

Évolution Morphologique de le Lagune à Mangrove de la Manche-à-Eau (Guadeloupe, Antilles Françaises) de 1950 - 2004, et sa Bathymétrie et sa Courantologie en 2007

MURIELLE MANTRAN¹, ROBERT HAMPARIAN², et JEAN-LUC BOUCHEREAU¹

¹ Université des Antilles et de la Guyane, UFR-SEN, Département de Biologie, UMR 7138,

Systématique, Adaptation, Évolution, Campus de Fouillole, BP 592, F-97159 Pointe-à-Pitre cedex, France.

² Université des Antilles et de la Guyane, UFR-SEN, Département de Biologie, Laboratoire de Biologie Marine,

Campus de Fouillole, BP 592, F-97159 Pointe-à-Pitre cedex, France

RÉSUMÉ

La lagune de la Manche-à-Eau, écosystème d'eau saumâtre est soumis à la marée, aux alizés et aux ouragans. La carte IGN de 2004 est quadrillée selon une maille de 90 m pour placer 37 points dans un SIG et les borner sur le terrain avec un GPS. D'après les photographies aériennes, le dessin des contours rend possible le suivi morphologique depuis 1950. La profondeur est mesurée à 1437 points avec une perche et une sonde bathymétrique. L'orientation des courants est établie au flot et au jusant avec des penons fixés aux points, et une boussole. Les masses d'eau entrantes et sortantes permettent le calcul du volume d'eau renouvelé à chaque marée. Le suivi cartographique montre, une stabilisation des contours et de l'île due à « l'effet bouclier » et au sol (tourbe racinaire), et une agrégation/désagrégation des îlots selon le passage des ouragans. D'après la bathymétrie actuelle, le comblement de la lagune et le creusement des chenaux sont constatés. Les courants généraux sont gouvernés en surface par les alizés, vent de SSE-NNO et par le va-et-vient de la marée. Les descentes et remontées d'eau obligent ceux-ci à emprunter en profondeur les passages situés le long des berges et autour des dépressions et des hauts-fonds. Le volume d'eau renouvelé à chaque marée (14,8 %) combiné à l'hydrodynamisme actif et varié tend à vivifier cet écosystème.

MOTS CLÉS: Géomorphologie littorale, hydrologie lagunaire, bathymétrie, courantologie, hydrodynamisme, renouvellement de l'eau de mer, ouragan

Morphological Evolution of the Manche-à-Eau Mangrove Lagoon (Guadeloupe, French West Indies) from 1950 to 2004, and its 2007 Bathymetry and Current Structure

The Manche-à-Eau lagoon, brackish water ecosystem is subject to tide, trade winds and hurricanes. The 2004 map (IGN) is covered of a 90 m aside square, to place 37 spots in a GIS and to limit them on the field with a GPS. From aerial photos, the outlines drawing allows morphological follow up since 1950. Depth is measured at 1437 spots with bathymetric perch and prob. Stream direction is established during stream and ebb tide using ribbon fixed to the spot and a compass. Water volumes at low and high tide allow calculating the water renewal rate, at each tide. The mapping follow-up shows outlines and island stabilization because of the "shield effect" and soil (root peat), small islands aggregation/disaggregation depending of hurricanes passing. The present bathymetry shows the lagoon filling and the channels digging. General streams are subject to trade-winds (SSE-NNW) and the tide movement to and fro. The up and down water generates a stream channel situated along the outlines and around dips and sandbanks. Water renewal volume (14.8 %) at each tide, combined with an active and various hydrodynamism tends to improve the water quality in this system.

KEYWORDS: Coastal geomorphology, lagoon hydrology, bathymetry, current structure, hydrodynamism, renewal of marine water, hurricane

Evolución Morfológica de la Laguna del Manglar Manche-à-EAU (Guadalupe, Antilles Francesas) de 1950 a 2004, y su Batimetría eb 2007

La laguna del Manche-à-Eau, ecosistema de agua salobre está sometido a la marea, a los alisios y a los huracanes. El mapa IGN de 2004 está dividido según una malla de 90 m para colocar 37 puntos en un SIG y limitarlos in situ con un GPS. Según las fotografías aéreas, el dibujo de los contornos hace posible el seguimiento morfológico desde 1950. La profundidad se mide en 1437 puntos con una pértiga y una sonda batimétrica. La orientación de las corrientes se establece en el mar y en el refluo con catavientos fijados en los puntos, y una brújula. Las masas de agua entrantes y salientes permiten el cálculo del volumen de agua renovado durante cada marea. El seguimiento cartográfico muestra una estabilización de los contornos y de la isla debido al "efecto de escudo" y al suelo (turba de raíz), y una agregación/desagregación de los islotes según el paso de los huracanes. De acuerdo a la batimetría actual, se constatan el relleno de la laguna y la excavación de los canales. Las corrientes generales son controladas en superficie por los alisios, vientos de SSE-NNO y por el vaivén de la marea. Los movimientos ascendentes y descendentes de agua generan corrientes profundas a lo largo de los bordes y alrededor de depresiones y bajos. El volumen de agua renovado durante cada marea (14,8%) combinado al hidrodinamismo activo y variado tiende a vivificar este ecosistema.

PALABRAS CLAVES: Geomorfología litoral, hidrodinamismo, hidrología de la laguna, batimetría, correntometría, renovación del agua de mar, huracán

INTRODUCTION

La Manche-à-Eau, Guadeloupe, Antilles françaises (Figure 1) est une des lagunes situées dans la mangrove bordant le Grand Cul-de-Sac Marin. Celui-ci est un lagon de la côte Nord de l'Archipel de la Guadeloupe, de plus de 10 km de long dans sa partie médiane, entouré par une barrière récifale de 29 km de long. Il est placé entre les deux îles, calcaire d'origine récifale de Grande-Terre et volcanique de Basse-Terre (Guilcher et Marec, 1978) séparées par un chenal marin dénommé la Rivière Salée qui s'ouvre au Sud sur le Petit Cul-de-Sac Marin (Figure 2). Cet ensemble, dont la formation remonte au Pleistocène, s'est développé au cours de la transgression Holocène. Le lagon du Grand Cul-de-Sac Marin serait une aire d'affaissement qui s'est produite au contact des deux îles (Camprasse 1972). Sa profondeur varie entre 20 cm et 20 m et son marnage entre 30 et 40 cm. La lagune de la Manche-à-Eau (MAE) communique, par la Rivière Salée, avec la côte occidentale « vaseuse, protégée, ennoyée et à mangrove » (Camprasse, 1972) de ce lagon du Grand Cul-de-Sac Marin, dont le groupe sédimentaire est formé de vases très fines renfermant moins de 45 % de carbonate de calcium et plus de 55 % d'éléments terrigènes (Guilcher et Marec, 1978). Cet écosystème à mangrove composé uniquement de palétuviers rouges, *Rhizophora mangle*, en permanence inondé, se caractérise par des eaux saumâtres chaudes, une faible oxygénation du sédiment et un sol instable. La mangrove est un milieu stabilisateur assurant une excellente protection et contribuant à la résilience écologique des écosystèmes après le passage des ouragans, mais qui reste fragile et qui subit d'importants forçages (Imbert 2002). Elle est périodiquement affectée par des événements paroxysmiques majeurs de type cyclonique. L'ouragan Hugo est passé sur la Guadeloupe en 1989. Depuis Hugo, la mangrove autour du Grand Cul-de-Sac Marin a été partiellement détruite engendrant un développement différent de la végétation suite à une reconquête des palétuviers rouges (Imbert, 2002). L'effet de l'ouragan a probablement modifié l'aspect physique de la lagune. Une étude pédologique, bathymétrique, courantologique et physico-chimique précédant cet ouragan a été menée par Assor en 1987. Toutefois, depuis, aucune autre étude du même type n'a été faite sur ce milieu lagunaire. En revanche, cet écosystème est considéré par beaucoup de chercheurs dans les thématiques qu'ils abordent comme une lagune atelier.

