HAL open science

Analyse spatiale de l'environnement côtier de l'archipel des Bijagos (Guinée Bissau)

Gwenaëlle Pennober

To cite this version:

Gwenaëlle Pennober. Analyse spatiale de l'environnement côtier de l'archipel des Bijagos (Guinée Bissau). Sciences de l'Homme et Société. Université de Bretagne occidentale - Brest, 1999. Français. NNT : . tel-00363430

HAL Id: tel-00363430

https://theses.hal.science/tel-00363430

Submitted on 23 Feb 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE
INSTITUT UNIVERSITAIRE EUROPÉEN DE LA MER

THÈSE

pour obtenir le titre de

Docteur de l'Université de Bretagne Occidentale

discipline :

Géographie physique

soutenue le 15 janvier 1999 par :

Gwenaëlle PENNOBER

ANALYSE SPATIALE DE L'ENVIRONNEMENT CÔTIER DE L'ARCHIPEL DES BIJAGOS (GUINÉE BISSAU)

sous la direction de :

Jean-Claude BODÉRÉ

commission d'examen :

Darius BARTLETT	examinateur	lecturer, University College of Cork, Irlande
Jean-Claude BODÉRÉ	examinateur	professeur de géographie, U.B.O.
François CUQ	examinateur	chercheur CNRS, I.U.E.M.-U.B.O.
Claude KERGOMARD	rapporteur	professeur de géographie, Université de Lille 1
Fernand VERGER	rapporteur	professeur émérite, E.N.S. Paris

Résumé

Les littoraux Ouest africains évoluent à un rythme accéléré depuis ces 20 dernières années. Cette recherche s'inscrit dans une perspective générale d'étude et de suivi de ces changements à long terme. Elle a été mise en oeuvre dans le cadre scientifique de la création de la réserve de biosphère de l'archipel des Bijagos (Guinée-Bissau).

L'objectif de ma thèse est de décrire les conditions dynamiques de l'évolution du littoral en montrant les liens d'interdépendance qui existent entre les ensembles morpho-sédimentaires de l'archipel.

La démarche développée a consisté dans la mise au point de méthodes d'analyse spatiale appliquées à l'étude de la géomorphologie littorale de l'archipel en utilisant les opportunités offertes par les SIG et la télédétection. Elle est basée sur une segmentation multicritère de la zone intertidale décrivant l'espace littoral dans ses formes, ses processus dynamiques et sa cinématique.

Ce travail a montré que l'archipel des Bijagos constitue la partie émergée d'un delta estuarien très particulier, visiblement en accrétion, dont l'existence est liée à un contexte structural et hydrodynamique régional exceptionnel.

Summary

The west African shores have evolved at an accelerated rythm over the past 20 years. This research is focussed on long term studies and monitoring of these changes. It was implemented within the scientific framework of the newly created biospheric reserve of the Bijagos archipelago (Guinea-Bissau).

The objective was to describe the dynamical conditions of evolution of the shores, by showing the interactive links between the different morpho-sedimentary components of the archipelago.

A method of spatial analysis applied to the geomorphology of the shore was developed, using GIS and remote sensing techniques. It was based on a multi-criterion segmentation of the intertidal zone, describing its forms, dynamics and kinematics.

This work showed that the Bijagos archipelago consists of the emerged pat of a peculiar estuarine delta, still in accretion, the existence of which results from an exceptional structural and hydrodynamical regional context.

remerciements

La rédaction de cette page ne m'a pas été dictée par le simple respect des convenances mais par le réel plaisir d'exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont accompagnée au cours de la réalisation de cette thèse.

A Messieurs les membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail.

A Jean Claude Bodéré pour avoir accepté d'être le directeur de cette thèse

A François Cuq pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur ce sujet et pour tout ce qu'il m'a appris,

A tous les "Géosystémiens et miennes" pour leur soutien, leur aide, leur amitié :

A Manu et Jacqueline pour leur présence, leur écoute et leur aide,

A Françoise, IB et Bonnet 'M pour leurs conseils et leurs médiations,

A Iwan, Isa, Cyril, Louis, Fred, Gérald, Caroline ...

A l'UICN, pour la mise à disposition du matériel nécessaire à la réalisation du travail de terrain.

A Pierre Campredon sur qui je savais pouvoir compter en Guinée-Bissau.

Aux membres de l'INEP et de la Cellule de la Planification Côtière en particulier à Alfredo Simao Da Silva pour les données qu'ils m'a fournies et ses quelques cours de créole qui ont porté leurs fruits.

Muito obrigado para tudu des gentis do Casa do Ambiente de Bubaque :

A Luis Paolo M. Ferraz, pour son aide et sa bonne humeur,

A Quintinou, Victor, les mariniers de cette histoire,

A Tozé, Alziro, Manon ..... mes patients accompagnateurs sur le terrain, sans oublier François et Françoise qui m'ont accompagnée en 1994.

A Manon pour ses longues discussions et son aide, Annicky pour ses pizzas au goût de l'Afrique...

A mes amis : Laure, Amane, Mumu-Manu-Jo-Juju, Maiwen, Franck, Véro, Noëlle, bidule et crédule..... pour leur amitié que j'ai souvent soumis à rude épreuve et à tous ceux que la thèse m'a permis de renconter en Guinée Bissau ou en France.

Enfin à ma famille et à tous ses membres rattachés, par amour ou amitié, pour la confiance qu'ils m'ont accordée.

Table des matières

Introduction 5
Situation du sujet de recherche 5
Situation géographique 6
Importance de la plaine côtière bissau guinéenne 7
L'archipel des Bijagos 9
Le cadre de l'étude 10
La problématique 12
Démarche méthodologique 12

PREMIÈRE PARTIE : FONDEMENTS MÉTHODOLOGIQUES 14

Chapitre 1- Notions d'environnement littoral et descripteurs pertinents 15
1.1 littoral et pluralité des définitions 15
1.2 la modélisation de la dynamique 17
1.2.1 les descripteurs morphologiques 17
1.2.2 les descripteurs spatiaux 18
1.2.3 Les domaines scalaires pertinents 19

Chapitre 2- Le cadre méthodologique 23
2.1 généralités sur les SIG 23
2.2 les recherches en cours en matière de BIG littorales 24
2.3 Données disponibles et apports des images satellitaires 25
2.3.1 les sources d'informations 26
2.3.2 apport des images satellitaires 32

Chapitre 3- Chaînes d'intégration des images satellitaires dans la BIG 35
3.1 calibration radiométrique et corrections atmosphériques 35
3.2 prétraitements géométriques 36
3.2.1 changement de référentiel 36
3.2.2 création d'une mosaïque 36
3.3 traitements thématiques 38
3.3.1 segmentation de l'image 38
3.3.2 étude de la morphologie sous marine 38
3.3.3 étude des ensembles morphosédimentaires de l'estran 42
3.3.4 apports de la télédétection pour l'étude des masses d'eau 46

Chapitre 4 - étude sédimentologique 50
4.1 localisation des prélèvements par le système GPS 50
4.1.1 le système GPS 50
4.1.2 description de la manipulation 51
4.1.3 prise en compte de l'erreur (déviation) et calcul de la position moyenne 51
4.2 les prélèvements sédimentaires 53

Chapitre 5 - Analyse de la base d'information géographique et exploitation cartographique des résultats 61
5.1 l'exploitation des couches d'information 61
5.1.1 la couche d'information morpho-bathymétrique 63
5.1.2 la couche d'information sur la nature de l'estran 65
5.1.3 la couche d'information sur l'occupation des sols 66
5.2 analyse statistique et typologie 66
5.3 le codage des données 67

5.4 réflexion sur la représentation cartographique des résultats 68

DEUXIÈME PARTIE : TYPOLOGIE DYNAMIQUE DE L'ARCHIPEL DES BIJAGOS

Chapitre 1- Les résultats de l'Analyse en Correspondances Multiples 72
1.1 le croisement des axes 1 et 2 72
1.2 le croisement des axes 1 et 3 74
1.3 le croisement des axes 2 et 3 74

Chapitre 2- Importance de l'héritage dans la configuration du rivage 78
2.1 le contexte structural 78
2.2 la mise en place du bassin sénégalo-mauritanien 80
2.3 l'évolution du bassin sédimentaire 81
2.4 le contexte stratigraphique général 81
2.5 les caractéristiques générales des "Rivières du sud" 81
2.6 le rôle des variations du niveau marin 82

Chapitre 3 - Les agents de la dynamique littorale 87
3.1 le facteur climatique 87
3.1.1 la zone Intertropicale de convergences (ZITC) 90
3.1.2 les vents enregistrés dans les stations météorologiques locales 91
3.1.3 Caractéristiques des pluies et leur incidence au niveau local 92
3.2 les agents marins de la dynamique 102
3.2.1 la circulation régionale 102
3.2.2 la marée et les courants de marée 103
3.2.3 les houles 106

Chapitre 4 - Physiographie du littoral de l'archipel des Bijagos 111
4.1 le cadre géographique général 111
4.2 l'archipel des Bijagos : partie émergée d'un delta ? 116
4.3 physiographie des formations deltaïques 120
4.3.1 le réseau de chenaux 121
4.3.2 la plaine deltaïque 123

Chapitre 5 - Cinématique et Bilan 154
5.1 la cinématique actuelle 155
5.2 les potentialités cinématiques 164
5.3 la cinématique à long terme 165

Chapitre 6 - Synthèse des formes, de la dynamique et de la cinématique du delta des Bijagos 170
6.1 la zone interne 170
6.2 la partie distale 171

Conclusion générale et perspectives 173

BIBLIOGRAPHIE 180

ANNEXES

INTRODUCTION

Situation du sujet de recherche

En 1992, l'adoption anticipée de l'Agenda 21 à la conférence des Nations Unies sur le Développement et l'Environnement (Rio de Janeiro) a désigné comme l'une de nos responsabilités premières de maintenir la qualité des milieux marins et côtiers.

C'est dans la perspective de fournir une base scientifique solide pour une gestion intégrée et durable des zones côtières qu'est né, en 1993, le programme LOICZ (*Land Ocean Interactions in the Coastal Zone*) à l'initiative des programmes HDP (*Human Dimension Program*) et IGBP *(International Geosphere-Biosphere Program*). Plus spécifiquement, LOICZ a pour objectif de déterminer la nature des interactions dynamiques dans la bande côtière aux échelles régionales et globales, afin de comprendre les changements des différents compartiments du système terrestre ainsi que l'évolution de leurs interactions.

En raison de son ampleur, ce projet ne pouvait se concevoir sans faire appel aux dernières avancées en matière de Système d'Information Géographique (SIG)[1] (J.C. Pernetta, 1996) et de télédétection. Au cours des deux dernières décennies l'imagerie satellitaire s'est imposée comme l'une des sources d'information essentielle pour le suivi des changements à long terme de l'environnement. Des progrès considérables ont été fait en ce qui concerne la zone littorale et les fonds marins proches (E. P. Green et *al.*, 1996). Mais plus généralement c'est l'ensemble de la géomatique[(2)] qui est concernée en raison de la somme et de la diversité des informations que l'on est amené à traiter.

[(1)] un SIG est un ensemble coordonné d'opérations généralement informatisées destinées à reproduire et à utiliser une information géographique sur un même territoire. Ce dispositif vise particulièrement à combiner au mieux les différentes ressources accessibles : bases de données, savoir-faire, capacité de traitement qui lui sont demandées. Il apporte ainsi un appui essentiel dans la prise de décision des responsables d'un organisme. (AFNOR, Z13-150, EDIGEO)

[(2)] la géomatique est la discipline qui a pour objet la gestion des données spatiales et fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion (S. Roche, 1997).

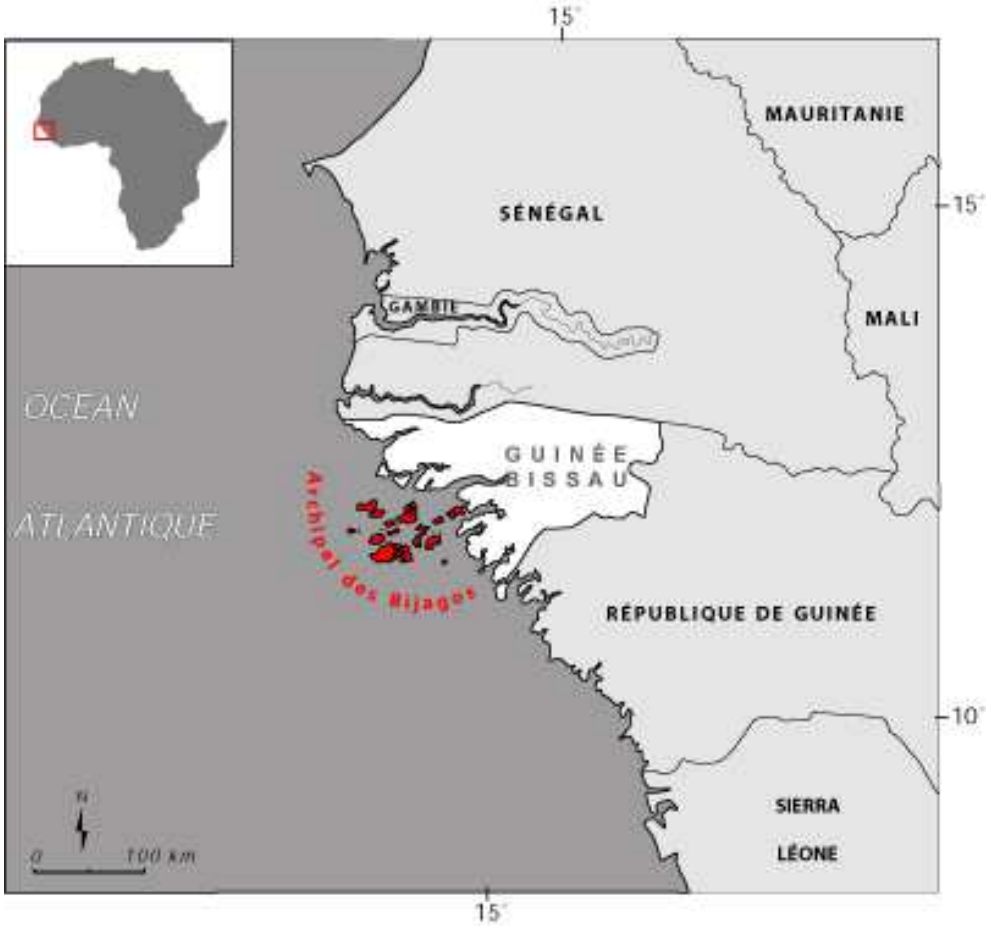
En Afrique de l'Ouest, les objectifs régionaux du programme LOICZ sont centrés sur l'établissement d'un bilan sédimentaire et la définition de ses conséquences en terme d'érosion côtière et de réduction de flux de sédiments entre le continent et l'océan (J. C. Pernetta, 1996).

Cette thèse, consacrée à l'étude de la dynamique de l'environnement littoral de l'archipel des Bijagos (Guinée-Bissau), s'inscrit dans cette perspective. Elle s'attache à décrire la zone littorale par les interactions dynamiques qui s'y produisent et intègre une réflexion sur les échelles d'analyse.

Situation géographique

La Guinée-Bissau, s'étend sur environ 250 km du Nord au Sud, entre les latitudes 12°20' et 10°55', du Cap Roxo aux îles Tristão, et sur 320 km d'Est en Ouest, des longitudes 13°37' à 16°43'. Cet Etat se caractérise par sa petite taille, 36 000 km2 : sa superficie ne représente qu'un cinquième du Sénégal et un septième de la République Populaire de Guinée (ill. n° 1).

La Guinée-Bissau a accédé à l'indépendance en 1974, après dix années de guerre (1963-1974) qui ont fait suite à cinq siècles de colonisation. Le pays a constitué pendant longtemps la dernière



ill. n° 1 : Localisation de la Guinée-Bissau

colonie portugaise de l'Afrique de l'Ouest. Il a longtemps souffert d'un double isolement :

- isolement linguistique en tant qu'Etat lusophone entouré par des pays francophones. Cet isolement s'est accru en 1980 avec la séparation politique des Caps Verdiens jusque là omniprésents dans les rouages de l'Etat (J.C. Andréini *et* M. Lambert, 1978);

- isolement économique car la monnaie nationale, le péso, n'était pas convertible.

Le passage au franc CFA, en 1997, a permis de réduire cet isolement et de faciliter le commerce. Cette ouverture économique s'accompagne d'une pénétration rapide de la langue française à Bissau en raison de l'intensification des échanges avec les pays voisins.

Importance de la plaine côtière bissau guinéenne

En Guinée Bissau, la plaine côtière occupe la quasi totalité du pays. Les estuaires forment une large bande d'interpénétration de la terre et de la mer. Leurs rives sont formées de vastes étendues vaseuses et sableuses où d'épaisses couches d'alluvions ont formé, par endroit, des îles côtières, Pecixe, Jeta,... (R.H. Hughes et J.S. Hughes, 1992). La mangrove qui colonise les rias couvre près de 250 000 ha (P. Ribordy *et al*., 1993).

La zone côtière présente une forte productivité halieutique associée à une grande diversité spécifique. Le potentiel agricole est important et 65 % de la population se concentre sur le littoral, soit environ 600 000 habitants (A. R. Saïd et L.P.M. Ferraz, 1996) dont 200 000 dans la capitale (Bissau). La population totale était estimée à 1 073 000 habitants en 1995.

La plaine côtière constitue le principal réservoir de ressources, que ce soit en terme d'alimentation ou de devises. L'économie du pays est essentiellement agricole : l'agriculture fait vivre 90 % de la population, représente 53 % de la valeur du PNB et 80 % des exportations (PNUD/FAO, 1993). La noix de cajou constitue le premier produit d'exportation. Elle a connu une grande expansion dans la zone côtière ces dix dernières années, encouragée par des incitations politiques visant à obtenir rapidement des devises étrangères. Cette expansion s'est faite au dépend des cultures vivrières en occupant les terres arables et certains secteurs forestiers. La production rizicole, première production céréalière du pays, reste une activité à caractère principalement vivrier. Sa production couvre 70% des besoins. Cette culture est surtout pratiquée dans les zones de mangrove défrichées et dans les bas fonds. Pour des raisons sociales[1] et climatiques, en raison de l'impact

[1] La cuture du riz de mangrove est plus contraignante et coûteuse que celle du riz pluvial. On assiste à un abandon progressif de ce type de culture qui date de la période coloniale en raison de la chute du prix du riz. Ce type d'exploitation agricole n'a fait l'objet d'aucune incitation gouvernementale qui aurait pu compenser cette chute du prix du riz (A. R. Saïd et L.P.M. Ferraz, 1996).

de la sécheresse, on assiste à un abandon progressif de ce mode de culture au profit du riz pluvial. Les rendements de la riziculture pluviale restent cependant limités en raison de son caractère extensif. Cette dernière décennie a vu augmenter de manière significative la part de la pêche dans l'économie nationale en raison de la chute de la productivité agricole et des incitations au développement de la pêche artisanale. Les ressources halieutiques représenteraient aujourd'hui près de la moitié des recettes (A. R. Saïd et L.P.M. Ferraz, 1996).

Les estuaires bissau-guinéens sont réputés parmi les plus productifs de la côte ouest africaine. Notons toutefois qu'il n'existe aucune évaluation globale de cette richesse. "Elle devrait se rapprocher, en nombre d'espèces, de celui de la Casamance" signalent l'ORSTOM et le Centre de Recherches Océanographique de Dakar Thiaroye (CRODT) en 1994 (P.S. Diouf *et al.,* 1994 ; I. Deme-Gningue *et al*., 1994). Les premiers inventaires réalisés par le Centre des pêches bissau-guinéen (CIPA, 1997a et b) confirment l'hypothèse d'une forte productivité biologique.

Elle est en concordance avec les mesures réalisées au large et sur les rebords de la plate-forme continentale (Schemainda cité *in* G.R. Berrit en 1977). L'exploitation des stocks de crevettes et de sardines par les flotilles européennes semble confirmer ces mesures. La haute productivité des eaux côtières repose sur la conjonction de facteurs favorables : proximité des upwelling côtiers sénégalais, présence de nombreux estuaires, importance des apports fluviatiles et de la configuration de la plate forme continentale. D'après G.R. Berrit (1977) "il semble que l'upwelling soit le principal facteur de modulation de la production". Le caractère permanent des upwelling de la côte d'Afrique de l'Ouest est l'un des critères les plus significatifs au regard de la productivité biologique.

La migration des communautés de pêcheurs Nyominka et Sierra léonais vers le littoral bissau-guinéen, et en particulier l'Archipel des Bijagos, peut aussi être interprétée dans le sens d'une grande productivité : migration vers les zones de production les plus intenses. Mais C. Chabout (1994) note qu'en matière de migration des communautés de pêcheurs, si "l'abondance est un facteur évident, il ne semble pas plus explicatif que les opportunités commerciales liées à la pêche ou la navigation (contrebande)".

Outre la richesse et l'abondance spécifique, il est à peu près évident pour F. Domain (cité *in* G. R. Berrit, 1977) que l'archipel et les estuaires (P.S. Diouf *et al*., 1994 ; I. Deme-Gningue *et al*., 1994),jouent un rôle de nurserie pour les espèces pélagiques pêchées plus au large. Cette fonction de nurserie est confirmée par l'étude de l'ORSTOM précédemment citée pour l'ensemble de l'archipel et plus particulièrement dans les secteurs de mangrove.

L'archipel des Bijagos

L'archipel des Bijagos est historiquement le territoire de l'ethnie dont il porte le nom : les bijogos. Ce territoire se présente sous la forme d'un ensemble d'îles côtières qui s'étend sur une surface de 10 000 km^2 à l'embouchure des estuaires côtiers. Il constitue la partie émergée d'un vaste ensemble sédimentaire qui s'étire de l'embouchure des estuaires du rio Cacheu, au nord, et Grande de Buba, au sud (ill. n°2).

