

Etude préliminaire à un programme « BATHYLAG »

Rapport final

BRGM/RP-54560-FR
avril 2006



Etude préliminaire à un programme « BATHYLAG » Inventaire des données existantes, propositions des secteurs à lever et des moyens à la mer.

Rapport «final

BRGM/RP-54560 -FR
avril 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2005 06LITC01

Y. DE LA TORRE, D. IDIER

Vérificateur :

Nom : P. GUENNOC

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : Ph. ROUBICHOU

Date :

Signature :

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Collectivité Territoriale de Mayotte



Mots clés : BATHYLAG, Bathymétrie, Courantologie, Données marines, Inventaire, Lagon, Lidar, Mayotte, Sédimentologie, Sondeur multifaisceaux.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

DE LA TORRE Y., IDIER D. (2006) – Etude préliminaire à un programme BATHYLAG, inventaire des données existantes, des secteurs à lever et des moyens à la mer. BRGM/RP54560-FR, 43 p., 14 ill., 7 ann.

Synthèse

Le lagon de Mayotte a été très étudié depuis maintenant plus de 50 ans mais force est de constater que certaines données marines de référence font aujourd'hui toujours défaut et pénalisent largement les scientifiques, gestionnaires et par voie de conséquence les utilisateurs du milieu littoral et lagonaire dans leurs activités.

Cette étude a pour objectif de faire le point sur les données marines existantes dans le lagon (bathymétrie, courantologie et nature des fonds) et de proposer des levés complémentaires dans le cadre d'une reconnaissance détaillée et complète du lagon.

Elle est cofinancée par la Collectivité Départementale de Mayotte et la dotation de Service Public du BRGM selon la convention en date du 13 juillet 2005.

Les applications et besoins en terme de données bathymétriques, courantologiques et de nature des fonds sont nombreux. En effet, ces « données de base » sont nécessaires pour évaluer et prévenir les risques littoraux (érosion, submersion, pollution), pour prévoir les rejets d'effluents dans le lagon, pour dimensionner les aménagements côtiers et sous-marins, pour améliorer la connaissance des biotopes pour la pêche et la préservation des espaces et espèces marines remarquables, etc.

Basés sur une large enquête, les résultats de l'inventaire montrent que si les levés hydrographiques du SHOM couvrent la quasi-totalité du lagon, leur précision est souvent insuffisante pour les applications précitées. Des levés ont été réalisés localement par Bambou Exploration à une meilleure résolution. Quelques modèles courantologiques locaux 2D et 3D ont été développés mais il n'existe pas à l'heure actuelle de modèle global simulant le déplacement des masses d'eau sur l'ensemble du lagon. Enfin, les données cartographiques de nature des fonds se limitent à la partie Nord-Est du lagon.

Sur la base des données existantes, une première phase de modélisation courantologique à l'échelle du lagon (modèle 2DH) peut être envisagée.

Dans l'hypothèse où les besoins de levés complémentaires seront confirmés par les gestionnaires, un programme important d'acquisition de données de référence peut être élaboré et plusieurs scénarios sont possibles en fonction des techniques utilisées. Un premier scénario prévoit la réalisation d'un levé aéroporté par système laser LIDAR comprenant la topographie de l'ensemble de l'île et la bathymétrie des fonds du lagon jusqu'à une vingtaine de mètres de profondeur, ou plus selon les conditions locales. Un levé de bathymétrie SMF sera ensuite réalisé sur les fonds plus importants et plus aisément navigables. Un second scénario peut-être composé d'un levé bathymétrique des fonds marins seuls au sondeur multifaisceaux avec des difficultés de levés importantes dans les petits fonds. Les données d'imagerie recueillie serviront ensuite de base à une cartographie morpho-sédimentologique qui impliquera des contrôles terrain.

Ces données de référence serviront de base aux diverses études environnementales, d'aménagement et à des modélisations 3D plus détaillées.

Note : *Il a été décidé en accord avec le Comité de Pilotage de cette étude de renommer le programme de levés complémentaires dans le lagon, dont ce rapport fait office de préliminaire, car le nom « BATHYMA2 » prêterait à confusion avec des campagnes antérieures. Le nouveau nom proposé est « BATHYLAG ».*

Sommaire

1. Introduction	8	
2. Applications et besoins en matières de données marines intra-lagonaires		9
3. Inventaire des données existantes.....	11	
3.1. LES ORGANISMES CONSULTES.....	11	
3.2. LES DONNEES BATHYMETRIQUES	12	
3.2.1. Les données du SHOM.....	12	
3.2.2. Les données de Bambou Exploration.....	14	
3.3. LES DONNEES COURANTOLOGIQUES	16	
3.3.1. Les observations ponctuelles	16	
3.3.2. Les modèles courantologiques.....	16	
3.4. LES DONNEES DE NATURE DES FONDS.....	20	
3.4.1. Les données de surface.....	20	
3.4.2. Les données en profondeur	22	
4. Propositions d'action à mener.....	23	
4.1. LES DONNEES BATHYMETRIQUES	23	
4.1.1. Bilan.....	23	
4.1.2. Un programme de levés haute résolution pour l'ensemble du lagon	23	
4.2. LES DONNEES COURANTOLOGIQUES	29	
4.2.1. Bilan.....	29	
4.2.2. Vers un modèle global	30	

4.3. LES DONNEES DE NATURE DES FONDS 35

5. Conclusion37

Liste des illustrations

Illustration 1 - Organismes consultés par le BRGM11

Illustration 2 - Synrhèse des levés bathymétriques du SHOM dans le lagon de Mayotte (source SHOM - 2004) 12

Illustration 3 – Données numériques de bathymétrie disponibles au SHOM : levés 2003-13 et 2000-35 (source SHOM – 2004) 13

Illustration 4 – Localisation des données bathymétriques acquises par Bambou Exploration (source : Bambou Exploration – 2005) 15

Illustration 5 – Synthèse des données courantologiques existantes à Mayotte 19

Illustration 6 – Synthèse des données de nature des fonds du lagon de Mayotte23

Illustration 7 - Type de carottier utilisé pour la campagne CARLAMAY (source Thomassin, 1990)22

Illustration 8 - Principes des sondeurs monofaisceau et multifaisceaux (source SHOM)25

Illustration 9 - Système Lidar (source Fugro)26

Illustration 10 - Répartition des petits et moyens fonds du lagon de Mayotte.....29

Illustration 11 - Comparaison des techniques de levé bathymétrique détaillé en domaine de très petits fonds29

Illustration 12 – Méthodes proposées de modélisation 2DH des courants et hauteurs d’eau dans le lagon de Mayotte.....33

Illustration 13 – Principe de l’image acoustique ou « sonogramme » (source Ifremer).....35

Illustration 14 – Mosaïque issue de l’imagerie SMF (source SHOM)36

Liste des annexes

Annexe 1 Courrier de la DAF (réf. GD/DG/03-044) à l’attention du BRGM.....43

Annexe 2 Document faisant la synthèse des données du SHOM sur Mayotte44

Annexe 3 Carte de synthèse au 1 : 50 000 des données bathymétriques, courantologiques et de nature des fonds du lagon de Mayotte (hors-texte)45

Annexe 4 Cartes des mesures de courants et de prélèvements de sédiments réalisés pendant la campagne ORSTOM de 1959 - Issu de Guilcher *et al.*, 1965.....46

Annexe 5 Carte de l'évolution de l'envasement de Mayotte d'après Raunet, 1992.....	49
Annexe 6 Spécifications du navire océanographique « La Curieuse » de l'IPEV.....	51
Annexe 7 Offre commerciale de Bambou Exploration pour une campagne bathymétrique dans le lagon de Mayotte.....	52

1. Introduction

Le lagon de Mayotte a été très étudié depuis maintenant plus de 50 ans mais force est de constater que certaines données marines de références font aujourd'hui toujours défaut et pénalisent largement les scientifiques, gestionnaires et par voie de conséquence les utilisateurs du milieu littoral et lagonaire dans leurs activités.

Cette étude, cofinancée par la Collectivité Départementale de Mayotte et la dotation de Service Public du BRGM (convention en date du 13 juillet 2005), a pour but de faire le point sur les données marines existantes dans le lagon et de proposer des levés complémentaires dans le cadre d'un programme de levés bathymétriques et topographiques appelé BATHYLAG.

Cette campagne dans le lagon avait été l'objet d'une demande de la DAF au BRGM comme contrepartie à son cofinancement de la campagne BATHYMAY réalisée début 2003 (cf. courrier de la DAF réf. GD/DG/03-044 en Annexe 1).

Cette étude présente donc, en premier lieu, les différents besoins et applications en matière de données marines et lagonaire. Elle s'attache ensuite à l'inventaire des données existantes en terme de bathymétrie, courantologie et de nature des fonds. Elle effectue, enfin, des propositions d'actions à mener afin d'acquérir des données complémentaires.

2. Applications et besoins en matières de données marines intra-lagonaires

Ce chapitre présente les différentes applications en domaine côtier pour lesquelles ces données marines de référence sont une nécessité en terme de connaissance et de développement.

- **La prévention des risques littoraux :**

Le littoral lagonaire de Mayotte est soumis à des aléas côtiers caractérisés par l'érosion côtière et les submersions marines. Ces aléas liés aux forts enjeux du littoral mahorais (forte présence démographique et important développement économique) induisent un risque important selon les zones. Or, la prise en considération de ces aléas nécessite de mieux connaître les courants qui transportent les sédiments et sont le vecteur de l'érosion côtière.

- **Les aménagements côtiers :**

Pour pouvoir implanter des infrastructures (routières, portuaires, touristiques, ouvrages de protection, etc.) en domaine côtier et réaliser les études de faisabilité, les ingénieurs ont besoin de connaître le type de fond sur lequel ils vont s'ancrer, à quels courants l'ouvrage sera confronté afin de prévoir sa stabilité.

- **La pêche et l'aquaculture :**

Les zones de pêches diffèrent selon les espèces. En effet chaque espèce se trouve dans des conditions écologiques qui leurs sont propres et favorables (par exemple une profondeur donnée et un fond vaseux ou plutôt rocheux). L'essentiel de la pêche se réalisant dans le lagon, il est donc important de connaître avec précision les informations liées au type de fonds et à la profondeur afin de mieux gérer la ressource halieutique et définir par exemple de nouvelles zones de pêche potentielles, l'évolution des conditions sur certaines zones de pêches anciennes, etc.

L'aquaculture est en outre une activité en devenir qui nécessite pour son implantation en mer de connaître également la profondeur des baies et la nature de leur substrat. En croisant ces données, un certain nombre de sites potentiels peuvent être identifiés.

- **La connaissance des écosystèmes lagunaires :**

Il existe aujourd'hui plusieurs initiatives participant au suivi et la connaissance des écosystèmes lagunaires (notamment les milieux récifaux) et de leurs espèces remarquables (tortues marines, mammifères marins). Il est connu qu'outre la température des eaux, la courantologie est un facteur important dans le développement corallien car elle assure le renouvellement des masses d'eau du lagon et participe à leur oxygénation. Il est également connu que certains mammifères marins ont des zones préférentielles de vie en fonction de la morphologie des fonds, leur nature et la courantologie. Par exemple le grand dauphin (*Tursiops*) affectionne les zones d'écueils rocheux bien oxygénées par les courants. Ici encore le croisement de ces données manquantes permettrait

de trouver des zones potentielles de regroupement de ces dauphins et faciliter ainsi leur étude et par là-même leur sauvegarde (une étude similaire a été menée en Mer d'Iroise en Bretagne : Gourmelon *et al.*, 2000 ; Le Berre *et al.*, 2002).

- **Le rejet des effluents et la la lutte contre les pollutions marines :**

La question des eaux usées est cruciale à Mayotte et l'implantation de stations de traitement, un enjeux important. Les quelques données disponibles aujourd'hui ont d'ailleurs été acquises à cette fin. Disposer d'un modèle global de couranologie pour le lagon de Mayotte pourra faciliter la reconnaissance de sites d'implantation et de prévoir la dispersion des rejets. Il est à noter que pour réaliser un modèle courantologique, il faut au préalable disposer de données bathymétriques suffisamment précises.

De même, le trafic maritime se renforçant dans la partie Nord du lagon, il est important de disposer d'un modèle courantologique efficace permettant de suivre et de lutter contre la dérive d'une nappe de pollution.

- **La recherche de granulats marins :**

Les granulats marins représentent une source de gisements alternatifs intéressante pour la production de granulats à destination du BTP. La recherche de ces gisements nécessite une cartographie sédimentologique des fonds du lagon afin de pouvoir localiser et identifier les différents faciès sédimentaires viables à la production. La reconnaissance de la ressource nécessite en outre des études complémentaires pour l'épaisseur des sédiments meubles et la nature des sédiments en profondeur.

- **Les travaux sous-marins :**

Une bathymétrie fine et la connaissance de la nature des fonds sont nécessaire pour la réalisation de travaux sous-marins tels que la pose de câbles, l'ancrage de DCP (Dispositif de Concentration des Poissons) ou de corps-mort dans une base nautique, etc.

- **Les énergies renouvelables marines :**

Enfin, même si ces alternatives sont encore peu entrevues à Mayotte le lagon peut être une source d'approvisionnement en énergie pour ses habitants en utilisant la puissance des courants au moyen d'hydroliennes. Ces équipements fonctionnent un peu comme des éoliennes mais sont immergés et les pales tournent avec la force des courants. Encore faut-il savoir si les courants présents dans le lagon sont-ils appropriés à ce type de technologie. Là encore les données bathymétriques/courantologiques font défaut.

3. Inventaire des données existantes

3.1. LES ORGANISMES CONSULTÉS

Pour réaliser cet inventaire, les différents services concernés de la Collectivité et de l'Etat, les organismes scientifiques et les différents bureaux d'étude ayant participé à la production des informations existantes ont été consultés.

La liste en est donnée ci-dessous :

TYPE	ORGANISME	PERSONNE CONTACTEE
ADMINISTRATION	CG - DAET	M. Saïd S. Lombard V. Adrachi
	DAF-SEAU DAF - Environnement	J. Placine B. Le Guennec D. Lombard R. Rolland P. Laulen F. Barthelat
	DE – HEA DE - Subdivision maritime et portuaire DE- Gestion SIG	V. Cligniez H. Mettery J. Blanchet
	Préfecture - Bureau Environnement	Ph. Poulet
	DASS	R. Giocanti
	SIEAM	Ph. Jusiak
	ORGANISME SCIENTIFIQUE	SHOM - Dir. Centre d'Hydrographie SHOM - Service Géodésie
GIS LAG-May		B. Thomassin
BUREAU D'ETUDE		ARVAM
	Bambou Exploration	J-C. Quesnel
	ENTECH	Y. Copin
	BCEOM	S. Cauchy
	SAFEGE	O. Jossot

Illustration 1 – Organismes consultés par le BRGM

3.2. LES DONNEES BATHYMETRIQUES

Les données bathymétriques existantes dans le lagon de Mayotte proviennent principalement du SHOM et plus récemment de levés localisés de la société Bambou Exploration. Ces données couvrent la quasi-totalité du lagon mais sont de nature et de précision inégales.

3.2.1. Les données du SHOM

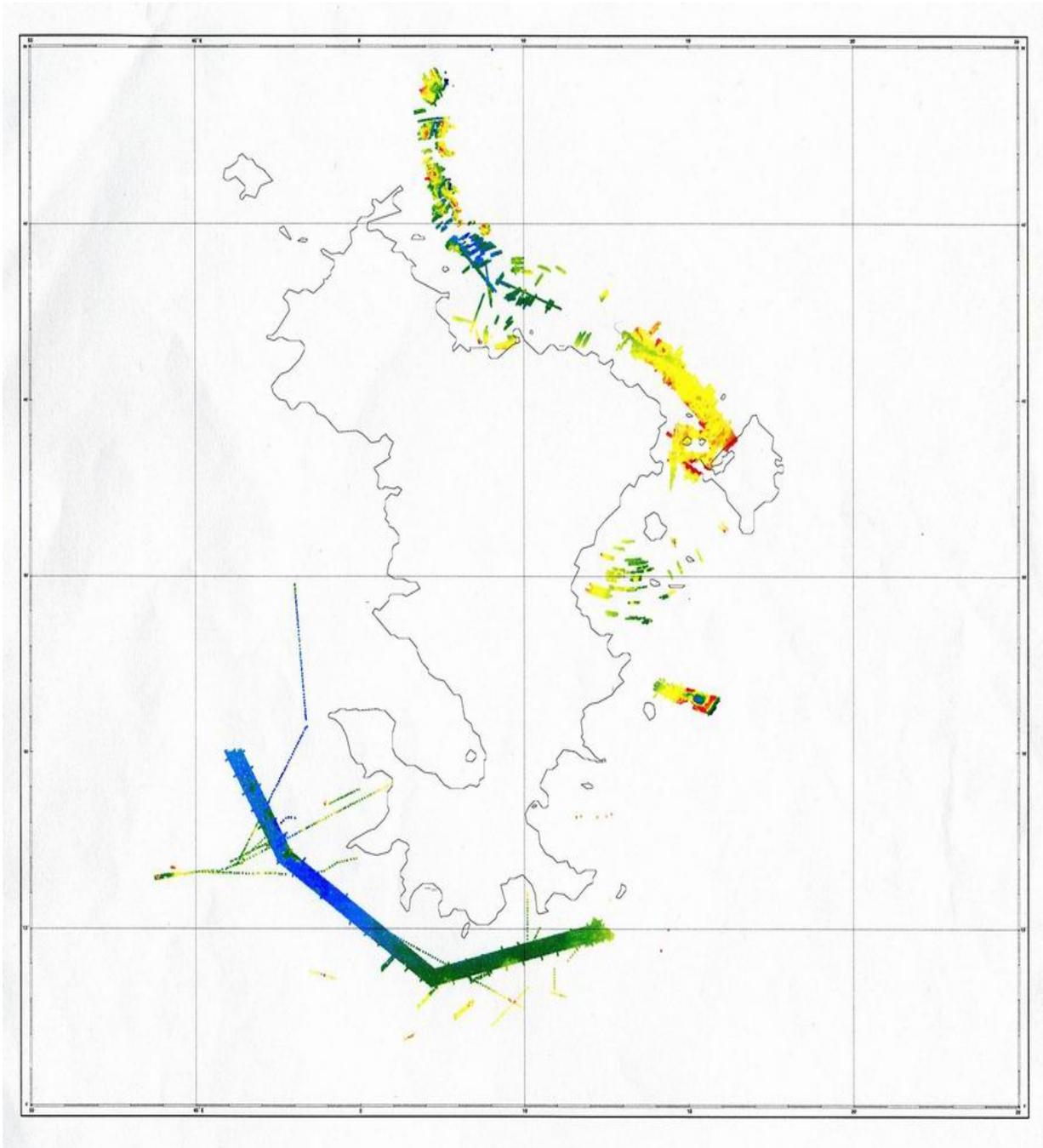
Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) est l'établissement public de référence pour la réalisation des cartes de navigation et l'acquisition de données bathymétriques du territoire français.