Le présent travail a pour objectifs, pour mieux comprendre le fonctionnement de cet écosystème :

- i) De vérifier avec des éléments cartographiques bidimensionnels si une évolution morphologique de la lagune de la Manche-à-Eau est intervenue de 1950 à 2004 ;
- ii) D'approfondir l'étude bathymétrique et courantologique pour en établir le régime de la circulation générale de l'eau en 2007 et de le comparer avec celles établies par Assor en 1987 ; et

- iii) De proposer des hypothèses faisant intervenir le rôle des événements morphogènes depuis 1950 sur les possibles changements de contours lagunaires.

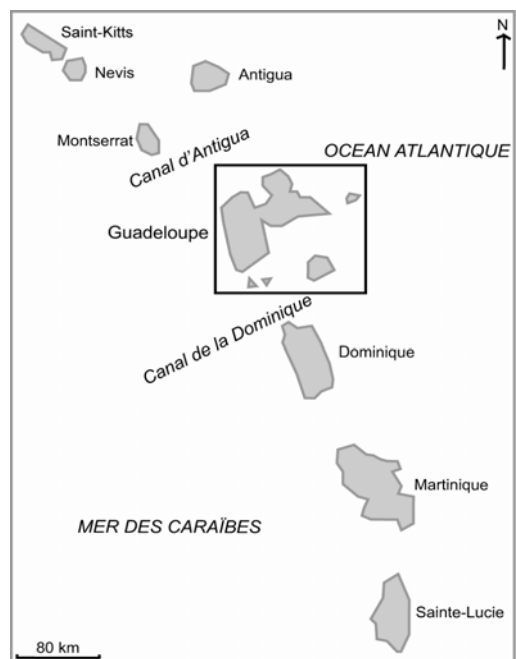


Figure 1. Localisation de la Guadeloupe dans les Petites Antilles.

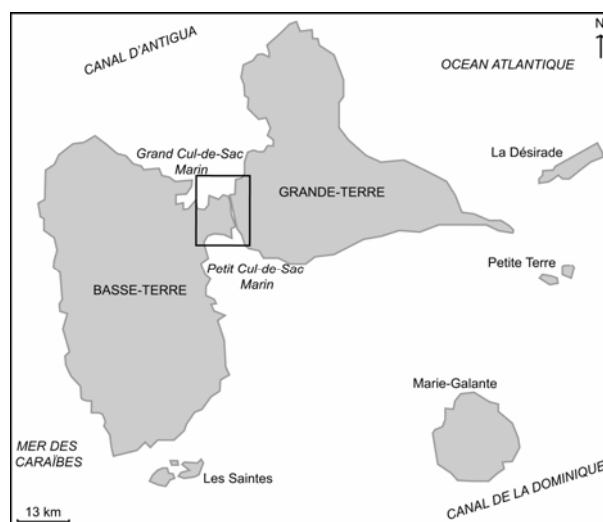


Figure 2. Localisation des îles de la Guadeloupe.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Description Générale de la Lagune

Localisation géographique — La lagune de la MAE (Figure 3) se situe sous la latitude de 16° 16' 36" Nord et la longitude 61° 33' 24" Ouest. La Rivière Salée est un bras de mer qui relie le Grand Cul-de-Sac Marin au Petit Cul-de-Sac Marin et sépare les îles de Basse-Terre et de Grande-Terre. Il a pour affluent le chenal principal de la lagune orienté Nord-Est / Sud-Ouest (Figure 3). D'après Assor (1987), cette lagune occupe une zone dépressionnaire entourée par les petites collines de Bon-Goût (11 m) et de Birmingham (25 m). Elle s'est formée à partir d'une « ravine » qui s'écoulait entre les deux collines précédemment citées jusqu'à la Rivière Salée: la ravine Houaromand (Fig. 4). Cette dernière est l'un des six tributaires de la Passe à Colas, vallée sous-marine de période régressive qui se jette dans le Grand Cul-de-Sac Marin via la Rivière Salée (Guilcher et Marec 1978). La lagune s'est formée dans une zone située à faible altitude, entre -1,3 m et + 10 m, d'après le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Elle est, de ce fait, soumise à l'influence de la mer avec la présence actuelle d'un chenal de marée et d'un drain alimentant sporadiquement la lagune. Cette dernière s'est formée dans un méandre de cette ravine selon le processus classique de méandrage. Ceci explique la forme actuelle de la lagune avec une morphologie allongée qui s'étire du Sud-Sud-Est vers le Nord-Nord-Ouest ; ses dimensions sont réduites : 910 m de longueur, 425 m de largeur, 260.10³ m² de surface et entre 1,5 et 2 m de profondeur (Assor 1987).

Influences de la marée et du vent — Le processus général de la marée en Guadeloupe doit être expliqué pour mieux comprendre les mouvements de marée dans la lagune (Figure 3). D'après nos observations préalables sur le sens du courant dans la Rivière Salée à l'aide d'un penon fixé à un piquet, à marée descendante, la Mer des Caraïbes se vide dans l'Atlantique plus vite par le Canal de la Dominique que par celui d'Antigua puisque le Grand Cul-de-Sac Marin est plus enclavé que le Petit Cul-de-Sac Marin. De ce fait, la Rivière Salée s'écoule du Nord vers le Sud. À marée montante, le processus s'inverse, avec l'Océan Atlantique qui remplit la Mer des Caraïbes via le Canal de la Dominique et celui d'Antigua. Le Grand Cul-de-Sac Marin est moins alimenté que le Petit Cul-de-Sac Marin : la Rivière Salée s'écoule alors du Sud vers le Nord. Cette dynamique explique la présence d'une marée à faible marnage, due à la rencontre des deux ondes océaniques, en provenance de l'Atlantique Nord et de la Mer des Caraïbes. La marée opère une influence quotidienne dans la lagune. Les prévisions marégraphiques sont disponibles via le SHOM pour le Petit Cul-de-Sac Marin (Fig. 3). D'après Assor (1987), le régime général des marées à Pointe-à-Pitre est semi-diurne. Vanney (1991) évoque deux types de

