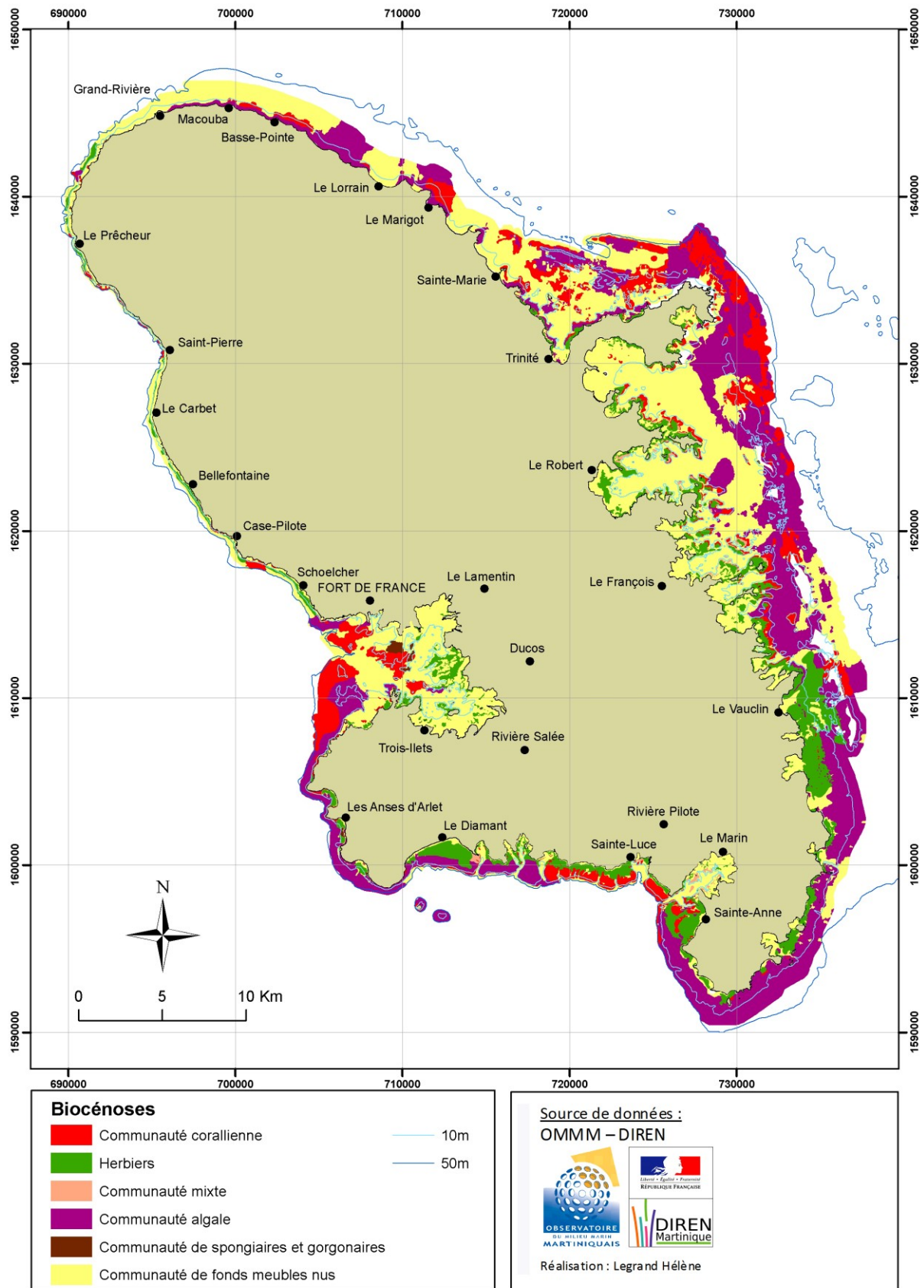


Figure 26. Cartographie des biocénoses benthiques du littoral de la Martinique pour la zone côtière de 0 à 50 m. Années 2006-2008.

5.2.5 Etat de santé des biocénoses

Les vérifications terrain et les points vidéo réalisés autour de l'île ont permis d'évaluer 1 329 états de santé (460 pour les *communautés coralliennes* et 869 pour les *herbiers*). Ces états de santé sont cartographiés sur la Figure 27, et identifiés par un code couleur correspondant à l'état de dégradation des biocénoses.

L'évaluation des états de santé n'a pas été faite selon un échantillonnage aléatoire ou systématique de protocole scientifique. Les vérités terrain effectuées pour valider les informations cartographiques de distribution des substrats et des biocénoses ont été utilisées à cet effet. Néanmoins, le nombre important de points et leur répartition homogène sur l'ensemble du littoral (Figure 27) permettent de donner une vision globale et réaliste de l'état des communautés benthiques côtières de l'île.

Globalement, l'état de santé des biocénoses est préoccupant en Martinique, puisque 45 % sont dans un état dégradé et 23 % dans un état très dégradé (Tableau 7). Moins d'un tiers des communautés sont en bon état et moins de 1 % en très bon état.

Tableau 7. Répartition des états de santé (en %) des biocénoses benthiques du littoral de la Martinique. La colonne "Biocénoses" donne le pourcentage des états de santé pour les deux communautés confondues (Communautés coralliennes et Herbiers). Années 2006-2008.

Etat de santé	Biocénoses	Communautés coralliennes	Herbiers
1	0,8	0,4	1,0
2	31,1	18,7	37,6
3	45,1	37,0	49,5
4	22,9	43,9	11,9
Total	100	100	100

Plus de 80 % des *communautés coralliennes* sont en mauvais état écologique, dont 44 % très dégradées (Tableau 7). Quasiment aucune *communauté corallienne* en très bon état de santé n'a été répertoriée (0,4 %).

La répartition des états de santé des *communautés coralliennes* en Martinique est présentée dans la Figure 28. La côte atlantique au sud de la Caravelle ainsi que la baie de Fort de France sont les zones de récifs coralliens les plus dégradées. Le récif méridional de l'île et la baie de Trinité sont plus hétérogènes mais sont dans un état général dégradé. Certains secteurs sont cependant bien préservés, notamment dans le nord caraïbe au Prêcheur, entre l'îlet à Ramiers et Grande Anse et enfin au large de la presqu'île de la Caravelle (Loup Ministre, nord du Loup Bordelais) (Figure 28).

Seulement 12 % des herbiers sont très dégradés et 49 % dégradés, essentiellement dans les baies et les zones abritées du récif frangeant de la côte atlantique. La Figure 29 montre la distribution des états de santé des herbiers de phanérogames autour de l'île. L'état de santé des *herbiers* de la côte atlantique s'améliore à mesure qu'ils sont éloignés de

la côte, vers la barrière. Les *herbiers* en bon état de santé sont localisés à la pointe sud de la Martinique, de l'anse Michel au Cap Dunkerque (Figure 29).

Les *communautés coralliennes* sont dégradées (combinaison des états de santé 3 et 4) entre 0 et 50 m de profondeur (81 % pour la zone 0-7 m et 82 % pour la zone 7-50 m) (Tableau 8). Cependant, l'état de dégradation est plus important entre 0-7 m, avec 49 % "très dégradé", contre 27 % entre 7-50 m (Tableau 8).

Aucune différence significative n'est mise en évidence pour les *herbiers* entre les 2 zones d'échantillonnage. Peu d'observations ont été faites entre 7 et 50 m pour cette biocénose, essentiellement présente à faibles profondeurs (41 observations contre 828 entre 0 et 7 m). Par conséquent, la comparaison entre les deux zones est peu fiable.

Tableau 8. Répartition des états de santé (en %) des biocénoses benthiques des zones 0-7 m et 7-50 m du littoral de la Martinique. Années 2006-2008.

	Communautés coralliennes		Herbiers	
Etat de santé	0 – 7 m	7 – 50 m	0 – 7 m	7 – 50 m
1	-	2	1	-
2	19	17	38	29
3	32	55	49	56
4	49	27	12	15
Total	100	100	100	100

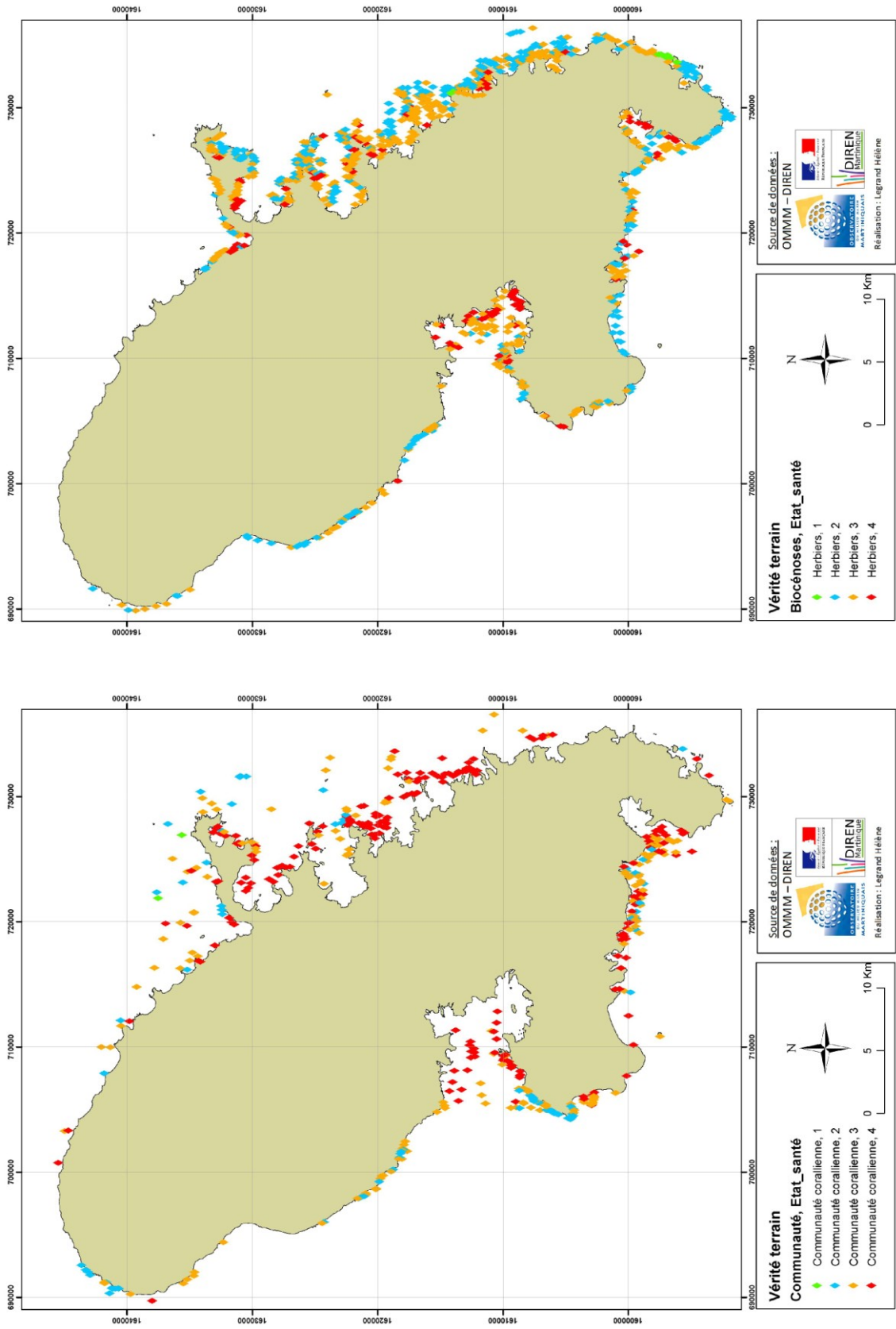


Figure 29. Etats de santé des herbiers du littoral de la Martinique. Années 2006-2008.

Figure 28. Etats de santé des communautés coralliennes du littoral de la Martinique. Années 2006-2008.

