



Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 336 (2004) 1501–1510



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Géosciences de surface (Paléoclimatologie)

Paléoclimat des Petites Antilles depuis 4000 ans BP : l'enregistrement de la lagune de Grand-Case à Saint-Martin

Pascal Bertran^{a,*}, Dominique Bonnissent^b, Daniel Imbert^c, Pierre Lozouet^d,
Nathalie Serrand^e, Christian Stouvenot^f

^a Institut de préhistoire et de géologie du Quaternaire, INRAP, bâtiment de géologie, avenue des Facultés, 33405 Talence, France

^b INRAP, rue des Gommiers-Blancs, Parnasse, 97120 Saint-Claude, Guadeloupe, France

^c Laboratoire de biologie et de physiologie végétales, facultés des sciences, BP 592, 97159 Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, France

^d Laboratoire de biologie marine et des invertébrés marins, Muséum national d'histoire naturelle, 55, rue Buffon, 75005 Paris, France

^e Département d'écologie et de gestion de la biodiversité, Muséum national d'histoire naturelle/CNRS, 55, rue Buffon, 75005 Paris, France

^f Service régional de l'archéologie, Drac Guadeloupe, 22, rue Perrinon, 97100 Basse-Terre, Guadeloupe, France

Reçu le 19 janvier 2004 ; accepté après révision le 27 septembre 2004

Disponible sur Internet le 5 novembre 2004

Présenté par Michel Petit

Résumé

Une séquence de vases lagunaires de l'étang de Grand-Case, à Saint-Martin (Petites Antilles), couvrant les quatre derniers millénaires, est analysée. Trois périodes climatiques et sédimentaires peuvent être distinguées : (1) une période globalement sèche (4200–2300 BP), caractérisée par le dépôt de vases carbonatées, de gypse et de lits sableux déposés par des cyclones ; (2) une période humide (2300–1150 BP), où dominent des vases organiques ; (3) une période récente (1150 BP jusqu'au présent), plus complexe et marquée par les activités humaines. Ces différentes phases trouvent leur correspondance dans les enregistrements livrés par d'autres lacs de l'aire Antilles–Mésoamérique. Les phénomènes climatiques impliqués, d'une part, dans les variations de fréquence des cyclones et, d'autre part, dans les variations de la pluviosité sur les Petites Antilles sont liés au déplacement de la zone de convergence intertropicale. Ces modifications climatiques pourraient constituer l'un des éléments d'explication des changements observés dans le peuplement de l'île de Saint-Martin. *Pour citer cet article : P. Bertran et al., C. R. Geoscience 336 (2004).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Caribbean palaeoclimates since 4000 BP: the Grand-Case Lake record at Saint Martin. A 2.5-m-thick sequence of lake sediments at the Étang de Grand-Case, Saint Martin (French West Indies) is studied here. Significant hydrological budget fluctuations allows distinction of three main climatic periods: (1) an overall dry period (4200 BP–2300 BP), characterised

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : pascalbertran@wanadoo.fr (P. Bertran).

by carbonated mud, gypsum and storm sand layers; (2) a wet phase (2300 BP–1150 BP) dominated by organic mud; and (3) a more complex phase (1150 BP to present), with detrital inputs due to human activities. Comparison with other regional high-resolution records shows that similar climate modifications typify the whole Mesoamerican and Caribbean area. The climatic phenomena that are implicated in the variations of both precipitation and hurricane frequency over the Lesser Antilles are due to the latitudinal displacement of the inter-tropical convergence zone. These data give new support to the hypothesis of the existence of a correlation between peopling phases and climate variations in the Caribbean as previously proposed by some archaeologists. **To cite this article: P. Bertran et al., C. R. Geoscience 336 (2004).**

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Petites Antilles ; île de Saint-Martin ; paléoclimat holocène ; sédimentation lagunaire ; cyclones

Keywords: Lesser Antilles; Saint Martin Island; Holocene climate; lake sedimentation; hurricanes

Abridged English version

1. Introduction

Archaeological investigations show that the Lesser Antilles have witnessed different populating phases since ca 4500 BP from the neighbouring American continent. It has been recently suggested that climate modifications and particularly severe droughts might have played a major role in triggering migrations of the Amerindian farmers throughout the Caribbean [4,10]. However, validation of this hypothesis remains difficult, since regional data on palaeoenvironments are still lacking. We present here the ~4000-year record of the Étang de Grand-Case, a shallow littoral lake at Saint Martin (French West Indies, 18°5'N/63°5'W) (Fig. 1), that may help filling in this gap.

2. Physical setting

The Grand-Case Lake (46.7 ha), located at the outlet of one of the largest watersheds of Saint Martin (508 ha), is isolated from the Caribbean Sea by a 250-m-wide coastal sand barrier. The climate is characterised by high mean annual air temperature (27.3 °C) with few seasonal variations (less than 4 °C). Mean precipitation reaches 1160 °C mm and is unequally distributed over the year, with a dry season extending from January to July. The Étang de Grand-Case is a shallow (~1 m) warm polymictic lake [14]; lake level fluctuations do not exceed 0.5 m at present, because of periodic cleaning of the pass, but were obviously more important in the past. As for other shallow saline tropical lakes [27], chemical stratification combined with

intense microbiological activity allows anoxic conditions to prevail at the lake bottom. This limits bioturbation and favours detailed preservation of sedimentary archives.

3. Stratigraphy of the lake infilling

The following lithological units can be distinguished, from top to bottom:

- A: 0 to 2.6 m, lacustrine, black to grey mud alternating with sand and gypsum layers;
- B: 2.6 to 3.8 m, green beach clayey sand with mollusc shells; these are mainly *Anomalocardia brasiliiana* and *Batillaria minima*, i.e. polyhaline to hypersaline species [2,21];
- C: 3.8 to 7.0 m, alluvial sand and gravel that have been deposited before the postglacial sea-level rise;
- D: 7.0 to 15.0, coarse-grained sandy gravel corresponding either to alluvial deposits or to the weathered granodioritic substrate.