régimes : un régime bimodal, dit semi-diurne et un régime quasi-unimodal, dit mixte. Les conséquences de ces mouvements généraux de marée dans la Rivière Salée sont un décalage temporel des étales de basse mer et de haute mer et de l'amplitude du marnage tant pour des marées de vive-eau que de morte-eau dans la lagune. Le décalage est de 15 minutes par rapport aux étales de marée basse et haute, pour une marée de vive-eau. L'étales de marée basse est retardé tandis que celui de marée haute est avancé par rapport aux marégrammes prévisionnels du SHOM (Figure 5). À marée descendante, le Petit Cul-de-Sac Marin se vide avant la lagune alors qu'à marée montante, la lagune se remplit avant ce dernier, certainement en raison d'apports d'eau du Grand Cul-de-Sac Marin par percolation et non pas directement par ceux de la Rivière Salée. Un décalage plus important est remarquable également lors d'une marée de morte-eau, soit 30 minutes. Les étales de marée dans la lagune par rapport à ceux du chenal sont également décalés. La lagune ajuste son niveau par rapport à celui du chenal lors des étales de marée haute et basse. À marée montante, le chenal se remplit et est à l'étales de marée haute avant la lagune. Lorsque le chenal est à l'étales, la lagune n'a pas tout à fait eu le temps de se remplir complètement. Le chenal et la lagune ajustent alors leur niveau. Il existe le même phénomène à marée basse. D'après Assor (1987), il existe des différences d'amplitude maximales de marnage de l'ordre de 50 à 60 cm entre les données du Grand Cul-de-Sac Marin et celles du Petit Cul-de-Sac Marin (SHOM). Dans la lagune, le marnage ne dépasse pas 40 cm en période normale. Les dynamiques de marées sont complexes, en raison du retard de celles-ci dans la lagune, par rapport aux données de prédiction du SHOM: retard pouvant atteindre jusqu'à 1h30 (Assor, 1987). Ces différences d'amplitude et d'horaire sont dues à l'enclavement géographique de la lagune de la MAE par rapport au site de mesures marégraphiques de Pointe-à-Pitre (Figure 3) dans le Petit Cul-de-Sac Marin (Assor 1987).

Les vents dominants dans la Caraïbe sont les alizés (Figure 3), de secteur Est (variations du Sud-Est au Nord-Est). La station météorologique du Raizet donne une moyenne des vents, entre 1981 et 2000, de 107° environ, soit des vents d'Est (Figure 6). D'après Assor (1987), des variations annuelles de ces vents de surface et des variations nycthémerales, qui amènent à un changement de direction du vent, sont discernables. Dans la lagune, les vents dominants sont de secteur Sud-Est (Assor 1987), soit une direction de 340°. Ceci s'explique par la morphologie allongée de la MAE. L'action combinée de la marée et du vent de surface de Sud-Est (Assor 1987) entraîne une circulation d'eau en surface et au fond.

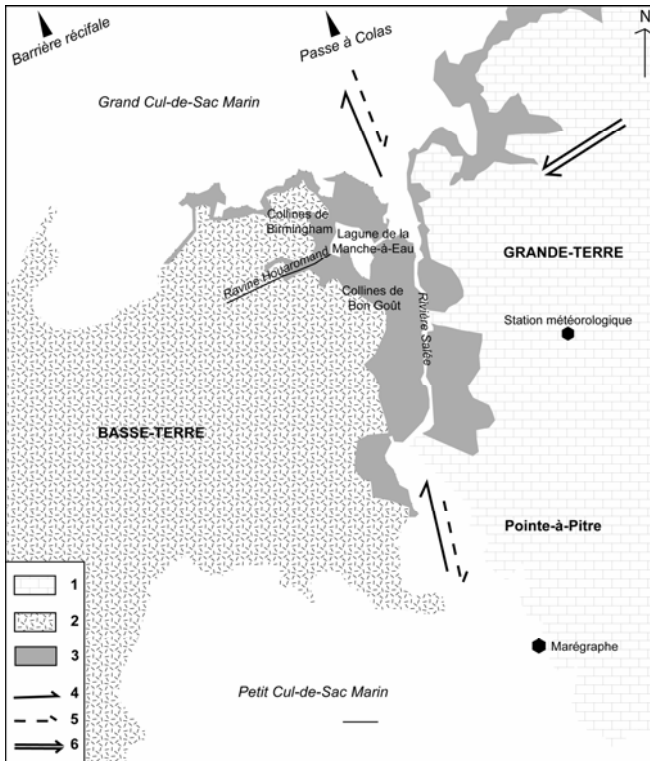


Figure 3. Localisation de la lagune de la Manche-à-Eau. 1 : Calcaire d'origine récifale de l'île de la Grande-Terre ; 2 : Sols volcaniques de l'île de la Basse-Terre ; 3 : Mangrove littorale ; 4 : Courant de marée montante ; 5 : Courant de marée descendante ; 6 : Direction générale des alizés.



Figure 4. Ravine Houaromand.

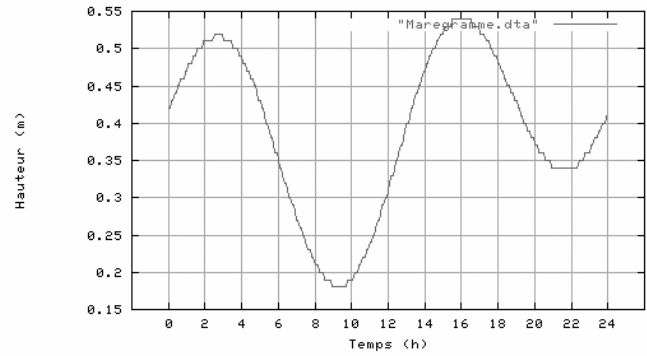


Figure 5. Marégramme à Pointe-à-Pitre du 16 avril 2007 (autorisation du SHOM).

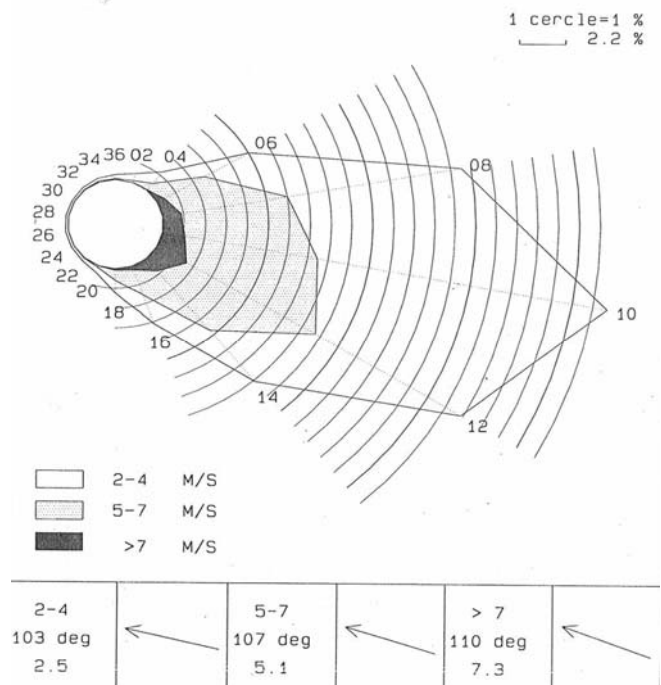


Figure 6. Rose des vents à la station météorologique de l'aéroport du Raizet (Pointe-à-Pitre) de 1981 à 2000 (C/

Évènements pluviométriques et phénomènes paroxysmiques— L'influence des alizés et le décalage de la Zone de Convergence InterTropicale (ZCIT) sont à l'origine de fortes précipitations avec des variations annuelles traduites par une saison sèche de janvier à mars: le carême, et une saison humide de juillet à octobre: l'hivernage. Cette alternance favorise l'altération du sol puis l'apparition du lessivage aboutissant au transport de sédiments fins dans la lagune après les épisodes de fortes pluies ou d'importantes marées. Deux saisons de transition sont caractérisées par des évènements pluviométriques moins marqués. La saison sèche, période anticyclonique, provoque un abaissement du niveau de la mer et une diminution des apports en eau douce car c'est une période de hautes pressions atmosphériques et inversement pour la saison

humide ou saison cyclonique. Cette dernière s'explique par une remontée de la ZCIT.

