

Un réseau de surveillance des littoraux face au changement climatique en milieu insulaire tropical

L'exemple de Mayotte

Mathieu Jeanson, Franck Dolique and Edward J. Anthony

Volume 10, Number 3, December 2010

Les petits États et territoires insulaires face aux changements climatiques : vulnérabilité, adaptation et développement

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1004059ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Jeanson, M., Dolique, F. & Anthony, E. J. (2010). Un réseau de surveillance des littoraux face au changement climatique en milieu insulaire tropical : l'exemple de Mayotte. *VertigO*, 10(3), 0–0.

Article abstract

The global change currently observed generates accelerated coastal erosion and contribute to the degradation of coral reefs and mangroves degradation. These phenomena are exacerbated on tropical islands hosting large coastal populations, and thus render these coasts and their societies very vulnerable. In this context, it seems fundamental to seek to understand the evolution of these tropical coastal environments in terms of these extreme events, the impacts of which coastal island societies will be brought to bear more and more often. Awareness of these impacts has prompted the establishment of an operational observatory aimed at monitoring the coastal dynamics in several French tropical islands including Mayotte. The aims of the project will be to observe, supervise and characterize the rhythms and the mechanisms of evolution, adaptation and resilience of tropical beaches in the face of extreme climate and wave events (cyclones, storms, surges, strong swells...) in order to develop and implement appropriate defence strategies and/or adaptation.



UN RESEAU DE SURVEILLANCE DES LITTORAUX FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN MILIEU INSULAIRE TROPICAL : l'exemple de Mayotte

Matthieu Jeanson¹, Franck Dolique² et Edward J. Anthony³

¹ATER en Géographie ; Université du Littoral Côte d'Opale ; Laboratoire d'Océanologie et de Géoscience ; UMR CNRS 8187 LOG ; 28 avenue Foch, BP 80, 62930 Wimereux ; courriel : matthieu.jeanson@univ-littoral.fr. ²Professeur de Géographie ; Université des Antilles et de la Guyane ; UMR 228 ESPACE-DEV ; Campus de Martinique, BP 7207, 97275 Schoelcher Cedex, Martinique ; courriel : franck.dolique@martinique.univ-ag.fr. ³Professeur de Géographie ; Aix-Marseille Université ; Institut Universitaire de France ; CEREGE, UMR CNRS 6635 ; Europôle Méditerranéen de l'Arbois, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04 ; courriel : anthony@cerege.fr

Résumé : Pour une meilleure compréhension de l'évolution des environnements côtiers face au changement climatique, il s'avère nécessaire pour la communauté scientifique comme pour les gestionnaires du littoral, de bénéficier d'un cadre méthodologique et opérationnel de surveillance de l'évolution morphosédimentaire des milieux côtiers, notamment sous l'influence météo-marine paroxysmique. Afin de répondre à ces objectifs, une démarche méthodologique basée sur la mise en place d'un réseau expérimental de suivi de la morphodynamique côtière a été réalisé sur plusieurs îles tropicales françaises, notamment à Mayotte. L'objectif de ce réseau est d'observer, surveiller et caractériser les rythmes et les mécanismes d'évolution, d'adaptation et de résilience de différentes côtes tropicales face aux événements météo-marins paroxystiques auxquels ils sont soumis (cyclones, tempêtes, surcotes, fortes houles...) afin de fournir des stratégies de gestion face aux évolutions constatées.

Mots-clés: Plages, mangroves, morphodynamique, cyclone, paroxysmes, changement climatique, résilience, observatoire, SIG, gestion du littoral, Mayotte, Océan Indien

Abstract: The global change currently observed generates accelerated coastal erosion and contribute to the degradation of coral reefs and mangroves degradation. These phenomena are exacerbated on tropical islands hosting large coastal populations, and thus render these coasts and their societies very vulnerable. In this context, it seems fundamental to seek to understand the evolution of these tropical coastal environments in terms of these extreme events, the impacts of which coastal island societies will be brought to bear more and more often. Awareness of these impacts has prompted the establishment of an operational observatory aimed at monitoring the coastal dynamics in several French tropical islands including Mayotte. The aims of the project will be to observe, supervise and characterize the rhythms and the mechanisms of evolution, adaptation and resilience of tropical beaches in the face of extreme climate and wave events (cyclones, storms, surges, strong swells...) in order to develop and implement appropriate defence strategies and/or adaptation.

Keywords: Beaches, mangroves, morphodynamic, cyclone, paroxysms, global change, resilience, observatory, GIS, coastal management, Mayotte island, Indian Ocean

Introduction

Référence électronique

Matthieu Jeanson, Franck Dolique et Edward J. Anthony, 2010, «Un réseau de surveillance des littoraux face au changement climatique en milieu insulaire tropical : l'exemple de Mayotte», VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 10 numéro 3, [En ligne], URL : <http://vertigo.revues.org/>

Depuis quelques années, l'environnement littoral suscite l'intérêt croissant d'une multitude d'acteurs, comme en témoigne le concept de « gestion intégrée de la zone côtière » qui exprime le besoin d'agir collectivement sur les processus naturels et anthropiques susceptibles de menacer le maintien durable de la qualité de l'environnement et des activités qui s'y déroulent (Dauvin, 2002). Mais le préalable à une gestion efficace de cet

espace complexe est une connaissance approfondie de son fonctionnement et de son évolution. L'exiguïté du territoire, l'accroissement régulier des pressions anthropiques sur les espaces littoraux ainsi que la vulnérabilité des milieux côtiers aux changements climatiques, à la montée du niveau marin et aux événements extrêmes constituent des contraintes spécifiques aux milieux insulaires notamment tropicaux (Duvat, 2008, Mimura *et al.*, 2007 ; Cazes-Duvat, 2005, Pelling et Uitto, 2001). L'accélération de la hausse de niveau marin ainsi que la modification de nombreux processus physiques et biogéochimiques des environnements côtiers (acidification des océans, augmentation des températures de surface, modification de la circulation océanique, du régime des houles, du taux de salinité) sont maintenant clairement établis (Cazenave et Llovel, 2010 ; Mori *et al.*, 2010 ; Doney *et al.*, 2009 ; Solomon *et al.*, 2007 ; Church et White, 2006 ; Church *et al.*, 2006). Ces changements ont, et auront, des effets très significatifs sur les écosystèmes côtiers tropicaux, notamment les récifs coralliens et les mangroves (Gilman *et al.*, 2008 ; Wilkinson, 2008 ; Hoegh-Gulberg *et al.*, 2007 ; McLeod et Salm, 2006 ; Hughes *et al.*, 2003), mais également sur les systèmes morphosédimentaires adjacents. La gestion des espaces littoraux tropicaux devra s'accommoder sur le court et le moyen terme d'une évolution des paramètres dynamiques avec des phases aléatoires de répit et d'érosion, alors que les modifications climatiques ne feront qu'accroître ces tendances (Obura *et al.*, 2008 ; Nicholls *et al.*, 2007 ; Titus, 2005 ; Sheppard *et al.*, 2005 ; Woodworth *et al.*, 2004 ; Wigley et Rapper, 2001).

Une nécessité : connaître la réaction des littoraux face aux conséquences du changement climatique

Les nombreux travaux qui ont été menés ces dernières années sur l'évolution des littoraux ont permis d'améliorer la compréhension de leurs dynamiques évolutives sous l'influence de forçages naturels et d'actions anthropiques. Les études qui tentent d'apprécier les conséquences du changement climatique sur les systèmes morphosédimentaires côtiers sont plus récentes. De telles recherches sont entreprises sur les côtes françaises et européennes depuis quelques années (projet de recherche RESPONSE, Vinchon *et al.*, 2009 ; CLAREC, Contrôle par Laser Aéroporté des Risques Environnementaux Côtiers ; VULSACO, Vulnérabilité de plages sableuses face aux changements climatiques et aux pressions anthropiques, Idier *et al.*, 2009). Ces travaux permettent, par les connaissances acquises sur le fonctionnement des systèmes littoraux, de contribuer à la définition de la vulnérabilité des environnements côtiers et à la définition des moyens d'une

meilleure gestion des littoraux et des risques côtiers (Meur-Férec *et al.*, 2008 ; Boruff *et al.*, 2005 ; UNESCO, 2003). Une application ultime de ces recherches est de valoriser et de compléter les informations existantes sur le littoral sur ses aspects environnementaux et sociaux par la constitution d'observatoire, ceci dans le but de permettre à l'ensemble des acteurs d'évaluer l'état du littoral (Observatoire de la Côte Aquitaine, Observatoire du Littoral Bas-Normand, par exemple).

Une telle démarche, basée sur la mise en place d'un réseau expérimental de suivi de la morphodynamique côtière, est mise en œuvre depuis 2003 sur les littoraux de plusieurs îles tropicales françaises : Tahiti et Moorea (Polynésie Française), Martinique, Guadeloupe, Saint- Martin et Saint-Barthélemy (Petites Antilles), Îles Éparses et Mayotte (Canal du Mozambique) (Figure 1). Ce programme de recherche baptisé ALERT (pAroxysmes Littoraux, Evolutions et Résilience des côtes Tropicales) a pour but de surveiller et caractériser les rythmes et les mécanismes d'évolution et de résilience de différents milieux littoraux tropicaux, notamment sous influence des événements paroxystiques, afin de fournir des stratégies de défense et/ou d'adaptation des sociétés face aux changements climatiques constatés (Dolique *et al.*, 2007).