Unit A is composed of five main facies types (depths in Fig. 2 are given from the core 4, Fig. 1):

- VO: black, poorly laminated and pyrite-rich organic mud (Fig. 3); the mean CaCO₃ content reaches 26%, while the total organic carbon content (TOC) is 3.2%; this facies implies that anoxic conditions occurred at the lake bottom almost all the year long, in connection with reduced periods of water mixing. Density stratification due to deep saline water, which limits convective mixing of the lake, together with high oxygen consumption by bacterial decomposition allow anoxia to be

maintained, even when the water depth does not exceed 2–3 m [27];

- VC: grey, ostracod-rich pelletoidal mud. The mean CaCO_3 content is 40% and the TOC content is 2.5%. Fruits of *Ruppia maritima*, a phanerogam that typifies littoral lakes undergoing strong salinity fluctuations, are abundant. This facies is unevenly distributed throughout the core and prevails both in the lower (160–250 cm) and the upper part (40–90 cm). The burrows that can be seen on the radiographs and the presence of *Ruppia* suppose prolonged periods of oxygen supply at the lake bottom due to lack of water stratification. According to [23,26,27], this should be associated with pluridecadal low lake levels. Chemocline suppression together with mixing of superficial and deep, nutrient-rich water during dry events favour high phytoplanktonic production and carbonate precipitation [11,23];
- G: gypsum sand. Millimetric to centimetric layers of lens-shaped gypsum crystals occur mainly between 205 and 250 cm. They formed by precipitation from brines or as a consequence of interstitial water concentration within the upper centimetres of the deposits during emersion phases [19,25];
- S: sandy layers, sometimes with an erosive base and a normal grading, are interstratified within the mud. They are composed both of rounded marine limestone fragments and slope-derived minerals. They reflect coarse-grained inputs in the lake triggered by hurricanes and linked with (1) washover currents due to storm waves [7,22], and (2) soil sliding on the steep surrounding slopes [3,15]. Comparison with the recent meteorological data, that indicate 17 hurricane landfalls for the last 100 years at Saint Martin, and the core where only 21 events are recorded, suggests that the sand layers result only from high magnitude hurricanes. The thick sand layer at 21–35 cm corresponds to anthropogenic deposits associated with salt exploitation during the 19 and 20th centuries [1];
- VS: grey sandy mud. Layered ostracod-rich sandy mud occurs between 61 and 83 cm. It results from sandy overland flow inputs within the lake deposits and indicate progradation of the shoreline facies, possibly due to intense soil erosion on the watershed.

4. Climatic record and chronology

The ^{14}C dates on wood fragments and fruits of *Ruppia maritima* show that the sedimentation rate remained nearly constant throughout the sequence, i.e. 0.46 mm yr^{-1} (calibrated radiocarbon years). The age of the main sedimentary events has been estimated by linear interpolation from the available ^{14}C dates. Three samples have been also measured for ^{210}Pb (0–1, 2–3 and 7–8 cm). Excess ^{210}Pb activity ranges between 24 and 19 Bq kg^{-1} for the deepest sample, indicating that deposition has taken place within the last century. Three main periods can be distinguished since $4280 \pm 40 \text{ BP}$:

- phase C (258 to 157 cm), characterised by carbonated mud, gypsum and several sandy storm layers. It is interpreted as a dry phase connected to high hurricane frequency and/or magnitude. Intercalation of thin black organic mud layers, which testify to deeper water, suggests significant pluridecadal fluctuations of the hydrological budget. Estimated ages for this phase range from 4200 to 2310 BP;
- phase B (157 to 83 cm), dominated by organic mud deposition; it corresponds to a wet period associated with a decrease in hurricane frequency and/or magnitude; ages are between 2310 and 1150 BP;
- phase A (83 to 0 cm), complex and dominated by carbonated mud and sandy mud deposition; ages are between 1150 BP and the present.

5. Comparison with other regional climatic records

High-resolution climatic records from Mesoamerica and the Caribbean enable the following conclusions to be drawn:

- the Holocene climate is characterised by significant variations in precipitation, with a $\sim 200\text{-yr}$ periodicity [5,20]. This should be due to fluctuations in solar activity and the associated modification of the global atmospheric circulation [24]. At Grand-Case, the alternation of black organic and grey carbonated layers may reflect such fluctuations;
- plurimillennial drought periods can also be distinguished [5,8,9,18]; an opposite climatic trend

seems to appear between the Yucatan and Saint Martin on the one hand, and the northern Caribbean on the other hand. At Lake Miragoane, Haiti, the interval 4000–3300/3200 BP is characterised by rainfall deficit, whereas high-moisture conditions typify the region of Punta Laguna, Mexico, and Saint Martin. A reverse situation is observed for the interval 3300/3200 BP to 950/800 BP;

- hurricane landfall frequency is not constant along the Holocene for a given point of the Gulf of Mexico and the Caribbean. At Saint Martin, high-magnitude hurricane landfalls are recorded during the period 4000–2300 BP, whereas none are found on the northern coast of the Gulf [16,17]. The following period witnesses a reverse trend. The climatic phenomena that are implicated in the variations of hurricane frequency and/or magnitude, and precipitation over the Lesser Antilles are due to the latitudinal displacement of the inter-tropical convergence zone (ITCZ) [17]. Global climate cooling generates a southward displacement of the ITCZ and a consecutive decrease in precipitation over the Lesser Antilles, while hurricanes tracks are deflected towards the southern Caribbean.