Une demande officielle a été adressée au Directeur du centre d'hydrographie afin de faire le point sur les données acquises par le SHOM. La réponse a été adressée à la Direction de Service Public du BRGM accompagnée d'un document (cf. Annexe 2) regroupant la liste des fiches de tous les levés existants dans le lagon de Mayotte. Ces éléments ont été repris dans la carte de synthèse présentée en Annexe 3 hors-texte et dans le tableau ci-dessous (Illustration 2).

Levés SHOM	Nombre de minutes	Localisation	Echelle	Nature des levés	Données numériques
2003-69	5	Certaines zones du Nord et NE du lagon	Du 1/500 au 1/7500	SMF	Non disponible
2000-35	7	Nord et Est du lagon	Du 1/5000 au 1/10 000	Etude cartographique des levés SHOM précédents ayant abouti à une analyse critique et des avis importants.	Sans objet
2000-13	4	Certaines zones du Sud, de l'Est et du NE du lagon	Du 1/2000 au 1/10 000	Monofaisceau	Données numériques disponibles
1998-02	11	Sud-Est du lagon	Du 1/1000 au 1/5000	Monofaisceau	Données numériques non disponibles
1997-09	8	Certaines zones du Nord et Est du lagon	Du 1/1000 au 1/5000	Monofaisceau	Données numériques non disponibles
1996-31	29	Nord et Est du lagon	Du 1/1000 au 1/5000	Monofaisceau	Données numériques non disponibles
1987-18	24	Nord et Est du lagon	Du 1/2500 au 1/5000	Monofaisceau	Données numériques non disponibles
1981-26	6	Certaines zones du Nord et NE du lagon	Du 1/1000 au 1/10 000	Monofaisceau	Données numériques non disponibles

Illustration 2 – Synthèse des levés bathymétriques du SHOM dans le lagon de Mayotte (source SHOM - 2004)

Il s'avère donc sur la base de ce document que 10 campagnes bathymétriques ont été réalisées entre 1962 et 2003. Si la totalité de ces données sont disponibles sous forme papier (minutes bathymétriques) seulement une campagne (2003-13) est aujourd'hui disponible sous forme numérique (Illustration 3).



*Illustration 3 – Données numériques de bathymétrie disponibles au SHOM : levés 2003-13
(source SHOM – 2004)*

En ce qui concerne la nature de ces données, seul le levé 2003-69 a été réalisé au moyen d'un sondeur multi-faisceaux (SMF), les plus anciennes ayant été levées avec un écho-sondeur monofaisceau. Ces deux types d'instrumentation donnent des résultats bien différents en termes de couverture, le SMF plus récent permettant une couverture totale des fonds. Une explication succincte de ces équipements sera présentée en chapitre 4 (cf. p 26). En terme d'embarcation, ces levés ont été apparemment réalisés par les Vedettes Hydrographiques (VH) du Navire Océanographique (NO) D'Entrecasteaux pour les levés monofaisceau et les VH du NO Beutemps-Beaupré pour le SMF.

La précision de ces données est très hétérogène et varie selon les campagnes entre 1/500 soit 1 profil tous les 5 m et le 1/25 000 soit un profil tous les 250 m. Les points de sonde reportés le long des profils sont plus serrés : en général tous les 2m ou 100 m environ respectivement au 1/5000 et au 1/25000. Hormis quelques petites zones levées en détail (au 1/500 jusqu' à 1/2000), la plupart des levés ont une résolution moyenne de 1/5000 ou 1/10 000 (1 profil tous les 50 ou 100 m).

Enfin, la répartition géographique de ces levés apparaît également assez variable, avec une localisation préférentielle notable pour le Nord et l'Est où se concentrent les enjeux de navigation (6 des 11 campagnes concernent ces secteurs du lagon avec de nombreux recouvrements). L'Ouest et le Sud disposent également de levés mais beaucoup moins denses (cf. annexe 3 hors-texte).

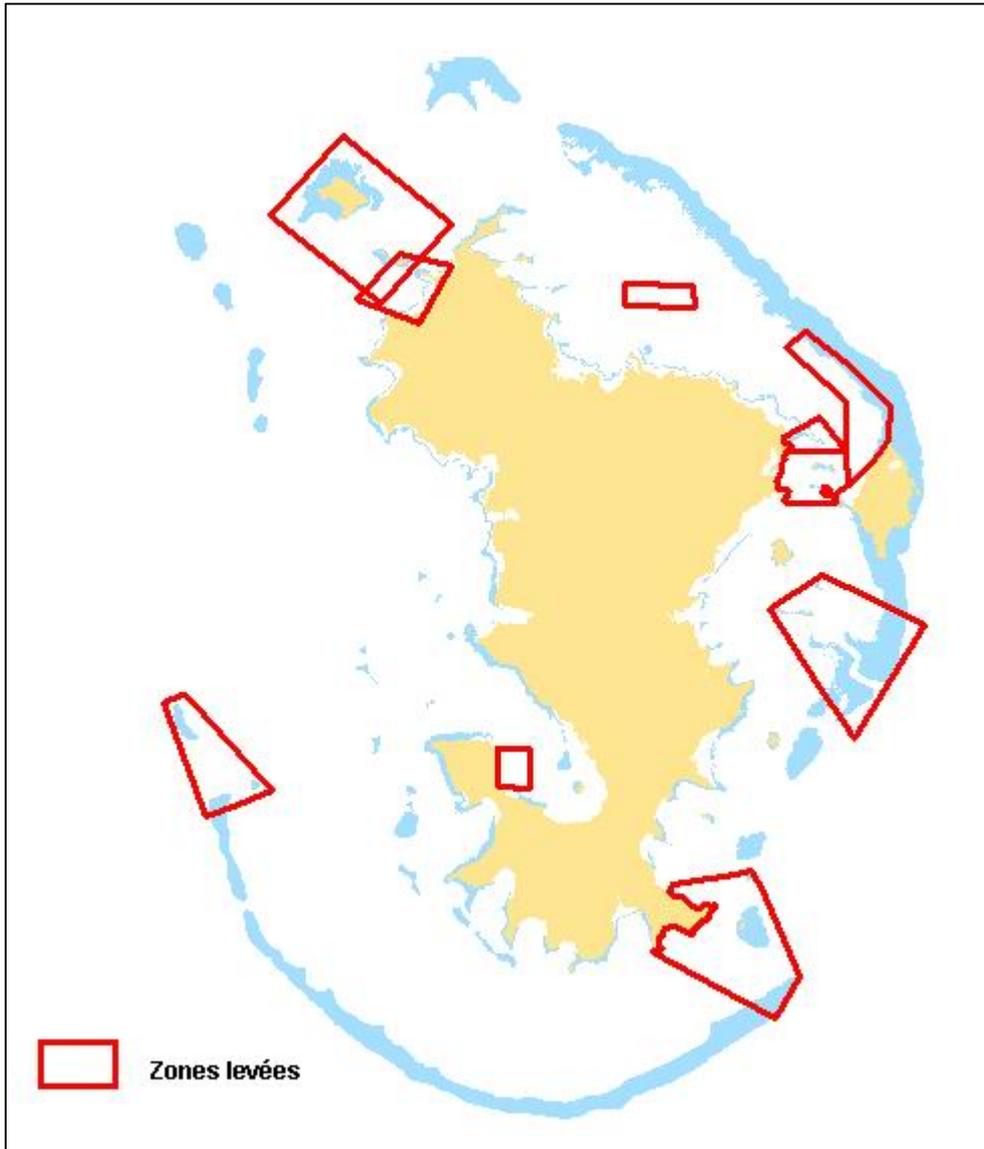
3.2.2. Les données de Bambou Exploration

La société Bambou Exploration, implanté à Mayotte, travaille depuis 2003 à la réalisation de levés bathymétriques dans le lagon de Mayotte pour différents commanditaires (DAF, DE, Colas, SAFEGE).

Les secteurs sont levés à l'aide d'une embarcation légère équipée d'un sondeur monofaisceau à une résolution moyenne de 12 m (1/1200). Ils concernent (Illustration 4) :

- les zones identifiées pour le projet de Réserve Naturelle du Lagon (commande DAF Environnement) : Passe en S ; Pointe de Saziley, îlot M'tsambo, Passe Bouéni, le récif de la Prévoyante, herbier du Nord de Petite-Terre (récif barrière du N-E) ;
- les zones d'implantation d'ouvrage portuaire (commande DE/Colas) : goulet Mamoudzou/Dzaoudzi ; Port de Longoni ; base nautique d'Hanyondrou ;
- les zones d'implantation de stations d'épurations (commande SAFEGE, BCEOM pour le SIEAM) : Petite-Terre (côté lagon et côté océan) ; Baie de M'Tsambo.

Ces différents secteurs sont également repris dans la cartographie de synthèse en Annexe 3 hors-texte excepté Longoni et l'Est de Petite-Terre dont l'emprise géographique ne nous a pas été communiquée.



*Illustration 4 – Localisation des données bathymétriques acquises par Bambou Exploration
(source : Bambou Exploration – 2005)*

3.3. LES DONNEES COURANTOLOGIQUES

Les données courantologiques existantes sont de deux types principaux, à savoir soit de simples observations ponctuelles à l'aide de courantomètres ou de lâchés de flotteurs ou de colorant soit des modèles numériques de courantologie en deux ou trois dimensions (Illustration 5).

3.3.1. Les observations ponctuelles

La campagne de l'ORSTOM¹ menée par A. Guilcher en 1959 (Guilcher *et al.*, 1965) a permis de réaliser les premières mesures connues (utilisation d'un « moulinet Richard ») sur une dizaine de points du lagon, en général dans des passes ou à leurs abords (cf. Annexe 4) .

En 1985, le SHOM effectue également six stations de mesures dans le Nord et le Nord-Ouest de l'île où se concentrent l'essentiel de la navigation. Ces données ont fait l'objet de traitements statistiques. Le détail est présenté en annexe 2.

Il est, en outre, fait état par Thomassin et Gourbesville (1998) d'observations anciennes dans le détroit de Mamoudzou-Dzaoudzi puis entre l'îlot Bouzi et la côte par le SETOI (Anonyme, 1988) et le SPEM (Maggiorani-Charpentier et Maggiorani, 1992) mais les résultats de ces mesures ne nous sont pas connus. Il s'agit du suivi de flotteurs et de lâchers de rhodamine (colorant) en déc. 1987/avr.1988 et sept. 1992.

La littérature (Thomassin, 1986 ; Porcher *et al.*, 2002) fait également référence à des mesures réalisées en 1983, 1986, 1990, 1994 et 1998 lors des campagnes pluridisciplinaires du COM² (missions ECOMAY, ECOLAG,...) mais là non plus nous ne disposons pas de plus de détails.

Il est à noter enfin que d'autres mesures courantologiques plus récentes ont dû être réalisées pour les aménagements portuaires (Longoni), aéroportuaires (Pamandzi) et routiers (déviation de M'tsapéré/Passamaïnti), ces données ne nous ont pas été communiquées.

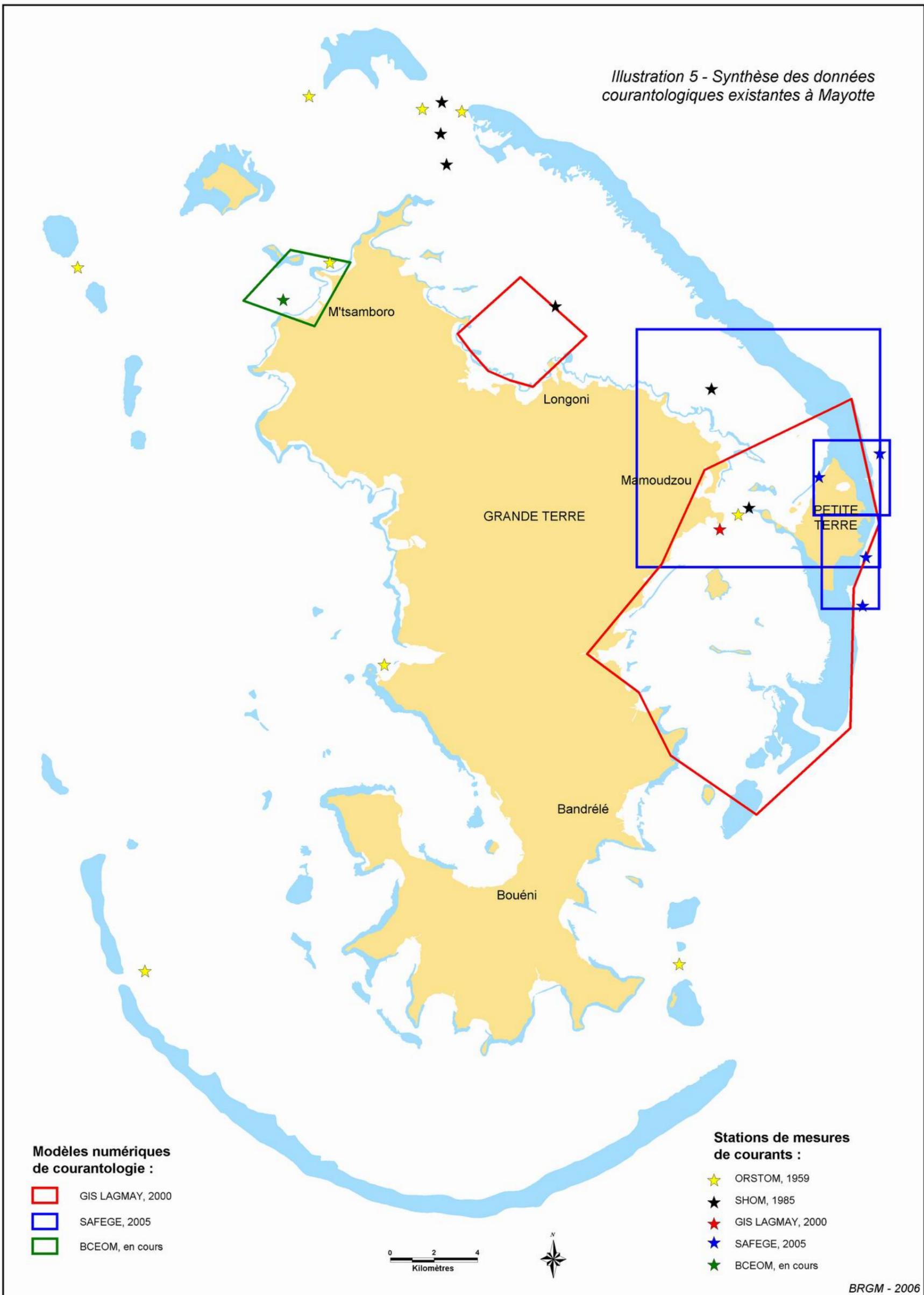
3.3.2. Les modèles courantologiques

Quelques modèles numériques de courantologie (données de sortie : courants, hauteur d'eau) ont été réalisés depuis 1994 sur certaines zones ciblées dans le cadre d'études de rejet d'effluents dans le lagon. Les trois sources connues sont le GIS LAGMAY ; la SAFEGE et le BCEOM.

¹ ORSTOM : organisme appelé aujourd'hui IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

² COM : Centre d'Océanologie de Marseille.

Illustration 5 - Synthèse des données courantologiques existantes à Mayotte



- **Les données du GIS LAGMAY**

Le Groupe d'Intérêt Scientifique (GIS) LAG-MAY a été le premier organisme à produire des modèles courantologiques à Mayotte. Il s'agit des modèles développés par Arnoux *et al.* (1994) et Gourbesville *et al.* (2000 a, b et c).

Le modèle mis en oeuvre par Arnoux est le plus ancien. Son emprise géographique correspond aux limites du complexe récifo-lagonaire « Hajangoua-Bandrélé » tel que défini par Thomassin (1986 ; 1998). Il s'attache à reproduire une circulation côtière tridimensionnelle avec évolution de la surface libre. C'est un modèle 3D sans hypothèse hydrostatique avec un modèle de fermeture de la turbulence de type « k-? » adapté aux milieux stratifiés. La méthode numérique se base sur le code développé par Verdier-Bonnet *et al.* (1993). La bathymétrie utilisée est celle du SHOM et les données hydrologiques sont issues des mesures antérieures du COM. La résolution du modèle est de 500 m.