La Guadeloupe se situe directement sur la trajectoire des cyclones et des tempêtes tropicales. Ces derniers constituent un forçage naturel commandant des changements morphologiques plus marqués que lors des pluies périodiques. Le relief volcanique de la Basse-Terre est accusé. Il subsiste toutefois une frange littorale étroite où l'implantation de la mangrove est possible seulement sur quelques mètres de bordure, en raison du faible marnage. Parmi les quatre espèces de palétuviers présents en Guadeloupe: le palétuvier noir *Avicenia germinans*, blanc *Laguncularia racemosa*, gris *Conocarpus erectus* et rouge *Rhizophora mangle*. C'est ce dernier qui est prédominant sur le pourtour de la lagune. D'après Imbert (2002), ce type de végétation est fragile, notamment face aux phénomènes paroxysmiques de type cyclone qui affectent la lagune en détruisant périodiquement la mangrove. De plus, c'est le palétuvier rouge qui est l'espèce la plus sensible au fort vent puisqu'elle occupe la zone littorale de front, ce qui a été confirmé lors du passage de l'ouragan Hugo, en 1989 (Imbert, 2002).

Aspects Méthodologiques

Cartographie et échantillonnage — Le fond cartographique de la lagune est réalisé à partir du trait de côte observé sur la photographie aérienne de l'Institut Géographique National (IGN) datant de 2004, tracé à partir de la limite de colonisation des *Rhizophora mangle* vue par avion et géoréférencé dans un Système d'Information Géographique (SIG), le logiciel Mapinfo 7.5 (Crystal Reports®, Etats-Unis). Une fois la lagune cartographiée, des points d'échantillonnages peuvent être déterminés à partir d'un quadrillage de 90 mètres de côté, soit $0^{\circ} 0' 3''$. Cette distance, arbitrairement choisie, offre la possibilité de couvrir la lagune avec un nombre suffisant de points d'échantillonnages répartis de façon homogène, tout en tenant compte des temps d'intervention selon les contraintes liées au rythme des marées. Ainsi, dans la pratique, chaque campagne d'échantillonnage de l'ensemble de la lagune peut se dérouler sur une courte durée ne dépassant pas trois heures. On aboutit ainsi, à un total de 37 points numérotés de 1 à 37 (Figure 7).

Suivi morphologique, bathymétrie, courantométrie — Le suivi morphologique de la lagune, avant et après le passage de le cyclone Hugo, est possible en comparant visuellement les photographies de l'IGN en 1950, 1968 - 1969, 1984, 1999, 2004 et de la Société Cartographie Informatique Aérophoto Carib (SCIAC) pour 1995 et de (Google Earth®, Etats-Unis) pour la photographie de 2003. Les comparaisons des situations à chacune des dates données ci-dessus se font à partir de l'interprétation de ces photographies aériennes rectifiées géométriquement.

Le sondeur GPS MAP168 permet de géoréférencer des

données sur le terrain, comme un GPS classique et de connaître la topographie des fonds marins à 10 cm près avec une sonde bathymétrique. Une perche, graduée à la même précision que la sonde bathymétrique, permet également la mesure de la profondeur. Celle-ci est mesurée aux 37 points, sur la bordure de la lagune et sur des transects correspondant aux côtés et diagonales du quadrillage. Les mesures ont été prises à chaque variation de 10 cm de profondeur et tiennent compte des variations de la marée. Le but étant d'obtenir une carte bathymétrique précise, il faut considérer le décalage temporel et spatial, respectivement par rapport aux données marégraphiques de Pointe-à-Pitre (SHOM) et au zéro hydrographique. Pour évaluer ce décalage temporel de marée, il faut tenir compte des données obtenues par Assor (1987), lesquelles expriment un retard d'une heure à une heure trente au maximum. À morte-eau, le décalage considéré est d'une heure et à vive-eau, il se ramène à trente minutes. Le zéro topographique se situe à 15 cm au-dessus du zéro hydrographique. Cette différence de 15 cm correspond à la hauteur d'eau la plus faible à marée basse dans le Petit Cul-de-Sac Marin (SHOM). Une fois les différents décalages connus, toutes les mesures bathymétriques sont ramenées au zéro topographique puisque les profondeurs obtenues lors de plusieurs missions ne sont mesurées ni au même moment, ni à la même hauteur de marée.

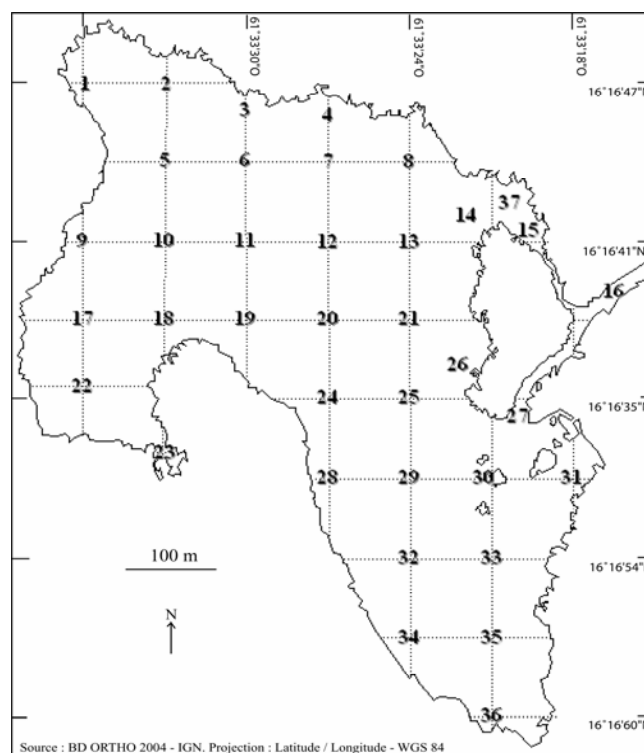


Figure 7. Répartition des 37 points d'échantillonnage dans la lagune de la Manche-à-Eau.