L'archipel des Bijagos constitue l'ensemble insulaire le plus remarquable du littoral atlantique de l'Afrique. Ce site présente, outre ses qualités paysagères, une biodiversité animale et floristique d'intérêt international. Il s'agit d'un des lieux de ponte le plus important au monde pour les tortues marines. On note la présence de 10 000 individus dans l'archipel et sur les huit espèces reconnues dans le monde cinq y sont recensées (T. Agardy, 1991; B. Paris et Pereira H.F., 1992 ; B. Limoges et Robillard M.J., 1991). Il s'agit aussi du deuxième lieu de migration pour les oiseaux paléarctiques sur la côte ouest africaine après le golfe d'Arguin en Mauritanie. L'archipel présente aussi la particularité d'abriter une population de crocodiles et d'hippopotames marins qui constitue l'une des grandes originalités de la faune de cette région de l'Afrique. Aujourd'hui, la situation faunistique

ill. n°2 : L'archipel des Bijagos, présentation générale

évolue pour des raisons naturelles et anthropiques. Plusieurs espèces autrefois abondantes sont devenues rares, d'autres, comme les cochons sauvages (B. Limoges, 1989), ont profité de l'action de l'homme sur l'environnement. Parmi les espèces menacées on compte les tortues marines et les crocodiles.

Le cadre de l'étude

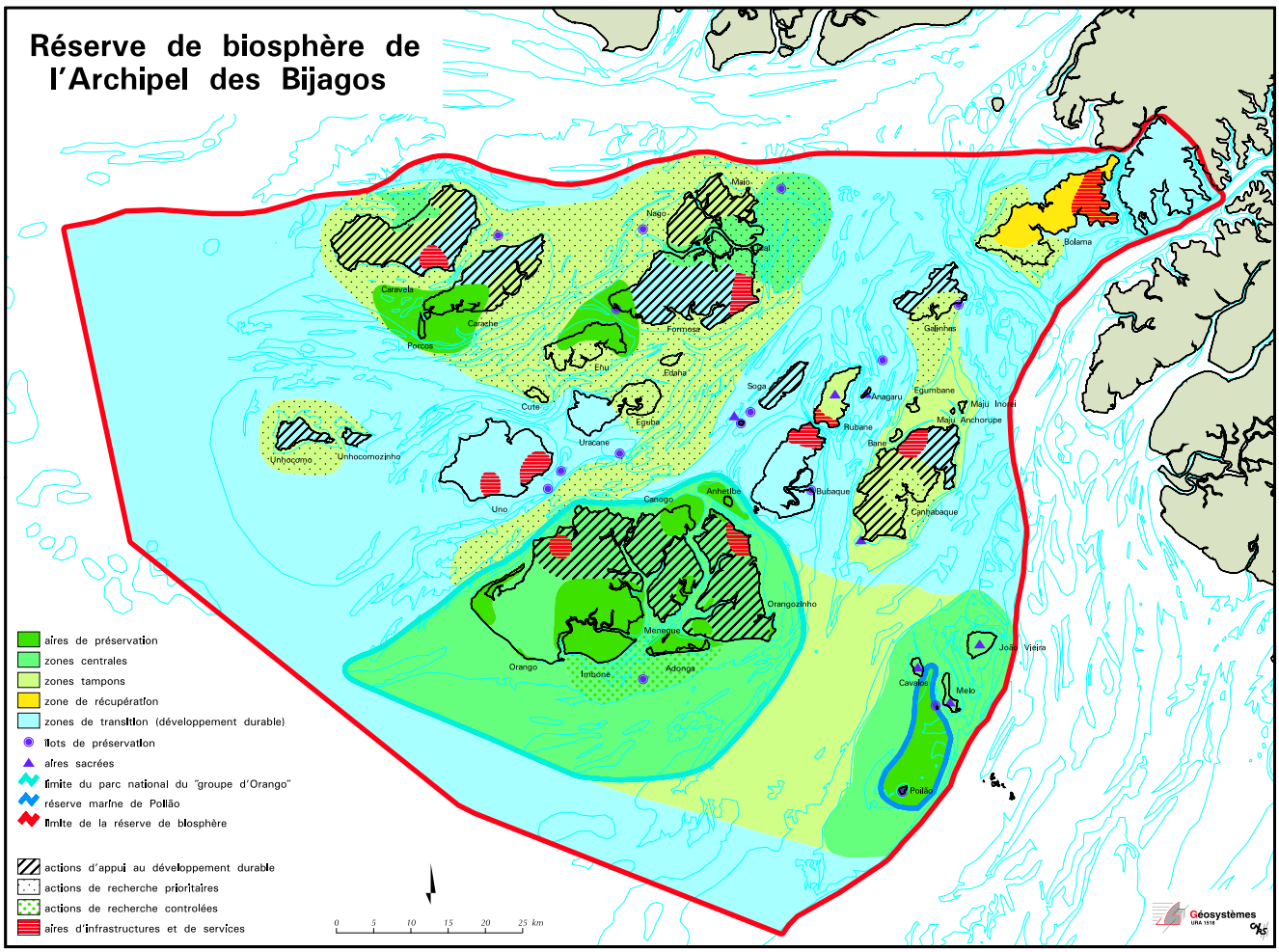
Ce travail s'inscrit dans une étude scientifique générale, entreprise depuis plusieurs années dans le cadre de la planification côtière de la Guinée Bissau. "La planification côtière est un instrument technique d'analyse de l'occupation de l'espace, qui a pour objectif le développement des populations locales à travers l'équilibre de leurs activités et l'assurance de la régénération des ressources naturelles" (C.C. Maretti et R.R. Sales, 1994 ; R.R. Sales et C.C. Maretti, 1994). C'est dans ce contexte qu'en 1987, émerge le projet de création d'un SIG bissau-guinéen sur les provinces côtières (F. Gourmelon et G. Pennober, 1998). Il résulte d'une demande conjointe du Département des Zones humides de l'UICN (Union Mondiale pour la Nature) et du bureau de la Planification côtière du MDRA (Ministère du Développement Rural de l'Agriculture). Il visait à l'origine à servir de base à la planification des activités de développement et de protection de la côte de la Guinée Bissau. Le laboratoire Géosystèmes (UMR 6554 CNRS), à Brest, a été chargé de la création de la Base d'Information Géographique (BIG) analysable à 1: 200 000. Le projet a été mené avec le de soutien l'UICN et du Ministère de la coopération française. L'exploitation cartographique de cette base d'information a donné lieu à la publication d'une carte révisée de l'occupation des sols en 1993 (F. Cuq *et al*., 1993).

Suite à ce projet, une collaboration entre l'INEP (Institut National d'Etude et de Recherche guinéen) et Géosystèmes s'établit dans le cadre du programme scientifique associé à la demande de classement de l'archipel des Bijagos en tant que réserve de biosphère. Ce classement est attribué par le programme MaB (Man and Biosphère) de l'UNESCO, à des espaces remarquables, représentatifs des biomes terrestres majeurs (UNESCO, 1998). Le statut de réserve de biosphère a été accordé à l'archipel des Bijagos en juin 1996, soulignant ainsi sa richesse culturelle, paysagère et biologique. Il constitue en outre une reconnaissance des modes de conservation des ressources naturelles confirmant la pertinence de son utilisation traditionnelle par la population Bijogo. Cependant, en raison des risques de déséquilibre qui pèsent de plus en plus sur cette région, la mise en place d'un arsenal de mesures de protection accompagné d'une politique de développement durable se justifie. Ces mesures doivent être susceptibles de maîtriser certaines tendances actuelles telles que le développement anarchique des infrastructures touristiques et des cultures commerciales d'anacardiers, les risques de surexploitation du stock halieutique, le défrichement des mangroves, et l'accroissement de la population due à l'immigration. Ils constituent dans leur

ensemble des facteurs de perturbation pour ces écosystèmes fragiles. La création d'une réserve de biosphère implique un zonage de l'espace et l'établissement d'un plan de gestion qui s'accompagne d'un suivi scientifique à long terme (ill. n°3). Afin de réaliser ce zonage une base d'information géographique analysable à 1:50 000 a été constituée sur les milieux terrestres et marins.

L'exploitation cartographique de la base de données donnera lieu à la publication d'une carte de synthèse de l'environnement côtier de l'archipel des Bijagos, réalisée en 10 coupures à 1:50 000.

Enfin, le dernier objectif de ce projet était le transfert de la base d'information géographique au bureau de planification côtière, à Bissau. Dans ce but, un cadre guinéen a été formé durant deux ans à l'Université de Bretagne Occidentale (maîtrise et DEA). Il a ensuite pris en charge l'exploitation d'un SIG à Bissau. Le coup d'état militaire de juin 1998 a compromis ce transfert. L'INEP qui abritait le SIG a été presque entièrement détruit par les bombardements. Seule la coopération internationale permettra à la Guinée Bissau de reprendre le cours de cette opération.



ill. n° 3 : Zonation de la réserve de biosphère de l'archipel des Bijagos
(source : Géosystèmes, publié in A.R. Saïd et L.P.M. Ferraz, 1996)

La problématique

L'objectif principal de cette thèse est de décrire les formations littorales et les processus côtiers qui les façonnent. Il en résulte, du point de vue méthodologique, l'élaboration d'une démarche permettant l'intégration et l'exploitation de données concernant le littoral dans un Système d'Information Géographique (SIG). Cette démarche doit nécessairement prendre en compte la mise au point de méthodes garantissant le transfert des informations entre les différentes échelles d'analyse et établir les liens topologiques entre les différents modes de représentation spatiale de l'information.

Une typologie centrée sur la dynamique et la cinématique côtières sera proposée. Les résultats de cette typologie et de l'analyse spatiale du milieu littoral seront intégrés à la carte de synthèse de l'environnement de l'archipel des Bijagos.

Démarche méthodologique

La modélisation de la dynamique littorale implique une bonne compréhension des processus. Or, la complexité de la zone côtière, résultat "d'un réseau complexe d'actions, d'interactions et de rétroactions" (F. Verger *et al.*, 1972), rend cette compréhension difficile. La typologie que l'on cherche à établir doit inclure la représentation des formes, en décrire l'évolution tout en expliquant leur genèse. En découle une analyse centrée sur trois axes :

- la dynamique, ou l'étude des agents et des forces qui engendrent les formes et leurs modifications.
- la statique, prise dans le sens d'étude des formes à un instant donné,
- la cinématique, ou l'étude des mouvements en fonction de la durée, indépendamment des causes qui les produisent.

Ce manuscrit s'articule en deux parties. La première partie, **fondements méthodologiques**, divisée en cinq chapitres, décrit les principes sur lesquels reposent la réflexion et les méthodes employées. Les bases géomorphologiques sont abordées au cours du premier chapitre. Les chapitres suivants sont consacrés aux méthodologies. Sont ensuite successivement présentés les recherches en cours dans le domaine, les sources d'informations disponibles, l'apport des images satellitaires, les données sédimentologiques puis l'analyse spatiale au sein de la Base d'Information Géographique (BIG). La deuxième partie intitulée **typologie dynamique de l'archipel des Bijagos** comporte 6 chapitres. Elle décrit les formes du littoral, la cinématique et les processus géodynamiques. Elle débute par l'exploitation des résultats d'une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) sur laquelle s'appuie la typologie. Elle se poursuit par une description historique de la côte afin de présenter le cadre géologique et montrer les phases de son édification. Le troisième chapitre

est consacré aux agents actuels de la dynamique en montrant leurs interactions avec le cadre structural. Ces interactions expliquent en grande partie la conformation actuelle du littoral. Le quatrième chapitre décrit les formations littorales. Dans le cinquième chapitre est présenté le bilan cinématique ainsi qu'une réflexion sur l'évolution actuelle et à long terme des formations littorales. Enfin le sixième chapitre présente une synthèse de la typologie dynamique sous la forme d'une carte.

PREMIÈRE PARTIE :

FONDEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

INTRODUCTION

Rappellons que cette étude a pour objectif de décrire les interactions entre les processus littoraux et la cinématique du trait de côte en utilisant les méthodes de la géomatique. L'analyse spatiale de la géomorphologie littorale a pour but de fournir une typologie dynamique[1] des paysages côtiers de l'archipel des Bijagos. Son élaboration pose différentes catégories de problèmes qui concernent aussi bien la définition de l'espace littoral que l'adaptation des méthodes classiques de la sédimentologie à une exploitation spatialisée.

Les fondements méthodologiques de cette réflexion sont abordés au cours du premier chapitre. Les chapitres suivants sont consacrés aux méthodologies qui ont été utilisées dans le cadre de la recherche. Seront successivement présentés le cadre méthodologique, l'apport des images satellitaires, les données sédimentologiques, puis l'analyse spatiale au sein de la Base d'Information Géographique (BIG).

---

[1] Le terme dynamique désigne ici aussi bien la dynamique des formes que les processus qui les façonnent.

Chapitre 1- Notions d'environnement littoral et descripteurs pertinents

introduction

Ce chapitre présente une réflexion sur les définitions de la zone littorale et sur le choix d'indicateurs pertinents fondant la description quantitative des milieux concernés. On distingue :

- les descripteurs morphologiques
- les descripteurs spatiaux
- les échelles d'étude spatiales et temporelles

1.1 littoral et pluralité des définitions

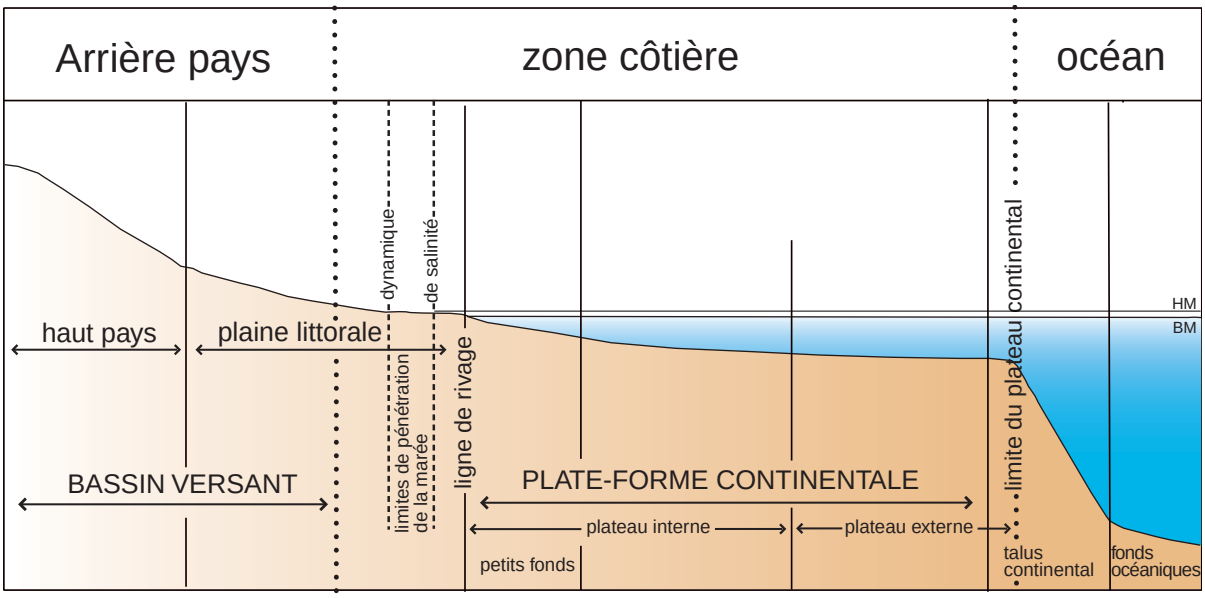
Le littoral est le lieu d'interactions entre la terre, la mer et l'atmosphère. Il se définit, du point de vue dynamique, comme l'espace où s'influencent réciproquement les milieux terrestre et marin. La délimitation géographique d'un tel espace, souligne R.W.G. Carter (1988), est impossible sous une autre forme que des gradients, des degrés d'influence. Bien qu'il s'agisse d'un "espace bien réel dans ses paysages, ses formes, ses activités, le littoral reste sans définition précise, sans limites fixées, que l'on se place côté mer ou côté terre [...] et l'on parle de frontière, de frange, de bande, de zone, d'espace, de région, ce qui traduit bien l'incertitude et l'incapacité où l'on est de définir et de le délimiter avec précision" (R. Piboubés, 1994). Cette imprécision est à l'origine de la grande variété des définitions, reflet de la pluralité des perceptions, des thèmes étudiés, des échelles et des usages (A. Guilcher, 1954 ; R.W.G. Carter, 1988 ; J. P. Pinot, 1992 ; F. Verger, 1993). La définition de la zone littorale peut comprendre les parties terrestres et marines où les influences respectives se font sentir (ill. n°4). Il en résulte que très peu de parties du globe échappent à cette définition. A l'extrême inverse, la zone littorale peut être réduite au trait de côte, au zéro du nivellement ou encore au zéro hydrographique. C'est l'option trait de côte qui est généralement retenue pour la représentation du

littoral dans des études à petites échelles (D. Bartlett *et al*., 1997). Très restrictive cette représentation rend difficile une approche explicative de la dynamique en raison de la variété des processus à représenter.

En géomorphologie, la définition est généralement étendue aux formes dont l'origine est liée à l'action de la mer (P.M. Holligan *et al.*, 1993). Elle intègre donc les formes terrestres construites par la mer, la zone intertidale et les petits fonds. Dans ce cas, il s'agit de caractériser un espace qui peut être très étendu.

En pratique, chacune de ces définitions offre des avantages et des inconvénients en fonction de l'échelle d'analyse à laquelle on se situe et pose, du point de vue de la représentation numérique des données, le problème de la mise en relation topologique d'objets linéaires, surfaciques ou ponctuels. Du point de vue de la compréhension des processus, seule une approche multiscalaire permet de s'affranchir de ces problèmes de définition. Le parti pris de ce travail a donc été de représenter l'information sous ses formes les plus pertinentes compte tenu des échelles concernées, et de développer les outils méthodologiques permettant de s'affranchir des modes de représentation de l'information.

La typologie des littoraux analysée dans cette étude se place dans le cadre des problématiques définies dans le cadre des programmes LOICZ et LUCC (IGBP - IHDP). Ces programmes privilégient les notions de changement d'échelle et la compréhension des mécanismes qui régissent ces changements. Ces deux axes de réflexions résultent du constat suivant : un changement dans une composante peut affecter à une longue distance, sur plusieurs centaines de



ill. n°4 : La zone côtière telle que définie dans le cadre du programme LOICZ (d'après J.C. Pernetta, 1996)

kilomètres et sur plusieurs années, un autre secteur littoral. En effet les processus dynamiques intervenant sur la zone littorale interagissent à des échelles de temps et d'espace différentes. Le constat du changement se fait bien souvent de manière ponctuelle mais l'explication, elle, peut être régionale. Il en résulte que pour comprendre la dynamique d'un secteur littoral il est nécessaire de le replacer dans son contexte local et régional. Le passage par la modélisation permet une bonne approche des processus dynamiques qui régissent la zone littorale.

1.2 la modélisation de la dynamique

Le modèle est, par définition, une tentative de représentation simplifiée de la réalité. Trois ensembles de descripteurs permettent d'étudier les mécanismes qui régissent la dynamique littorale :

- les descripteurs morphologiques détaillant les formes, leur genèse et leur évolution,
- les descripteurs spatiaux qui précisent les types d'interfaces existant entre les milieux.
- les descripteurs scalaires débouchant sur une analyse multi-échelle du mode de fonctionnement du système littoral étudié.

1.2.1 les descripteurs morphologiques

La représentation du littoral dans ses formes et son évolution passe par la description de trois variables. Pour les désigner, les termes de statique, cinématique et dynamique utilisés en géomorphologie ont été empruntés à la mécanique :

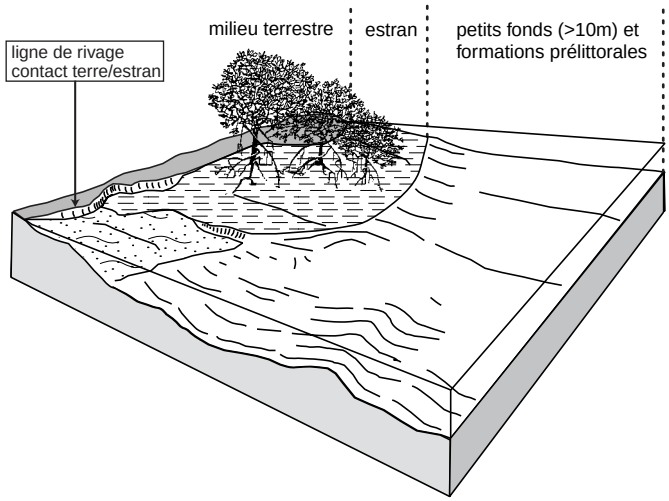
- la statique, mot désignant à l'origine un stade d'évolution nul ou en équilibre avec les forces en action, est pris ici dans le sens de l'étude des formes à un instant donné que l'on considère donc comme un pseudo état d'équilibre,
- la cinématique est l'étude de la dynamique des formes, indépendamment des forces qui les créent. Elle se traduit par l'érosion, l'accumulation, ou la stabilité des formes.
- la dynamique ou l'étude des agents et des forces qui engendrent les formes et leurs modifications.

Tels étaient déjà les descripteurs retenus par F. Verger, *et al.* 1972 pour leur "Carte géomorphologique conçue comme un modèle dynamique". Leur rôle est de caractériser l'état du système à un instant donné pour en suivre l'évolution. Ces descripteurs s'appuient sur des études bibliographiques, des documents cartographiques et photographiques, des images satellitaires, ainsi que des hypothèses qui sont émises ou validées à partir de levés de terrain et des résultats de l'analyse spatiale.