Les modèles de P. Gourbesville concernent les secteurs du détroit de Mamoudzou-Dzaoudzi ; la vasière des Badamiers et l'estuaire de Kawéni. Il s'agit de l'utilisation du modèle danois MIKE 21 (modèle du Danish Hydraulic Institute). C'est un modèle 2D qui simule les courants intégrés sur la verticale. La bathymétrie utilisée est celle du SHOM au pas de 50 m qui est la maille de sortie du modèle. Un courantomètre (sonde Anderaa RCM7) a été placé à proximité de la partie Sud de la Pointe Mahabo. Cette sonde a également permis de faire des mesures de température et conductivité pour calibrer le modèle.

Le plan de gestion du lagon indique également l'existence d'un modèle dans la baie de Longoni mais la référence bibliographique n'est pas donnée. Il est néanmoins pris en compte dans la carte de synthèse (Annexe 3 hors texte).

- **Les données de la SAFEGE**

Trois modèles distincts ont été réalisés par la SAFEGE (2005) pour le compte du SIEAM³ dans le cadre d'une étude de rejets en mer de part et d'autre de Petite-Terre. Les calculs ont été effectués par le logiciel MARS 2D et 3D. Les variables prises en compte par le modèle sont : le courant (vitesse et direction), la température, la salinité et le niveau de surface libre.

Les modèles de « Pamandzi » et « Badamier Océan » sont 3D et couvrent respectivement la zone Sud-Est et Nord-Est de Petite-Terre. Leur résolution horizontale est de 30 m et le nombre de niveaux de calcul sur l'axe vertical est de 10 (coordonnées sigma). Le modèle de « Badamier Lagon » est 2D et possède une résolution horizontale de 10 m.

Les conditions de marées et de vent aux limites des modèles ont été établies à partir d'un modèle général couvrant une partie du canal du Mozambique, par la méthode des modèles gigognes. Un total de 4 modèles emboîtés ont été nécessaires pour passer du modèle général aux modèles de l'étude.

³ SIEAM : Syndicat Intercommunal d'Eaux et d'Assainissement de Mayotte

La bathymétrie utilisée a été levée par Bambou Exploration pour une maille de 12 m. Les mesures de calage et de validation (courantométrie, niveau d'eau, températures et salinité) ont été réalisées par Pareto sur une période de 15 à 23 j. selon les stations avec un recouvrement d'au moins 6 j. avec les périodes de simulation.

- **Les données du BCEOM**

L'étude BCEOM étant en cours, peu d'informations nous ont aujourd'hui été diffusées. La modélisation numérique est également produite à la demande du SIEAM pour le projet d'assainissement du village de M'tsamboro.

Le modèle possède deux modèles emboîtés, tel que :

- Le modèle grande emprise couvre l'ensemble de la zone d'étude (baie de M'tsamboro jusqu'aux îlots Choizil) et a une maille de 100 m ;
- Le modèle petite emprise couvre les zones au droit des sites de rejets pressentis et a une maille de 20 m.

La bathymétrie utilisée a été levée par Bambou Exploration à une résolution de 12 m.

3.4. LES DONNEES DE NATURE DES FONDS

La nature des fonds du lagon restent la donnée la moins connue en comparaison des données bathymétriques et courantologiques. En effet, des données ponctuelles sont disponibles dans la plupart du lagon, seule la partie Nord-Est bénéficie d'une représentation cartographique. Il existe en outre des informations sur les épaisseurs de sédiments grâce à une campagne de géophysique (profils sismiques) et une campagne de carottages.

3.4.1. Les données de surface

- **Les observations ponctuelles**

La campagne de Guilcher et al. (1965) réalisée en 1959 a également permis d'effectuer 428 prélèvements d'échantillons dont 320 dans le lagon « en dessous des plus basses mers ». Cette campagne offre la couverture la plus complète du lagon (cf. Annexe 4). Ces prélèvements ont fait l'objet d'analyses granulométriques et calcimétriques ainsi que divers autres analyses (thermiques différentielles, chimique, dosage d'azote et de carbone).

La bibliographie fait état d'autres prélèvements lors des missions Cordet de 83 et 86 qui permettent de faire les premières comparaisons (Gout, 1984 ; Masse et al., 1989 et Arnoux-Valère, 1990) mais nous ne disposons pas de la localisation de ces prélèvements ni des résultats d'analyses.

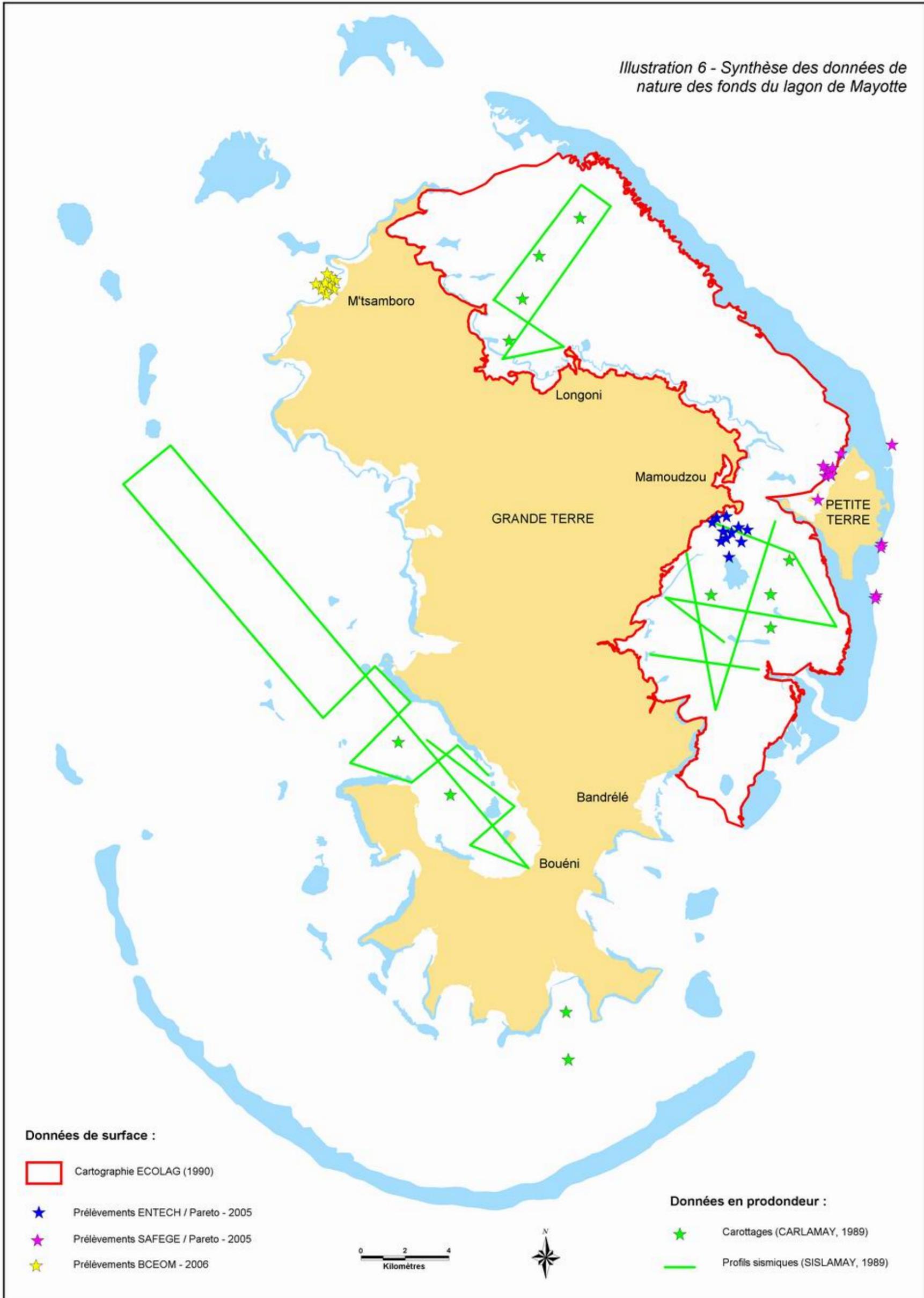
Plus récemment, plusieurs stations de sédiments ont été échantillonnées pour le compte du SIEAM (Illustration 6). Des prélèvements ont été réalisés en 2005 autour de Petite-Terre (SAFEGE/Pareto) et de Mamoudzou (ENTECH/Pareto) et ont fait l'objet d'analyses du pourcentage en lutites (vases) et divers analyses chimiques (teneur en éléments traces métalliques, MOT et HAP). Des prélèvements ont également été réalisés par BCEOM dans la baie de M'tsamoro (étude en cours).

- **Les cartographies**

La mission ECOLAG en 1990 a permis de réaliser une campagne de dragage qui a conduit à la première cartographie des faciès sédimentaires des fonds marins de Mayotte dans la partie Nord-Est du lagon (Illustration 6). Cette cartographie se base sur une classification en 5 catégories de sédiments en fonction de leur teneur en lutites (Kouyoumontzakis *et al.*, 1991 ; Gout, 1991).

Une seconde cartographie a été réalisée par Raunet (1992) pour l'ensemble du lagon, mais elle s'attache plutôt à l'envasement de lagon entre 1959 et 1987 en comparant les données de Guilcher *et al.* (1965) et Thomassin et al. (1989). En outre la carte (Annexe 5), est dessinée à une échelle relativement « grossière » d'environ 1 : 300 000.

Illustration 6 - Synthèse des données de nature des fonds du lagon de Mayotte



Données de surface :

-  Cartographie ECOLAG (1990)
-  Prélèvements ENTECH / Pareto - 2005
-  Prélèvements SAFEGE / Pareto - 2005
-  Prélèvements BCEOM - 2006

Données en profondeur :

-  Carottages (CARLAMAY, 1989)
-  Profils sismiques (SISLAMAY, 1989)

3.4.2. Les données en profondeur

Les campagnes SISLAMAY et CARLAMAY qui se sont succédées en août - septembre 1989 ont permis d'obtenir des informations sur les épaisseurs de sédiments.

La campagne de géophysique SISLAMAY (SISmique du LAGon de MAYotte) a effectué 140 km de profils sismiques au moyen d'un *boomer* (EGG 231 A/232A) dans l'Est, l'Ouest et le Nord du lagon (Illustration 6). Ces informations ont permis de réaliser un modèle de stratigraphie sismique généralisé du lagon de Mayotte (Zinke *et al.*, 2001).

La campagne CARLAMAY (CARottages du LAGon de MAYotte) a réalisé une vingtaine de carottages (Thomassin, 1990) dans les mêmes zones afin de pouvoir recouper les informations avec les profils de sismique réflexion (Illustration 6). Un carottier à piston de type *Kullenberg* (Illustration 7) a été utilisé pour des carottes de 8 m (longueur du tube). Sur chaque station échantillonnée ont été prélevées au moins deux carottes, l'une conservée « humide » pour analyses granulométriques et bioclastiques (détermination endofaune) et l'autre conservée « gelée » pour analyses biochimiques (matière organique, etc.). Des plongées ont également permis de réaliser des photographies et des prélèvements de surface.

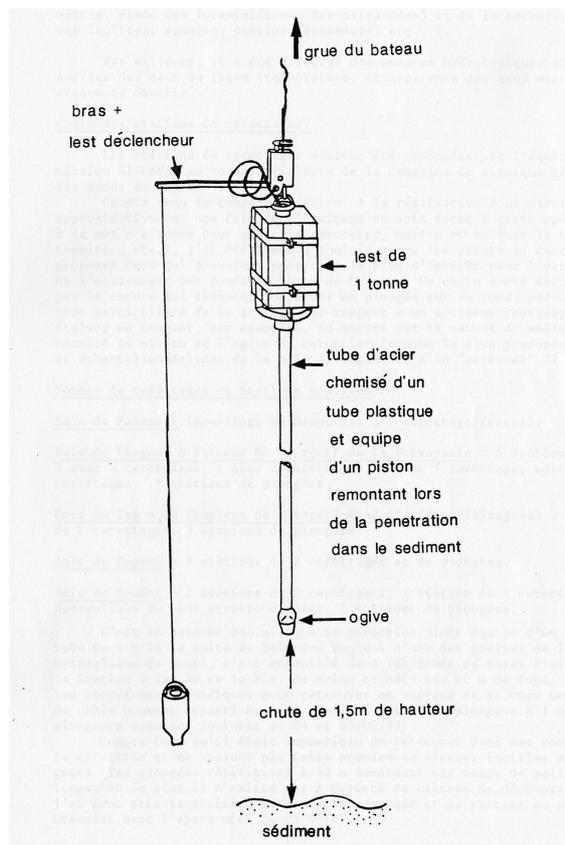


Illustration 7 - Type de carottier utilisé pour la campagne CARLAMAY (source Thomassin, 1990)

4. Propositions d'action à mener

4.1. LES DONNEES BATHYMETRIQUES

4.1.1. Bilan

Le lagon de Mayotte est donc bien couvert dans l'ensemble par les levés bathymétriques du SHOM. En revanche, la précision de ces levés est très variable car hormis quelques petites zones à forts enjeux où la précision peut aller jusqu'à 1 profil tous les 5 ou 10 m, la plupart des levés sont réalisés au 1/5000 (1 profil tous les 50 m) pour la partie Est ou 1/10 000 (1 profil tous les 100 m.) pour la partie Ouest du lagon.

Ces levés ayant principalement été réalisés pour dresser les cartes de navigation de Mayotte (cartes n°7492-7493-7494 éditées au 1/35 000), des levés complémentaires ont dû être demandés pour d'autres applications nécessitant une meilleure précision (aménagements côtiers et sous-marins, courantologie, connaissance du milieu, etc.). A cette fin, les données de Bambou Exploration couvrent différentes zones à une maille de 12 m (1/1200).

Il apparaît donc clairement que selon les zones et les besoins, la densité des données du SHOM peut s'avérer insuffisantes. Il faut rappeler, de plus, que très peu de ces minutes sont aujourd'hui disponibles sous forme numérique et nécessitent une demande de numérisation auprès du SHOM.

Dans le cas où des données plus précises sont requises deux stratégies peuvent être envisagées :

- soit continuer de lever au coup par coup, comme cela se fait actuellement, des secteurs localisés du lagon en fonction des besoins immédiats et des projets ;
- soit réaliser un levé systématique comprenant des campagnes d'acquisition haute résolution (HR) pour l'ensemble du lagon qui serve de donnée de référence pour toutes les applications possibles.

4.1.2. Un programme de levés haute résolution pour l'ensemble du lagon

Pour mettre en oeuvre un programme de levés haute résolution pour l'ensemble du lagon, deux principales alternatives techniques sont possibles, avec des distinctions selon les profondeurs à sonder.

En effet, si les « moyens fonds » (fonds de -20 à -80 m) sont aisés à lever avec une instrumentation embarquée sur un bateau, les « petits fonds » (0 à -20 m) nécessitent souvent de travailler pendant les marées hautes, voire les marées hautes de vives eaux. Des techniques aéroportées permettent aujourd'hui de s'affranchir de ces contraintes de temps et de sécurité.

Rappel succinct des différentes techniques de levés bathymétriques

Depuis le début du XX^{ème} siècle, les hydrographes utilisent les échosondeurs, instruments basés sur la propagation des ondes acoustiques⁴. Les enregistrements des sondages acoustiques ont longtemps été réalisés sur des bandes papier (profils analogiques) puis dans les années 70 et 80 sous forme numérique. Les sondeurs se sont progressivement considérablement perfectionnés au cours des dernières décennies avec des précisions sans cesse accrue dans la résolution (fréquence, ouverture du faisceau réduite...).

Il existe aujourd'hui deux principaux types d'échosondeurs :

- les sondeurs « monofaisceau » ou « verticaux » sont les plus courants et les plus simples à utiliser. Ils fonctionnent en envoyant un seul signal à la verticale du navire (Illustration 8 8). La plupart des mesures du SHOM dans le lagon et les levés de Bambou Exploration ont été réalisées de cette manière ;
- les sondeurs « multifaisceaux » ou SMF sont les plus évolués. Grâce aux grands progrès réalisés dans les systèmes d'émission – réception sur des bandes étroites respectivement parallèles et perpendiculaires à la route du navire, ces systèmes fonctionnent comme un ensemble de plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de sondeurs accouplés (Illustration 8). La largeur de la zone ainsi insonifiée – ou fauchée – varie de 2 à 7 fois la profondeur. La surface « insonifiée » lors de chaque passage est beaucoup plus importante, et permet d'avoir une couverture bathymétrique complète des fonds entre les profils. De plus, la densité des sondes recueillies permet d'obtenir par le traitement du signal acoustique réfléchi, de produire une « image acoustique » qui renseigne sur la nature des fonds⁵, ce qui était jusqu'alors l'apanage des systèmes sonars. Les levés au SMF sont en revanche plus difficiles à mettre en oeuvre car ils nécessitent, outre un très bon positionnement, une centrale inertielle parfaitement calibrée pour corriger la position des sondes acquises à très haute fréquence, des mouvements instantanés du navire (tangage, roulis). Un système de mesure de la célérité du son dans l'eau est aussi indispensable du fait de l'obliquité variable des faisceaux. Les variations de célérité peuvent être importantes en particulier dans les petits fonds. La fauchée étant très réduite à faible profondeur, les SMF sont en revanche moins efficaces dans les petits fonds. Dans les grands ou très grands fonds, ils permettent une couverture large (fauchée de plusieurs kilomètres) mais avec une résolution moindre et un levé très rapide de vastes zones, à l'instar de ce qui a été réalisé avec le Marion-Dufresne2 sur la pente insulaire à l'extérieur du lagon durant la campagne BATHYMAY.