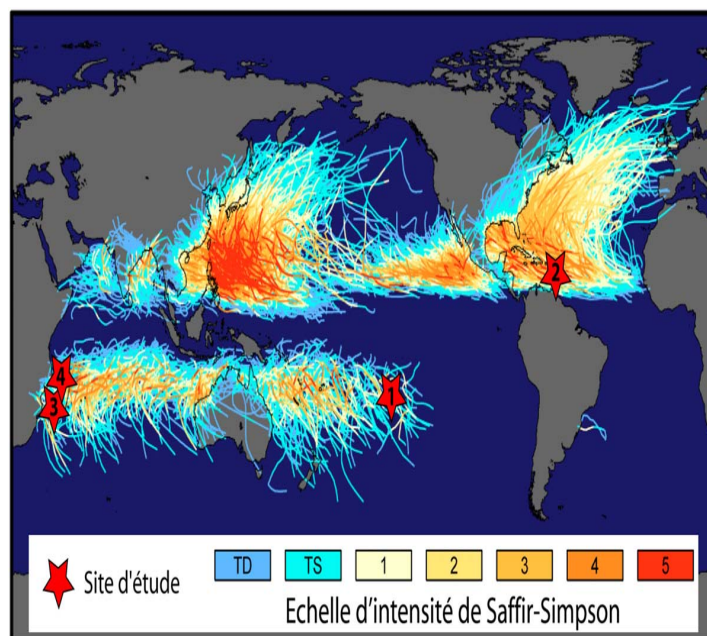


Figure 1. Trajectoires et intensités des tempêtes et cyclones tropicaux depuis 150 ans (Fond de carte créé par Robert A. Rohde / Global Warming Art) et les sites d'études du réseau de surveillance ALERT : (1) Polynésie Française, (2) Petites Antilles, (3) Iles Éparses et (4) Mayotte.

L'exemple du réseau de surveillance de la dynamique littorale à Mayotte

Le littoral mahorais

Mayotte est une collectivité départementale française de l'océan Indien située au nord du canal du Mozambique, à 300 km au nord-ouest de la côte malgache et à 450 km du continent africain, approximativement à 13° de latitude sud et à 45° de longitude est (Figure 2a). Avec les îles d'Anjouan, de Mohéli et de Grande Comore, Mayotte constitue l'archipel des Comores. D'une superficie de 374 km², Mayotte est composée de deux îles principales, Grande Terre et Petite Terre, et d'une trentaine d'îlots d'origine volcanique ou corallienne éparpillés dans le lagon. Île haute volcanique (culminant à 660 m au Mont Bénara), Mayotte est ceinturée par un réseau de récifs coralliens remarquables avec, notamment, un récif barrière presque continue de 157 km de circonférence, auquel il convient d'ajouter plus de 40 km de barrière immergée au nord, soit près de 197 km de circonférence totale. Cette barrière récifale délimite entre elle et le littoral un des lagons les plus étendus de l'océan Indien, d'une superficie de près de 1500 km². Le contexte volcanique et tropical de Mayotte, ainsi que la présence d'un vaste système récifo-lagonaire, offrent une grande diversité morphologique des côtes. Le linéaire côtier, particulièrement découpé, s'étend sur une longueur totale de près de 265 km (208 km pour Grande Terre) (De La Torre et Aubie, 2003) et est composé majoritairement de falaises, entrecoupées de nombreuses anses sableuses et de baies sablo-vaseuses au fond desquelles se sont établies de petites mangroves (Figure 2b).

Contexte météo-marin

Mayotte est soumise à un climat tropical humide marqué par deux saisons qui rythment l'année, l'une chaude et pluvieuse (été austral : novembre à avril), l'autre plus fraîche et sèche (hiver austral : mai à octobre). Cette alternance climatologique saisonnière est accompagnée d'un balancement du régime des vents avec des vents instables de secteur nord durant la saison humide et des alizés plus réguliers et soutenus de secteur sud au cours de la saison sèche (Figure 2c). Ces conditions météorologiques se répercutent directement sur le régime hydrodynamique lagonaire avec un changement très marqué de la provenance des vagues entre les saisons : nord au cours de l'été austral et sud lors de l'hiver. Mayotte est soumise à un

régime de marée semi-diurne, à marnage de type mésotidal (3,20 m en période de vives-eaux moyennes).

Le sud-ouest de l'océan indien est exposé régulièrement aux risques cycloniques (Figure 1). Les cyclones apparaissent exclusivement en saison humide, essentiellement pour Mayotte en début et fin de cette période. Mayotte est relativement protégée par la présence de Madagascar avec des durées de retour de l'ordre de 15-20 ans pour des conditions cycloniques (vents moyens supérieurs à 117 km/h). Cependant, le risque cyclonique est bien présent comme en témoignent les événements historiques de 1898, 1934, 1953 et 1961, les plus intenses ayant touché l'île. Les derniers événements majeurs se sont produits en 1984 avec le cyclone Kamisy avec des vents de 150 km/h à Pamandzi et de 200 km/h estimés à Sada (destruction de la ville à 80%), et en 1985 avec la tempête tropicale Feliska. Les impacts de ces événements sur les littoraux de Mayotte sont très peu renseignés. Seules quelques études récentes ont mise en évidence les risques et menaces de submersion marine liés aux surcotes cycloniques (Audru *et al.*, 2010 ; De La Torre *et al.*, 2008).

Des enjeux environnementaux et socio-économiques importants

Dans un contexte de fort développement démographique (Figure 3a), les côtes de Mayotte sont sujettes à des pressions anthropiques grandissantes et à des enjeux importants en termes de développement économique et touristique (Figure 3b-c) (Taglioni, 2009 ; Bernardie-Tahir et Omar, 2001 ; Fontaine, 1997). La forte pression démographique à laquelle est soumis le littoral mahorais nécessite d'intégrer son évolution dans les stratégies d'un développement économique viable et durable. Ceci est d'autant plus nécessaire que l'environnement côtier de Mayotte, notamment les récifs coralliens, sont parmi les plus menacés de l'océan Indien et montrent des signes importants de dégradation (Ahamada *et al.*, 2008). L'augmentation depuis les années 1960 des apports de sédiments terrigènes, liée à de mauvaises pratiques agricoles et aux travaux d'aménagement de grande ampleur, semble être la principale cause de dégradation des récifs frangeants et de l'environnement lagonaire de Mayotte (Wickel et Thomassin, 2005 ; Porcher *et al.*, 2002 ; Thomassin *et al.*, 1989). Le phénomène de blanchissement corallien semble prépondérant pour expliquer l'évolution et les variations de la vitalité des récifs barrières.

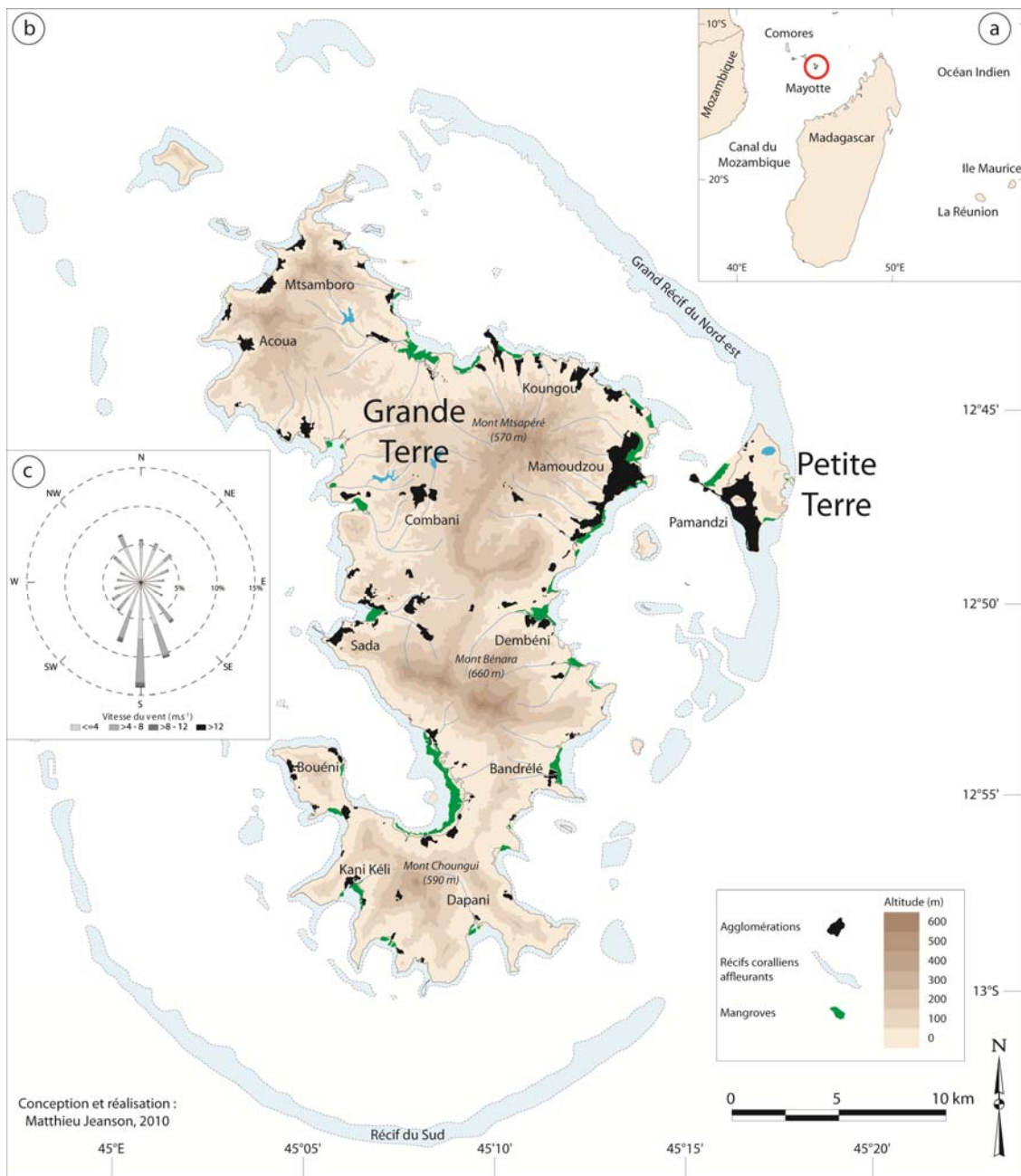


Figure 2. (a) Localisation de Mayotte dans le sud-ouest de l'océan Indien, (b) carte simplifiée du site de l'étude, (c) rose des vents (d'après données Météo France 1951-2007 pour la station de Pamandzi)

En 1998, 85 % des peuplements coralliens sont morts en liaison avec les températures océaniques élevées atteintes lors de l'été austral (32°C). Depuis le recouvrement corallien se rétablit progressivement mais lentement (PARETO et ARVAM, 2006). De même, les observations menées depuis la fin des années 1990 sur l'évolution des mangroves mahoraises ont permis de mettre en évidence une forte érosion de certaines entités avec des changements surfaciques prononcés (Laulan et al., 2006 ; ESPACES, 2004 ; Fromard, 2000 ; Lebigre, 1997).

