



Dynamique du couvert végétal de Petite-Terre

*Chloé Bourden
Alain Rousteau*



*Réserve Naturelle
des îlets de la Petite-Terre*



Février 2012



Table des matières

Problématique.....	3
Généralités sur l'organisation de l'écosystème littoral	4
<i>La topographie et les substrats</i>	4
<i>Description de la végétation littorale sur substrat sableux</i>	5
Profil stationnaire de la végétation sur littoral exposé.....	5
Etat stationnaire des systèmes d'arrière-dune.....	6
Dynamique du littoral nord de Terre-de-Bas.....	8
<i>Hypothèses</i>	8
<i>Méthodes</i>	8
<i>Résultats</i>	9
Erosion des plages.....	9
Ensablement.....	10
Accrétion de la baie.....	11
Erosion du littoral au droit des salines zéro et un.....	11
Analyse quantitative.....	13
<i>Dynamiques locales</i>	16
Saline 1 (Figure 11, page 19).....	16
Saline 2 (Figure 12, page 20).....	17
Saline 3 (Figure 14, page 22).....	17
La plage du lagon (Figure 13, page 21).....	17
La saline zéro (Figure 13, page 21).....	18
Discussion : les facteurs de la dynamique.....	23
<i>Les résultats obtenus à Petite-Terre</i>	23
Le retrait de la végétation.....	23
<i>La hausse du niveau des mers ?</i>	23
<i>Autres phénomènes impliqués dans l'érosion littorale</i>	24
<i>Compléments</i>	25
<i>Mécanismes impliqués dans le retrait</i>	25
L'avenir des systèmes littoraux de Terre-de-Bas.....	28

Problématique

La Réserve Naturelle de Petit-Terre joue désormais un rôle essentiel dans la conservation du patrimoine naturel antillais. Elle héberge aujourd'hui un lagon sans équivalent en Guadeloupe, tant par la diversité de sa faune que par la densité de ses peuplements. Le succès de la réserve auprès des touristes de tous horizons, est amplement justifié et devrait pouvoir sensibiliser autant les visiteurs que les décideurs à la conservation du patrimoine écologique des îles.

La partie terrestre de la réserve est importante à plusieurs égards : elle héberge un Iguane menacé, *Iguana delicatissima*, un arbre presque disparu des Petites Antilles, le Gaïac (*Guaiacum officinale*), et peut-être encore un Mapou rarissime (*Pisonia dussi*).

La flore de Petite-Terre est relativement riche mais elle a été lourdement affectée par les défrichements, les activités agricoles passées ou encore l'extraction de bois. Aujourd'hui, la statut de réserve joue en faveur d'une progression de la végétation spontanée. Certes, cette dynamique est lente, en raison des conditions arides auxquelles sont soumis les écosystèmes des îlets, mais aussi très vraisemblablement, en raison de l'altération profonde des sols qu'a provoquée, dans nombre de secteurs, les exploitations agricoles passées. Toutefois, vue à l'échelle décennale, la dimension des plantes augmente et le couvert végétal se densifie. Il existe une exception spectaculaire à cette restauration progressive des écosystèmes : la dynamique caractérisant le littoral nord de Terre-de-Bas. Là, de gros arbres certainement très vieux, peut-être pluricentennaires, sont déchaussés par la mer.

Après avoir décrit les principales caractéristiques structurales et floristiques des formations végétales présentes sur le littoral de Terre-de-Bas, nous étudierons son évolution depuis 1947 en interprétant les couvertures aériennes disponibles (page 8). Enfin, nous interpréterons les résultats obtenus en essayant de comprendre les mécanismes à l'oeuvre (p. 23) et en tentant de prévoir l'évolution prochaine du littoral (p.28).

Généralités sur l'organisation de l'écosystème littoral

La topographie et les substrats

Pour analyser et comprendre les phénomènes généraux qui déterminent l'évolution du couvert végétal, il faut livrer ici une description rapide la topographie de Terre-de-Bas. Les points culminants de l'îlet sont situés dans la moitié orientale de son littoral sud. Sauf à l'extrémité occidentale du territoire, ce littoral est rocheux et donc non mobile. Au nord de l'îlet, au contraire, s'étendent sur 2,5 km de longueur, des plages sableuses, parfois précédées par des croissants de *beach-rock*.

En résumé, Terre-de-Bas est un plateau calcaire incliné, dont la surface s'enfonce dans la mer vers le nord. La côte sud est alors constituée par une petite falaise, de quelques mètres, parfois ébréchée par une plage décamétrique. La côte nord est régie par l'hydrologie marine. Comme partout, dès que la mer est active, elle édifie un cordon littoral sableux. On fait abstraction ici des littoraux calmes, totalement soustraits à la dynamique marine, où se développent systématiquement des mangroves.

L'édification du cordon littoral est dépendante du mouvement des vagues, alternatif et normal au trait de côte, mais aussi du « courant de dérive », parallèle au trait de côte.

Aujourd'hui, à l'ouest, le trait de côte est soumis aux fortes vagues. Les épisodes de « houle de nord » qui interviennent surtout en début d'année (janvier, février...), déterminent une barre spectaculaire au coin ouest de Terre-de-Haut ; cette barre déferle violemment sur la plage, à la hauteur des salines 2 et 3.

A Petite-Terre, le courant de dérive est très rapide ; généré par le courant nord-atlantique, il circule d'est en ouest, à une vitesse moyenne de l'ordre du nœud. Accélééré dans le goulet formé entre les

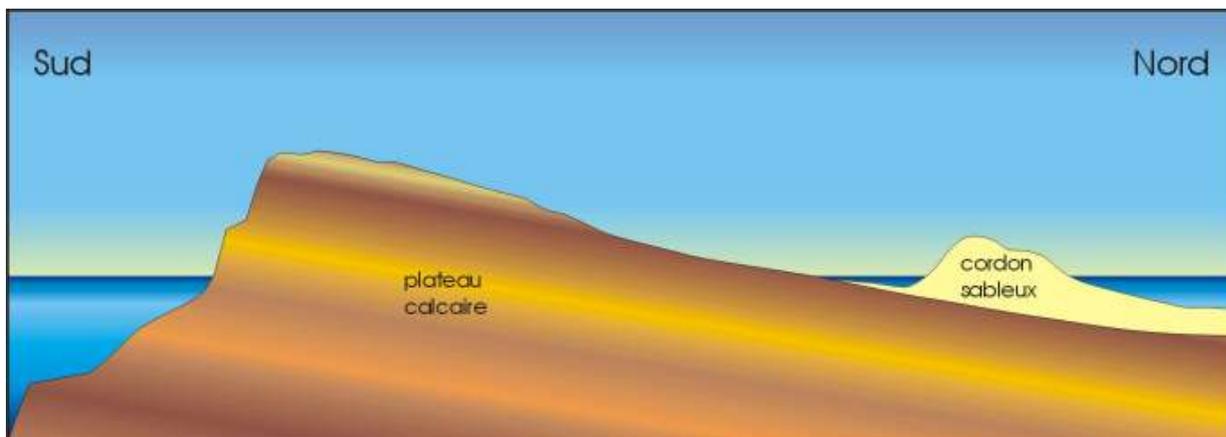


Figure 1: Profil géologique schématisé de Terre-de-Bas. Le contraste topographique des deux littoraux nord et sud, est imputable au pendage du plateau calcaire. Le cordon littoral sableux piège des lagunes.

deux îlets, il atteint sa vitesse maximale là où le lagon est le plus étroit. Il perd sa rapidité lorsque le lagon s'élargit et s'approfondit vers l'ouest. En somme, quand le courant de dérive ralentit, le mouvement des vagues s'intensifient – et inversement.

Description de la végétation littorale sur substrat sableux

Les formations végétales établies sur le littoral sableux, et qui forment aujourd'hui la limite de la végétation terrestre, revêtent plusieurs faciès. Cette diversité inattendue indique que la végétation est soumise à des perturbations variées, accidentelles, et différentes selon l'endroit. Il est difficile et fastidieux de décrire systématiquement tous les faciès rencontrés le long d'un parcours linéaire mais, après examen, on peut établir le profil type d'un littoral stationnaire arénicole exposé au vent.

Profil stationnaire de la végétation sur littoral exposé

La plage de sable peut avoir différentes formes. La pente sableuse qui joint le niveau moyen de la mer au sommet du cordon littoral, peut être régulière, avec un pendage tantôt faible, tantôt prononcé. Elle peut aussi montrer des niveaux distincts, séparés entre eux par des dénivelés abruptes généralement inférieurs à un mètre de hauteur.

Ces profils sableux dépendent directement du dernier épisode de mer forte et ne durent guère. Ils sont effacés et remodelés par un « coup de vent » ou par « la houle de Nord ». Certains de ces épisodes peuvent néanmoins affecter durablement le cordon littoral et modifier en conséquence les écosystèmes qui en dépendent.

Dès que le substrat sableux reste localement stable pendant quelques mois, des diaspores anémochores ou hydrochores permettent l'établissement de la végétation.

1- Les plantes herbacées qui colonisent le sable nu sont peu nombreuses. *Chamaesyce* manifeste une adaptation remarquable à cette situation où le vent véhiculant embruns et grains de sable, contribue à rendre la situation peu propice.

La colonisation par les plantes intervient sur les hauts de plage horizontaux mais pas sur les talus dont la déclivité témoigne de l'action des vagues. Il convient de noter que *Sporobolus virginicus*, fréquente en situation littorale, ne participe pas à la colonisation ici décrite. De même, la patate bord-de-mer (*Impomoea pes-caprae*) est absente alors qu'elle couvre la plage où abordent les touristes.

2- Derrière la phase de colonisation herbacée, s'installent des espèces buissonnantes. Dans les sites les plus exposés, il semble que *Argusia gnaphalodes* soit la plus fréquente des candidats ligneux. Il convient cependant de citer *Suriana maritima* et *Borrchia arborescens* qui localement peuvent remplacer *Argusia*. *Borrchia* est moins abondante que les deux autres espèces et *Suriana* est assez régulièrement située derrière les premiers bas fourrés et dans cette situation plus abritée, adopte un port plus élané.

Ces trois espèces se ressemblent au sens où elles possèdent un épiderme glauque, pileux chez *Argusia* et *Borrchia*, et surtout des feuilles assemblées en pseudo-rosette à l'extrémité de rameaux équivalents. Ces caractéristiques architecturales permettent aux plantes d'adopter des ports en coussin très similaires, au moins dans les situations exposées au vent. Les fourrés constitués par ces plantes sont très denses et atteignent 1,5m. Les espèces, en particulier *Suriana maritima*, peuvent très largement dépasser ces dimensions mais alors, progressivement, elles perdent leur port en coussin ; en outre elles ne s'allongent qu'en situation relativement abritées.

3- Derrière les fourrés-bas précédents, se trouvent très régulièrement un fourrés de raisin-bord-de-mer (*Coccoloba uvifera*). Il s'agit d'une espèce susceptible de développer des arbres de taille importante ; en situation forestière, mais pas à Petite-Terre, on peut voir des *Coccoloba* d'une quinzaine de mètres de hauteur.

Le pseudo-fruit du raisinier implique la possibilité d'une dissémination zoochore mais il est vraisemblable que les graines soient véhiculées par la mer, dans la mesure où le séjour dans l'eau salée ne dure pas trop longtemps. L'abondance de *Coccoloba uvifera* est notamment imputable à sa plasticité architecturale et morphologique qui lui permet de réaliser l'interface fourré-forêt.

4- Derrière le rideau à *Coccoloba uvifera* s'installent des végétations qui ne manifestent plus d'adaptation aux contraintes spécifiquement littorales. Ces végétations supportent le vent et l'aridité de Petite-Terre mais, sous une forme très semblable, elles vivent loin de la côte, en Grande-Terre ou ailleurs. Dans sa version évoluée, et dans la mesure où le substrat ne change pas, cette végétation est une forêt à *Tabebuia heterophylla* ou parfois à *Hippomane mancinella*, ou encore plus rarement, un bois de *Pithecellobium unguis-cati*... Dans sa version dégradée, la végétation derrière le rideau à *Coccoloba* se réduit à un fourré de *Lantana*, où se mêlent parfois *Caesalpinia bonduc* (*C. ciliata* aussi).

Les quatre formations décrites ici se succèdent le long d'un transect perpendiculaire à la ligne de rivage quand celle-ci est durablement stable. Evidemment, lorsque l'érosion marine intervient, elle affecte le profil précédent tantôt jusqu'aux fourrés bas, tantôt jusqu'au rideau à *Coccoloba*, tantôt même jusqu'à la végétation interne quel qu'en soit l'état. S'ensuit alors de la part de l'écosystème, une réaction qui dépend à la fois de la contraintes imposée par la nouvelle situation et de l'état de la biocénose impactée.

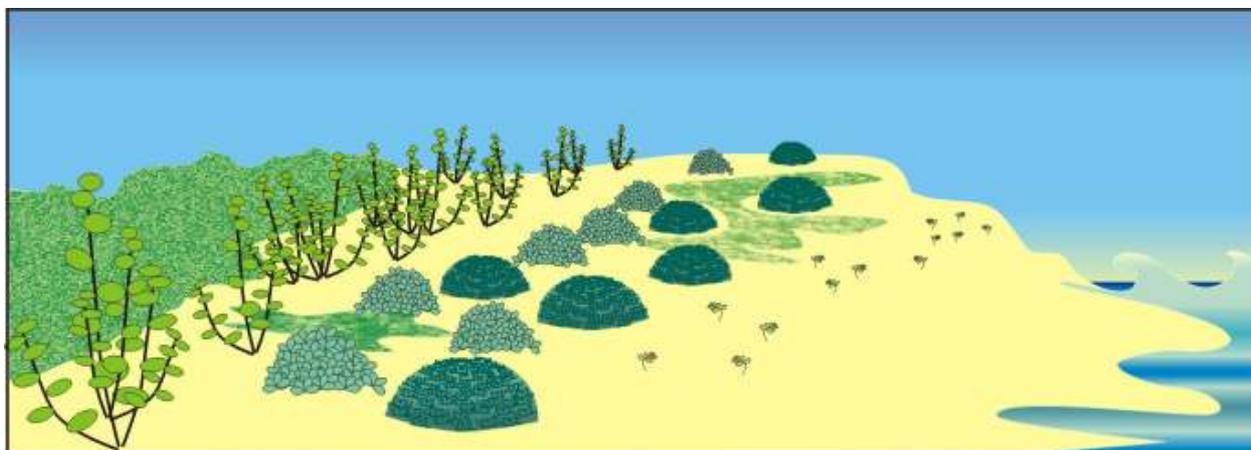


Figure 2 : "Succession" stabilisée sur cordon littoral. De droite à gauche, se répartissent (1) des herbacées éparpillées, (2) des buissons en coussins, des arbres cespiteux et finalement des fourrés ligneux (*Lantana*). A terme, derrière les Raisiniers (*Coccoloba*) et les *Suriana*, une forêt viendra remplacera les fourrés à *Lantana*.

Etat stationnaire des systèmes d'arrière-dune

Derrière le cordon littoral sableux, on trouve à Terre-de-Bas, comme aussi partout au monde dans des situations analogues, une dépression caractéristique, souvent occupée par des lagunes et parfois même, par des étangs salés en contact direct avec la mer (Clark 1983). A Terre-de-Bas, les lagunes, qu'on appelle « salines », ne sont pas ouvertes. L'eau de mer qui les alimente doit percoler à travers le cordon sableux. Ceci suppose que le niveau des salines est approximativement celui de la mer.

La plupart du temps, pour les salines 1 et 2, comme aussi dans une moindre mesure, pour la saline 3, le débit de percolation de l'eau de mer (dont la salinité avoisine 36g/l) est faible et la salinité des salines est supérieure à celle de la mer. Il arrive même en carême, au plus fort de la saison sèche, que se forme sur le pourtour des lagunes, une pâte constituée de sel cristallisé à peine mouillé. Quand il pleut beaucoup, au contraire, la salinité de l'eau des salines décroît.

A Terre-de-Bas, dans la dépression d'arrière dune et entre les lagunes, prennent place des forêts, ou des fourrés que l'activité de l'homme a substitué aux forêts. Ces formations d'arrière-dune vivent exactement là où pourraient s'étendre des lagunes. En fait ces formations ont colonisé des espaces préalablement occupés par des lagunes asséchées (Rousteau 1995). Au plan écosystémique, la séquence des événements est la suivante : la formation d'un cordon littoral isole des lagunes, l'épaississement du cordon sableux confine de plus en plus les lagunes qui tendent à s'assécher de

plus en plus souvent et pour des périodes de plus en plus longues. Les pluies évacuent progressivement la salinité résiduelle du sol et permettent la colonisation par des plantes de moins en moins halophiles.

La succession des formations ligneuses, telle qu'on peut la déduire des différents faciès observables à Terre-de-Bas comprend une première étape à *Conocarpus erecta*, suivie progressivement par l'installation de *Hippomane mancinella*. Finalement, dans les situations les moins salées, *Tabebuia heterophylla* et *Guaiacum officinale* viennent s'ajouter au cortège et deviennent dominants tandis que d'autres espèces enrichissent progressivement la composition floristique du sous-bois.

Bien sur, cette succession idéale peut être interrompue, voire renversée, si des événements catastrophiques interviennent. La dynamique actuelle de la saline zéro pourrait fournir un exemple très instructif d'une telle anomalie.

Dynamique du littoral nord de Terre-de-Bas

Hypothèses

Depuis une dizaine d'années, les arbres du littoral nord, entre la plage du lagon et la saline 2, basculent dans la mer. Des Gaiïacs de gros diamètre font partie des victimes de cette érosion marine spectaculaire. On peut supposer que ces arbres avaient plus de cent ans, peut-être plus de 150 ans, ce qui suggère évidemment que la mer n'avait pas affecté le boisement littoral depuis cette lointaine époque. Au moins dans certains secteurs des plages nord, il apparaît donc que la mer avance au détriment du littoral et que ce mouvement n'est pas un accident passager, résultant d'une dynamique alternative à courte période comme on en voit sur toutes les plages. On peut alors émettre deux hypothèses.

Hypothèse 1 : le retrait du littoral observé dans certains secteurs, est compensé par une tendance opposée dans d'autres secteurs du même littoral. Dans ce cas, les matériaux prélevés par l'érosion marine en un lieu, sédimentent ailleurs, sans doute transportés par le courant. Tant que les sédiments ne sont pas définitivement exportés hors du lagon, on devrait assister à un phénomène globalement stationnaire : l'accrétion compensant l'érosion à l'échelle du littoral nord de Terre-de-Bas.

Hypothèse 2 : les processus d'érosion ne sont pas compensés par l'accrétion. Le bilan à l'échelle du littoral nord est déficitaire et les produits de l'érosion sont exportés hors du lagon, sans être compensés par d'éventuels apports extérieurs. Dans ce cas, la dynamique observée pourrait être durable, engagée depuis plusieurs décennies et provoquée par un phénomène à grande échelle. On peut évoquer évidemment, la hausse du niveau marin qui est convenablement enregistrée depuis 1870 et qui s'est accélérée à partir de 1930-1940.

Méthodes

Pour aborder ces questions et tester les hypothèses précédentes, on dispose de photographies prises par les avions de l'Institut géographique National. Ces photographies nous ont été confiées par l'Office National des Forêts, gestionnaire de la Réserve. La première image date de 1947 et nous avons analysé toutes les images disponibles entre 1947 et 2004 : 1947, 1950, 1954, 1963, 1983, 1988, 1989, 1993, 1999 et 2004. Les intervalles entre ces prises de vue sont étrangement irréguliers et leur qualité respective est très inégale. L'image de 1989 est définitivement inexploitable : la saline zéro et la saline 1 ont disparu, l'îlet de Terre-de-Bas en est raccourci de quelques centaines de mètres. Certaines images sont aussi trop floues pour permettre une analyse suffisamment précise.

La séquence de ces images ne permet pas de mesurer les mouvements erratiques du rivage et de la plage, mouvements qui sont provoqués par les marées, les épisodes de houle, les tempêtes ou les cyclones... En revanche, ces images permettent, sans difficulté d'interprétation, de suivre les variations de la limite du couvert végétal. Elles permettent de mesurer la cinétique de la végétation littorale dans la mesure où, bien entendu, on est en mesure de superposer les images.

Les images de 1999 et de 2004 sont des ortho-plans. Les images antérieures sont relativement déformées par les modalités de prises de vue (trajectoire, assiette et altitude de l'avion, déformation optique liée aux objectifs utilisés...). Il est donc nécessaire de redresser les images afin de pouvoir les superposer et de pouvoir évaluer les mouvements de la ligne de végétation littorale.

L'opération de redressement des images a présenté de grosses difficultés techniques. Les raisons sont de deux ordres. D'abord les amers (points de référence) convenables, ne prêtant pas à interprétation, sont rares à Petite-Terre. D'ailleurs, la forme même des îlets, très allongés dans le sens est-ouest, n'est pas optimale pour équilibrer la répartition des amers et donc, pour calculer les déformations. En second lieu, la qualité des amers, c'est-à-dire la précision des coordonnées qu'on leur attribue, dépend directement de la qualité de la photo. Quand la position d'un amer n'est pas

suffisamment précise, elle affecte négativement l'opération de redressement se sorte qu'on obtient une meilleure superposition en omettant cet amer.

Les difficultés rencontrées nécessitent l'estimation d'une erreur moyenne, pour chacun des redressements effectués. Le tableau suivant indique les erreurs constatées en mesurant le décalage des amers, relativement aux orthoplans de 1999 et de 2004.

Date de l'image	Erreur moyenne (m)	Orientation de l'erreur moyenne
1947	1,15	NE
1950	4,8	O
1954	5,475	NO
1963	5,9	S
1982	1,8	(S)E
1988	2,15	O
1993	2,575	SE

L'erreur moyenne maximale correspond à l'image la plus altérée du lot, celle de 1963. L'importance de ces erreurs est de nature à limiter les interprétations. Toutefois, l'examen de la littérature scientifique montre que, pour des problématiques analogues et à partir de photographies de même époque, il est difficile d'améliorer le redressement et de diminuer les erreurs (Drapeau et Mercier 1990). Les informations récupérées auprès des universitaires spécialisés dans le traitement d'images (E. Grandchamp) confirme qu'il est difficile d'améliorer nos redressements. En gros, on doit admettre que pour ce type de travail, une erreur linéaire de 5m est tout à fait normale (Drapeau et Mercier 1990).