⁴ Connaissant la vitesse du son dans l'eau, la mesure du temps aller-retour du signal permet de calculer la profondeur.

⁵ La réflectivité est importante pour des substrats durs et beaucoup plus faible, du fait de l'absorption de l'onde, pour des substrats mous.

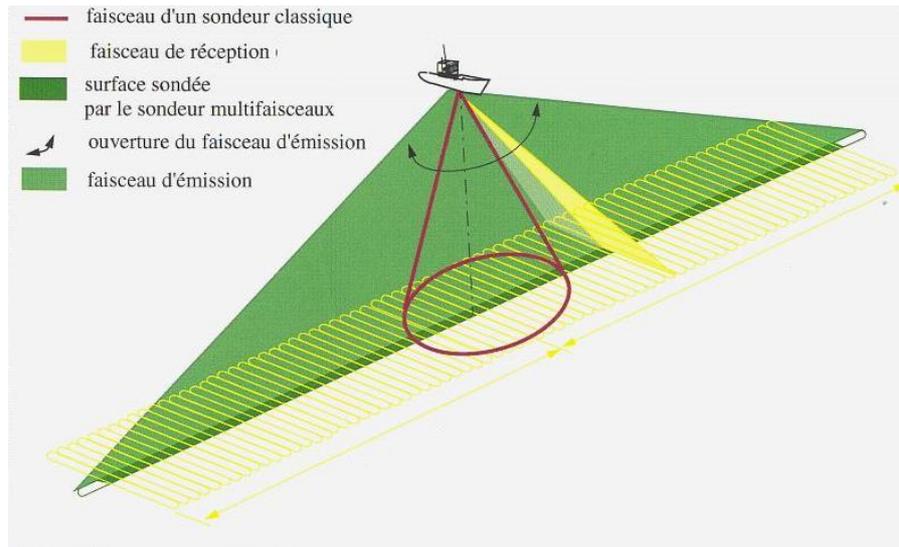


Illustration 8 - Principes des sondeurs monofaisceau et multifaisceaux (source SHOM)

Une technologie récente appelée « LIDAR »⁶ ou « laser aéroporté » permet de s'affranchir de certaines contraintes des levés en mer dans les petits fonds. Il s'agit d'un capteur laser (rayonnement dans le « vert » soit 532 μm) embarqué dans un avion qui permet, du fait de sa pénétration dans l'eau, de mesurer la profondeur d'eau en calculant le temps d'émission/réception du signal (Illustration 9). Le système est combiné à une centrale inertielle (compensation des mouvements de l'avion) et à un GPS différentiel pour localiser très précisément la mesure.

La profondeur maximale dépend de la clarté de l'eau (environ 2 à 3 fois un disque Secchi⁷) qui doit être la moins trouble possible, ce qui nécessite de ne pas passer après des pluies à Mayotte. La profondeur minimale peut varier mais avoisine environ les 20 cm. La fauchée est de 0,7 l'altitude soit de 700 m pour un vol à 1000 m et les axes de vol sont des lignes parallèles de recouvrement 30 %. Son principal avantage est la rapidité d'exécution avec une couverture typique en zone côtière de 30-40 km^2 par heure. La précision en mode hydrographique est centimétrique à décimétrique.

Le capteur peut également disposer d'un rayonnement dans le proche infrarouge servant à des levés topographiques simultanés ce qui présente l'énorme avantage de pouvoir lever la partie terrestre de la côte (estran, mangrove, arrière-plage, etc.) et de disposer d'un *continuum* côtier.

Ces systèmes de levés en zone côtière, bien que coûteux, sont aujourd'hui de plus en plus utilisés lors des levés systématiques de zones côtières dans différents pays (ex. USA, Australie, Irlande). En France, un levé test a été réalisé en 2005 dans le golfe du Morbihan dans le cadre du projet LITTO3D conduit par le SHOM et l'IGN⁸.

⁶ LIDAR : « Light Detection And Ranging »

⁷ Un disque SECCHI permet de mesurer la transparence de l'eau en l'immergeant et en notant au moyen d'un fil à quelle profondeur il disparaît.

⁸ Cf. http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_Litto3D/index_litto3D_f.htm

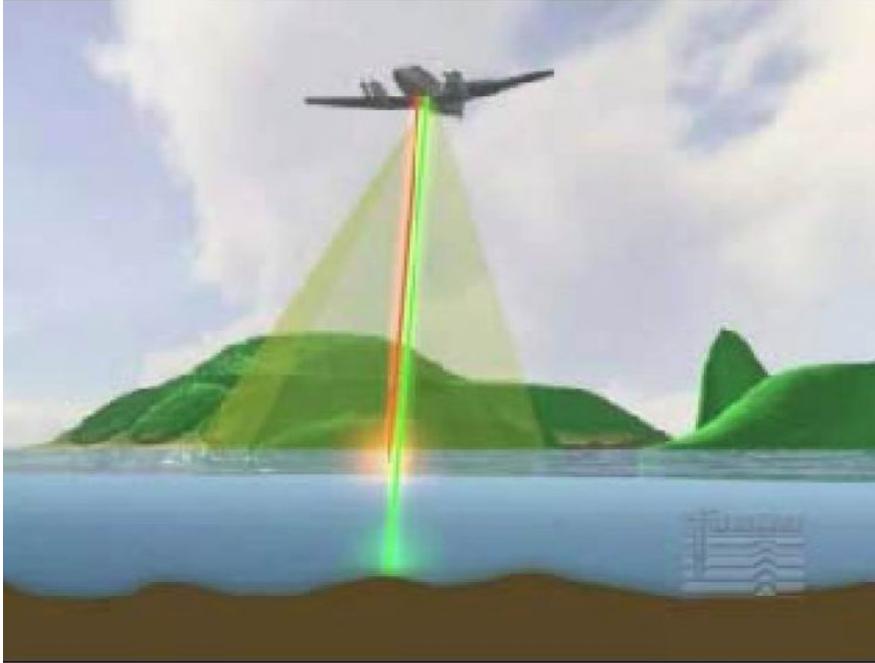


Illustration 9 - Système Lidar (source Fugro)

Propositions de levés bathymétriques complémentaires dans le lagon de Mayotte

Le levé du lagon de Mayotte présente des difficultés particulières en raison de la présence de récifs isolés dans de nombreux endroits.

Les levés nécessitent donc deux phases distinctes en fonction des types de fonds (Illustration 8) :

- **Les petits fonds (de 0 à -20 m) :**

Le levé des petits fonds et des régions côtières a très souvent représenté un enjeu difficile pour les levés hydrographiques ou bathymétriques du fait des difficultés d'accès pour les moyens nautiques. Les zones récifales présentent sur ce plan une difficulté très importante en particulier dans le lagon de Mayotte où elles sont étendues et relativement disséminées.

Pour les petits fonds de 0 à -20m, la fauchée est réduite et le SMF est d'une efficacité restreinte : ces levés sont donc très longs et coûteux à ces profondeurs.

Les levés peuvent donc se faire à un coût mais aussi à une résolution moindre de manière classique, au sondeur monofaisceau. L'avantage du sondeur bathymétrique monofaisceau réside essentiellement dans la simplicité de sa mise en oeuvre, d'autant plus que les moyens sont présents et régulièrement utilisés au plan local (Bambou Exploration). L'inconvénient principal est le temps important que ces levés nécessitent pour couvrir ces fonds en travaillant aux marées hautes, soit plusieurs mois, sans parler de la difficulté de naviguer dans ces zones (problème de sécurité).

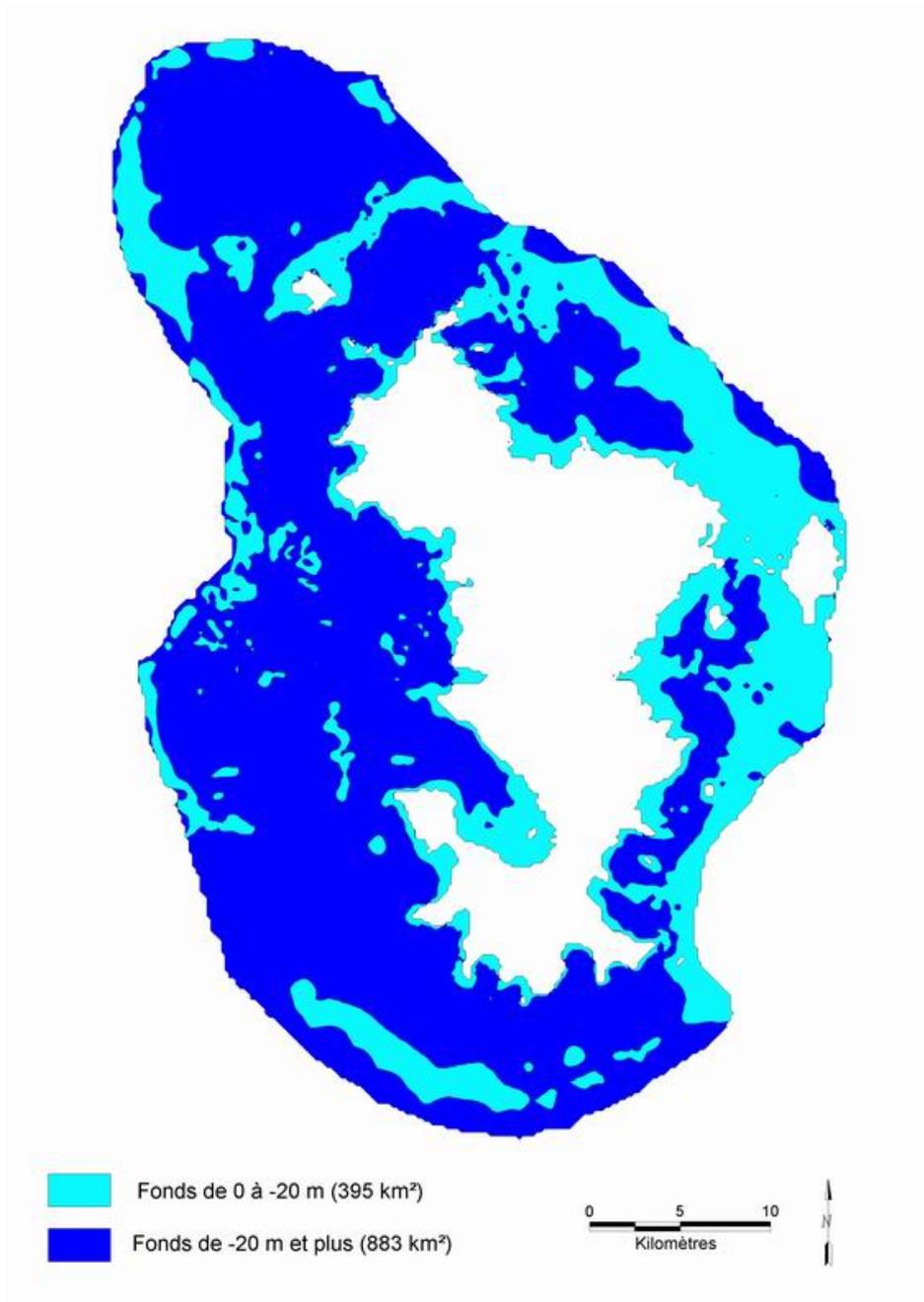


Illustration 10 - Répartition des petits et moyens fonds du lagon de Mayotte

Les avantages du Lidar sont d'effectuer très rapidement les levés avec une résolution supérieure (meilleure densité des points de mesure) et de couvrir l'estran quelque soit la marée en conjuguant les modes bathymétriques et topographiques. L'inconvénient est la nécessité de la transparence de l'eau, ce qui doit pouvoir se surmonter en choisissant une période de levé en saison sèche.

Différents prestataires se partagent le marché : Tenix, Australie (système LADS), OPTECH, USA (système SHOALS) ou le consortium anglo-suédois de l'Admiralty Coastal Surveys (système Hawk Eye II). Le SHOM qui a décidé de mettre en oeuvre ce type de technologie sur le territoire de métropole et d'outre-mer a choisi le système SHOALS, testé dans le golfe du Morbihan dans le cadre du projet Litto3D. Le BRGM teste en ce moment le système de l'Admiralty Coastal Surveys en métropole.

Les coûts moyens dépendent de la durée des levés et de la difficulté des levés sur le terrain : configuration : ils peuvent atteindre 5 à 6000 €/km² mais pour des levés d'une certaine ampleur ils peuvent être très diminués et atteindre 1000 à 2000 €/ km² selon les prestations plus les frais de mobilisation.

Compte tenu de la configuration des petits fonds et des contraintes d'un levé aéroporté (ligne de vol continue assez longue), il est nécessaire d'envisager un levé complet de l'île incluant zone émergée et partie sous-marine et récifale. Bien que non reconnu par cette technique, les fonds plus importants seront aussi survolés. Au total cela représente une superficie d'environ 1650 km² (soit 1280 m² de lagon et 370 km² de terre). De plus certaines zones devront être « volées » à deux reprises pour tenir compte de l'absence de couverture de la zone 0-1m.

La superficie de la zone reconnue accroît le coût de l'opération (mais diminue le coût moyen au km²). Elle permet surtout d'avoir une donnée topographique de base terre-mer continue sur l'ensemble de l'île. Un tel levé apporterait donc des informations de référence pour un grand nombre d'applications terrestres et maritimes : gestion de l'espace, environnement, risques...

Un projet de levé LIDAR Mayotte peut être présenté sous l'égide du programme LITTO3D ce qui permet d'accéder à un cahier des charges défini par les organismes nationaux spécialisés (IGN et SHOM) et de labelliser cette demande auprès des instances nationales ou internationales.

- **Les moyens fonds (de -20 à -80 m) :**

Les moyens fonds représentent la majorité des fonds du lagon. La meilleure technique pour la reconnaissance de ces fonds est la réalisation d'un levé bathymétrique systématique au sondeur SMF. Une évaluation détaillée du temps de levé devra être réalisée dans le cadre d'un appel d'offres. Celle-ci est rendue délicate par la segmentation des zones plus profondes par des zones récifales plus ou moins larges ou la présence de récifs isolés dont les approches seront délicates. La réalisation d'un tel levé serait rendue plus aisée et moins coûteuse en cas de réalisation au préalable d'un levé aéroporté pour les petits fonds.

A ce jour aucun système de sondeur multifaisceaux n'est disponible à Mayotte.

Bambou Exploration projette de s'équiper en SMF mais l'achat de ce matériel dépend de l'acquisition du marché. Une proposition commerciale nous a été fournie sur la base d'un levé SMF de l'intégralité du lagon et d'un coût avoisinant les 1 500 €/km², le lagon faisant dans les 1300 km² (Annexe 7). Le coût –et la faisabilité– de ce projet pour le levé d'ensemble (plan et chronogramme des travaux) ou pour un levé des fonds supérieurs à 10 mètres devront être évalués.

L'affrètement d'un navire équipé peut être aussi envisagé malgré l'éloignement des principaux fournisseurs de ce type de service. Le transport d'une vedette équipée serait possible techniquement mais coûteux compte tenu de l'éloignement.

Parmi les navires pouvant être affrétés à coût relativement modéré notamment pour la mobilisation – démobilitation, le navire La Curieuse de l'IPEV basée à La Réunion pourrait être mobilisé. Ce navire n'est pas à ce jour équipé d'un SMF mais l'achat d'un système est envisagé par l'IPEV. Il est aussi possible d'installer un système mobile pour la durée d'un levé. Cette installation nécessite quelques travaux et une équipe spécialisée. Des contacts ont été pris avec des prestataires possibles. A titre d'exemple, un levé de bathymétrie SMF avec matériel mobile installé sur un navire léger affrété a été entrepris par le BRGM au large de Basse-Terre de Guadeloupe en 1998 (Illustration 11).

	<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
Levé aéroporté	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Levé complet terre et mer</u> : applications nombreuses - Rapidité 	<ul style="list-style-type: none"> - densité sondes un peu inférieure (4m en mer mais 2m à terre) - profondeur de 0 à 1 m non insonifiée nécessite passages à hauteurs d'eau différente - pas d'imagerie des fonds (en cours de développement) - zone à lever plus étendue : coût global plus important
Bathymétrie SMF très petits fonds	<ul style="list-style-type: none"> - Densité des sondes un peu supérieure au levé LIDAR - <u>Imagerie acoustique des fonds</u> 	<ul style="list-style-type: none"> - difficulté voire impossibilité navigation - fauchée faible : nombreux profils - durée des levés - risques importants pour matériels coûteux

Illustration 11 -- Comparaison des techniques de levé bathymétrique détaillé en domaine de très petits fonds

En ce qui concerne les zones à hydrographier, celles qui ont été levées par le SHOM (Illustration 3) pourront être valorisées mais elles ne représentent qu'une superficie limitée, un certain recouvrement sera donc nécessaire car elles sont étroites et discontinues.

La superficie des moyens fonds avoisinant les 900 km², et compte-tenu des difficultés de navigation en zone de hauts-fonds, le temps des levés serait approximativement de 1 mois selon les possibilités du navire (levés de jours ou 24h/24h)⁹. A titre de comparaison les tarifs proposés pour La Curieuse sont d'environ 3000 €/j. La location d'un équipement mobile de sondeur multi-faisceaux avoisine également les 3000 €/j.