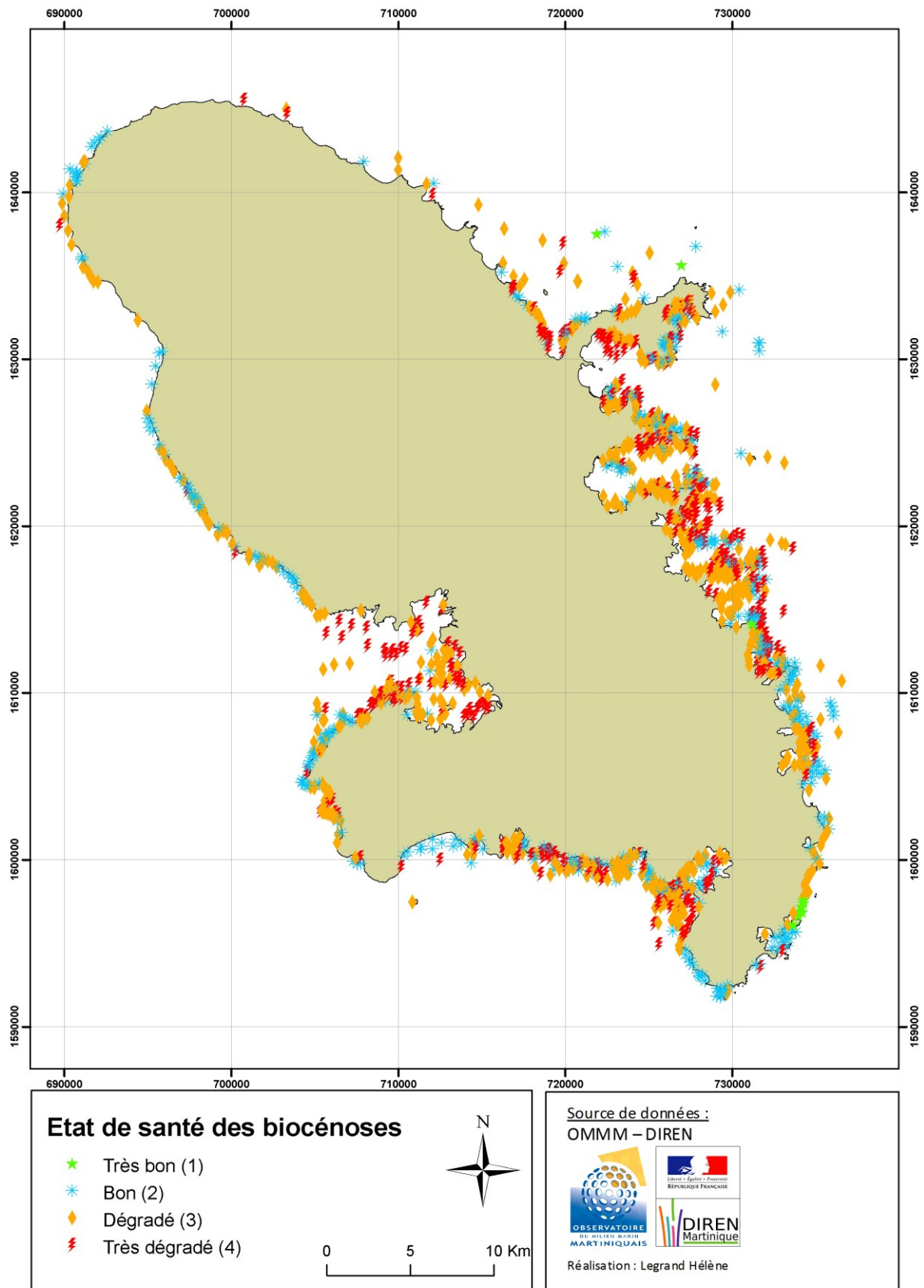


Figure 27. Etat de santé des biocénoses benthiques du littoral de la Martinique. Années 2006-2008.

5.3 Bathymétrie et sonar latéral

5.3.1 Cartes bathymétriques

Les données acoustiques du sonar interférométrique acquises lors de la campagne d'échantillonnage effectuée par Envision en 2006 ont permis d'élaborer des profils bathymétriques pour la zone 7-50 m.

En raison de la taille importante des fichiers et de la puissance de traitement nécessaire pour manipuler ces images, la bathymétrie a été initialement produite à une résolution de 10 m. Cette grille couvre la totalité de la zone d'étude. Afin de produire une bathymétrie à 5 m de résolution, la zone d'étude a été divisée en 5 régions (Annexe 8) se recouvrant partiellement pour être plus facilement fusionnées. Les données ont été filtrées pour supprimer les points aberrants. Les zones vides ont été comblées par interpolation. Un filtre lissant a été appliqué pour éliminer les artéfacts. Toutefois, certains demeurent visibles à l'œil et doivent être, par conséquent, ignorés. Une vue générale de la bathymétrie produite est présentée dans la Figure 30, mais des cartes à plus fine échelle sont disponibles dans les annexes (Annexes 9 à 13).

La bathymétrie est très contrastée autour de la Martinique. La façade caraïbe est caractérisée par des pentes abruptes avec un plateau profond (>60 m) débutant très près du rivage. Les pentes des fonds de la côte sud descendent relativement brusquement mais moins que sur le reste de la côte caraïbe. Des zones de plateau sont présentes vers la péninsule sud, le Rocher du Diamant et au sud-est du rocher. Les fonds inférieurs à 30 m de la façade atlantique s'étendent jusqu'à 5-7 km du rivage. La bathymétrie de la côte atlantique est typique d'une morphologie de récif barrière : un récif à éperons et sillons sur l'extérieur suivi d'une crête récifale, et un système lagonaire présentant des récifs en patchs entre la côte et la barrière. Ce système s'étend légèrement au nord de la Caravelle. Au-delà une pente sédimentaire abrupte domine, avec peu de récifs côtiers.

5.3.2 Mosaïques du sonar latéral

Les mosaïques des données sonar latéral ont été produites à la même résolution et pour les mêmes régions que la bathymétrie. Ces cartes montrent les changements des types de substrat des fonds marins et permettent l'identification des principales caractéristiques sédimentaires. Une vue générale des mosaïques du sonar latéral produites est présentée dans la Figure 31, mais des cartes à plus fine échelle sont présentées dans les annexes (Annexes 14 à 18).

Les mosaïques du sonar latéral facilitent la cartographie des habitats en permettant d'identifier des limites physiques et de caractériser des catégories de substrat et de biocénoses. Les mosaïques du sonar latéral reflètent l'imagerie donnée par la bathymétrie, avec des récifs caractérisés par des zones sombres et des sédiments par des zones claires.

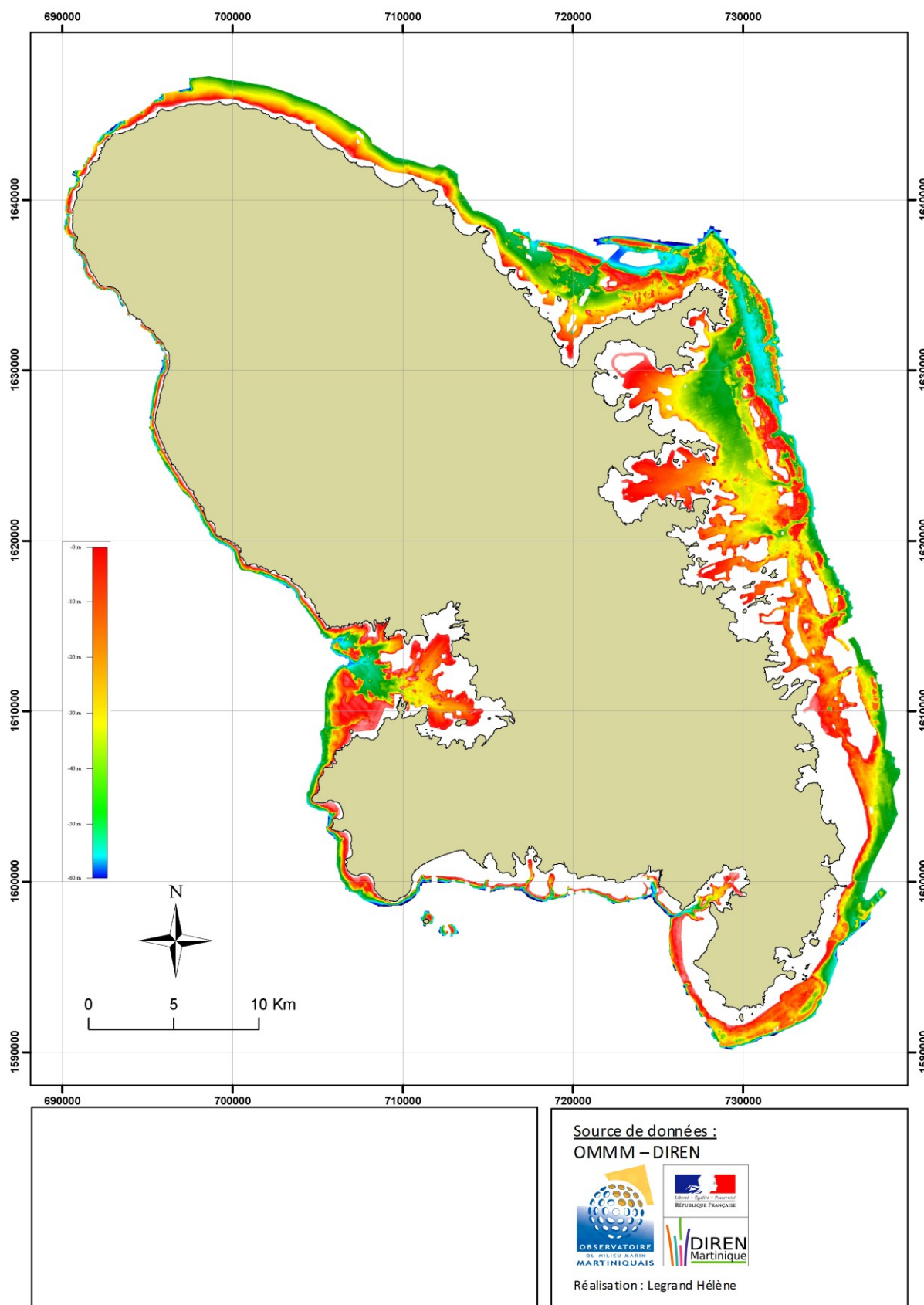


Figure 30. Vue générale de la bathymétrie de la zone 7 – 50 m du littoral de la Martinique. Année 2006.

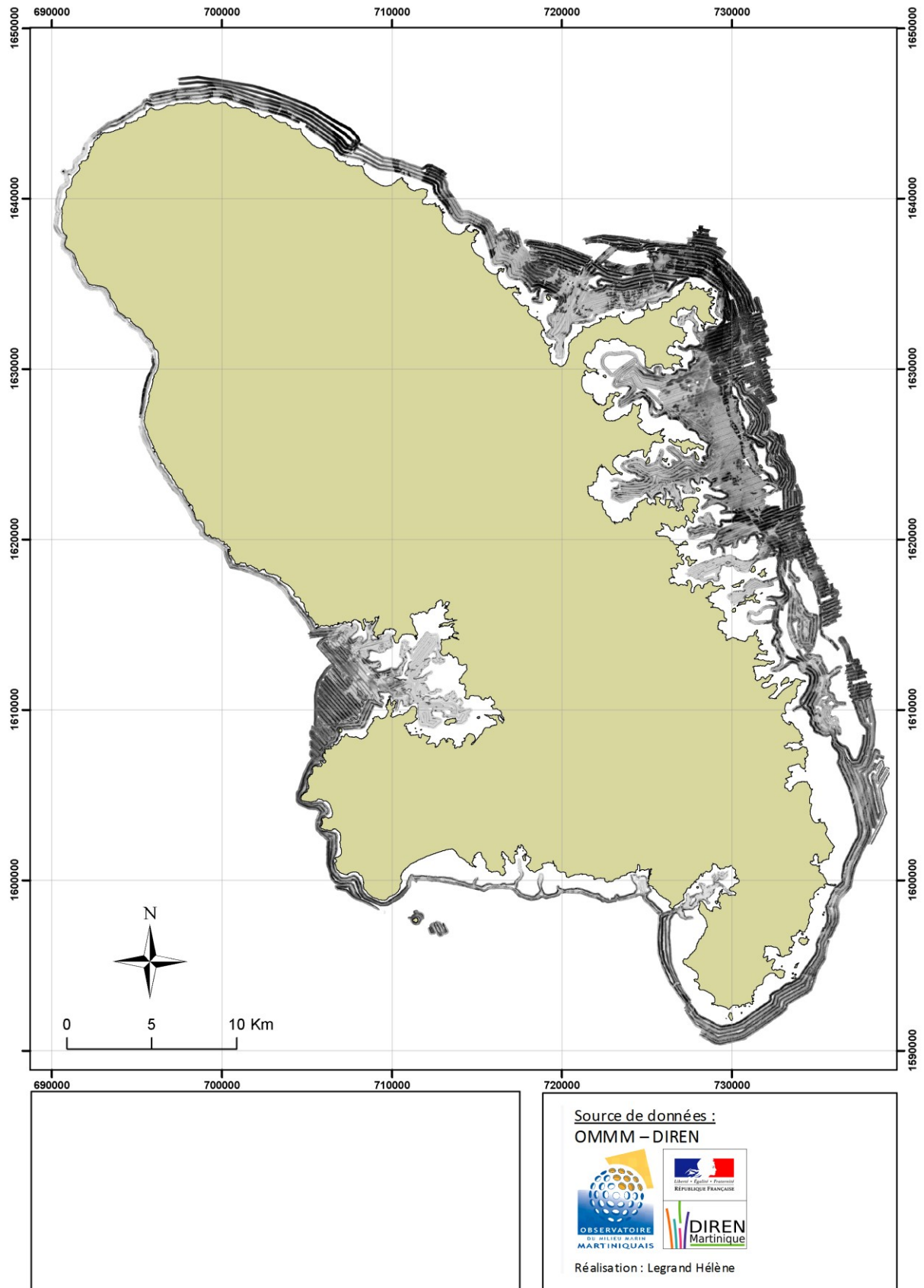


Figure 31. Vue générale de l'imagerie sonar latéral de la zone 7 – 50 m du littoral de la Martinique. Année 2006.