La question de la dégradation des milieux côtiers et lagunaires de Mayotte interpelle régulièrement les autorités locales et nationales sur la nécessité de mettre en place une politique de gestion durable et intégrée du littoral. Cette notion d'une gestion et d'un développement maîtrisé de l'espace côtier a été l'un des thèmes centraux lors de l'établissement du Plan d'Aménagement et de Développement Durable de Mayotte (décret n° 2009-745 du 22 juin 2009) et lors de la signature récente du décret de création du Parc marin de Mayotte (décret no 2010-71 du 18 janvier 2010) qui définissent les grandes orientations

ainsi que les politiques d'aménagement et de gestion de l'île de Mayotte et de son lagon pour les années et les décennies à venir. Une telle politique doit s'appuyer sur une bonne compréhension du fonctionnement du littoral car il n'existe pas de gestion durable des milieux côtiers sans une connaissance claire des dynamiques morphosédimentaires et de leurs interactions avec les formes d'occupation du sol et les activités humaines. Dans ces conditions, l'établissement d'un réseau opérationnel de suivi de la morphodynamique du littoral s'avère nécessaire pour renforcer le potentiel d'observation et de recherche sur l'évolution des milieux côtiers et ceci dans le but d'obtenir une bonne connaissance du fonctionnement naturel des unités hydrosédimentaires et des effets d'éventuelles interventions anthropiques sur celles-ci.

Objectifs du réseau de surveillance de la morphodynamique du littoral à Mayotte

La mise en place du réseau de surveillance de la dynamique du littoral se situe dans la continuité d'études morphosédimentaires engagées depuis 2003 par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) et/ou l'ULCO (Université du Littoral Côte d'Opale) (Jeanson *et al.*, 2006 ; De La Torre *et al.*, 2006 ; Besson, 2005 ; Jeanson, 2005 ; De La Torre et Aubie, 2003). Ces premières études ont permis de définir les bases d'un premier observatoire qui a été véritablement mis en place dans le cadre d'études morphodynamiques plus poussées (Jeanson, 2009), grâce à l'attribution d'un budget octroyé par le ministère de l'Outre-mer pour le projet de recherches Mangroves (MANGroves mahoraises, sUrveillance par Instrumentation Et Recherches Sédimentaires) dirigé par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et l'ULCO. Ce réseau de surveillance de la morphodynamique côtière de Mayotte se concentre sur l'observation, la mesure, et la caractérisation des changements morphosédimentaires du littoral à diverses échelles temporelles et spatiales à partir d'acquisitions de données de terrain. Ainsi, un suivi des processus à très court terme comme ceux liés au *swash*, ou des cycles d'érosion ou d'accrétion à moyen terme, a été lancé en septembre 2005.

L'objectif de cet observatoire en termes de recherche appliquée vise à une meilleure compréhension de la résilience des littoraux tropicaux exposés aux événements météo-marins paroxysmaux. Les processus d'encaissement à ces impacts et la capacité des milieux à se restaurer vers un état initial (résilience) sont encore très mal connus aujourd'hui et nécessitent des observations et mesures croissantes. Il conviendra donc de déterminer les niveaux de seuil, la sensibilité d'adaptation ainsi que les processus et les rythmes de résilience des différents environnements littoraux (mangroves, plages sableuses, littoraux fortement anthropisés) soumis à des événements météo-marins extrêmes. Il s'agira, par exemple, de déterminer le potentiel de reconstitution des volumes sableux d'une plage ou de caractériser les dynamiques de restauration des mangroves à la suite d'un événement tempétueux. Ces éléments doivent permettre d'anticiper et/ou de définir les stratégies de réponse et d'évaluer les coûts financiers auxquels les sociétés locales devront faire face dans un contexte de croissance démographique forte, ceci dans l'optique d'une meilleure protection et gestion des intérêts anthropiques (espaces urbains, structures touristiques, ressources halieutiques...).

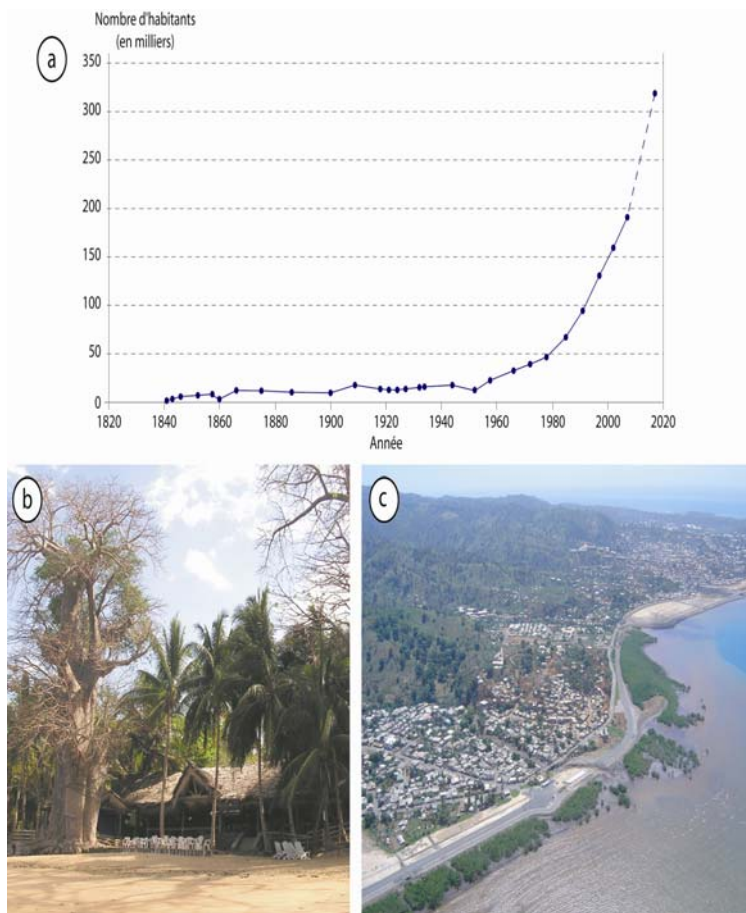


Figure 3. (a) Evolution de la population mahoraise depuis 1840 (d'après INSEE, 2007 et Gevrey, 1870) ; (b) photographie d'une structure hôtelière dans le sud de l'île (cliché M. Jeanson, 2007) et (c) photographie aérienne du développement de l'agglomération de Mamoudzou le long du littoral (cliché DAF, 2004).

En dehors du travail de mesure de terrain et de collecte d'informations, le réseau de surveillance doit permettre de constituer une base de données utile à l'amélioration de la connaissance du littoral mahorais et de ses dynamiques. Pour cela, conjointement à la mise en place du réseau de mesures scientifiques et d'instrumentation des sites, il est apparu nécessaire de proposer un outil de mutualisation et de diffusion de l'information via un Système d'Information Géographique et une valorisation de l'ensemble des observations réalisées *in situ* dans le cadre du réseau de surveillance.

Méthodologie

Choix des sites

La mise en place de cet observatoire concerne les secteurs côtiers les plus représentatifs de la variété des côtes mahoraises : les plages de sables, les mangroves, mais également les falaises et les littoraux fortement anthropisés (Figure 4). Ces sites ont été choisis pour leurs caractéristiques spécifiques telles que l'exposition, l'évolution morphosédimentaire récente (érosion ou accrétion), la nature sédimentologique, la valeur environnementale, mais également patrimoniale et économique. En effet, au-delà de l'observation des paramètres physiques du littoral, il est aussi nécessaire de s'intéresser aux enjeux et aux problématiques socioéconomiques. Notre intérêt s'est donc naturellement porté en priorité vers les plages à fort potentiel touristique, notamment celles inscrites comme site de développement majeur dans le PADD, et aux mangroves. Ces dernières jouent un rôle fondamental en favorisant la sédimentation naturelle des apports importants de matières en suspension provenant des bassins versants, et en limitant ainsi l'envasement du lagon et des récifs coralliens. Leur dynamique et leur évolution ont une répercussion directe sur la qualité et la quantité des ressources halieutiques disponibles pour les pêcheries locales.

Techniques et instrumentations

En premier lieu, un réseau de profils topographiques a été mis en place pour mesurer les changements morphologiques des secteurs littoraux retenus. La démarche méthodologique consiste, à l'instar de

nombreuses études dans le monde, à la réitération temporelle de profils topographiques à partir de têtes de profils géoréférencées (Figure 5a-b). Des têtes de profils supplémentaires ont également été installées plus en arrière afin de se prémunir des effets de destruction et/ou de disparition de ces points d'amer par un événement cyclonique. Chaque tête de profil a été nivelée directement à partir de repères de nivellement de l'Institut Géographique National (IGN) et a été raccordée au système d'altitude local de Mayotte (IGN 1950). Les mesures topographiques ont été réalisées à l'aide d'un tachéomètre dit station totale laser (LEICA TC 407). La marge d'erreur des mesures a été évaluée, à partir de tests sur le terrain, à ± 2 cm pour les estrans sableux et les récifs coralliens, et à ± 5 cm pour les mesures effectuées dans les environnements à mangroves où la vase et la végétation rendent les mesures plus délicates à effectuer. Sur le plan méthodologique, le choix a été fait de suivre 62 profils répartis sur 28 sites le long des côtes de Mayotte. Les différents profils ont été levés, dans la mesure du possible, tous les six mois de manière à couvrir les variations du régime météo-marins saisonnier. Le fonctionnement morphodynamique longitudinal et transversal des sites pourra alors être apprécié et les modifications morphologiques ainsi que les bilans sédimentaires pourront fournir des renseignements sur les caractéristiques hydrodynamiques des secteurs étudiés.