1.2.2 les descripteurs spatiaux

La définition des descripteurs spatiaux dépend directement de l'échelle d'analyse de l'espace littoral et du problème de délimitation évoqué précédemment. Afin de rendre compte de l'interpénétration entre les milieux terrestre, littoral et sous-marin, une segmentation "verticale" de la zone littorale a été réalisée. Quatre unités spatiales ont été retenues :

- le milieu terrestre en contact direct avec l'estran. Il participe au budget sédimentaire de l'estran et se caractérise par un type de substrat, une occupation du sol et une élévation par rapport au niveau de la mer. Il révèle ainsi une sensibilité plus ou moins grande aux attaques marines (inondation,...) mais constitue aussi un indicateur de la dynamique des paysages à long terme et de la variation des niveaux marins (falaises mortes, plages anciennes...).
- le contact terre/estran. Par les formes qui s'y développent (édification de dunes bordières, sapement des berges, creusement de falaises,....), il constitue un indicateur intéressant de la dynamique actuelle entre les milieux terrestre et marin.
- la zone intertidale, le littoral par excellence, peut être caractérisée dans ses formes, son substrat, son extension qui sont le résultat de la dynamique actuelle, en équilibre ou en recherche d'équilibre entre les formes initiales et les forces en action. Nous n'assimilons pas les formes initiales à celles décrites par Gulliver [1] (cité *in* A. Guilcher, 1954) car sont inclues dans cette catégorie les formes anciennes d'origine marine faisant l'objet de remaniements.
- le milieu infratidal participe au budget sédimentaire de l'estran par le jeu des remaniements



ill. n°5 : Les différents ensembles de la zone littorale étudiée à l'échelle locale

[1] dans sa classification des côtes qui date de 1899 (et qui fait référence encore aujourd'hui), Gulliver a distingué les formes initiales et les formes séquentielles. Les formes initiales ne seraient pas liées à l'action propre de la mer, mais seraient surtout dues aux mouvements relatifs de la terre et des océans. Elles regroupent les formes dues à des facteurs lithologiques, tectoniques et climatiques. Sous le terme de séquentiel il désigne les formes résultant de l'action marine déterminant une évolution à partir des formes initiales.

marins, de la dérive littorale, de la migration des bancs prélittoraux. Sa morphologie a un impact sur le niveau de protection des littoraux par rapport aux houles, en particulier. La morphologie est un indicateur important de la dynamique actuelle de la zone de balancement des marées.

L'analyse spatiale des interactions entre ces quatre entités va fonder la base de la typologie des littoraux de l'archipel des Bijagos.

1.2.3 Les domaines scalaires pertinents

L'analyse des phénomènes dynamiques qui régissent la bande côtière fait appel à une définition large de l'environnement côtier, que ce soit en terme d'échelle ou de thématique. La prise en compte des influences lointaines (bassin versant, plate-forme continentale,...) impose une grande variabilité dans les champs couverts par les méthodes d'analyse. De la description du contexte régional à celle de l'unité paysagère, la difficulté réside dans la sûreté des choix opérés pour représenter les informations pertinentes à un niveau scalaire adéquat.

- notions d'échelle

A l'instar de nombreux phénomènes en écologie, l'étude et la compréhension de la dynamique littorale requiert différentes échelles d'observation aussi bien pour replacer une donnée locale par rapport à un contexte régional, que pour observer un phénomène global affectant un site particulier (R.D. Ramsey *et al*, 1995). L'analyse et la représentation de tels phénomènes font appel à trois notions fondamentales (J. Baudry, 1992) :

- la dépendance de l'échelle : la restitution cartographique, graphique ou numérique dépend d'une part du niveau d'observation (ou de l'échelle des données disponibles) et d'autre part du niveau de traitement.
- la notion d'organisation hiérarchique : cette notion fondamentale décrite par H.A. Simon en 1973 s'attache directement au fonctionnement de l'écosystème. En matière de dynamique, elle vise à la décomposition d'un écosystème en fonction des niveaux d'intervention des phénomènes. C'est à ce niveau que l'approche spatiale apporte le plus d'originalité dans le traitement.
- le transfert d'échelle est un problème essentiel sur le plan scientifique et sur le plan opérationnel. Il revient à se poser et à répondre aux questions : "comment estimer les conséquences d'un processus local sur un fonctionnent global" et "quels sont les critères à

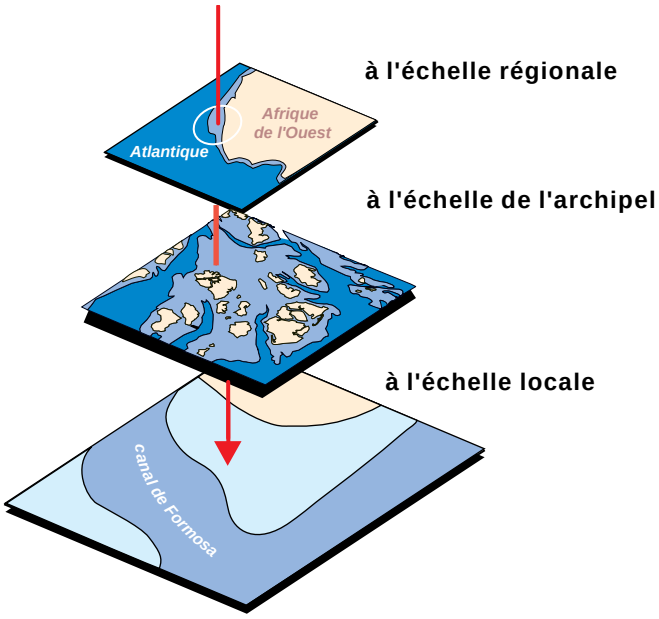
retenir dans le cadre d'une généralisation".

La première notion est d'ordre méthodologique, elle sera abordée dans les chapitres suivants. En revanche, la seconde qui s'attache au fonctionnement de l'écosystème et la troisième qui pose le problème des échelles ascendantes, méritent ici quelques développements.

- les échelles d'analyse retenues

Bien qu'il existe un lien fonctionnel étroit entre elles, trois échelles d'étude s'imposent pour comprendre la dynamique littorale actuelle de l'archipel des Bijagos (ill. n°6) :

- le niveau régional : c'est à ce niveau que se dégagent le contexte hydroclimatique global et le cadre structural, responsables des grands types de paysages et de morphogenèse. Ainsi, l'aire de sédimentation associée à l'archipel des Bijagos se caractérise principalement par sa situation dans la zone intertropicale, sa position par rapport aux houles, aux courants océaniques et par la vaste extension de sa plate forme continentale. Du point de vue des paysages, l'archipel des Bijagos fait partie intégrante des "Rivières du sud", terme qui désigne le vaste ensemble de plaines côtières, apparemment homogène, présentant une organisation Est-Ouest des principaux réseaux hydrographiques. Dans le cadre du programme LOICZ, cette échelle a une vocation particulière : elle doit faciliter, par le jeux des comparaisons entre lieux présentant des conditions similaires, l'étude de sites non encore étudiés.



ill. n° 6 : Échelles d'analyse des processus

- le niveau des ensembles géomorphologiques : selon la situation dans l'ensemble sédimentaire, un site est plus ou moins exposé à la houle ou aux agents estuariens (courants de marée et débit fluvial). Apparaissent alors, au sein de l'ensemble "bijagos", des unités marquant la prépondérance d'un ou de plusieurs agents morphogéniques. Dans l'aire de sédimentation associée à l'archipel, quatre secteurs principaux se distinguent :

- la zone interne, espace privilégié du dépôt des sédiments, se caractérise par de vastes estrans sablo-vaseux souvent colonisés par la mangrove,
- le front, exposé aux houles, est le lieu privilégié du remaniement marin des apports fluviaux. Les paysages se composent principalement de cordons sableux et de formations dunifiées développées,
- les rives des chenaux principaux (Geba et Orango) délimitent au nord et au sud l'ensemble "Bijagos" au sens strict. Les courants les plus forts s'y concentrent,
- la levée latérale, sur laquelle se situent quelques îles de l'archipel, le groupe des îles João Vieira, Cavalos et Poilão.

- le niveau local où des facteurs ponctuels peuvent interférer avec les deux précédentes échelles. Ces facteurs sont de divers ordres : Il peut tout aussi bien s'agir de formations rocheuses qui occupent des secteurs très limités mais conditionnent fortement la dynamique de tel ou tel site, que de l'usage du littoral qui n'est décrit qu'à ce niveau en raison de la faible emprise des populations sur le paysage. C'est à cette échelle que l'on décrira les formes de détail.

- les échelles temporelles

La prise en compte de la durée dépend de l'ordre de grandeur des formations étudiées et de leur vitesse d'évolution. A une approche multiscalaire est donc forcément associée une approche multitemporelle.

Deux échelles temporelles ont été fixées en fonction de l'objet de l'étude et des documents disponibles :

- le court terme est analysé à partir des données de terrain et des images aériennes et satellitaires. L'exploitation de la base d'information géographique décrit, dans certains cas, les potentialités d'érosion, d'accumulation ou de stabilité du trait de côte en fonction des interactions entre les milieux supratidaux, tidaux et infratidaux.
- le long terme est apprécié à partir de l'étude des formes littorales dans leurs successions et leur organisation spatiale.

Aux échelles de temps définies, les composantes du paysage sont alors considérées comme des systèmes en équilibre ou en déséquilibre durant cette période.

Conclusion

En résumé, la typologie dynamique des littoraux de l'archipel des Bijagos s'organise selon trois approches (statique, dynamique et cinématique), trois échelles spatiales et deux échelles temporelles. Nous allons à présent aborder les méthodes et les sources d'information utilisées.

Chapitre 2- Le cadre méthodologique

introduction

Après avoir présenté le cadre général de l'analyse des informations géographiques dans le cadre d'un Système d'Information Géographique (SIG), l'état de l'art en matière d'analyse spatiale de l'environnement littoral sera présenté. Les sources d'information disponibles et les choix retenus seront ensuite décrits.

2.1 généralités sur les SIG

Définie au cours des années 1970 aux Etats Unis, la notion de Système d'Information Géographique (SIG) désigne *un ensemble de matériel, logiciels, données et personnes dont la fonction est d'exploiter l'information géographique pour produire des résultats et atteindre un but* (H. Pornon, 1990). Le terme générique de SIG est souvent abusivement employé pour qualifier une base de données spatialisées que nous désignerons sous le terme plus précis de Base d'Information Géographique ou BIG.

En matière de gestion des zones côtières, M. Garcia et Kapetsy J.M.(1991) ont identifié cinq principaux apports des bases d'information géographique :

- créer un réceptacle pour une multitude de données relatives à l'environnement marin provenant de différentes sources et sous différents formats souvent incompatibles. A cette idée on peut ajouter la notion d'homogénéisation des données qui devrait aboutir à la comparaison entre les sites,
- autoriser une visualisation de l'ensemble des données pour favoriser une gestion rationnelle de l'espace,
- aboutir à une compréhension des interactions entre les milieux terrestre et marin dans la zone côtière, en explicitant "les relations et les organisations spatiales quels que soient les objets impliqués" au moyen de l'analyse spatiale (J.P. Cheylan *et al.*, 1993),
- faciliter les analyses statistiques, le développement de modèles et la réalisation d'études d'impacts,

- mieux utiliser la télédétection qui constitue l'une des sources essentielles d'information pour l'étude des littoraux, en particulier en zone tropicale.

Les thèmes regroupés sous forme de BIG sont multiples et peuvent concerner l'ensemble des problèmes où interviennent des données localisées. Bien que la nécessité de gérer les espaces littoraux devienne de plus en plus pressante en raison des conflits d'utilisation qui s'y développent (P.J. Ricketts, 1992), les applications en milieu littoral et marin restaient rares jusqu'à ces dernières années. Depuis peu, ces espaces sont l'objet d'une attention particulière qu'ils soient anthropisés (urbanisation littorale, pollution,.....) ou préservés.

2.2 les recherches en cours en matière de BIG littorales

Les thématiques abordées couvrent l'ensemble de la problématique que pose une gestion intégrée de la zone côtière, mais en ce qui concerne le domaine plus spécifique de la géomorphologie littorale ou de l'érosion côtière, il existe encore peu de réalisations.

La base d'information "Corine Erosion Côtière", gérée par l'Institut Français de l'ENvironnement (IFEN) (J. Thorette *et al.*, 1995), a été constituée à partir d'études régionales effectuées dans 12 pays de l'Union Européenne. Son objectif est de fournir une base scientifique afin de mieux apprécier les problèmes d'érosion du littoral à l'échelle de l'Europe. Elle constitue l'un des axes du programme Corine qui a pour vocation de centraliser l'ensemble des connaissances sur l'environnement à l'échelle de l'Union Européenne (H.M. Mounsey, 1991). L'homogénéité des informations y est privilégiée. La nomenclature a été définie dans le but d'établir une comparaison directe entre les différents pays de l'Union. "Corine Erosion Côtière" décrit l'état de la zone côtière. Elle distingue quatre catégories morphosédimentaires, les formes d'anthropisation et la cinématique du trait de côte (érosion, accumulation, stabilité). Elle est interrogeable à 1:100 000. Sa principale faiblesse est son rythme de mise à jour, les données datant de 1987 (J. Thorette, 1997).

Dans le cadre des programmes *Climate Change, Sea level Rise and Associated Impacts in Europe*, et the *Impact of Climate Change and Relative Sea-Level Rise on the Environnement Resources of European Coasts,* une étude est menée sur l'intérêt des BIG pour l'étude des variations de la ligne de rivage et en particulier sur le littoral sud-est de l'Irlande (D. Bartlett *et al*., 1997). Elle consiste en une première approche déductive de la sensibilité des littoraux à partir d'informations concernant la zone littorale : les type d'estran (formes, sédiments), les données socio-économiques et culturelles (population à l'échelle du district, intérêt scientifique et culturel), l'exposition de la côte. Cette BIG est reliée à une base de données multimedia comprenant, notamment, des images aériennes. L'un de ces principaux objectifs est la définition d'un indice de sensibilité résultant de l'analyse de différents paramètres. Le littoral y est représenté par le trait de côte. L'idée de base est de découper la ligne

de rivage en segments homogènes à partir des données attributaires. La représentation linéaire de la zone littorale est dépendante de l'échelle de l'étude (le niveau régional) et privilégie la facilité de reproduction des résultats cartographiques.

En terme de réalisations concrètes, notons aussi la BIG constituée sur le littoral de la mer des Wadden en Allemagne et en Hollande (W. Liebig, 1994). Du point de vue de la géomorphologie, ces bases intègrent des levés sédimentologiques et topographiques effectués depuis les années 1960. En effet, le suivi de l'évolution du trait de côte et du niveau marin est une information vitale pour les terres basses. L'étude de la dynamique littorale se fonde sur la comparaison des levés de terrain et l'utilisation de modèles de propagation des houles. Les résultats fournissent une évaluation des risques d'érosion et une mesure de l'érosion effective des cordons sableux qui protègent les terres basses situées en arrière. La nécessité de disposer de séries de levés sur le long terme rend ces méthodologies difficiles à mettre en oeuvre. Elle ne peuvent se concevoir que dans le cadre d'observatoire de l'environnement.

Un autre axe de réflexion a été mené dans le cadre du programme MAST (*Marine Science and Technology*) de l'Union Européenne. L'un des thèmes de recherche est Le PACE (*Prediction Of Aggregated-scale Coastal Evolution*). Son objectif principal est la création de bases d'informations à différentes échelles sur les côtes à marées ou non, fermées ou interrompues par un bras de mer. De ce programme, à notre connaissance, aucune réalisation effective n'a encore émergé (PACE, 1998).

2.3 les données disponibles et apports des images satellitaires

Les méthodes employées pour constituer les BIG sont étroitement dépendantes du niveau de connaissance du milieu étudié et surtout de la qualité des documents géoréférencés disponibles.

Sur l'archipel des Bijagos, il existe peu de documents exploitables dans le cadre d'une base d'information géographique. On retrouve des situations comparables dans beaucoup de pays en voie de développement. Ainsi, dans de nombreux pays africains l'existence de couvertures cartographiques est intimement liée aux politiques coloniales des années 50 et 60 (Y. Baudouin, 1996). En Guinée-Bissau, l'instabilité de la situation politique pendant et après la guerre d'indépendance (1963 à 1974), ainsi que les coûts importants de mise à jour ont figé la production de cartes à la fin des années 60.

Par ailleurs, l'archipel des Bijagos n'a jusqu'alors jamais fait l'objet d'étude de géomorphologie littorale.

2.3.1 les sources d'informations

En dehors des études menées durant la période coloniale (Brigada de Estudos Hidraulicos, 1958, A.J.D.S. Teixeira, J.E. Teixeira, 1952, A. Texeira da Mota 1954 ; ...), les travaux consacrés à la Guinée-Bissau étaient très rares jusqu'à ces dernières années, hormis quelques articles d'anthropologie (C. Henry, 1989). Citons cependant la thèse de S. Diop (1986) sur le littoral des «rivières du Sud» et les travaux de McMaster *et al.* (1970,1971) en océanographie côtière. Sur l'archipel des Bijagos, ce manque se fait particulièrement sentir car en dehors du travail de synthèse du CRAD-SUCO (1980 et 1982) sur l'environnement de la région de Bolama il n'existe aucune étude. Toutefois, depuis le projet de création de la réserve de Biosphère on a vu fleurir les études scientifiques et en particulier les inventaires faunistiques (B. Paris, 1993 ; B. Limoges et M.J. Robillard, 1991,...), mais aussi les travaux de synthèse dans le cadre du projet de planification côtière (C.C. Maretti et R.R. Sales, 1994, R.R. Sales *et* C.C. Maretti, 1994 ; A. R.Saïd et L.P.M. Ferraz, 1996 ....).

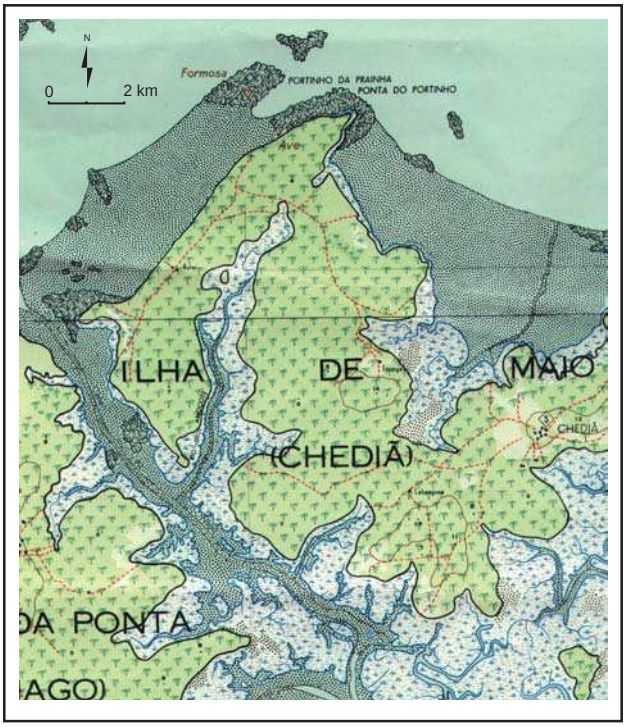
Les sources d'information utilisées pour constituer la BIG sur l'archipel des Bijagos, sont de quatre types :

- les documents cartographiques,
- les photographies aériennes,
- les images satellitaires,
- les levés de terrain.

- les documents cartographiques

Il existe sur l'archipel une série de couvertures cartographiques dont la carte topographique du Ministère de l'Outremer Portugais. Elle couvre l'ensemble du pays au 50 000ème. 13 feuilles, publiées de 1952 à 1962, concernent l'archipel des Bijagos. Elles ont été réalisées à partir de photographies aériennes portugaises de l'aéronavale (1949 et 1950) et de l'armée de l'air (1956). Ces cartes donnent un aperçu succinct des formations littorales : elles n'opèrent pas de distinction entre les substrats sableux et vaseux mais donnent des indications assez détaillées sur les formations rocheuses (ill. n°7). Cette typologie trouve sans doute en partie son explication dans la vocation militaire des cartes, publiées très peu de temps avant la guerre d'indépendance. Le regroupement des types de substrat peut indiquer qu'il n'y a pas de difficulté particulière d'accostage car les substrats vaseux sont essentiellement représentés par des formations sablo-vaseuses.

Ces cartes ont servi à l'élaboration d'un Modèle Numérique de Terrain sur les îles de l'archipel (G. Pennober, 1993). Les courbes de niveaux et les points cotés ont été saisis à l'aide d'une table à numériser; le modèle a été calculé par une méthode de krigeage.



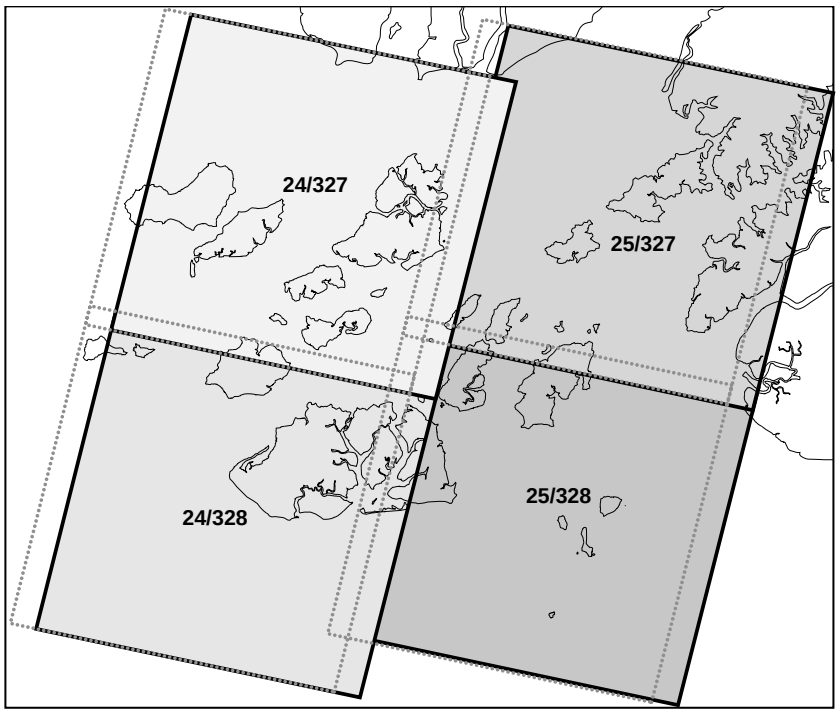
ill. n° 7 : Extrait de la carte topographique portugaise à 1:50 000 - feuille de Formosa. (Norte-C-28, XXI-3-a)

La carte d'occupation du sol de l'archipel (CRAD/SUCO, 1982) comprend 7 feuilles à 1:30 000 qui reprennent, pour l'essentiel, les cartes portugaises en y apportant quelques précisions. La légende est plus détaillées mais la généralisation graphique est beaucoup trop importante pour l'échelle de restitution. Elle constitue plus un outil de travail regroupant les éléments relevés sur le terrain par les équipes du CRAD/SUCO qu'une véritable couverture cartographique.