6. Conclusions

The lacustrine record of the Étang de Grand-Case at Saint Martin shows significant hydrological budget fluctuations that allow depicting the main climatic modifications during the last four millennia in the Lesser Antilles. These data give new support to the hypothesis of correlation between peopling phases and climate in the Caribbean. This is particularly suggested by the similarity between the dates of the Saladoid occupation of the island and those of the wet phase of the first millennium AD (Fig. 5).

1. Introduction

Depuis près de 4500 ans, les Petites Antilles ont connu différentes phases de peuplement, qui ont été relativement bien documentées par l'archéologie au cours des dernières décennies. Comme pour la Mésoamérique [5,20], il a été suggéré que les modifications climatiques et, notamment, certaines crises de sécheresse aient pu servir de moteur aux mouvements

des populations d'horticulteurs insulaires [4,10]. La validation de cette hypothèse se heurte néanmoins à la quasi-absence de données paléoenvironnementales. De manière à combler cette lacune, un programme collectif de recherche a été mis en œuvre sur l'île de Saint-Martin (18°5'N/63°5'W). Les milieux qui sont apparus comme les plus favorables à l'obtention d'un enregistrement continu couvrant l'Holocène récent sont les lagunes côtières, qui sont le siège d'une sédimentation organique lente en milieu confiné.

2. L'étang de Grand-Case : cadre physique

L'étang de Grand-Case, d'une superficie de 46,7 ha (Fig. 1), est situé à l'exutoire de l'un des plus grands bassins versants de l'île (508 ha). Il forme une lagune isolée de la mer, dont le marnage ne dépasse pas 40 cm, par un cordon sableux littoral d'environ 250 m de largeur. Les données archéologiques indiquent que la fermeture de la lagune était déjà largement ache-

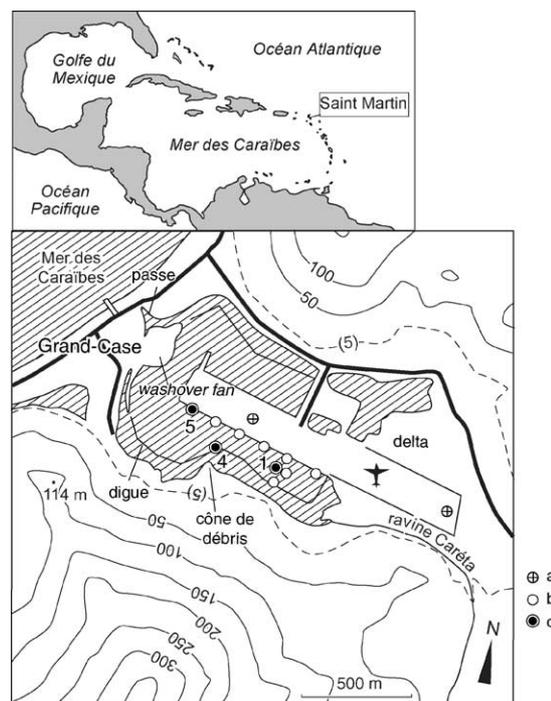


Fig. 1. Topographie de l'étang de Grand-Case (IGN, 1954) : (a) carottage BRGM, (b) pénétromètre dynamique, (c) carottier russe.

Fig. 1. Topography of the Étang de Grand-Case (IGN, 1954): (a) BRGM cores, (b) penetrometer, (c) Russian corer.

vée pendant la période post-Saladoïde, soit vers 1000 BP. Le substratum est principalement constitué par des granodiorites et des formations volcano-sédimentaires

éocènes [6]. Ce bassin est drainé par un torrent, la ravine Caréta, qui a construit un delta dans la partie est de la lagune. Le climat est caractérisé par des températures élevées (moyenne sur les 13 dernières années : 27,3 °C), avec de faibles variations à l'échelle de l'année (< 4 °C). Les précipitations atteignent 1160 mm et se répartissent inégalement sur l'année, avec une saison sèche relativement bien marquée de janvier à juillet.

La lagune est caractérisée par une salinité variable et une profondeur faible (~ 1 m). Celle-ci subit des fluctuations rapides, dont l'amplitude, de l'ordre de 0,5 m, est actuellement limitée par le curage régulier de la passe artificielle, qui a tendance à se fermer naturellement. L'assèchement partiel du tiers oriental de la lagune pendant la saison sèche permettait aux habitants de récolter du sel de manière occasionnelle dès le XVIII^e siècle [1]. Les fluctuations de la hauteur d'eau ont, de toute évidence, été plus importantes dans le passé. La profondeur de la lagune n'a cependant jamais dépassé 4 à 5 m et son régime est probablement toujours resté polymictique [14]. Cependant, comme pour de nombreux autres lacs salés tropicaux [27], la présence d'une stratification chimique combinée à une activité microbiologique intense favorise le maintien de conditions anoxiques sur le fond et limite la bioturbation. De telles conditions sont donc très favorables à un enregistrement détaillé des événements passés dans les sédiments [13].