Pour les sites à mangroves, outre le suivi topographique, l'évolution du trait de côte a été appréciée par l'analyse diachronique de photographies aériennes de l'IGN (Figure 4d). L'ensemble des séries photographiques, échelonnées de 1949 à 2008, nous a été fourni par le Service Environnement de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF) en format numérique (Tableau 1). L'analyse diachronique de l'évolution d'un littoral à partir de photographies aériennes verticales conduit à un certain nombre d'erreurs engendrées par l'imprécision des documents de référence, la détermination des amers, le calcul lors du traitement informatique et les erreurs de mesures du trait de côte sur les photographies corrigées (Durand, 1998). Cependant, à la différence des littoraux sableux où le trait de côte peut être assez délicat à définir, les limites des mangroves sont plus facilement identifiables notamment les fronts maritimes.

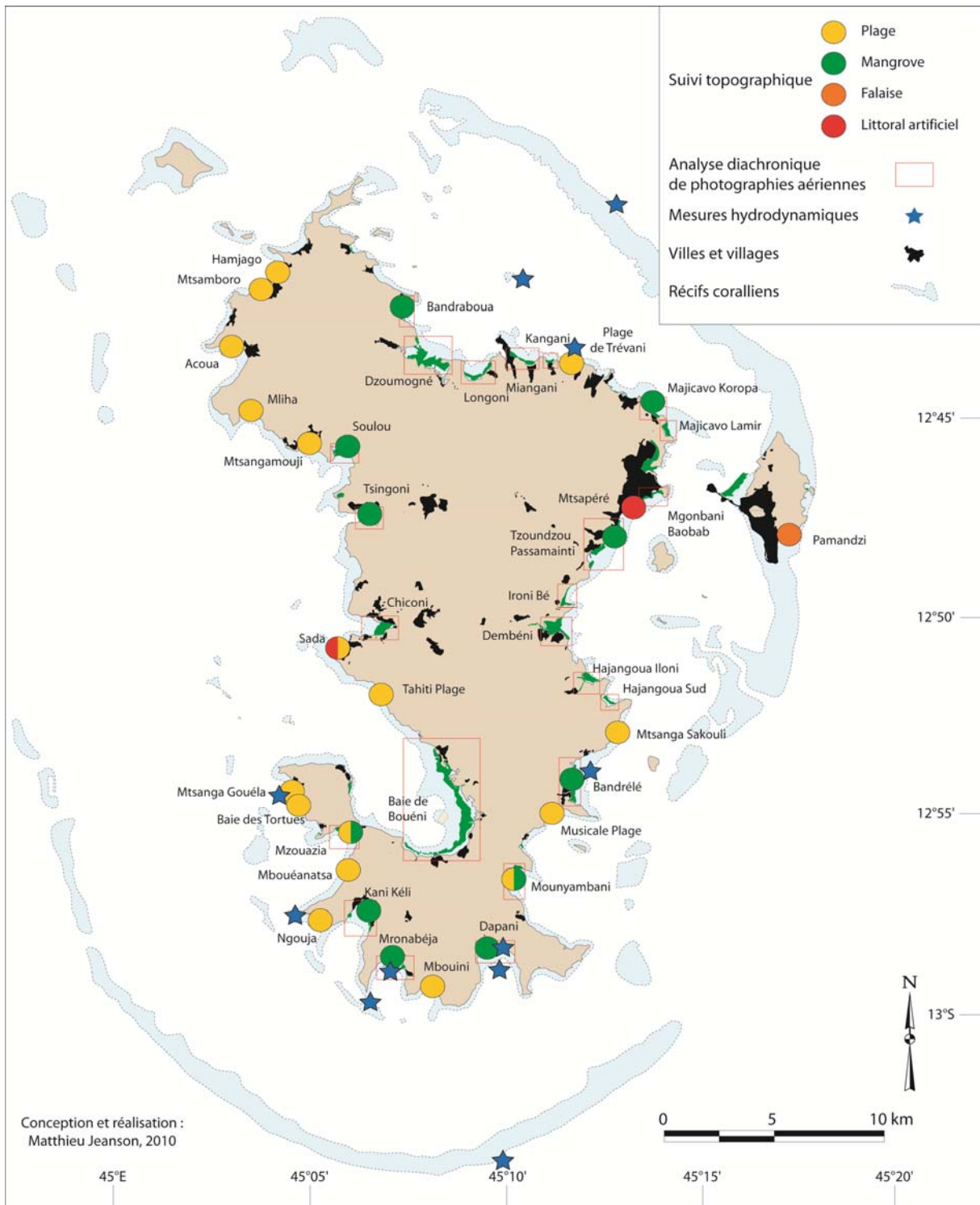


Figure 4. Localisation des sites d'observations et de mesures du réseau de surveillance (d'après Jeanson, 2009).

Les limites terrestres des mangroves sont plus délicates à appréhender et leur détermination a nécessité un important travail de vérification sur le terrain. A ces difficultés d'appréciation des limites des mangroves se rajoutent les variations de qualité et de résolution entre les

différentes séries photographiques. Compte tenu des différentes sources d'erreurs possibles, la marge d'incertitude associée à la détermination de la position du trait de côte sur les photographies aériennes a été estimée à ± 6 m. Cette marge d'erreur correspond à la précision des

orthophotographies ($\pm 0,5$ m), au repérage des amers sur les photographies aériennes ($\pm 1,5$ m), au repérage d'éléments invariables entre les différents clichés (± 3 m), et à l'erreur résiduelle calculée par le logiciel pour l'ensemble des amers (± 1 m). L'analyse et le traitement des photographies ont été réalisés à l'aide du logiciel de traitement d'images Er-Mapper® et les outils d'analyse spatiale du logiciel MapInfo®.

Tableau 1 : Caractéristiques des différentes séries de photographies aériennes verticales utilisées pour l'étude de l'évolution des mangroves.

Nom de la mission	Dates de prise de vues	Type de photographie	Echelle de l'image numérique	Taille du pixel (m)
2008_FD 976_C_68	17 au 18/10/2008	ortho- photographie Couleur	1 : 2 000	0,5
2003_MAY 004_C_250 00	10 au 25/06/2003	ortho- photographie Couleur	1 : 2 000	0,5
1997_MAY 003_C_250 00	02 au 10/06/1997	ortho- photographie Noir et blanc	1 : 2 000	0,5
1989_MAY 1_P_20000	13/06/1989	géo- référéncée Noir et blanc	1 : 2 000	0,5
1969_COM ORES 8_P_20000	14/07 et 09/08/1969	géo- référéncée Noir et blanc	1 : 2 000	0,5
1949_MAD 20_P_4000 0	16 au 21/09/1949	géo- référéncée Noir et blanc	1 : 4 000	2,0

Des mesures hydrodynamiques ponctuelles (différents paramètres des houles et des courants) ont été réalisées sur certains sites dans des conditions climatiques normales caractérisées par un temps calme afin de bien comprendre le fonctionnement de l'espace lagunaire sub-tidal (Figure 4c). Plusieurs appareils (ADCP/RDI Instruments, ADV/Nortek, Midas DWR/Valeport) ont été déployés dans différentes configurations expérimentales pour comprendre l'évolution et le comportement des paramètres hydrodynamiques à travers les récifs coralliens, les mangroves et le long des anses sableuses. Ces enregistrements serviront également à constituer une base de données (pour la houle, par exemple, hauteurs significatives, hauteurs au déferlement, périodes, spectres, provenances, etc.) afin de pouvoir comparer ces données de temps calme aux données

extrêmes, en termes d'énergie, enregistrées lors de la survenue d'un évènement paroxysmal.

Résultats

Dynamiques littorales

L'analyse des photographies aériennes a permis l'identification des tendances évolutives à moyen terme depuis 1949. Notre étude met en évidence une grande variabilité évolutive et de nettes différences spatiales de la dynamique des mangroves mahoraises depuis un demi-siècle. Parmi les 23 sites suivis, 11 mangroves présentent une augmentation de la surface de leurs formations végétales, 11 autres montrent une diminution surfacique et enfin une mangrove apparaît stable sur la période 1949-2008. Au final, l'évolution globale des mangroves étudiées montre une diminution surfacique de 6 % au cours des dernières décennies. Le caractère très variable de la dynamique spatiale des mangroves a été mis en évidence avec une augmentation des surfaces au nord et à l'est de l'île, et inversement, une évolution nettement régressive au sud et à l'ouest avec de complexes interactions morphodynamiques (Jeanson, 2009).

En effet, le suivi morphologique et les mesures hydrodynamiques ont permis d'esquisser un schéma de fonctionnement de la réorganisation sédimentaire de l'estran en liaison avec l'érosion d'une mangrove. A la suite de la déstabilisation naturelle et/ou anthropique, les formations externes de la mangrove reculent par évacuation de la vase. Cette déstructuration du substrat conduit au dégagement des racines souterraines des palétuviers, les arbres sont déstabilisés et au final sont déchaussés puis basculés sous l'action des houles. Des barres sableuses se développent en raison du remaniement des sédiments vaseux et de la concentration subséquente des particules plus grossières. Ces barres sableuses migrent progressivement vers le rivage sous l'influence des processus de déferlement et mènent à l'accrétion d'un cordon sableux en arrière de la mangrove. Cette accrétion provoque l'enfouissement des racines des palétuviers proches du cordon qui sont asphyxiés et qui dépérissent.

Dans le même temps, la diminution de la largeur de la mangrove entraîne une augmentation de l'énergie des houles à travers celle-ci. Sous l'action des processus de déferlement (*swash*) et de débordement des vagues (*washover*) qui sont amplifiés, la crête du cordon s'élève et dans le même temps recule.