6 Critiques et perspectives

Les cartes finales obtenues pour les substrats et les biocénoses (Figures 25 et 26) montrent des secteurs non cartographiés notamment sur la façade atlantique sud. Ces zones correspondent aux cayes affleurantes de la barrière extérieure du récif : cayes Mitan, cayes Pinsonelle, cayes du Sans-souci, cayes du Vauclin, cayes Pariadis... Le navire de la campagne d'échantillonnage n'a pu couvrir cette zone de très faible profondeur et dangereuse d'accès. Par ailleurs, les conditions de mer et de sécurité nécessaires n'ont pu être réunies pour permettre des investigations en PMT lors des phases de terrain pour la zone 0-7 m. L'accès à ces cayes n'est pas impossible mais est fortement dépendant des conditions météorologiques marines. L'échantillonnage de ces zones et la cartographie de leurs substrats et biocénoses pourraient être réalisés ultérieurement lors de fenêtres météo idéales.

Le choix des techniques utilisées est adapté à la précision (cartes au 1/25 000^e) et à la taille de la zone cartographiée (452 km²). Il est cependant possible grâce à un traitement plus précis des données acoustiques collectées d'obtenir des cartes des substrats et des biocénoses plus détaillées. Ce travail a été mené en partie par le BRGM dans le cadre d'un stage de master 2 (Duclos, 2007) à partir des données brutes acquises par Envision. Il est important de préciser que ce traitement des données par des logiciels spécifiques et des calibrages minutieux implique de travailler sur des secteurs réduits et représente un temps de travail considérable. Plusieurs mois à temps plein ont été nécessaires au stagiaire du BRGM pour traiter les données acoustiques des secteurs de la Baie de Fort de France et de Sainte Marie au Robert. Le temps et les moyens financiers disponibles pour notre projet, mais également la précision demandée dans le cahier des charges du projet, ne permettaient pas d'obtenir un tel niveau de précision. Il faut également noter que même avec un traitement plus approfondi comme celui réalisé par le BRGM, il demeure des zones d'incertitude et des erreurs importantes qui nécessitent des missions de vérification terrain de validation. En revanche, dans la continuité du projet de cartographie des biocénoses au 1/25 000^e, il pourrait être intéressant de continuer ce travail de retraitement des cartes à plus haute définition débuté par le BRGM, notamment dans le cadre d'études sur des secteurs précis du littoral martiniquais.

De même, dans un souci de précision des cartes et de détermination des marges d'incertitude, mais également de validation de l'information, il semble important de pouvoir mettre en place des échantillonnages aléatoires ou systématiques des points d'acquisition des données directes (vidéos, vérités terrain). Ce travail implique une logistique importante et coûteuse pour une réalisation à l'échelle globale de la Martinique et concerne davantage des études complémentaires sur des secteurs précis.

7 Synthèse et Conclusion

Trois cartes thématiques (substrats, biocénoses benthiques et états de santé) ont été élaborées pour répondre à des besoins de gestion et de protection du littoral de la Martinique. Une base de données importante sur les types de substrats et de biocénoses identifiés a été constituée à partir des informations collectées lors des sorties en mer (points de vérification et relevés vidéo). L'ensemble de ces informations constitue un SIG marin unique pour la Région Martinique.

La distribution des habitats marins sur le littoral de la Martinique est fortement dépendante de l'exposition à la houle : la côte atlantique est caractérisée par un système de récifs et de lagons avec des criques et des baies très envasées ; la côte caraïbe présente des récifs abrités et une bordure littorale plus régulière et moins découpée. Les baies de Fort de France et du Marin présentent dans des conditions de dégradation écologique équivalentes à ce qui est observé dans les fonds de baies atlantiques.

Les récifs coralliens de Martinique sont, dans l'ensemble, fortement colonisés par des macroalgues et du turf algal (80 % en mauvais état, dont 44 % très dégradés). Les récifs en bonne santé (19,1 %) avec une couverture algale limitée sont concentrés dans la zone nord, proche de la presqu'île de la Caravelle, et le long de la côte sud caraïbe, entre l'entrée de la baie du Marin et le Diamant. Toutefois, la variabilité inter-récif est très importante, et fortement associée à la présence de sources de pollution localisées. Une zone de récif à l'entrée sud de la baie de Fort de France montre également un taux de recouvrement corallien assez bon et une présence limitée de macroalgues.

Les communautés de fonds meubles, qui représentent la catégorie la plus importante du littoral (44 % des fonds entre 0 et 50 m), sont présentes sur des fonds vaseux et sableux des baies et criques les plus abritées (présence des terriers). Dans les secteurs où le sédiment est colonisé par un turf algal ras ou un film algal, certaines traces nettes de macrofaune sont visibles.

L'importance des cartes produites va permettre d'amorcer des réflexions beaucoup plus approfondies sur les orientations politiques d'aménagement des littoraux, à partir d'une connaissance détaillée des fonds marins jusqu'alors méconnus. Ces données vont également faciliter les travaux menés dans le cadre des projets de protection des milieux marins de la Martinique. L'outil cartographique global développé constitue un travail de référence à l'échelle du territoire de la Martinique. Une réflexion est menée aujourd'hui sur la combinaison des outils satellitaires et la correspondance avec les données cartographiques acoustiques, notamment pour développer des outils de suivi de l'évolution des communautés biologiques marines beaucoup plus rapide à mettre en œuvre et moins coûteux.

L'étude a été menée dans des conditions de mer inadéquates pour l'acquisition de standards hydrographiques, mais la qualité des données est adaptée à la cartographie des habitats marins. La présence d'artéfacts dans les jeux de données acoustiques est imputable aux conditions d'échantillonnage (ex : roulis du navire) ou aux artéfacts d'interpolation et aux retours d'échos aberrants dans les eaux peu profondes, qui n'ont pu être éliminés.

8 Utilisation des données et objectif

Les cartes présentées dans ce rapport ont été élaborées à des fins rédactionnelles. Les données utilisées pour produire ces cartes sont disponibles au format numérique et peuvent être visionnées et manipulées sous SIG.

Le but de cette étude était de produire des cartes des biocénoses et des substrats des fonds marins côtiers de la Martinique. Les méthodes et conditions d'acquisition des données ont été adaptées à cet objectif. Les jeux de données n'ont pas été collectés selon les standards hydrographiques ou de navigation et ne sont donc pas appropriés pour une telle utilisation.

9 Données supplémentaires et produits

Les produits suivants sont disponibles et accompagnent ce projet.

- Données SIG au format ArcView :
 - Substrat :
 - Couche « Substrat 0_7m »
 - Couche « Substrat 7_50m »
 - Biocénoses :
 - Couche « Biocenoses 0_7m »
 - Couche « Biocenoses 7_50m »
 - Etat de santé :
 - Couche « Verites terrain 0_7m »
 - Couche « Videos 7_50m » correspondant aux relevés faits par Envision
 - Couche « Complement videos 7_50m » correspondant à la campagne supplémentaire réalisée par l'OMMM.
 - Projet : document ArcMap « Cartographie marine Martinique » disponible avec classification par couleurs et symboles des différentes couches.
 - Divers : Zone échantillonnée, Localisation cartes 1/17 000^e, Données AGDS ...
- Base de données photo des vérités terrain réalisées pour la zone 0-7m. Les photos sont organisées dans des dossiers correspondant aux secteurs de travail définis (cartes au 1/17 000^e). Chaque photo est nommée suivant la carte et le numéro du point correspondants.
- Dossier « Cartes » répertoriant l'ensemble des cartes présentées dans le rapport en format jpeg.
- Base de données vidéo contenant l'intégralité des séquences vidéo de la campagne réalisée par Envision et de la campagne complémentaire de l'OMMM. Un dossier contenant également plusieurs captures d'images pour chaque relevé vidéo de la campagne Envision sont disponibles pour une visualisation rapide.
- Grilles bathymétriques à la résolution 5 m disponibles sous la forme de fichiers geotiffs ou grd.
- Mosaïques du sonar latéral disponibles sous la forme de fichiers geotiffs ou grd.