Résultats

Erosion des plages

Les formations végétales situées au nord de la saline 3 ont été largement affectées par l'érosion marine. Depuis les années quarante, la limite de la végétation n'a cessé de régresser. La comparaison des différentes images disponibles ne permet pas de mettre en évidence une période durant laquelle l'érosion aurait agit plus rapidement. Il semble alors, sans qu'on puisse en préciser les causes, que l'érosion s'est traduite par un recul plus ou moins régulier de la ligne de végétation. Au nord de la saline 3, entre 1947 et 2004, le couvert végétal a reculé à la vitesse moyenne de 6,7 mètres par dizaine d'années. Bien entendu, cette érosion n'est pas continue ; des tempêtes, des marées de tempête, des coups de vent, des houles de Nord... provoquent en quelques heures, des retraits significatifs mais l'observation n'indique aucune accélération du processus à un pas de temps décennal. En effet, quand on rapporte les retraits observés à leur durée respective, l'important retrait intervenu entre 1963 et 1982 n'est pas plus rapide que les autres. La même observation vaut pour la plage du lagon (Figure 4). Quoique les mesures ne soient pas suffisamment précises pour le démontrer, il semble qu'avant 1963, les plages aient été presque stables.

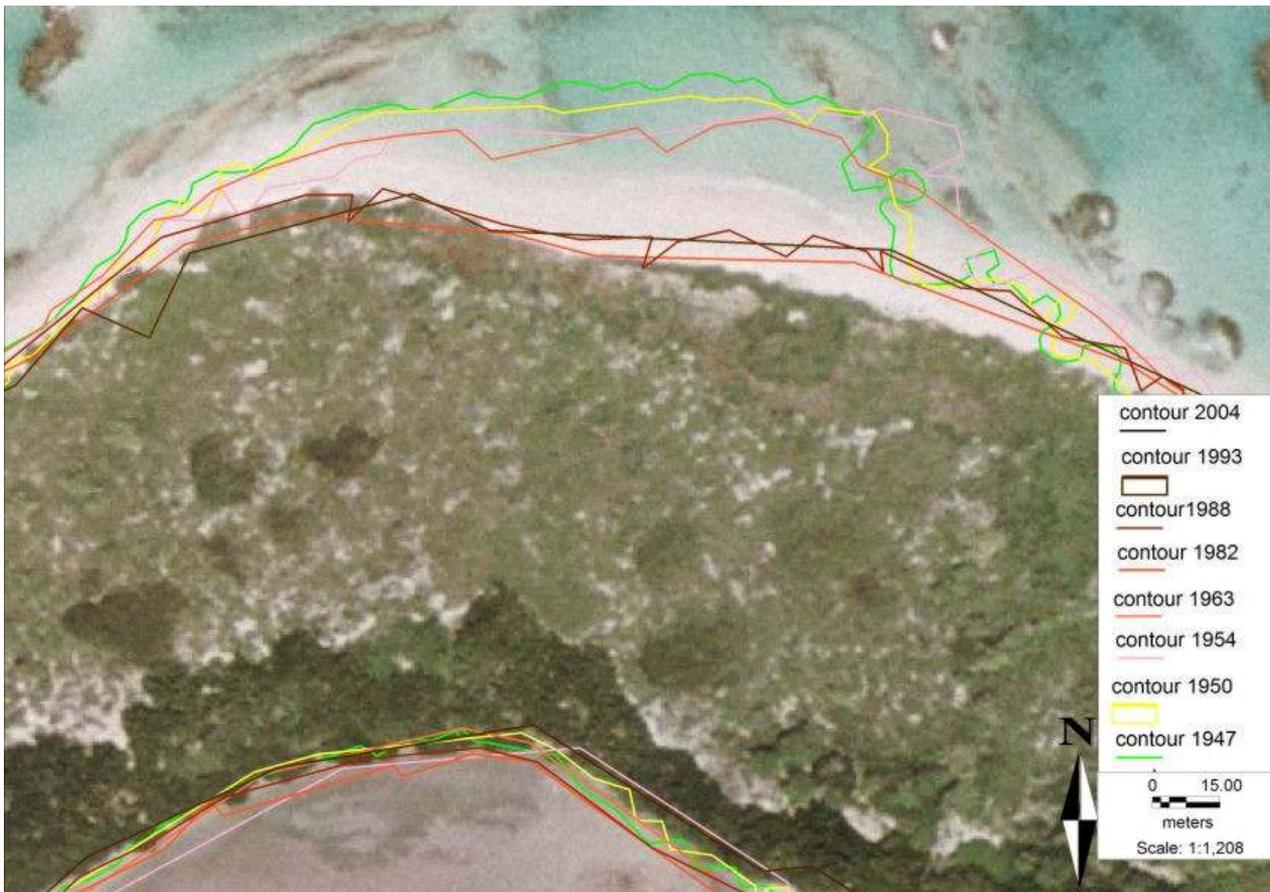


Figure 3 : Dynamique de l'érosion au nord-ouest de la saline 3.

Ensablement



Figure 4 : Dynamique de l'érosion sur la plage du lagon.

Le cocotier laissé à proximité de la pointe à sable, a été déraciné par la mer. Il a été ensablé en quelques heures (selon Alain Saint-Auret). Il est désormais réduit à une rosette de feuilles adultes étrangement posée à la surface de la dune qui témoigne d'une accumulation de sable supérieure au

mètre.

Par endroit, les arbres du cordon littoral présentent plusieurs troncs divergeant au ras du sable. Dans plusieurs cas, ces troncs qui ressemblent à des rejets basaux ont pu être rapportés à des ramifications issues d'un axe érigé mais profondément ensablé. L'ensablement affecte fréquemment les fourrés bas mais au nord de la saline, un houppier de Gaïac surmontant un tapis de *Sesuvium*, se trouve à peine en retrait de l'actuel fourré à *Argusia* et témoigne de l'existence passée d'une forêt à ce niveau. Il est vraisemblable que la mer soit venue jusqu'à la lisière de la forêt, que le Gaïac soit un rescapé de l'ancienne formation forestière détruite et qu'il ait été ultérieurement enseveli sous un ou deux mètres de sable.



Figure 5 : Dynamique de l'accrétion dans la baie (nord-est de la saline 3).

Accrétion de la baie

Un processus d'accrétion se développe dans l'anse située au droit de l'extrémité orientale de la saline 3. La dynamique progressive dans ce secteur, se traduit par une succession de formations végétales distinctes qui s'alignent parallèlement à la plage. Les bandes de végétation sont visibles sur les photographies aériennes et forment un croissant.

Erosion du littoral au droit des salines zéro et un

A l'est de la saline zéro s'étend un bois de Poirier et de Mancenillier (*Tabebuia heterophylla* et *Hippomane mancinella*). Depuis ce bois, on peut voir la mer vers le Nord. Une pareille perspective, est en principe fermée par un rideau à *Coccoloba uvifera* mais dans le cas présent, ce rideau a été emporté par la mer.



Figure 6 : Dynamique de l'érosion au niveau de la saline 2.

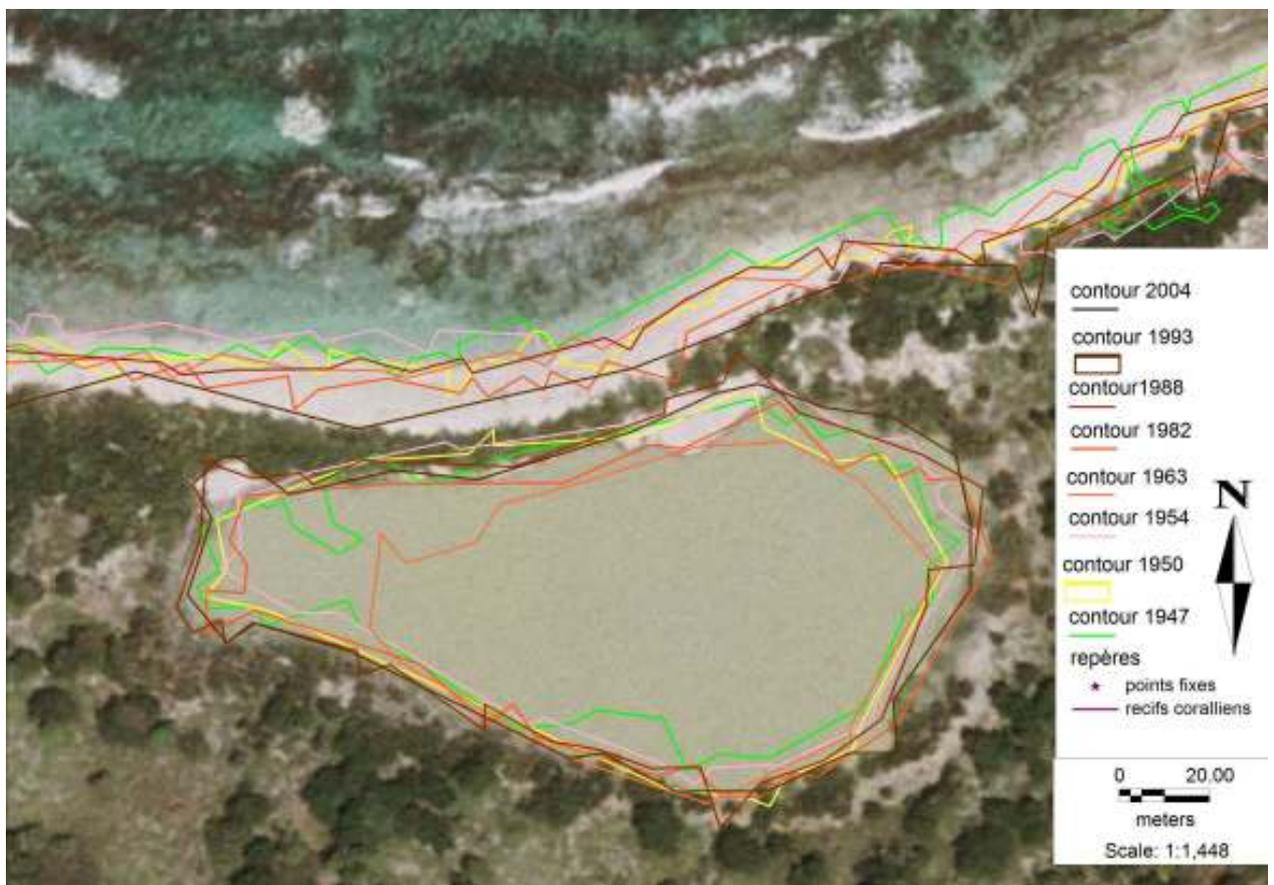


Figure 7 : Dynamique de l'érosion au niveau de la saline 1.

Analyse quantitative

La ligne de végétation est facile à repérer sur les photographies produites par l'IGN. La végétation, toujours sombre, contraste fortement avec le sable blanc du cordon littoral et des plages. Les déplacements observables témoignent de l'érosion marine mais ils le font d'une façon indirecte, sans qu'on puisse rapporter les mouvements relativement rapides liés aux épisodes climatiques intenses.

La présente analyse est limitée à la comparaison des limites des années 1947 et 2004. Les mesures sont réalisées sur les photographies redressées (orthorectifiées). Quarante cinq points sont répartis le long du littoral, tous les 50m. Les mouvements du couvert végétal sont mesurés en chacun des 45 points, le long d'axes perpendiculaires à la limite de végétation.

En moyenne, sur les 2250 m analysés, le couvert végétal a diminué de 1,3 hectare en 57 années. Au regard de l'étendue de l'îlet, cette perte est considérable.

La ligne de végétation en moyenne, a reculé de 5,84m en 57 ans. Rapporté à l'année, ce recul s'établit à 0,1m par an.

Cette quantité moyennée sur une distance de 2250m, représente un bilan. Si la plupart des mesures sont négatives et montrent que la végétation littorale recule, dans certains cas, on observe une avancée du front de végétation. En observant la courbe représentant le déplacement de la limite de végétation, on remarque une tendance oscillante. Cette hypothèse a fait l'objet d'une vérification. On calcule la transformée de Fourier de la courbe redressée (Figure 9 et Figure 10). Deux fréquences coexistent dans le signal. La première fréquence (0,1111) correspond à une longueur d'onde de 450 m. Elle présente une amplitude importante, d'environ 25m mais cette amplitude varie très nettement. Elle est maximale au droit de la saline 3 et à l'autre extrémité du segment étudié, devant le lagon, à l'est de la saline zéro. Le second signal (fréquence = 0,288889) a une longueur d'onde de 173m. Il est nettement moins significatif que le premier.



Figure 8: Mesures réalisées sur le littoral nord de Terre-de-Bas. L'image est l'orthoplan de 2004.

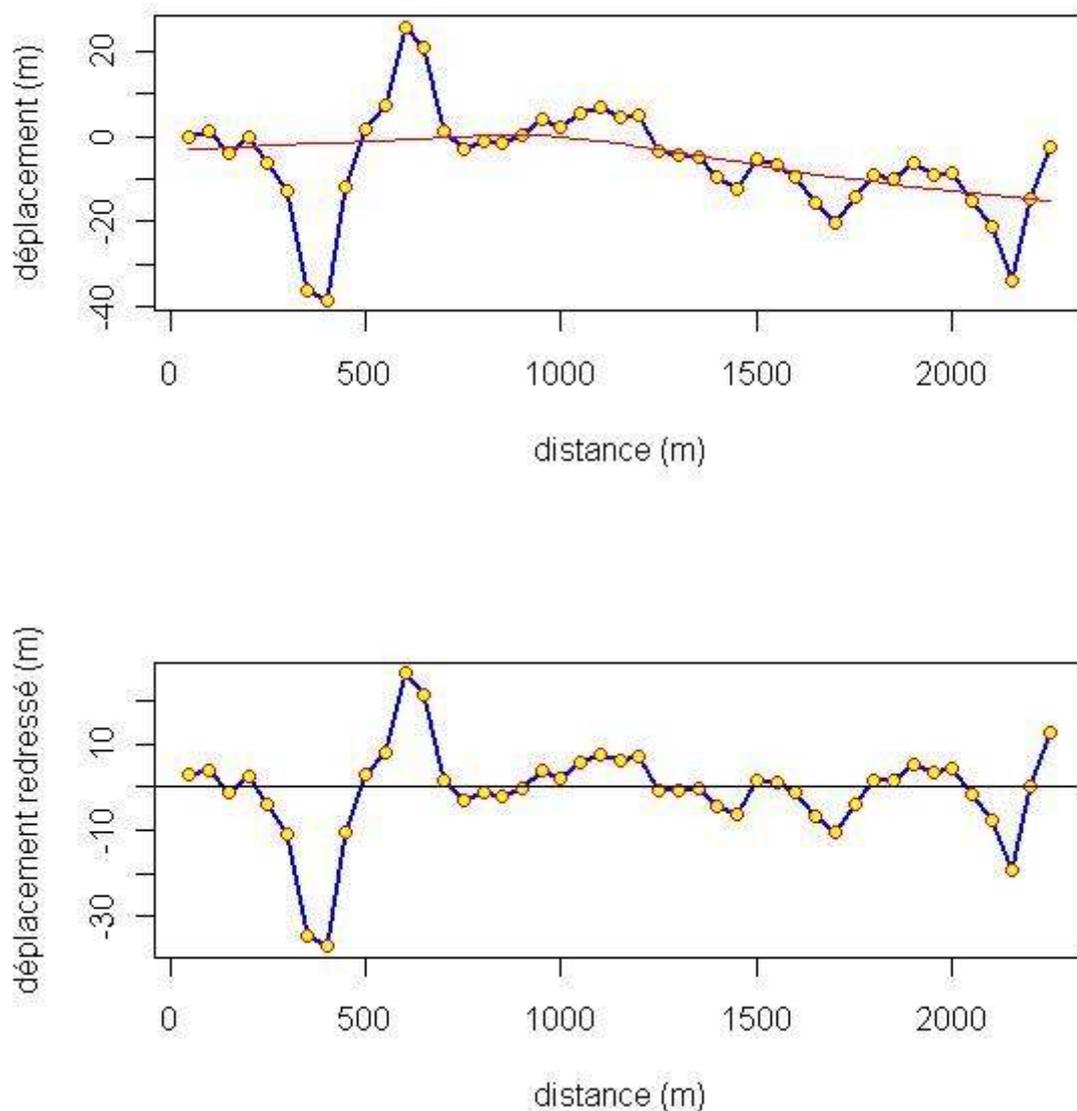


Figure 9: Le déplacement de la ligne de végétation à Terre-de-Haut, entre 1947 et 2004. Le déplacement de la limite de la végétation est mesuré en 45 points, distant de 50m, le long du littoral nord. En haut, le déplacement réel (courbe bleue et points) est « lissé » (courbe rouge) pour extraire la tendance général du déplacement. En bas, le déplacement réel est diminué de la tendance précédente.

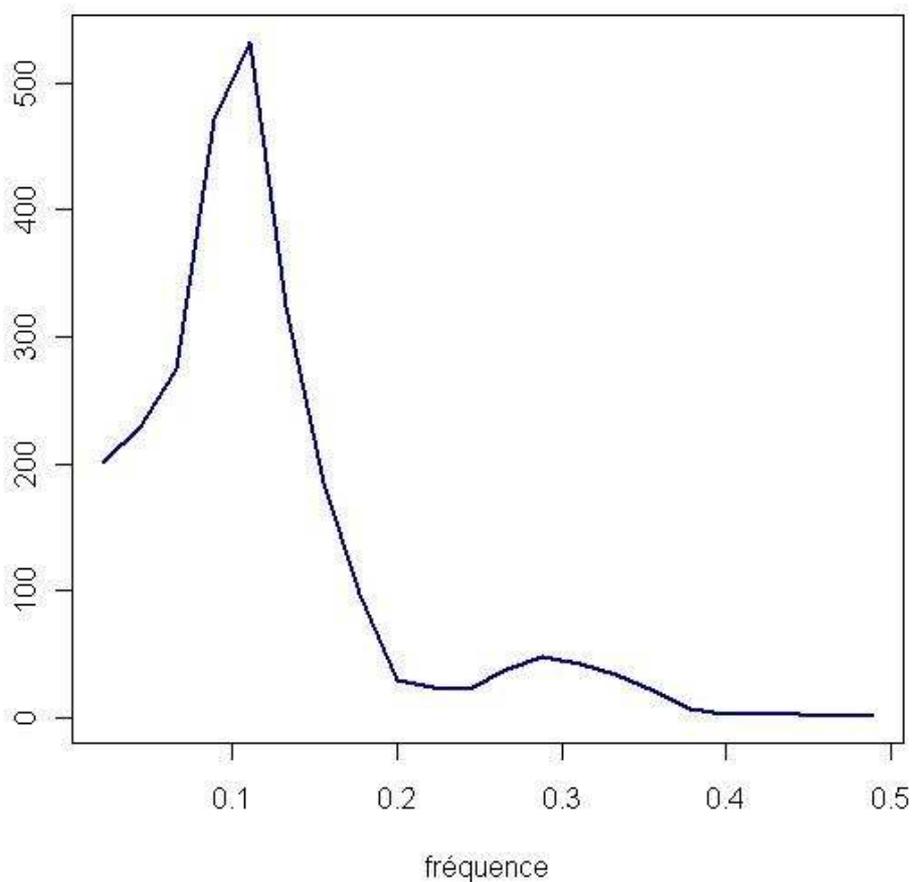


Figure 10: Périodogramme du déplacement de la ligne de végétation. Le calcul de la transformée de Fourier permet d'extraire deux fréquences distinctes du signal redressé : 0,1111 et 0,2889.

Dynamiques locales

Saline 1 (Figure 11, page 19)

Le cordon de la saline 1 ne subit pas de changement notable jusqu'en 1963. Entre 1963 et 1982, il subit sans doute une intrusion marine catastrophique qui détruit une partie des ligneux en place. Entre 1982 et 1988, la végétation semble se restaurer, sans pour autant que soient reconstitués les houppiers des arbres disparus. Entre 1988 et 1993, la végétation est lourdement affectée par une autre intrusion catastrophique qui notamment, a mis en place la langue de sable qu'on connaît encore aujourd'hui. Il n'est pas possible de vérifier le rôle éventuel du cyclone Hugo dans cette modification car l'image de 1989 dont nous disposons se trouve amputée des salines 1 et zéro (la saline 2 est ainsi raccordée directement à la plage du lagon).

Dès lors, la végétation au niveau de la langue de sable est limitée à un houppier de Gaïac. Des petits ligneux vont restaurer partiellement la végétation. Après 2004, des *Sesuvium portulacastrum* vont

progressivement constituer un tapis qui tend à recouvrir la langue de sable. Les dernières photographies auraient permis de compléter cette description mais aucun phénomène important ne semble avoir affecter négativement le cordon durant les dix dernières années.

Saline 2 (Figure 12, page 20)

Avant 1963, le paysage ne semble pas changer significativement. Entre 1963 et 1982 est intervenue un phénomène destructeur qui a réduit le couvert végétal du cordon littoral sur toute sa longueur. En outre, l'altération de la végétation s'observe aussi sur les rives intérieures de la saline 2. Dans ces situations, les dégâts ne semblent pas devoir être imputés directement à l'érosion marine. Elle serait en partie liée à une sur-salure. Il est possible que l'intrusion d'eau de mer associée à une marée catastrophique ait provoqué une salinité hors norme après évaporation de la saline. En saison sèche, aujourd'hui toujours, la saline 2 perd son eau et les bords en sont recouverts d'une pâte de sel. Une telle salinité est létale pour les plantes comme pour les animaux. A la fin du carême, lorsque les pluies remplissent à nouveau la lagune, l'eau prend une soudaine coloration rouge due au développement explosif de micro-organismes.

En 1989, on remarque une altération de la couverture végétal du cordon littoral. La végétation paraît mitée et des espaces sableux nus apparaissent entre les plantes. Il est très probable que cette altération soit due au cyclone Hugo. Cette fois, il ne semble pas y avoir de désordre sur les rives internes de la saline. Mais après, en 1993 et surtout en 2004, les rives sont marquées par une mortalité très visible. La langue de calcaire qui sépare la lagune en deux est totalement dénudée en 2004. Ces altérations des rives et de la langue calcaire est vraisemblablement associée à des sur-salinités répétées ou constantes.