L'observation du sens et de l'orientation des courants, à chacun des 37 points, s'effectue au moment où les courants de marée sont les plus forts, c'est-à-dire au maximum de flot et de jusant (Vanne 1991). Les sens et orientations des courants de fond sont mesurés au maximum de jusant et de flot lors d'une marée descendante, le 12 avril 2007, d'une marée montante, le 16 avril 2007 et d'un cycle de marée entier, le 20 avril 2007. Ces jours correspondent à une marée de vive-eau, période durant laquelle les courants de marée sont les plus forts. La détermination du sens des courants à chaque point a été faite à l'aide de penons fixés au piquet correspondant. La mesure de l'orientation des courants est prise à la boussole. L'angle lu, à 10° près, correspond à l'orientation du penon. Ces sens et orientation de courants mesurés permettent d'établir une cartographie des courants de fond à chaque point.

Traitement des Données

Spatialisation — En vue de l'analyse diachronique, on dresse les cartes, dont les contours sont dessinés sous le logiciel Mapinfo, correspondant aux sept photographies aériennes de 1950 à 2004.

Pour spatialiser les mesures bathymétriques, il est nécessaire de les interpoler. Cela consiste à estimer la valeur d'attribut pour des sites non échantillonnés situés à l'intérieur des limites définies par les positions des sites échantillonnés, à l'aide du supplément Vertical Mapper de Mapinfo. Chaque méthode d'interpolation est simulée à partir des 37 points afin de sélectionner la plus convenable. Les résultats obtenus pour chacune des méthodes sont comparés avec ceux des autres points observés pour la validation de l'estimation calculée, la plus proche de nos observations en ces points. La méthode retenue est, celle des plus proches voisins (*natural neighbors*) qui représente le mieux la réalité, pour dresser la carte bathymétrique de cette étude. L'interpolation, ainsi faite, aboutit à une carte en isolignes (aussi isoplèthes ou isarithmes). La précision des données prises avec la sonde bathymétrique et la perche graduée est de 10 cm mais la représentation en isolignes sera à une précision à 50 cm près pour éliminer les artefacts graphiques.

À partir des données bathymétriques et sous le logiciel Surfer 7 (Golden®, Etats-Unis), on crée un Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui devient la représentation bathymétrique de référence de la MAE en trois dimensions pour calculer des volumes d'eau.

Volumes et renouvellement de l'eau — La contenance de la MAE à marée basse est estimée en prenant en compte la superficie et la profondeur moyenne de la lagune calculée à partir de toutes les bathymétries connues à l'exception de celles des bordures qui, de par leur faible valeur, sous-estimeraient le calcul de la moyenne. Le volume d'eau à marée basse est également calculé à partir du MNT qui

tient compte de la véritable topographie du fond lagunaire. Ceci permet une amélioration de la précision du résultat.

Pour calculer le taux de renouvellement de l'eau, il s'agit de déterminer le volume moyen d'eau entrant et sortant lors du flot et du jusant. La moyenne de marnage à marée montante et descendante durant la période d'étude, de janvier à juin 2007, est calculée à partir des données du SHOM. Elle est rapportée aux observations effectuées pour connaître plus précisément le cycle de marée dans la MAE. Ainsi, une estimation du taux moyen de renouvellement de l'eau est possible.

RÉSULTATS

Évolutions Morphologiques de 1950 à 2004

Les cartes morphologiques de la MAE (Figure 8) dessinées d'après les photographies aériennes datant de 1950, 1968 - 1969, 1984, 1995, 1999, 2003 et 2004, permettent de distinguer l'évolution morphologique de celle-ci durant ces cinq décennies. Les plus grandes longueurs (PGL) et plus grandes largeurs (PGL) de la lagune ne varient pas. La lagune mesure 970 m dans sa PGL et 620 m dans sa PGL, a une circonférence de 4661 m et une superficie de $281,7 \cdot 10^3 \text{ m}^2$. Les contours sont restés en place entre 1950 et 2004.

L'île, située à l'entrée de la lagune, est stabilisée de 1950 à 2004. Elle a une superficie de 155 m². Toutefois, les changements sont discernables par le nombre d'îlots présents à chacune des dates. Les véritables modifications sont visibles à l'entrée Sud au niveau du chenal principal avec en : 1950, deux îlots ; 1968 - 1969, cinq îlots ; 1984, deux îlots ; 1995, sept îlots ; 1999, six îlots ; 2003, six îlots et 2004, six îlots. L'évolution morphologique de la MAE de 1950 à 2004 (Figure 8) se caractérise par le rythme alterné d'agrégation et de désagrégation des îlots : 1950 à 1968-69, désagrégation des îlots ; 1968 - 1969 à 1984, agrégation des îlots ; 1984 à 1995, désagrégation des îlots ; 1995 à 1999, désagrégation des îlots et 1999 à 2004, stabilisation de la situation.

Bathymétrie et Circulation des Masses D'eau

Alternance du relief lagunaire — La profondeur a été relevée en 1437 points géographiquement référencés dans un SIG (Figure 9). Ces derniers correspondent à 1303 valeurs mesurées avec la sonde bathymétrique et 134 avec la perche graduée. Les points correspondent, à ceux des 37 points, à ceux situés sur des transects reliant les piquets entre eux (1136) et à ceux localisés sur le pourtour de la lagune (254).

L'interpolation de la bathymétrie aux 1437 points, aboutit à la création d'une carte en isolignes de 20 cm de pas montrant deux grands secteurs à hauts-fonds au Nord-Ouest et au Sud, et trois dépressions de profondeur supérieure à 2 m. La profondeur maximale (3 m) se trouve dans la dépression Ouest. En 1987, Assor observait 2,8 m

en plusieurs endroits non localisés. La profondeur moyenne (1,5 m) est identique dans les deux études. Les principales dépressions au nombre de quatre sont toujours présentes mais l'une, située au Nord, s'est fragmentée (Figure 10). Leur profondeur maximale a diminué de l'ordre de 50 cm. Elles sont passées de 2,5 à 2 m pour les

dépressions Est, Ouest et Sud. Le nombre des hauts-fonds a augmenté de deux à trois, tandis que leur profondeur moyenne a diminué de l'ordre de 1,5 à 1 m. Dans le chenal principal, la profondeur maximale a varié de 2,75 à 3 m à la confluence des deux chenaux.