3. Stratigraphie

La succession des dépôts dans la lagune a été reconnue grâce à une série de sondages carottés et pénétrométriques. Elle comprend, de haut en bas (les cotes sont données à partir de la carotte 4) (Fig. 2) :

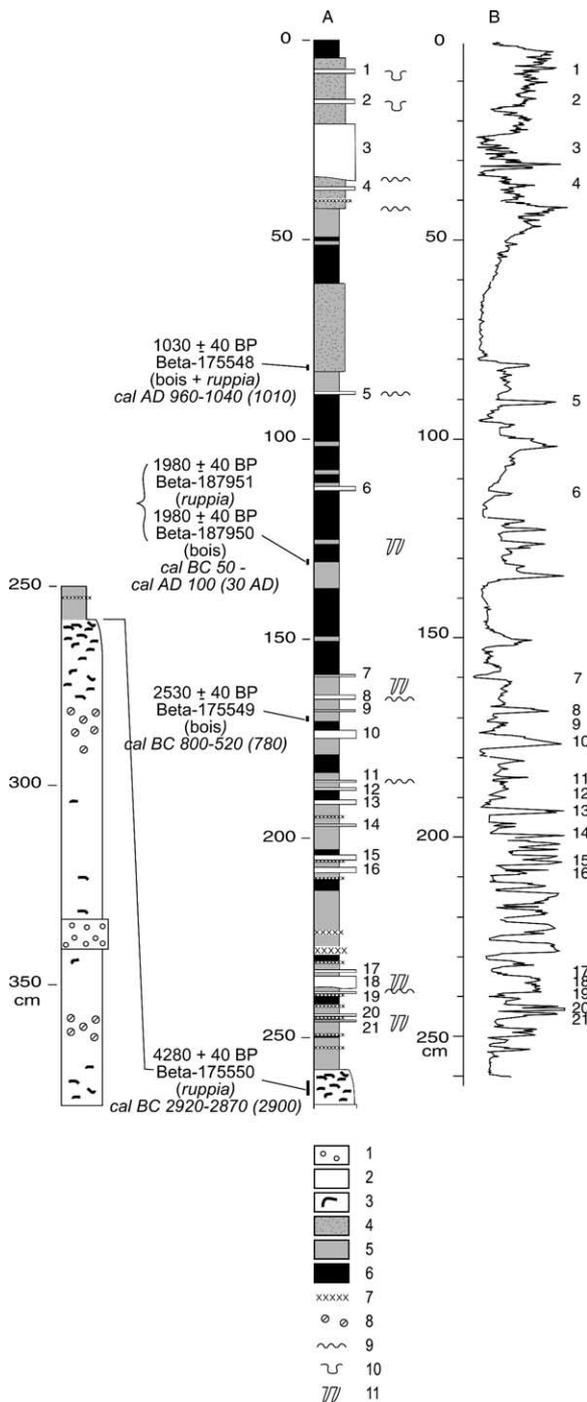


Fig. 2. Stratigraphie de la carotte 4 et dates ¹⁴C. L'intervalle de calibration est donné à 1σ : (A) lithologie, (B) niveaux de gris (radiographies) ; (1) sables et graviers, (2) sable, (3) sable argileux vert à coquilles, (4) argile sableuse grise, (5) argile carbonatée grise, (6) argile organique noire, (7) gypse, (8) carbonatations, (9) érosion, (10) Figure de charge, (11) terriers.

Fig. 2. Stratigraphy of the core 4 and ¹⁴C dates: (A) lithology, (B) X-ray grey levels; (1) sand and gravel, (2) sand, (3) green clayey sand with shells, (4) grey sandy mud, (5) grey carbonated mud, (6) black organic mud, (7) gypsum, (8) CaCO₃ concretions, (9) erosion, (10) load cast, (11) burrows.

- (1) de 0 à 2,60 m, des vases lagunaires ;
- (2) de 2,60 à 3,80 m, des dépôts littoraux sablo-argileux, localement cimentés par des carbonates, avec quelques passées de graviers et de nombreuses coquilles de mollusques ;
- (3) de 3,80 à 7,00 m, des sables et graviers d'origine alluviale liés au fonctionnement du torrent qui drainait la vallée avant la transgression marine holocène ;
- (4) de 7,00 à 15,00 m, des sables et graviers grossiers, d'origine alluviale ou correspondant au substratum granodioritique arénisé.

Différents types de faciès ont été observés dans les dépôts lagunaires sommitaux (Fig. 3) :

- VO : vases organiques noirâtres, non laminées, contenant des macrorestes végétaux (principalement des fragments de végétaux ligneux terrestres). La teneur en CaCO_3 atteint 26 % en moyenne, pour une teneur moyenne en carbone organique (CO) de 3,2 % (Fig. 4). Au microscope, ce faciès comprend des *pellets* carbonatés dispersés dans une matrice argileuse organique riche en cristaux de pyrite, parfois associée à un feutrage de filaments organiques (tapis algaire). La faible bioturbation et l'absence de restes de plantes aquatiques fixées sur le fond, comme *Ruppia maritima*, sont liées aux conditions anoxiques qui régnaient sur le fond de la lagune, en raison d'une stratification des eaux pendant une grande partie de l'année. La stratification de densité liée à la présence d'eaux profondes très salées limite, en effet, les phénomènes de mélange convectif ; associée à une consommation élevée en oxygène par la décomposition bactérienne, elle contribue à maintenir des conditions anoxiques sur le fond du lac, même pour des profondeurs d'eau ne dépassant pas 2–3 m [27] ;
- VC : vases grises carbonatées (CaCO_3 moyen = 40 %) faiblement organiques (CO moyen = 2,5 %), avec de nombreux macrorestes végétaux. Ces derniers sont essentiellement des fruits de *Ruppia maritima*, phanérogame aquatique typique des lagunes peu profondes et soumises à des variations de salinité importantes. Au microscope, ces vases apparaissent constituées par une accumulation de *pellets* carbonatés et de coquilles d'ostracodes. Ce