Saline 3 (Figure 14, page 22)

De 1947 à 1963, il semble que la végétation pionnière s'établisse lentement sur la façade nord-est du cordon. Parallèlement, au coin nord-est de la saline (flèche verte sur l'image de 1982), les ouvertures (taches claires sur l'image de 1947) se combrent progressivement. Aujourd'hui, il s'agit d'un bois de mancenilliers.

Entre 1963 et 1982, une grande partie de la végétation située au nord-ouest de la saline est détruite. C'est le phénomène le plus important qu'on puisse enregistrer sur le rivage nord de Terre-de-Bas. Il n'est pas possible de dire s'il résulte d'un processus continu ou d'épisodes climatiques extrêmes. De 1982 à 2004, seule la végétation de la baie (flèche verte de l'image de 2004) paraît se reconstituer. Interrompue, ou affectée par le cyclone Hugo (voir image de 1989), cette dynamique se maintient encore aujourd'hui.

La plage du lagon (Figure 13, page 21)

Jusqu'en 1963, la ligne de végétation semble évoluer lentement. Le rideau littoral exposé au nord semble s'amincir mais le phénomène est peu sensible. On observe une légère progression sur la plage du lagon mais il est difficile de distinguer les tapis herbacés se développant sur la plage (*Sesuvium* par exemple), des laisses de mers.

Entre 1963 et 1982, l'érosion affecte significativement le rideau de végétation littorale. L'examen sur le terrain, encore aujourd'hui, est explicite. Le rideau de *Coccoloba* qui se développe au vent de la plage disparaît soudainement lorsqu'on passe la pointe nord et qu'on se déplace vers l'ouest. Il est clair sur les photographies que ce rideau se prolongeait loin vers l'ouest avant 1982 (même s'il semblait perdre de l'épaisseur au début des années soixante).

La photographie de 1989 n'est pas exploitable mais le cyclone Hugo (1989) ne paraît pas avoir laissé d'impact durable à ce niveau du cordon littoral. Jusqu'en 2004 d'ailleurs, la situation semble stationnaire. Ce jugement semble paradoxal car c'est sur ce littoral qu'on voit les arbres tomber dans

la mer. Le Gaïac « n°1 » va basculer incessamment dans la mer ; la moitié de son système racinaire est mis à jour. En 2005, il était encore à 3 ou 4 mètres du talus. Le panneau qui signalait le Gaïac aux promeneurs a dû être enlevé parce que la mer avait déchaussé son embase. L'érosion a certainement accéléré depuis 2004 sur ce site et il est dommage que nous n'ayons pas pu obtenir de photographies plus récentes (2010).

La saline zéro (Figure 13, page 21)

La saline zéro semblait boisée, au moins partiellement, avant 1982. Il est difficile cependant d'interpréter les photo sur ce point. A partir de cette date, la saline paraît ouverte. En 1993 l'ouverture s'est agrandie et en 2004 l'ouverture a encore progressé. Les souches de *Conocarpus* morts se trouvent encore sur les rives et même au centre de la saline, dans sont tiers nord.

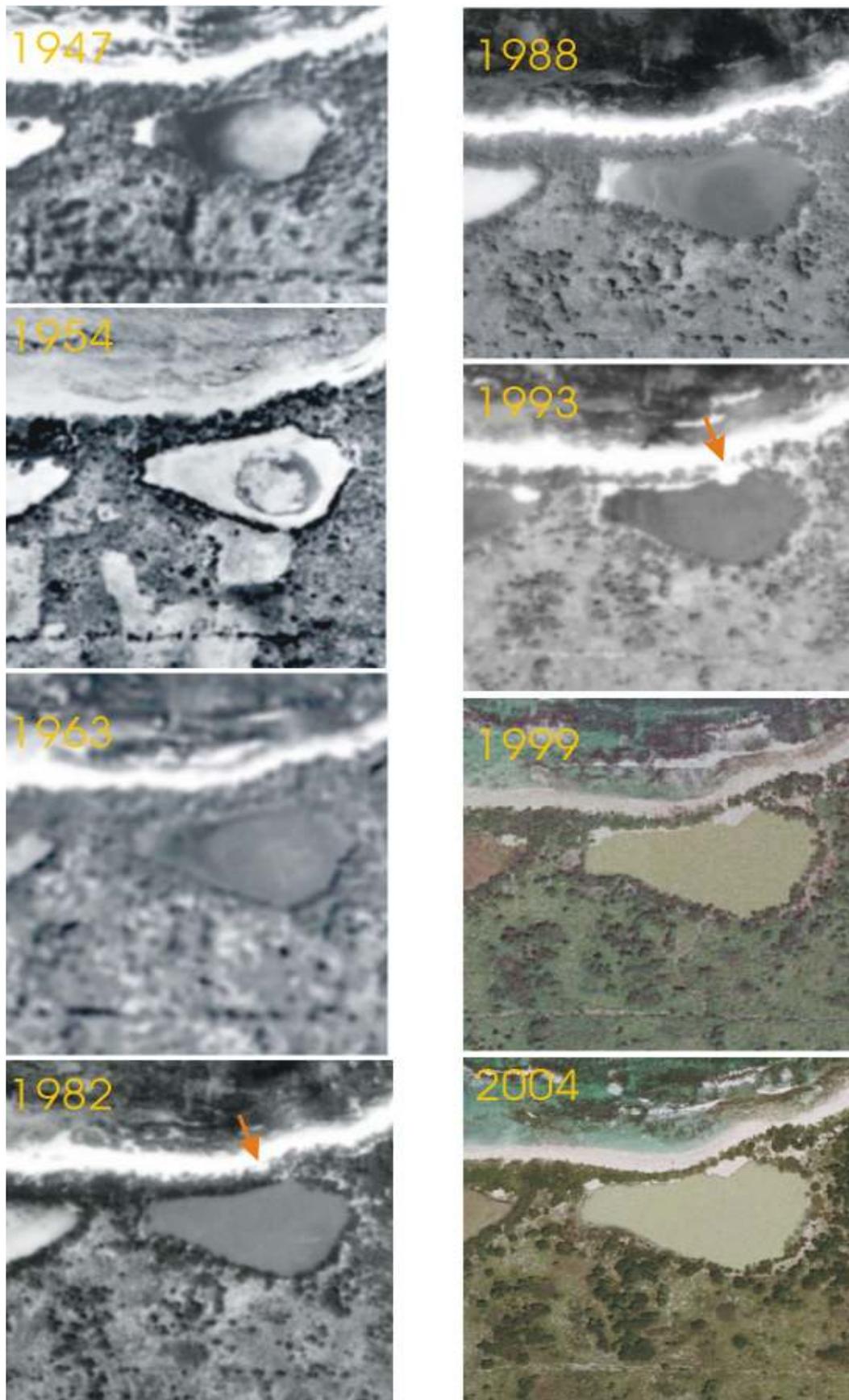


Figure 11 : Evolution du cordon littoral de la saline 1. Par deux fois (flèches oranges), la végétation a été détruite par la mer.

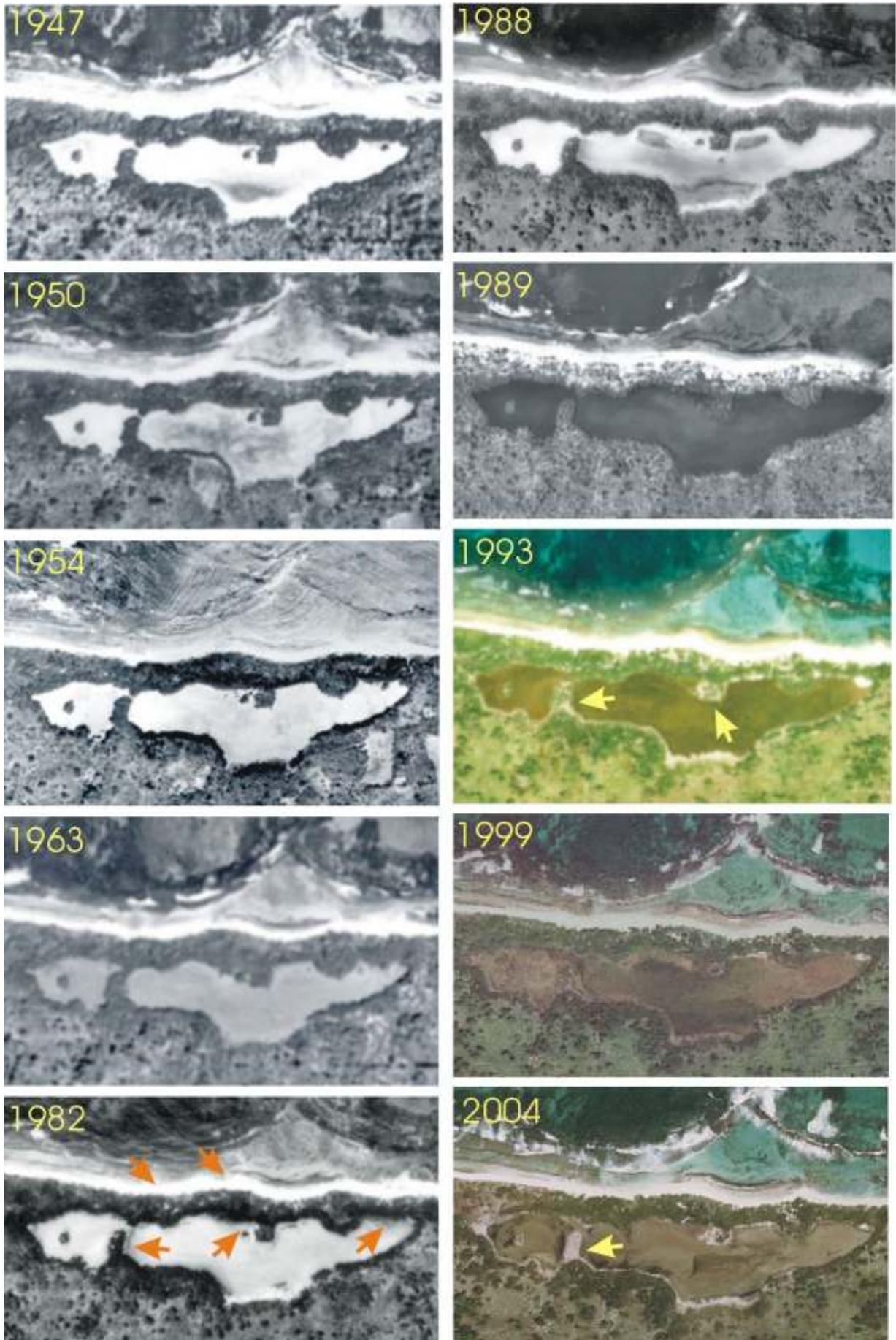


Figure 12: Evolution de la végétation autour de la saline 2. Les flèches indiquent les changements significatifs du couvert.

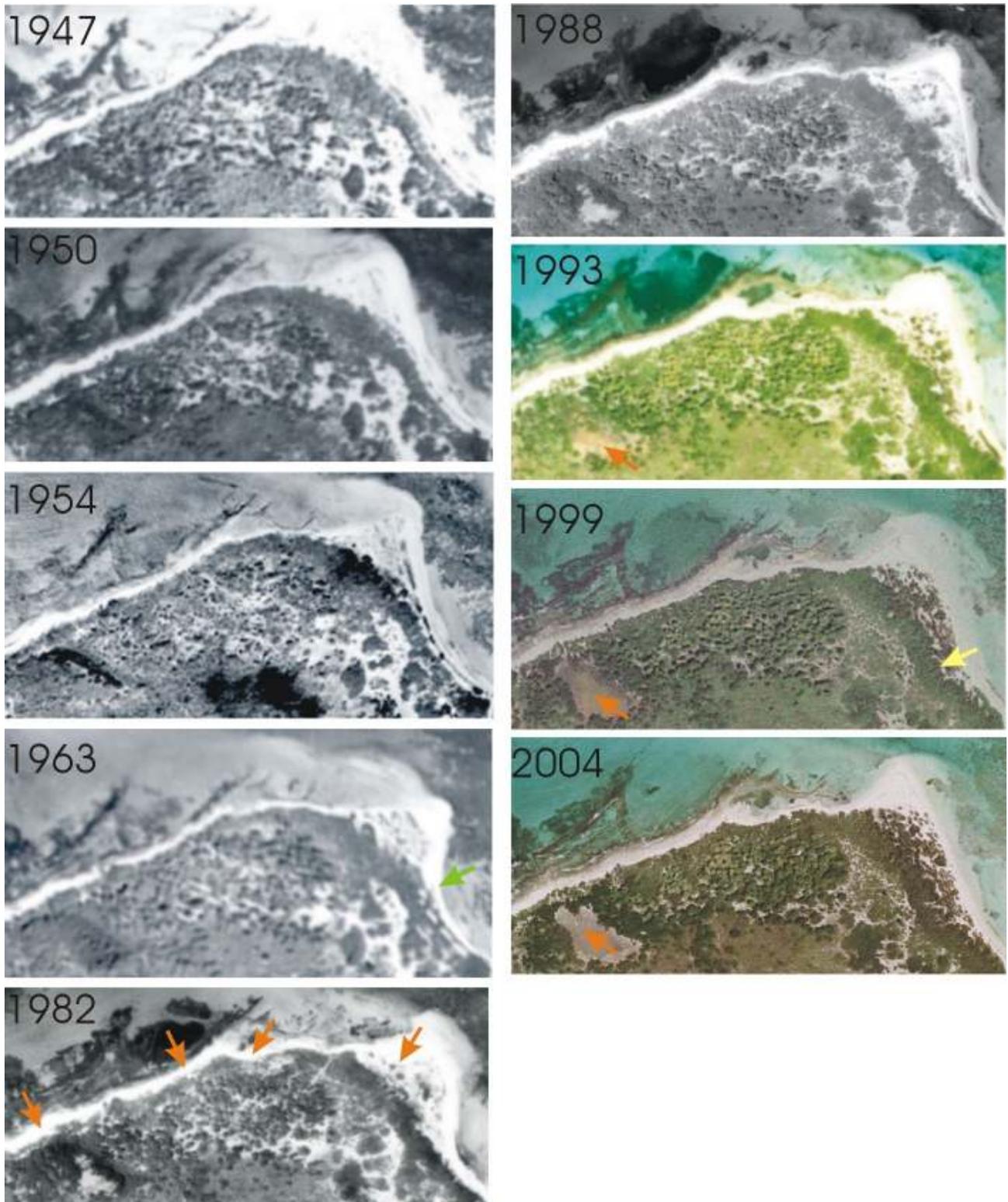


Figure 13: Evolution de la végétation entre la plage du lagon et la saline zéro. Les flèches oranges indiquent les sites d'érosion ; les flèches vertes ou jaunes indiquent les sites où le couvert progresse.

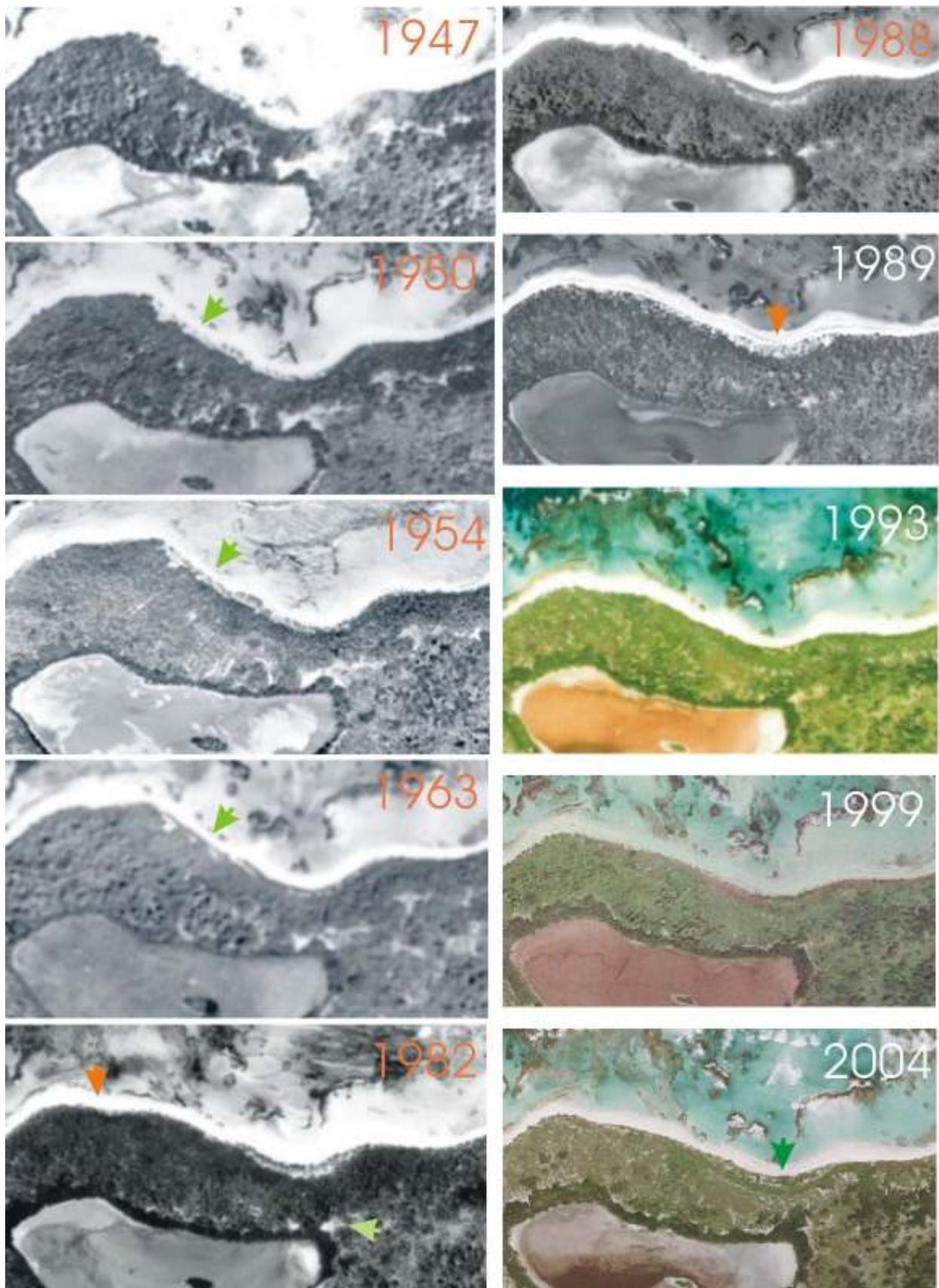


Figure 14: Evolution du couvert végétal au nord de la saline 3. Les flèches oranges indiquent les sites où la couvert régresse; les flèches vertes, ceux où elles progresse.

Discussion : les facteurs de la dynamique

Les résultats obtenus à Petite-Terre

Le retrait de la végétation

Aujourd'hui, 80% du trait de côte mondial est en retrait (Pilkey et Hume 2001). La vitesse de ce retrait est comprise entre le centimètre et la dizaine de mètres par an ; elle dépend étroitement du substrat. Elle est plus rapide sur le littoral sableux qui représente 34% du littoral mondial (Hardisty 1994). Sur les cordons littoraux de la côte atlantique des Etats-Unis, elle atteignait 0,8m/an en 1983 (Dolan et al. 1983 in Drapeau et Mercier 1990).

Selon les estimations obtenues dans le présent travail, la végétation du littoral nord de Terre-de-Bas a régressé en moyenne de 5,8m en 57 ans, soit à peu près 10cm par an, pour une hausse du niveau de la mer de 11cm. Cette quantité n'est pas très importante quand on la compare au retrait moyen de 0,8m/an enregistré sur les cordons littoraux de la côte atlantique des USA (Dolan et al. 1983, in Drapeau et Mercier 1990). L'hypothèse d'un phénomène provisoire ou compensé (*cf.* p. 8) n'est pas recevable.

Il est informatif de rapporter le recul du trait de côte à l'élévation du niveau de la mer. Sur les côtes sableuses, les retraits atteignent parfois 100 fois l'élévation du niveau de la mer (Clark 1983). A Petite-Terre, il n'est que 53 fois supérieur à la hausse du niveau marin, ce qui ne semble pas excessif.

La hausse du niveau des mers ?

Le recul général du trait de côte, à l'échelle de la planète, est dû pour partie à la montée du niveau marin mais aussi à des activités anthropiques localisées telles que les prélèvements de sable, les modifications des courants par des constructions... (Paskoff 1998).

Il y a 21000 ans, le niveau moyen des mers était 120m plus bas qu'il n'est aujourd'hui. La mer n'a cessé de monter depuis. Durant les 6 ou 7 derniers millénaires le niveau marin s'est élevé à une vitesse proche de 2/3mm par an — ce qui représente un taux très faible en comparaison des taux propres aux périodes précédentes. A partir de la décennie 1930-1940, la hausse s'est accélérée pour atteindre 2 à 3mm/an, de sorte que la moyenne pour le XXème siècle atteint 1,7mm/an (Chaumillon et al. 2011). De 1950 à 2005, époque correspondant au lot de photographies analysées, la mer a monté de 11cm (voire un peu plus). Cette estimation repose sur une analyse à l'échelle de la planète qui n'est pas nécessairement applicable à Petite-Terre ou à la Guadeloupe. Sur le littoral de la Nouvelle Orléans, on mesure une élévation voisine de 1cm par an, en raison de la subsidence des terrains (Chaumillon et al. 2011). On ne peut exclure sans précaution l'existence de mouvements imputables à la tectonique locale.

L'accélération de la hausse du niveau des mers, si elle existe, est à peine perceptible mais les prévisions pour le XXIème siècle établissent une élévation comprise entre 18 et 42cm (GIEC 2007) ; l'estimation basse correspond à peu près à ce qu'on mesure depuis cinquante ans, l'estimation haute correspond à un doublement de la hausse (donc une accélération sensible de l'élévation).