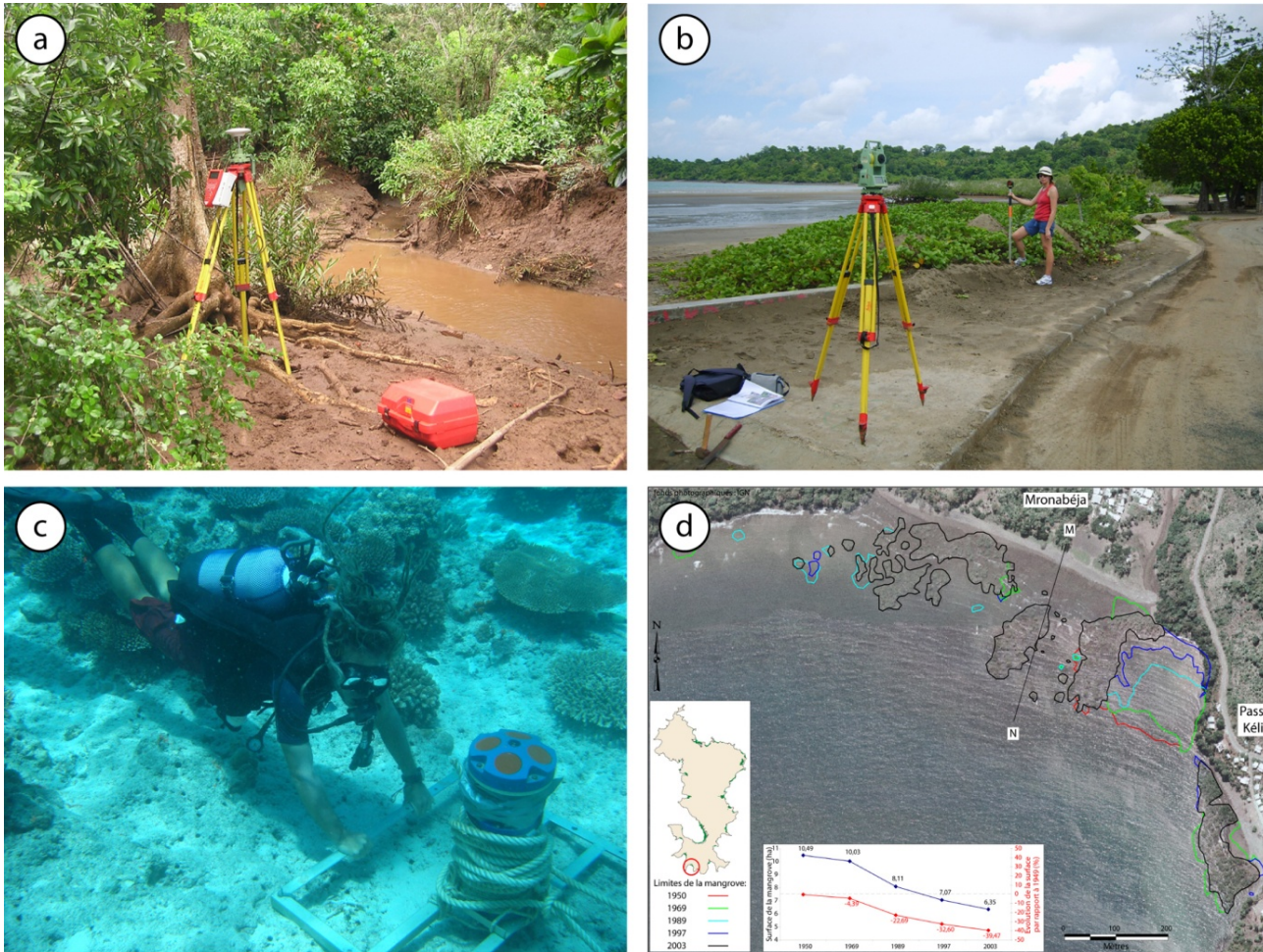


Figure 5. Instrumentation technique et méthodologies d'études employées pour le réseau de surveillance. (a) installation de points de références à l'aide d'un DGPS ; (b) Station électronique de mesures topographiques ; (c) installation d'un appareil de mesures hydrodynamiques sur un récif corallien et (d) exemple de suivi d'une mangrove par analyse diachronique de photographies aériennes. Clichés M. Jeanson (2008) sauf (d) IGN.

Cette réorganisation sédimentaire de l'estran peut être comparable, dans une certaine mesure (les surfaces affectées et volumes sédimentaires en jeu étant nettement moins importants à Mayotte) à la dynamique des cheniers le long des côtes des Guyanes, d'Afrique de l'Ouest ou d'Australie (Woodroffe et Grime, 1999 ; Anthony, 1989 ; Augustinus *et al*, 1989). En influençant la dissipation de l'énergie des vagues incidentes, la répartition et la structuration de la mangrove vont exercer un contrôle significatif sur l'activation des processus géomorphologiques et la sédimentologie intertidale. Par exemple, les cordons sableux situés à l'arrière des formations végétales de la mangrove vont être exposés à une plus faible quantité d'énergie que ceux qui ne sont pas précédés de mangrove. L'ajustement sédimentaire étant sous l'influence des paramètres hydrodynamiques, les caractéristiques et la morphodynamique des cordons

sableux sont, en conséquence, sous l'influence directe de l'organisation des mangroves adjacentes.

L'établissement du réseau de surveillance a également permis de caractériser finement les évolutions morphologiques de plusieurs sites répartis sur l'ensemble des côtes de Mayotte. Par exemple, la figure 6 montre les résultats obtenus pour la plage de Mtsanga Gouéla située au sud-ouest de Mayotte sur la commune de Bouéni (figure 6b). Longue de 350 m et large de 60 à 80 m, cette plage est presque entièrement submergée lors des pleines mers de vives-eaux. Deux petits caps de roches volcaniques marquent les extrémités de la plage. Cette dernière est précédée, côté lagon, par un platier de récif frangeant subhorizontal de 300 m de large (figure 6a). Les profils topographiques réalisés sur la plage de Mtsanga Gouéla entre février 2005 et février 2008 (figure 6c) montrent un

balancement longitudinal saisonnier du stock sédimentaire avec une accrétion du profil P100 et une érosion de P300 lors de l'été austral et inversement lors de l'hiver austral. En conséquence, les radiales étudiées montrent une succession de morphotypes bien marqués qui varient d'un profil convexe à un profil concave selon des phases d'accrétion ou d'érosion. Les variations d'élévation entre 2 levés successifs atteignent 1,5 m pour le profil P100 et plus de 1,6 m pour le profil P300 et peuvent conduire à la disparition totale des sédiments sableux le long du profil. Les changements volumétriques calculés sont en conséquence assez importants. Par exemple, entre les mois de février 2007 et juin 2007, le profil P100 montre une perte sédimentaire de 51,72 m³, alors qu'entre juin 2007 et février 2008 ce profil affiche un engraissement de 54,41 m³ de sable. Inversement pour le profil P300 on observe un gain de 40,73 m³ sur la période février-juin 2007 et une perte de 57,46 m³ entre juin 2007 et février 2008. Le profil P200 montre des variations morphologiques et volumétriques moins marquées, de l'ordre de 0,7 m et de 15,02 m³ au maximum.

Les résultats des campagnes de mesures hydrodynamiques (figure 6d) sur ce site permettent de lier ce balancement longitudinal à l'évolution saisonnière des agents hydrodynamiques. Au cours de l'hiver austral, les vents de secteur sud engendrent une houle de provenance WSW sur la plage de Mtsanga Gouéla après réfraction sur le récif frangeant adjacent. L'obliquité des houles par rapport à la plage entraîne une dérive littorale et un transit sédimentaire du sud vers le nord. Ainsi, au cours de cette période, le profil P100 est en érosion alors qu'à l'autre extrémité de la plage le profil P300 est en accrétion. Inversement, lors de l'été austral, les vents de mousson de secteur nord génèrent une houle de provenance WNW sur la plage. Ces houles produisent au cours de cette période un transport sédimentaire du nord (P300 en érosion) vers le sud de la plage (P100 en accrétion).

Cette dynamique sédimentaire saisonnière longitudinale a été retrouvée sur plusieurs autres sites autour de Mayotte comme par exemple sur les plages de Ngouja, de Sada, de Trévani ou encore celles situées au pied des falaises de Pamandzi. Pour d'autres sites, il est apparu que la dynamique sédimentaire transversale était dominante avec des transferts saisonniers de sédiments entre le haut et le bas de plage. Cette évolution se retrouve pour les sites de Mzouazia, Mronabéja, Mbouini, ou bien pour celui d'Acoua. Enfin, certaines plages sableuses et mangroves ont montré des dynamiques plus complexes avec la présence de barres

sableuses sur les bas estrans et sur les platiers coralliens (Dapani, Bandrélé, Tsingoni ou de Mounyambani).

La valorisation et la diffusion des résultats du réseau de surveillance pour la gestion du littoral

Dans un contexte de fort développement économique, marqué par une forte convoitise des espaces littoraux et par de nombreux conflits d'enjeux et d'intérêts, la diffusion et l'accessibilité des connaissances scientifiques sur la dynamique morphosédimentaire apparaissent comme un élément essentiel pour la bonne gestion de ces zones côtières. Pour cela, le réseau de surveillance doit permettre de constituer une base de données utile à l'amélioration de la compréhension du littoral mahorais et de ces évolutions. Il est donc apparu nécessaire de proposer un outil de mutualisation et de diffusion de l'information *via* la mise en place d'un Système d'Information Géographique. En dehors des données qui serviront à la recherche appliquée, ce réseau sert aussi à alimenter les acteurs partenaires locaux, régionaux et nationaux impliqués dans la gestion du littoral, demandeurs de chiffres nouveaux et de propositions d'action. Les données acquises doivent permettre, à terme, d'améliorer la cartographie des risques littoraux et de proposer des mesures de protection-adaptation nécessaires afin de promouvoir une gestion adaptée et un développement durable fondés sur la compréhension des dynamiques littorales.