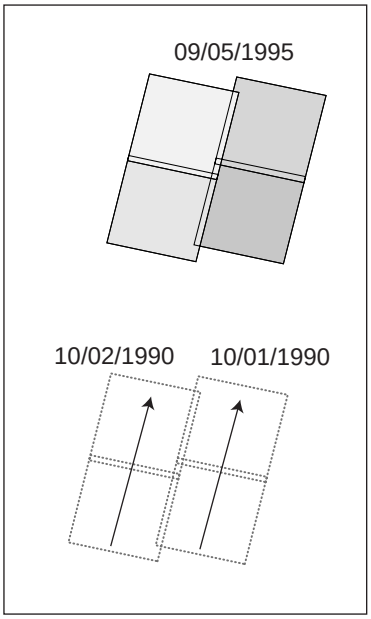
En ce qui concerne les cartes marines, nous avons utilisé les cartes portugaises à 1:400 000 de 1968 et les cartes anglaises à 1:100 000 (3 feuilles) de 1989. Ces cartes ont été réalisées à partir des levés portugais effectués entre 1949 et 1982. Les cartes du service hydrographique de la marine anglaise ne couvrent que les principales voies navigables. La carte portugaise de 1968 a constitué la base principale de notre travail car elle couvre l'ensemble de l'archipel. Les isobathes et les sondes ont été saisies à l'aide d'une table à numériser. Un modèle numérique de la bathymétrie a été interpolé par krigeage.

- les photographies aériennes

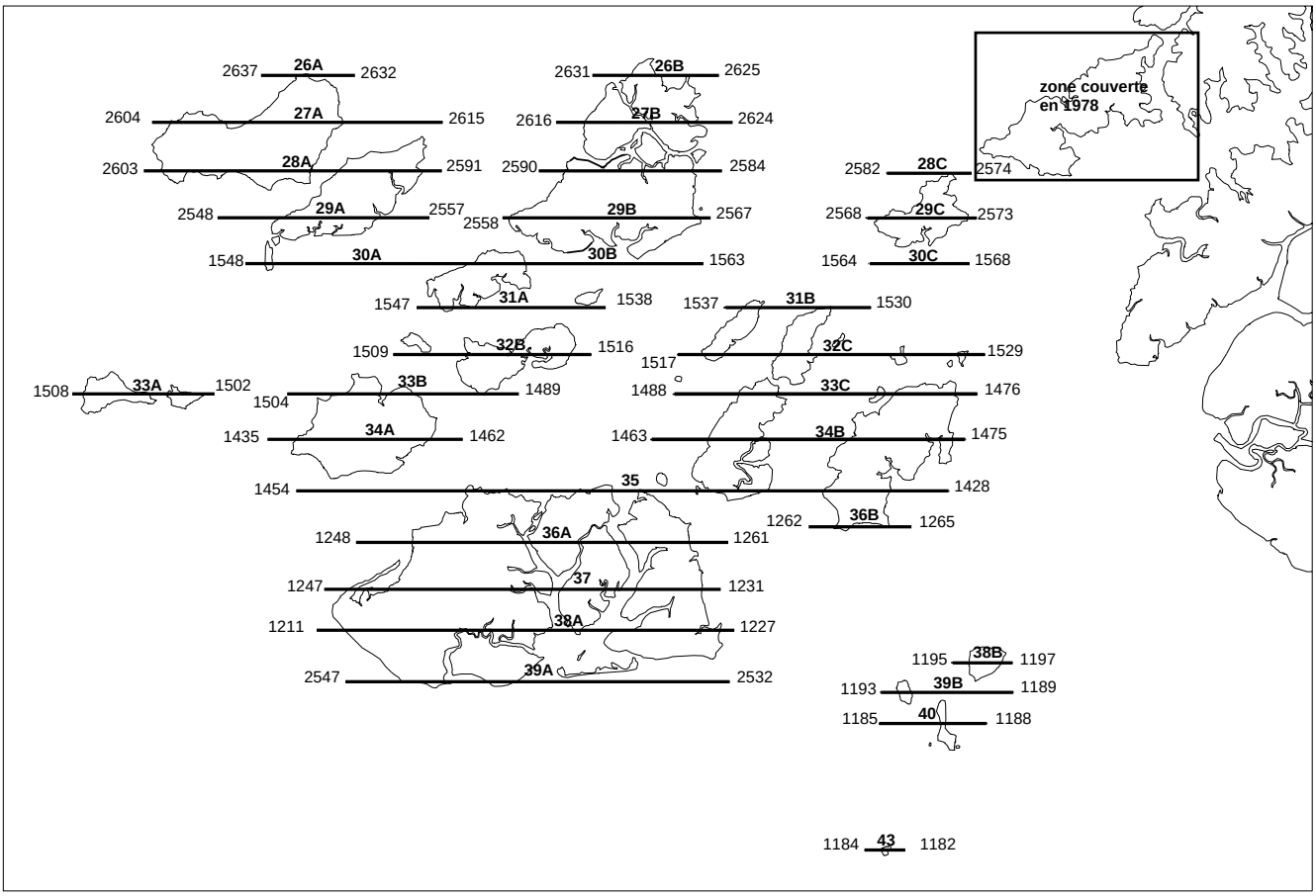
Deux couvertures aériennes ont été réalisées au cours des années 50 et 80. La première couverture a été accidentellement détruite à la fin des années 70. En revanche, nous avons pu travailler sur la mission de 1980 réalisée par la KLM-Aérocarto (Pays Bas) (ill. n°8). Il s'agit d'un jeu d'environ 300 photographies à 1:30 000 auxquelles il faut ajouter la couverture de l'île de Bolama réalisée en 1978. Ces photographies ont servi de base d'échantillonnage pour les missions sur le terrain.



a) Couvertures des images satellitaires SPOT de 1990 et 1995



b) Dates d'enregistrement des images



c) Index de la couverture de photographies aériennes de 1980 de l'Archipel des Bijagos : 313 photographies aériennes à 1: 30 000 avec un recouvrement longitudinal et latéral d'environ 60% et 30% (d'après KLM AEROCARTO)

ill. n° 8 : Couvertures des images SPOT et des photographies aériennes sur l'archipel des Bijagos

- les images satellitaires

La liste des images LANDSAT et SPOT est présentée dans le tableau ci-dessous :

satellite	K,J ou P/R	date	mode spectral
LANDSAT 2	8/230/0525500	10/03/1973	(MSS)
SPOT 1	24-327	1990/02/10	XS
SPOT 1	24-328	90/02/10	XS
SPOT1	25-327	90/01/10	XS
SPOT 1	25-328	90/01/10	XS
SPOT 3	24-327	09/05/1995	XS[*]
SPOT 3	24-328	09/05/1995	XS[*]
SPOT 3	25-327	09/05/1995	XS[*]
SPOT 3	25-328	09/05/1995	XS[*]

[*] acquisition simultanée sur deux traces parallèles par les instruments HRV1 et HRV2 (programmation de l'acquisition).

ill. n°9 : Tableau récapitulatif des scènes disponibles

Les caractéristiques des images sont les suivantes :

- <u>l'image LANDSAT de 1973</u> couvre l'archipel des Bijagos et une partie de la plaine côtière continentale (ill. n°). Elle est particulièrement bruitée en raison des variations de sensibilité des capteurs du système MSS (lignage) et a du faire l'objet d'un prétraitement spécifique pour réduire le bruit.

- <u>les quatre images SPOT, enregistrées entre janvier et février 1990</u> (ill. n°8) couvrent l'archipel dans son ensemble. Elles sont perturbées par la présence d'un voile de brume basse sur toute la partie ouest de l'archipel. Ces images ont un gain de dynamique radiométrique faible car elles ont été enregistrées en hiver (janvier et février). A cette période de l'année, l'angle d'élévation solaire est faible et le rayonnement incident traverse l'atmosphère de façon oblique. Dans le domaine du visible et du proche infrarouge, l'atténuation du signal par absorption et diffusion dans l'atmosphère est l'un des phénomènes de perturbation dominant.

Elle a pour double effet de rajouter un rayonnement parasite à tout rayonnement réfléchi par les objets au sol et de diminuer une partie de son rayonnement réfléchi (F. Bonn et G. Rochon, 1992). Plus la quantité d'atmosphère traversée est importante plus les perturbations de la luminance sont élevées.

- les quatre images SPOT enregistrées le 09/05/1995, ont été acquises grâce à l'obtention de BRAIS (Bon de Réduction pour l'Achat d'Images Spot) dans le cadre du programme ISIS du CNES. La programmation en parallèle des capteurs HRV1 et HRV2 de SPOT3 le 9 mai 1995 a fourni une couverture de l'archipel dans de bonnes conditions de marée et d'éclairement :
  - à la fin du printemps, avec un angle solaire voisin du maximum,
  - avec moins de 10% de nuages,
  - dans des conditions de différenciation maximum de la végétation (ces images ont aussi servi à la réalisation des cartes d'occupation du sol de l'archipel des Bijagos, (F. Gourmelon et G. Pennober, 1998).
  - à basse mer.

L'illustration n°10 résume les conditions de marée lors de l'acquisition des images. Les images de 1995 présentent les plus basses mers de la série malgré un faible coefficient (0.54). En effet, dans l'archipel, les basses mers de vive eau interviennent entre 16h et 17h TU et à l'heure du passage de SPOT seules les images acquises entre les coefficients 45 et 65 fournissent des situations de basses mers. Malgré une bonne qualité générale, ces images présentent quelques défauts :

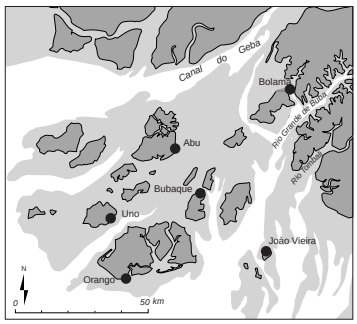
- les îles Unhocomo et Caravela ne sont pas entièrement couvertes. Pour traiter ces secteurs nous nous sommes donc reportés aux images acquises en 1990 bien que le voile nuageux soit particulièrement gênant,
- des perturbations atmosphériques localisées, en particulier des cumulus sur la façade nord de l'île de Caravela et au Sud du groupe des îles d'Orango,
- deux zones de réflexion spéculaire marquées qui masquent les formations immergées dans la partie sud de la levée de l'île João Vieira et dans le secteur des bancs de Papagaios à l'Ouest de l'île Nago. (cf. chapitre 3, deuxième partie)

- les levés de terrain

Deux missions sur le terrain ont été réalisées. L'une de quinze jours en février 1994 et la seconde, de mars à juin 1995. Elles avaient 3 objectifs principaux :

- servir de vérification terrain pour le traitement des images satellitaires,

ports de référence	dates des images	heures des images	coefficients de marée	hauteurs d'eau (en m)	heures des BM et PM	hauteurs des des BM et PM (en m)
Bubaque	09/05/95	11h42	54	1,55	11h19	1,53
					17h45	3,71
	10/01/90	11h43	86	3,05	9h25	4,05
					15h26	0,82
	10/03/73	10h52	93	2,57	7h43	0,78
					14h0	4,2
Joào-Vieira	09/05/95	11h42	54	1,71	11h14	1,69
					17h27	3,67
	10/01/90	11h43	86	2,85	8h58	4,1
					15h15	0,76
	10/03/73	10h52	93	2,91	7h26	0,55
					13h29	4,12
Bolama	09/05/95	11h42	54	1,72	6h06	3,94
					12h09	1,69
	10/01/90	11h43	86	4,45	10h35	4,77
					16h29	0,73
	10/03/73	10h52	93	2,08	8h32	0,65
					14h45	4,88
Abu	09/05/95	11h42	54	1,35	11h47	1,35
					17h58	3,22
	10/01/90	11h43	86	2,04	9h10	0,72
					15h15	4,03
	10/03/73	10h52	93	1,9	8h31	0,73
					14h36	0,94
Uno	09/05/95	11h42	54	1,02	6h28	2,94
					12h46	0,89
	10/02/90	11h43	63	1,43	9h25	0,88
					15h39	2,65
	10/03/73	10h52	93	1,88	7h39	0,62
					13h54	3,01
Orango	09/05/95	11h42	54	1,29	10h19	1,16
					16h41	2,4
	10/02/90	11h43	63	2,26	9h54	2,75
					14h34	0,48
	10/03/73	10h52	93	2,19	6h39	0,55
					13h0	2,76



ill. n° 10 : Hauteurs d'eau aux dates d'enregistrement des images satellitaires

- réaliser une étude granulométrique des sables des plages de l'archipel. 600 échantillons ont été prélevés et analysés à l'aide d'une colonne à sédimentation,
- étudier la cinématique actuelle du trait de côte et repérer certaines formes comme les falaises qui ne sont signalées de manière exhaustive sur aucune carte.

2.3.2 apport des images satellitaires

A l'instar de nombreux projets de systèmes d'information pour l'environnement en Afrique (C. Nuttall, 1996), les images satellitaires ont été l'une de nos principales sources d'information. L'intérêt de l'intégration d'images satellitaires dans les BIG n'est plus à démontrer (M. Elhers *et al*. 1989 ; F.W. Davis et D.S. Simonett, 1991; M. Robin 1995 ; F. Cuq et F. Gourmelon, 1996). Outre la répétitivité d'acquisition et le caractère synoptique des données, l'imagerie satellitaire fournit des informations spécifiques qui complètent la gamme des sources d'information. L'enrichissement des BIG par l'imagerie spatiale se traduit aussi bien au niveau de l'inventaire qu'à celui de la révision. D'une manière générale, les images satellitaires se sont imposées comme l'une des sources d'information essentielles pour l'étude des interactions entre les sociétés humaines et le milieu (F. Cuq, 1993a) et plus généralement pour l'étude de l'environnement. En milieu tropical, l'apport des images est d'autant plus important que l'on constate un manque de sources de données fiables (E.P. Green *et al.*, 1996 ; A. Gupta, 1993) en raison de la difficulté de mise en oeuvre des levés de terrain, de la rapidité des changements, et ce, même si l'importance du couvert nuageux pose souvent des problèmes dans l'acquisition d'images utilisables.

La télédétection aérienne et spatiale a beaucoup fait progresser l'étude des littoraux en raison de sa synopticité, combinée avec des échelles d'observation adaptées à la recherche géomorphologique (de 1:10 000 à 1:100 000). La perception simultanée de vastes étendues offre la possibilité d'observer certains phénomènes océaniques (panaches de turbidités,...) et d'étudier dans leur ensemble des formations de grande ampleur telle que l'archipel des Bijagos qui s'étend sur 10 000 km^2. Les images satellitaires, et les images SPOT en particulier, se sont rapidement imposées comme l'outil le mieux adapté à l'étude du littoral de l'archipel pour diverses raisons :

- quatre images SPOT couvrent l'ensemble de l'archipel alors que plus de 300 photographies aériennes à 1:30 000 seraient nécessaires (ill. n°8). En outre les photographies aériennes concernent uniquement le milieu terrestre et les zones annexes. Les formations intertidales ou faiblement immergées quelque peu éloignées du rivage ne sont pas couvertes, ce qui est dommageable pour l'étude de la dynamique littorale,
- la répétitivité des prises de vue fonde le suivi de phénomènes aussi divers que la dynamique des flèches littorales ou des panaches de turbidité,

- le mode XS, avec un pixel de 20mx20m, possède une résolution spatiale adaptée à une description fine de milieux relativement homogènes,

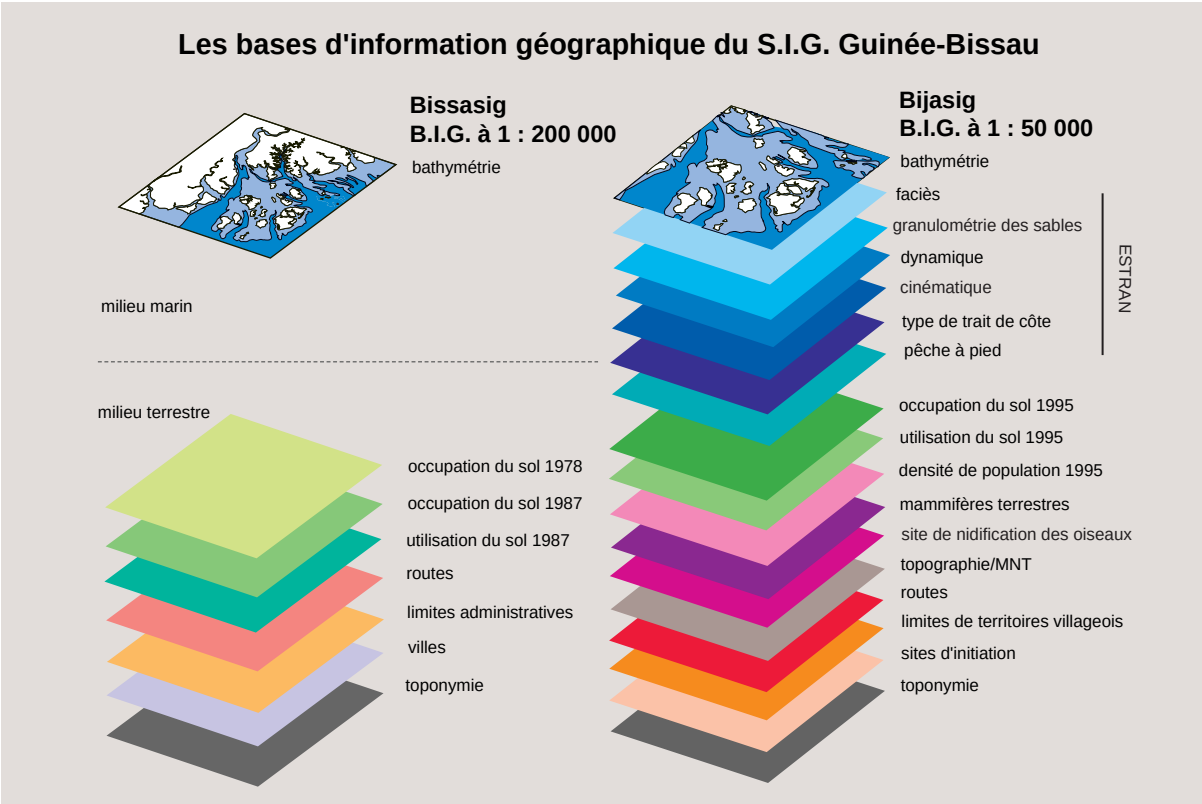
- les bandes spectrales de SPOT sont bien adaptées à l'analyse des composantes du milieu littoral, y compris dans les petits fonds lorsque la charge en suspension n'est pas trop importante.

En raison de ces propriétés, la couverture acquise en 1995 a été exploitée pour constituer trois couches d'informations dans la BIG. Deux d'entre elles concernent spécifiquement la zone littorale :

- les faciès de l'estran,
- la morphologie des petits fonds (réalisée en combinant les informations issues des images satellitaires et des cartes bathymétriques portugaises).

Une troisième couche, l'occupation du sol, a été produite à partir de la classification des états de surface sur la partie émergée des îles de l'archipel (F. Gourmelon et G. Pennober, 1998). L'utilisation d'une source d'information unique pour l'occupation du sol et les faciès de la zone intertidale permet de conserver la continuité entre les deux milieux et facilite l'étude des contacts terre/mer .

La base d'information géographique a été complétée par de nombreuses missions de terrain réalisées par la cellule "Environnement" de l'INEP. Ces missions ont servi à valider la couche d'occupation du sol et ont fourni les éléments utiles à compléter les connaissances concernant les formes d'anthropisation et la richesse faunistique (ill. n°11)



ill. n°11 : Structure des bases d'information géographique constituées sur la Guinée-Bissau
(d'après F. Gourmelon et G. Pennober, 1998)

conclusion

En résumé, l'imagerie aérienne et satellitaire constitue l'une des principales sources d'information de cette étude en raison de ses propriétés spectrales, spatiales et synoptiques. Le chapitre suivant décrit la chaîne d'intégration des résultats du traitement des images satellitaires en tant que couches d'informations thématiques.

Chapitre 3- Chaînes d'intégration des images satellitaires dans la BIG

introduction

L'intégration des résultats du traitement d'images satellitaires en tant que couche d'information thématique au sein d'une base d'information géographique passe par (F.W. Davis et D.S.Simonett , 1991 ; F. Cuq et F. Gourmelon, 1996) :

- l'étalonnage et l'évaluation de l'information transmise par satellite,
- la mise au point de méthodes de traitement reproductibles d'une image à l'autre,
- l'étalonnage des produits images du point de vue de la cohérence sémantique et thématique qui définit les modes d'utilisation ultérieurs de l'information.

Les éléments de cette intégration peuvent être classés en trois phases qui s'appuient sur la différence qui existe entre une mesure radiométrique et une information cartographique :

- les prétraitements,
- l'analyse d'image,
- l'analyse spatiale dans la BIG

Dans ce chapitre, nous traiterons essentiellement des deux premières phases qui constituent la chaîne de production de couches d'information thématiques dans la BIG. Les prétraitements géométriques ont été réalisés à l'aide du logiciel Géoimage et les corrections atmosphériques ont été opérées à l'aide du logiciel 5S, développé par le Laboratoire d'Optique Atmosphérique de Lille (D. Tanré *et al.*, 1986, et 1989).

3.1 calibration radiométrique et corrections atmosphériques

L'ensemble des images acquises sont de niveau 1A, c'est à dire qu'elles n'ont fait l'objet de quasiment aucun prétraitement. A ce niveau, seules ont été appliquées des corrections radiométriques visant à corriger les effets instrumentaux par un modèle linéaire qui égalise la sensibilité des détecteurs (SPOT IMAGE, 1989). Ne disposant pas d'information concernant l'épaisseur optique ou la visibilité au sol, seules les corrections concernant les hautes couches de l'atmosphère ont été

appliquées.