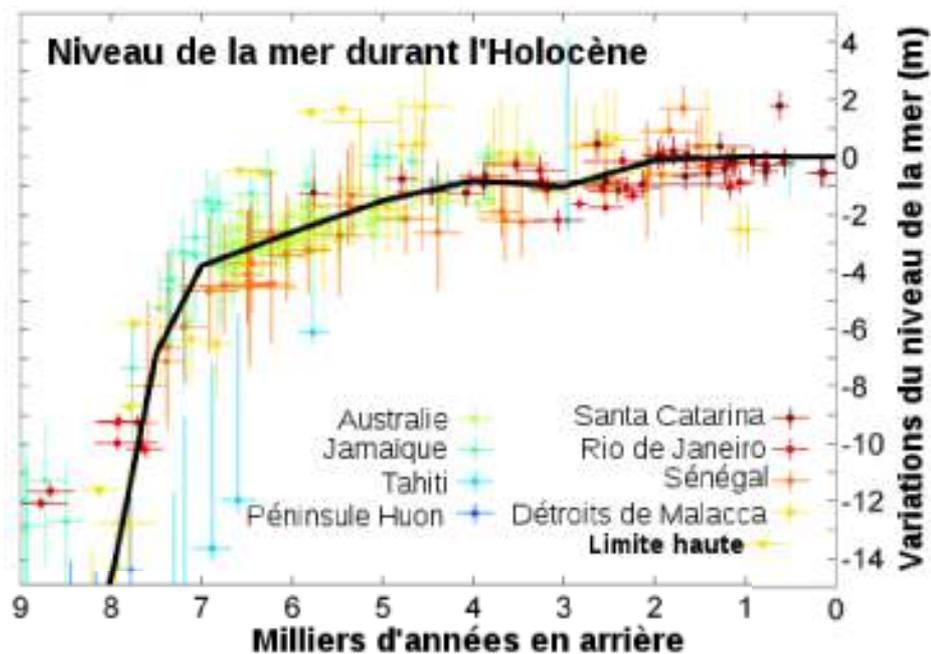


Figure 15: Hausse du niveau des mers durant l'Holocène (source IPCC).

Autres phénomènes impliqués dans l'érosion littorale

L'élévation du niveau marin n'est qu'une manifestation particulière du changement global. Dans le processus qui nous intéresse ici, d'autres phénomènes imputables au changement global peuvent expliquer la dynamique observée à Petite-Terre.

Les modèles numériques montrent que les épisodes climatiques extrêmes devraient être plus fréquents et plus intenses. Les observations relatives aux cyclones dans les Antilles, ne confirment pas cette augmentation. Il semble que si les cyclones sont effectivement plus fréquents, leur trajectoires soient déviées vers le nord de sorte que les changements globaux semblent plus ressentis en Louisiane que dans l'archipel des Petites Antilles.

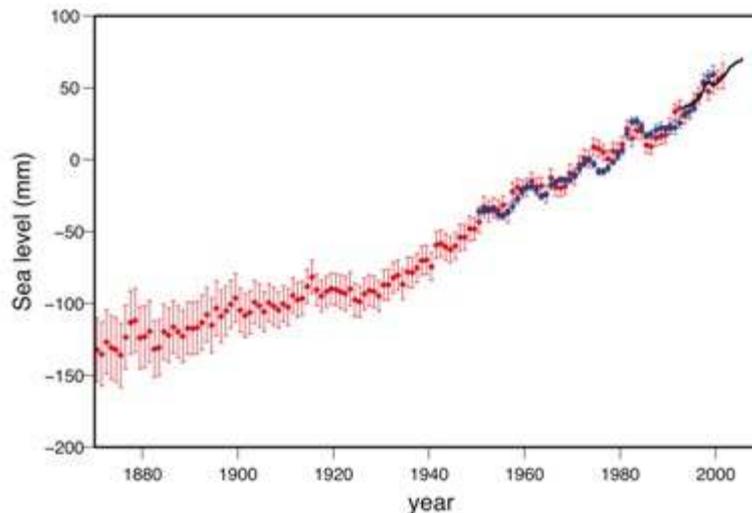


Figure 16: Hausse du niveau des mers depuis 1870. D'abord enregistré par des marégraphes puis, par satellites à partir de 1993 (source IPCC).

Dans l'Atlantique nord, aux latitudes moyennes, la hauteur moyenne des vagues a augmenté de 70cm pendant les 60 dernières années (Chaumillon et al. 2012). Toutefois cette tendance s'atténue vers les basses latitudes et se trouve dé-corrélée de l'oscillation nord-atlantique.

Les informations relatives aux houles, aux vagues et aux épisodes de mauvais temps sont très importantes car l'érosion ne se déroule pas continûment mais dépend davantage de ces événements que directement, de l'élévation du niveau de la mer (Sabatier 2008). Les enregistrements de l'érosion montrent que les côtes protégées de la Floride s'érodent moins rapidement que les côtes exposées aux longues houles (Morton et al. 2005). Cette observation souligne sans doute le rôle des vagues dans l'érosion mais elle ne nie pas le rôle de l'élévation du niveau de la mer : l'érosion opère aussi sur les côtes protégées, elle le fait seulement moins vite. En outre, l'érosion est très certainement un phénomène à seuil : une petite élévation du niveau de la mer, ou une petite intensification des tempêtes, peut provoquer de grandes ablations de terrain (Sabatier 2008).

Compléments

La baisse de la pluviométrie, si elle se confirme, peut avoir une incidence négative sur l'équilibre des lagunes : elle augmente l'intrusion de l'eau de mer dans les lagunes (Greaver et Sternberg 2010).

Les changements climatiques plus détaillés et d'échelle régionales peuvent compléter les généralités précédentes. Les travaux réalisés à Saint-Martin, sur des systèmes littoraux analogues aux nôtres, laissent entrevoir l'existence de changements climatiques importants (Bertran et al. 2004). Une période sèche marquée par de nombreux événements climatiques à caractères catastrophiques (entre 4200 et 2300 BP) aurait précédé une période humide plus stable (entre 2300 et 1150 BP). La troisième période identifiée par ces auteurs (de 1150 à 0 BP) est plus difficile à interpréter, probablement en raison de l'interférence des activités humaines. Ces modifications du climat seraient consécutives au déplacement de la zone intertropicale de convergence.

Mécanismes impliqués dans le retrait

Dans le lagon de Petite-Terre, le courant du lagon, dépend naturellement du courant nord atlantique mais aussi des caractéristiques locales du lagon. L'entrée d'eau marine se fait par la passe orientale qui est barrée par un récif important. Il s'ensuit que si le niveau de la mer augmente, le volume d'eau pénétrant dans le lagon augmente aussi. En outre, puisque les coraux dépérissent et que 70% d'entre eux sont déjà morts, le récif qui jadis affleurait à l'est du lagon, perd son efficacité. La croissance du

corail ne compensant plus son abrasion, et l'abrasion étant elle-même directement fonction de la vitesse du courant, la barrière récifale laisse entrer un débit croissant.

A ce niveau de l'analyse, le forçage global associé au réchauffement climatique se traduit par une accélération du courant dans le lagon. Cette accélération augmente à la fois l'érosion littorale et l'érosion du fond du lagon.

Il est vraisemblable que parallèlement, l'agitation de l'eau à l'intérieur du lagon se soit accrue par suite de l'abrasion de la barrière récifale. Les sédiments résultants peuvent par ailleurs, altérer l'écosystème lagonaire, et notamment les herbiers ; ils peuvent aussi compenser provisoirement l'érosion du fond du lagon.

En somme, l'effet primaire de la hausse du niveau marin est localement amplifié par la situation locale.

A terme, toutefois, l'érosion du fond va augmenter la section du chenal ce qui devrait contribuer à ralentir le courant (ou à en limiter l'accélération). Le bilan des différents processus impliqués devient alors difficile à prévoir ; le lagon devrait progressivement s'ouvrir à l'influence marine et périliter définitivement.

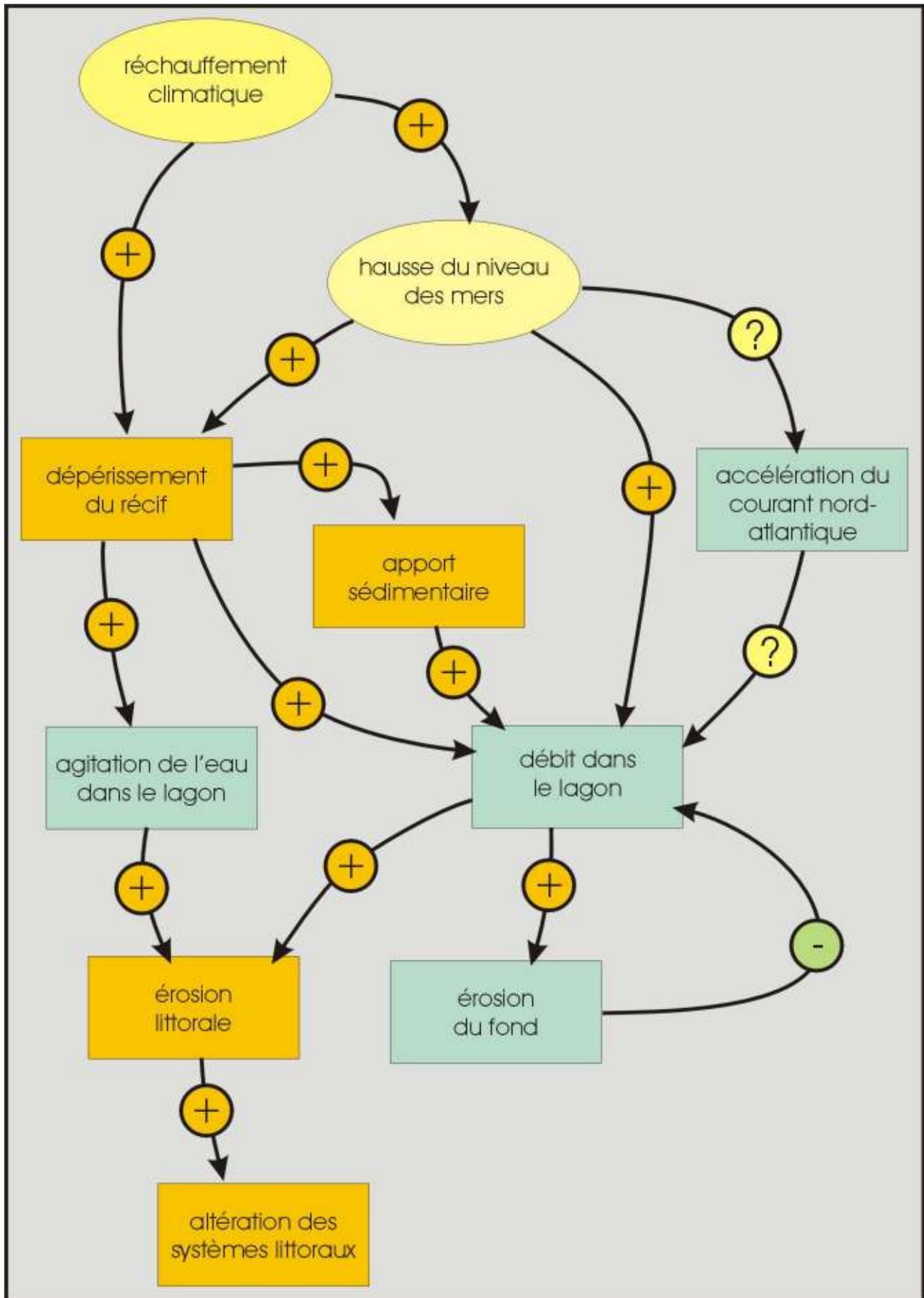


Figure 17: Effets combinés des différentes conséquences du réchauffement global sur le système littoral de Petite-Terre.

L'avenir des systèmes littoraux de Terre-de-Bas

Dans l'hypothèse où le niveau marin continuerait de s'élever à la vitesse actuelle, l'érosion devrait se poursuivre. Il est peu vraisemblable de supposer que dans un tel scénario, la dynamique actuelle s'interrompe. A l'échelle du rivage nord de Terre-de-Bas, la ligne de végétation devrait continuer de reculer, même si localement, quelques pôles d'accrétion peuvent montrer une dynamique progressive.

Il convient de noter que la disparition d'arbres séculaires ne peut pas être compensée par quelques décennies de dynamique successionnelle progressive. Autrement dit, pour que les pertes déjà constatées (et en cours) soient compensées, il faudrait que les sites d'accrétion soient soustraits à l'érosion pendant plusieurs siècles. C'est là évidemment, une éventualité très improbable.

Le déplacement de la ligne de végétation est totalement dépendante de l'équilibre entre les dépôts sédimentaire et l'érosion du cordon littoral sableux. L'installation des plantes fixe sans doute le sable relativement à l'érosion éolienne, mais sur la côte nord de Terre-de-Bas, la présence des plantes n'a pas d'incidence notable sur l'érosion marine ; tout au plus, peut-être, la ralentit-elle quelques temps. Même si les processus hydrodynamiques en jeu sont complexes, leur bilan est simple : le système littoral constitué de la plage, de la dune et de la dépression d'arrière-dune, recule. Il répond ainsi à la montée du niveau de la mer. Le principe en est bien établi (Dolan et Dolan 1983) sur des échelles de temps géologiques comme aussi à partir des mesures directes faites au XXème siècle. Le problème est qu'à Petite-Terre, il ne peut pas beaucoup reculer.

Il semble qu'on puisse imaginer deux scénarios différents à moyen terme.

Selon le **premier scénario**, le retrait est relativement lent et le système [plage, dune, arrière-dune], recule mais reste cohérent. Dans ce cas, l'érosion des plages et de la dune est accompagnée d'un ensablement progressif des lagunes. C'est d'ailleurs ce qui semble se passer sur la saline 1 et peut-être aussi, sur la saline 2. Toutefois la mer ne rompt pas le cordon littoral, même si elle remplit les salines épisodiquement, lors des tempêtes ou des épisodes de fortes houles. L'ensemble du dispositif actuel recule et bien entendu, les forêts d'arrière-dune (à Poiriers, Mancenilliers et Gaïacs) finissent elles aussi par être ensablées. Dans le meilleur des cas, on peut imaginer que les peuplements arénicoles se régénèrent sur leurs limites sud et se déplacent à la même vitesse que l'érosion...

Dans le **second scénario**, l'érosion est trop rapide pour que le système actuel [plage, dune, arrière-dune] puisse reculer tout en restant cohérent. La rupture du système peut être évoquée ici dans ses grandes lignes. L'un des cordons sableux finira par laisser passer l'eau de mer. Les cordons des salines 1 et 2 laissent déjà passer l'eau directement, lors des marées de tempêtes. Ces événements vont se faire plus fréquents jusqu'au jour où l'eau de mer rentrera librement dans les lagunes d'arrière dune. La dégradation du système littoral pourrait alors s'accélérer. Le niveau d'eau dans les lagunes va rester constant. La salinité va égaliser celle de la mer (ce qui signifie que la salinité de certaines lagunes va baisser au moins pendant le carême). Ces conditions pourraient passer pour favorables mais l'eau devrait rapidement miner le cordon littoral et à terme, c'est le cordon lui-même qui devrait disparaître (Figure 18). Pour conséquence de cette évolution, la végétation de dune disparaîtra mais les végétations situées derrière la dune seront inondées (progressivement ou brutalement) par l'eau de mer. Les forêts actuelles à Mancenilliers, Poiriers et Gaïac, les plus vigoureuses de Terre-de-Bas, disparaîtront à leur tour.

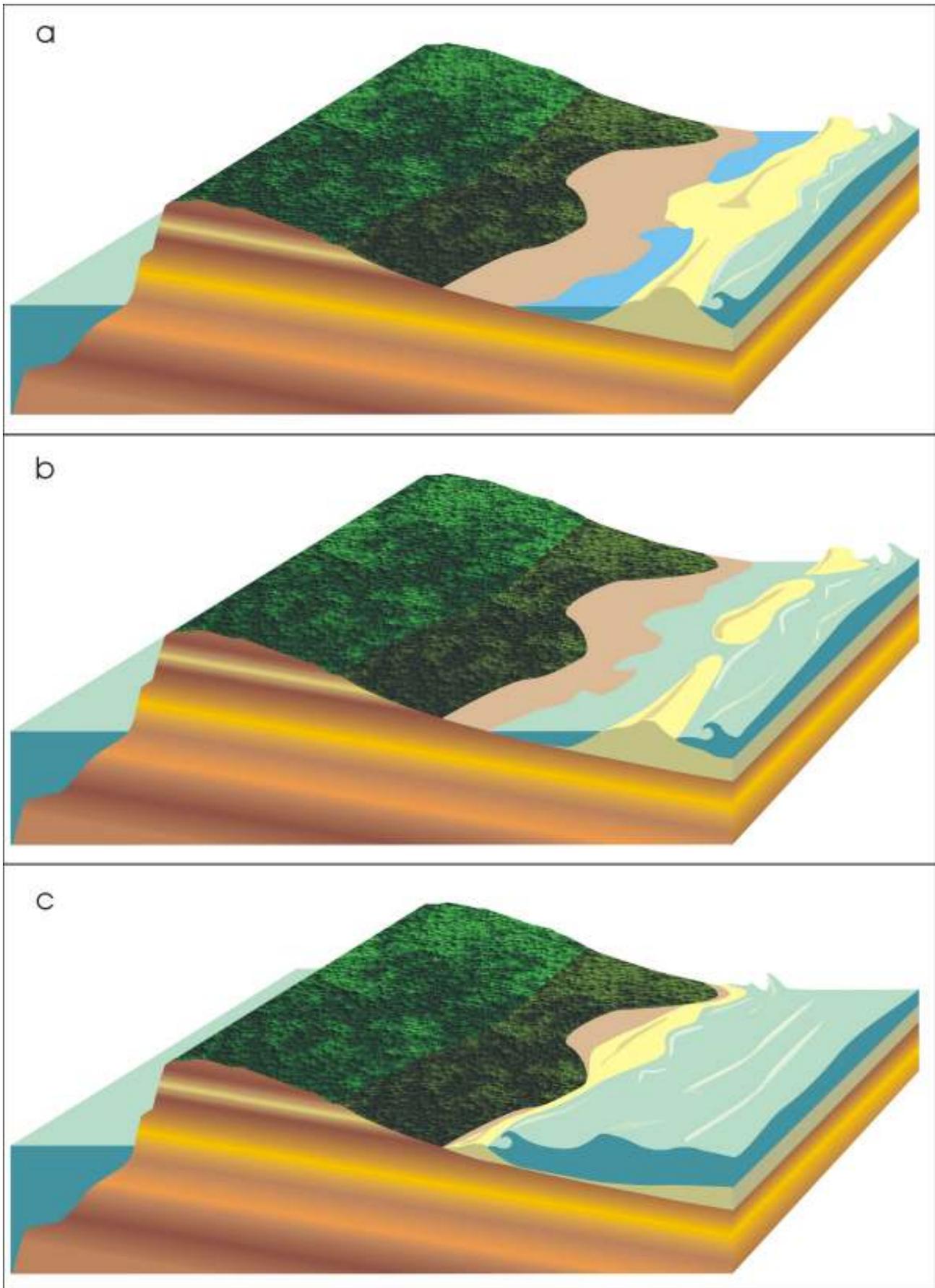


Figure 18: Scénario pour l'évolution du littoral de Terre-de-Bas dans le cas d'une élévation trop rapide du niveau de la mer. La situation actuelle (a) caractérisée par une forte érosion marine, va provoquer la rupture durable du cordon sableux (b). L'intrusion marine dans l'arrière-dune devrait accélérer la disparition du cordon et des forêts d'arrière-dune (c).

Références

- Bertran P., Bonnissent D., Imbert D., Lozouet P., Serrand N. et Stouvenot C. 2004. Paléoclimat des Petites Antilles depuis 4000 ans BP : l'enregistrement de la lagune de Grand-Case à Saint-Martin. *C.R. Geoscience* 336 : 1501-1510.
- Brière C. Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée : l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet. Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, 257 p.
- Chaumillon E., Wöppelmann G., Karpytchev M. et Bertin X. 2011. Mesures et modélisations des évolutions du niveau marin, des vagues, des tempêtes et des évolutions des littoraux pour une gestion durable des littoraux. *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série 9, mis en ligne le 13 juillet 2011. URL : <http://vertigo.revues.org/10947> ; DOI : 10.4000/vertigo.10947
- Clark J.R. 1983. Coastal Ecosystem Management. R.E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 928 p.
- Dolan, R. , Hayden, B. et May, S. 1983. Erosion of the U.S. shorelines, p. 285-299. In P. Komar, edit., handbook of Coastal Processes and Erosion. CRC Press, Boca Raton.
- Dolan R. et Dolan P. 1983. 4. Beachfront protection-III in Clark J.R. ed., Coastal Ecosystem Management. R.E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 928 p., p.572-581.
- Drapeau G. et Mercier O. 1990. Modélisation de l'évolution du littoral des îles de la Madeleine, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 (2) : 217-226.
- Greaver T.L. et Sternberg L.S.L. 2010. Decreased precipitation exacerbates the effects of sea level on coastal dune ecosystems in open ocean islands. *Global Change Biology* 16 :1860–1869.
- IPCC, Climate changes 2001. Chap.11 : Change in sea level.
- GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, (publié sous la direction de Pachauri, R.K. et Reisinger, A.). GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pages.
- Morton R.A., Tara Miller T. et Moore L. 2005. Historical Shoreline Changes Along the US Gulf of Mexico: A Summary of Recent Shoreline Comparisons and Analyses. *Journal of Coastal Research*, 21 (4): 704 – 709.
- Paskoff R., 1998, Les littoraux, Impact des aménagements sur leur évolution, 3ème Edition, Armand Colin, Paris, 264 p.
- Pilkey O.H. & T. Hume, 2001, Coastal Research, The shoreline erosion problem : lessons from the past, *Water and Atmosphere*, 9(2), National Institute of Water and Atmosphere, New Zealand.
- Sabatier F. 2008. Modélisation de l'impact du changement climatique sur l'érosion des dunes. Application à la Camargue. *La Houille Blanche*, 1 (Février 2008) : 40-49.
- Wright J., 2000, Waves, tides and shallow-water processes 2nd Edition, Ed. Butterworth, The Open University Press, 227 p.