Le réseau de surveillance doit donc favoriser les échanges entre scientifiques et acteurs de la société civile travaillant sur ce thème en améliorant la diffusion et la communication de l'information vers les gestionnaires locaux par l'organisation de séminaires techniques et le développement d'un Système d'Information Géographique (site Internet, Outil de cartographie interactive). Il est en effet difficile de sensibiliser et de mobiliser les acteurs locaux en charge de l'environnement littoral s'il ne leur est pas adressé un discours de nature à leur en expliquer les différents objectifs et enjeux. Ce réseau doit également proposer des actions d'informations, d'éducatives et de sensibilisations vers la population locale. La parution d'articles dans des revues et des journaux locaux (Jeanson et Dolique, 2010 ; Jeanson, 2006 ; Jeanson et De La Torre, 2006) ainsi que l'organisation de conférences (Jeanson, 2010) tentent de répondre à cette nécessité.

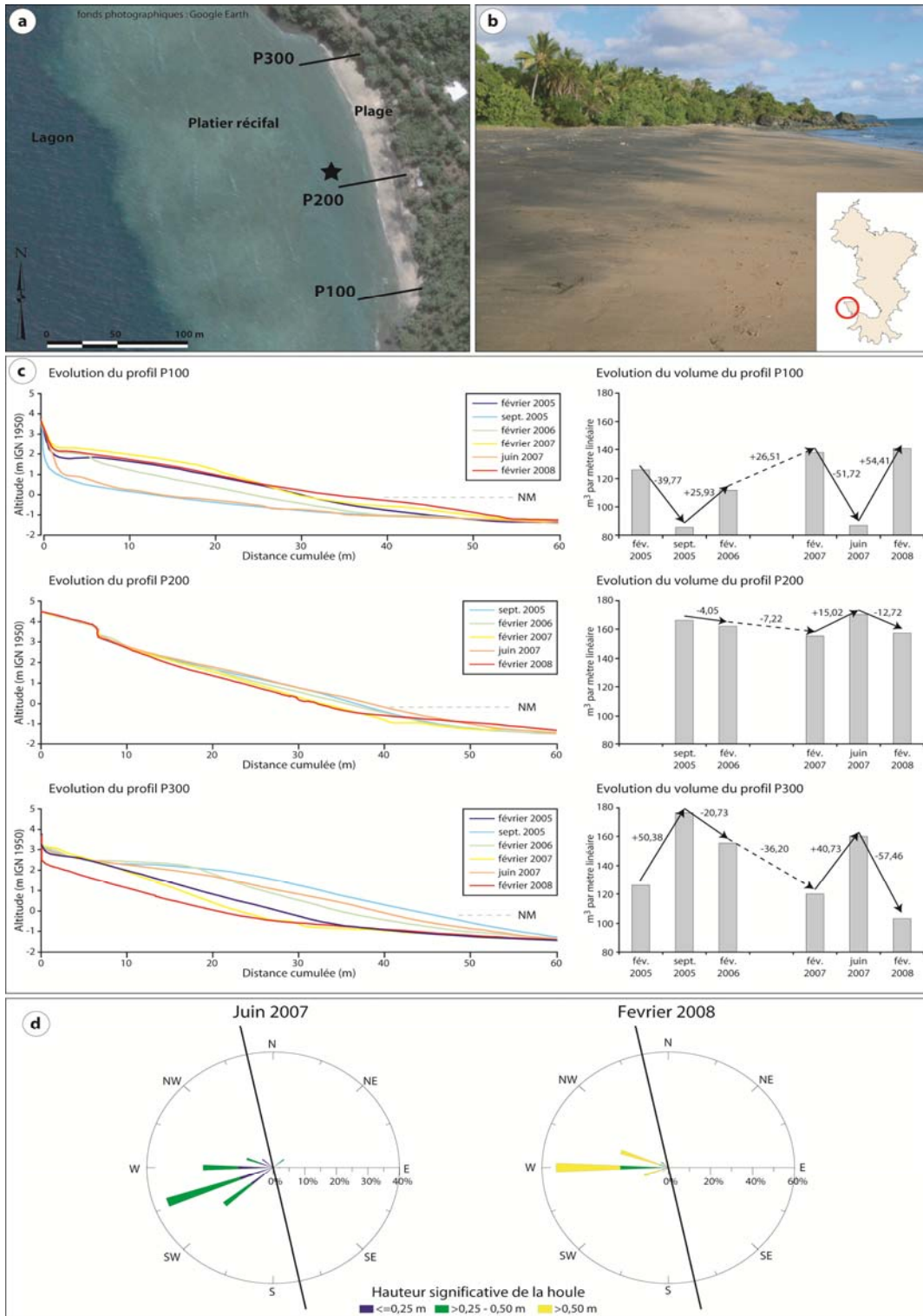


Figure 6. Exemple de résultats obtenus : plage de Mtsanga Gouéla. (a) localisation des profils topographiques et des instruments de mesures hydrodynamiques déployés (étoile noire) ; (b) photographie de la plage (cliché M. Jeanson, 2008) ; (c) suivi topographique et estimation des variations volumétriques de la plage et (d) roses des houles enregistrées en juin 2007 et février 2008 ; les traits obliques noirs représentent l'orientation longitudinale de la plage (d'après Jeanson, 2009).

A court terme, il apparaît primordial que la population y soit associée par des partenariats, par exemple avec des associations locales, et par des processus de gestion participative de proximité permettant ainsi une gouvernance locale des espaces littoraux mahorais. Les démarches participatives et l'exigence de sensibilisation à la conservation du patrimoine environnemental constituent en ce sens un préalable incontournable de toute mobilisation opérationnelle efficace car elles s'attachent à impliquer plus durablement les acteurs dans le projet de territoire (Breton, 2009 ; Lardon *et al.*, 2008).

Le SIG développé, appelé SIG Manguiers, a été créé afin de remplir la mission de collecte, d'archivage, de normalisation, de diffusion et d'exploitation des données issues du réseau de surveillance. Il s'agit de mettre en place un véritable outil d'aide à la décision dont les objectifs sont multiples :

- valoriser et compléter les informations existantes sur les aspects géographiques et environnementaux du littoral,
- mutualiser les efforts de connaissance et d'acquisition de données, améliorer la diffusion de ces informations et contribuer à la mise en place de protocoles de collecte et de traitement des données,
- mettre à disposition des acteurs scientifiques, techniques et politiques, les connaissances en matière de fonctionnement des milieux côtiers de Mayotte,
- développer des outils visant à visualiser ou à anticiper les évolutions actuelles et futures sur le littoral et à apporter aux gestionnaires de l'environnement côtier des éléments d'aide à la décision.

Des conventions d'échange de données ont donc été conclues avec les organismes en charge de l'environnement côtier mahorais pour le partage de référentiels communs et de données spatialisées littorales. En outre, l'intégration de cet observatoire au Club SIG (Institution sous la tutelle de la Direction de l'Équipement regroupant l'ensemble des acteurs SIG de Mayotte) permettra de partager les efforts de connaissance et d'acquisition de données, d'améliorer la circulation des informations notamment en rapport avec les réseaux d'observations existants, en lien étroit avec la thématique littorale, comme par exemple l'Observatoire de Récifs Coralliens (ORC) et l'Observatoire des Tortues de Mer (OTM).

L'ensemble des résultats obtenus par le réseau de surveillance (localisation des points de références, données topographiques, données hydrodynamiques) sont associées au SIG sous la forme de fiches PDF téléchargeables et imprimables. L'analyse diachronique par photographies aériennes de l'évolution surfacique des mangroves depuis 1949 est directement associée à la cartographie interactive (Figure 7).

Perspectives

Dans le contexte actuel de changement environnemental local et/ou global qui affecte les milieux littoraux fragiles comme les récifs coralliens ou les mangroves, la compréhension de la morphodynamique est essentielle et doit entrer dans un cadre global de mesures et d'interprétation des évolutions, des processus et des résiliences au sein d'observatoires de la dynamique côtière. La forte pression démographique à laquelle est soumis le littoral de l'île de Mayotte renforce la nécessité d'intégrer son évolution morphologique dans les stratégies de développement durable.

Les premiers éléments de comparaison que nous avons pu analyser nous permettent de mieux comprendre les évolutions sédimentaires saisonnières. Ils mettent également en lumière la complexité des interactions morphodynamiques à différentes échelles spatiales et temporelles entre les composantes physiques du système littoral. Les premiers résultats issus de ce nouveau réseau de surveillance sont prometteurs mais celui-ci doit encore faire la preuve de sa capacité immédiate à être opérationnel en cas d'événement paroxysmal. Un des objectifs de recherche (la caractérisation de la résilience sédimentaire post-événementielle) doit encore réellement démarrer. Le niveau de résilience naturelle de ces milieux doit être caractérisé afin de déterminer le potentiel de reconstitution des volumes sédimentaires à la suite d'un événement tempétueux par exemple.

Les possibilités d'évolution du SIG sont importantes : parmi ces possibilités, l'on peut considérer comme prioritaires l'intégration d'images satellitales et de photographies aériennes multi-dates à laquelle, se rajoutent de manière dynamique, des résultats des diverses actions scientifiques sur le terrain. Le SIG Manguiers est un outil numérique permettant de visualiser, de reconstituer, et de suivre l'évolution et la dynamique morphosédimentaire littorale mahorais.