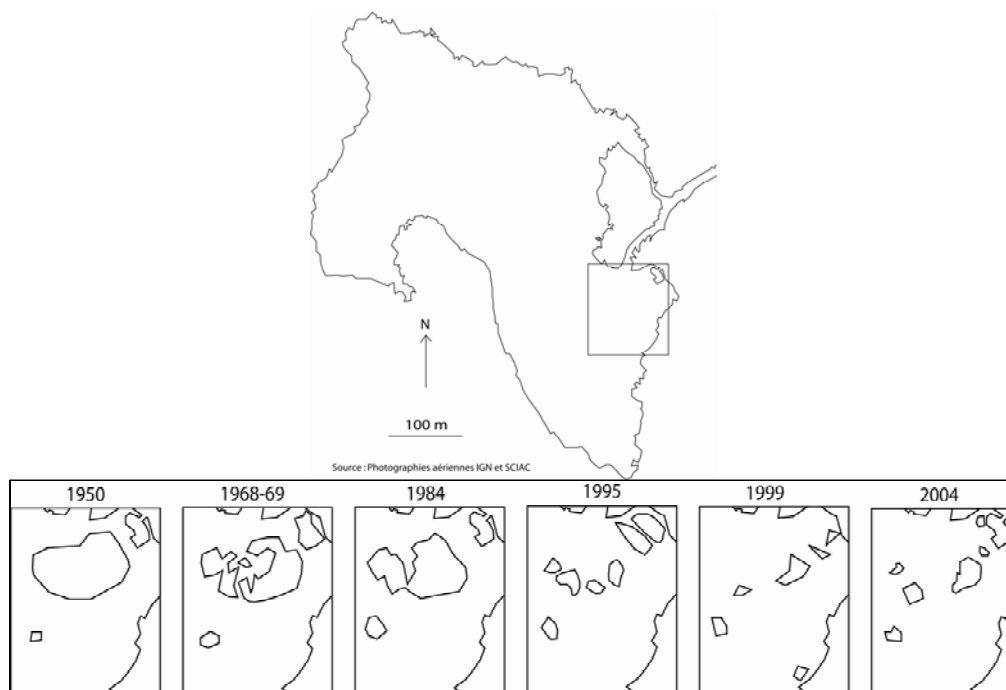


Figure 8. Évolution morphologique des îlots entre 1950 et 2004.

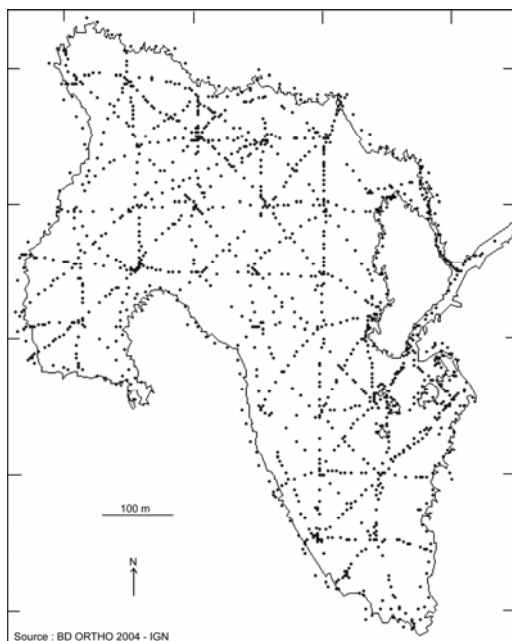


Figure 9. Localisation des points bathymétriques connus dans la lagune de la Manche-à-Eau.

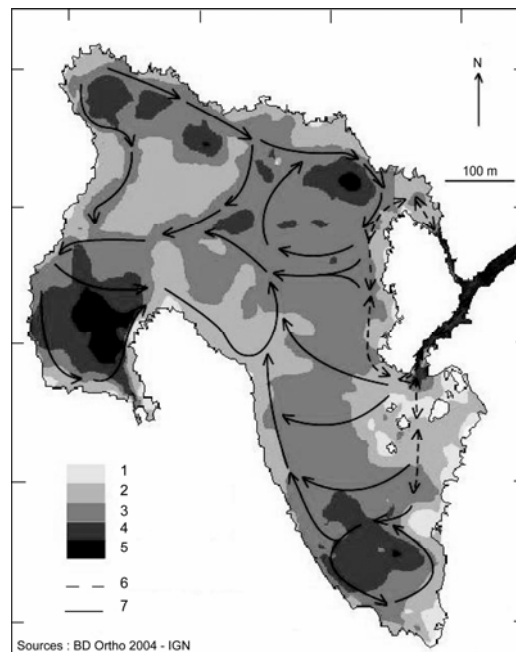


Figure 10. Courantologie et bathymétrie de la lagune de la Manche-à-Eau en 2007. 1 : 0 à 0,5 m ; 2 : 0,6 à 1 m ; 3 : 1,1 à 1,5 m ; 4 : 1,6 à 2 m ; 5 : < 2 m ; 6 : courants de marée ; 7 : courants de la circulation générale.

Courants et volumes d'eau — Les mesures de sens et d'orientation des courants ont été effectuées à des moments précis du cycle de marée, les maximums de flot et de jusant en tenant compte du décalage temporel pour ajuster les temps de mesures. Les périodes de mesures correspondent au flot, au jusant, et à un cycle de marée, flot et jusant.

La surface totale de l'eau de la MAE calculée est de 265 140 m². La profondeur moyenne, excepté celles des bordures, est de 1,2 m. L'estimation de la contenance en eau est donc de 318 170 m³. La surface totale de la lagune et le volume contenu entre le MNT de référence et le zéro topographique calculés, sont respectivement de 260 400 m² et de 316 300 m³. En période normale, l'eau est renouvelée pendant les cycles de marée. Les observations et mesures sur le marnage ont été effectuées lors d'une marée de vive-eau, le 18 mai 2007 et une marée de morte-eau, le 24 mai 2007 en marquant le niveau de l'eau sur un piquet. Le premier jour, le marnage mesuré est de 38 cm dans le chenal principal pour 40 cm prévus par le SHOM et le deuxième jour, il est respectivement de 8 et 10 cm. Le marnage moyen de janvier à juin 2007 est d'environ 0,18 m. Les volumes moyens d'eau entrants et sortants calculés avec Mapinfo et avec Surfer sont respectivement de 47 725 m³ et 46 872 m³. Le taux de renouvellement moyen de l'eau suivant le logiciel utilisé respectivement de 15% et 14,8%. Cette dernière valeur est le résultat retenu puisqu'elle est plus précise et issue du MNT et non pas de la moyenne calculée de toutes les profondeurs relevées. Lors des événements majeurs, une certaine perméabilité de la forêt de mangrove permet le passage des hautes eaux et des échanges difficilement chiffrables.

DISCUSSION

Morphologie

Les palétuviers rouges, *Rhizophora mangle*, entourant la MAE se développent sur un sol tourbeux, constitué à plus de 50 % par de la matière organique plus ou moins décomposée. L'île, à l'entrée de la lagune, est constituée de tourbes racinaires. L'aération du sol n'est pas suffisante pour permettre une bonne décomposition de ces débris végétaux. La matière organique produite par la végétation peut s'accumuler. Les tourbes racinaires très fibreuses sont produites au pied des palétuviers rouges et constituent un substrat meuble (ONF, 1988) et stable. Les contours et l'île constituée de 155,1 m² de végétation sont moins sensibles aux cyclones car une forte densité d'arbres entraîne une protection mutuelle (Figure 11). Il s'agit d'un « effet bouclier » (Imbert 2002).

Si la situation de l'allure générale des contours et de l'île, décrite précédemment, n'a pas changé même sans image de situation immédiate post-cyclonique, la modification observée de la morphologie des îlots serait due aux événements climatiques majeurs qui sont survenus depuis 50 ans. De tels changements ne sont possibles, dans ce type de milieu lagunaire, qu'en situation paroxysmique

(Imbert 2002). Deux cyclones ont touché la Guadeloupe durant la période étudiée en 1966 (Inès) et 1989 (Hugo). D'après les trajectoires et les données météorologiques, la MAE a bien été affectée par ces deux cyclones et notamment en se trouvant sur la trajectoire de l'œil du cyclone.