Table des matières

Problématique.....	3
Généralités sur l'organisation de l'écosystème littoral	4
<i>La topographie et les substrats</i>	4
<i>Description de la végétation littorale sur substrat sableux</i>	5
Profil stationnaire de la végétation sur littoral exposé.....	5
Etat stationnaire des systèmes d'arrière-dune.....	6
Dynamique du littoral nord de Terre-de-Bas.....	8
<i>Hypothèses</i>	8
<i>Méthodes</i>	8
<i>Résultats</i>	9
Erosion des plages.....	9
Ensablement.....	10
Accrétion de la baie.....	11
Erosion du littoral au droit des salines zéro et un.....	11
Analyse quantitative.....	13
<i>Dynamiques locales</i>	16
Saline 1 (Figure 11, page 19).....	16
Saline 2 (Figure 12, page 20).....	17
Saline 3 (Figure 14, page 22).....	17
La plage du lagon (Figure 13, page 21).....	17
La saline zéro (Figure 13, page 21).....	18
Discussion : les facteurs de la dynamique.....	23
<i>Les résultats obtenus à Petite-Terre</i>	23
Le retrait de la végétation.....	23
<i>La hausse du niveau des mers ?</i>	23
<i>Autres phénomènes impliqués dans l'érosion littorale</i>	24
<i>Compléments</i>	25
<i>Mécanismes impliqués dans le retrait</i>	25
L'avenir des systèmes littoraux de Terre-de-Bas.....	28

Problématique

La Réserve Naturelle de Petit-Terre joue désormais un rôle essentiel dans la conservation du patrimoine naturel antillais. Elle héberge aujourd'hui un lagon sans équivalent en Guadeloupe, tant par la diversité de sa faune que par la densité de ses peuplements. Le succès de la réserve auprès des touristes de tous horizons, est amplement justifié et devrait pouvoir sensibiliser autant les visiteurs que les décideurs à la conservation du patrimoine écologique des îles.

La partie terrestre de la réserve est importante à plusieurs égards : elle héberge un Iguane menacé, *Iguana delicatissima*, un arbre presque disparu des Petites Antilles, le Gaïac (*Guaiacum officinale*), et peut-être encore un Mapou rarissime (*Pisonia dussi*).

La flore de Petite-Terre est relativement riche mais elle a été lourdement affectée par les défrichements, les activités agricoles passées ou encore l'extraction de bois. Aujourd'hui, la statut de réserve joue en faveur d'une progression de la végétation spontanée. Certes, cette dynamique est lente, en raison des conditions arides auxquelles sont soumis les écosystèmes des îlets, mais aussi très vraisemblablement, en raison de l'altération profonde des sols qu'a provoquée, dans nombre de secteurs, les exploitations agricoles passées. Toutefois, vue à l'échelle décennale, la dimension des plantes augmente et le couvert végétal se densifie. Il existe une exception spectaculaire à cette restauration progressive des écosystèmes : la dynamique caractérisant le littoral nord de Terre-de-Bas. Là, de gros arbres certainement très vieux, peut-être pluricentennaires, sont déchaussés par la mer.

Après avoir décrit les principales caractéristiques structurales et floristiques des formations végétales présentes sur le littoral de Terre-de-Bas, nous étudierons son évolution depuis 1947 en interprétant les couvertures aériennes disponibles (page 8). Enfin, nous interpréterons les résultats obtenus en essayant de comprendre les mécanismes à l'oeuvre (p. 23) et en tentant de prévoir l'évolution prochaine du littoral (p.28).

Généralités sur l'organisation de l'écosystème littoral

La topographie et les substrats

Pour analyser et comprendre les phénomènes généraux qui déterminent l'évolution du couvert végétal, il faut livrer ici une description rapide la topographie de Terre-de-Bas. Les points culminants de l'îlet sont situés dans la moitié orientale de son littoral sud. Sauf à l'extrémité occidentale du territoire, ce littoral est rocheux et donc non mobile. Au nord de l'îlet, au contraire, s'étendent sur 2,5 km de longueur, des plages sableuses, parfois précédées par des croissants de *beach-rock*.

En résumé, Terre-de-Bas est un plateau calcaire incliné, dont la surface s'enfonce dans la mer vers le nord. La côte sud est alors constituée par une petite falaise, de quelques mètres, parfois ébréchée par une plage décamétrique. La côte nord est régie par l'hydrologie marine. Comme partout, dès que la mer est active, elle édifie un cordon littoral sableux. On fait abstraction ici des littoraux calmes, totalement soustraits à la dynamique marine, où se développent systématiquement des mangroves.

L'édification du cordon littoral est dépendante du mouvement des vagues, alternatif et normal au trait de côte, mais aussi du « courant de dérive », parallèle au trait de côte.

Aujourd'hui, à l'ouest, le trait de côte est soumis aux fortes vagues. Les épisodes de « houle de nord » qui interviennent surtout en début d'année (janvier, février...), déterminent une barre spectaculaire au coin ouest de Terre-de-Haut ; cette barre déferle violemment sur la plage, à la hauteur des salines 2 et 3.

A Petite-Terre, le courant de dérive est très rapide ; généré par le courant nord-atlantique, il circule d'est en ouest, à une vitesse moyenne de l'ordre du nœud. Accélééré dans le goulet formé entre les

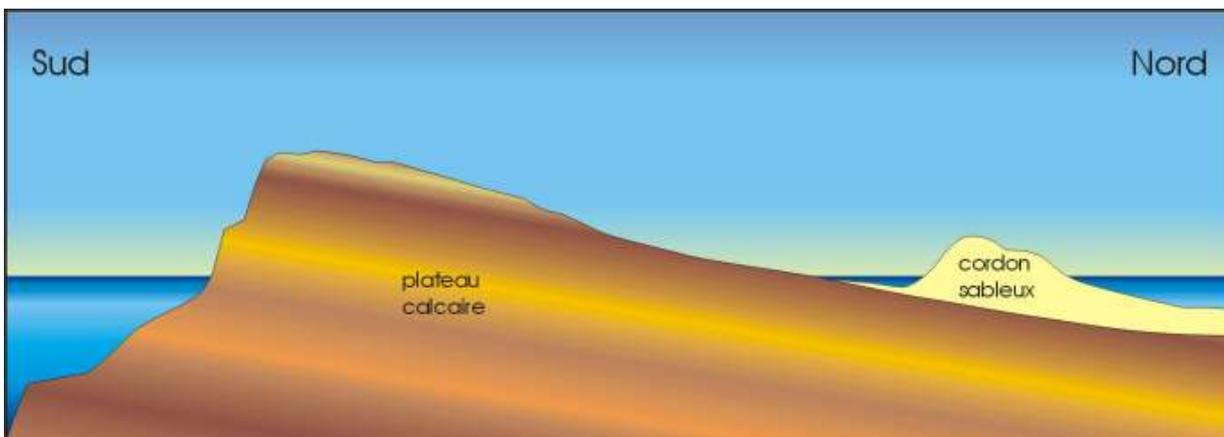


Figure 1: Profil géologique schématisé de Terre-de-Bas. Le contraste topographique des deux littoraux nord et sud, est imputable au pendage du plateau calcaire. Le cordon littoral sableux piège des lagunes.

deux îlets, il atteint sa vitesse maximale là où le lagon est le plus étroit. Il perd sa rapidité lorsque le lagon s'élargit et s'approfondit vers l'ouest. En somme, quand le courant de dérive ralentit, le mouvement des vagues s'intensifient – et inversement.

Description de la végétation littorale sur substrat sableux

Les formations végétales établies sur le littoral sableux, et qui forment aujourd'hui la limite de la végétation terrestre, revêtent plusieurs faciès. Cette diversité inattendue indique que la végétation est soumise à des perturbations variées, accidentelles, et différentes selon l'endroit. Il est difficile et fastidieux de décrire systématiquement tous les faciès rencontrés le long d'un parcours linéaire mais, après examen, on peut établir le profil type d'un littoral stationnaire arénicole exposé au vent.

Profil stationnaire de la végétation sur littoral exposé

La plage de sable peut avoir différentes formes. La pente sableuse qui joint le niveau moyen de la mer au sommet du cordon littoral, peut être régulière, avec un pendage tantôt faible, tantôt prononcé. Elle peut aussi montrer des niveaux distincts, séparés entre eux par des dénivelés abruptes généralement inférieurs à un mètre de hauteur.

Ces profils sableux dépendent directement du dernier épisode de mer forte et ne durent guère. Ils sont effacés et remodelés par un « coup de vent » ou par « la houle de Nord ». Certains de ces épisodes peuvent néanmoins affecter durablement le cordon littoral et modifier en conséquence les écosystèmes qui en dépendent.

Dès que le substrat sableux reste localement stable pendant quelques mois, des diaspores anémochores ou hydrochores permettent l'établissement de la végétation.

1- Les plantes herbacées qui colonisent le sable nu sont peu nombreuses. *Chamaesyce* manifeste une adaptation remarquable à cette situation où le vent véhiculant embruns et grains de sable, contribue à rendre la situation peu propice.

La colonisation par les plantes intervient sur les hauts de plage horizontaux mais pas sur les talus dont la déclivité témoigne de l'action des vagues. Il convient de noter que *Sporobolus virginicus*, fréquente en situation littorale, ne participe pas à la colonisation ici décrite. De même, la patate bord-de-mer (*Impomoea pes-caprae*) est absente alors qu'elle couvre la plage où abordent les touristes.

2- Derrière la phase de colonisation herbacée, s'installent des espèces buissonnantes. Dans les sites les plus exposés, il semble que *Argusia gnaphalodes* soit la plus fréquente des candidats ligneux. Il convient cependant de citer *Suriana maritima* et *Borrchia arborescens* qui localement peuvent remplacer *Argusia*. *Borrchia* est moins abondante que les deux autres espèces et *Suriana* est assez régulièrement située derrière les premiers bas fourrés et dans cette situation plus abritée, adopte un port plus élané.

Ces trois espèces se ressemblent au sens où elles possèdent un épiderme glauque, pileux chez *Argusia* et *Borrchia*, et surtout des feuilles assemblées en pseudo-rosette à l'extrémité de rameaux équivalents. Ces caractéristiques architecturales permettent aux plantes d'adopter des ports en coussin très similaires, au moins dans les situations exposées au vent. Les fourrés constitués par ces plantes sont très denses et atteignent 1,5m. Les espèces, en particulier *Suriana maritima*, peuvent très largement dépasser ces dimensions mais alors, progressivement, elles perdent leur port en coussin ; en outre elles ne s'allongent qu'en situation relativement abritées.

3- Derrière les fourrés-bas précédents, se trouvent très régulièrement un fourrés de raisin-bord-de-mer (*Coccoloba uvifera*). Il s'agit d'une espèce susceptible de développer des arbres de taille importante ; en situation forestière, mais pas à Petite-Terre, on peut voir des *Coccoloba* d'une quinzaine de mètres de hauteur.

Le pseudo-fruit du raisinier implique la possibilité d'une dissémination zoochore mais il est vraisemblable que les graines soient véhiculées par la mer, dans la mesure où le séjour dans l'eau salée ne dure pas trop longtemps. L'abondance de *Coccoloba uvifera* est notamment imputable à sa plasticité architecturale et morphologique qui lui permet de réaliser l'interface fourré-forêt.

4- Derrière le rideau à *Coccoloba uvifera* s'installent des végétations qui ne manifestent plus d'adaptation aux contraintes spécifiquement littorales. Ces végétations supportent le vent et l'aridité de Petite-Terre mais, sous une forme très semblable, elles vivent loin de la côte, en Grande-Terre ou ailleurs. Dans sa version évoluée, et dans la mesure où le substrat ne change pas, cette végétation est une forêt à *Tabebuia heterophylla* ou parfois à *Hippomane mancinella*, ou encore plus rarement, un bois de *Pithecellobium unguis-cati*... Dans sa version dégradée, la végétation derrière le rideau à *Coccoloba* se réduit à un fourré de *Lantana*, où se mêlent parfois *Caesalpinia bonduc* (*C. ciliata* aussi).

Les quatre formations décrites ici se succèdent le long d'un transect perpendiculaire à la ligne de rivage quand celle-ci est durablement stable. Evidemment, lorsque l'érosion marine intervient, elle affecte le profil précédent tantôt jusqu'aux fourrés bas, tantôt jusqu'au rideau à *Coccoloba*, tantôt même jusqu'à la végétation interne quel qu'en soit l'état. S'ensuit alors de la part de l'écosystème, une réaction qui dépend à la fois de la contraintes imposée par la nouvelle situation et de l'état de la biocénose impactée.

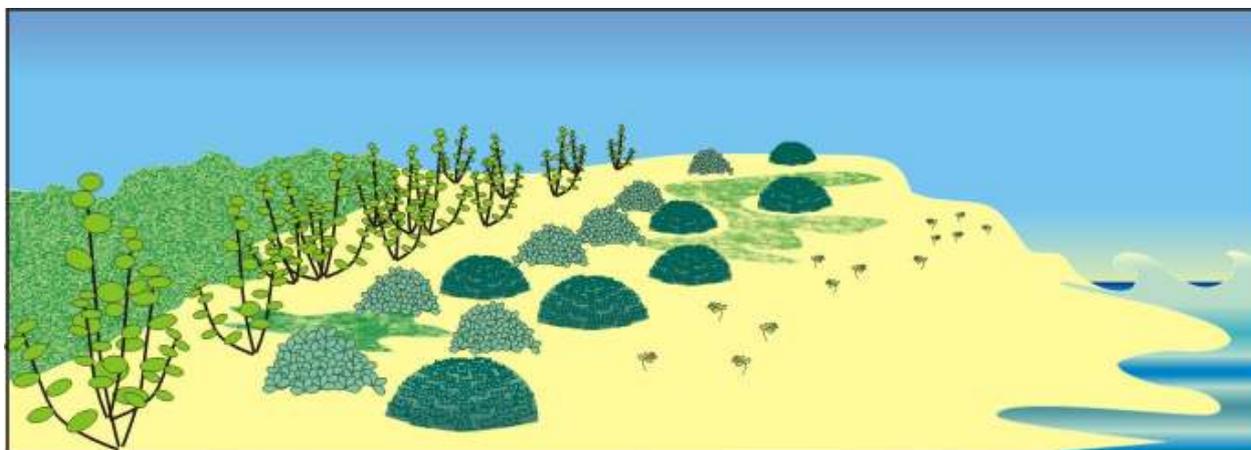


Figure 2 : "Succession" stabilisée sur cordon littoral. De droite à gauche, se répartissent (1) des herbacées éparses, (2) des buissons en coussins, des arbres cespiteux et finalement des fourrés ligneux (*Lantana*). A terme, derrière les Raisiniers (*Coccoloba*) et les *Suriana*, une forêt viendra remplacera les fourrés à *Lantana*.

Etat stationnaire des systèmes d'arrière-dune

Derrière le cordon littoral sableux, on trouve à Terre-de-Bas, comme aussi partout au monde dans des situations analogues, une dépression caractéristique, souvent occupée par des lagunes et parfois même, par des étangs salés en contact direct avec la mer (Clark 1983). A Terre-de-Bas, les lagunes, qu'on appelle « salines », ne sont pas ouvertes. L'eau de mer qui les alimente doit percoler à travers le cordon sableux. Ceci suppose que le niveau des salines est approximativement celui de la mer.

La plupart du temps, pour les salines 1 et 2, comme aussi dans une moindre mesure, pour la saline 3, le débit de percolation de l'eau de mer (dont la salinité avoisine 36g/l) est faible et la salinité des saline est supérieure à celle de la mer. Il arrive même en carême, au plus fort de la saison sèche, que se forme sur le pourtour des lagunes, une pâte constituée de sel cristallisé à peine mouillé. Quand il pleut beaucoup, au contraire, la salinité de l'eau des salines décroît.

A Terre-de-Bas, dans la dépression d'arrière dune et entre les lagunes, prennent place des forêts, ou des fourrés que l'activité de l'homme a substitué aux forêts. Ces formations d'arrière-dune vivent exactement là où pourraient s'étendre des lagunes. En fait ces formations ont colonisé des espaces préalablement occupés par des lagunes asséchées (Rousteau 1995). Au plan écosystémique, la séquence des événements est la suivante : la formation d'un cordon littoral isole des lagunes, l'épaississement du cordon sableux confine de plus en plus les lagunes qui tendent à s'assécher de

plus en plus souvent et pour des périodes de plus en plus longues. Les pluies évacuent progressivement la salinité résiduelle du sol et permettent la colonisation par des plantes de moins en moins halophiles.

La succession des formations ligneuses, telle qu'on peut la déduire des différents faciès observables à Terre-de-Bas comprend une première étape à *Conocarpus erecta*, suivie progressivement par l'installation de *Hippomane mancinella*. Finalement, dans les situations les moins salées, *Tabebuia heterophylla* et *Guaiacum officinale* viennent s'ajouter au cortège et deviennent dominants tandis que d'autres espèces enrichissent progressivement la composition floristique du sous-bois.

Bien sur, cette succession idéale peut être interrompue, voire renversée, si des événements catastrophiques interviennent. La dynamique actuelle de la saline zéro pourrait fournir un exemple très instructif d'une telle anomalie.

Dynamique du littoral nord de Terre-de-Bas

Hypothèses

Depuis une dizaine d'années, les arbres du littoral nord, entre la plage du lagon et la saline 2, basculent dans la mer. Des Gaiïacs de gros diamètre font partie des victimes de cette érosion marine spectaculaire. On peut supposer que ces arbres avaient plus de cent ans, peut-être plus de 150 ans, ce qui suggère évidemment que la mer n'avait pas affecté le boisement littoral depuis cette lointaine époque. Au moins dans certains secteurs des plages nord, il apparaît donc que la mer avance au détriment du littoral et que ce mouvement n'est pas un accident passager, résultant d'une dynamique alternative à courte période comme on en voit sur toutes les plages. On peut alors émettre deux hypothèses.

Hypothèse 1 : le retrait du littoral observé dans certains secteurs, est compensé par une tendance opposée dans d'autres secteurs du même littoral. Dans ce cas, les matériaux prélevés par l'érosion marine en un lieu, sédimentent ailleurs, sans doute transportés par le courant. Tant que les sédiments ne sont pas définitivement exportés hors du lagon, on devrait assister à un phénomène globalement stationnaire : l'accrétion compensant l'érosion à l'échelle du littoral nord de Terre-de-Bas.

Hypothèse 2 : les processus d'érosion ne sont pas compensés par l'accrétion. Le bilan à l'échelle du littoral nord est déficitaire et les produits de l'érosion sont exportés hors du lagon, sans être compensés par d'éventuels apports extérieurs. Dans ce cas, la dynamique observée pourrait être durable, engagée depuis plusieurs décennies et provoquée par un phénomène à grande échelle. On peut évoquer évidemment, la hausse du niveau marin qui est convenablement enregistrée depuis 1870 et qui s'est accélérée à partir de 1930-1940.

Méthodes

Pour aborder ces questions et tester les hypothèses précédentes, on dispose de photographies prises par les avions de l'Institut géographique National. Ces photographies nous ont été confiées par l'Office National des Forêts, gestionnaire de la Réserve. La première image date de 1947 et nous avons analysé toutes les images disponibles entre 1947 et 2004 : 1947, 1950, 1954, 1963, 1983, 1988, 1989, 1993, 1999 et 2004. Les intervalles entre ces prises de vue sont étrangement irréguliers et leur qualité respective est très inégale. L'image de 1989 est définitivement inexploitable : la saline zéro et la saline 1 ont disparu, l'îlet de Terre-de-Bas en est raccourci de quelques centaines de mètres. Certaines images sont aussi trop floues pour permettre une analyse suffisamment précise.

La séquence de ces images ne permet pas de mesurer les mouvements erratiques du rivage et de la plage, mouvements qui sont provoqués par les marées, les épisodes de houle, les tempêtes ou les cyclones... En revanche, ces images permettent, sans difficulté d'interprétation, de suivre les variations de la limite du couvert végétal. Elles permettent de mesurer la cinétique de la végétation littorale dans la mesure où, bien entendu, on est en mesure de superposer les images.

Les images de 1999 et de 2004 sont des ortho-plans. Les images antérieures sont relativement déformées par les modalités de prises de vue (trajectoire, assiette et altitude de l'avion, déformation optique liée aux objectifs utilisés...). Il est donc nécessaire de redresser les images afin de pouvoir les superposer et de pouvoir évaluer les mouvements de la ligne de végétation littorale.

L'opération de redressement des images a présenté de grosses difficultés techniques. Les raisons sont de deux ordres. D'abord les amers (points de référence) convenables, ne prêtant pas à interprétation, sont rares à Petite-Terre. D'ailleurs, la forme même des îlets, très allongés dans le sens est-ouest, n'est pas optimale pour équilibrer la répartition des amers et donc, pour calculer les déformations. En second lieu, la qualité des amers, c'est-à-dire la précision des coordonnées qu'on leur attribue, dépend directement de la qualité de la photo. Quand la position d'un amer n'est pas

suffisamment précise, elle affecte négativement l'opération de redressement se sorte qu'on obtient une meilleure superposition en omettant cet amer.

Les difficultés rencontrées nécessitent l'estimation d'une erreur moyenne, pour chacun des redressements effectués. Le tableau suivant indique les erreurs constatées en mesurant le décalage des amers, relativement aux orthoplans de 1999 et de 2004.

Date de l'image	Erreur moyenne (m)	Orientation de l'erreur moyenne
1947	1,15	NE
1950	4,8	O
1954	5,475	NO
1963	5,9	S
1982	1,8	(S)E
1988	2,15	O
1993	2,575	SE

L'erreur moyenne maximale correspond à l'image la plus altérée du lot, celle de 1963. L'importance de ces erreurs est de nature à limiter les interprétations. Toutefois, l'examen de la littérature scientifique montre que, pour des problématiques analogues et à partir de photographies de même époque, il est difficile d'améliorer le redressement et de diminuer les erreurs (Drapeau et Mercier 1990). Les informations récupérées auprès des universitaires spécialisés dans le traitement d'images (E. Grandchamp) confirme qu'il est difficile d'améliorer nos redressements. En gros, on doit admettre que pour ce type de travail, une erreur linéaire de 5m est tout à fait normale (Drapeau et Mercier 1990).