4.2. LES DONNEES COURANTOLOGIQUES

4.2.1. Bilan

Les meilleures connaissances sur la courantologie relèvent donc des modèles numériques réalisés par le GIS LAGMAY, SAFEGE et BCEOM. Mais si ces modèles apportent une information de qualité, ils sont cependant limités à certains secteurs de l'île, ce qui ne permet pas d'appréhender la circulation générale des masses d'eau du lagon. Pour ce faire, il faudrait réaliser une mosaïque de « petits » modèles locaux qui reviendrait à recommencer mainte fois le travail d'acquisition des données de base et présenterait un problème d'hétérogénéité du résultat en fonction des producteurs et des moyens mis en oeuvre.

⁹ La durée exacte devra être calculée en fonction de la longueur exacte des routes du navire (à tracer en fonction des fonds et de la fauchée du SMF) et de sa vitesse de déplacement (qui dépend du type de levé).

Il manque donc clairement aujourd'hui un modèle qui fasse le lien entre un modèle général du bassin océanique et un modèle local, c'est à dire un modèle « intermédiaire » prenant en compte l'ensemble du lagon. Un modèle de ce genre permettrait en effet de disposer d'un état général pour une gestion globale du lagon et servirait, sur le plan technique, de support homogène et cohérent à toute courantologie « fine » nécessaire au niveau local¹⁰.

4.2.2. Vers un modèle global

Un modèle 2D ou 3D ?

Le choix du type de modèle dépend des phénomènes physiques présents dans le lagon. La connaissance apportée par la littérature et les autres modèles réalisés dans le lagon montrent que :

- la marée est le principal agent de forçage ;
- le vent semble avoir une importance cruciale ;
- une stratification thermo-haline est probable dans le lagon, au moins au niveau des zones de rejets ;
- l'influence des vagues n'est pas connue.

Un modèle complet de circulation au sein du lagon devrait donc prendre en compte, au moins le forçage dû à la marée et si possible le forçage dû au vent. Les modèles hydrodynamiques 2DH (dans un espace plan x-y, fournissant les courants intégrés sur la verticale et les hauteurs d'eau) répondent à ce type de besoin.

La stratification thermique implique des circulations 3D qui nécessitent une modélisation 3D des courants. Toutefois, avant de mettre en place un tel modèle 3D (modélisation plus complexe, nécessitant une validation par plus de mesures que pour un modèle 2DH), il est nécessaire de mettre en place un modèle 2DH du lagon. En fonction des résultats obtenus avec la modélisation 2DH, une modélisation 3D pourra alors être envisagée, afin de modéliser d'autres zones de rejets par exemple, sur des emprises restreintes, au sein du lagon.

Ainsi, sur la base de la connaissance des phénomènes physiques présents dans le lagon et des études de modélisations hydrodynamiques existantes, une modélisation hydrodynamique 2DH du lagon semble la plus appropriée, avec une taille de maille comprise entre 200 et 50 m, et ce, sur un domaine d'environ 55 km par 35 km (emprise du lagon).

Solutions techniques

L'illustration 13 synthétise les 3 méthodes proposées ainsi que les logiciels et limites associées. Selon le type de résultats attendus, plusieurs méthodes peuvent être envisagées :

- Méthode 1 :
 - o Marée : prise en compte et validée ;
 - o Vent : pas pris en compte.

¹⁰ Cette démarche de « modèle courantologique global » est également mise en oeuvre en ce moment à La Réunion.

- Méthode 2 :
 - o Marée : prise en compte et validée ;
 - o Vent : pris en compte et validé qualitativement sur des scénarii types.
- Méthode 3 :
 - o Marée : prise en compte et validée ;
 - o Vent : pris en compte et validé quantitativement à partir de mesures hydrodynamiques adéquates.

Dans le cas où le vent n'est pas considéré (méthode 1), un modèle 2DH couvrant le lagon pourrait être mise en place.

Dans le cas où le vent est considéré (méthode 2 et 3), il faudra imposer au modèle des conditions aux limites¹¹ intégrant non seulement les effets de la marée, mais aussi du vent. Ceci nécessite de mettre en place un ou plusieurs modèles de plus grande emprise qui seront forcés¹² par le vent et la marée. C'est ce qui est communément appelé modèles gigognes, ou bien modèles emboîtés (allant du rang 0 – modèle de plus grande emprise – au rang final correspondant à l'emprise du lagon). Selon le degré de précision requis, deux méthodes sont envisageables :

- Méthode 2 : il s'agirait de mettre en place un modèle et de réaliser des simulations de scénarii typiques de conjonction de marée et de tempête. Ce modèle serait quantitativement validé en terme de marée, mais celui-ci ne pourraient être validé que qualitativement en terme de circulations induites par les tempêtes.

- Méthode 3 : Il n'existe pas de jeu de données adéquat pour valider quantitativement un modèle du lagon intégrant le vent. En effet, à ce jour, aucune série de mesures de courants et hauteurs d'eau simultanées et réparties dans les différentes zones du lagon n'est disponible. Afin d'avoir une couverture spatio-temporelle suffisante, il faudrait donc réaliser une dizaine de mesures de courants et de hauteurs d'eau, réparties dans tout le lagon, simultanées et ce, sur une période d'au moins 1 mois, si possible en période de tempête. Il conviendra d'analyser ces mesures pour en extraire les composantes de marée et de tempêtes. En s'appuyant sur ce jeu de données, il s'agirait ensuite de mettre en place un modèle, de le calibrer et de la valider en terme de marée, et de circulations induites par les tempêtes, sur la période de mesures. Ensuite, des simulations de scénarii typiques de conjonction de marée et de tempête pourront être réalisées. Une plus grande confiance pourra alors être accordée aux résultats obtenus sur ces scénarii, en particulier par rapport à la méthode 2, où la validation des circulations induites par le vent reste qualitative. Cette méthode 3 ne peut donc être appliquée que si une campagne de mesure spécifique est réalisée au préalable.

Rappelons que, quelque soit la méthode choisie :

- La modélisation globale du lagon est pertinente avec un modèle 2DH. Cependant, la stratification thermique n'est pas prise en compte, et donc les résultats sont à utiliser avec précaution dans les zones de rejet. Pour bien reproduire les effets de stratification thermique (qui engendrent des courants 3D), il est nécessaire de mettre en place des modèles plus détaillés (3D).

¹¹ Valeurs de hauteur d'eau ou vitesses imposées sur les frontières du domaine (e.g. du maillage)

¹² Forçage : force extérieure contrôlant la dynamique du système (ex : le vent exerce une contrainte sur toute la surface de l'eau, qui engendre des courants ainsi que des variations de la hauteur d'eau).

- Concernant les données bathymétriques, les données du SHOM pourraient fournir une maille de l'ordre de 200 m, ce qui pourrait être suffisant à l'échelle du lagon si tant est qu'elles soient disponibles sous forme numérique. Une bathymétrie plus précise (échantillonnage spatial de l'ordre de la dizaine de mètre) permettrait dans tous les cas d'améliorer les résultats et, en outre, une modélisation plus détaillée pour les zones à enjeux (rejets, plages, etc.).
- Plus les données hydrodynamiques (courantomètres, marégraphes) disponibles seront nombreuses, bien réparties et de qualité, plus les résultats du modèle seront fiables.

Etude préliminaire à un programme « BATHYLAG »

	Méthode 1	Méthode 2	Méthode 3
Modèles	Telemac2D	Mars2D et scenarii typique	Mars2D, conditions réelles et scénarii typiques
Types de résultats	Courants 2DH et hauteurs d'eau, liés à la marée uniquement	Courants 2DH et hauteurs d'eau, liées à la marée et au vent	Courants 2DH et hauteurs d'eau, liées à la marée et au vent
Limites	Pas de prise en compte du vent Pas de prise en compte des circulations 3D Pas de prise en compte de la houle	Pas de validation quantitative des circulations induites par le vent Pas de prise en compte des circulations 3D Pas de prise en compte de la houle	Pas de validation quantitative des circulations induites par le vent Pas de prise en compte des circulations 3D Pas de prise en compte de la houle
Données requises	- MNT 200 à 50m - Rugosité du fond (granulométrie et morphologie) - Hauteur d'eau de marée (SHOM, FES2004) sur les frontières du domaine - Mesures de courants et hauteur d'eau au sein du lagon (à analyser pour extraire les composantes de marée)	- MNT 200 à 50m - Rugosité du fond (granulométrie et morphologie) - Hauteur d'eau de marée (SHOM, FES2004) sur les frontières du domaine du rang 0. - Hauteur d'eau en période de tempête - Données de vent ou scénario type à l'échelle du rang0 et du lagon. - Mesures de courants et hauteur d'eau au sein du lagon (à analyser pour extraire les composantes de marée)	- MNT 200 à 50m - Rugosité du fond (granulométrie et morphologie) - Hauteur d'eau de marée (SHOM, FES2004) sur les frontières du domaine du rang 0. - Mesures de hauteur d'eau et courants simultanés en période de tempête, répartis proprement au sein du lagon (à analyser) - Données de vent ou scénario type à l'échelle du rang0 et du lagon.
Scénarii	2 : - vive-eau moyenne - morte-eau moyenne	3 parmi: - morte-eau avec vent de Nord-Nord Est; - morte-eau avec vent de sud; - morte eau, sans vent; - vive-eau avec vent de Nord-Nord Est; - vive-eau avec vent de Sud; - vive-eau, sans vent.	1 scénario réel, correspondant à la campagne de mesure hydrodynamique spécifique. 3 parmi: - morte-eau avec vent de Nord-Nord Est; - morte-eau avec vent de sud; - morte eau, sans vent; - vive-eau avec vent de Nord-Nord Est; - vive-eau avec vent de Sud; - vive-eau, sans vent.
Temps jour-homme estimé	70*	85*	170*,**

*: attention, ces jours sont estimés pour quelqu'un connaissant : (1) les outils d'analyse de données d'hydrodynamique et de vent ; (2) les logiciels Telemac et Mars.

** : ce temps estimé n'inclut pas la mise en place et la réalisation de la campagne de mesures (courants et hauteurs d'eau).

Illustration 12 – Méthodes proposées de modélisation 2DH des courants et hauteurs d'eau dans le lagon de Mayotte.

4.3. LES DONNEES DE NATURE DES FONDS

La nature des fonds n'est donc réellement connue que pour la partie Nord-Est du lagon qui a été levée par dragages en 1990 (Kouyoumontzakis *et al.* 1991).

La méthode la plus adaptée à la cartographie de la nature de la surface des fonds (cartographie des faciès sédimentaires) est l'utilisation de l'imagerie acoustique (Illustration 13). Le principe est de fournir une image acoustique (ou sonogramme) qui par les variations de teintes et de textures (liées aux variations de réflectivité du substrat) permettent d'identifier les types de fonds. Des prélèvements sont effectués afin de caractériser chaque teinte par un type de sédiment ou de fond (vase, sable, roche, etc.).

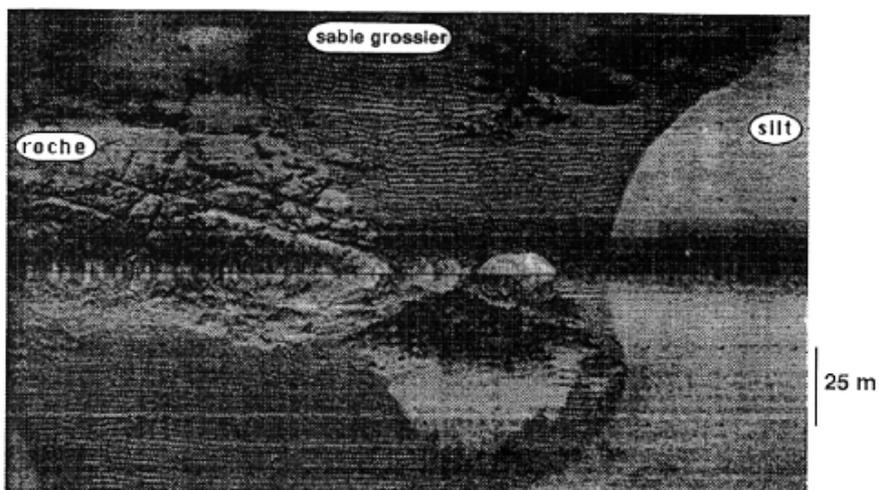


Illustration 13 –Principe de l'image acoustique ou « sonogramme » (source Ifremer)

Comme il a été précisé précédemment, jusqu'à peu, seul le sonar latéral pouvait fournir ce type de données mais aujourd'hui les systèmes SMF produisent également de l'imagerie tout en mesurant les données de profondeur (Illustration 14).

Dans la mesure où une campagne SMF est mise en oeuvre à Mayotte pour la bathymétrie du lagon, il ne sera pas nécessaire de faire des levés supplémentaires pour connaître la nature des fonds, si ce n'est des prélèvements afin de calibrer les teintes. Le coût se situe donc davantage dans le temps de post-traitements nécessaires à l'interprétation des sonogrammes et à la production cartographique.

En terme de couverture spatiale, l'utilisation de l'imagerie SMF permettrait une cartographie des fonds de -20 à -80 m. En outre, la partie du Nord-Est déjà connue pourra faire l'objet d'un nouveau levé afin d'observer l'évolution des lutites dans le contexte d'envasement du lagon.

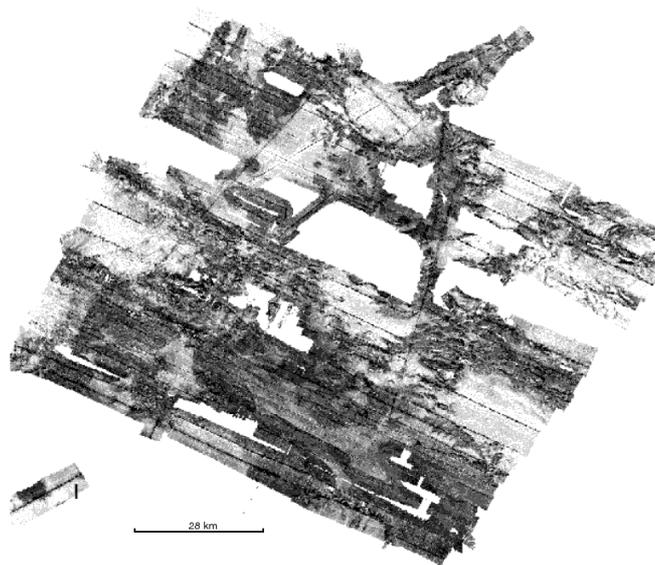


Illustration 14 – Mosaïque issue de l'imagerie SMF (source SHOM)

5. Conclusion

Ainsi, la phase d'**inventaire** a permis de faire le point sur les données marines existantes dans le lagon de Mayotte :

- Pour la bathymétrie : la totalité du lagon est couvert par le SHOM mais à une précision souvent insuffisante pour des applications locales en domaines côtier (aménagements côtiers et sous-marins, courantologie, connaissance du milieu etc.) pour lesquelles de nouveaux levés ont été réalisés au coup par coup sur certains secteurs par Bambou Exploration.
- Pour la courantologie : outre un certain nombre de mesures ponctuelles, trois modèles numériques ont été réalisés par le GIS LAGMAY (zone Ajangoua-Bandrélé), la SAFEGE (Petite-Terre) et BCEOM (M'Tsamoro – en cours). Ces modèles « locaux » sont soit 2D soit 3D et sont reliés à un modèle très général à l'échelle du bassin océanique en l'absence d'un modèle intermédiaire à l'échelle du lagon.
- Pour la nature des fonds : beaucoup de prélèvements ont été faits mais seule la partie Nord-Est du lagon est aujourd'hui cartographiée.

Un certain nombre de **propositions** peuvent donc être faites afin de compléter les manques identifiés dans l'inventaire :

- Pour la bathymétrie : dans le cas d'une acquisition de données plus précises à celles du SHOM, un levé haute résolution de l'ensemble du lagon peut être réalisé selon deux scénarios. Un scénario comprendrait d'abord un levé aéroporté complet de l'île et des hauts-fonds qui apporterait une information de référence topographique à terre et bathymétrique pour les fonds jusqu'à 20m ou plus puis un levé de bathymétrie multifaisceaux permettrait d'obtenir un levé bathymétrique détaillé des fonds plus importants. Un second scénario ne comprendrait que des levés bathymétriques seuls mais serait très difficile et très longs dans les petits fonds.
- Pour la courantologie : un modèle courantologique de l'ensemble du lagon de Mayotte peut être réalisé afin d'obtenir une vision globale de la circulation des masses d'eau et de servir de support homogène à des modèles locaux. Compte tenu des phénomènes physiques présents dans le lagon, une modélisation hydrodynamique 2DH (courants sur la verticale et hauteurs d'eau) s'avère la plus adaptée en prenant en compte le rôle de la marée et du vent.
- Pour la nature des fonds : le SMF permet également d'interpréter la couverture sédimentaire de surface, il représente donc la meilleure solution pour répondre simultanément aux besoins bathymétriques et sédimentologiques sans avoir à faire de levés spécifiques pour connaître la nature des fonds. Une cartographie des faciès sédimentaire peut ainsi être produite pour les fonds de -20 à -80 m. Il s'avère en outre

intéressant de lever également la partie Nord-Est déjà connue afin de constater l'évolution de l'envasement du lagon entre 1990 et aujourd'hui.

En somme, si les besoins sont confirmés par les gestionnaires, un programme d'acquisition de données marines de référence peut être monté en 3 phases avec : une phase d'acquisition de données dans les moyens fonds (bathymétrie et sédimentologie), suivie d'une phase de d'acquisition dans les petits fonds (bathymétrie) et enfin une phase de modélisation courantologique à l'échelle du lagon.

Bibliographie

ANONYME, 1988 - Etude de courantologie secteur Est (commune de Mamoudzou). S.E.T.O.I., La Réunion : 35 pp. multigr.