Sans observation ou sans rapport sur la situation ayant prévalu aussitôt après chacun de ces événements météorologiques, il semble pourtant que l'alternance agrégation / désagrégation observée avec l'analyse diachronique des îlots de mangrove (Figure 12), qui ne bénéficient d'aucun « effet bouclier », se corrèle pourtant parfaitement avec le passage des cyclones sur la Guadeloupe ; elle est en fait à relier à la destruction et à la recolonisation de la mangrove. La destruction de la végétation peut s'expliquer par différents phénomènes liés directement aux cyclones. Ceux-ci provoquent des vents violents et sont à l'origine d'importantes précipitations, d'une houle et d'une marée cycloniques. Le vent est un facteur prédominant dans la destruction de la mangrove. Le *Rhizophora mangle* est le palétuvier le plus sensible au vent (Imbert 2002) et donc le plus fragile lors du passage d'un cyclone. Les lames de tempête (houle cyclonique) sont caractérisées par une surélévation anormale du niveau de la mer produite par une convergence des vents lors du passage d'une dépression atmosphérique. L'onde ainsi formée est poussée vers la côte par le vent. La colonne d'eau a également tendance à gonfler sous l'effet d'une diminution des pressions locales. Cette marée cyclonique dépasse de plusieurs mètres le niveau normal de la marée. Les côtes basses sont alors submergées et la mangrove inondée (Vanney 1991). D'après Imbert (2002), la biomasse de *Rhizophora mangle* a été la plus détruite (86%) par Hugo, et les cyclones sont le principal facteur régissant le développement des mangroves. Les événements majeurs désagrègent les îlots dans les lagunes à mangrove. Durant la période inter cyclonique post-Hugo, les îlots en se développant tendent à s'agréger : les palétuviers rouges recolonisent particulièrement ces lieux. Toutefois, les deux tempêtes tropicales, Marilyn en 1995 et Lenny en 1999, ne semblent pas avoir eu une influence suffisante pour détruire les îlots même si ces événements peuvent perturber le milieu et ainsi retarder la recolonisation des îlots par les *Rhizophora mangle*. La recolonisation du *Rhizophora mangle* en période post-cyclonique n'est pas possible si les plantules des palétuviers sont détruites. Quand elles sont restées intactes, la régénération est plus difficile car le recrutement des plantules, issues des individus rescapés, demande plus de temps pour reconstituer la surface perdue des îlots malgré l'apport constant de sédiments via la Rivière Salée. Après l'ouragan Hugo, la mangrove en Guadeloupe s'est reconstituée aux deux tiers en huit ans. Le temps de réapparition d'un ouragan sur la Guadeloupe est donné pour 10 - 12 ans (Imbert 2002). Cependant, celui-ci est supérieur au temps de régénération de la mangrove sur ce même site, de 20 à 30 ans. Ceci explique l'état actuel de la mangrove avec une hauteur et une extension limitées.

Dans la MAE, si les plantules ne peuvent pas se fixer au pied de leur reproducteur, elles sont obligées de migrer par flottaison jusqu'à leur fixation sur un fond de moins de 20 cm de profondeur. De plus, les fonds vaseux et sableux (Assor 1987), auparavant favorables à l'implantation, sont susceptibles de perdre leur potentialité d'accueil et d'empêcher la fixation des plantules. Dans les zones de pêche à la palourde, le remaniement quotidien par piétinement et la remobilisation des sédiments du fond empêchent l'accumulation à faible profondeur (1,5 m maximum) et donc la constitution d'un haut-fond susceptible d'accueillir les plantules.

Bathymétrie

La petite différence de deux cm observée entre nos mesures et les prévisions du SHOM est due à la précision des prévisions et/ou des mesures. Le SHOM donne le marnage à cinq cm près alors que les mesures effectuées le sont au cm près. L'ajustement des niveaux lors des étales explique que les marnages observés dans le chenal et la lagune soient les mêmes que ceux annoncés par le SHOM.



Figure 11. Racines de palétuviers bordant le rivage lagunaire en 2007.



Figure 12. Ilots en 2007.

Les différences observées entre les deux études cartographiques de 1987 (Assor 1987) et 2007 peuvent s'expliquer par l'une ou les deux hypothèses suivantes : soit les mesures bathymétriques de l'étude de 1987 ne sont pas ramenées au niveau de la marée basse, soit la lagune connaît un processus de comblement avec une diminution de la taille des dépressions, une augmentation de la superficie des hauts-fonds et une dynamique de creusement des chenaux. Le passage d'un ouragan au-dessus de la MAE provoquerait un effet de pompe avec l'apparition, dans la Rivière Salée d'une dépression entre les Grand et Petit Cul-de-Sac Marin, qui vidangerait la lagune et lessiverait les canaux de leurs sédiments du fait de la vitesse subitement accrue du courant entrant ou sortant. Les deux principaux processus sédimentaires, comblement et creusement, sont présents à différents endroits de la lagune au cours des trois dernières décennies. Ceci permet de comprendre les modifications bathymétriques entre 1987 et 2007, en tenant compte de la cinétique des masses d'eau.

Circulation des Eaux

Les mouvements actuels de masse d'eau s'expliquent par la juxtaposition de plusieurs types de circulations : les courants de surface, les courants de marée et les courants internes de fond qui sont représentés sur la carte courantométrique de 2007 (Figure 10). Pour établir la carte courantométrique de la lagune en 1987, Assor a réutilisé la méthodologie de l'étude de la lagune de Belle-Plaine (Assor et Julius 1983). Elle est différente de la présente étude puisque les courants ont été mesurés en plusieurs points à l'aide de perches et de bouchons lestés en surface et d'une drogue lestée en fonction de la tranche d'eau observée. Il distingue deux types de courants dont l'allure générale n'est pas modifiée entre 1987 et 2007 : les courants de marée dans le chenal et sur le pourtour de l'île, et les courants de surface influant sur la quasi-totalité de la lagune. Toutefois, l'auteur parle de cellules tourbillonnaires dans l'ensemble de la lagune. Ce type de courants n'a pas été observé lors de la campagne de mesures de cette étude. Comme Assor n'a pas envisagé la mesure des courants de fond, il n'est pas possible de comparer précisément la courantométrie de 1987 avec celle de la présente étude.

Les courants de surface sont soumis au vent dominant de secteur Est. La masse d'eau est poussée par ce vent, mais suit le « couloir » lagunaire, orienté Sud-Sud-Est vers Nord-Nord-Ouest (Assor 1987). Toutefois, toute la lagune n'est pas influencée par le vent puisque certaines zones se retrouvent sous le vent (Figure 10) : aux embouchures des chenaux, à proximité des îlots, au haut-fond situé au centre de la lagune et aux extrêmes Sud et Ouest. Le reste est largement soumis au vent de surface. Les masses d'eau affluent obligatoirement au Nord de la lagune ce qui explique le phénomène de descente des eaux de surface vers le fond, au niveau de la bordure Nord.

L'influence de la marée se limite aux pourtours de l'île et des îlots, aux entrées principales et secondaires. Les courants de marée de surface et de fond, dans les chenaux et sur le pourtour de l'île, engendrent des mouvements de va-et-vient, issus des courants de flot et de jusant. Assor (1987) n'explique pas seulement ce mouvement de va-et-vient dans le chenal principal par le caractère diurne et semi-diurne de la marée, mais aussi par des mouvements périodiques probablement dus au vent, observés encore actuellement. Ces deux facteurs couplés, le vent et la marée, créent des mouvements de va-et-vient dans les chenaux.