3.2 Prétraitements géométriques

Les prétraitements géométriques ont été appliqués aux images en trois étapes :

- changement de référentiel,
- création d'une mosaïque,
- calage absolu de la mosaïque

3.2.1 changement de référentiel

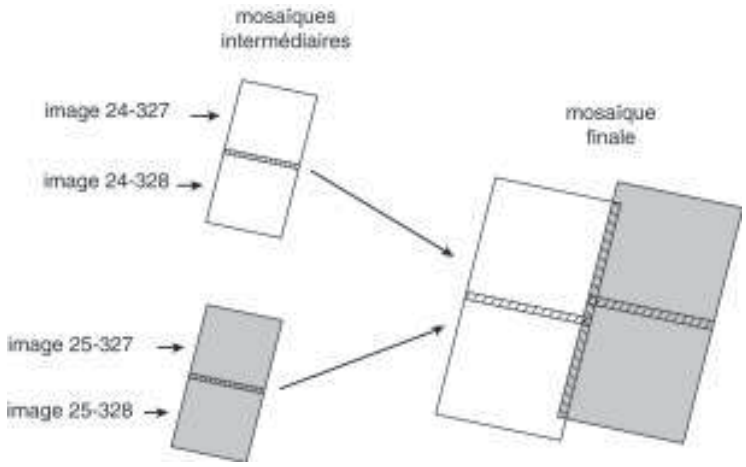
Une première phase de rectification a été réalisée à l'aide d'un modèle décrivant l'orbite du satellite. Connaissant l'heure de passage au noeud ascendant, la longitude lors du passage au noeud ascendant, et les heures de début et de fin d'enregistrement (paramètres fournis dans l'en-tête des images), il est possible d'opérer un changement de référentiel géométrique entre l'image et la projection cartographique choisie (UTM, ellipsoïde de Clarke 1880). En raison des incertitudes du comportement du satellite, la précision de calage absolu de l'image est de l'ordre de 2 à 3 pixels.

Les images de 1995 ayant été acquises simultanément sur deux traces parallèles, les erreurs liées à l'attitude du satellite sont donc identiques. Il est donc préférable de réaliser la mosaïque numérique des quatre images avant de procéder au calage définitif.

3.2.2 création d'une mosaïque

La création d'une mosaïque comprend le repérage d'un point d'appui et le calcul du plan d'assemblage.

Le choix du point d'appui s'effectue de façon interactive en repérant un pixel identique sur les deux images à assembler. Le calcul du plan d'assemblage, la gestion des zones de recouvrement, le passage de la ligne de frontière ou l'égalisation des histogrammes des deux images peuvent être réalisés automatiquement. Il est cependant préférable de contrôler ces paramètres, et en particulier l'égalisation des histogrammes, de façon à ne pas perturber la dynamique radiométrique de l'image. L'ordre d'assemblage des images a consisté à reconstituer les traces du satellite puis à regrouper les deux mosaïques intermédiaires ainsi réalisées (ill. n°12).



ill. n°12 : Plan d'assemblage des images SPOT

Le recalage en absolu de la mosaïque a été réalisé à l'aide d'une méthode polynômiale fondée sur le repérage de couples de points d'appui sur l'image et sur un document de référence (G. Joly, 1986). Compte tenu des rectifications précédemment appliquées, l'opération de calage consiste à opérer un simple mouvement de translation ou de rotation sans modifier la géométrie de l'image. Le document de référence utilisé est la carte topographique portugaise à 1:50 000 (projection UTM, élipsoïde de Clarke 1880). Les points d'appui ont été saisis sur les cartes à l'aide d'une table à numériser.

16 couples de points ont été repérés sur les cartes et sur l'image, répartis sur l'ensemble de l'archipel. Le modèle polynômial calculé à partir de ces couples a fait apparaître des écarts très importants sur certains points. Après vérification, il est apparu que les erreurs constatées étaient imputables à la couverture cartographique et non à l'image. En effet, compte tenu des moyens disponibles dans les années 60 et du relatif isolement de certaines îles, la mosaïque photographique comporte des erreurs assez importantes de calage géométrique. 12 couples de points ont finalement été retenus en respectant une répartition spatiale régulière. L'erreur résiduelle finale est inférieure à 5m pour l'ensemble des points (ce qui ne signifie pas grand chose compte tenu de la taille du pixel SPOT) et l'écart entre les coordonnées mesurées et les coordonnées calculées pour chaque point est toujours inférieur à 10m.

La mosaïque d'images SPOT de 1995 constitue aujourd'hui le meilleur référentiel géométrique sur l'archipel des Bijagos. Elle a été utilisée comme document de référence pour le calage de la mosaïque produite à partir des images acquises en 1990.

3.3 traitements thématiques

Deux types d'informations sont extraits de la mosaïque d'images de 1995 : la morphologie sous marine des petits fonds (< 10 m) et les faciès de la zone intertidale (étude validée et étayée par trois mois de levés sur le terrain).

Pour extraire ces informations, une segmentation de l'image en zones géographiques homogènes (terre, estran, zone marine) a été réalisée.

3.3.1 segmentation de l'image

Trois masques ont été appliqués afin de ne retenir que l'estran et la zone des petits fonds :

- les secteurs marins présentant un fort couvert nuageux ont été éliminés afin de ne pas perturber les traitements statistiques. Il s'agit, en particulier d'une zone à forte concentration de cumulus située à l'ouest du groupe des îles d'Orango.
- les fonds marins supérieurs à 30m ont été masqués à l'aide de la couche d'information hypsométrique. La limite de 30 mètres a été choisie afin de préserver le potentiel de correction des contours réels des formations faiblement immergées. En pratique, la détection des fonds sous-marins n'a pas dépassé 10 mètres compte tenu de la diffusion liée aux charges en suspension.
- les terres émergées ainsi que les mangroves ont ensuite été supprimées en utilisant une classification des états de surface réalisée pour la mise à jour de l'occupation du sol. En raison des risques d'incertitude concernant la limites entre l'estran et les sols nus de la zone supratidale, l'ensemble des sols nus situés au contact de l'estran ont été conservés (dunes très faiblement végétalisées, par exemple).

L'estran émergé et les petits fonds ne pouvant être traités avec les mêmes méthodes, une dernière segmentation a été effectuée en utilisant la bande XS3 pour séparer le domaine émergé du domaine immergé.

3.3.2 étude de la morphologie sous marine

- limites de l'analyse de la morphologie sous-marine à partir de l'imagerie satellitaire acquise dans le visible

Les études de morphologie sous-marine ou de bathymétrie à partir d'images satellitaires, datent du lancement des premiers satellites d'observation de la terre (Landsat 1, 1972). En ce qui concerne

les images SPOT, trois groupes de méthodes sont utilisées. Elles visent à établir une relation directe entre les luminances enregistrées et les profondeurs d'eau :

1- les méthodes physiques se basent sur la modélisation des transferts radiatifs (D.R. Lyzenga, 1978 et 1981 ; J.M. Parades et R.E. Spero ; 1987, S. Maritorena, 1996 ;...) dans l'eau et dans l'atmosphère. Elles comprennent :
   - des modèles de l'atténuation du rayonnement dans l'eau en fonction des trois paramètres principaux que sont : le contenu de l'eau en MES qui contrôle l'atténuation de la lumière, la réflectance du fond qui varie avec sa nature et la hauteur de la colonne d'eau.
   - des modèles atmosphériques : perturbations du rayonnement sur le trajet aller et retour du signal (aérosols,...).

   L'objet de ces modèles est d'extraire d'un signal "brut", une information indépendante des effets de l'atmosphère et de l'hydrosphère. Leur application réelle n'est possible que lorsque la charge en suspension est faible et homogène, ce qui n'est qu'exceptionnellement le cas en zone littorale.

2- les méthodes empiriques utilisent des mesures bathymétriques pour calibrer la profondeur en fonction de la luminance. Les calculs ne tiennent pas compte des paramètres environnementaux pris en compte par les modèles physiques. Cela suppose que la charge en suspension et la nature du fond sont constants et que seul le paramètre profondeur fait varier la luminance. On constate la limite, en dehors de certains secteurs côtiers, de ce type de méthode.

3- les méthodes semi-empiriques combinent des équations de transfert radiatif et des analyses de teneurs en MES (D. K. Warne, 1978...). Ces méthodes ont les mêmes inconvénients que les deux précédemment citées.

Le problème sur lequel butent ces méthodes est la forte variabilité spatiale et temporelle des facteurs perturbants qui font fortement varier les luminances captées au dessus de l'eau en dehors de l'atténuation du signal liée à la profondeur. Ainsi en eau turbide, il est difficile, voire impossible de relier une valeur radiométrique avec une profondeur. Il en est de même en eau agitée par la houle qui modifie la rétrodiffusion du signal. En eau claire et faiblement agitée, il faut aussi tenir compte des variations de la nature du fond.

Notons les conditions particulières qui règnent dans les zones de récifs coralliens. A l'intérieur des lagons, l'eau très claire en raison de sa faible teneur en matières en suspension rend possible l'établissement d'une relation entre la profondeur et les valeurs radiométriques. Cette propriété est d'ailleurs utilisée par le SHOM pour la cartographie de la bathymétrie bien que les variations de la

nature du fond ne soient pas maîtrisées (T. Garlant, 1993).

En raison des conditions de turbidité régnant dans l'archipel des Bijagos nous avons préféré retenir une approche fondée sur l'identification des formes afin de minimiser les risques d'erreurs.

- l'approche morphologique

En dépit des perturbations causées par les turbidités, il est indéniable que l'on peut extraire des informations sur les petits fonds des images SPOT et en particulier à partir des bandes XS1 et XS2. La simple visualisation d'une composition colorée de l'archipel permet de faire quelques observations de type morphologique sur les formations prélittorales (nature, extension,...) des petits fonds (< 10 m). La superposition à l'écran de la mosaïque et de la bathymétrie numérisée présente des différences locales importantes, malgré une analogie d'ensemble.

Si la houle est un élément pénalisant pour établir une relation entre profondeur et radiométrie, elle constitue une information intéressante dans l'approche morphologique. L'analyse de la propagation de la houle permet de différencier une lentille d'eau turbide d'un banc faiblement immergé. Par ailleurs, les turbidités constituent un effet perturbateur important mais elles ne masquent pas totalement les formes sous-marines. L'utilisation conjointe de l'image et de la bathymétrie permet dans de nombreux cas de lever les ambiguïtés. Cette approche a cependant ses limites et doit être employée avec beaucoup de prudence.

En raison du nombre de perturbations rencontrées et de leur variabilité spatiale, une interprétation automatique n'est pas envisageable. Il faut adapter localement l'interprétation aux perturbations présentes sur l'image.

- mise en oeuvre de l'approche morphologique

La mise en oeuvre de l'approche morphologique s'est déroulée en 3 phases :

- classification de l'image,
- lissage de la classification,
- interprétation visuelle assistée par la composition colorée et la bathymétrie numérique.

Une classification automatique a été réalisée sur la partie marine de l'image. Les résultats de cette classification ont fait l'objet de lissages afin d'améliorer la lisibilité des données. La technique de lissage est opérée sur une matrice 3x3, l'affectation du pixel central étant conditionnée par la classe majoritaire représentée sur les pixels voisins.

La phase d'interprétation a été réalisée en confrontant les résultats de la classification et la bathymétrie numérisée. Dans certains cas, les résultats de la classification peuvent être directement utilisés pour préciser les contours des formations pré-littorales. En effet, sur le front marin de l'archipel, les eaux sont peu turbides, la marée est en phase ascendante, la houle y est très faible et on constate une bonne correspondance entre la classification et les isobathes de la carte marine. En revanche en eau turbide voire très turbide comme c'est le cas à l'embouchure du fleuve Geba et le long de la côte au sud du fleuve, il est impossible d'établir un lien entre la classification et les petits fonds. Cependant, en présence de houles réfractées par le fond, l'interprétation des déformations des vagues fournit de bonnes indications sur les formes sous-marines, comme c'est le cas dans la partie sud de l'archipel à la hauteur de l'île de Poilão et João Vieira (ill. n°13).

L'imagerie satellitaire a facilité la correction de certaines erreurs d'interpolation présentes sur les

ill. n° 13 : composition colorée réalisée sur le secteur de Poilão à partir des bandes XS1 et XS2 de l'image SPOT du 09/05/1995

cartes marines. Ceci est particulièrement net au sud des îles de João Vieira et Orangozinho. On a aussi pu confirmer la présence de rochers émergents signalés à l'est de l'île de Poilão sur le carte des unités physiographiques des régions côtières de la Guinée Bissau à 1:500 000 (F. CUQ et F. Gourmelon, 1993), alors que ces rochers n'apparaissent pas sur la carte marine. L'illustration n°14 montre le résultat de la combinaison de la bathymétrie numérisée et de l'analyse morphologique des petits fonds.

3.3.3 étude des ensembles morphosédimentaires de l'estran

On distingue deux ensembles traités séparemment : l'estran émergé et les ensembles humides à très faiblement immergés. Dans le premier cas, les trois bandes XS ont été utilisées pour décrire les ensembles sédimentaires; dans le second cas, seules les bandes XS1et XS2 ont été employées.

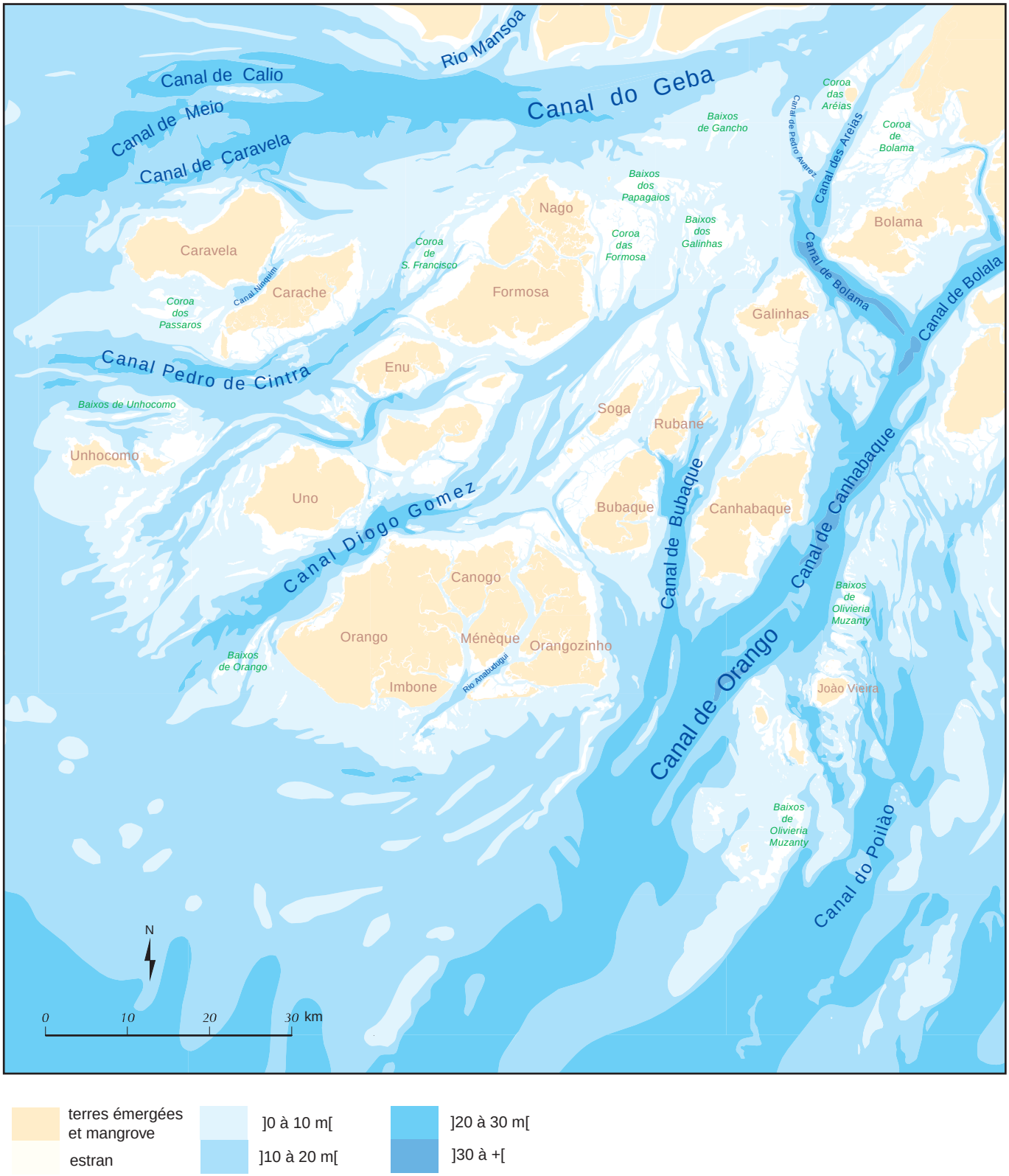
- l'estran émergé

L'analyse des types morphosédimentaires de l'estran se fonde sur l'étude des propriétés optiques des sédiments. Elle aboutit à la réalisation de classifications (F. Verger *et al.*, 1984, F. Cuq *in* M. C. Girard et C.M. Girard, 1989) des états de surfaces représentatifs de la couleur et de l'humidité des sédiments. La méthode de classification utilisée est l'agrégation autour de centres mobiles, initialisée à partir d'un semis de centres de classes aléatoirement répartis au sein du nuage radiométrique. Les résultats différencient des ensembles homogènes en fonction du type sédimentaire et de l'humidité du substrat. L'interprétation est fondée sur l'analyse des signatures multibande des centres de classes.

La description des formations littorales peut se faire en quatre classes :

- les formations dunaires et autres sols nus terrestres,
- l'estran sableux,
- les estrans sablo-vaseux et vaseux : Ces deux types sédimentaires ont été regroupés car nous ne disposions pas de données de terrain pouvant étayer cette distinction. Du point de vue dynamique, ces deux ensembles sédimentaires présentent des caractéristiques similaires car ils se situent dans des secteurs abrités à faiblement agités,
- les formations rocheuses.

En dépit de la simplicité relative des thèmes identifiés, les résultats de la classification font apparaître de nombreux cas où les comportements spectraux de chacun des milieux se caractérisent par des signatures hétérogènes. L'illustration n°15 présente les signatures multibandes des classes qui



ill. n°14 : Représentation cartographique de la combinaison de la couche hypsométrique numérisée et de l'analyse morphologique des images SPOT pour la description des petits fonds

décrivent l'estran émergé. L'hétérogénéité est due :

- aux différents degrés d'humidification,
- aux types sédimentaires : les sables de l'archipel se caractérisent par des textures et des couleurs différentes variant du gris clair, au blanc, au jaune et à l'ocre rouge. Cette variation est liée à la composition minérale et terrigène des sédiments. Ainsi, par exemple, la couleur ocre rouge est due à la concentration en particules oxydées (ill. n°15). De même, le caractère plus ou moins sableux des sédiments vaseux entraîne des variations de teinte dans les gris.

ill. n° 15: Variations de couleur des sables sur une plage de l'île de Canhabaque en raison de la topographie et de la présence d'un petit émissaire apportant des éléments oxydés sur l'estran (photo: P. Campredon)

- la présence de végétation plus ou moins dense marquée par une augmentation de la luminance dans le proche infrarouge. Sur les estrans sablo-vaseux et dans une moindre mesure sableux, il s'agit essentiellement d'herbiers ou de phytoplancton déposés sur l'estran. La contribution de la végétation entraîne aussi une confusion entre le comportement spectral des formations sédimentaires végétalisées et de certaines formations rocheuses dont les interstices sont colmatés par des sédiments qui servent de substrat à quelques plants de Rhizophora. Il en résulte que les formations rocheuses sont décrites par les classes 2, 3, 6 et 8 et les formations sédimentaires végétalisées par les classes 3 et 6 (ill. n° 16). De même la classe 13 décrit des milieux situés à la frontière entre les formations végétalisées et les sols nus.