ARNOUX-VALÈRE N., 1990 - Contribution du Laboratoire d'Hydrologie à l'étude du lagon de Mayotte (missions Acanthaster Ecomay-Ecolag). Thèse Doct. Pharmacie, Univ. Aix-Marseille II : 53 pp. multigr. + annexe.

ARNOUX S., FRAUNIÉ F., DEKEYSER I. et THOMASSIN B.A., 1994 - *Simulation de circulation hydrodynamique à l'aide d'un modèle tridimensionnel du complexe récifo-lagonaire "Ajangoua-Bandrelé", Ile de Mayotte, lagon Est.* Rapp. Centre d'Océanologie de Marseille (C.N.R.S.-U.R.A. n° 41), Univ. Aix-Marseille II, pour Serv. Pêches & D.A.F. Mayotte, mars 1994 : 50 p. + annexe.

GOURBESVILLE Ph., SCARCERIEAU F., DESCAMP P. et THOMASSIN. B.A., 2000 a- *Etude préalable à l'endiguement de trois secteurs. 1 & 3. Etude d'impacts possibles sur le milieu lagunaire de l'Anse Choa (« Quai des Douanes » et le milieu estuarien de la mangrove de Kaouéni (nouveau tracé de la route R.N.1 sur Kaouéni-Hamaha), Mamoudzou, par endiguements et remblais. 2. Modélisation hydrodynamique de l'Anse Choa, détroit de dzaoudzi-Mamoudzou, et de l'estuaire de la Kaouéni ; impacts des remblais sur la courantologie et les peuplements.)*. Rapport G.I.S. "Lag-May" pour Dir. Equipement de Mayotte, juillet 2000 : 35 p.

GOURBESVILLE Ph., SCARCERIEAU F et THOMASSIN B.A., 2000 b- *Etude préalable à l'endiguement de trois secteurs. 2. Etude d'impacts sur le milieu lagunaire de la "vasière des Badamiers" (ou "lagune de Fougoujou"), "Petite terre", et sur la partie voisine du lagon Ajangoua du projet d'extension sur la lagune du quartier du "Four-à-Chaux", Labattoir, par endiguements et remblais.* Rapport G.I.S. "Lag-May" pour Dir. Equipement de Mayotte, juin 2000 + Annexe.

GOUT B., 1984 - Peuplements macrobenthiques des sédiments du lagon et des récifs de Mayotte (SW Océan Indien), radiale Nord Mamutzu-Pamanzi (Mission CORDET 1983). Mém. D.E.A., option "Ecologie aquatique", Univ. Sci. & Techn. Montpellier : 36 pp. multigr.

GOUT B., 1991 - *Influence des apports terrigènes dans les écosystèmes lagunaires de Mayotte et de Nouvelle-Calédonie (Province Indopacifique). Impact sur les peuplements benthiques.* Thèse Doct. Univ. Sci. & Techn. du Languedoc, spécialité "Physiologie, Biologie des organismes et des populations", Montpellier, 29 janv. 1991 : 252 p.

GUILCHER A., BERTHOIS L., LE CALVEZ Y., BATTISTINI R. et CROSNIER A., 1965 - Les récifs coralliens et le lagon de l'île de Mayotte (Archipel des Comores, océan Indien) : géomorphologie, sédimentologie, hydrologie, foraminifères. *Mém. O.R.S.T.O.M.*, Paris, 11 : 1-210.

GOURMELON F., LIRET C., BONNET M., 2000 - Approche géomatique de l'habitat du grand dauphin en mer d'Iroise. Coastgis'99: Geomatics and coastal environment, Loubersac L. & Populus J., Editions de l'Ifremer, p. 186-197

KOUYOUMONTZAKIS G., ARNOUX A., THOMASSIN B.A. et GOUT B., 1991 - Extension de la zone de sédimentation terrigène dans le lagon Nord-Est de Mayotte (océan Indien occidental) sous l'effet de l'anthropisation récente. *3ème Congr. fr. Sédimentol.*, Brest, 18-20 nov. 1991, *Vol. Résumés* : pp. 181-182.

LE BERRE I., GOURMELON F., LIRET C., 2002 - Modélisation bathymétrique de la mer d'Iroise, application à l'étude du grand dauphin côtier. *Revue internationale de Géomatique*, n° spécial «SIG côtiers», vol. 12, n°3/2002, p. 337-354

MASSE J.P., THOMASSIN B.A., ACQUAVIVA M., 1989 - Bioclastic sedimentary environments of coral reefs and lagoon around Mayotte Island (Comoro Archipelago, Mozambique Channel, S.W. Indian Ocean). *J. coast. Res.*, 5(3) : 419-432.

PORCHER M., SCHRIMM M., OBERLINKELS M., MORANCY R., NICOT S., GABRIE C., CHEMINEE A., QUOD J-P., BIGOT L. et ESBELIN C. ; coll. THOMASSIN B.A., BLASCO F. et FROMARD F., 2002 – Plan de gestion du lagon de Mayotte. Volet n°2 : Etat des lieux des milieux côtiers et récifo-lagonaires, CAREX Environnement - WWF – ARVAM, 84 p.

RAUNET M., 1992 – *Les facteurs de l'érosion des terres et de l'envasement du lagon. Ile de Mayotte (Archipel des Comores, Océan Indien)*, Rapport Cirad, Départ. Cultures annuelles et Univ. La Réunion Lab Géol. : 68 p.+ 1 carte.

SAFEGE, 2005 – Etudes préalables à la modification de la prise d'eau du dessalement et à la création d'un système d'assainissement à Petite-Terre. Phase 1 – SIEAM.

THOMASSIN B.A., 1986 - *Mayotte : un lagon, pourquoi?, pour en faire quoi? Rapport de mission à Mayotte (Collectivité territoriale française), 12-23 Octobre 1986*. Rapp. Centre Océanol. Marseille & Assemblée Nationale : 42 pp. multigr. + 13 pp. multigr., Bibliographie des travaux concernant le milieu marin de l'île de Mayotte, des bancs coralliens et des fonds marins adjacents.

THOMASSIN B.A., 1990 - Campagne CARLAMAY (25/08/89 - 07/09/89), Carottages-Lagon-Mayotte, à bord de la vedette des T.A.A.F. "La Curieuse". Note d'information sur la campagne. Janv. 1990 : 9 pp. multigr. + 6 fig.

THOMASSIN B.A., ARNOUX A., COUDRAY J., FROGET C., GOUT B., KOUYOUMONTZAKIS G., MASSE J.P., REYRE Y., REYS J.P., VACELET E., 1989 - La sédimentation actuelle dans le lagon de Mayotte (île volcanique à récif-barrière, SW Océan Indien) et son évolution récente en liaison avec les apports terrigènes. *Bull. Soc. géol. France*, 5 (6) : 1235-1251.

THOMASSIN B.A., GOURBESVILLE Ph., 1998 - Station d'épuration des eaux usées de Mamoudzou-Kavani : Construction dans la mangrove de Kavani et rejet de l'effluent dans le lagon "Agangoua-Bandélé" (secteur septentrional, chenal de l'îlot Bouzi). Synthèse des données sur le milieu marin ; étude d'impact sur le lagon. Rapp. G.I.S. "Lag-May", Dir. Equipement Mayotte, déc. 1998 : 65 pp. multigr. +annexes.

THOMASSIN B.A., ARNOUX A., BERLAND B., BECHEMIN Ch., PICHON M., FERTILLE J.-Ch., MARSHALL Ch., ROY D., 1998. Les récifs coralliens frangeants de l'île de Mayotte ("Grande Terre") : Ré-examen de l'état de santé & Bilan de la qualité des eaux côtières (14 sept.-15 oct.

1997). Rapp. G.I.S. "Lag-May" / C.O.M., Dir. Agriculture & Forêts, Mayotte, mars 1998 : 61 pp. Multigr. + annexes et cartes.

VERDIER-BONNET C., GIRAUD S., ANGOT Ph., FRAUNIE Ph., DEKEYSER I. et MARCER R., 1993 – Modélisation numériques des écoulements marins côtiers tridimensionnels à surface libre. Colloque « Méthodes informatiques de la Conception industrielle », IMT, Marseille, Juin 1993 : 8 pp. multigr.

ZINKE J., REIJMER J.J.G. et THOMASSIN B.A., 2001 – Seismic architecture and sediment distribution within the Holocene reef-lagoon complex of Mayotte (Comoro Archipelego, SW Indian Ocean), Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 175, 343-368.

Annexe 1

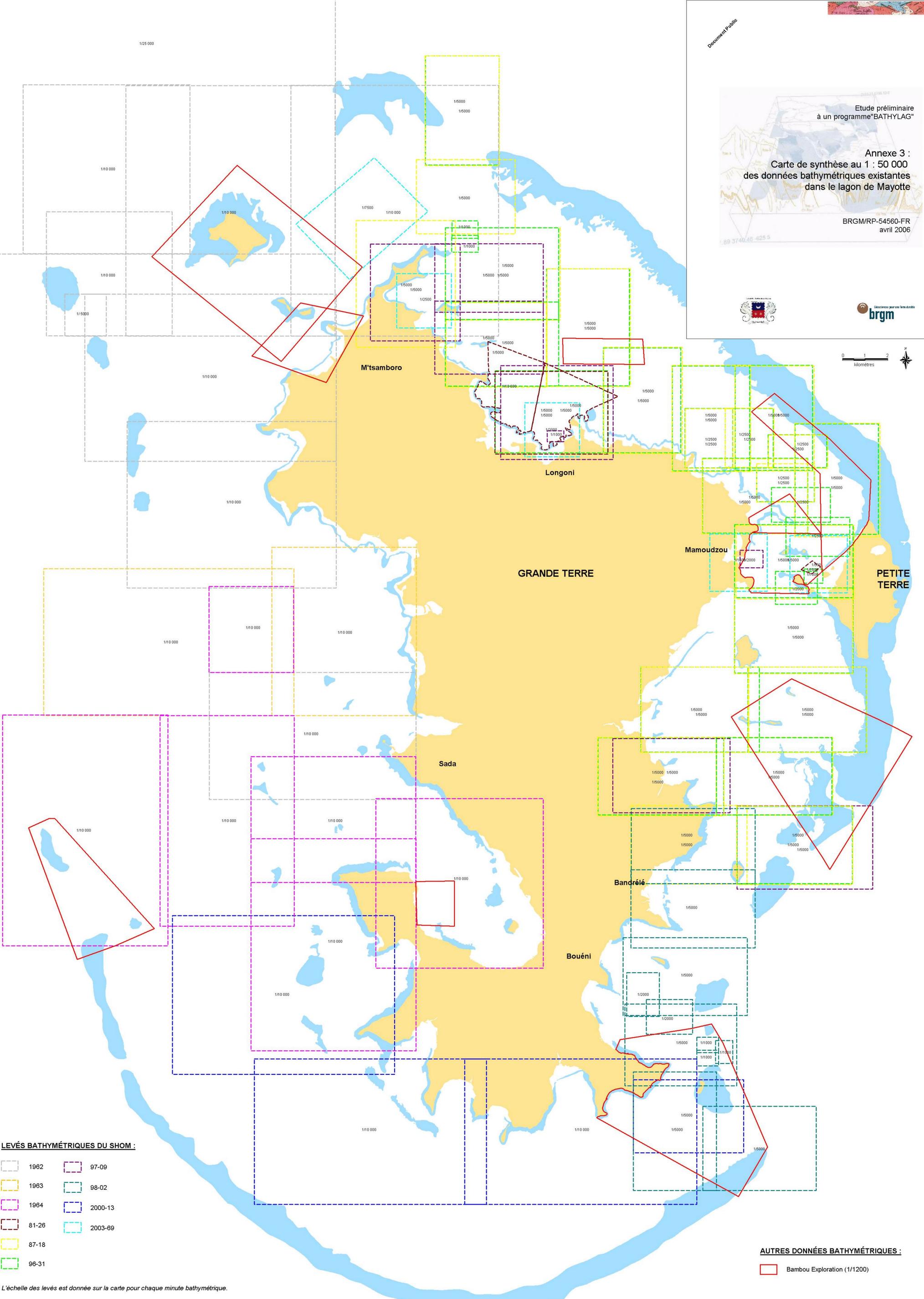
**Courrier de la DAF (réf. GD/DG/03-044)
à l'attention du BRGM**

Annexe 2

Document faisant la synthèse des données du SHOM sur Mayotte

Annexe 3

Carte de synthèse au 1 : 50 000 des données bathymétriques, courantologiques et de nature des fonds du lagon de Mayotte (hors-texte)



LEVÉS BATHYMÉTRIQUES DU SHOM :

- 1962
- 1963
- 1964
- 81-26
- 87-18
- 96-31
- 97-09
- 98-02
- 2000-13
- 2003-69

AUTRES DONNÉES BATHYMÉTRIQUES :

- Bambou Exploration (1/1200)

L'échelle des levés est donnée sur la carte pour chaque minute bathymétrique.

Annexe 4

Cartes des mesures de courants et de prélèvements de sédiments réalisés pendant la campagne ORSTOM de 1959 - Issu de Guilcher *et al.*, 1965.

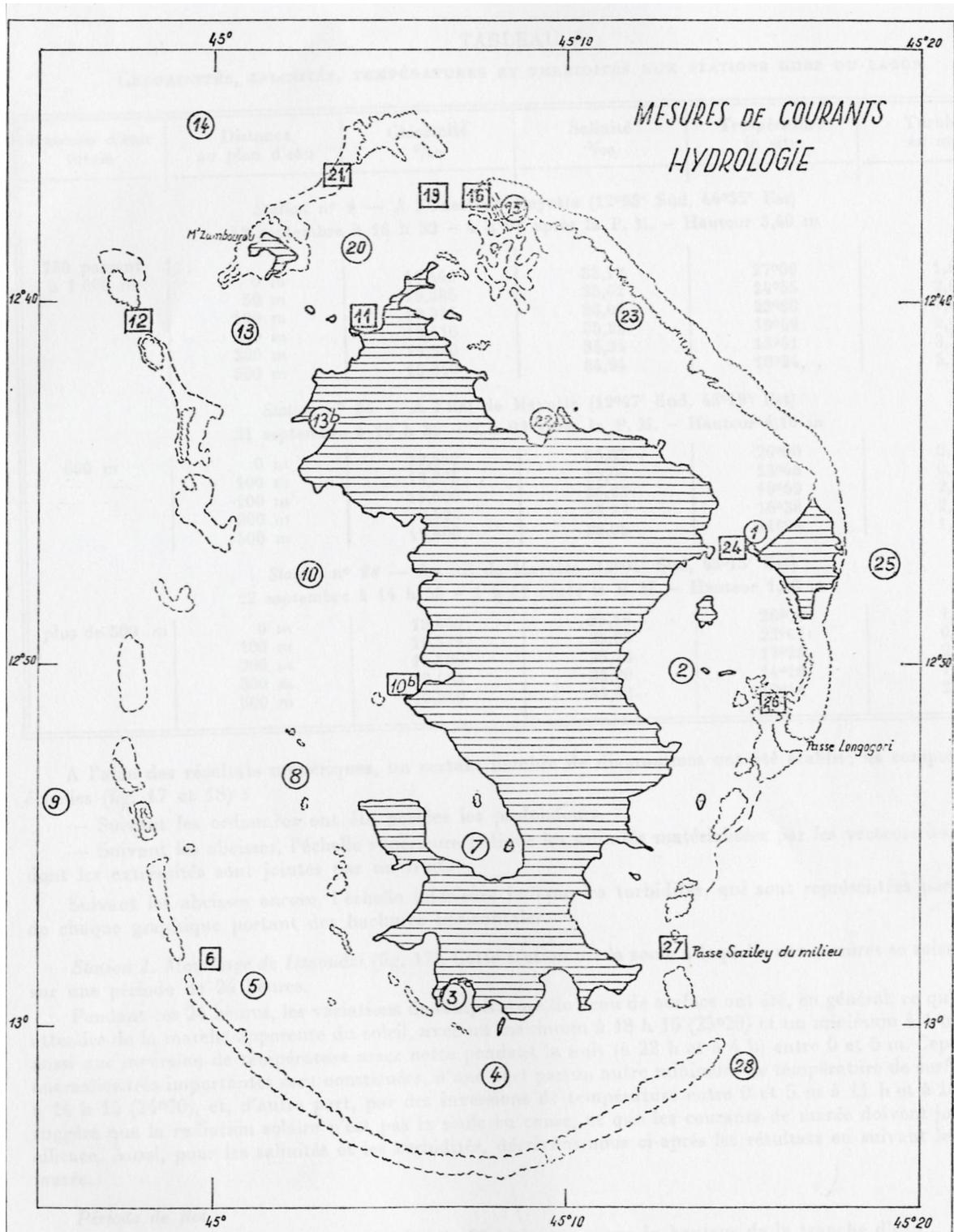


FIG. 16. — Localisation des mesures de courants (carrés) et des stations hydrologiques (cercles).

Location of current measurements (squares), and of hydrological stations (circles).