Résultats

Erosion des plages

Les formations végétales situées au nord de la saline 3 ont été largement affectées par l'érosion marine. Depuis les années quarante, la limite de la végétation n'a cessé de régresser. La comparaison des différentes images disponibles ne permet pas de mettre en évidence une période durant laquelle l'érosion aurait agité plus rapidement. Il semble alors, sans qu'on puisse en préciser les causes, que l'érosion s'est traduite par un recul plus ou moins régulier de la ligne de végétation. Au nord de la saline 3, entre 1947 et 2004, le couvert végétal a reculé à la vitesse moyenne de 6,7 mètres par dizaine d'années. Bien entendu, cette érosion n'est pas continue ; des tempêtes, des marées de tempête, des coups de vent, des houles de Nord... provoquent en quelques heures, des retraits significatifs mais l'observation n'indique aucune accélération du processus à un pas de temps décennal. En effet, quand on rapporte les retraits observés à leur durée respective, l'important retrait intervenu entre 1963 et 1982 n'est pas plus rapide que les autres. La même observation vaut pour la plage du lagon (Figure 4). Quoique les mesures ne soient pas suffisamment précises pour le démontrer, il semble qu'avant 1963, les plages aient été presque stables.

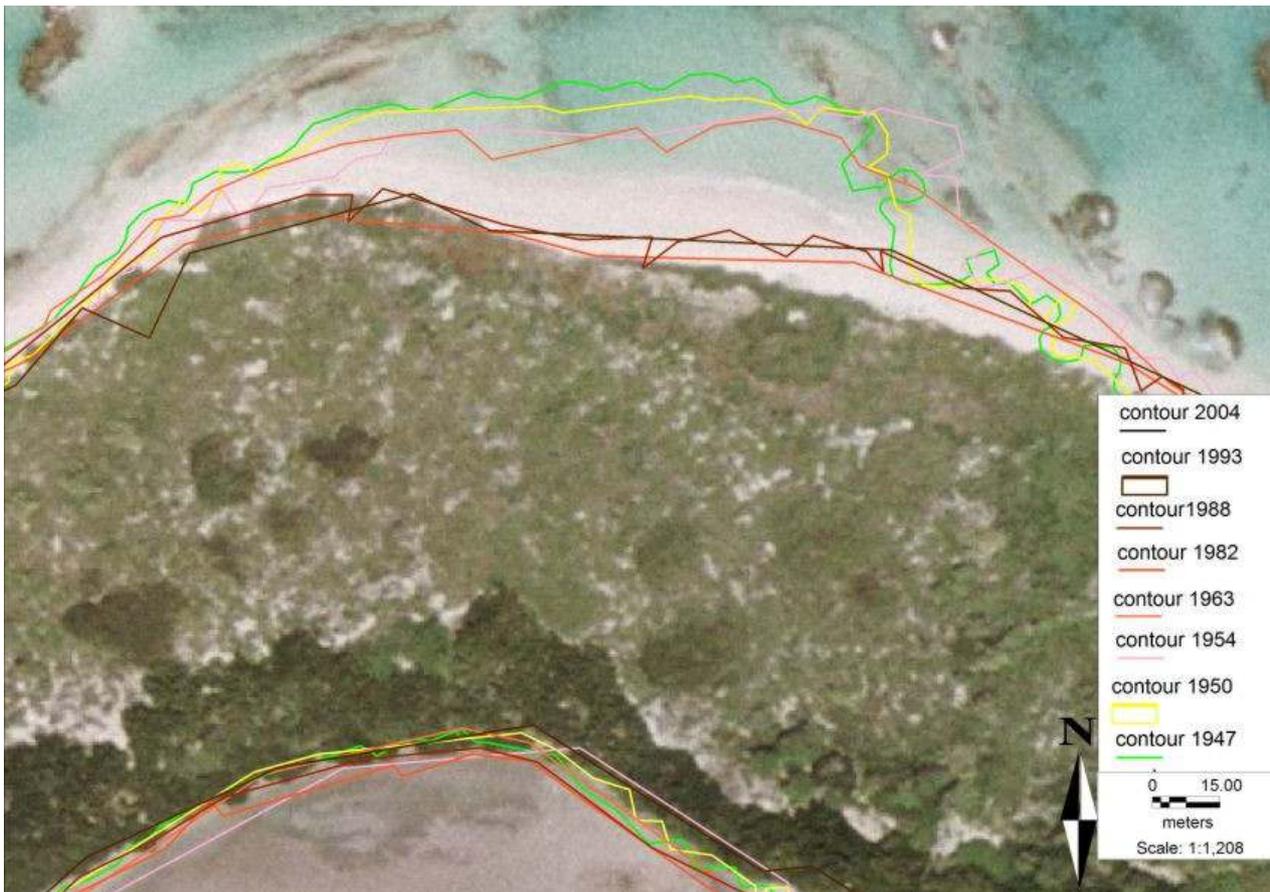


Figure 3 : Dynamique de l'érosion au nord-ouest de la saline 3.

Ensablement



Figure 4 : Dynamique de l'érosion sur la plage du lagon.

Le cocotier laissé à proximité de la pointe à sable, a été déraciné par la mer. Il a été ensablé en quelques heures (selon Alain Saint-Auret). Il est désormais réduit à une rosette de feuilles adultes étrangement posée à la surface de la dune qui témoigne d'une accumulation de sable supérieure au

mètre.

Par endroit, les arbres du cordon littoral présentent plusieurs troncs divergeant au ras du sable. Dans plusieurs cas, ces troncs qui ressemblent à des rejets basaux ont pu être rapportés à des ramifications issues d'un axe érigé mais profondément ensablé. L'ensablement affecte fréquemment les fourrés bas mais au nord de la saline, un houppier de Gaïac surmontant un tapis de *Sesuvium*, se trouve à peine en retrait de l'actuel fourré à *Argusia* et témoigne de l'existence passée d'une forêt à ce niveau. Il est vraisemblable que la mer soit venue jusqu'à la lisière de la forêt, que le Gaïac soit un rescapé de l'ancienne formation forestière détruite et qu'il ait été ultérieurement enseveli sous un ou deux mètres de sable.



Figure 5 : Dynamique de l'accrétion dans la baie (nord-est de la saline 3).

Accrétion de la baie

Un processus d'accrétion se développe dans l'anse située au droit de l'extrémité orientale de la saline 3. La dynamique progressive dans ce secteur, se traduit par une succession de formations végétales distinctes qui s'alignent parallèlement à la plage. Les bandes de végétation sont visibles sur les photographies aériennes et forment un croissant.

Erosion du littoral au droit des salines zéro et un

A l'est de la saline zéro s'étend un bois de Poirier et de Mancenillier (*Tabebuia heterophylla* et *Hippomane mancinella*). Depuis ce bois, on peut voir la mer vers le Nord. Une pareille perspective, est en principe fermée par un rideau à *Coccoloba uvifera* mais dans le cas présent, ce rideau a été emporté par la mer.



Figure 6 : Dynamique de l'érosion au niveau de la saline 2.

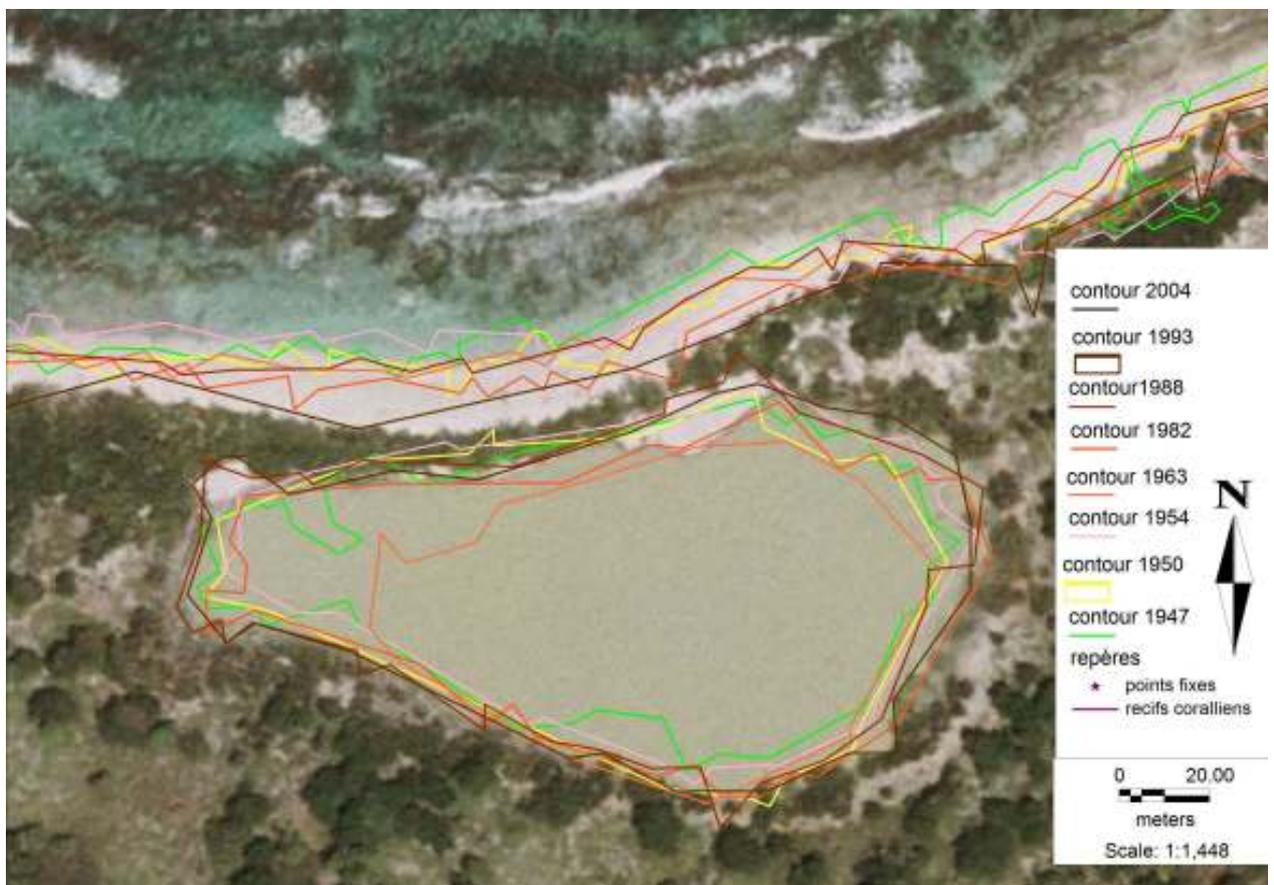


Figure 7 : Dynamique de l'érosion au niveau de la saline 1.

Analyse quantitative

La ligne de végétation est facile à repérer sur les photographies produites par l'IGN. La végétation, toujours sombre, contraste fortement avec le sable blanc du cordon littoral et des plages. Les déplacements observables témoignent de l'érosion marine mais ils le font d'une façon indirecte, sans qu'on puisse rapporter les mouvements relativement rapides liés aux épisodes climatiques intenses.

La présente analyse est limitée à la comparaison des limites des années 1947 et 2004. Les mesures sont réalisées sur les photographies redressées (orthorectifiées). Quarante cinq points sont répartis le long du littoral, tous les 50m. Les mouvements du couvert végétal sont mesurés en chacun des 45 points, le long d'axes perpendiculaires à la limite de végétation.

En moyenne, sur les 2250 m analysés, le couvert végétal a diminué de 1,3 hectare en 57 années. Au regard de l'étendue de l'îlet, cette perte est considérable.

La ligne de végétation en moyenne, a reculé de 5,84m en 57 ans. Rapporté à l'année, ce recul s'établit à 0,1m par an.

Cette quantité moyennée sur une distance de 2250m, représente un bilan. Si la plupart des mesures sont négatives et montrent que la végétation littorale recule, dans certains cas, on observe une avancée du front de végétation. En observant la courbe représentant le déplacement de la limite de végétation, on remarque une tendance oscillante. Cette hypothèse a fait l'objet d'une vérification. On calcule la transformée de Fourier de la courbe redressée (Figure 9 et Figure 10). Deux fréquences coexistent dans le signal. La première fréquence (0,1111) correspond à une longueur d'onde de 450 m. Elle présente une amplitude importante, d'environ 25m mais cette amplitude varie très nettement. Elle est maximale au droit de la saline 3 et à l'autre extrémité du segment étudié, devant le lagon, à l'est de la saline zéro. Le second signal (fréquence = 0,288889) a une longueur d'onde de 173m. Il est nettement moins significatif que le premier.



Figure 8: Mesures réalisées sur le littoral nord de Terre-de-Bas. L'image est l'orthoplan de 2004.

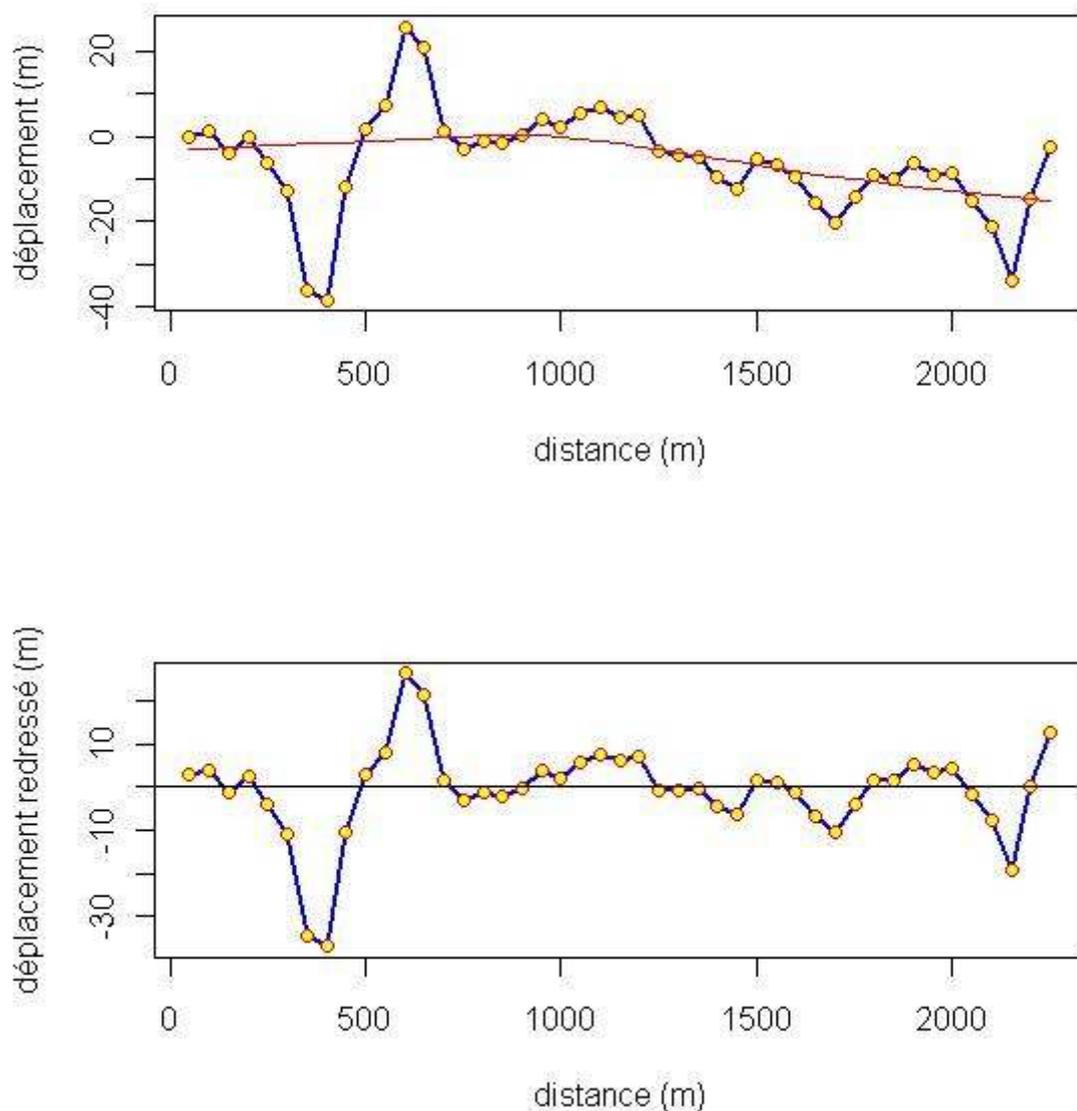


Figure 9: Le déplacement de la ligne de végétation à Terre-de-Haut, entre 1947 et 2004. Le déplacement de la limite de la végétation est mesuré en 45 points, distant de 50m, le long du littoral nord. En haut, le déplacement réel (courbe bleue et points) est « lissé » (courbe rouge) pour extraire la tendance général du déplacement. En bas, le déplacement réel est diminué de la tendance précédente.

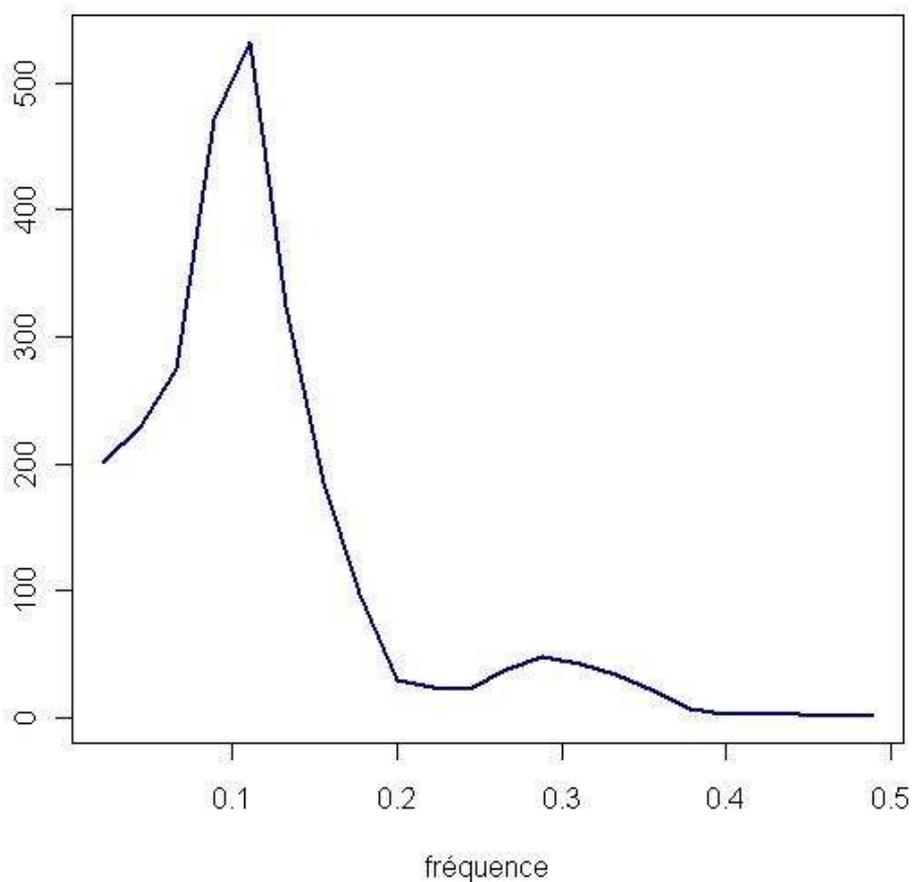


Figure 10: Périodogramme du déplacement de la ligne de végétation. Le calcul de la transformée de Fourier permet d'extraire deux fréquences distinctes du signal redressé : 0,1111 et 0,2889.

Dynamiques locales

Saline 1 (Figure 11, page 19)

Le cordon de la saline 1 ne subit pas de changement notable jusqu'en 1963. Entre 1963 et 1982, il subit sans doute une intrusion marine catastrophique qui détruit une partie des ligneux en place. Entre 1982 et 1988, la végétation semble se restaurer, sans pour autant que soient reconstitués les houppiers des arbres disparus. Entre 1988 et 1993, la végétation est lourdement affectée par une autre intrusion catastrophique qui notamment, a mis en place la langue de sable qu'on connaît encore aujourd'hui. Il n'est pas possible de vérifier le rôle éventuel du cyclone Hugo dans cette modification car l'image de 1989 dont nous disposons se trouve amputée des salines 1 et zéro (la saline 2 est ainsi raccordée directement à la plage du lagon).

Dès lors, la végétation au niveau de la langue de sable est limitée à un houppier de Gaïac. Des petits ligneux vont restaurer partiellement la végétation. Après 2004, des *Sesuvium portulacastrum* vont

progressivement constituer un tapis qui tend à recouvrir la langue de sable. Les dernières photographies auraient permis de compléter cette description mais aucun phénomène important ne semble avoir affecter négativement le cordon durant les dix dernières années.

Saline 2 (Figure 12, page 20)

Avant 1963, le paysage ne semble pas changer significativement. Entre 1963 et 1982 est intervenue un phénomène destructeur qui a réduit le couvert végétal du cordon littoral sur toute sa longueur. En outre, l'altération de la végétation s'observe aussi sur les rives intérieures de la saline 2. Dans ces situations, les dégâts ne semblent pas devoir être imputés directement à l'érosion marine. Elle serait en partie liée à une sur-salure. Il est possible que l'intrusion d'eau de mer associée à une marée catastrophique ait provoqué une salinité hors norme après évaporation de la saline. En saison sèche, aujourd'hui toujours, la saline 2 perd son eau et les bords en sont recouverts d'une pâte de sel. Une telle salinité est létale pour les plantes comme pour les animaux. A la fin du carême, lorsque les pluies remplissent à nouveau la lagune, l'eau prend une soudaine coloration rouge due au développement explosif de micro-organismes.

En 1989, on remarque une altération de la couverture végétal du cordon littoral. La végétation paraît mitée et des espaces sableux nus apparaissent entre les plantes. Il est très probable que cette altération soit due au cyclone Hugo. Cette fois, il ne semble pas y avoir de désordre sur les rives internes de la saline. Mais après, en 1993 et surtout en 2004, les rives sont marquées par une mortalité très visible. La langue de calcaire qui sépare la lagune en deux est totalement dénudée en 2004. Ces altérations des rives et de la langue calcaire est vraisemblablement associée à des sur-salinités répétées ou constantes.