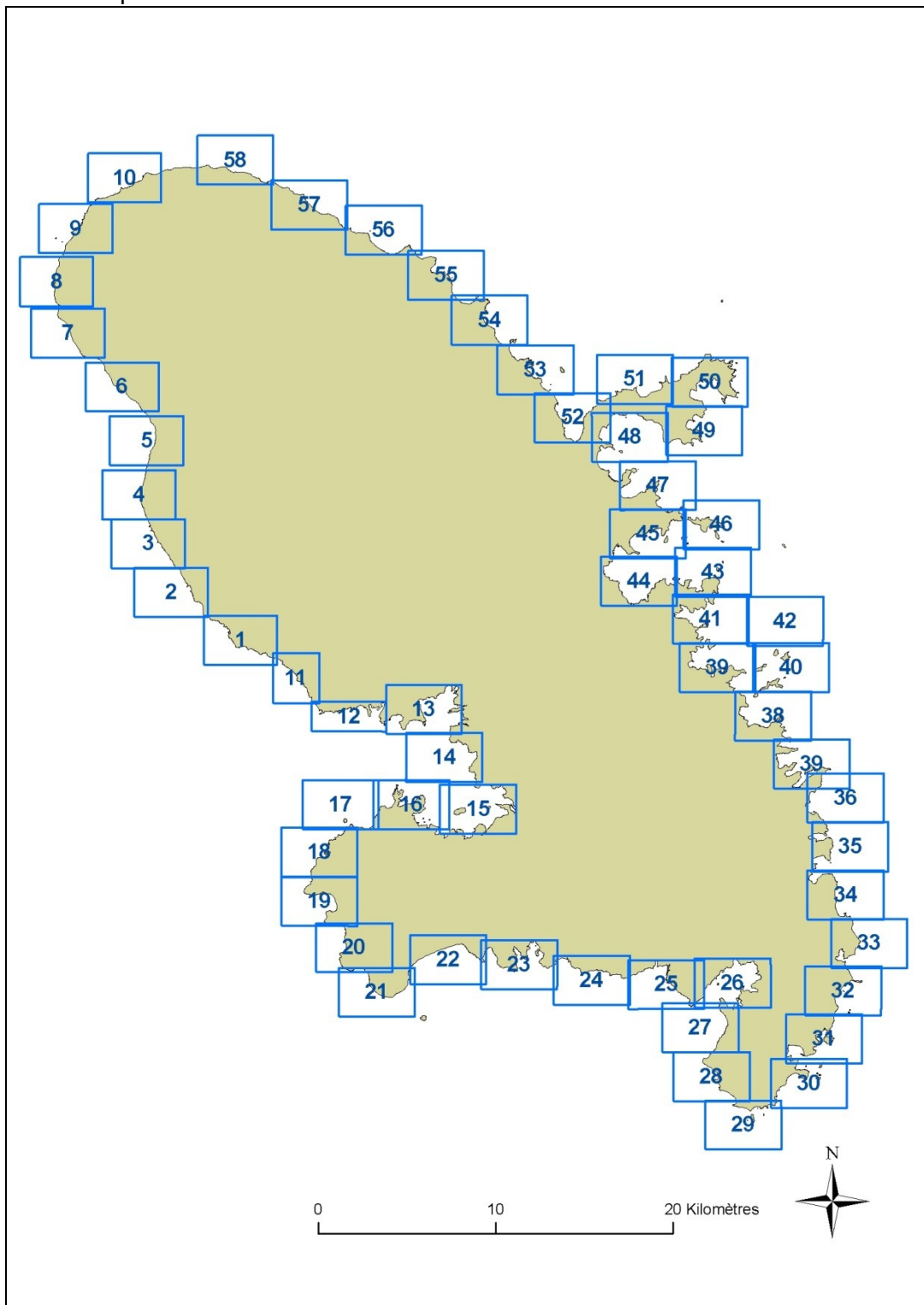
10 Références

- Adey W. H., Adey P. J., Burke R., Kaufmann L. 1977. The Holocene reef systems of Eastern Martinique, French West Indies. *Atoll Research Bulletin* 218: 1-40.
- Augris C., Durand F., Chauvaud S. Mazé, J-P. 2000. Carte des formations superficielles du plateau insulaire de la Martinique. Editions IFREMER.
- Battistini R. 1978. Les récifs coralliens de la Martinique. Comparaison avec ceux du sud-ouest de l'océan Indien. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.* 16(2): 157-177.
- Bell P. R. F. 1992. Eutrophication and coral reefs: some examples in the Great Barrier Reef lagoon. *Water Research* 26:553-568.
- Bouchon C. & Laborel J. 1986. Les peuplements coralliens des côtes de la Martinique. *Ann. Inst. Océanogr., Paris* 62(2): 199-237.
- Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Louis M. 2003. Manuel technique d'étude des récifs coralliens de la région Caraïbe. UAG.
- Bouchon C., Bouchon-Navaro Y. & Louis M. 2004. Critères d'évaluation de la dégradation des communautés coralliennes dans la région Caraïbe. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)* 59 :113-121.
- Caribbean Coastal Marine Productivity Program (CARICOMP). 2001. CARICOMP methods manual, levels 1 and 2. Manual of methods for mapping and monitoring of physical and biological parameters in the coastalzone of the caribbean.
- Chauvaud S. 1997. Cartographie par télédétection à haute résolution des biocénoses marines côtières de la Guadeloupe et de la Martinique. Estimation de la biomasse et de la production primaire des herbiers à *Thalassia testudinum*. *Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale*.
- Chassaing J-P., Delplanque A. & Laborel J. 1978. Coraux des Antilles Françaises. *Rev. Fr. Aquariol.*, 5: 57-84.
- Done T. J., Ogden J. C., Wiebe W. J., Rosen B. R. 1996. Biodiversity and ecosystem function of coral reefs. Pages 393-429 in H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E.-D. Schulze, editors. *Functional roles of biodiversity: a global perspective*. John Wiley, New York, New York, USA.
- Dubinsky Z. (Ed.) 1990. Coral reefs. *Ecosystems of the world*. Vol. 25. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam. 550 p.
- Duclos P-A. 2007. Etude et cartographie morphosédimentologique du domaine sous-marin côtier de la Martinique. Mémoire d'Ingénieur Géologue, Institut Polytechnique LaSalle Beauvais. 63p
- Foster-Smith R.L., Brown C.J., Meadows W.J. and Rees I. 2001. Procedural Guideline 1-3 Seabed mapping using acoustic ground discrimination interpreted with ground-truthing. *Marine Monitoring Handbook*, 183-197.
- Foster-Smith R.L., Davies J. and Sotheran I. 2000. BROADSCALE remote survey and mapping of sublittoral habitats and biota: Technical report of the BROADSCALE Mapping Project. *Scottish Natural Heritage, Research, Survey and Monitoring Report* No. 167.
- Foster-Smith R.L. and Sotheran I.S. 2003. Mapping marine benthic biotopes using acoustic ground discrimination systems. *International Journal of Remote Sensing* 24 : 2761-2784.
- Gardner T.A., Côté I.M., Gill J.A., Grant A, Watkinson A.R. 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301:958-960.
- Hill J. and Wilkinson C. 2004. Methods for ecological monitoring of coral reefs : A resource for managers. *Version 1. Australian institute of Marine Science (AIMS)*. Townsville, Australia.
- Hughes T. P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265(5178): 1547-1551.
- Impact-Mer. 1998. Dossier de création de la réserve naturelle marine de la Baie du Trésor. *Rapport DIREN*.

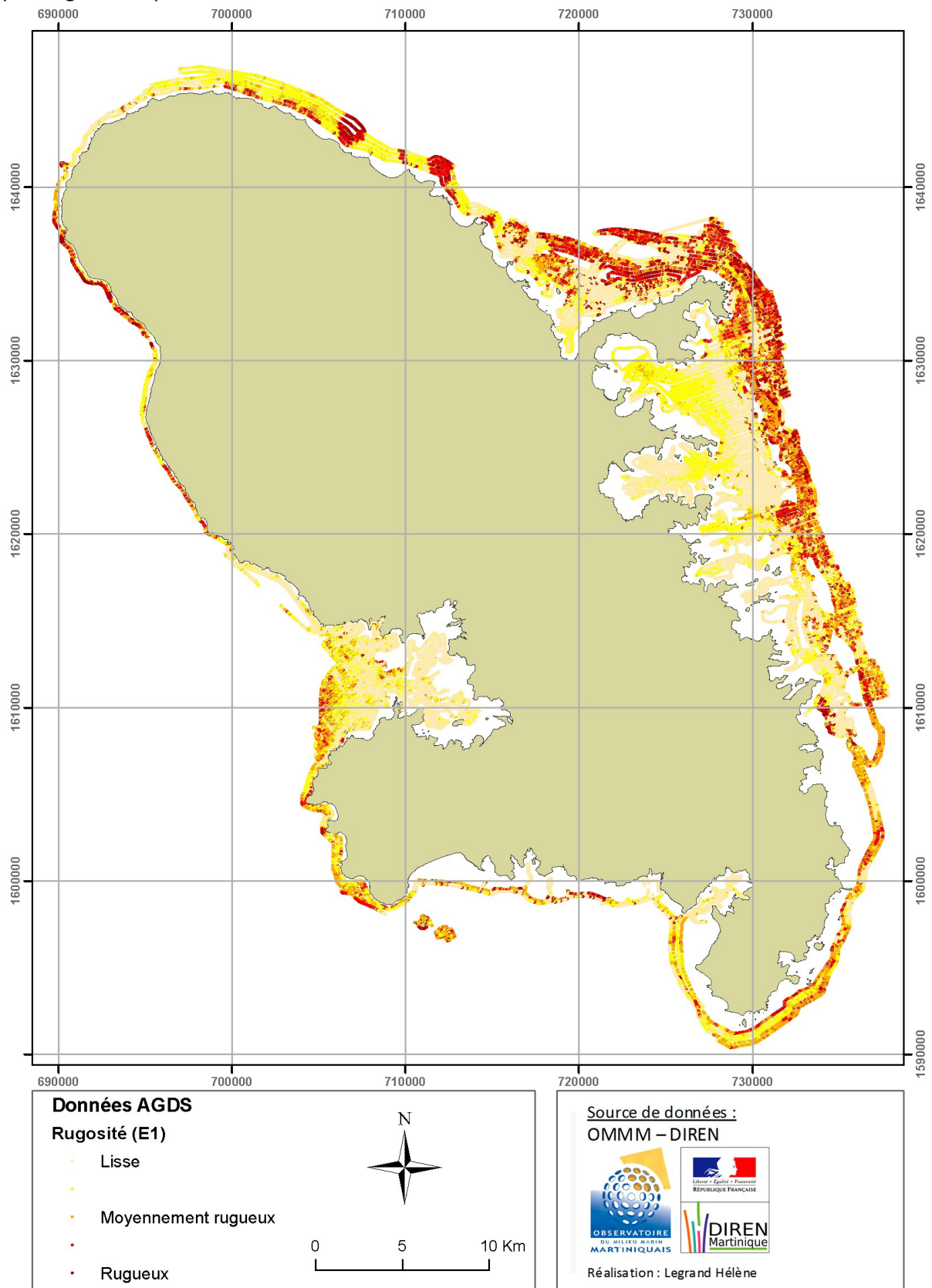
- Impact-Mer. 2001. Cartographie des biocénoses marines benthiques du cul-de-sac du Marin, Martinique. *Rapport DIREN*.
- Impact-Mer. 2005. Réalisation d'une base de données cartographiques des biocénoses marines et informations associées : application à la Baie du Robert. *Rapport DIREN*.
- Laborel J. 1982. Formations coralliennes des Antilles Françaises. *Oceanis* 8(4) : 339-354.
- Laborel J., Laborel-Deguen F., Vacelet J., Bouchon C., Bouchon-Navaro Y., Philipot V., Louis M. & Lamy D. (eds) 1984. Mission CORANTILLES II sur les côtes de la Martinique, du 18 décembre 1983 au 6 janvier 1984. *Corema, UAG, Université d'Aix-Marseille II*.
- OMMM. 2006. Suivi de l'état de santé des récifs coralliens de la Martinique, campagne 2005. 62pp.
- Spalding M. D., Ravilious C., Green E. P. 2001. *World Atlas of Coral Reefs*. University of California Press.
- Smith A.H., Rogers C., Bouchon C. 1996. Status of Western Atlantic Coral reefs in the Lesser Antilles. *Proceedings of Eighth International Coral Reef Symposium* (Panama City, 1997) 1 : 351-356.
- Sothoran I.S., Foster-Smith R.L. and Davies J. 1997. Mapping of marine benthic habitats using image processing techniques within a raster-based geographic information system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44 : 25-31.
- Wilkinson C. 1998. Status of coral reefs of the world : 1998, GCRMN, ICRI, AIMS: 147p.
- Yonge C. M. 1972. Aspects of productivity in coral reefs. Pages 1-12. in *Proceedings of the First International Symposium on Corals and Coral Reefs* (India, 1969).

11 Annexes

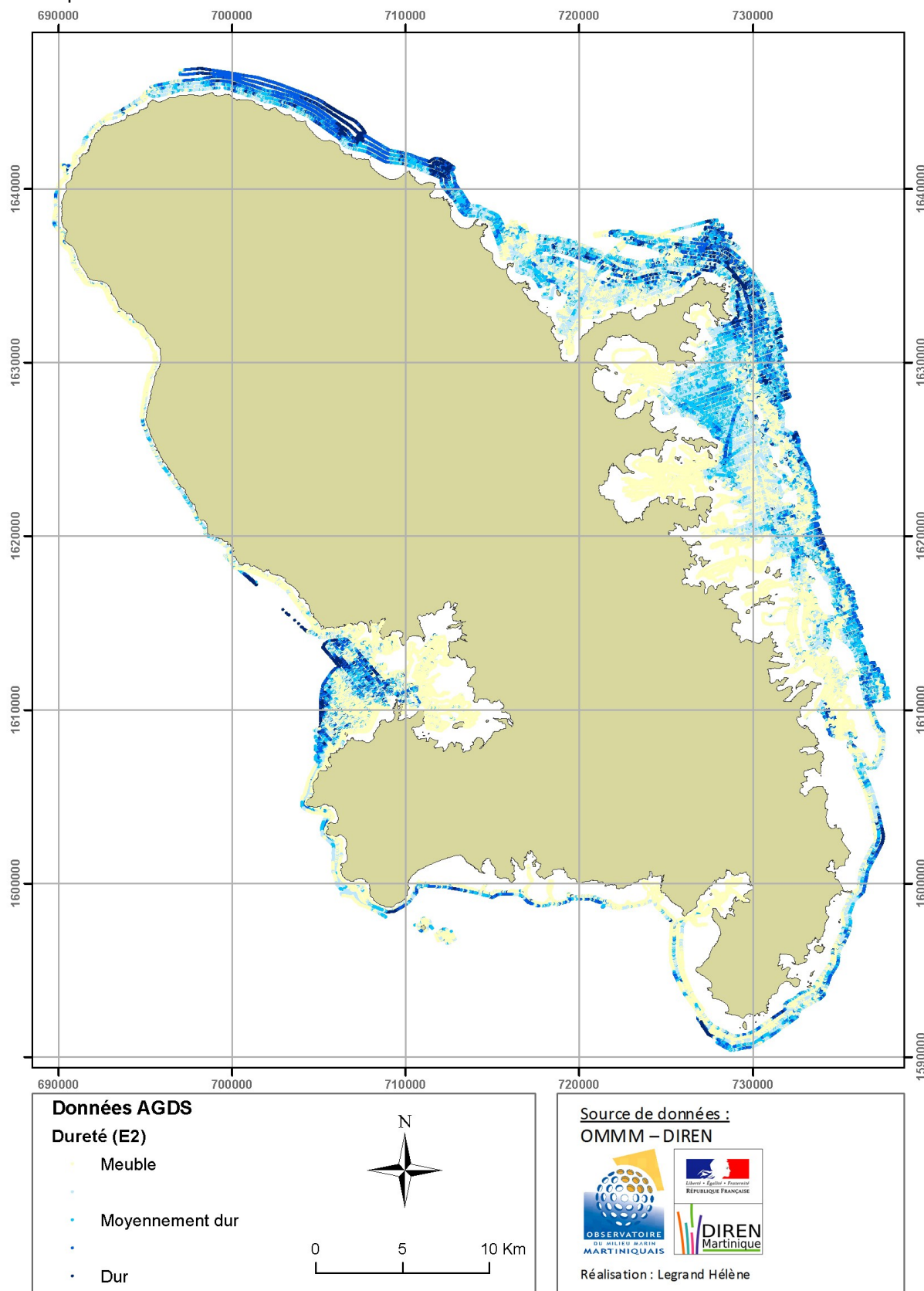
Annexe 1. Localisation des 58 secteurs d'étude (cartes au 1/17 000^e) répartis le long du littoral martiniquais.