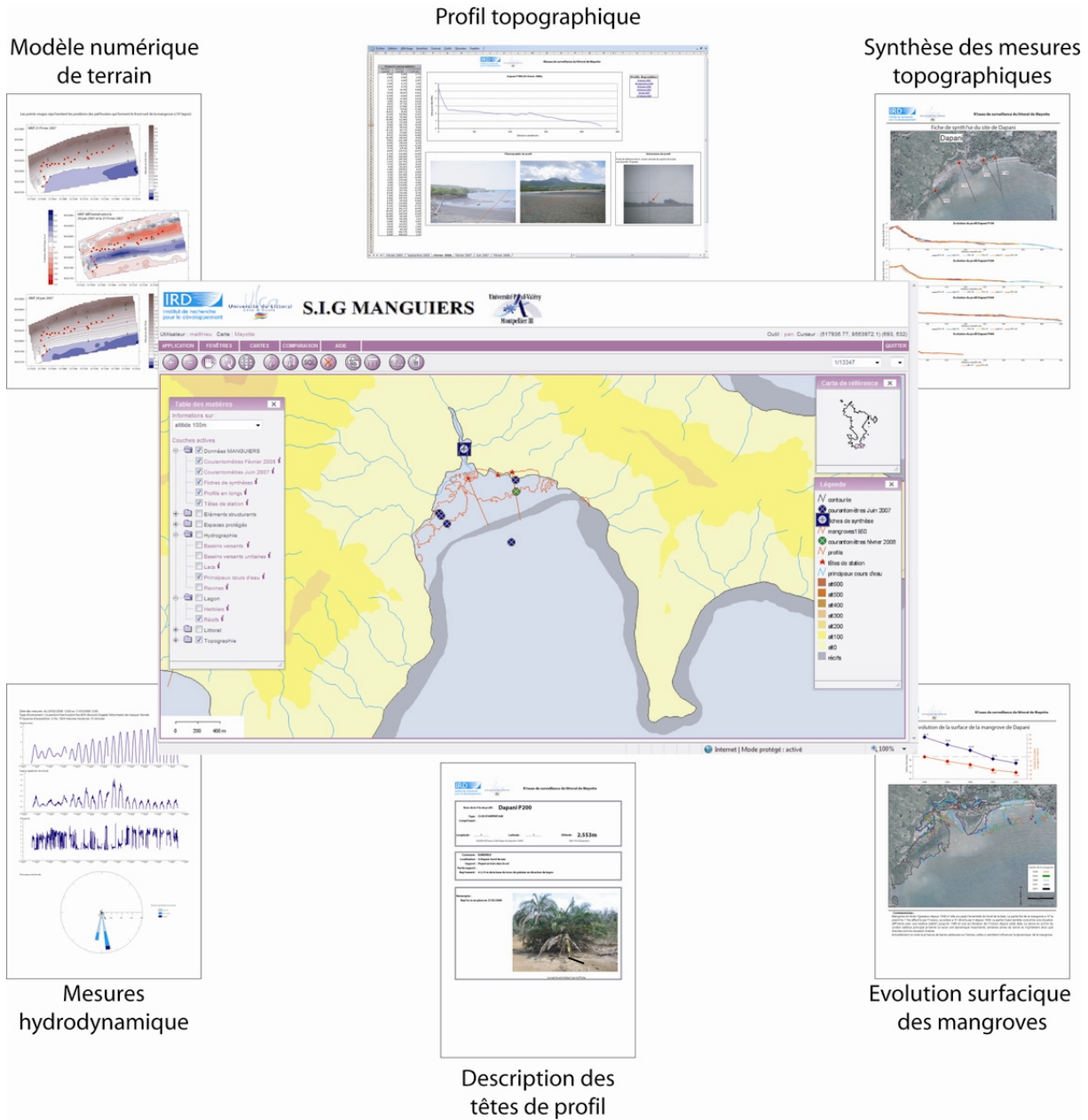


Figure 7. Capture d'écran de l'application cartographique interactive du portail Web, <http://manguiers.teledetection.fr/>, et des fiches synthétiques présentant les résultats issus du réseau de surveillance.

Pour cela, ce SIG a été mis à la disposition d'organismes gestionnaires locaux (DAF et Conseil Général) et pourra être actualisé au fur et à mesure des acquisitions de nouvelles données sur le terrain en rapport avec la thématique littorale.

Synthèse et conclusion

La démarche adoptée au cours de la réalisation du réseau de surveillance de la dynamique du littoral a pour objectif de développer un outil utile et opérationnel permettant aux

gestionnaires de disposer d'une aide à la réflexion et à la décision pour la gestion de l'environnement côtier de Mayotte. À ce titre, cette démarche est susceptible de jouer un rôle important dans l'intégration des approches environnementales à l'aménagement et à la mise en valeur du littoral. L'apport apparaît être indéniable pour cette collectivité ultra-marine en plein développement et qui a plus que jamais besoin de solutions de ce type.

Le réseau de surveillance du littoral réalisé intervient prioritairement dans le domaine environnemental mais il

participe également à l'intégration du littoral dans les stratégies sociales et économiques de développement. L'une de ses premières missions est de suivre l'évolution du littoral et de diffuser les résultats issus des travaux de recherches. Parmi les thématiques suivies, l'érosion et la résilience sont importantes sur un territoire densément peuplé et aux enjeux écologiques et économiques majeurs. Cet outil de suivi et d'analyse apporte une aide à la décision et à la gouvernance afin d'orienter les politiques de gestion de ce milieu fragile face à ces enjeux et à leur évolution constante.

Ce réseau permet également d'acquérir et d'archiver des données quantitatives nouvelles sur des sites où les mesures morphodynamiques sont très rares, voire inexistantes. Un des objectifs est d'assurer une meilleure coordination et une meilleure diffusion des informations utiles aux acteurs scientifiques, techniques ou gestionnaires du littoral mahorais. Les données devront être régulièrement réactualisées compte tenu des évolutions attendues en réponse aux modifications environnementales, ce qui permettra un véritable état des lieux de la morphologie littorale et son suivi dans le temps. Cela passe par la pérennisation du suivi et des mesures à intervalles réguliers. Non seulement nécessaires aux scientifiques pour améliorer la connaissance de l'évolution des environnements sédimentaires littoraux sous l'effet de nouvelles conditions climatiques, toutes ces informations le sont également aux gestionnaires du littoral. Elles peuvent servir, pour certaines par exemple, d'indicateurs concernant l'état de qualité/dégradation du milieu.

L'intérêt porté à notre travail par les acteurs politiques et les gestionnaires du littoral mahorais démontre que les outils de valorisation développés en aval du réseau auront toute leur utilité dans l'optique de l'aménagement et la mise en valeur des côtes de Mayotte. Dans un cadre plus global, la matière scientifique acquise par cet observatoire doit servir à mieux comprendre les effets du changement climatique sur les environnements côtier tropicaux sensibles compte tenu des modifications possibles du régime des vents et des tempêtes, et de la hausse du niveau marin.

Remerciements

Les auteurs de cet article tiennent à remercier les organismes qui ont contribué au financement de ce programme de recherche (ULCO ; BRGM ; ministère de l'outre-mer, crédits de recherche MOM ; IRD de La

Réunion et Guyane) ainsi que les services locaux impliqués dans la gestion de l'environnement littoral et lagunaire de Mayotte pour leurs aides techniques et logistiques (DAF, Conseil Général de Mayotte). Les auteurs remercient également les relecteurs de leurs commentaires qui ont permis d'améliorer la clarté de cet article.

Bibliographie

- Ahamada, S., J.Bijoux, B. Cauvin, A. Hagan, A. Harris, M. Koonjul, S. Meunier et J.-P. Quod, 2008, Status of the Coral Reefs of the South West Indian Ocean Island States, pp. 105-118, *In* Wilkinson, C. (ed.), *Status of coral reefs of the world: 2008*. Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center, Townsville, Australia, 296 pp.
- Anthony, E.J., 1989, Chenier plain development in northern Sierra Leone, West Africa, *Marine Geology*, 90, pp. 297-309.
- Audru, J.-C., A. Bitri, J.-F. Desprats, P. Dominique, G. Eucher, S. Hachim, O. Jossot, C. Mathon, J.-L. Nédellec, P. Sabourault O. Sedan, P. Stollsteiner et M. Terrier-Sedan, 2010, Major natural hazards in a tropical volcanic island: A review for Mayotte Island, Comoros archipelago, Indian Ocean, *Engineering Geology*, 114, pp. 364-381.
- Augustinus, P.G.E.F., L. Hazelhoff et A. Kroon, 1989, The chenier coast of Suriname: modern and geological development, *Marine Geology*, 90, pp. 145-151.
- Bernardie-Tahir, N. et El-M. Omar, 2001, Mayotte : des parfums au tourisme. Les nouveaux enjeux du littoral, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 216, pp. 369-395.
- Besson, J., 2005, *Typologie et caractérisations dynamiques de l'érosion des mangroves au Sud et à l'Ouest de Mayotte*, Mémoire de DEA en géographie physique, Université de Reims Champagne-Ardenne, 171 pp.
- Boruff, B.J., C. Emrich et S.L. Cutter, 2005, Erosion hazard vulnerability of US coastal counties, *Journal of Coastal Research*, 21, 5, pp. 932-942.
- Breton, J.-M., 2009, Aires protégées, gestion participative des ressources environnementales et développement touristique durable et viable dans les régions ultra-périphériques, *Études caribéennes* [En ligne], 12 : Espaces et aires protégés. Gestion intégrée et gouvernance participative, mis en ligne le 4 septembre 2009, URL : <http://etudescaribeennes.revues.org/3560>. Consulté le 20 octobre 2010.
- Cazenave, A. et W. Llovel, 2010, Contemporary Sea Level Rise, *Annual Review of Marine Science*, 2, pp. 145-173.
- Cazes-Duvat, V., 2005, Les archipels de l'ouest de l'océan indien face à l'érosion côtière (Mascareignes, Seychelles, Maldives), *Annales de Géographie*, 114, 644, pp. 342-361.
- Church, J.A. et N.J. White, 2006, A 20th century acceleration in global sea-level rise, *Geophysical Research Letters*, 33, L01602, doi:10.1029/2005GL024826
- Church, J.A., N.J. White et J.R. Hunter, 2006, Sea-level rise at tropical Pacific and Indian Ocean islands, *Global and Planetary Changes*, 53, pp. 155-168.
- Dauvin, J.C. (coord.), 2002, Gestion intégrée des zones côtières: outils et perspectives pour la préservation du patrimoine naturel, *Patrimoines Naturels*, 57, 346 pp.
- De La Torre, Y. et S. Aubie, 2003, *Étude de la morphodynamique des littoraux de Mayotte. Phase 1 : Synthèse, typologie et tendance d'évolution*, Rapport BRGM/RP-52320-FR, 43 pp.