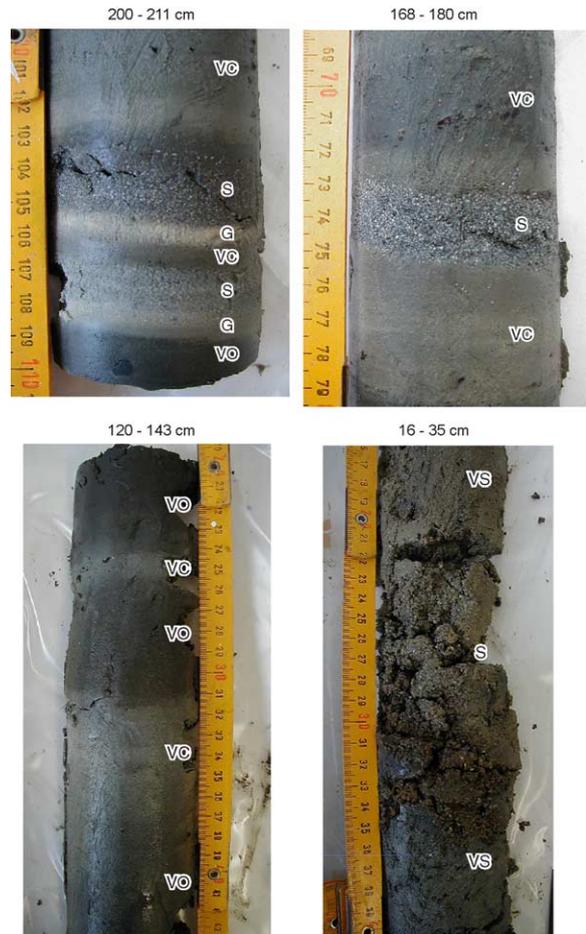


Fig. 3. Vue de quelques faciès caractéristiques de la carotte 4 : VO, vase organique ; VC, vase carbonatée ; VS, vase sableuse ; S, sable ; G, gypse.

Fig. 3. Typical facies of the core 4: VO, organic mud; VC, carbonated mud; VS, sandy mud; S, sand; G, gypsum.

faciès n'est pas distribué de manière homogène dans la carotte, mais domine dans les parties inférieure (160–260 cm) et supérieure (40–90 cm). Les rares traces de terriers visibles en radiographie sont associées à ces niveaux ; comme les nombreux restes de *Ruppia*, elles témoignent de conditions aérobies relativement prolongées au fond de la lagune, en liaison avec la disparition de la stratification des eaux. Dans les exemples de lacs salés décrits par [23,27], il s'agit d'un phénomène saisonnier déterminé par l'alternance saison des pluies/saison sèche, pendant laquelle

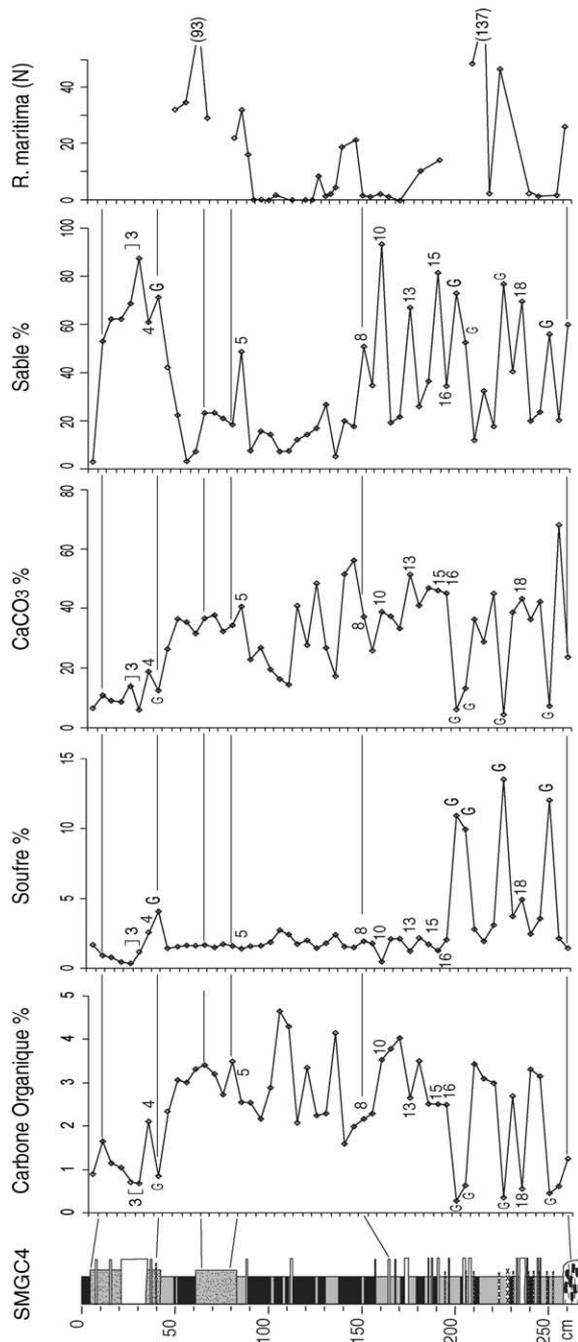


Fig. 4. Données analytiques. L'échantillonnage a été effectué avec un pas de 4 à 6 cm, de manière à respecter les variations lithologiques. Les numéros de lits renvoient à la Fig. 2.