Annexe 2. Représentation des valeurs E1 (rugosité) acquises par le système RoxAnn sur l'ensemble de la zone d'étude en Martinique. Les données sont représentées selon une gamme de couleurs du plus rugueux au plus lisse. Année 2006.



Annexe 3. Représentation des valeurs E2 (dureté) acquises par le système RoxAnn sur l'ensemble de la zone d'étude en Martinique. Les données sont représentées selon une gamme de couleurs du plus dur au plus meuble. Année 2006.



Annexe 4. Paramètres utilisés dans *Surfer™* pour le calibrage de l'interpolation appliquée aux données brutes RoxAnn.

- un carré de 25m pour la grille finale,
- un algorithme de distance inverse avec pondération sur le barycentre de valeur 2,
- une recherche des points dans un rayon de 1000m pour éviter un « trou » dans la couverture,
- une recherche sur 4 secteurs, avec un maximum de 16 valeurs par secteur,
- absence de lissage, coefficient à 0.

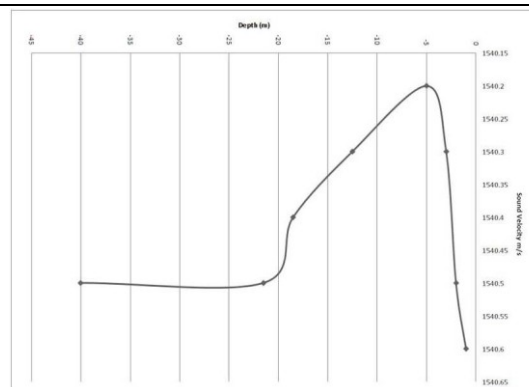
Annexe 5. Calibrage des paramètres pour le traitement des données sonar interférométrique.

Calibrage des mouvements du navire

Un navire soumis à la houle lors d'une campagne d'échantillonnage subit trois types de mouvements : la latence, le roulis et le tangage. La procédure pour effectuer le calibrage de ces paramètres suppose que le navire se déplace le long de lignes au dessus d'un fond marin relativement lisse et présentant une pente (comme le long d'une côte). La longueur de ces lignes de navigation dépend des fonds marins, même si les recommandations des fabricants précisent qu'elle doit être inférieure à 500m.

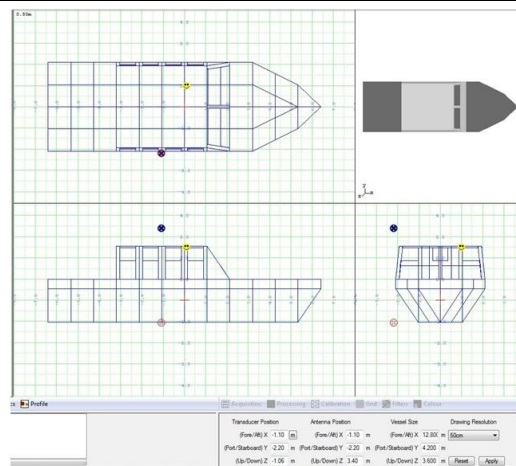
Célérité de l'environnement aquatique

Les vitesses de son de la colonne d'eau ont été mesurées grâce à un célérimètre DigiBar Pro de Odom Hydrographic Systems. Six sites ont été échantillonnés sur l'ensemble de la zone d'étude ; un exemple des données obtenues est présenté dans le graphique ci-contre. Ces données ont été utilisées lors du traitement des données bathymétriques afin de compenser les différences de vitesse de son de la colonne d'eau.



Géométrie du système d'acquisition

Les paramètres physiques du navire, les positions de l'antenne GPS et des capteurs acoustiques ont été relevés puis utilisés lors du traitement des données bathymétriques afin de compenser toute erreur géométrique ou paramétrique. Les mêmes paramètres ont été utilisés pour la seconde campagne pour exclure les erreurs due à des variations entre les paramètres. Une copie de la feuille de campagne du bateau est présentée ci-contre.



Données de marées

Les marées étant négligeables dans la zone (<50cm), aucune correction de marées n'a été appliquée aux données.

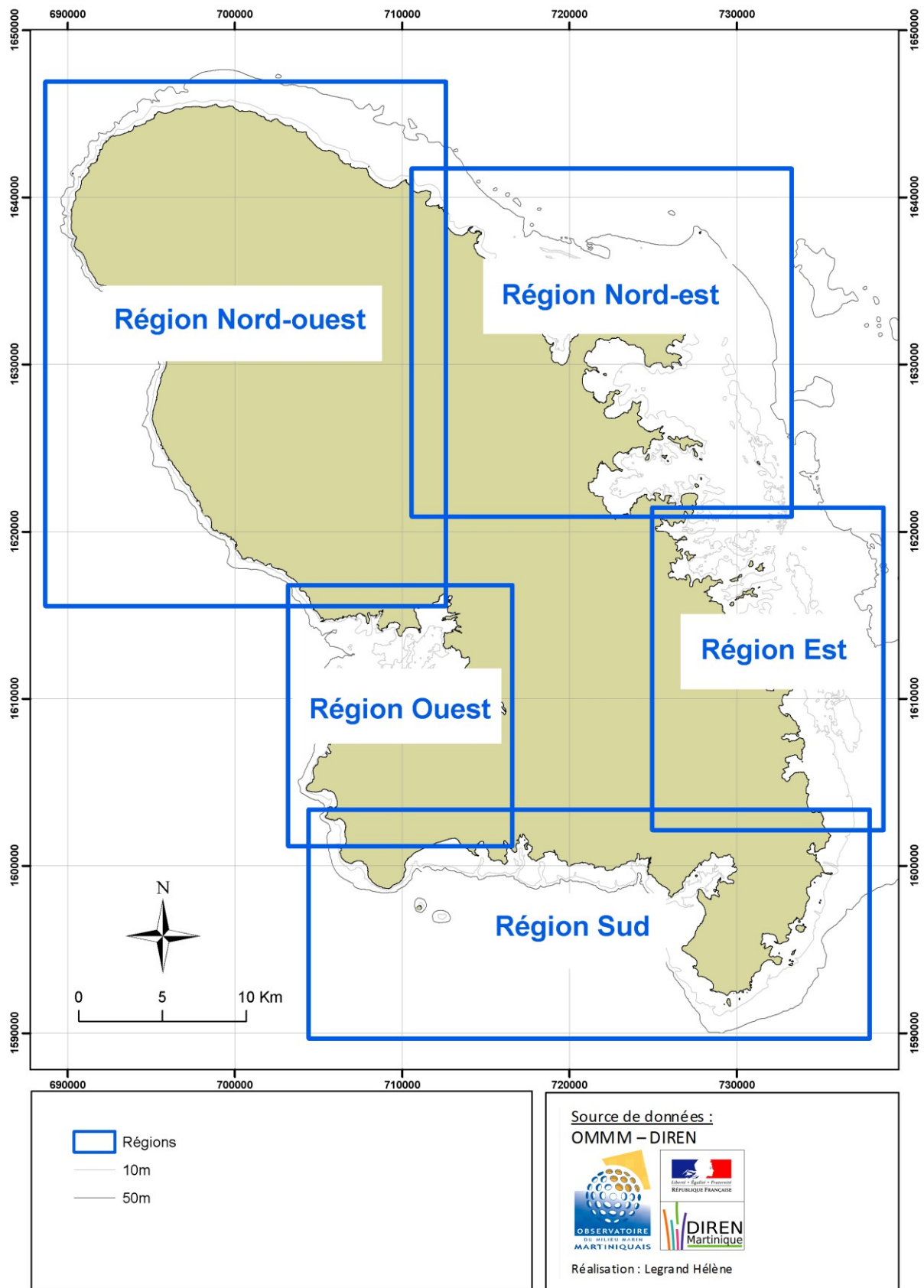
Annexe 6. Types de biocénoses identifiés par Envision et leur correspondance avec les catégories de l'étude.

Biocénoses Envision	Description des biocénoses	Biocénoses correspondantes
Turf algal	Algues filamenteuses jusqu'à 10 mm de haut	Communauté algale
Macroalgues	Algues molles de plus de 10mm de haut	Communauté algale
Turf algal et macroalgues	Présence de turf algal et de macroalgues	Communauté algale
Film algal	Film ou tapis algal présent en surface du sable	Communauté algale
Herbier	Tout herbier présent, des patches diffus aux surfaces denses.	Herbiers de phanérogames
Algues et herbier	Herbier associé à du turf, des macroalgues ou du film algal	Herbiers de phanérogames
Faune endogée	Terriers dans le sable	Communauté de fonds meubles nus
Récif	Structure récifale intacte avec présence de coraux, gorgones et éponges	Communauté corallienne
Récif en patch	Récif en patches isolés entrecoupés par des zones de sable	Communauté corallienne
Récif à éperons et sillons	Récif caractérisé par ses formations en éperons et sillons	Communauté corallienne
Récif dégradé	Structure récifale toujours apparente mais couverture en corail et gorgones en déclin montrant souvent des signes de maladies ou de mortalité. Invasion par les macroalgues ou couverture en éponges en hausse etc.	Communauté corallienne
Récif en patch dégradé	Comme pour le récif dégradé mais en patches	Communauté corallienne
Récif à éperons et sillons dégradé	Comme pour le récif dégradé mais en formation éperons et sillons	Communauté corallienne
Sable nu	Aucun signe de biocénose sur le sable	Communauté de fonds meubles nus

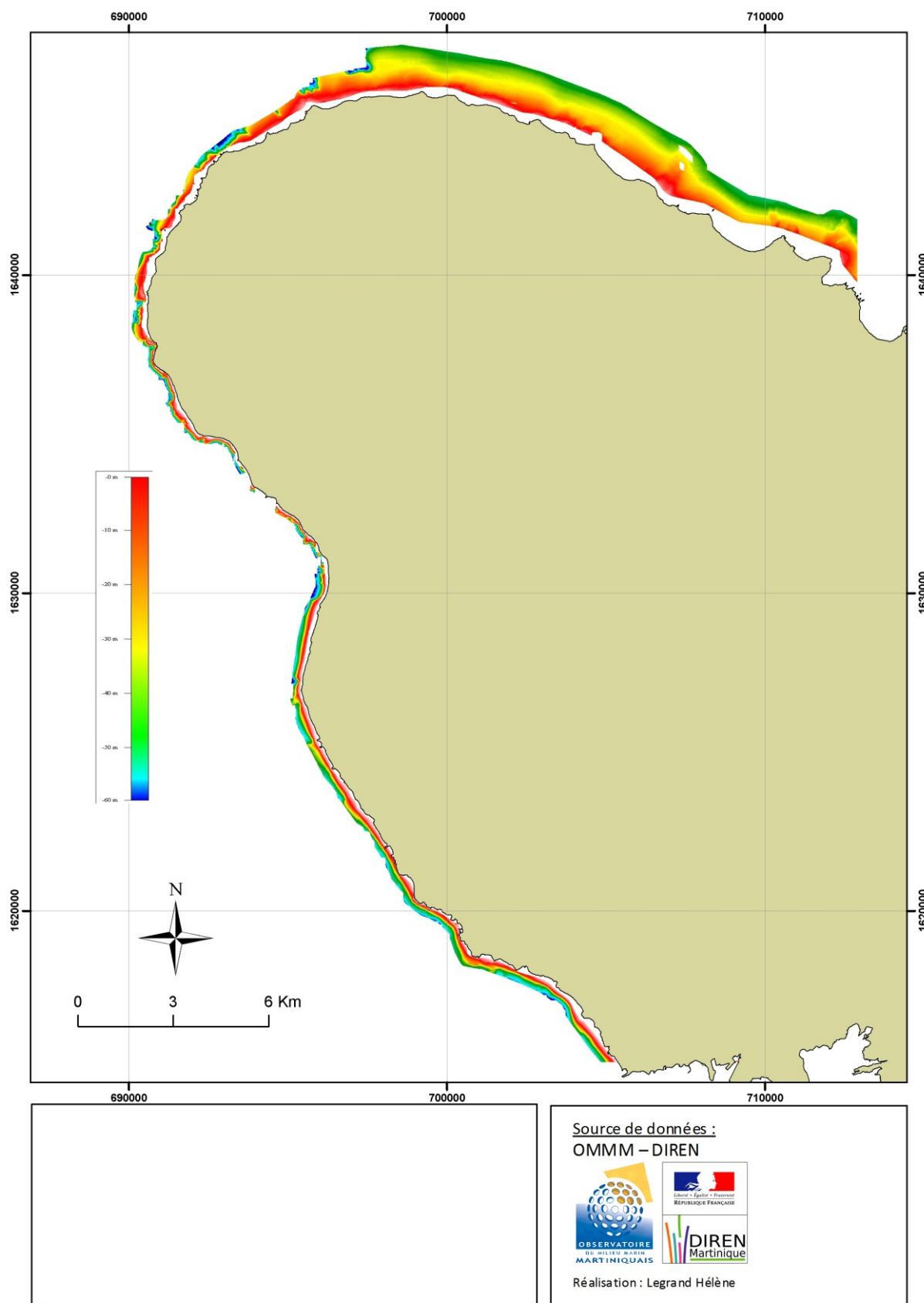
Annexe 7. Types d'habitat (substrat) identifiés par Envision et leur correspondance avec les catégories de l'étude.