Afin de lever ces incertitudes, les résultats de la classification ont été confrontés aux levés effectués sur le terrain ainsi qu'à la description des ensembles rocheux de la carte topographique à 1:50 000. Le problème posé par les pixels mixtes situés en lisière de zones couvertes de végétation et de sols nus a été traité à l'aide des outils de l'analyse spatiale. Le résultat de la classification a été transformé en fichier vectoriel de façon à opérer le regroupement des pixels adjacents et de classe identique

centre
de classe

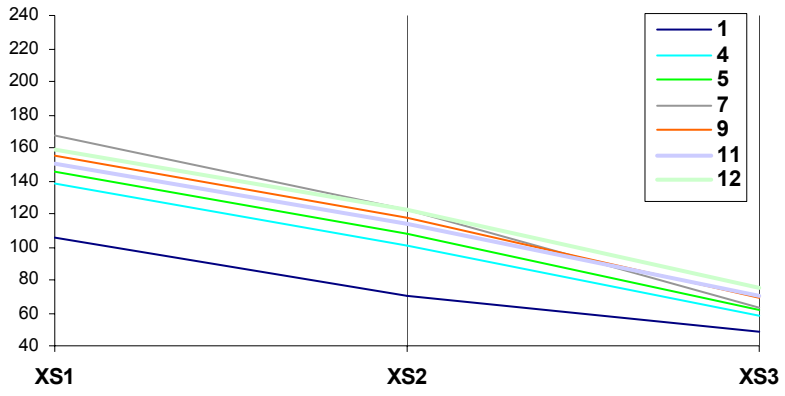
	XS1	XS2	XS3
1	105	70	48
4	138	101	58
5	146	108	62
7	167	122	63
9	155	117	69
11	150	114	70
12	159	122	75

	XS1	XS2	XS3
10	144	110	70
14	170	130	77
15	142	113	82
17	154	123	84
18	164	133	93
19	180	143	95
27	178	180	131
28	227	199	134

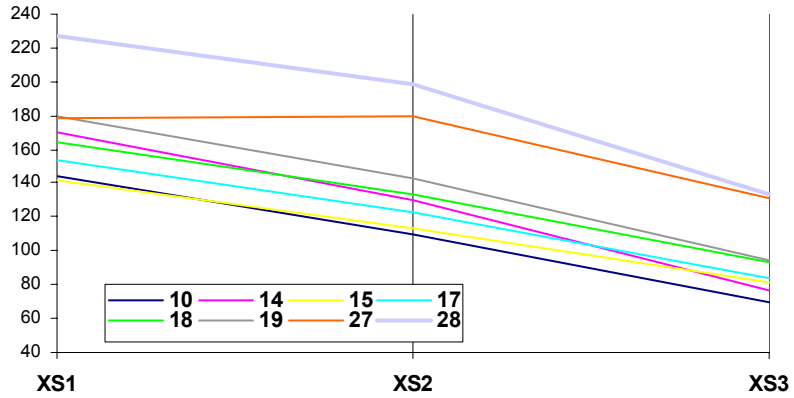
	XS1	XS2	XS3
16	123	96	83
20	127	110	103
21	157	103	104
22	115	89	106
23	145	127	110
24	200	161	112
25	171	147	114
26	127	154	124

	XS1	XS2	XS3
2	133	94	51
3	120	86	55
6	127	94	63
8	138	104	66
13	107	77	77

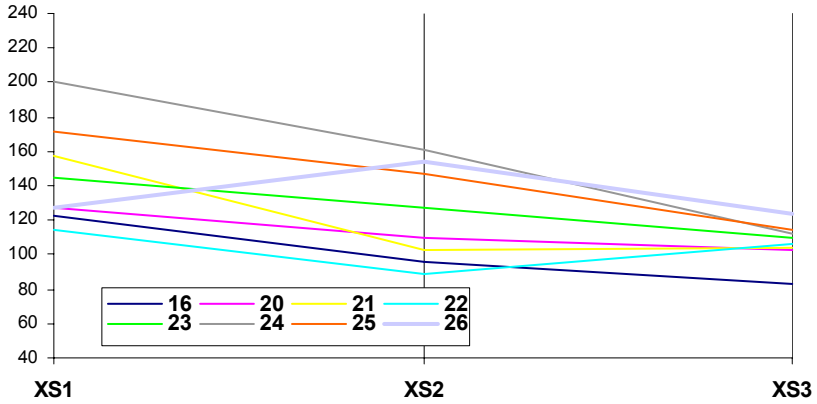
Signature multibande des centres de classe : milieux vaseux



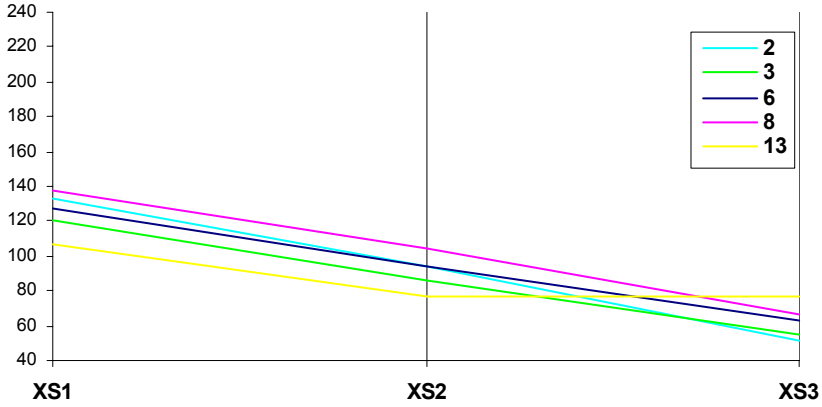
Signature multibande des centres de classe : milieux sableux



Signature multibande des centres de classe : milieux dunaires



Signature multibande des centres de classe : milieux mixtes
(rochers et estrans végétalisés)



ill. n° 16: Signatures multibandes moyennes des formations émergées

sous la forme de polygones. Ce fichier a ensuite fait l'objet d'une analyse de voisinage fondée sur les propriétés déduites de la topologie. Chaque polygone pouvant être décrit par l'ensemble des polygones qui lui sont adjacents, il est possible de définir des règles de réaffectation des attributs thématiques. L'usage successif de requêtes opérant une sélection des polygones caractérisés par un voisinage spécifique a servi de base à la correction des secteurs de lisières.

- les formations très humides ou faiblement immergées

En raison de la forte absorption de l'infrarouge dans l'eau, l'étude des formations faiblement immergées a été réalisée par une segmentation opérée à partir des bandes XS1 et XS2. L'illustration n°17 montre les regroupements opérés. Trois classes ont été retenues décrivant les milieux sableux, sablo-vaseux et rocheux. Ces résultats sont peu satisfaisants pour les parties les plus basses de l'estran car l'humidité perturbe fortement les capacités de distinction des ensembles sédimentaires. Les résultats des classifications sur l'estran émergé et sur les formations humides ou faiblement immergées ont par la suite été réunis dans un seul et même fichier afin de lever les indécisions éventuelles d'affectation (ill. n° 18) . Ce fichier a ensuite été intégré en tant que couche thématique dans la base d'information géographique.

3.3.4 apports de la télédétection pour l'étude des masses d'eau

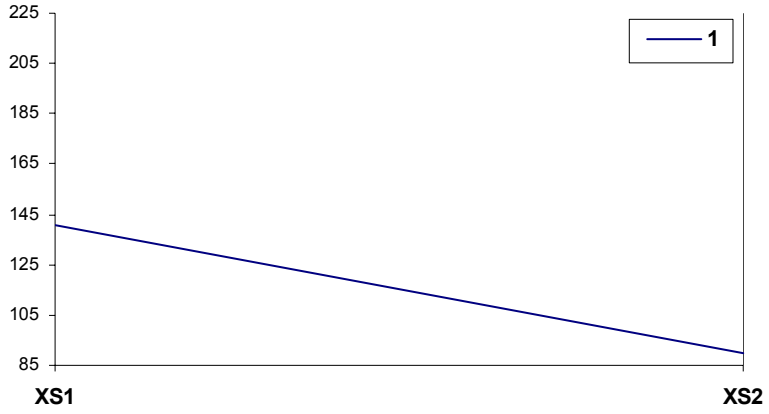
Outre la réalisation des couches d'information thématiques, les images satellitaires nous ont apporté des connaissances sur la circulation des masses d'eau. Elles constituent dans ce domaine des sources d'information précieuses (F. Bonn et G. Rochon, 1992, F. Cuq *in* M.C. Girard et C. M. Girard,...). En zone littorale, différents traceurs naturels des échanges entre les masses d'eau peuvent être observés sur les images satellitaires : les turbidités, les effets de fronts entre masses d'eau. Sur l'ensemble des images disponibles pour cette étude, un phénomène est particulièrement marquant : les panaches de turbidité associés aux estuaires côtiers. Leurs caractéristiques seront décrites dans le chapitre consacré à la dynamique.

Enfin, l'observation des phénomènes de front entre les masses d'eau, de la pénétration de la houle dans des conditions de marée connues, ont permis d'apporter des informations sur les agents de

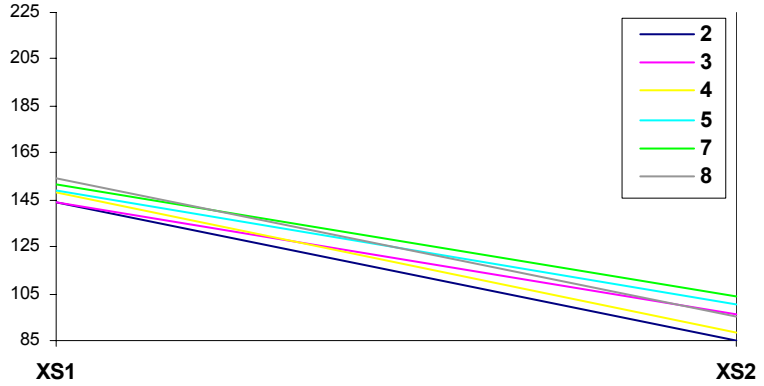
centres de classe

	XS1	XS2
1	141	90
2	144	85
3	144	96
4	148	88
5	149	100
7	152	104
8	154	95
6	150	91
9	156	100
10	162	97
11	167	108
12	170	113
13	174	119
14	177	129
15	181	121
16	185	137
17	187	128
18	194	135
19	194	146
20	206	159
21	207	145
22	222	168

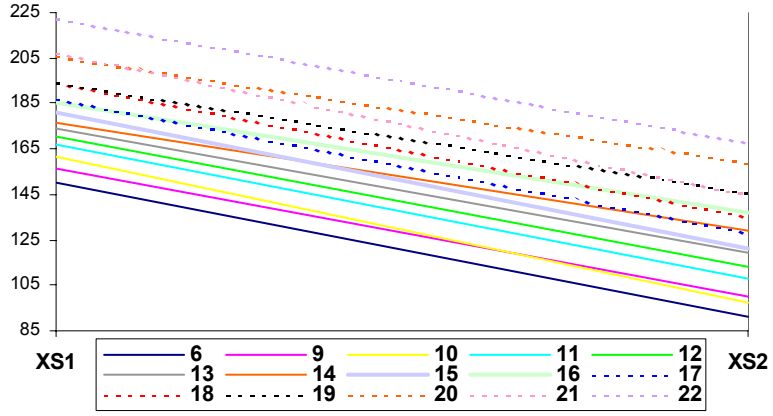
Signature multibande des centres de classe :
estrans rocheux faiblement immergés



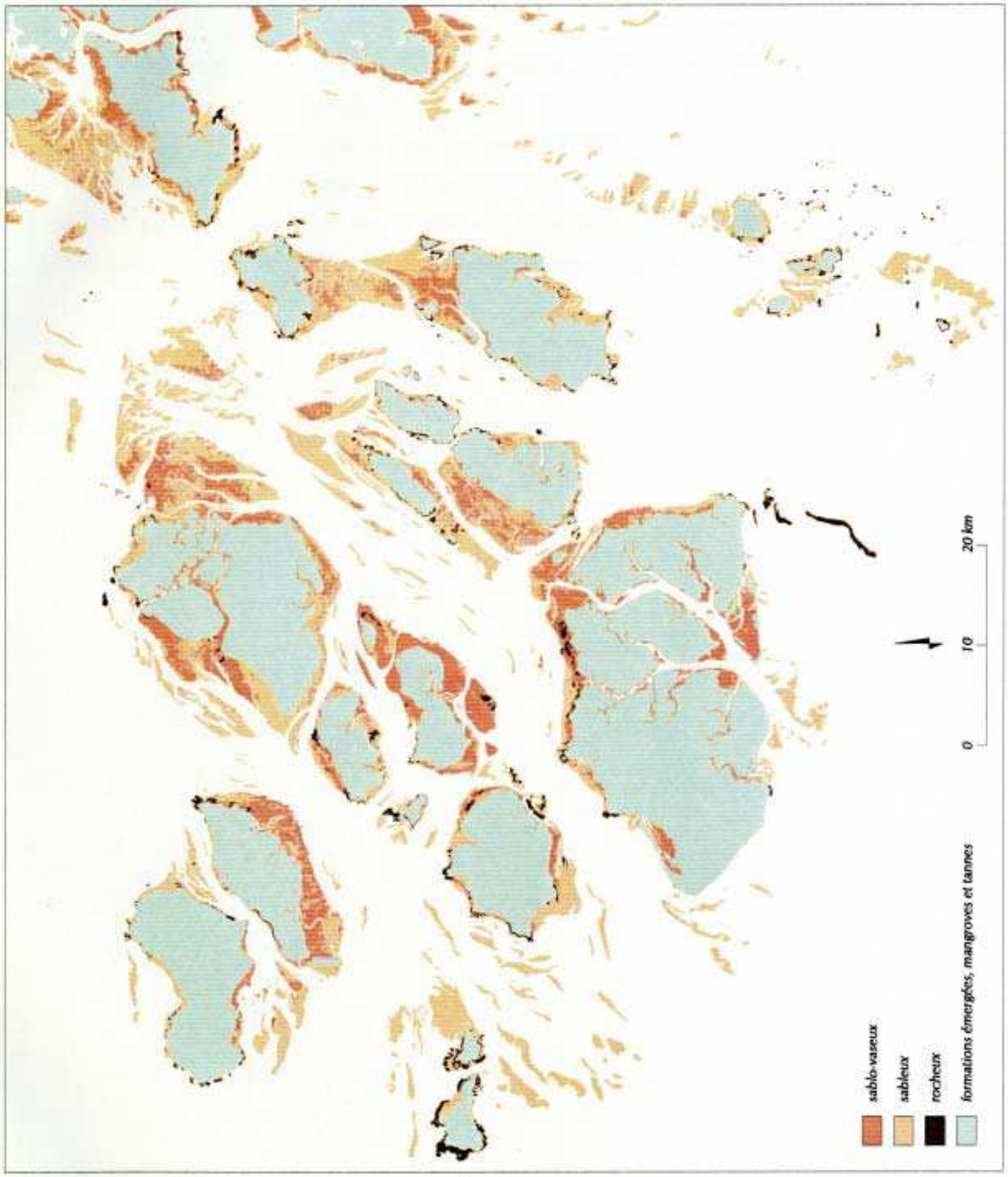
Signature multibande des centres de classe :
estrans sablo-vaseux faiblement immergés



Signature multibande des centres de classe :
estrans sableux faiblement immergés



ill. n° 17: Signatures multibandes moyennes des formations faiblement immergées



ill. n°18 : Représentation graphique de la couverture des formations de la zone intertidale

la dynamique littorale, données qui restent rares sur l'archipel.

Conclusion

L'intégration des résultats du traitement d'images satellitaires SPOT dans la BIG constitue une des bases de la réflexion méthodologique. En ce qui concerne plus spécifiquement l'estran et la description des petits fonds, ces images ont permis d'une part de corriger certaines erreurs d'interpolation sur les cartes marines et de préciser certains contours et d'autre part de décrire les faciès de la zone intertidale. Nous disposons donc à ce niveau de deux fichiers l'un en mode vecteur, la bathymétrie, et l'autre en mode rasteur, la nature sédimentaire de l'estran.

Chapitre 4 - Étude sédimentologique

introduction

L'intégration de données sédimentologiques dans une BIG pose deux types de problèmes : la précision de la localisation des lieux de prélèvement et la représentativité spatiale de l'échantillonnage. L'emploi d'un récepteur GPS a permis de garantir la précision nécessaire à l'échelle d'analyse utilisée. La représentativité de l'échantillonnage a été assurée par la collecte de 600 échantillons sédimentologiques analysés en Guinée-Bissau au moyen d'une balance sédimentométrique conçue par l'Université de Delft et la SOGREAH (P. Galichon et Z. Makowski, 1993), dans le cadre du programme MAST (MArine and Science Technology).

4.1 localisation des prélèvements par le système GPS

L'obtention de localisations précises pour les mesures effectuées sur le terrain a justifié l'emploi d'un récepteur GPS fournissant une précision de localisation compatible avec l'usage de l'imagerie SPOT.

4.1.1 le système GPS

Le système américain GPS, ou *Global Positioning System*, est aujourd'hui l'instrument de localisation le plus utilisé en raison de sa facilité de mise en oeuvre (S. Botton *et al.*, 1997). Les coordonnées géographiques et l'altitude d'un point à la surface du globe sont obtenues à partir des informations fournies par une constellation de 24 satellites émetteurs, mis en orbite autour de la terre par le *Departement Of Defence* américaine (*DOD*) (P.H. DANA, 1997). Le déplacement de ces satellites est tel que, dans des conditions normales d'utilisation, 4 à 6 d'entre eux sont à toute heure visible d'un point quelconque du globe. Ces satellites émettent à chaque seconde simultanément (grâce à une synchronisation par une horloge atomique) un signal complexe sur les fréquences de 1575,42 MHz et 1227.60 MHz. Ce signal indique l'heure d'émission et la position du satellite émetteur. Le récepteur GPS capte les signaux accessibles à une heure connue. A partir du temps de transmission des signaux, la distance entre l'émetteur

et le récepteur est alors calculée à un facteur près qui dépend de la vitesse de propagation. Cette vitesse de propagation est principalement fonction de la distance entre le couple capteur/émetteur et conditionne fortement la précision du positionnement. La précision de la mesure est aussi limitée par les obstacles réfléchissant le signal (relief, végétation haute,...).

La précision de la mesure peut être affinée par différentes méthodes qui nécessitent d'associer des périphériques au récepteur mobile. Une étude réalisée aux USA (August *et al*. 1994 *in* J. P. Legros, 1996) montre que si pour un GPS standard de coût relativement modeste l'incertitude de positionnement instantanée est de 73 m, elle est de 6 m avec correction. Les résultats sont spécialement précis si chaque mesure est prise en continu pendant plus de 5 minutes.

4.1.2 description de la manipulation

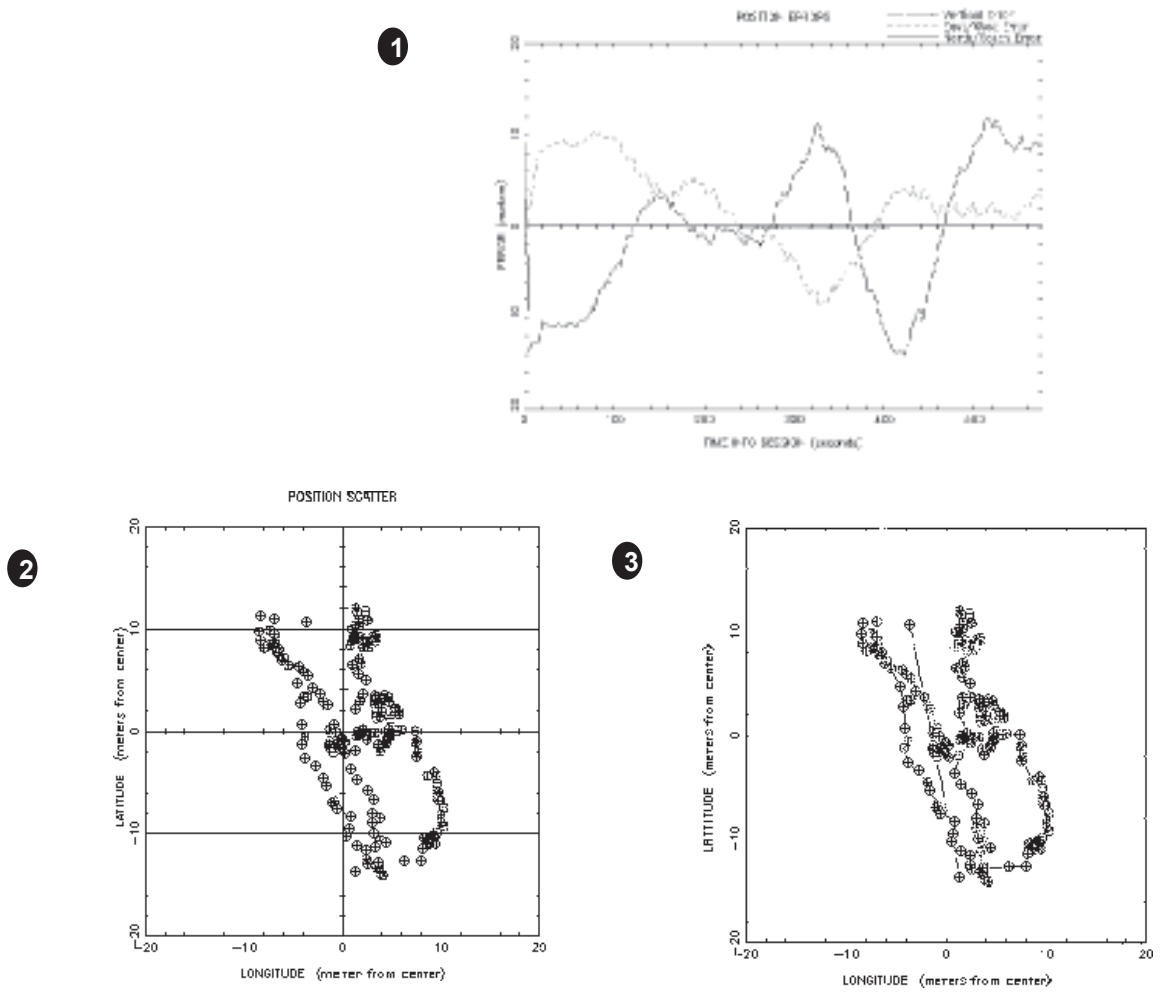
Nous disposions d'un GPS de type NAV 5000 PRO qui permet un positionnement instantané avec une précision moyenne de 20 m. Afin d'optimiser le positionnement, pour opérer un calage précis de certains échantillons par rapport aux images satellitaires, nous avons connecté le GPS à un PC portable. Cette connection avait pour but l'enregistrement pendant une période de dix minutes des différentes positions données par les satellites. L'étude statistique de cet échantillonnage de points, en moyenne 200, à permis d'affiner les positions des points repérés.

4.1.3 prise en compte de l'erreur (déviation) et calcul de la position moyenne

Le logiciel fourni par le constructeur du récepteur GPS (Magellan) donne les méthodes graphiques et statistiques pour calculer une position précise et vérifier la qualité de la mesure.

- les méthodes graphiques

L'affichage à l'écran du nuage de points en deux dimensions (x, y) et les variations en latitudes et longitudes de chaque point permet une première estimation de la qualité du point calculé. L'historique du positionnement permet de visualiser la dégradation du signal dans la période d'enregistrement (ill. n°19).



ill. n° 19 : Représentations graphiques d'un nuage de points acquis par le récepteur GPS
***1**: déviations en x et y ; **2** : répartition spatiale du nuage de points ; **3** : historique de l'acquisition du point*

- les méthodes statistiques

Le calcul de l'erreur quadratique moyenne, du cercle d'erreur probable et de l'erreur moyenne radiale permettent de décrire l'ensemble des caractéristiques du nuage de points (ill. n°20 et n°21). Dans le meilleur des cas, on peut atteindre une précision de 5m.