Fig. 4. Analytical data. Sampling has been made every 4 to 6 cm, depending on the lithology. See Fig. 2 for layer numbers.

la tranche d'eau est réduite, à la suite d'une forte évaporation. Dans le cas du lagon étudié par [26], les périodes durables de stratification des eaux sont déterminées par les fortes pluies qui accompagnent des événements de récurrence décennale. La disparition de la chimiocline associée au mélange des eaux superficielles et des eaux profondes riches en nutriments au cours des phases sèches entraîne une forte production phytoplantonique et favorise la précipitation des carbonates dissous [11,23];

- *G* : sables gypseux en lits millimétriques à centimétriques, apparaissant essentiellement entre 205 cm et la base de la carotte. Les cristaux ont un habitus lenticulaire. Ce type de cristaux se forme par précipitation à partir de saumures ou en subsurface des sédiments, par évaporation et concentration des eaux interstitielles lors de phases d'émersion [19,25]. Le gypse se présente, soit en association avec des *pellets* carbonatés, sous forme de lits de cristaux sans orientation particulière, que l'on interprète comme des précipitations in situ, soit, plus rarement, sous forme de lits, dans lesquels les cristaux, triés, sont disposés parallèlement au litage. Ces cristaux correspondent à des accumulations secondaires par les courants ou les vagues;
- *SG* : sables et graviers. La partie basale de la carotte (270–380 cm) est composée de sables gris-vert clair lités, avec de nombreuses coquilles de mollusques. Ces sables témoignent d'un environnement de plage en bordure de lagune. Le nombre d'espèces de mollusques est faible. Les deux espèces dominantes sont le bivalve *Anomalocardia brasiliiana* et le gastéropode *Batillaria minima*, surtout représentés ici par des individus juvéniles. Les autres taxons (*Bittium varium*, *Odostomia* cf. *laevigata*, *Finella dubia* et *Caecum cornucopiae*) sont représentés par un faible nombre d'individus, dont les coquilles apparaissent décolorées ou altérées, ce qui suggère qu'elles ont été remaniées par les courants. *A. brasiliiana* comme *B. minima* indiquent des eaux peu profondes présentant des zones d'herbiers [2,21]. La première espèce marquerait une salinité plutôt faible, avec des apports d'eaux douces importants mais irréguliers, tandis que la seconde supporte des variations plus importantes de salinité.

- *S* : sables gris. De nombreux lits de sable, présentant parfois une base érosive et un granoclasement normal, sont interstratifiés dans les vases. Les sables sont composés d'un mélange de débris arrondis d'organismes calcaires marins, de grains anguleux provenant du versant et de cristaux de gypse fragmentés. Ces lits reflètent des apports grossiers au sein de la lagune lors de cyclones, selon deux mécanismes principaux : (1) des apports de sables projetés par les vagues et le vent par-dessus le cordon littoral (*overwash*) ou à la suite de l'ouverture de la passe [7,22], (2) des glissements sur les versants [3,15]. La comparaison entre les données météorologiques récentes, qui signalent 17 ouragans pour les 100 dernières années à Saint-Martin et la carotte, où seuls 21 événements sont enregistrés dans l'ensemble de la séquence, suggère que seuls les ouragans les plus importants ont laissé des traces dans les dépôts. Certains de ces lits peuvent éventuellement être liés à des tsunamis [12]. L'épaisse couche sableuse apparaissant entre 21 et 35 cm correspond, en revanche, à la partie interne de la digue qui ceinture l'ancienne saline, dont le fonctionnement est attesté pendant les XIX^e et XX^e siècles.
- *VS* : vase sableuse grise. Entre 61 et 83 cm, la fraction sableuse s'accroît significativement dans les vases carbonatées. La présence de laminations parfois très riches en ostracodes montre que ce niveau ne correspond pas à un événement sédimentaire unique, mais à des dépôts lagunaires et des apports successifs de sables ruisselés. Ces apports sableux diffus marquent la progradation des faciès littoraux vers le centre de la lagune. Ils pourraient indiquer une importante phase d'érosion des sols sur le bassin versant.

4. Enregistrement paléoclimatique, chronologie

Les dates ¹⁴C montrent que le taux de sédimentation est resté approximativement constant tout au long de la séquence, de l'ordre de 0,46 mm an⁻¹ (en années calibrées). Les données du ²¹⁰Pb concernent la partie supérieure de la carotte. Trois échantillons ont été analysés : 0–1 cm, 2–3 cm et 7–8 cm. Les activités du ²¹⁰Pb en excès sont comprises entre 24 et 19 Bq kg⁻¹ pour l'échantillon le plus profond. Même si ces valeurs sont relativement faibles et ne mon-

trrent aucune décroissance verticale significative, elles confirment que ces sédiments se sont mis en place au cours du dernier siècle. Trois grandes phases dans l'évolution de la lagune depuis sa fermeture, soit à partir de 4280 ± 40 BP, peuvent être identifiées :

- phase C (258 à 157 cm) : phase caractérisée par le dépôt de vases carbonatées plus ou moins bioturbées, de gypse et de nombreux lits sableux consécutifs à des ouragans. Dans la partie est de la lagune, plusieurs indices d'émersion temporaire des dépôts apparaissent. Cette phase est interprétée comme une période climatique globalement sèche, accompagnée par une forte activité des cyclones. Des lits de vase organique noire, qui implique une tranche d'eau plus importante, s'intercalent périodiquement dans cette séquence. Ils suggèrent des variations pluridécennales significatives du bilan hydrique de la lagune. L'interpolation effectuée à partir des dates ¹⁴C permet de situer cette phase entre 4200 et 2310 BP ;
- phase B (157 à 90 cm) : phase dominée par la sédimentation de vases organiques. Elle correspond à une période globalement humide, accompagnée par une baisse de la fréquence des cyclones. L'âge estimé est compris entre 2310 et 1150 BP ;
- phase A (90 à 0 cm) : phase complexe, dominée par le dépôt de vases carbonatées, avec des indices d'émersion dans la partie est de la lagune. La partie supérieure est perturbée par l'aménagement de la lagune en saline à partir du XVIII^e siècle.