Substrats	Description des substrats	Substrats correspondants
Sable	Sable plat, pas de rides	Sable
Sables avec rides	Sable avec présence de rides	Sable
Sable envasé	Sables fins mis en suspension par la camera	Sablo-vaseux
Sable et Roche	Zones de substrat rocheux entrecoupées par des zones de sable	Sable et Roche/Corail
Sable avec rides et Roche	Zones de substrat rocheux entrecoupées par des zones de sable avec rides	Sable et Roche/Corail
Roche	Socle rocheux, roches sur sédiment ou structure récifale	Roche
Gravats inconsolidés / Roches sur sable	Substrat inconsolidé (gravats ou roches) sur sable	Détritique
Gravats consolidés	Gravats colonisés indiquant un manque de mouvement	Détritique

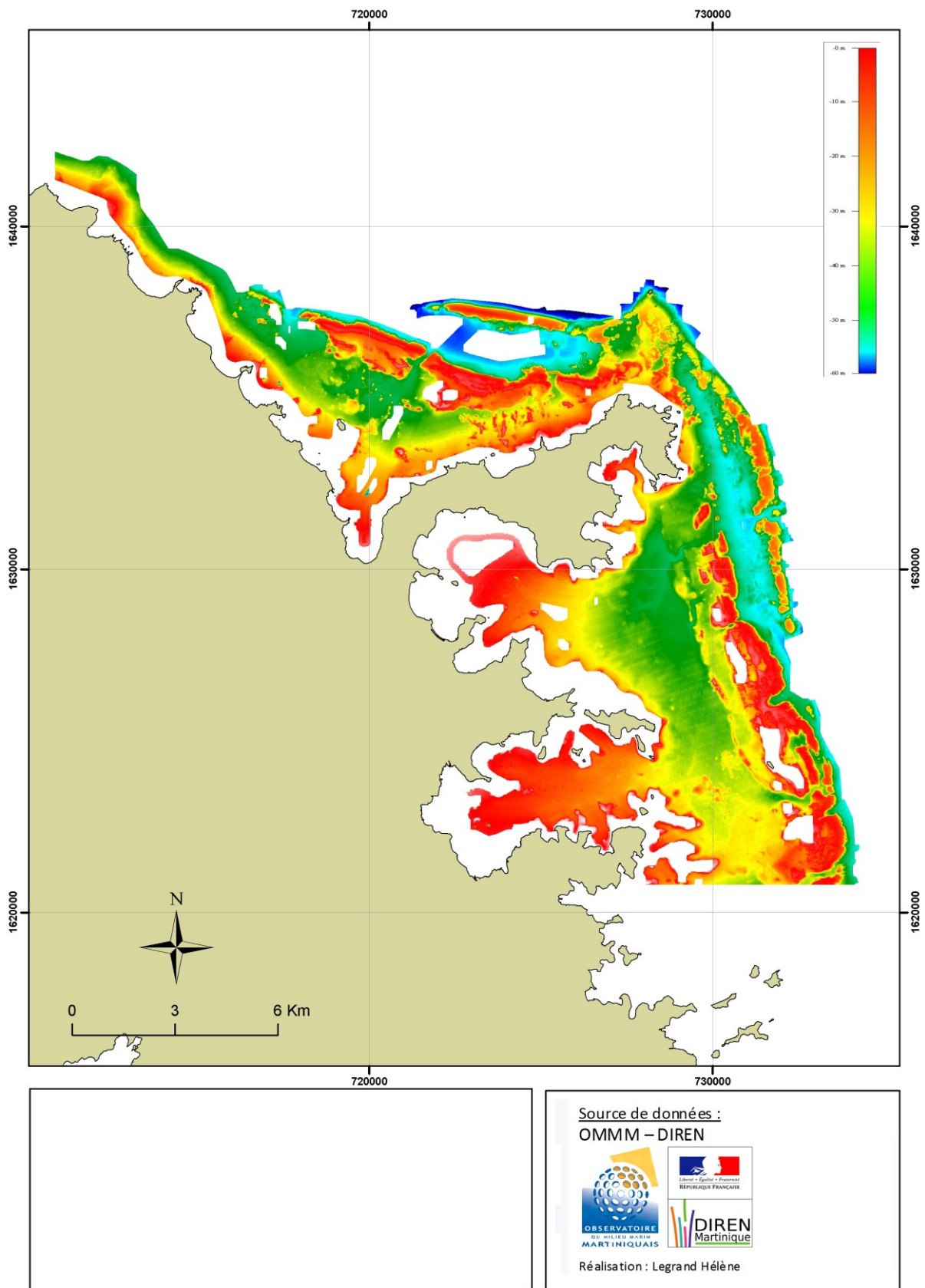
Annexe 8. Régions définies pour la réalisation des cartes bathymétriques et sonar latéral.



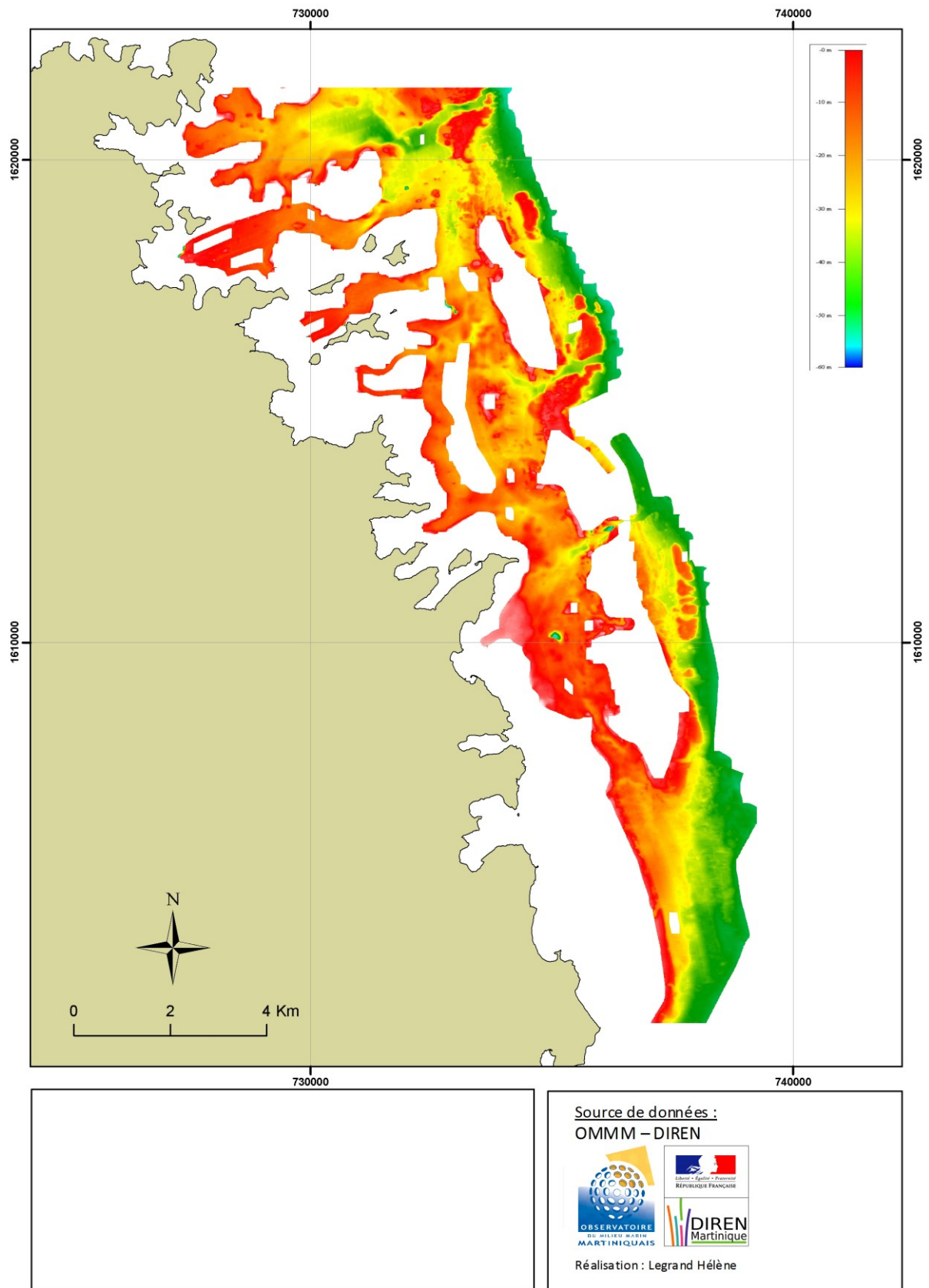
Annexe 9. Profil bathymétrique de la région nord-ouest de la Martinique. Année 2006.



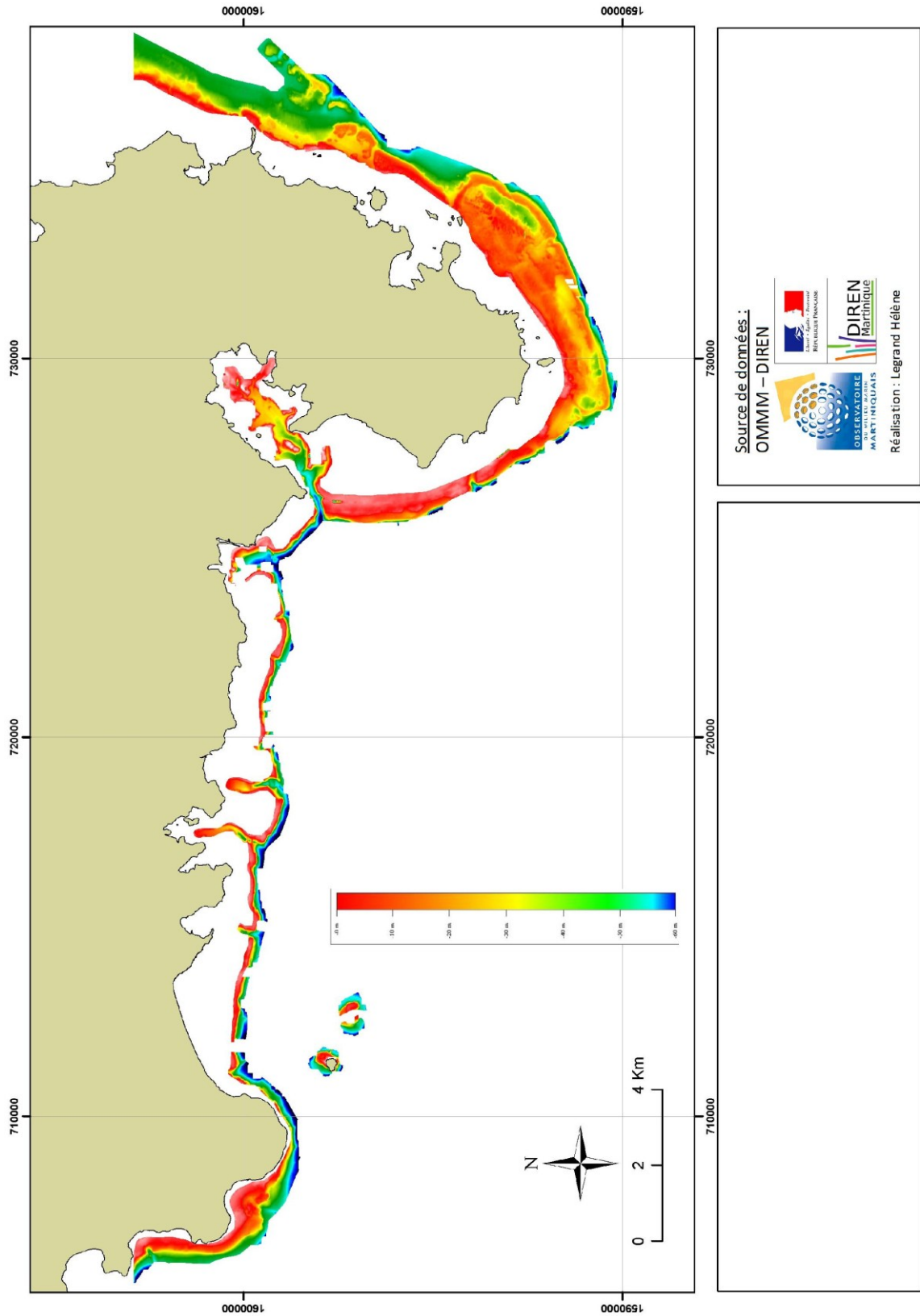
Annexe 10. Profil bathymétrique de la région nord-est de la Martinique. Année 2006.