Saline 3 (Figure 14, page 22)

De 1947 à 1963, il semble que la végétation pionnière s'établisse lentement sur la façade nord-est du cordon. Parallèlement, au coin nord-est de la saline (flèche verte sur l'image de 1982), les ouvertures (taches claires sur l'image de 1947) se combrent progressivement. Aujourd'hui, il s'agit d'un bois de mancenilliers.

Entre 1963 et 1982, une grande partie de la végétation située au nord-ouest de la saline est détruite. C'est le phénomène le plus important qu'on puisse enregistrer sur le rivage nord de Terre-de-Bas. Il n'est pas possible de dire s'il résulte d'un processus continu ou d'épisodes climatiques extrêmes. De 1982 à 2004, seule la végétation de la baie (flèche verte de l'image de 2004) paraît se reconstituer. Interrompue, ou affectée par le cyclone Hugo (voir image de 1989), cette dynamique se maintient encore aujourd'hui.

La plage du lagon (Figure 13, page 21)

Jusqu'en 1963, la ligne de végétation semble évoluer lentement. Le rideau littoral exposé au nord semble s'amincir mais le phénomène est peu sensible. On observe une légère progression sur la plage du lagon mais il est difficile de distinguer les tapis herbacés se développant sur la plage (*Sesuvium* par exemple), des laisses de mers.

Entre 1963 et 1982, l'érosion affecte significativement le rideau de végétation littorale. L'examen sur le terrain, encore aujourd'hui, est explicite. Le rideau de *Coccoloba* qui se développe au vent de la plage disparaît soudainement lorsqu'on passe la pointe nord et qu'on se déplace vers l'ouest. Il est clair sur les photographies que ce rideau se prolongeait loin vers l'ouest avant 1982 (même s'il semblait perdre de l'épaisseur au début des années soixante).

La photographie de 1989 n'est pas exploitable mais le cyclone Hugo (1989) ne paraît pas avoir laissé d'impact durable à ce niveau du cordon littoral. Jusqu'en 2004 d'ailleurs, la situation semble stationnaire. Ce jugement semble paradoxal car c'est sur ce littoral qu'on voit les arbres tomber dans

la mer. Le Gaïac « n°1 » va basculer incessamment dans la mer ; la moitié de son système racinaire est mis à jour. En 2005, il était encore à 3 ou 4 mètres du talus. Le panneau qui signalait le Gaïac aux promeneurs a dû être enlevé parce que la mer avait déchaussé son embase. L'érosion a certainement accéléré depuis 2004 sur ce site et il est dommage que nous n'ayons pas pu obtenir de photographies plus récentes (2010).

La saline zéro (Figure 13, page 21)

La saline zéro semblait boisée, au moins partiellement, avant 1982. Il est difficile cependant d'interpréter les photo sur ce point. A partir de cette date, la saline paraît ouverte. En 1993 l'ouverture s'est agrandie et en 2004 l'ouverture a encore progressé. Les souches de *Conocarpus* morts se trouvent encore sur les rives et même au centre de la saline, dans sont tiers nord.

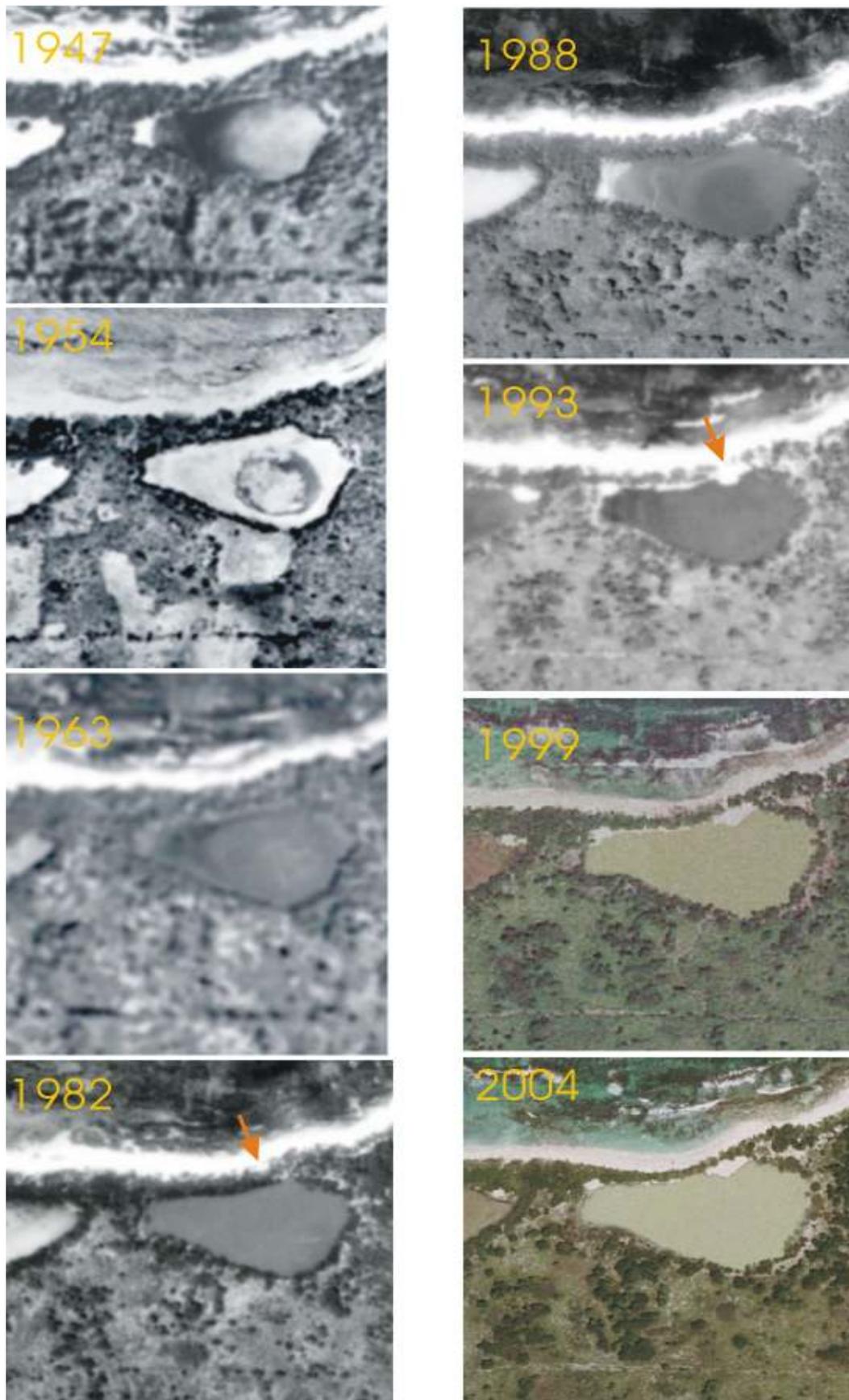


Figure 11 : Evolution du cordon littoral de la saline 1. Par deux fois (flèches oranges), la végétation a été détruite par la mer.

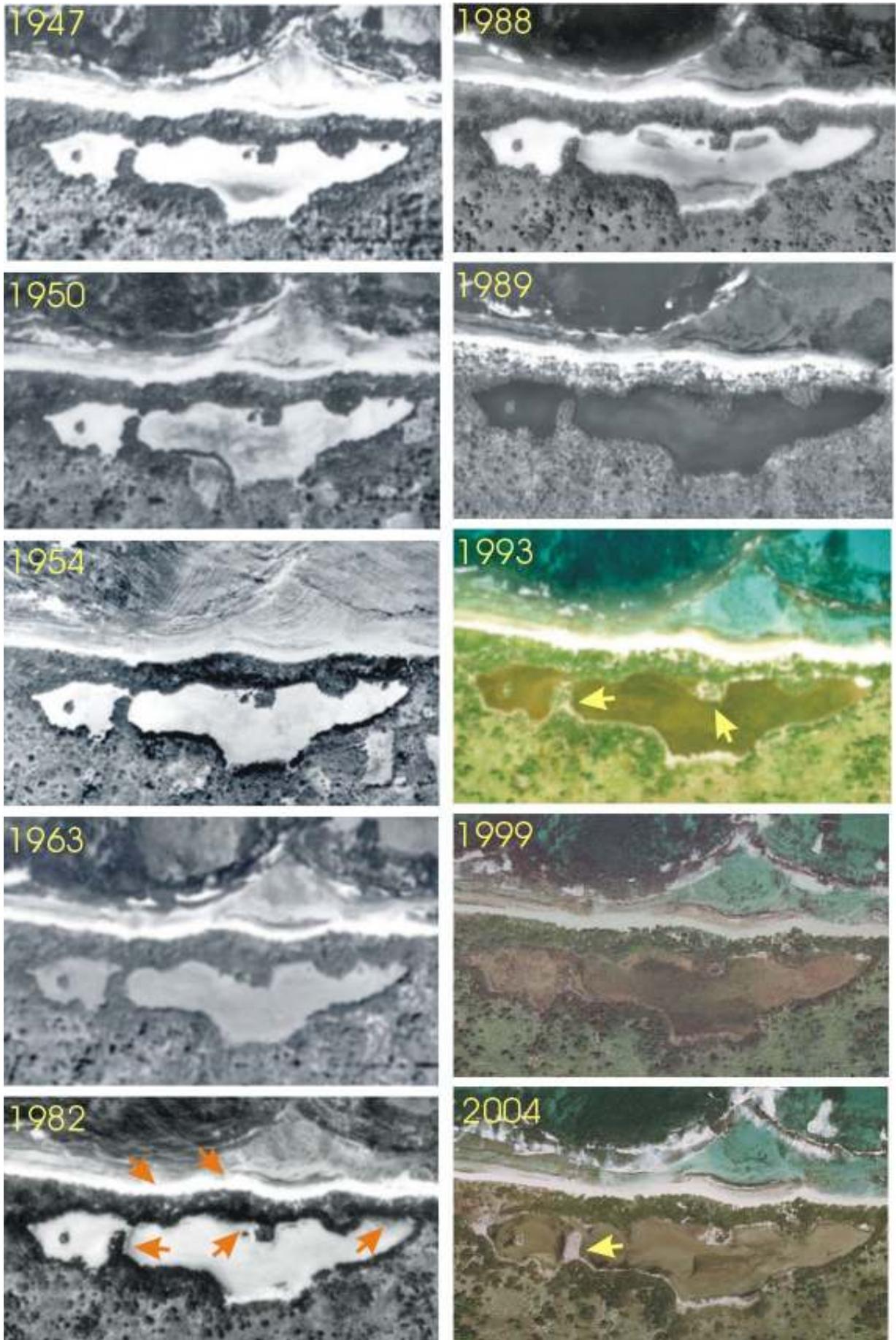


Figure 12: Evolution de la végétation autour de la saline 2. Les flèches indiquent les changements significatifs du couvert.

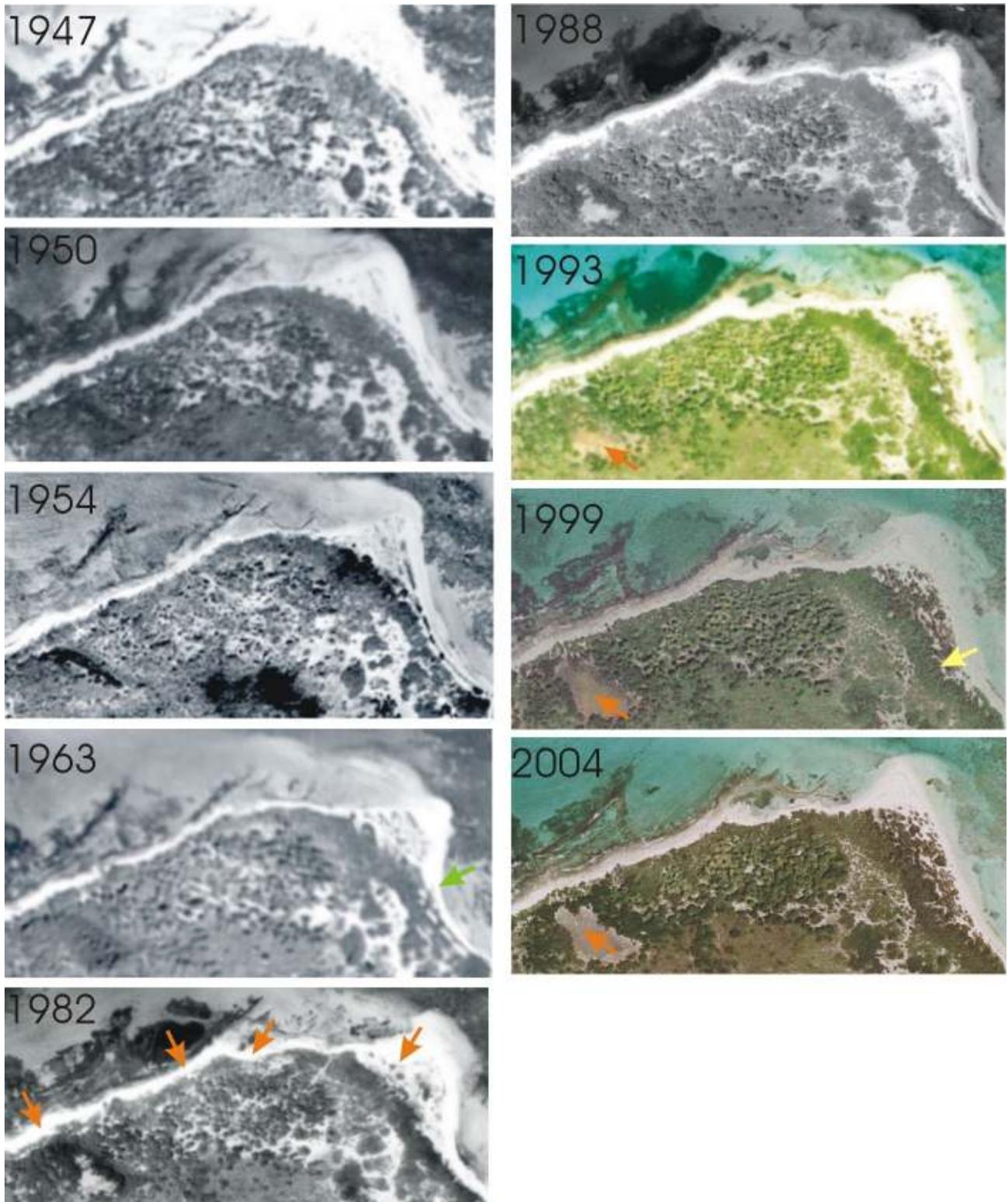


Figure 13: Evolution de la végétation entre la plage du lagon et la saline zéro. Les flèches oranges indiquent les sites d'érosion ; les flèches vertes ou jaunes indiquent les sites où le couvert progresse.

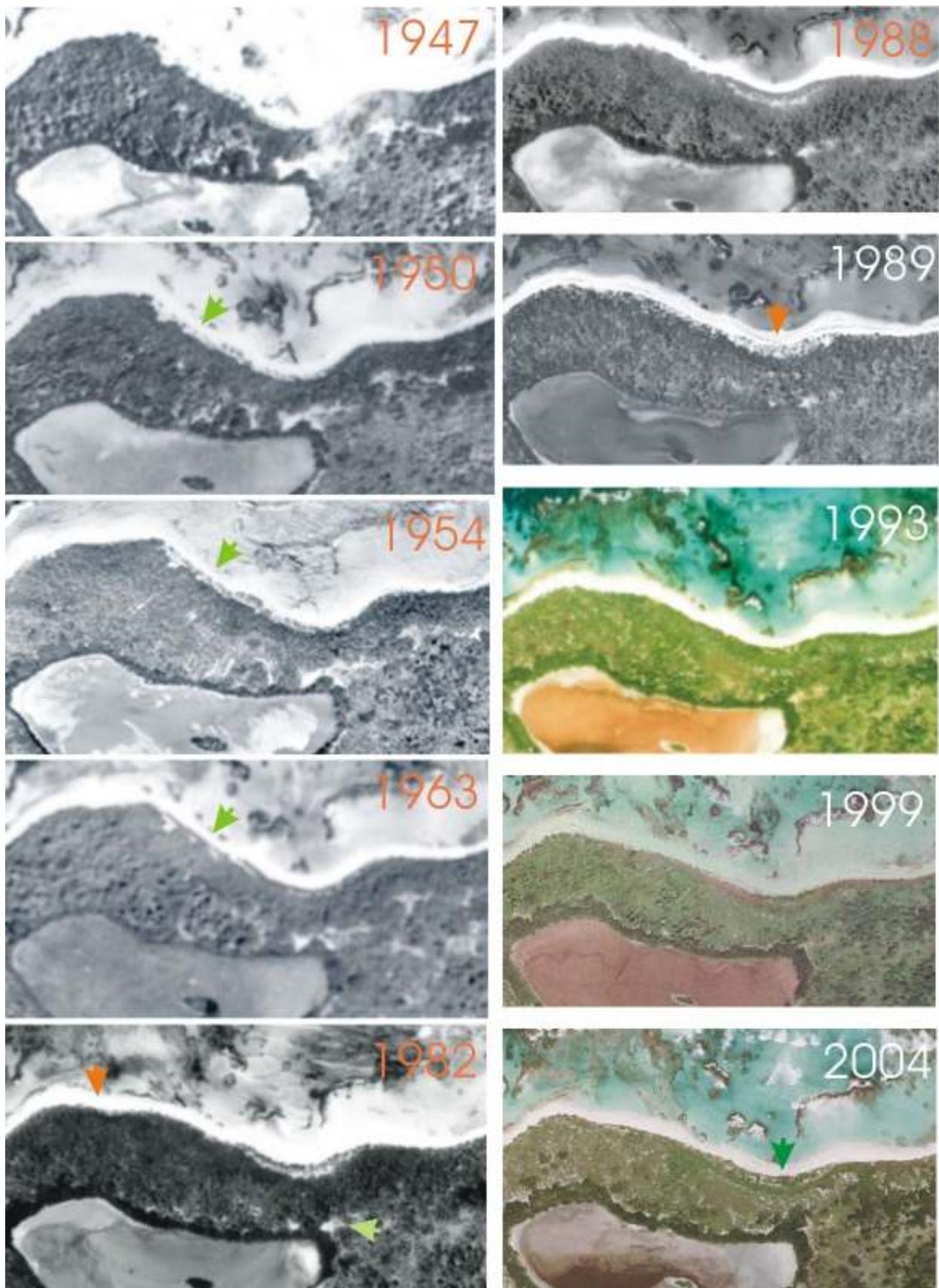


Figure 14: Evolution du couvert végétal au nord de la saline 3. Les flèches oranges indiquent les sites où la couvert régresse; les flèches vertes, ceux où elles progresse.

Discussion : les facteurs de la dynamique

Les résultats obtenus à Petite-Terre

Le retrait de la végétation

Aujourd'hui, 80% du trait de côte mondial est en retrait (Pilkey et Hume 2001). La vitesse de ce retrait est comprise entre le centimètre et la dizaine de mètres par an ; elle dépend étroitement du substrat. Elle est plus rapide sur le littoral sableux qui représente 34% du littoral mondial (Hardisty 1994). Sur les cordons littoraux de la côte atlantique des Etats-Unis, elle atteignait 0,8m/an en 1983 (Dolan et al. 1983 in Drapeau et Mercier 1990).

Selon les estimations obtenues dans le présent travail, la végétation du littoral nord de Terre-de-Bas a régressé en moyenne de 5,8m en 57 ans, soit à peu près 10cm par an, pour une hausse du niveau de la mer de 11cm. Cette quantité n'est pas très importante quand on la compare au retrait moyen de 0,8m/an enregistré sur les cordons littoraux de la côte atlantique des USA (Dolan et al. 1983, in Drapeau et Mercier 1990). L'hypothèse d'un phénomène provisoire ou compensé (*cf.* p. 8) n'est pas recevable.

Il est informatif de rapporter le recul du trait de côte à l'élévation du niveau de la mer. Sur les côtes sableuses, les retraits atteignent parfois 100 fois l'élévation du niveau de la mer (Clark 1983). A Petite-Terre, il n'est que 53 fois supérieur à la hausse du niveau marin, ce qui ne semble pas excessif.

La hausse du niveau des mers ?

Le recul général du trait de côte, à l'échelle de la planète, est dû pour partie à la montée du niveau marin mais aussi à des activités anthropiques localisées telles que les prélèvements de sable, les modifications des courants par des constructions... (Paskoff 1998).

Il y a 21000 ans, le niveau moyen des mers était 120m plus bas qu'il n'est aujourd'hui. La mer n'a cessé de monter depuis. Durant les 6 ou 7 derniers millénaires le niveau marin s'est élevé à une vitesse proche de 2/3mm par an — ce qui représente un taux très faible en comparaison des taux propres aux périodes précédentes. A partir de la décennie 1930-1940, la hausse s'est accélérée pour atteindre 2 à 3mm/an, de sorte que la moyenne pour le XXème siècle atteint 1,7mm/an (Chaumillon et al. 2011). De 1950 à 2005, époque correspondant au lot de photographies analysées, la mer a monté de 11cm (voire un peu plus). Cette estimation repose sur une analyse à l'échelle de la planète qui n'est pas nécessairement applicable à Petite-Terre ou à la Guadeloupe. Sur le littoral de la Nouvelle Orléans, on mesure une élévation voisine de 1cm par an, en raison de la subsidence des terrains (Chaumillon et al. 2011). On ne peut exclure sans précaution l'existence de mouvements imputables à la tectonique locale.

L'accélération de la hausse du niveau des mers, si elle existe, est à peine perceptible mais les prévisions pour le XXIème siècle établissent une élévation comprise entre 18 et 42cm (GIEC 2007) ; l'estimation basse correspond à peu près à ce qu'on mesure depuis cinquante ans, l'estimation haute correspond à un doublement de la hausse (donc une accélération sensible de l'élévation).