5. Comparaison avec d'autres enregistrements régionaux

Les enregistrements paléoclimatiques haute-résolution disponibles (palynologiques et/ou isotopiques) pour la zone tropicale nord-américaine mettent en évidence un certain nombre de faits majeurs :

- (1) le climat holocène connaît des fluctuations d'humidité très marquées, avec une périodicité voisine de 200 ans [5,20]. Cette cyclicité, reconnaissable dans de nombreux enregistrements sédimentaires de l'aire méso-américaine, serait liée aux variations de l'activité solaire et aux modifications de la circulation atmosphérique globale associées [24]. Dans la séquence de Grand-Case, la succession

- de lits pluricentimétriques alternativement carbonatés et organiques, qui impliquent des variations significatives de la hauteur d'eau dans la lagune, pourrait témoigner de ces variations ;
- (2) des périodes de sécheresse plurimillénaires sont également identifiables [5,8,9,18]. Les fluctuations enregistrées dans le Yucatan et à Saint-Martin semblent en opposition de phase avec celles mises en évidence dans les Grandes Antilles. Ainsi, la période 4000–3300/3200 BP est marquée par la sécheresse dans le secteur de Punta Laguna au Mexique et à Saint-Martin, tandis qu'elle se traduit par une phase humide dans la région du lac Miragoane en Haïti, indiquée à la fois par les données polliniques et isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$). La période 3300/3200–1700/1500 BP connaît une tendance opposée ;
- (3) l'occurrence des cyclones n'est pas constante tout au long de l'Holocène en un point donné de la Caraïbe et du golfe de Mexique. À Saint-Martin, la période 4000–2300 BP a en effet connu de nombreux cyclones de classe élevée, alors qu'aucun n'est enregistré sur la côte nord du golfe [16, 17]. L'inverse se produit pour la période 2300–1000 BP. Les phénomènes climatiques impliqués dans les variations de fréquence et/ou d'intensité des cyclones, d'une part, et dans les variations de la pluviosité sur les Petites Antilles, d'autre part, font appel aux fluctuations de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) et de la zone de hautes pressions de l'Atlantique nord [15]. Au cours des phases de refroidissement global du climat, le déplacement de la ZCIT vers le sud entraîne une baisse de la pluviosité sur les Petites Antilles et s'accompagne d'une modification de la trajectoire des cyclones.

6. Conclusions

Les carottages effectués dans la lagune de Grand-Case à Saint-Martin mettent en évidence des variations significatives de son bilan hydrologique au cours des derniers 4000 ans et permettent de proposer un premier scénario des changements climatiques intervenus dans les Petites Antilles. Ces phénomènes sont vraisemblablement liés au déplacement de la zone de convergence intertropicale vers le sud et, de manière

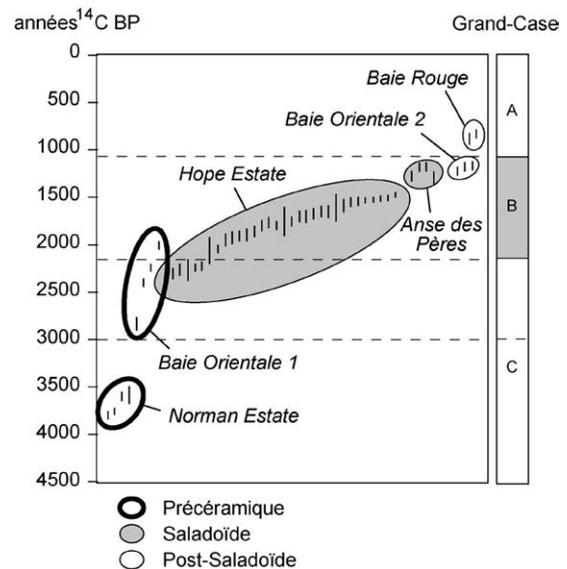


Fig. 5. Datations ^{14}C obtenues sur les sites précolombiens de l'île de Saint-Martin. A, B et C : phases climatiques identifiées dans l'étang de Grand-Case.

Fig. 5. Radiocarbon dates of the Amerindian sites at Saint Martin. A, B and C: climatic phases.

concomitante, à la déviation de la trajectoire des cyclones vers les Petites Antilles. En raison des perturbations provoquées par l'anthropisation de l'île au cours du dernier millénaire, le signal climatique reste cependant difficilement déchiffrable dans la partie supérieure des carottes analysées. Les études en cours, incluant l'analyse de différents indicateurs biologiques (palynologie, ostracodes) et isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ sur coquilles d'ostracodes) à partir de sondages complémentaires dans des secteurs plus profonds de la lagune devraient permettre de mieux documenter les phases récentes d'évolution du système.

Les résultats obtenus ici apportent également un nouvel éclairage sur les paléoenvironnements contemporains des différentes phases d'occupation amérindiennes de l'île. La concordance entre les dates du peuplement de Saint-Martin par les horticulteurs Saladoïdes et celles de la phase humide du premier millénaire AD (Fig. 5) est notamment à souligner. Ceci constitue un premier élément de validation de l'hypothèse du rôle du climat sur les mouvements des populations insulaires antillaises.

Remerciements

Ce travail est une contribution du PCR « Paléoenvironnements et occupations amérindiennes de l'île de Saint-Martin (Petites Antilles) ». Nous remercions R. Assor, J.-F. Bartoli, A. Chancerel, H. Etcheber, D. Galop, C. Hénocq, J.-M. Jouanneau et G. Papy.