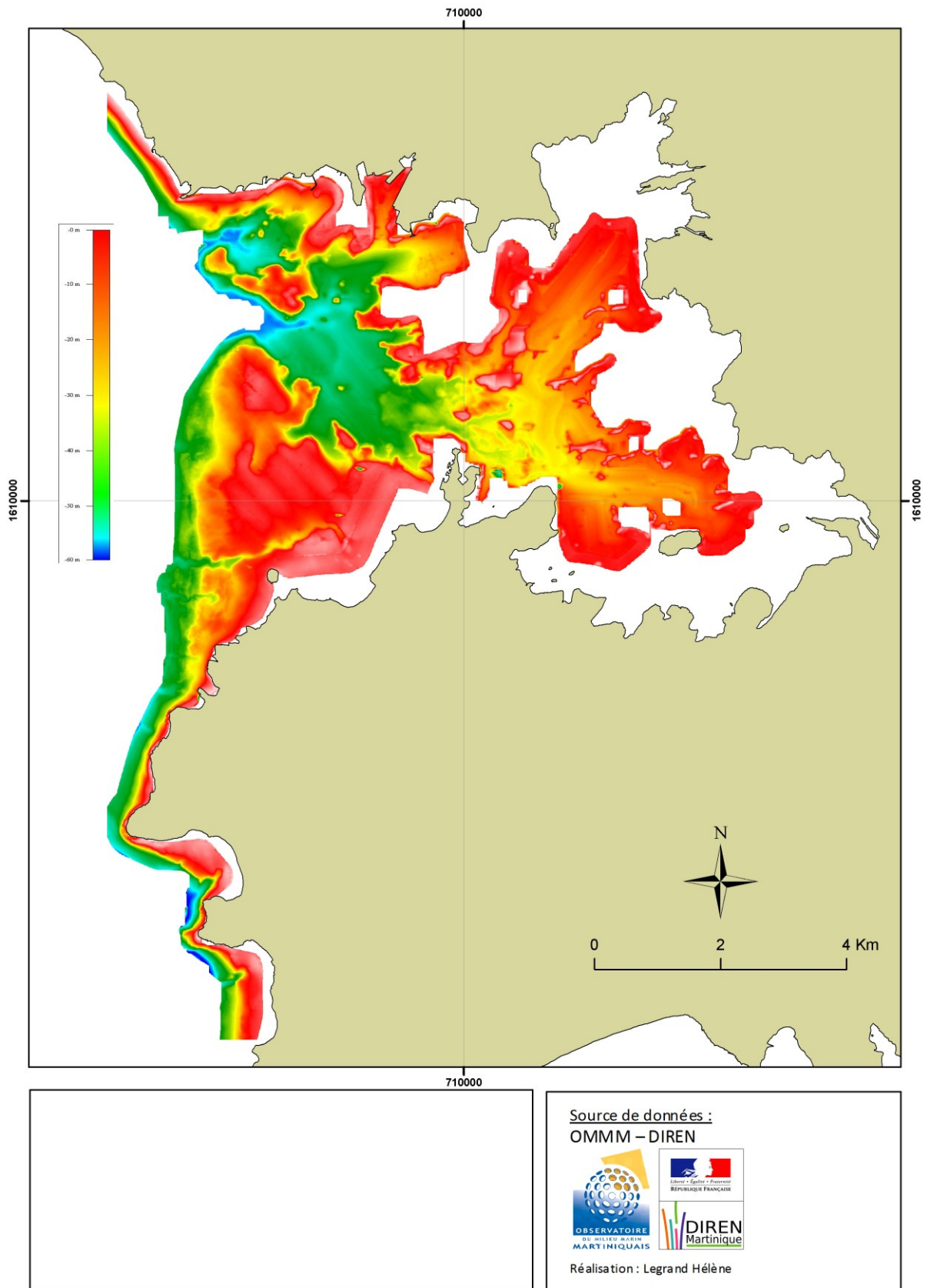
Annexe 11. Profil bathymétrique de la région est de la Martinique. Année 2006.



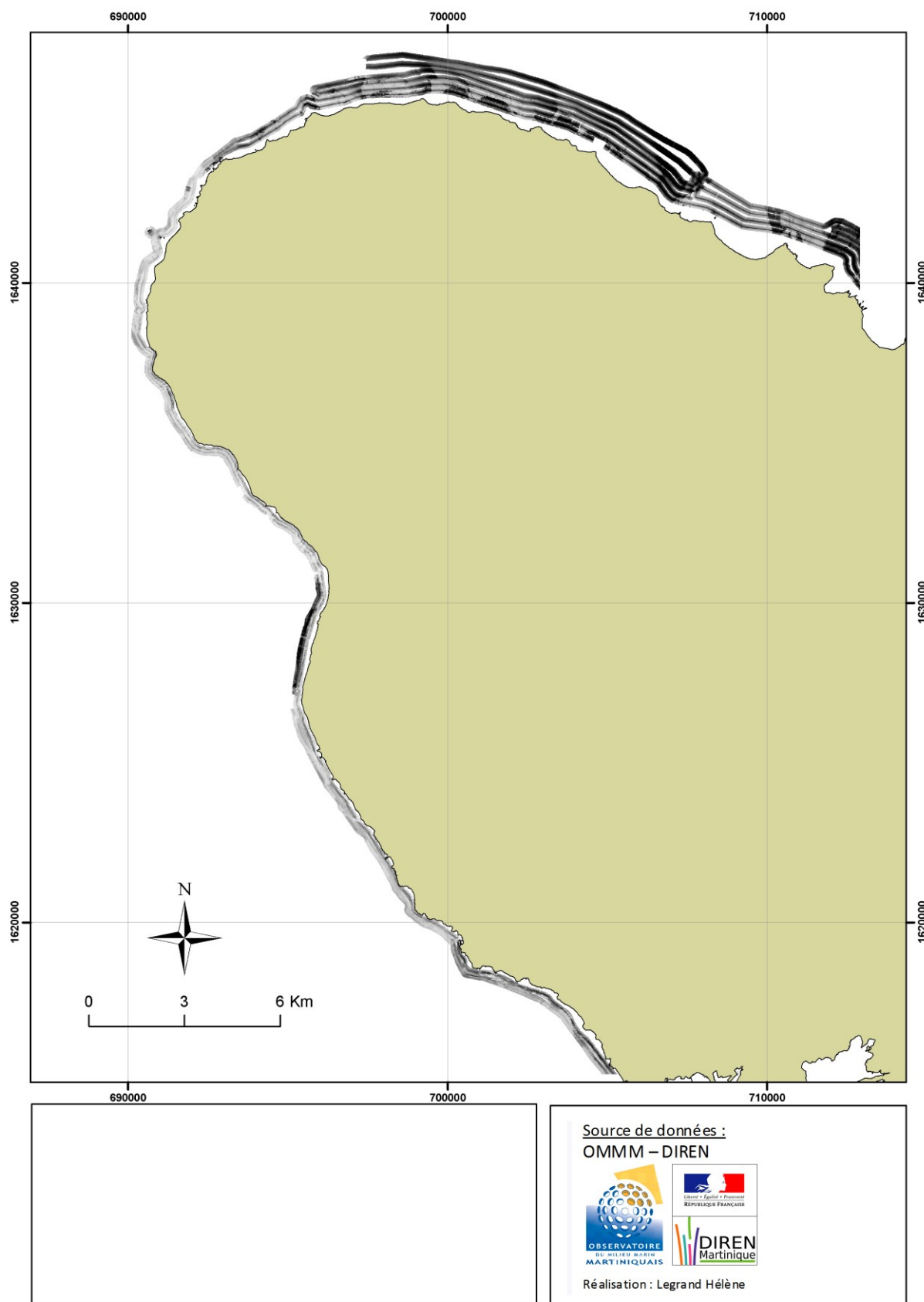
Annexe 12. Profil bathymétrique de la région sud de la Martinique. Année 2006.



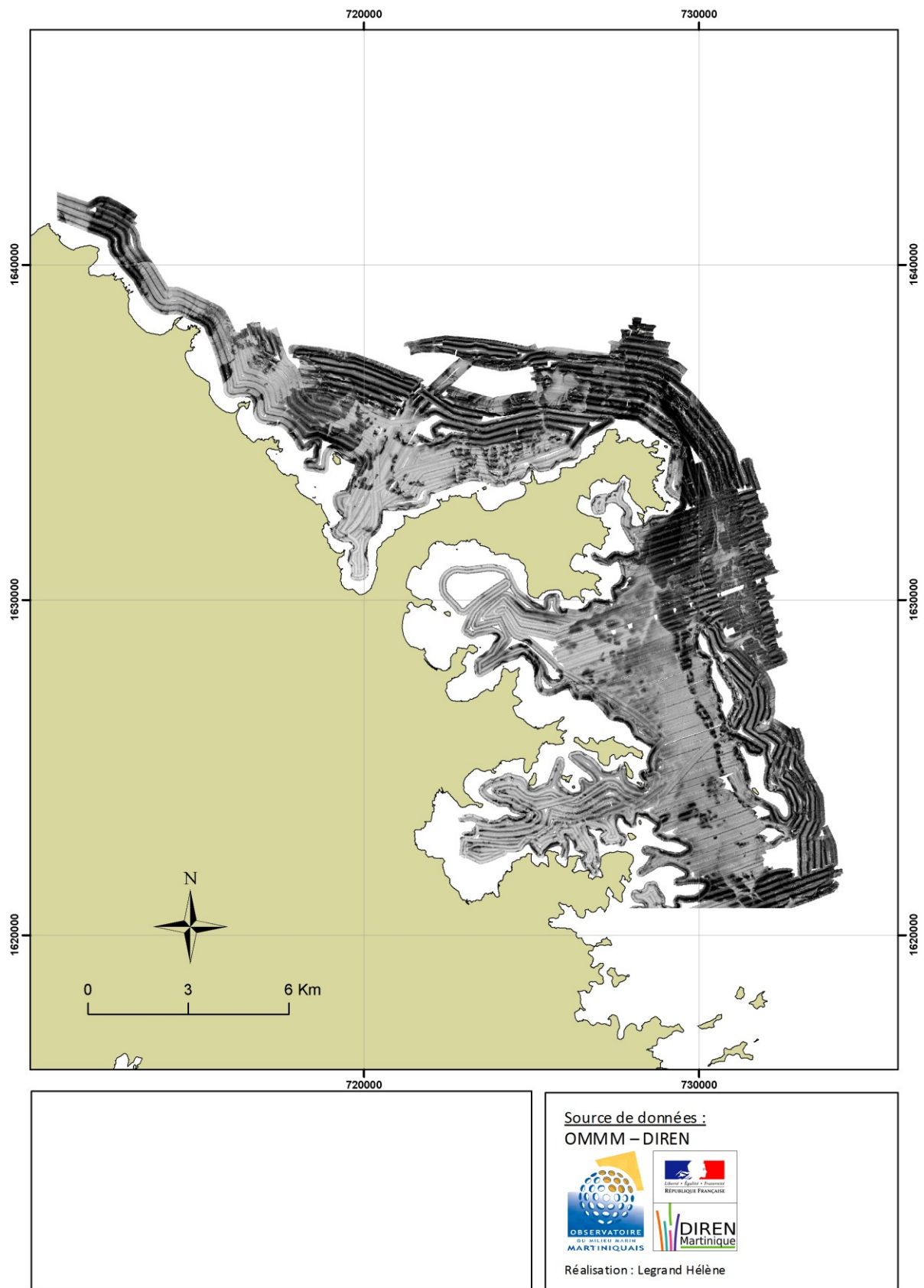
Annexe 13. Profil bathymétrique de la région ouest de la Martinique. Année 2006.