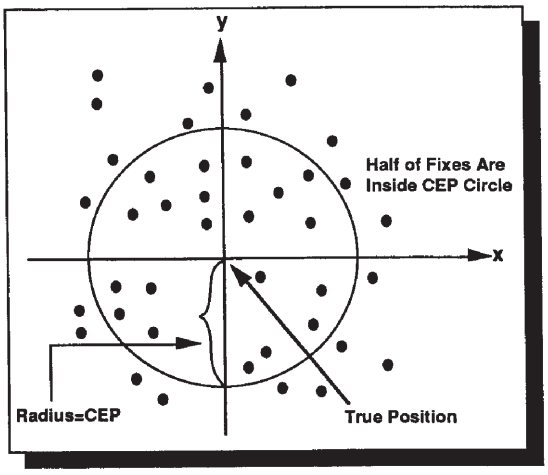
ill. n°20 : Édition des coordonnées géographiques calculées et des paramètres statistiques permettant d'évaluer la qualité du point

```
MAGELLAN SYSTEMS CORPORATION  Copyright 1992  -  V2.7

PLAN   LOG   STATS   CONVERT   DIFFERENTIAL   SETUP          QUIT

DATA FILE:  JOAOUI01.DAT                          NUMBER OF SAMPLES:    258
OUTLIER LIMIT: 15.00 M                     NO. EXCEEDING OUTLIER LIMIT:     70

AVERAGE LATITUDE :  +11 03 25.672          STD DEV. N/S SCATTER:  7.33 M
AVERAGE LONGITUDE: - 15 37 55.817          STD DEV. E/W SCATTER:  4.53 M
AVERAGE ALTITUDE :      2.00 M             STD DEV. ALT SCATTER:  0.00 M

                                           2-DIMENSIONAL   3-DIMENSIONAL
                              RMS DEVIATION:  8.61 M          8.61 M
                        MEAN RADIAL DEVIATION:  7.89 M          7.89 M

RELATIVE TO AVE POS - CEP:  8.15 M              SEP:  8.15 M
```

❶ L'erreur quadratique moyenne (RMS : root mean square)

$$\text{RMS error (in 2D)} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|\bar{e}_i|^2} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i^2 + y_i^2)}$$

❷ Le cercle d'erreur probable (CEP)



CEP CIRCLE

❸ Erreur moyenne radiale (MRE)

$$\text{MRE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|\bar{e}_i| = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

ill. n°21 : Paramètres statistiques décrivant la qualité des positionnements acquis par GPS

4.2 les prélèvements sédimentaires

La collecte de prélèvements sédimentaires sur l'estran avait pour but de mettre en évidence les caractères révélateurs de l'action des agents dynamiques. Les prélèvements ont fait l'objet d'une analyse granulométrique afin de décrire la répartition statistique des tailles de grains dans un échantillon donné. Cette analyse a été complétée par une étude de la morphologie superficielle des grains de quartz (morphoscopie et exoscopie).

L'intégration de couches thématiques décrivant la sédimentologie de l'archipel dans la base d'information géographique imposait la définition de règles de représentativité et de cohérence spatiale de l'échantillonnage. Compte tenu du cadre géographique étudié, la seule méthode garantissant le respect de ces règles consistait à collecter un grand nombre d'échantillons répartis sur l'ensemble des estrans insulaires. Les méthodes classiques d'analyse granulométrique étant mal adaptées au traitement de grandes quantités de prélèvements, une colonne à sédimentation, appelée encore balance sédimentomètrique a été utilisée.

Partant du constat que les milieux à sédimentation principalement vaseuse sont des milieux progradants localisés dans des zones à faible énergie, l'étude sédimentologique a été centrée sur les milieux sableux, caractérisés par une origine dynamique plus complexe, ainsi que le signalent de nombreux auteurs (E. J. Anthony, 1990 et 1995 ; E.S. Diop, 1990 ; T. Diaw, 1997 ; ...).

4.2.1 la colonne à sédimentation

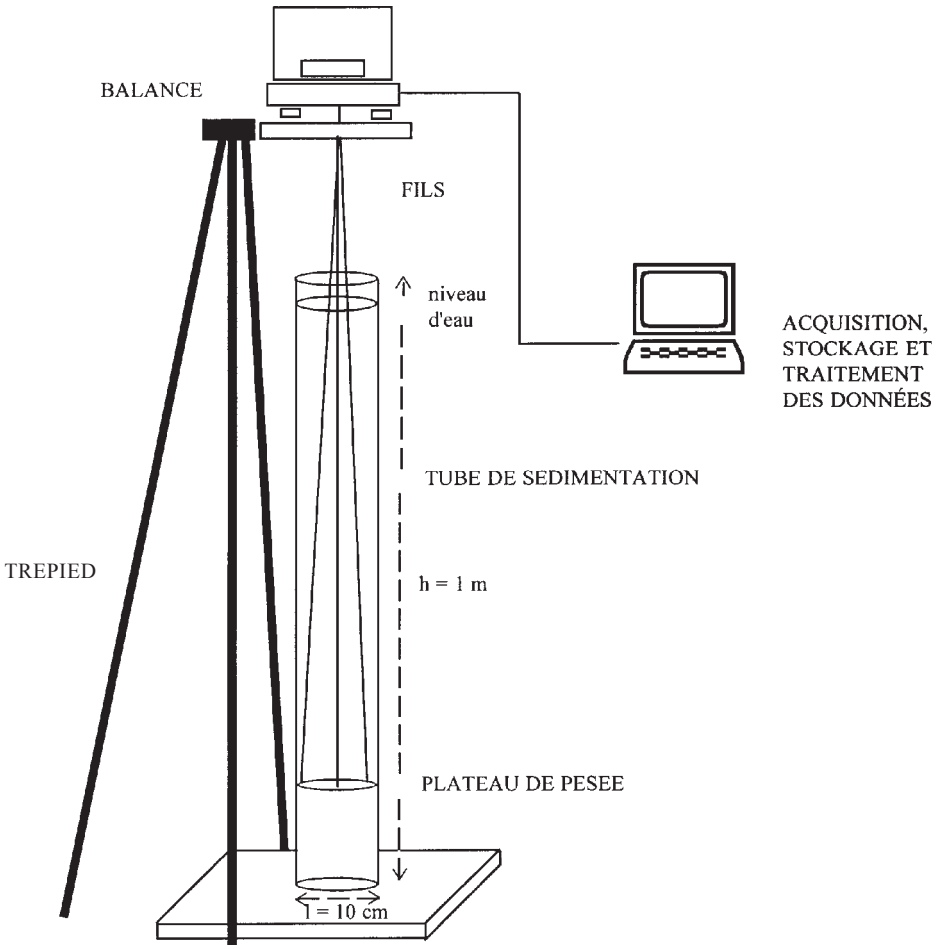
La colonne à sédimentation utilisée a été conçue rappelons le, par le Département d'ingénierie de l'Université de Delft et la SOGREAH dans le cadre du programme européen MAST (Marine Science and Technology programme). Cet appareil mesure les vitesses de chute de sédiments cohésifs ou non-cohésifs, qu'ils soient naturels (vases, sables,...) ou artificiels (P. Galichon et Z. Makowski, 1993). Le principe de la mesure repose sur la notion de tri hydraulique, c'est à dire l'enregistrement dans le temps du dépôt d'un échantillon sédimentaire largué dans une colonne d'eau de hauteur connue. La relation entre le temps et le poids déposé au fond de la colonne permet d'établir la relation entre la vitesse de chute et la granulométrie. Dans les laboratoires de sédimentologie, le tri hydraulique est utilisé de manière opérationnelle pour l'étude de la vitesse de chute des particules fines (J. B. Buchanan, 1984). Il n'avait pas été étendu aux sables en raison de leur vitesse de chute rapide. L'emploi d'une balance à haute fréquence d'échantillonnage temporel connectée à un ordinateur permet d'effectuer selon les réglages entre 5 et 7 pesées par seconde et lève donc l'obstacle de la vitesse de chute.

- description et précision de la mesure

A partir des plans et conseils des concepteurs, une colonne à sédimentation a été construite au laboratoire. Elle se compose de quatre éléments principaux (ill. n°22) :

- une balance Mettler, précise au 1000ème de gramme, reposant sur un support fixe et disposant d'un système de *pesée par en dessous*, d'une charge maximale de 200 gr.,
- un tube en plastique transparent de 1 m de haut et de 10 cm de diamètre,
- un plateau de balance, ajusté sans frottement au diamètre du tube, suspendu près du fond et relié à la balance par l'intermédiaire de trois fils non déformables,
- un micro-ordinateur portable connecté à la balance et piloté par un logiciel d'acquisition de données développé au laboratoire.

Les tests effectués par les concepteurs montrent que la balance donne des résultats satisfaisants pour des éléments ayant une vitesse de chute maximale de l'ordre de 13 cm/s,



ill. n°22 : Colonne à sédimentation construite selon le modèle proposé par P. Galichon et Z. Makowski (1993)

ce qui correspond à la vitesse de chute d'un grain de sable de l'ordre de 2 mm dans de l'eau. Cela permet donc de couvrir l'ensemble de la classe sableuse définie selon les normes A.F.N.O.R. et la classification de Wentworth reproduite ci-dessous :

		classes granumométriques mm	µm
blocs		>256	
cailloux		256-64	
galets		64-4	
graviers		4-2	
sables très grossiers		**2-1**	**2000-1000**
sables grossiers		**1-1/2**	**1000-500**
sables moyens	**sables**	**1/2-1/4**	**500-250**
sables fins		**1/4-1/8**	**250-125**
sables très fins		**1/8-1/16**	**125-62**
limons		1/16-1/256	62-4
argiles		<1/256	< 4

La détermination par tri hydraulique de la composition granulométrique d'un échantillon de sable est donc possible. Les études réalisées par Kranenburg (1992), C. Kuijper C. *et al.* (1992)

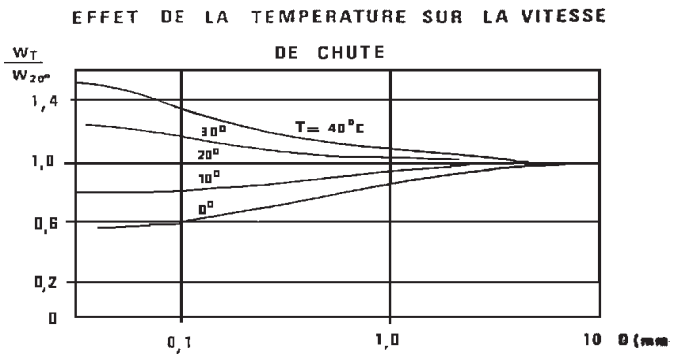
et P. Galichon *et al*. (1993) sur la précision de la mesure présentent des résultats très satisfaisants dès lors que certaines précautions sont prises. Pour mettre au point les techniques de tamisage mécanique, il a été nécessaire de mener de nombreuses études sur la taille des tamis, leur progression, le poids de l'échantillon à traiter, la préparation des sédiments (lavage, séchage) pour obtenir des résultats statistiquement recevable (M. Gulink, 1943 ; A. Cailleux, 1963 ; L. Berthois, 1949 et 1975 ; L. Berthois *et al.* , 1951, F. Verger 1976). De la même façon diverses questions étaient à résoudre avant d'arriver à obtenir une bonne relation entre la taille des grains et la vitesse de chute des sédiments dans une colonne d'eau.

Compte tenu des conditions décrites par la SOGREAH, nous avons défini un protocole d'expérimentation qui tient compte des éléments suivants :

- la quantité et la qualité des sédiments à larguer,
- la compensation des perturbations qui se créent dans la colonne d'eau au moment du largage,
- les variations de la viscosité de l'eau en fonction de la température

- conditions de la mesure

Le tube doit être rempli quelques heures avant la mesure pour que les bulles d'air aient le temps de disparaître et que la température de l'eau puisse se stabiliser. Comme le montre l'illustration n°23 la viscosité de l'eau varie sensiblement avec sa température. Il faut donc mesurer celle-ci régulièrement durant la manipulation et la prendre en compte lors de l'étalonnage afin de pouvoir comparer les mesures réalisées à différentes températures.



ill . n°23 : Effet de la température sur la vitesse de chute des sédiments

(extrait de C. Migniot, 1988)

Le largage manuel de l'échantillon constitue l'un des risques d'erreur de la mesure. Bien que les sables se classent dans la catégorie des sédiments non cohésifs, l'échantillon étudié doit être préalablement mouillé et le système de largage doit être immergé. En effet, les sables fins de faible densité ont une humidification lente et auraient tendance à flotter en surface s'ils n'étaient pas préalablement mouillés. Le système le plus simple consiste à utiliser une cuillère

qui permet de larguer entre 5 et 10 gr d'échantillon, poids conseillé par les concepteurs pour éviter l'effet "d'ascenseur" , c'est à dire le retour d'une partie du sédiment vers la surface en raison des turbulences créées par le largage, ou encore une précipitation plus rapide vers le fond liée aux effets d'agglutinement.

- étalonnage de la mesure

En théorie la mesure est valide entre 2000 et 60 µ. Nous avons donc tamisé des sédiments-étalon pendant 20 minutes à l'aide d'une colonne de tamis de type A.F.N.O.R, jusqu'à l'obtention de 16 refus de tamis d'environ 60 g. Selon L. Berthois (1949) à 15 minutes, l'erreur commise sur diverses fractions peut être de 5 à 6 %. Nous disposions donc d'une série de 16 classes granulométriques bien triées s'échelonnant entre 50 et 2000 µ représentant chaque classe de la série A.F.N.O.R. présentée ci-dessous :

]2500 ... 2000] µ
]2000 ... 1600] µ
]1600 ... 1250] µ
]1250 ... 1000] µ
]1000 ...800] µ
]800 ... 630] µ
]630 ...500] µ
]500 ... 400] µ
]400 ... 315] µ
]315 ... 250] µ
]250 ... 200] µ
]200 ... 160] µ
]160 ... 100] µ
]100 ... 80] µ
]80 ... 63] µ
]63 ... 50] µ

Afin d'étudier les relations entre la vitesse de chute, la granulométrie et la température de l'eau, nous avons effectué une mesure par refus de tamis et par température à 20°, 25°, 30° et 35° (ill. n°24.) On obtient donc quatre séries de 16 vitesses de chute correspondant aux quatre températures d'analyse. Ces données sont par la suite utilisées pour calculer une régression linéaire multiple (C. Kraneburg, 1992) de la forme :

$$Ø = a_0 c + (a_1 * v) + (a_2 * t)$$

où : $Ø$ est le diamètre en µ

v est la vitesse de chute en cm/s

a_0, a_1, a_2 sont les coefficients de l'équation

Après calcul des coefficients, l'équation est de la forme :

$$Ø = 1.9347288 + (v^* \ 0.08229381) + (t^* \ -0.00229451)$$

Cette relation fournit un coefficient de détermination $r^2 = 0.96$

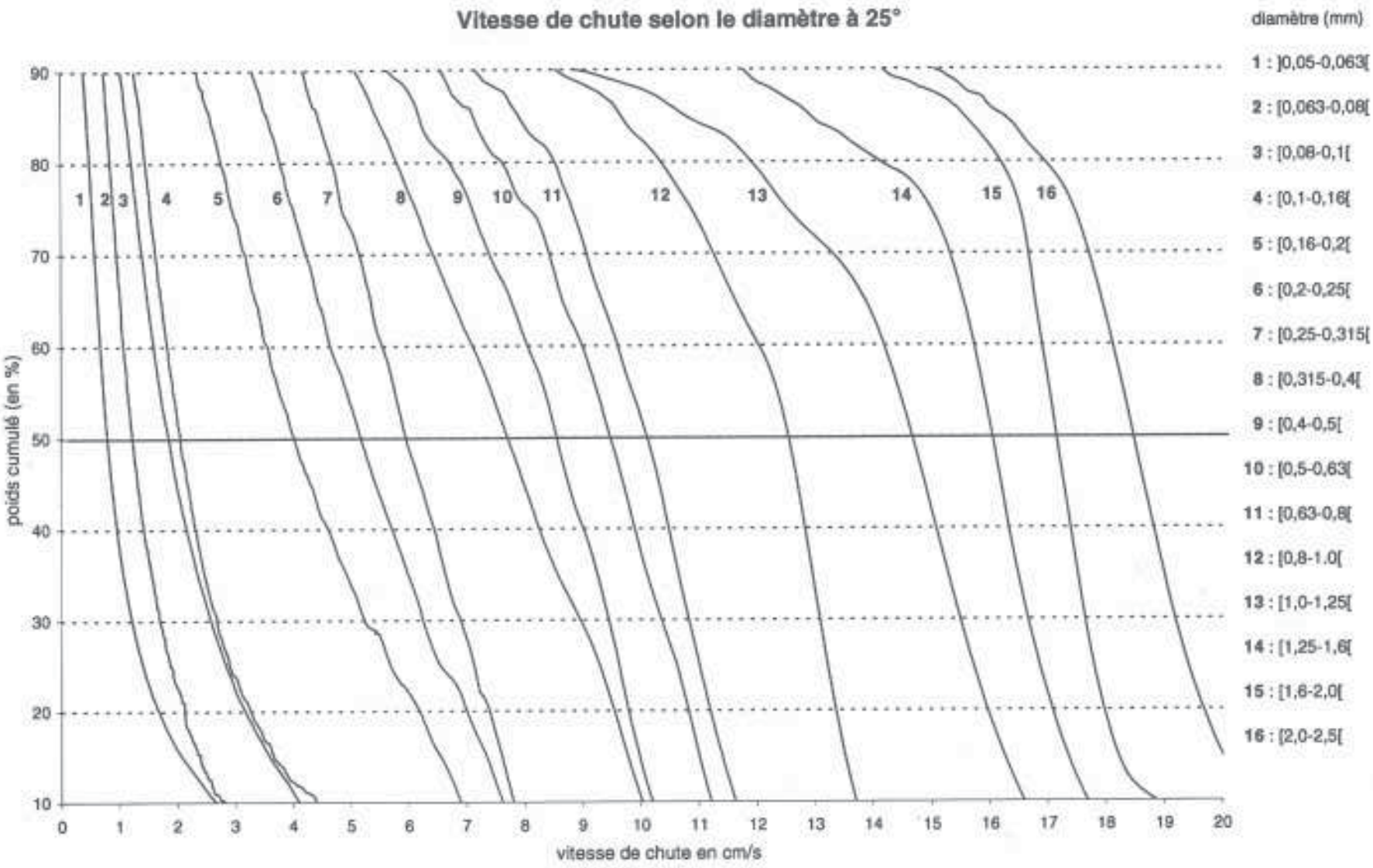
L'illustration n°25 présente 6 exemples de courbes granulométriques cumulatives en échelle phi, calculées à partir de cette relation. Les principaux résultats de l'analyse des 600 prélèvements effectués sur le terrain sont présentés dans l'annexe 1. Ils nous ont permis de calculer un grain moyen MZ (ou indice de Folk) et SI (indice de tri) (H. Chambley, 1987) que l'on retrouve sur les cartes des pages ..

$$Mz = (fract16 + fract50 + fract84) / 3$$

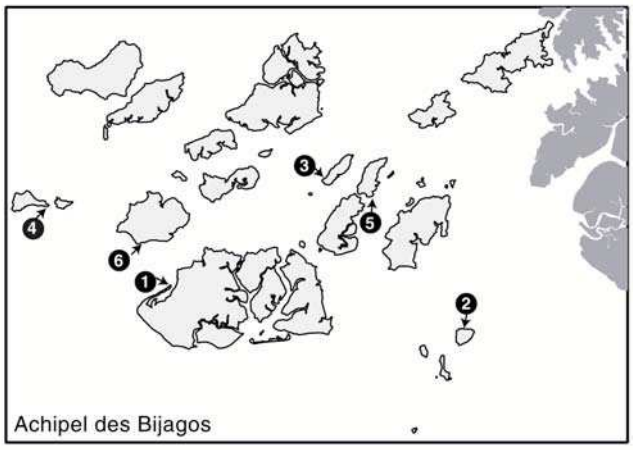
$$Si = (fract2 - fract\ 6 / 4) + (fract1 - fract\ 7)) / 6.6$$

4.2.2 étude de la morphologie superficielle des grains de quartz

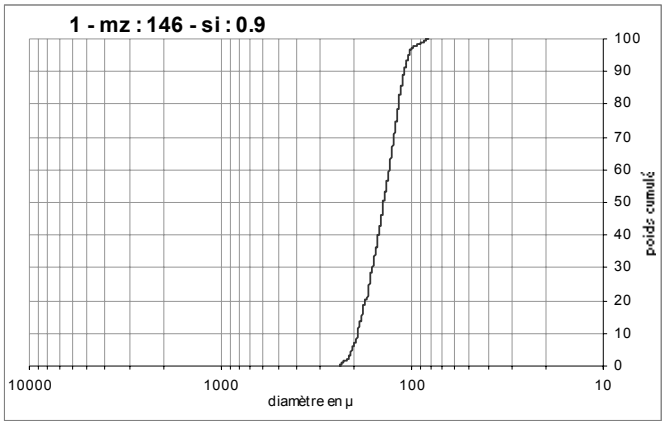
L'analyse granulométrique a été complétée par une étude de la morphologie superficielle des grains de quartz (morphoscopie et exoscopie) . La morphoscopie a été réalisée à la loupe binoculaire sur 36 échantillons sélectionnés. Elle est basée sur des comptages de grains de quartz en fonction de leur morphologie selon la méthode de A. Cailleux améliorée. L'étude des grains de quartz (composant quasi-exclusif des échantillons) nous a permis de déterminer deux grands types de grains des quartz : les émoussés luisants et les ronds et ovoïdes (Annexe n°3.) L'examen au microscope à balayage, ou exoscopie des grains de quartz, constitue un degré supplémentaire d'analyse des formes caractéristiques de ces grains qui s'attache à en décrire la morphologie de détail (L. Le Ribault ,1977 ; M.P. Aubry et A. Rouvillois, 1974,...). Notons que nous n'avons pas réalisé d'étude de la teneur en calcaire des échantillons en raison du fait que les sédiments échantillonnés en 1994 et examinés à la loupe binoculaire sont exclusivement quartzeux.