Références

- [1] Association archéologique Hope Estate, Recueil d'archives historiques concernant les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy, 1717–1938, Musée archéologique, Marigot, 1996.
- [2] G.L. Brewster-Wingard, J.R. Stone, C.W. Holmes, Molluscan faunal distribution in Florida Bay, past and present: an integration of down-core and modern data, *Bull. Am. Paleontol.* 361 (2001).
- [3] K. Candale, Morphogenèse active aux effets catastrophiques durant l'hivernage 1995 à la Martinique, in : *Les Antilles, terres à risques*, Karthala et Géode Caraïbe, Paris, 1999, pp. 115–131.
- [4] V.A. Carbone, Some problems in cultural paleoecology in the Caribbean area, in : *Proc. 8th Int. Congr. for the Study for the Pre-Columbian Cultures of the Lesser Antilles*, Arizona State Univ., *Anthropol. Res. Pap.* 22 (1980) 98–126.
- [5] J.H. Curtis, D.A. Hodell, M. Brenner, Climate variability on the Yucatan Peninsula (Mexico) during the past 3500 years, and implications for Maya cultural evolution, *Quaternary Res.* 46 (1996) 37–47.
- [6] J. Dagain, P. Andreieff, D. Westercamp, P. Bouysse, F. Garrabé, Saint-Martin, Carte géologique 1/50 000 des Antilles Françaises, BRGM, Orléans, 1989.
- [7] T. Elliott, Siliciclastic shorelines, in : H.G. Reading (Ed.), *Sedimentary environments and facies*, Blackwell, Oxford, UK, 1986, pp. 155–188.
- [8] A. Higuera-Gundy, M. Brenner, D.A. Hodell, J.H. Curtis, B.W. Leyden, M.W. Binford, A 10 000 ¹⁴C yr record of climate and vegetation change from Haiti, *Quaternary Res.* 52 (1999) 159–170.
- [9] D.A. Hodell, J.H. Curtis, G.A. Jones, A. Higuera-Cundy, M. Brenner, M.W. Binford, K.T. Dorsey, Reconstruction of Caribbean climate change over the past 10 500 years, *Nature* 352 (1991) 790–793.
- [10] W.F. Keagan, Recent climatic and sea level fluctuations in relation to west indian prehistory, in : *Proc. 16th Int. Congr. Caribbean Archaeol.*, Conseil régional de Guadeloupe, Basse-Terre, 1995, pp. 95–101.
- [11] K. Kelts, K.J. Hsü, Freshwater carbonate sedimentation, in : A. Lerman (Ed.), *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*, Springer, New York, 1978, pp. 295–323.
- [12] J.F. Lander, L.S. Whiteside, P.A. Lockridge, A brief history of tsunamis in the Caribbean Sea, *Sci. Tsunami Hazards* 20 (2002) 57–94.
- [13] C.P.S. Larsen, G.M. MacDonald, Lake morphometry, sediment mixing and the selection of sites for fine resolution palaeoecological studies, *Quaternary Sci. Rev.* 12 (1993) 781–791.
- [14] W.M. Lewis, A revised classification of lakes based on mixing, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 (1983) 1779–1787.
- [15] M.L. Lin, F.S. Jeng, Characteristics of hazards induced by extremely heavy rainfall in Central Taiwan – Typhoon Herb, *Eng. Geol.* 58 (2000) 191–207.
- [16] K. Liu, M.L. Fearn, Lake-sediment record of Late Holocene hurricane activities from coastal Alabama, *Geology* 21 (1993) 793–796.
- [17] K. Liu, M.L. Fearn, Reconstruction of prehistoric landfall frequencies of catastrophic hurricanes in northwestern Florida from lake sediment records, *Quaternary Res.* 54 (2000) 238–245.
- [18] M.S. Lozano-Garcia, B. Ortega-Guerrero, M. Caballero-Miranda, J. Urrutia-Fucugauchi, Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco Lake, Central Mexico, *Quaternary Res.* 40 (1993) 332–342.
- [19] J.W. Magee, Late Quaternary lacustrine, groundwater, aeolian and pedogenic gypsum in the Prungle Lakes, southeastern Australia, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 84 (1991) 3–42.
- [20] Y. Me-Bar, F. Valdez Jr., Droughts as random events in the Maya lowlands, *J. Archaeol. Sci.* 30 (2003) 1599–1606.
- [21] M. Mouëza, O. Gros, L. Frenkiel, Embryonic, larval and post-larval development of the tropical clam, *Anomalocardia brasiliensis* (Bivalvia: Veneridae), *J. Mollusc. Stud.* 65 (1999) 73–88.
- [22] D. Nummedal, S. Penland, R. Gerdes, W. Schramm, J. Kahn, H. Roberts, Geologic response to hurricane impact on low-profile Gulf coast barriers, *Trans. Gulf Coast Ass. Geol. Soc.* XXX (1980) 183–195.
- [23] M.R. Rosen, J.V. Turner, L. Coshell, V. Gailitis, The effects of water temperature, stratification, and biological activity on the stable isotopic composition and timing of carbonate precipitation in a hypersaline lake, *Geochim. Cosmochim. Acta* 59 (1995) 979–990.
- [24] A. Schimmelmann, C.B. Lange, B.J. Meggers, Palaeoclimatic and archaeological evidence of a ~ 200-yr recurrence of floods and droughts linking California, Mesoamerica and south America over the past 2000 years, *The Holocene* 13 (2003) 763–778.
- [25] B.C. Schreiber, M.E. Tucker, R. Till, Arid shorelines and evaporites, in : H.G. Reading (Ed.), *Sedimentary Environments and Facies*, 2nd ed., Blackwell, Oxford, UK, 1986, pp. 189–228.
- [26] J. Trichet, C. Défarge, J. Tribble, G. Tribble, F. Sansone, Christmas Island lagoonal lakes, models for the deposition of carbonate-evaporite-organic laminated sediments, *Sediment. Geol.* 140 (2000) 177–189.
- [27] D. Verschuren, Sedimentation controls on the preservation and time resolution of climate-proxy records from shallow fluctuating lakes, *Quaternary Sci. Rev.* 18 (1999) 821–837.