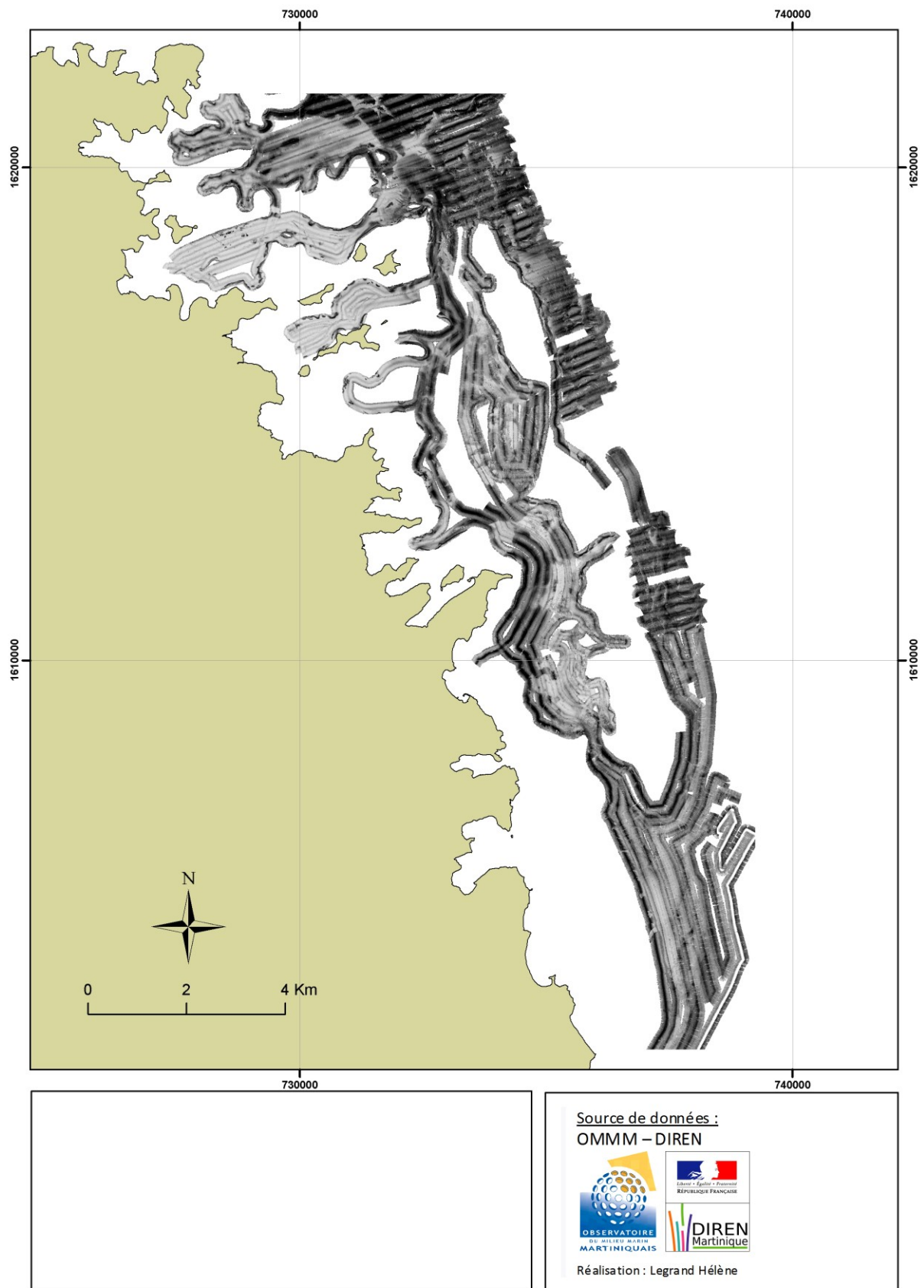
Annexe 14. Mosaïques du sonar latéral de la région nord-ouest de la Martinique. Année 2006.



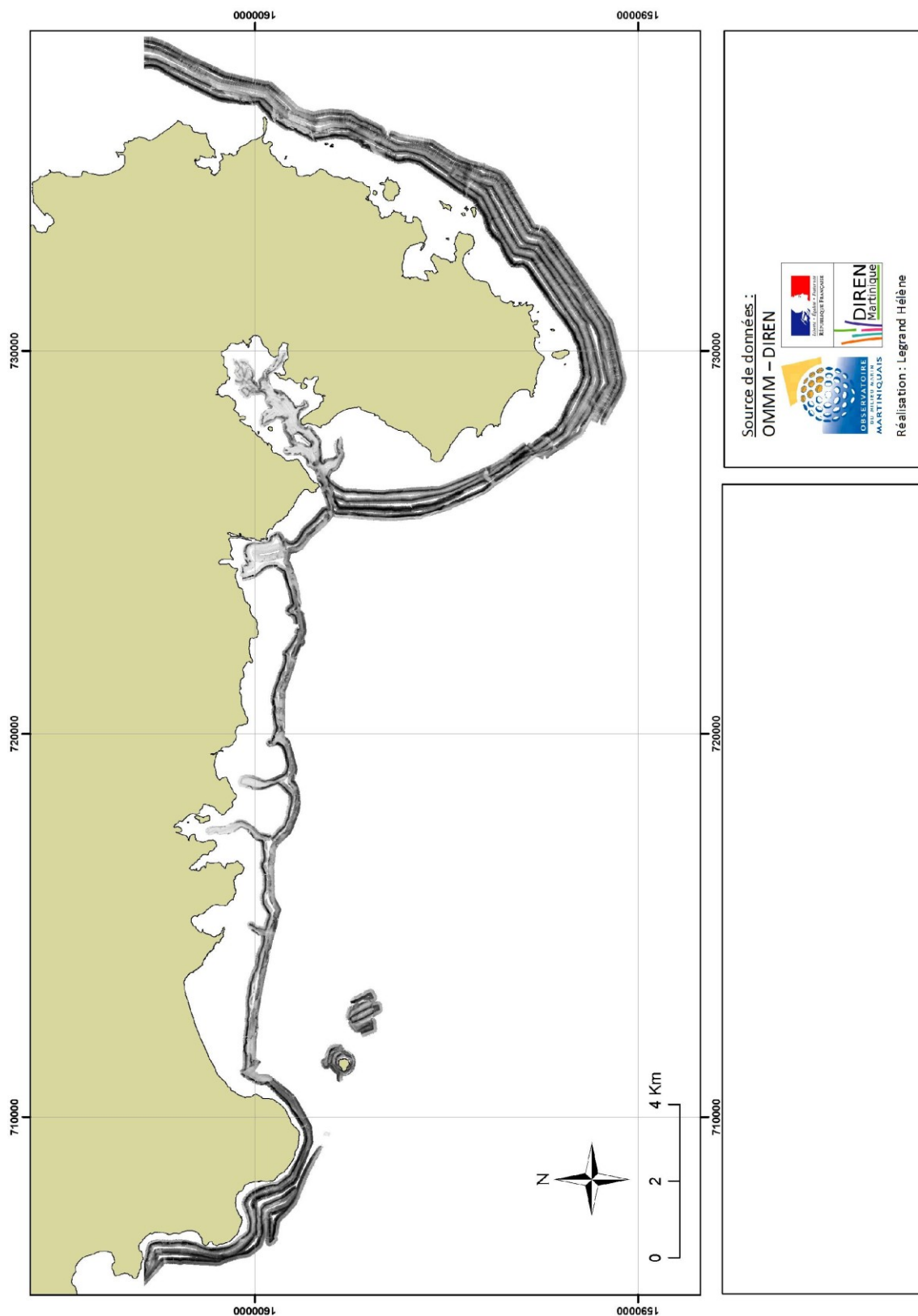
Annexe 15. Mosaïques du sonar latéral de la région nord-est de la Martinique. Année 2006.



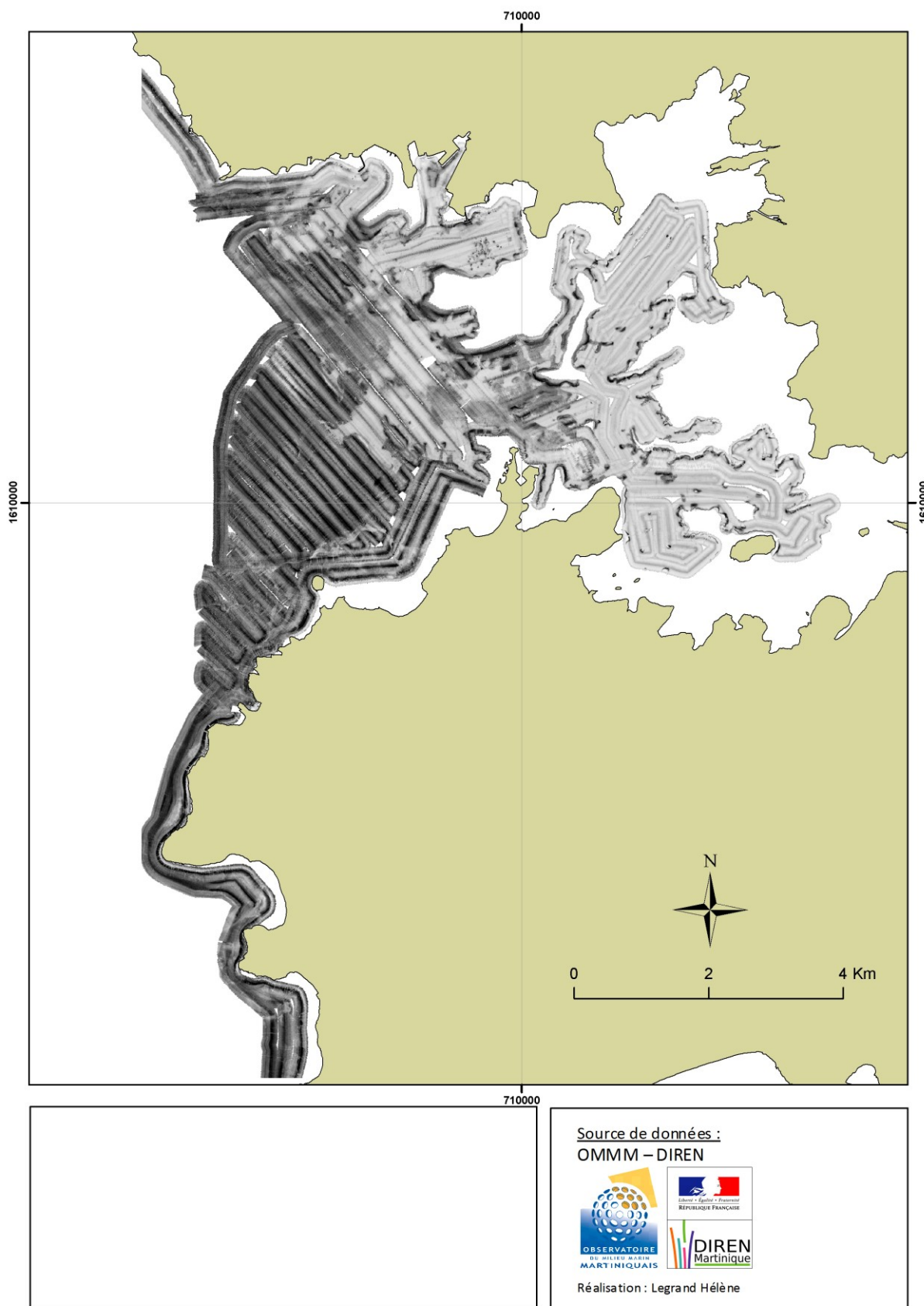
Annexe 16. Mosaïques du sonar latéral de la région est de la Martinique. Année 2006.



Annexe 17. Mosaïques du sonar latéral de la région sud de la Martinique. Année 2006.



Annexe 18. Mosaïques du sonar latéral de la région ouest de la Martinique. Année 2006.





ommm.org

L'Observatoire du Milieu Marin Martiniquais



Observatoire du Milieu Marin Martiniquais

3 avenue Condorcet
97200 Fort de France
Tél. 33(0)5 96 71 96 42
Fax. 33(0)5 96 39 42 16

www.ommm.org

Contact : ommm@wanadoo.fr



**Direction Régionale de l'Environnement
Martinique**

Immeuble Massal
4 Bvd de Verdun
97200 Fort de France
Tél. 33(0)5 96 71 30 05
Fax. 33(0)5 96 71 25 00

www.martinique.ecologie.gouv.fr