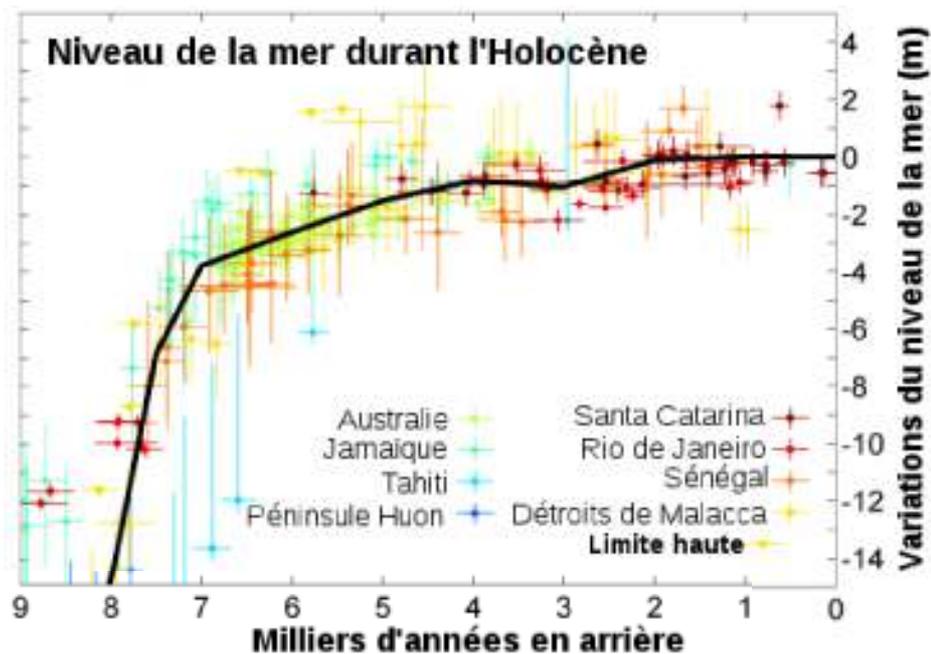


Figure 15: Hausse du niveau des mers durant l'Holocène (source IPCC).

Autres phénomènes impliqués dans l'érosion littorale

L'élévation du niveau marin n'est qu'une manifestation particulière du changement global. Dans le processus qui nous intéresse ici, d'autres phénomènes imputables au changement global peuvent expliquer la dynamique observée à Petite-Terre.

Les modèles numériques montrent que les épisodes climatiques extrêmes devraient être plus fréquents et plus intenses. Les observations relatives aux cyclones dans les Antilles, ne confirment pas cette augmentation. Il semble que si les cyclones sont effectivement plus fréquents, leur trajectoires soient déviées vers le nord de sorte que les changements globaux semblent plus ressentis en Louisiane que dans l'archipel des Petites Antilles.

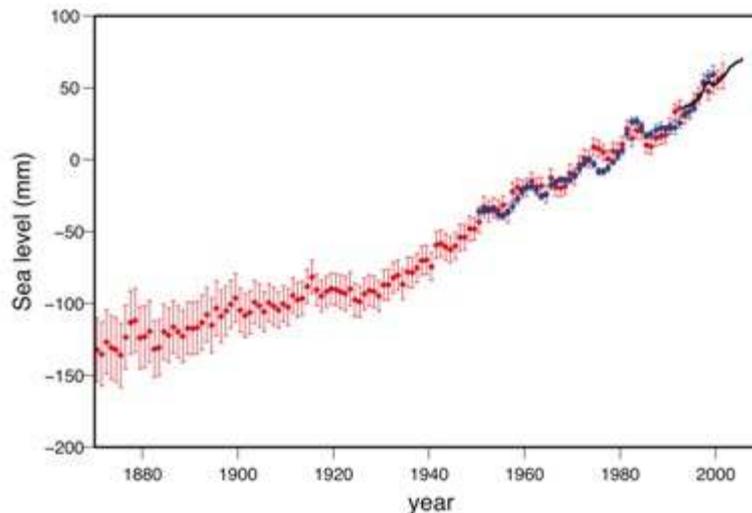


Figure 16: Hausse du niveau des mers depuis 1870. D'abord enregistré par des marégraphes puis, par satellites à partir de 1993 (source IPCC).

Dans l'Atlantique nord, aux latitudes moyennes, la hauteur moyenne des vagues a augmenté de 70cm pendant les 60 dernières années (Chaumillon et al. 2012). Toutefois cette tendance s'atténue vers les basses latitudes et se trouve dé-corrélée de l'oscillation nord-atlantique.

Les informations relatives aux houles, aux vagues et aux épisodes de mauvais temps sont très importantes car l'érosion ne se déroule pas continûment mais dépend davantage de ces événements que directement, de l'élévation du niveau de la mer (Sabatier 2008). Les enregistrements de l'érosion montrent que les côtes protégées de la Floride s'érodent moins rapidement que les côtes exposées aux longues houles (Morton et al. 2005). Cette observation souligne sans doute le rôle des vagues dans l'érosion mais elle ne nie pas le rôle de l'élévation du niveau de la mer : l'érosion opère aussi sur les côtes protégées, elle le fait seulement moins vite. En outre, l'érosion est très certainement un phénomène à seuil : une petite élévation du niveau de la mer, ou une petite intensification des tempêtes, peut provoquer de grandes ablations de terrain (Sabatier 2008).

Compléments

La baisse de la pluviométrie, si elle se confirme, peut avoir une incidence négative sur l'équilibre des lagunes : elle augmente l'intrusion de l'eau de mer dans les lagunes (Greaver et Sternberg 2010).

Les changements climatiques plus détaillés et d'échelle régionales peuvent compléter les généralités précédentes. Les travaux réalisés à Saint-Martin, sur des systèmes littoraux analogues aux nôtres, laissent entrevoir l'existence de changements climatiques importants (Bertran et al. 2004). Une période sèche marquée par de nombreux événements climatiques à caractères catastrophiques (entre 4200 et 2300 BP) aurait précédé une période humide plus stable (entre 2300 et 1150 BP). La troisième période identifiée par ces auteurs (de 1150 à 0 BP) est plus difficile à interpréter, probablement en raison de l'interférence des activités humaines. Ces modifications du climat seraient consécutives au déplacement de la zone intertropicale de convergence.

Mécanismes impliqués dans le retrait

Dans le lagon de Petite-Terre, le courant du lagon, dépend naturellement du courant nord atlantique mais aussi des caractéristiques locales du lagon. L'entrée d'eau marine se fait par la passe orientale qui est barrée par un récif important. Il s'ensuit que si le niveau de la mer augmente, le volume d'eau pénétrant dans le lagon augmente aussi. En outre, puisque les coraux dépérissent et que 70% d'entre eux sont déjà morts, le récif qui jadis affleurait à l'est du lagon, perd son efficacité. La croissance du

corail ne compensant plus son abrasion, et l'abrasion étant elle-même directement fonction de la vitesse du courant, la barrière récifale laisse entrer un débit croissant.

A ce niveau de l'analyse, le forçage global associé au réchauffement climatique se traduit par une accélération du courant dans le lagon. Cette accélération augmente à la fois l'érosion littorale et l'érosion du fond du lagon.

Il est vraisemblable que parallèlement, l'agitation de l'eau à l'intérieur du lagon se soit accrue par suite de l'abrasion de la barrière récifale. Les sédiments résultants peuvent par ailleurs, altérer l'écosystème lagonaire, et notamment les herbiers ; ils peuvent aussi compenser provisoirement l'érosion du fond du lagon.

En somme, l'effet primaire de la hausse du niveau marin est localement amplifié par la situation locale.

A terme, toutefois, l'érosion du fond va augmenter la section du chenal ce qui devrait contribuer à ralentir le courant (ou à en limiter l'accélération). Le bilan des différents processus impliqués devient alors difficile à prévoir ; le lagon devrait progressivement s'ouvrir à l'influence marine et périliter définitivement.

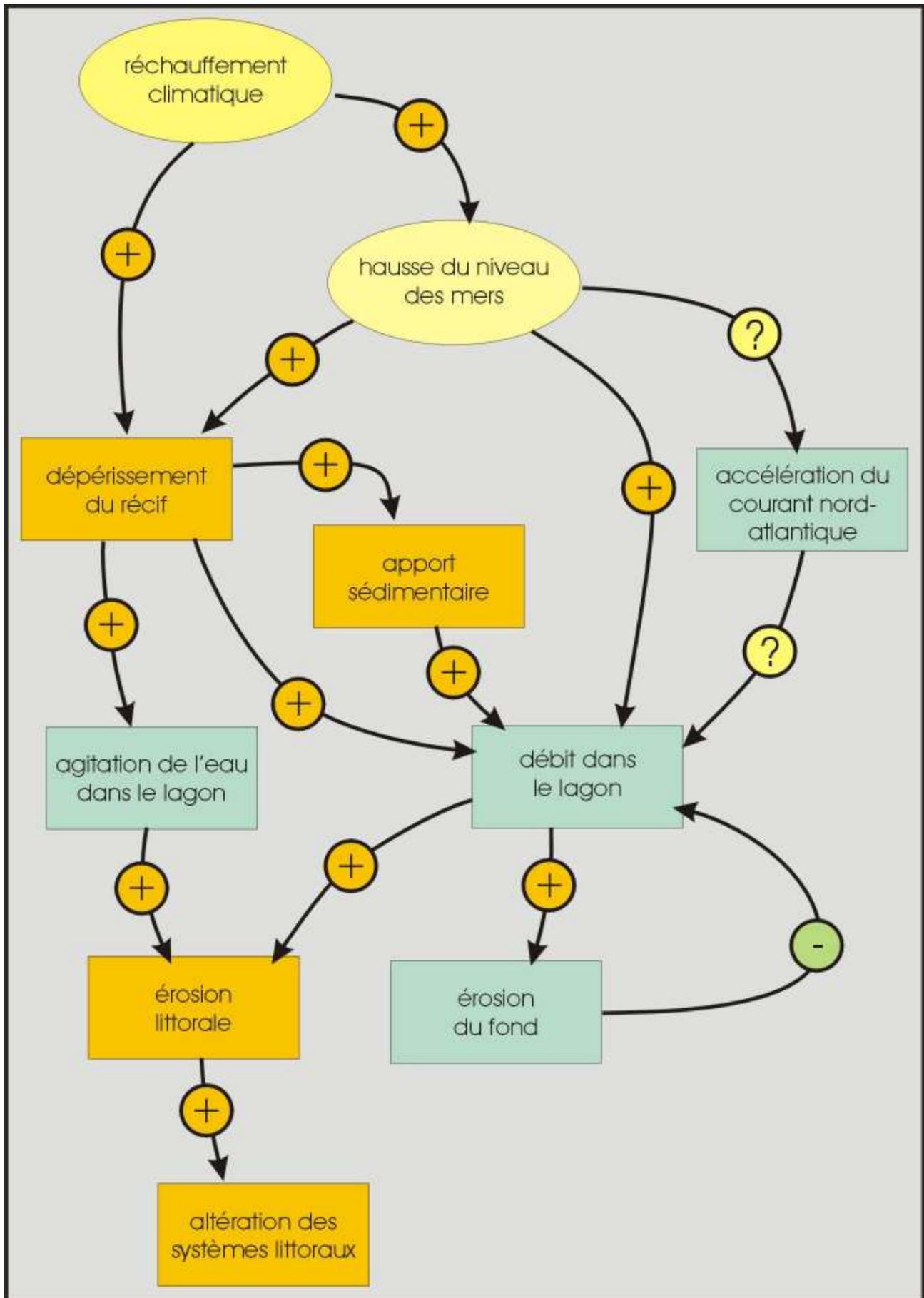


Figure 17: Effets combinés des différentes conséquences du réchauffement global sur le système littoral de Petite-Terre.

L'avenir des systèmes littoraux de Terre-de-Bas

Dans l'hypothèse où le niveau marin continuerait de s'élever à la vitesse actuelle, l'érosion devrait se poursuivre. Il est peu vraisemblable de supposer que dans un tel scénario, la dynamique actuelle s'interrompe. A l'échelle du rivage nord de Terre-de-Bas, la ligne de végétation devrait continuer de reculer, même si localement, quelques pôles d'accrétion peuvent montrer une dynamique progressive.

Il convient de noter que la disparition d'arbres séculaires ne peut pas être compensée par quelques décennies de dynamique successionnelle progressive. Autrement dit, pour que les pertes déjà constatées (et en cours) soient compensées, il faudrait que les sites d'accrétion soient soustraits à l'érosion pendant plusieurs siècles. C'est là évidemment, une éventualité très improbable.

Le déplacement de la ligne de végétation est totalement dépendante de l'équilibre entre les dépôts sédimentaire et l'érosion du cordon littoral sableux. L'installation des plantes fixe sans doute le sable relativement à l'érosion éolienne, mais sur la côte nord de Terre-de-Bas, la présence des plantes n'a pas d'incidence notable sur l'érosion marine ; tout au plus, peut-être, la ralentit-elle quelques temps. Même si les processus hydrodynamiques en jeu sont complexes, leur bilan est simple : le système littoral constitué de la plage, de la dune et de la dépression d'arrière-dune, recule. Il répond ainsi à la montée du niveau de la mer. Le principe en est bien établi (Dolan et Dolan 1983) sur des échelles de temps géologiques comme aussi à partir des mesures directes faites au XXème siècle. Le problème est qu'à Petite-Terre, il ne peut pas beaucoup reculer.

Il semble qu'on puisse imaginer deux scénarios différents à moyen terme.

Selon le **premier scénario**, le retrait est relativement lent et le système [plage, dune, arrière-dune], recule mais reste cohérent. Dans ce cas, l'érosion des plages et de la dune est accompagnée d'un ensablement progressif des lagunes. C'est d'ailleurs ce qui semble se passer sur la saline 1 et peut-être aussi, sur la saline 2. Toutefois la mer ne rompt pas le cordon littoral, même si elle remplit les salines épisodiquement, lors des tempêtes ou des épisodes de fortes houles. L'ensemble du dispositif actuel recule et bien entendu, les forêts d'arrière-dune (à Poiriers, Mancenilliers et Gaïacs) finissent elles aussi par être ensablées. Dans le meilleur des cas, on peut imaginer que les peuplements arénicoles se régénèrent sur leurs limites sud et se déplacent à la même vitesse que l'érosion...

Dans le **second scénario**, l'érosion est trop rapide pour que le système actuel [plage, dune, arrière-dune] puisse reculer tout en restant cohérent. La rupture du système peut être évoquée ici dans ses grandes lignes. L'un des cordons sableux finira par laisser passer l'eau de mer. Les cordons des salines 1 et 2 laissent déjà passer l'eau directement, lors des marées de tempêtes. Ces événements vont se faire plus fréquents jusqu'au jour où l'eau de mer rentrera librement dans les lagunes d'arrière dune. La dégradation du système littoral pourrait alors s'accélérer. Le niveau d'eau dans les lagunes va rester constant. La salinité va égaliser celle de la mer (ce qui signifie que la salinité de certaines lagunes va baisser au moins pendant le carême). Ces conditions pourraient passer pour favorables mais l'eau devrait rapidement miner le cordon littoral et à terme, c'est le cordon lui-même qui devrait disparaître (Figure 18). Pour conséquence de cette évolution, la végétation de dune disparaîtra mais les végétations situées derrière la dune seront inondées (progressivement ou brutalement) par l'eau de mer. Les forêts actuelles à Mancenilliers, Poiriers et Gaïac, les plus vigoureuses de Terre-de-Bas, disparaîtront à leur tour.

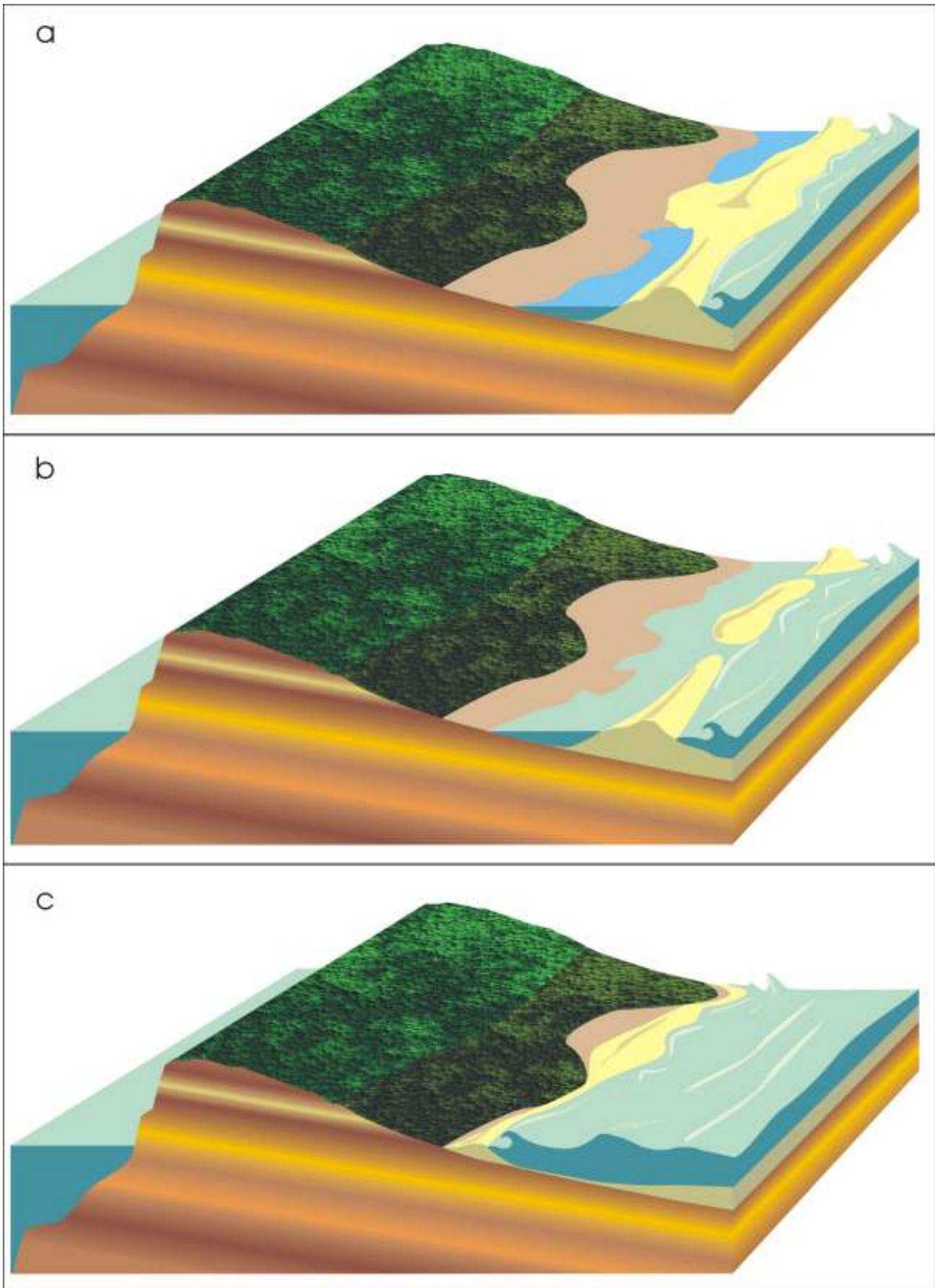


Figure 18: Scénario pour l'évolution du littoral de Terre-de-Bas dans le cas d'une élévation trop rapide du niveau de la mer. La situation actuelle (a) caractérisée par une forte érosion marine, va provoquer la rupture durable du cordon sableux (b). L'intrusion marine dans l'arrière-dune devrait accélérer la disparition du cordon et des forêts d'arrière-dune (c).

Références

- Bertran P., Bonnissent D., Imbert D., Lozouet P., Serrand N. et Stouvenot C. 2004. Paléoclimat des Petites Antilles depuis 4000 ans BP : l'enregistrement de la lagune de Grand-Case à Saint-Martin. *C.R. Geoscience* 336 : 1501-1510.
- Brière C. Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée : l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet. Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour, 257 p.
- Chaumillon E., Wöppelmann G., Karpytchev M. et Bertin X. 2011. Mesures et modélisations des évolutions du niveau marin, des vagues, des tempêtes et des évolutions des littoraux pour une gestion durable des littoraux. *Vertigo* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série 9, mis en ligne le 13 juillet 2011. URL : <http://vertigo.revues.org/10947> ; DOI : 10.4000/vertigo.10947
- Clark J.R. 1983. Coastal Ecosystem Management. R.E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 928 p.
- Dolan, R. , Hayden, B. et May, S. 1983. Erosion of the U.S. shorelines, p. 285-299. In P. Komar, edit., handbook of Coastal Processes and Erosion. CRC Press, Boca Raton.
- Dolan R. et Dolan P. 1983. 4. Beachfront protection-III in Clark J.R. ed., Coastal Ecosystem Management. R.E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 928 p., p.572-581.
- Drapeau G. et Mercier O. 1990. Modélisation de l'évolution du littoral des îles de la Madeleine, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 (2) : 217-226.
- Greaver T.L. et Sternberg L.S.L. 2010. Decreased precipitation exacerbates the effects of sea level on coastal dune ecosystems in open ocean islands. *Global Change Biology* 16 :1860–1869.
- IPCC, Climate changes 2001. Chap.11 : Change in sea level.
- GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, (publié sous la direction de Pachauri, R.K. et Reisinger, A.). GIEC, Genève, Suisse, ..., 103 pages.
- Morton R.A., Tara Miller T. et Moore L. 2005. Historical Shoreline Changes Along the US Gulf of Mexico: A Summary of Recent Shoreline Comparisons and Analyses. *Journal of Coastal Research*, 21 (4): 704 – 709.
- Paskoff R., 1998, Les littoraux, Impact des aménagements sur leur évolution, 3ème Edition, Armand Colin, Paris, 264 p.
- Pilkey O.H. & T. Hume, 2001, Coastal Research, The shoreline erosion problem : lessons from the past, *Water and Atmosphere*, 9(2), National Institute of Water and Atmosphere, New Zealand.
- Sabatier F. 2008. Modélisation de l'impact du changement climatique sur l'érosion des dunes. Application à la Camargue. *La Houille Blanche*, 1 (Février 2008) : 40-49.
- Wright J., 2000, Waves, tides and shallow-water processes 2nd Edition, Ed. Butterworth, The Open University Press, 227 p.