Les courants internes de fond sont le résultat de la circulation des courants superficiels et de l'allure bathymétrique de la lagune avec l'alternance de hauts-fonds et de dépressions à proximité d'un plateau lagunaire. Les dépressions et les hauts-fonds canalisent les courants de fond.

Les trois types de courants déterminent les dynamiques sédimentaires d'accumulation et de creusement. Les sédiments se déposent à l'entrée et à la sortie des chenaux et sur plusieurs zones situées à l'Ouest de l'île, au Sud-Est, au centre de la lagune et à proximité du point 22 (Figure 7). Cette dynamique de sédimentation serait respectivement due au ralentissement de la vitesse des courants et à la baisse de compétence de la masse d'eau, à la non-influence du vent de surface ou aux deux facteurs conjugués. Les deux chenaux, le principal et le secondaire, se creuseraient consécutivement à la canalisation de la force des courants qui entraînerait les sédiments dans la circulation générale intérieure de la lagune. La présence du plateau lagunaire de 0,5 m de profondeur serait le résultat de la combinaison des processus de sédimentation et de creusement. L'individualisation de la zone dépressionnaire observée au Nord serait la conséquence d'un phénomène de descente des eaux de surface, poussées par les vents, qui se distribuent ensuite selon le parcours, soit en empruntant le voisinage des berges, soit en tournant autour des dépressions observées créant ainsi des courants circulaires. Ces derniers correspondraient-ils aux courants tourbillonnaires d'Assor (1987) ?

CONCLUSION

À l'issue de cette étude, les résultats originaux et les interprétations, qui en découlent, apportent des connaissances nouvelles sur les aspects de l'évolution géomorphologique, de la bathymétrie et de la circulation des eaux dans la lagune de la Manche-à-Eau.

Le suivi morphologique a été rendu possible avec la lecture de sept photographies aériennes de 1950 à 2004. Les contours de la lagune et de l'île sont restés stables, alors que les îlots se sont agrégés et désagrégés selon le rythme de passage des cyclones sur la Guadeloupe. La stabilité de la mangrove est due à la présence d'un sol de type tourbe racinaire qui maintient les *Rhizophora mangle* en place. La mangrove des contours et de l'île ne se

modifie pas, car les nombreux palétuviers se protègent les uns des autres lors de forts vents à cause de l'« effet bouclier ». De par leur superficie, les îlots ne bénéficient pas de cet effet, c'est pourquoi ils se désagrègent lors du passage des ouragans. L'agrégation des îlots s'explique par la sédimentation et la recolonisation des hauts-fonds par les plantules de palétuviers rouges lors des calmes intercycloniques. Les événements majeurs modifient périodiquement la végétation à mangrove.

Les 37 points déterminés suivant un quadrillage de 90 m de côté, ont permis les mesures bathymétriques et courantométriques. Les mesures de topographie du fond lagunaire aboutissent à une carte bathymétrique, d'après une interpolation des données de profondeur. La profondeur moyenne de la MAE est de 1,5 m et la maximale de 3 m dans la dépression Ouest. D'après la comparaison des situations bathymétriques de 1987 et 2007, la lagune connaît un processus normal de comblement avec, une diminution de l'extension des quatre dépressions, un élargissement des quatre zones à plus faibles profondeurs et un creusement des deux chenaux.

Les calculs de la contenance (316 300 m³ à marée basse) et du volume d'eau renouvelé à chaque marée (46 872 m³ à partir du marnage moyen de 18 cm, établi de janvier à juin 2007) a permis de déterminer le taux de renouvellement de l'eau à chaque marée dans la lagune qui est donc de 14,8%. Ce taux élevé de renouvellement de l'eau d'origine marine laisse penser qu'il s'agit d'un écosystème peu confiné. La zonation biologique effectuée par Bouchereau *et al.* (2008) selon l'échelle de confinement (Guélorget et Perthuisot, 1983) est à réviser en utilisant la carte de la circulation générale des courants puisque les masses d'eau s'enrichissent à chaque marée en oligo-éléments divers extérieurs.

Les résultats de cette étude constituent un état des lieux sur la localisation du trait de côte de la lagune à mangrove de la Manche-à-Eau à une époque où il est question, avec le changement climatique global, d'augmentation du niveau de la mer avec des risques accrus d'inondations dans les zones de faibles altitudes et de multiplication du nombre de cyclones dans les zones tropicales.

LITERATURE CITED

- Assor, R. 1987. Impacts de la marée et du vent sur la sédimentation dans la lagune de la Manche-à-Eau (Guadeloupe). *Bulletin de l'Institut Géologique du Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux **42**:53-66.
- Assor R. et C. Julius. 1983. Caractérisations sédimentologique et micropaléontologique de la lagune de Belle-Plaine (mangrove de Guadeloupe). *Extrait du Bulletin de la Société géologique de France*. **T. XXV**, 6:889-902.
- Bouchereau, J.-L., P. de T. Chaves, et D. Monti. 2008. Factors Structuring the Ichthyofauna Assemblage in a Mangrove Lagoon (Guadeloupe, French West Indies), *Journal of Coastal Research*, **24** (4):969-982.
- Camprasse, P. 1972. *Géomorphologie littorale en Grande-Terre (la Guadeloupe)*. Mémoire Dactylographié, 101 pp. (bibliothèque du Ceget, Bordeaux).

- Guelorget, O. et J.-P. Perthuisot. 1983. *Le domaine paralique : expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement*. Travaux du laboratoire de géologie, Presses de l'École Normale Sup., rue d'Ulm (Paris), **16**, 136 pp.
- Guilcher, A. et A. Marec. 1978. Le récif-barrière et le lagon du Grand Cul-de-Sac Marin (Guadeloupe, Antilles françaises). Géomorphologie et sédiments. *Oceanologica Acta* **1**(4):435-444.
- Imbert, D. 2002. Impact des ouragans sur la structure et la dynamique forestières dans les mangroves des Antilles. *Bois et forêts des Tropiques* **273**(3):69-78.
- Météo France. 2003. *Bulletin climatologique annuel*. Service Régional, Guadeloupe 26 pp.
- ONF. 1988. *Les milieux humides du littoral guadeloupéen*. Direction régionale, Guadeloupe. 61 pp.
- Vanne, J.-R. 1991. Introduction à la géographie de l'océan, une vue nouvelle du Monde. *Oceanis* **17**(1-2):1-212.

CRÉDIT PHOTOS

IGN (1950) - n°32; IGN (1968-69) - n°265; IGN (1984); SCIAM (1995); IGN (1999) - n°193; Google Earth (2003); IGN (2004) ; Grand Cul-de-Sac Marin, de la Baie du Lamentin à Port Louis, Carte Marine Officielle, SHOM, 1/20 000, 2006 ; Mangroves et autres formations marécageuses littorales en Guadeloupe. Gîtes larvaires de moustiques, Carte des indicateurs phyto-écologiques, 1/50 000, 1994.