- De La Torre, Y., F. Dolique et M. Jeanson, 2006, *Morphodynamique des littoraux de Mayotte. Phase 2 : mise en place d'un réseau de quantification de l'érosion côtière*, BRGM/RP-54832-FR, 71 pp.
- De La Torre, Y., S. Lecacheux, R. Pedreros et Y. Balouin, 2008, Modélisation de la houle cyclonique dans le lagon de Mayotte, *Xème Journée Nationales Génie Côtier-Génie Civil*, 14-16 octobre 2008, Sophia Antipolis, pp. 325-334.
- Dolique, F., M. Jeanson et J. Besson, 2007, A monitoring network for assessing the impact of extreme marine meteorological events on tropical beaches, *Journal of Coastal Research*, SI 50, pp. 77-81.
- Doney, S.C., V.J. Fabry, R.A. Feely et J.A. Keytas, 2009, Ocean acidification: the other CO₂ problem, *Annual Review of Marine Science*, 1, pp. 169-192.
- Durand, P., 1998, Cinématique d'un littoral sableux à partir de photographies aériennes et de cartes topographiques. Exemple du littoral d'Argelès-Plage à Saint-Cyprien (Roussillon, France), *Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement*, 2, pp. 155-166.
- Duvat, V., 2008, Le système du risque à Saint-Martin (Petites Antilles françaises), *Développement durable et territoires* [En ligne], Dossier 11 : Catastrophes et Territoires, mis en ligne le 06 novembre 2008, URL : <http://developpementdurable.revues.org/7303>. Consulté le 18 octobre novembre 2010.
- Fontaine, G., 1997, Mayotte, l'île aux multiples défis, In SANGUIN, A.-L., *Vivre dans une île, une géopolitique de l'insularité*, L'Harmattan, Paris, pp. 69-80.
- Fromard, F., 2000, *Les mangroves de Mayotte. Analyse écologique et propositions de restauration*, LET-CNRS Toulouse, ESPACES Mayotte, 61 pp.
- Gevrey, A., 1870, *Essai sur les Comores*, réédition de 1997, Editions du Baobab, 206 pp.
- Gilman, E.L., J. Ellison, N.C. Duke et C. Field, 2008, Threats to mangroves from climate change and adaptation options, *Aquatic Botany*, 89, pp. 237-250.
- Hoegh-Gulberg, O., P.J. Munby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, P. Greenfield, E. Gomez, C.D. Harvell, P.F. Sale, A.J. Edwards, K. Caldeira, N. Knowlton, C.M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R.H. Bradbury, A. Dubi et M.E. Hatzioios, 2007, Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification, *Science*, 318, pp. 1737-1742.
- Hughes, T.P., A.H. Baird, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J.B.C. Jackson, J. Kleypas, P. Marshall, M. Nyström, S.R. Palumbi, J.M. Pandolfi, B. Rosen et J. Roughgarden, 2003, Climate change, human impacts and the resilience of coral reefs, *Science*, 301, pp. 929-933.
- Idier, D., M. Poumadère, C. Vinchon, E. Romieu et C. Oliveros, 2009, Vulnerability of sandy coasts to climate change and anthropic pressures: methodology and preliminary results, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 11, EGU General Assembly 2009.
- INSEE, 2007, Recensement générale de la population à Mayotte, *Insee infos*, 32, novembre 2007.
- Jeanson, M., 2005, *La dynamique des mangroves à l'Ouest et au Sud de Mayotte. Caractérisations des influences lagonaires*, Mémoire de DEA en géographie physique, Université de Reims Champagne-Ardenne, 141 pp.
- Jeanson, M., 2006, L'écosystème mangrove, un filtre en terre et mer, *Univers Maoré*, 3, pp. 16-24.
- Jeanson, M., 2009, *Morphodynamique du littoral de Mayotte - Des processus au réseau de surveillance*, Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'opale, 353 p.
- Jeanson, M., 2010, *La mangrove et l'évolution du littoral de Mayotte*, Conférence organisée par l'association des Naturalistes de Mayotte, Salle de délibération du Conseil Général de Mayotte, 12 janvier 2010.
- Jeanson, M. et Y. De La Torre, 2006, Le fragile équilibre des espaces littoraux, *Univers Maoré*, 5, pp. 32-37.
- Jeanson, M. et F. Dolique, 2010, 720 hectares de mangrove nous protègent, *Mayotte Hebdo*, n°458 du 15 janvier 2010, p. 10.
- Jeanson, M., F. Dolique et Y. De La Torre, 2006, *Mise en place d'un réseau de surveillance de la dynamique côtière à Mayotte*. Livre de résumés, Communication présentée dans le cadre du colloque en hommage au professeur Roland Paskoff, Tunis, 11-13 septembre 2006.
- Lardon, S., E. Chia et H. Rey-Valette, 2008, Introduction : Dispositifs et outils de gouvernance territoriale, *Noréis* [En ligne] URL : <http://norois.revues.org/index2602.html>. Consulté le 20 octobre 2010.
- Laulan, P., C. Robbe, M. M'changama, B. Ali Sifari, F. Barthelat et R. Rolland, 2006, *Atlas des mangroves de Mayotte*, Service Environnement, Direction de l'Agriculture et de la Forêt, 145 pp.
- Lebigre, J.-M., 1997, Problèmes d'érosion dans le marais à mangrove de Mayotte (archipel des Comores), *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, 15, pp. 45-48.
- McLeod, E. et R.V. Salm, 2006, *Managing Mangroves for Resilience to Climate Change*, UICN, Gland, Suisse, 64 pp.
- Meur-Férec, C., P. Deboudt et V. Morel, 2008, Coastal risks in France: An integrated method for evaluating vulnerability, *Journal of Coastal Research*, 24, 2B, pp. 178-189.
- Mimura, N., L. Nurse, R.F. McLean, J. Agard, L. Briguglio, P. Lefale, R. Payet et G. Sem, 2007, Small islands, In Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden, P.J. et Hanson, C.E., (Eds), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 687-716.
- Mori, N., T. Yasusa, H. Mase, T. Tom et Y. Oku, 2010, Projection of extreme wave climate change under global warming, *Hydrological Research Letters*, 4, pp.15-19.
- Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden et C.D. Woodroffe, 2007, Coastal systems and low-lying areas, In Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden, P.J., Hanson, C.E., (Eds), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 315-356.
- Obura, D.O., J. Tamelander et O. Linden, (Eds), 2008, *Ten years after bleaching – facing the consequences of climate change in the Indian Ocean*, *CORDIO Status Report 2008*, CORDIO (Coastal Oceans Research and Development in the Indian Ocean)/Sida-SAREC, Mombasa, 489 pp.
- PARETO, ARVAM, 2006, *Observatoire des récifs coralliens de Mayotte - Surveillance de l'état de santé des récifs, suivi 2005. Suivi des peuplements benthiques du récif barrière et des récifs internes*, Rapport PARETO/ARVAM pour le compte de SE-DAF/CDM, 60 pp.
- Pelling, M. et J.I. Uitto, 2001, Small island developing states: natural disaster vulnerability and global change, *Environmental Hazards*, 3, pp. 49-62.
- Porcher, M., M. Schrimm, M. Oberlinkels, R. Morancy, S. Nicot, C. Gabriele, A. Cheminee, J.-P. Quod et L. Bigot, 2002, *Plan de gestion du lagon de Mayotte. Volet 2 : Etat des lieux des milieux côtiers et récifolagunaires*, CAREX Environnement, WWF, ARVAM, 84 pp.
- Sheppard, C., D.J. Dixon, M. Gourlay, A. Sheppard et R. Payet, 2005, Coral mortality increases wave energy reaching shore protecting by reef flat: Examples from Seychelles, *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*, 64, pp. 223-234.

- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor et H.L. Miller (eds), 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom et New York, NY, USA, 996 pp.
- Taglioni, F., 2009, Mayotte s'ancre dans la république française, *EchoGéo*, CNRS, rubrique "Sur le vif", [En ligne], mis en ligne le 01 juillet 2009. URL : <http://echogeo.revues.org/index11277.html>. Consulté le 01 juillet 2009.
- Thomassin, B.A., A. Arnoux, J. Coudray, C. Froget, B. Gout, G. Kouyoumouzakakis, J.-P. Masse, Y. Reyre, J.-P. Reys et E. Vacelet, 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, *Bulletin de la Société géologique de France*, 5, pp. 1235-1251.
- Titus, J.G., 2005, Greenhouse effect and global warming, In Schwartz, M., *Encyclopedia of coastal science*, Springer ed., pp. 494-502.
- UNESCO, 2003, Monitoring beach changes as an integral component of coastal management. Final report of the project on: Institutional strengthening of beach management capabilities in the Organisation of Eastern Caribbean States and the Turks and Caicos Islands, *CSI info* 15, UNESCO, Paris, 90 pp.
- Vinchon, C., S. Aubie, Y. Balouin, L. Closset, M. Garcin, D. Idier, C. Mallet, 2009, Anticipate response of climate change risks at regional scale in Aquitaine and Languedoc Roussillon (France), *Ocean and Coastal Management*, 52, 1, pp. 47-56.
- Wickel, J. et B.A. Thomassin,, 2005, *Les récifs coralliens frangeants de l'île de Mayotte (Grande Terre) : bilan de l'état de santé en 2004 et évolution depuis 1989*, Rapport ESPACES pour le compte de la DAF Mayotte, 100 pp.
- Wigley, T.M.L. et S.C.B. Rapper, 2001, Interpretations of high projections of global mean warming, *Science*, 293, pp. 451-454.
- Wilkinson, C. (ed.), 2008, *Status of coral reefs of the world: 2008*, Global Coral Reef Monitoring Network and Reef and Rainforest Research Center, Townsville, Australia, 296 pp.
- Woodroffe, C.D. et D. Grime, 1999, Storm impact and evolution of a mangrove-fringed chenier plain, Shoal Bay, Darwin, Australia, *Marine Geology*, 159, pp. 303-321.
- Woodworth, P.L., J.M. Gregory, R.J. Nicholls, 2004, Long term sea-level changes and their impacts, In Robinson, A.R., Brink, K. (Eds) *The Sea, Volume 13, The Global Coastal Ocean*, Harvard, USA, Harvard University Press, pp. 715-753.