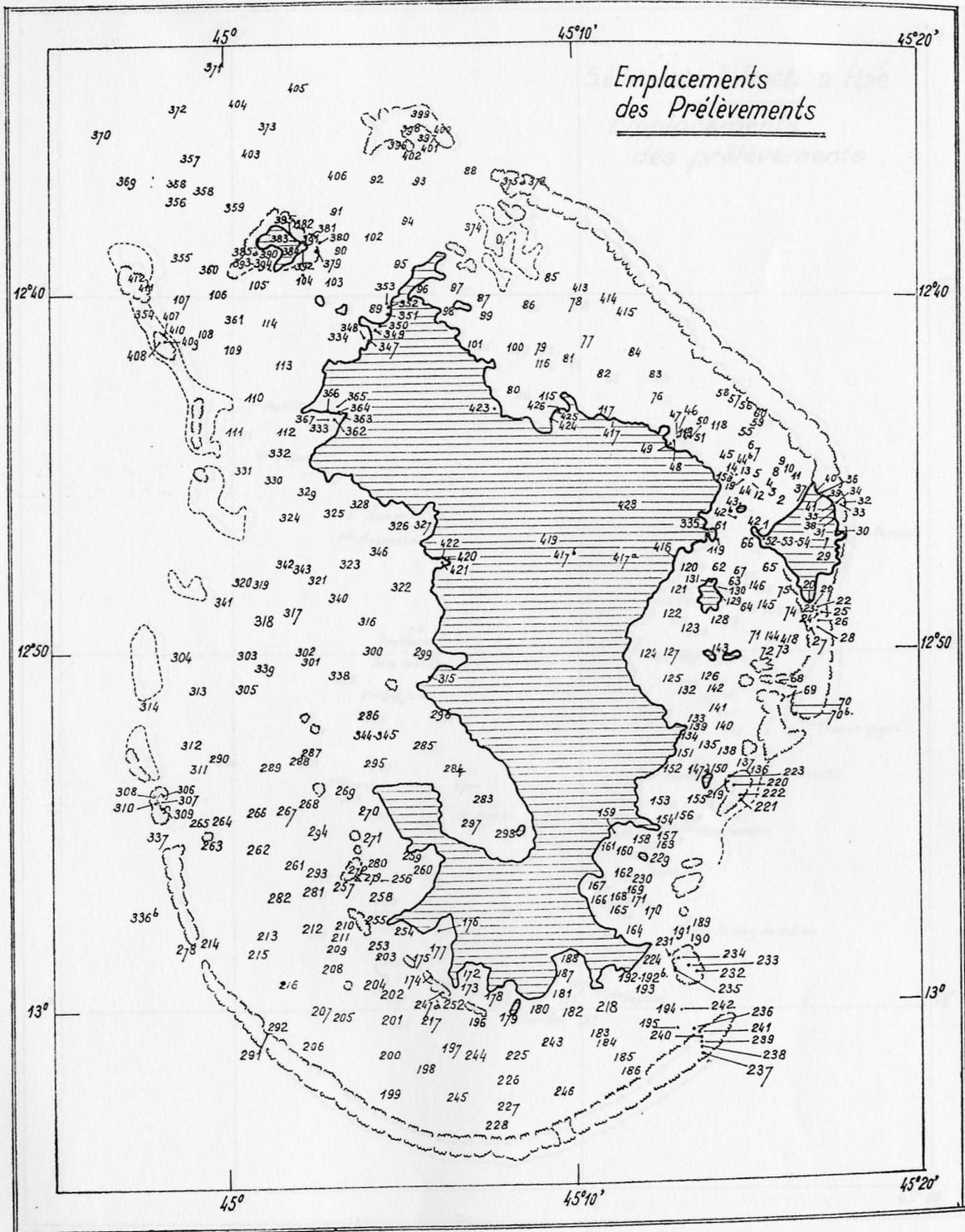
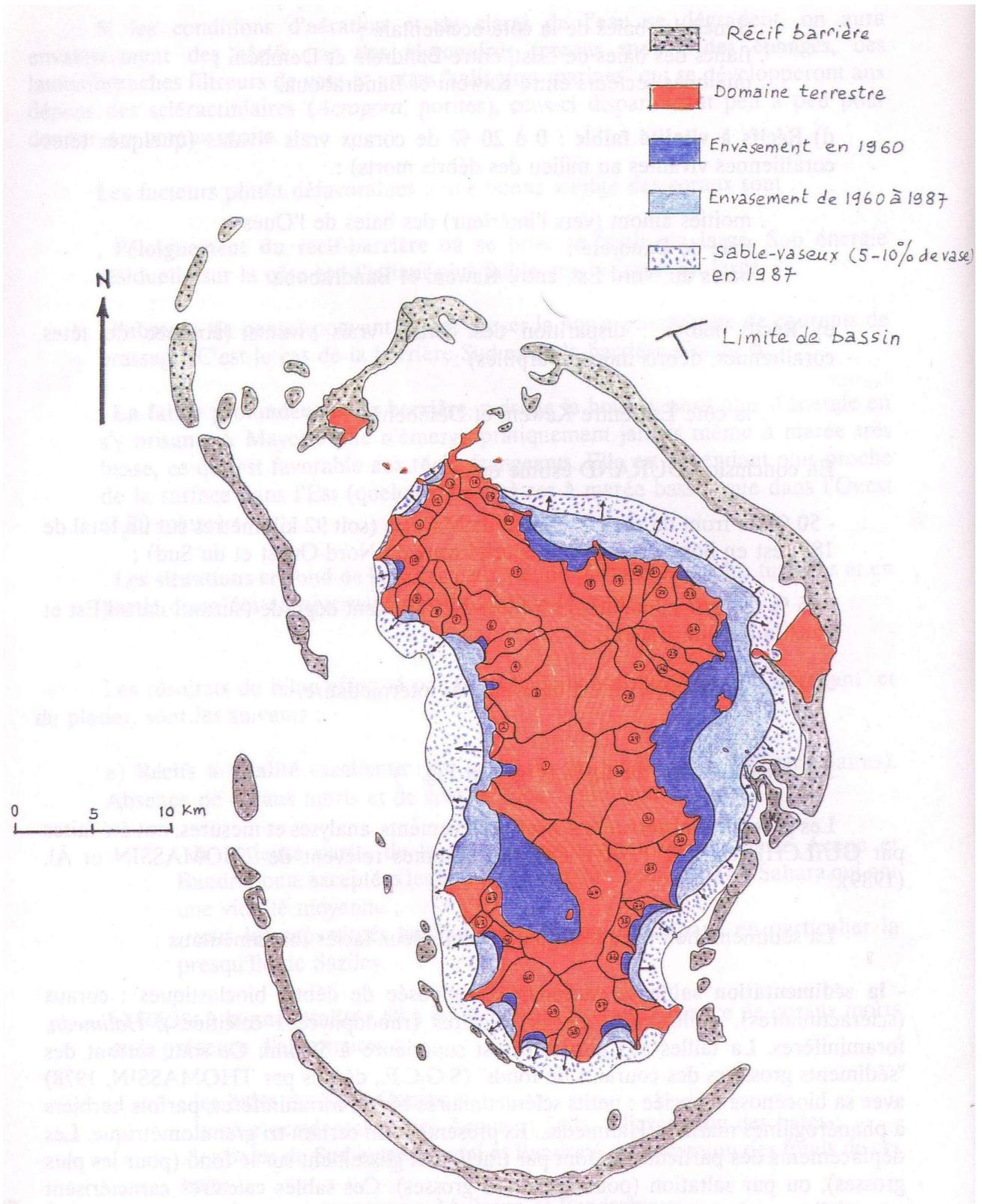


FIG. 36. — Emplacement des prélèvements.
Location of samples.

Annexe 5

Carte de l'évolution de l'envasement de Mayotte d'après Raunet, 1992.



Annexe 6

Spécifications du navire océanographique « La Curieuse » de l'IPEV

Annexe 7

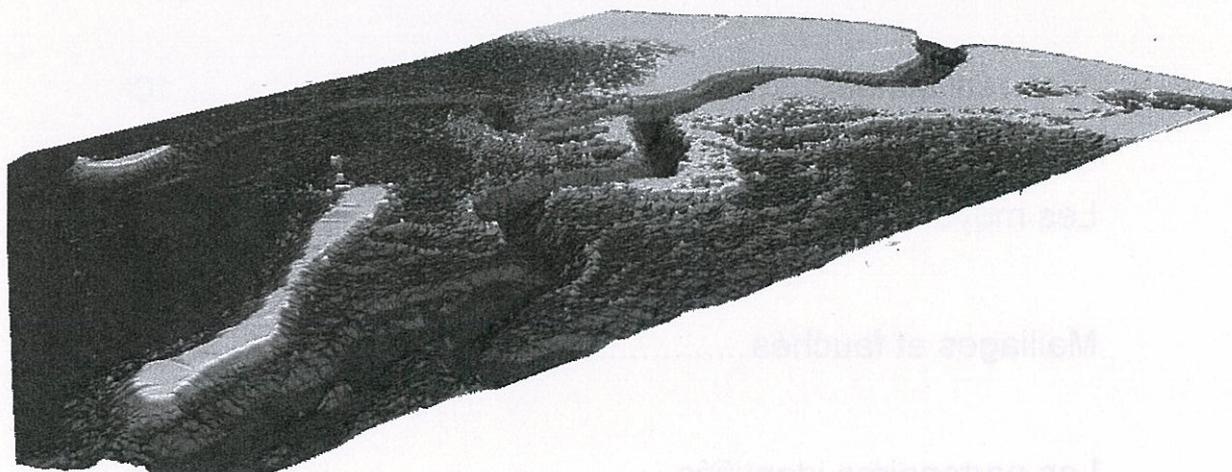
Offre commerciale de Bambou Exploration pour une campagne bathymétrique dans le lagon de Mayotte



COMPAGNE DE BATHYMETRIE MAYOTTE 2006

Par Bambou Exploration

Proposition commerciale



Bambou Exploration

Devis BATHYLAGOMAY/JCQ/Janvier 2006/Vr.05

Sommaire

Objectif principal	03
Informations.....	03
Les ressources humaines	04
La zone à lever (emprises)	05
Distribution des tranches	06
Suivi de la campagne	06
Proposition commerciale	07
Nos atouts	09
Nos réalisations.....	10
Les moyens matériels mis en œuvre	12
Maillages et fauchés	14
Les partenaires identifiés.....	15

Objectif principal

Réalisation de l'étude de l'ensemble de l'espace marin de +4m (4m au-dessus du 0 des marées) à -150m sur la pente extérieure du lagon.

Assurer la continuité topographique terrestre et le rattachement à la bathymétrie grande profondeur existante, sans zone d'ombre, ainsi qu'un recouvrement à 100% du fond marin intra et extra lagon en englobant le récif.

Informations

précision des données

Pour assurer une précision centimétrique en Longitude, Latitude et Altitude nous installerons une station de référence terrestre RTK qui transmettra en instantané les corrections DGPS à la vedette.

Qualité des données

La qualité des données sera garantie d'une part par le choix des matériels scientifiques utilisés pour cette étude, matériels totalement dédiés à la bathymétrie et reconnus comme références dans le monde de l'hydrographie, et d'autre part le recrutement d'un ingénieur hydrographe, approuvé par le SHOM, pour le suivi et le contrôle de la méthodologie des levés et la validation des données.

Une vedette plurifonctionnelle

La vedette est équipée de matériels multitâches qui nous permet de traiter simultanément :

- Le sondage bathymétrique pour cartographie.
- Une imagerie sous-marine pour détection d'épaves, de corps-morts, etc.
- L'identification de la nature de surface des fonds.

Les délais

Une période de neuf à dix mois sera nécessaire pour couvrir l'ensemble de la zone. En effet une partie importante de la zone, évaluée à 430 km², se caractérise par des fonds inférieurs à -5m jonchés d'écueils et de récifs. Ces espaces ne peuvent être explorés que par marées hautes en vives-eaux à partir d'une hauteur d'eau supérieure à 3m au-dessus du zéro marin. La progression sur ce type de site étant très lente, elle représentera près de 80% de la durée totale de la campagne.

Les ressources humaines

Cette campagne va nous permettre de créer huit nouveaux emplois sur un total de onze personnes nécessaire pour le bon déroulement de cette étude.

Seul le poste d'ingénieur hydrographe nécessitera un recrutement en dehors de l'île, l'ensemble des autres emplois seront réservés aux habitants de Mayotte.

Nous aurons la capacité d'accueillir quelques stagiaires désireux de participer à cette campagne.

Fonction	Qualification	Etat
Directeur / gérant Pilote de la vedette Opérateur multi-faiceaux	Officier pont BPPN 3 ans d'expérience bathy.	Embauché
Direction Responsable / coordinateur logistique	Commandant marine marchande	Embauché
Chef mécanicien Pilote de la vedette Opérateur multi-faiceaux	Officier machine 250 kw Officier pont BPPN 3 ans d'expérience bathy.	Embauché
Pilote de la vedette Opérateur multi-faiceaux	Officier pont BPPN Officier machine 250 kw	Recruté à embaucher
Pilote de la vedette Opérateur multi-faiceaux	Officier pont BPPN Niveau BAC	A recruter
Analyse, rédaction des bilans et rapports d'observations	Ingénieur agro/environnement DEA d'hydrologie	Recruté à embaucher
Validation du process de levé et responsable du poste traitement	Ingénieur hydrographe validé par le SHOM	A recruter
Coordinateur plongée et archéologie sous-marine	Plongeur pro classe II cat. A et B	Recruté à embaucher
Responsable opérateur station de référence terrestre	Ingénieur topographe	A recruter
Opérateur station de référence terrestre	Niveau BAC Aide topographe	A recruter
Assistante de direction	Secrétariat et comptabilité	A recruter

La zone à lever (emprises)

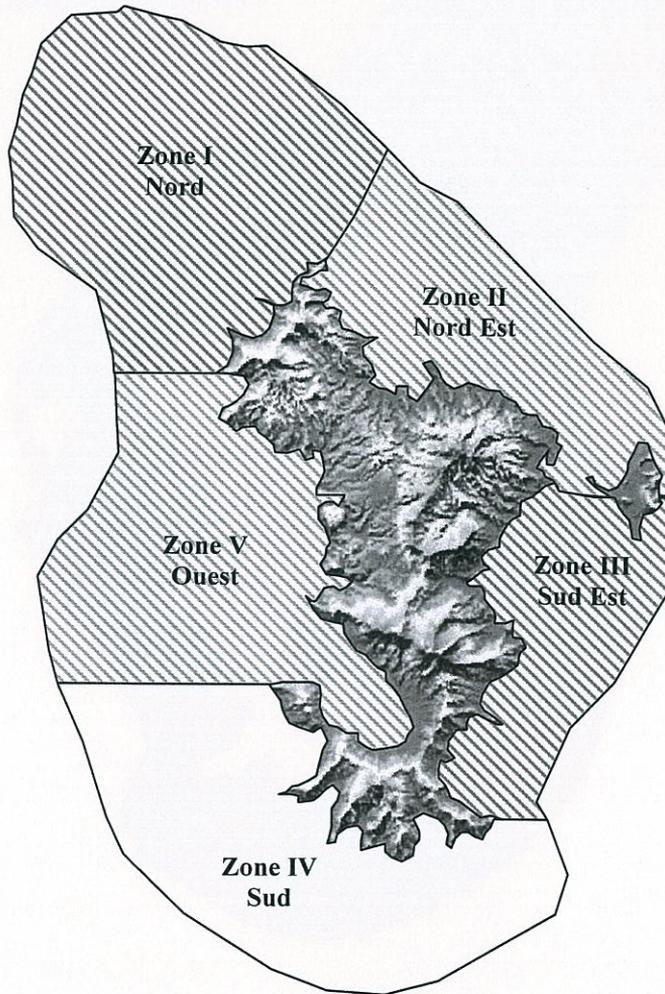


- 141 km² ■ Zones levées en 2004/2005 à l'aide d'un mono-faisceau, Maillage 12x12m.
Espace mixte composé de récifs et de zones claires.
- 838 km² ■ Zones d'une profondeur moyenne de -30m, globalement claire.
Espace pouvant être levé quelque soit le marnage, nécessitant une veille optique
(risque d'écueils isolés).
- 372 km² ■ Zones de profondeurs comprises entre 0 et -5m, présence de nombreux écueils et de
récifs découvrants.
Espace à haut risque, ne pouvant être levé que durant les périodes de marées hautes
en vives eaux.

Surface totale = 1 351 km²

Distribution des tranches

Le découpage de la zone en cinq tranches facilitera le suivi de l'avancée de la campagne. De plus ce dispositif permet l'exploitation des données des zones terminées sans attendre la fin de la campagne.



Suivi de la campagne

Une réunion bimestrielle sera organisée pour les principaux partenaires afin de présenter l'avancement de la campagne.

Proposition commerciale

Objet	Montant
<p>Levés bathymétriques intérieur et extérieur du lagon. Précision : centimétrique en Longitude, Latitude et Altitude. Extrémités : de la limite topographique terrestre à -150 mètres.</p> <p>Surface de la zone marine concernée = 1 351 km²</p> <p>Surface précédemment levé par nos soins = 141 km²</p> <p>Surface totale à explorer = 1 210 km²</p> <p>Tarif forfaitaire moyenné au km² = 1 521€</p> <p>Faute de matériels adéquats, les précédents levés n'avaient pu être réalisés avec une précision centimétrique. Dans le but de rendre cohérent l'homogénéité des données, nous réaliserons à notre charge une nouvelle étude de ces zones.</p> <p><u>Les rendus</u></p> <p><i>Pour l'ensemble des zones</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Base de données corrigées de l'ensemble des points de sonde. ○ Base de données corrigées sur maillage équilatéral au pas de 5x5mètres. ○ Cartes bathymétriques type « isobathes ». ○ Cartes 2D et 3D. ○ Cartes de nature de la surface des fonds. <p><i>Pour la rade de Mamoudzou / Dzaoudzi incluant les zones de mouillages</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Imagerie sonar drapée sur la carte 2D et 3D. ○ Si nécessaire complétée par des images vidéo. <p><i>Pour la rade de Longoni incluant les zones de mouillages</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Imagerie sonar drapée sur la carte 2D et 3D. ○ Si nécessaire complétée par des images vidéo. <p><i>Pour les zones à caractères archéologiques remarquables</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Imagerie sonar drapée sur la carte 2D et 3D. ○ Si nécessaire complétée par des images vidéo. <p><i>Pour toutes zones ayant un intérêt géologique ou environnemental particulier</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Imagerie sonar drapée sur la carte 2D et 3D. ○ Si nécessaire complétée par des images vidéo. 	

Proposition commerciale (suite)

Objet	Montant
<p><u>Bilans</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Rédaction bimestrielle d'un compte rendu intermédiaire. ○ Rédaction du bilan final incluant : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le rapport d'observation. ▪ Les analyses statistiques des données. ▪ L'ensemble des images sonar. ▪ L'ensemble des images vidéo ROV. <p><u>Promotion</u></p> <p>Réalisation d'un film documentaire sur la campagne d'exploration par M. Eric MARION, monteur et réalisateur professionnel. Ce film aura pour vocation de permettre aux partenaires non rodés à ce type de travaux de pouvoir visualiser les protocoles appliqués et les moyens mis en œuvres. Il pourra également servir à l'information d'un public plus large pour la sensibilisation sur l'importance des enjeux concernant le lagon de Mayotte.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Durée 52 minutes. ○ Format DV-DVCAM. ○ Support DVD. <p><u>Formats et supports</u></p> <p>Support informatique et vidéo : DVD</p> <p>Logiciels informatiques utilisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ SIS ○ NEPTUNE ○ TRITON ○ CFLOOR ○ FLEDERMAUS ○ OLEX ○ Microsoft WORD ○ Microsoft EXCEL ○ Microsoft POWERPOINT ○ Microsoft ACCESS ○ MAPINFO ○ VERTICAL MAPPER 	
Total	1 840 410 €

Nos atouts

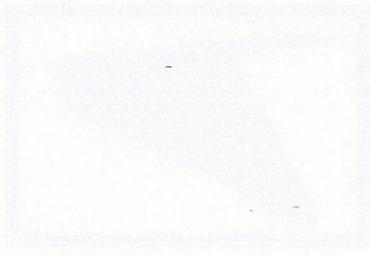
Forts d'une expérience de huit ans à sillonner les eaux de Mayotte et de l'Ouest de l'Océan Indien, nous disposons d'une très bonne connaissance du terrain.

Nous sommes passionnés par l'exploration sous-marine et la bathymétrie. C'est avec beaucoup d'enthousiasme que nous avons réalisé chacune des missions qui nous ont été confiées.

L'acquisition d'une vedette dédiée à l'hydrographie et équipée entre autres d'un sondeur multi-faisceaux et d'une station de référence terrestre, va nous permettre d'être très concurrentiels face à des structures extérieures tout en produisant des données d'une précision jamais égalée dans notre région.

La proximité géographique nous permet d'intervenir rapidement pour répondre à des problématiques urgentes.

Cette proximité nous permet de réduire de façon considérable les frais d'approches qui représentent bien souvent le poste budgétaire le plus important pour une mission.



Nos réalisations

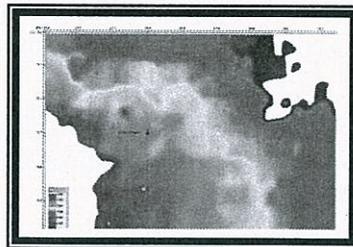
Juillet / septembre 2003

Commanditaire : DAF Mayotte / Service des Pêches.

Mission : Etude bathymétrique de 12 zones sur le pourtour de Mayotte ayant pour but le positionnement des corps morts des DCP.

Profondeur de -750 à -1800m.

Exemple ci-contre : DCP Bambo.

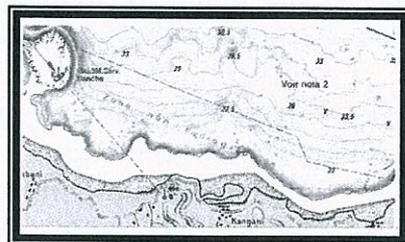


Avril / mai 2004

Commanditaire : DE Mayotte / Subdivision maritime et portuaire.

Mission : Etude bathymétrique des 3 zones portuaires Mamoudzou, Dzaoudzi et Hôtel Trévani /ferme aquacole pour positionner des corps morts en vue d'amarrer un barrage flottant en cas de pollution marine. (plan POLMAR)

Exemple ci-contre : Superposition carte SHOM et isobathes, zone Trévani-Charvose.

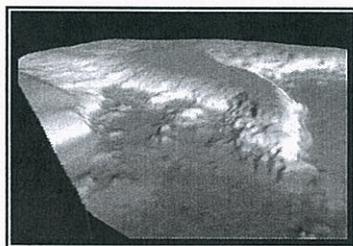


Juillet 2004

Commanditaire : COLAS Mayotte.

Mission : corriger la précédente bathymétrie effectuée à l'occasion des travaux portuaires lors de la construction du port de Longoni et qui ne correspondait pas à la réalité. Objectif : calcul des volumes à draguer et implantation d'un nouveau quai dédié aux grands porte-conteneurs.

Exemple ci-contre : Vue port de Longoni 3D du 330°.

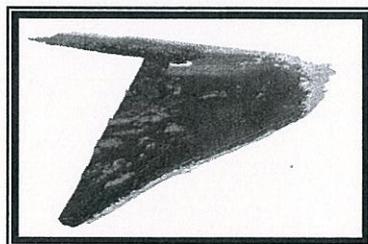


Septembre / octobre 2004

Commanditaire : Ingénierie SAFEG Réunion.

Mission : Bathymétrie de 3 zones, autour de Petite-Terre, en vue de construire un modèle courantologique pour choisir le site d'implantation d'une station de traitement des eaux usées.

Exemple ci-contre : Vue Badamier 3D du 180°.



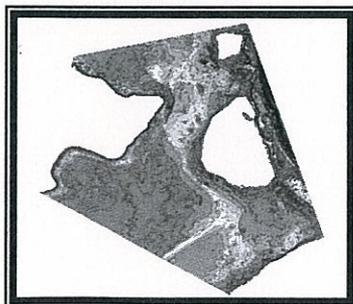
Aout 2004 / février 2005

Commanditaire : DAF Mayotte / Service Environnement.

Mission : Bathymétrie de 6 zones pour étude et classement « réserve naturelle ».

Superficie totale 120 km².

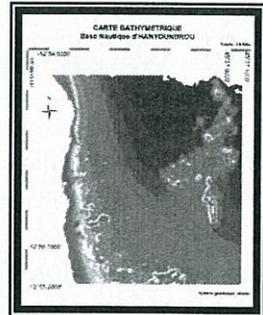
Exemple ci-contre : Carte isobathes Saziley.



Janvier 2005

Commanditaire : DE Mayotte / Subdivision maritime et portuaire.

Mission : Bathymétrie zone base nautique d'Hanyoundrou. Localisation des dangers pour balisage.

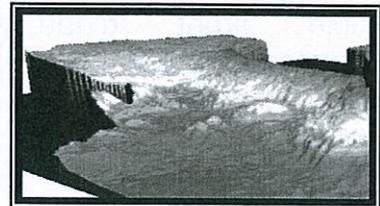


Exemple ci-contre : carte A0 Hanyoundrou.

février 2005

Mission : Reconnaissance et découverte d'un talus non identifié devant le quai principal de Longoni pouvant provoquer un talonnement des navires à fort tirant d'eau.

Vérification après travaux du dégagement de la zone.



Exemple ci-contre : Vue quai principal port de Longoni 3D.

Avril 2004 / juin 2005

Commanditaire : DE Mayotte / Subdivision maritime et portuaire.

Mission : Bathymétrie Rade Mamoudzou / Dzaoudzi pour étude d'implantation des futures gares maritimes de la zone.

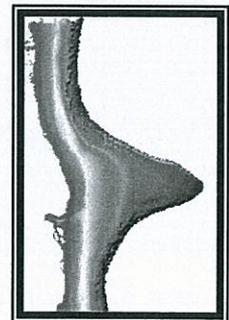


Exemple ci-contre : Carte relief Rade Mamoudzou/Dzaoudzi.

Juin 2005

Commanditaire : Ingénierie SAFEG Réunion.

Mission : Complément bathymétrique côte Est Petite-Terre, en vue de construire un modèle courantologique pour choisir les sites de poses des émissaires de rejets.

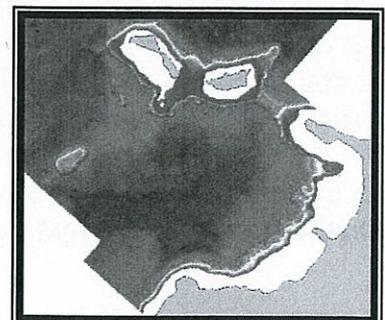


Exemple ci-contre : Zone Nord.

Juin / juillet 2005

Commanditaire : Ingénierie BCEOM Réunion.

Mission : Complément bathymétrique côte Mtsamboro, en vue de construire un modèle courantologique pour choisir les sites de poses des émissaires de rejets.



Exemple ci-contre : Ilôts Choizil rade Mtsamboro

Les moyens matériels

Un soin particulier à été pris afin de concevoir un outil idéalement adapté aux travaux d'hydrographie haute définition en zone tropicale de faible profondeur.

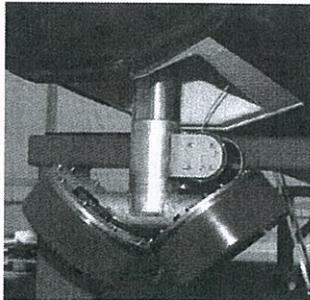
La vedette aluminium de 11m de long armée en 3^{ème} catégorie professionnelle et motorisée en inbord Diesel est dotée d'une propulsion turbot-jet. Ces choix allient la rapidité, la fiabilité, l'autonomie et un très faible tirant d'eau, caractéristiques indispensables dans des zones aussi accidentées et étendues que celles de notre région.



Les aménagements ont été conçus pour accueillir cinq personnes dans des conditions de confort acceptable et de sécurité totale.

En plus des matériels hydrographiques décrits dans les paragraphes suivants, elle dispose entre autre d'un ordinateur PC de navigation avec cartes marines numérisées, d'un radar Simrad RA40 2kw, un sondeur halieutique mono faisceau bi-fréquences Simrad EQ44 2x1kw 38/200 kHz, un pilote automatique Simrad AP50, deux VHF fixe Simrad RS82 DSC classe D et une VHF portable Simrad HT50 SMDSM.

Le EM3002D est actuellement le multi-faisceaux « petits fonds » le plus performant sur le marché mondial. Il est constitué de 508 faisceaux répartis sur 200° de fauchée. Chaque faisceau chevauche partiellement ses faisceaux adjacents. 100% du fond est couvert Jusqu'à une vitesse de 10 nœuds.



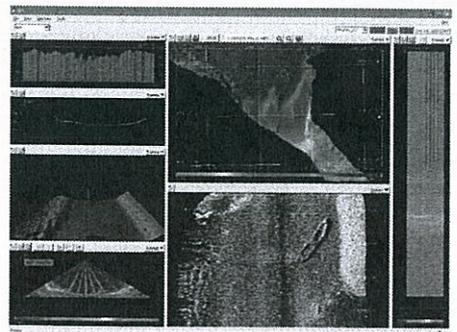
Il est destiné à travailler sur des fonds de -0,5m à -150m.

Son logiciel d'acquisition **SIS** modélise les données en

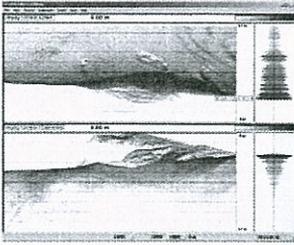
temps réel permettant une correction immédiate sur d'éventuelles erreurs ou anomalies de levés.

Le EM3002D enregistre l'indice de réverbération de chaque faisceau pour constituer (en post- traitement) des cartes de nature de fond.

La station informatique de travail est constituée d'un PC sous exploitation Linux, d'un écran TFT 17,5" pour l'opérateur et d'un écran 15" pour le pilote.



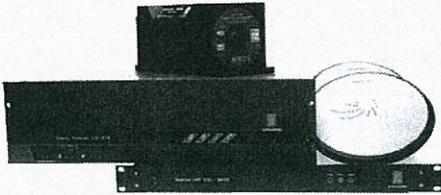
Ce sondeur multi-faisceaux est utilisé par des institutions représentant la référence dans le domaine de l'hydrographie comme le SHOM ou IFREMER.



Le sidescan EA600 est un sonar à balayage latéral qui, renvoyant une image sous-marine du fond, permet la détection de tous types d'objets ou d'anomalies.



La station de positionnement embarquée Seaphath 200 RTK est un produit développé par la compagnie Kongsberg pour une utilisation purement hydrographique. Cet appareil est doté d'un DGPS, d'une centrale inertielle MRU-5 corrigeant les mouvements du navire (tangage, roulis, gîte,...) ainsi que d'une sonde de vélocité de surface Smart Sensor SV, pour le suivi de l'indice de salinité de l'eau de mer.



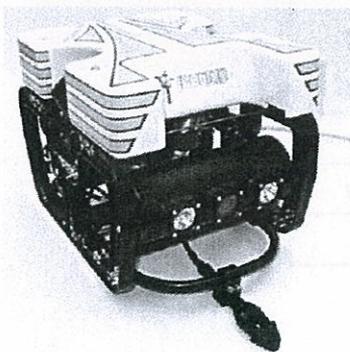
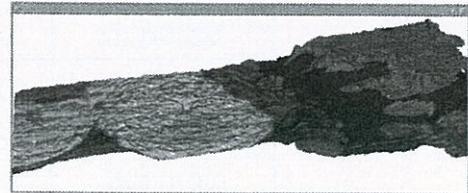
La station de référence RTK, module terrestre du Seaphath 200, transmet au navire les corrections satellites des coordonnées géographiques en temps réel avec une précision centimétrique.

Ce système de positionnement centimétrique en longitude, latitude et altitude, permet de nous affranchir de l'utilisation coûteuse et délicate d'un marégraphe.

Les logiciels post-traitement, **Neptune**, **Cfloor** et **Triton** nous permettent le traitement des bases de données en fonction des besoins des clients (cartes marines, modélisations 3D, cartes de nature de fond, profils, etc.).



Les formats d'exportation des bases de données sont compatibles avec la plupart des logiciels de cartographie et de traitement utilisés par les professionnels (Caraiibe, Caris, Autocad, MapInfo, etc.).



Le Seamor de INUKTUN est **un mini ROV** permettant la vérification et l'observation des anomalies ou des points remarquables détectés. Petit par son volume, 470x350x350mm pour 16kg et grand par ses capacités, ombilical de 350m, profondeur maximum d'immersion – 300m et vitesse de déplacement 4Nds.

Maillages et fauchés

<i>Pour un vitesse en acquisition de 3,5 nds</i>			
Profondeur	écart en 2 points		fauchée maxi
	mini	maxi	
2,00 m	0,03 m	0,39 m	13,80 m
3,00 m	0,05 m	0,39 m	15,63 m
4,00 m	0,07 m	0,52 m	20,84 m
5,00 m	0,09 m	0,65 m	26,05 m
6,00 m	0,10 m	0,78 m	31,26 m
7,00 m	0,12 m	0,83 m	34,65 m
8,00 m	0,14 m	0,88 m	37,69 m
9,00 m	0,16 m	0,99 m	42,41 m
10,00 m	0,17 m	1,02 m	44,92 m
15,00 m	0,26 m	1,95 m	78,15 m
20,00 m	0,35 m	2,38 m	99,00 m
25,00 m	0,44 m	2,75 m	117,79 m
30,00 m	0,52 m	3,90 m	156,31 m
35,00 m	0,61 m	4,55 m	182,36 m
40,00 m	0,70 m	4,77 m	198,01 m
45,00 m	0,79 m	4,94 m	212,03 m
50,00 m	0,87 m	4,71 m	214,45 m
55,00 m	0,96 m	4,82 m	225,53 m
60,00 m	1,05 m	4,91 m	235,51 m
65,00 m	1,13 m	4,98 m	244,49 m
70,00 m	1,22 m	4,74 m	242,49 m
80,00 m	1,40 m	4,84 m	256,05 m
90,00 m	1,57 m	4,24 m	238,87 m
100,00 m	1,75 m	3,82 m	222,12 m
110,00 m	1,92 m	3,53 m	205,15 m
120,00 m	2,09 m	3,24 m	180,85 m
130,00 m	2,27 m	2,94 m	144,12 m
140,00 m	2,44 m	2,79 m	107,48 m
150,00 m	2,62 m	2,65 m	31,53 m

Les partenaires locaux et nationaux identifiés

Liste non-exhaustive constituée lors d'une petite enquête réalisée dans le cadre de nos relations avec les entités ci-dessous citées.

LE CONSEIL GENERAL

- La direction des ports de Mayotte
- La délégation de l'environnement
- Le comité du tourisme
- Le bureau du patrimoine culturel

LA DAF

- Service de l'Eau
- Service de l'environnement
- Service des pêches

LA DE

- Service hydraulique environnement et assainissement
- Service des infrastructures
- Subdivision maritime et portuaire
- Phares et balises
- Polmar

LE BRGM

LE SIEAM

LE SHOM

IFRECOR

LE DRASSM

L'ARVAM

LES AFFAIRES MARITIMES



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional de La Réunion
5, rue Ste Anne BP 906
97478 Saint Denis Cedex - France
Tél. :