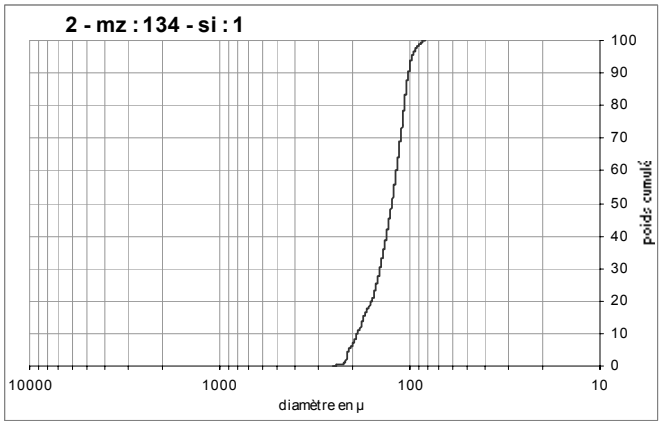


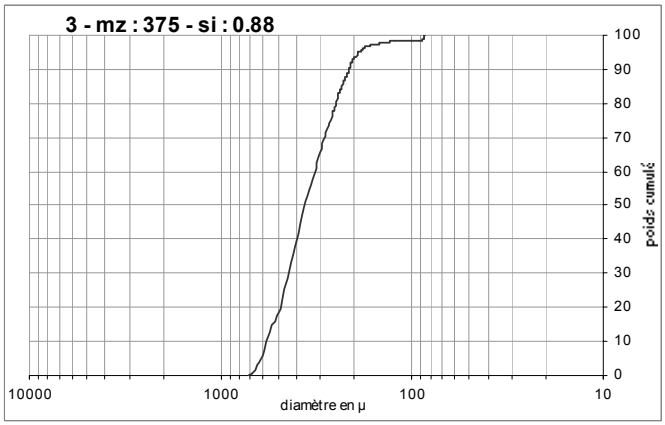
ill. n° 24 : Vitesses de chute des grains de sables à 25° selon leur taille

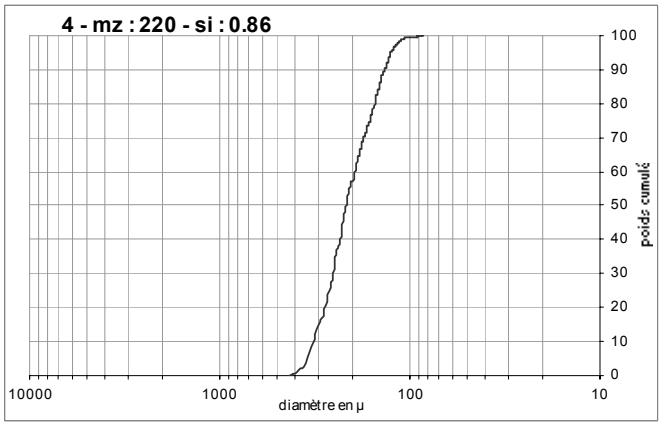


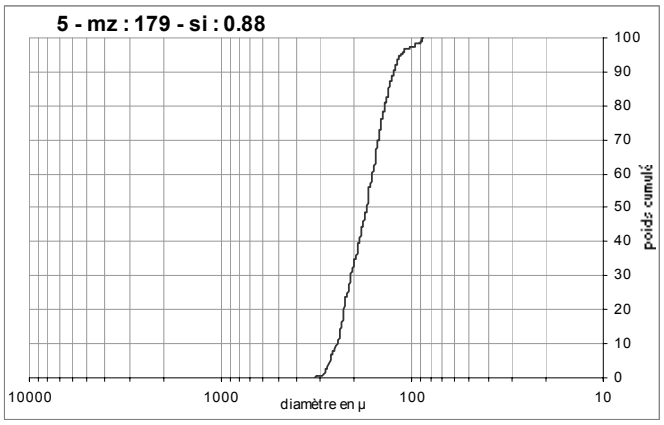
localisation des prélèvements

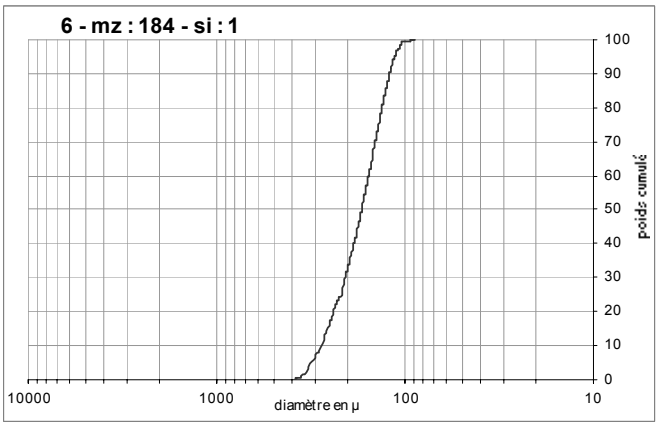












ill. n° 25: Exemples de courbes de féquences cumulées représentées en échelle phi

Chapitre 5 - Analyse de la base d'information géographique et exploitation cartographique des résultats

introduction

Après avoir présenté les méthodes de constitution des couches d'information utiles à l'étude, ce chapitre aborde la description des procédures et des méthodes d'analyse spatiale sur lesquelles se fonde la typologie dynamique des littoraux. Cette typologie repose sur une segmentation de l'espace littoral établie par une mise en relation topologique de la morphologie des petits fonds, de l'estran et de la situation des milieux littoraux dans l'archipel. Chaque ensemble ainsi décrit est ensuite renseigné par une série d'attributs caractérisant les propriétés morphosédimentaires de l'estran, la nature des contacts terre/estran, les formes et les processus dynamiques. Une analyse statistique multivariée est ensuite effectuée afin d'aboutir à la définition de la typologie dynamique du littoral de l'archipel.

5.1 l'exploitation des couches d'information

L'exploitation des couches d'information fait appel à des procédures d'analyse spatiale qu'il est utile de présenter avant d'aborder l'analyse des données proprement dite.

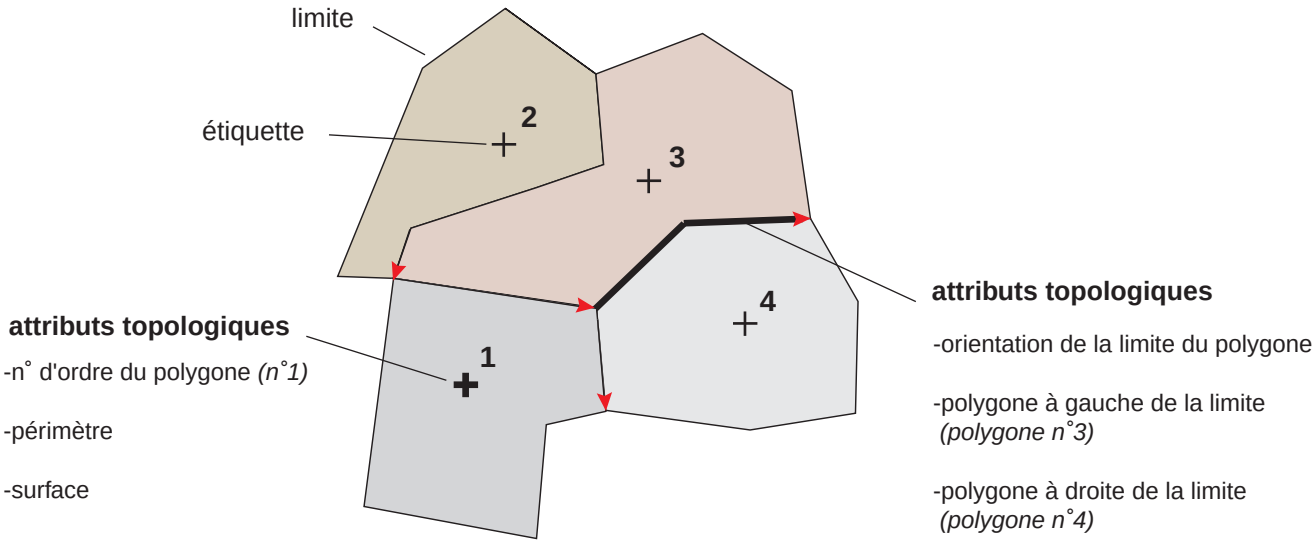
D'une manière générale, l'analyse spatiale se définit comme "un processus cognitif et itératif qui utilise différents opérateurs, dont un spatial au moins, pour déduire les caractéristiques descriptives ou spatiales d'un phénomène isolé ou groupé, réel ou simulé dans l'espace" (P. Champoux et Y. Bédard, 1992). Dans le cas de bases d'information géographique, l'analyse spatiale passe par la création de couches d'information thématiques. Ces couches d'information sont traitées individuellement ou croisées entre elles. L'analyse spatiale est alors une approche descriptive et/ou déductive de l'ensemble de ces données. Elle repose sur deux types d'analyse :

- l'analyse des relations spatiales entre les objets, ou topologie,
- l'analyse des lacunes dans la continuité spatiale de l'information qui peuvent faire l'objet soit

d'une extrapolation (lorsque l'on se situe hors de l'espace des échantillons), soit d'une interpolation (lorsque l'on se situe à l'intérieur de cet espace) (M. Robin, 1995).

Les analyses mises en oeuvre pour exploiter la BIG de l'archipel des Bijagos sont essentiellement fondées sur l'étude des relations spatiales entre les objets. Compte tenu des choix initiaux, opérés en considérant qu'il était important de représenter les informations sous leur forme la plus pertinente à l'échelle d'analyse utilisée, il est nécessaire de pouvoir mettre en relation la ligne de contact entre la terre et l'estran, représentée par un vecteur, et la zone intertidale adjacente, représentée par un polygone. En outre, si l'on considère les relations terre/estran/petits-fonds comme un espace continu en interaction dynamique, il est indispensable d'analyser les liens de dépendance "verticale" entre ces différentes composantes en considérant ces ensembles dynamiques dans leur continuité spatiale "horizontale". Pour ce faire, on utilise les propriétés topologiques de la représentation des objets sous forme de vecteurs et de surfaces thématiques afin d'établir une relation entre leurs attributs thématiques.

Un polygone est décrit par une série de vecteurs constituant une limite fermée et par une étiquette d'identification à laquelle sont associés les attributs topologiques internes du polygone (numéro d'ordre, surface, périmètre) ainsi que ses attributs thématiques. La limite du polygone est composée de segments orientés comportants leurs propres attributs topologiques -orientation, numéro d'ordre du polygone de droite, numéro d'ordre du polygone de gauche- ainsi que des attributs thématiques éventuels (ill. n°26).



ill. n°26 : Caractéristiques des attributs topologiques des polygones

On peut déduire de la notion d'entité polygonale que l'analyse du voisinage d'un polygone peut être opérée de la façon suivante :

- interrogation des limites du polygone considéré et identification du numéro d'ordre des polygones adjacents,
- collecte des attributs thématiques de chaque polygone adjacent à partir de l'identification de son numéro d'ordre.

Les résultats de l'analyse du voisinage peuvent donner lieu à la création d'un nouvel attribut associé à l'étiquette du polygone central, ou encore être affecté en tant qu'attribut thématique au vecteur constituant la limite entre deux polygones adjacents.

Ces notions de mise en relation thématique des objets géographiques d'une couche d'information peuvent être transposées à l'emploi de couches multiples en utilisant les propriétés topologiques d'intersection de couvertures différentes.

L'exploitation de la base d'information géographique constituée sur l'archipel des Bijagos est fondée sur l'utilisation de ces propriétés topologiques.

5.1.1 la couche d'information morpho-bathymétrique

La couverture morpho-bathymétrique, produite à partir de la combinaison de la bathymétrie numérisée et de l'interprétation de la mosaïque d'images SPOT de 1995, a servi de base à la définition de paramètres décrivant le type d'avant côte, l'extension de la zone des 10 m, la situation dans l'archipel, la situation à l'échelle locale et la largeur de l'estran. Les paramètres quantitatifs ont été mesurés à l'aide des outils du logiciel Arc/Info; les paramètres qualitatifs ont été définis par interprétation directe. L'illustration n°27 présente le tableau récapitulatif des paramètres mesurés (cf. variables de "morphologie" et de "situation").

La présence ou l'absence des bancs prélittoraux, ainsi que l'extension de la zone des 10 m (petits fonds) permettent de qualifier le niveau de protection ou d'exposition des différentes parties du littoral. La largeur de l'estran fournit une indication sur l'importance des apports sédimentaires ou des modes de redistribution.

Les paramètres ont été codés selon les modalités rencontrées sur l'archipel. Ils ont ensuite été utilisés pour réaliser une segmentation de la zone intertidale décrivant les différents types de milieux littoraux.

variable		code modalité	expression quantitative	définition et commentaire
surface du polygone		s1	[0-1000[	exprimée en m2 : les classes ont été définies par paliers naturels
		s2	[1000-5000[	
		s3	[5000-30000[	
		s4	[30000-90000[	
		s5	[90000-200000[	
		s6	[200000-500000[	
		s7	[500000-2000000[	
		s8	[2000000-6000000 et +[	
situation	situation locale	sit1		bolon, chenaux anastomosés
		sit2		bordure de chenaux secondaires
		sit3		chenaux actifs inter îles
		sit4		sous influence locale de la houle
	situation dans l'Archipel	ds1		zone interne
		ds2		bordure de chenaux principaux
		ds3		front marin
	entité géographique	geo1		partie interne de l'Archipel
		geo2		levée latérale
		geo3		région de Bolama (continentale)
	distance à l'embouchure du Geba (au niveau de Bissau)	ap1	entre 40 et 60 km	
		ap2	entre 60 et 80 km	
		ap3	au-delà de 80 km	
morphologie	largeur de l'estran	ls1	étroit	
		ls2	moyen	
		ls3	large à très large	
	présence de banc	lt1/lt0	oui / non	
	largeur de la bande des 10 m	l1	étroite	
		l2	moyenne	
		l3	large à très large	
type de contact terrestre et formations assimilées	avec palmeraie	Pc1	1 à 10% de la L.C.	pointement souvent colonisé essentiellement par la savane
		Pc2	10 à 50 % de la L.C.	pointement plus végétalisé
		Pc3	50 % et + de la L.C.	contact franc avec la palmeraie
	avec savane et/ou sol nu	SVc1	1 à 50 % de la L.C.	zone de transition et dunes insérées dans d'autres formations
		SVc2	50 % et + de la L.C.	contact avec la savane dominant : plus de 50% de la L.C.
	avec mangrove	Mc1	1 à 40 % de la L.C.	petites zones de mangrove
		Mc2	40 à 70 % de la L.C.	zones de mangrove étendues
		Mc3	70 % et + de la L.C.	zones exclusivement de mangrove et rives de bolons
	présence de tanne (*)	Tc1	1 à 100 %	
	falaises	F1	1 à 40 % de la L.C.	contact mixte avec falaises éparses
		F2	40% à + de la L.C.	contact franc avec des zones de falaises étendues
type de contact de haut d'estran	rocheux	Rc1	1 à 10%	rochers éparses
		Rc2	10 à 50 %	pointes rocheuses
		Rc3	50 % et +	pointes rocheuses avec platiers
	sableux	Sc1	10 à 30%	petites zones sableuses sur estran sablo-vaseux dominant
		Sc2	30 à 70 %	zones mixtes sablo-vaseuses ou rocheuses
		Sc3	70 % et +	milieux franchement sableux
	sablo-vaseux	Vc1	1 à 40%	zones mixtes à tendance sablo-vaseuse
		Vc2	40 à 90 %	vastes estrans sablo-vaseux pour l'essentiel
		Vc3	90 % et +	milieux sablo-vaseux spécifiques des bolons
extension de la mangrove du haut d'estran		M1	[0-50000[	exprimée en m2
		M2	[50000-100000[	
		M3	[100000-500000[	
		M4	[500000 et +[	
facies de la zone intertidale	sableux	S1	10 à 40	petites zones sableuses sur estran sablo-vaseux dominant
		S2	40 à 90 %	zones mixtes sablo-vaseuses ou rocheuses
		S3	90 et +	milieux franchement sableux
	sablo-vaseux	V1	10 à 40%	zones mixtes à tendance sablo-vaseuse
		V2	40 à 90 %	vastes estrans sablo-vaseux pour l'essentiel
		V3	90% et +	milieux sablo-vaseux spécifiques des bolons
	rocheux	R1	5 à 10%	rochers éparses
		R2	10 à 40 %	pointes rocheuses
		R3	40% et +	pointes rocheuses avec platiers

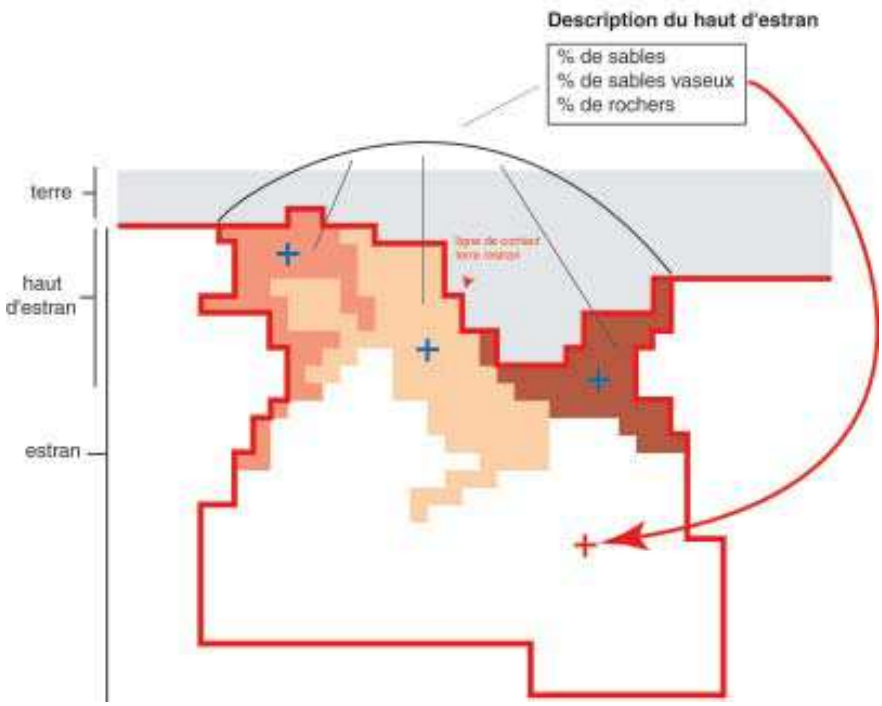
L.C. : ligne de contact entre la terre et l'estran
(*) : seulement 35 polygones sont concernés ; ils sont regroupés en une classe unique.

ill. n° 27 : Tableau récapitulatif des attributs et des modalités étudiés pour l'élaboration de la typologie dynamique des littoraux

5.1.2 la couche d'information sur la nature de l'estran

La couche d'information sur la nature de l'estran, produite à partir de la classification de la mosaïque d'images SPOT, décrit la nature de l'estran en 3 classes (sableux, sablo-vaseux et rocheux). Elle a donné lieu à la mesure de deux paramètres, calculés en combinant ces trois classes et la segmentation décrite au paragraphe précédent (ill. n°27 , rubriques "faciès de la zone intertidale" et "type de contact de haut d'estran") :

- les faciès de la zone intertidale : dans chacun des polygones de la segmentation a été calculé le pourcentage de la surface occupée par les trois classes identifiées (sableux, sablo-vaseux, rocheux). Ces pourcentages ont été associés à l'étiquette du polygone en tant qu'attributs thématiques;
- le type de haut estran : la distinction entre la nature du haut estran et l'estran à été réalisée afin de prendre en compte des changements éventuels entre le haut et le bas de la zone intertidale (situations assez fréquemment observées sur le terrain). Pour chaque polygone de la segmentation, on considère la limite terre/estran de ce polygone, et on lui associe l'occurrence de chacune des trois classes de nature de l'estran, mesurée à partir des polygones situés au contact de la limite, et donc caractéristiques du haut estran (ill. n°28). Les pourcentages ainsi calculés sont affectés à l'étiquette du polygone, en tant qu'attributs thématiques.



ill. n°28 : Schéma d'analyse du type de faciès de haut estran

5.1.3 la couche d'information sur l'occupation des sols

Cette couche a été produite au laboratoire Géosystèmes pour les besoins de la réalisation de la carte de synthèse de l'environnement de l'archipel des Bijagos à 1:50 000. Elle a été utilisée pour analyser les types de contacts entre l'estran et le domaine terrestre (étendu à la mangrove). La couche originale propose une typologie en 7 classes d'occupation du sol. Nous avons simplifié cette typologie en la ramenant a quatre classes pertinentes pour l'étude des contacts : savanes littorales et sols nu, tannes, mangrove, palmeraie. Les sols nus et les savanes littorales ont été regroupés car ils qualifient des milieux faiblement végétalisés. L'analyse de cette couche d'information a donné lieu à la mesure du type de contact terrestre obtenu, d'une manière analogue à celle décrite au paragraphe précédent, mais pour les polygones d'occupation du sol situés au contact de la limite terre/estran de la segmentation. L'occurrence de chacune des 4 classes d'occupation du sol a été calculée. Les pourcentages sont affectés à l'étiquette du polygone, en tant qu'attributs thématiques (ill. n°27 , rubrique "type de contact terrestre et formations associées").

Deux attributs ont été ajoutés au type de contact terre/estran. Ils concernent les falaises, dont la localisation et l'étendue spatiale ont été directement mesurées sur le terrain, et l'extension de la mangrove, introduite afin de distinguer les estrans à fine ceinture de mangrove de ceux dont le haut d'estran se caractérise par une mangrove très étendue.

C'est dans l'esprit de privilégier la dynamique du milieu que la mangrove et les tannes n'ont pas été intégrés à la zone intertidale. En effet la mangrove est un espace tampon entre la terre et la mer (F. Blasco, 1991), ce qui complique la définition d'une interface dynamique. En effet le contact terre/ mangrove est un contact peu dynamique ou seul un exhaussement lent des sols peut modifier l'environnement en laissant petit à petit la place aux tannes. Par contre, le contact mangrove/estran présente une grande dynamique et constitue la partie qui réagit la première aux modification de l'environnement (nouvelle colonisation, recul).

5.2 Analyse statistique et typologie

L'analyse statistique multivariée des attributs thématiques a été réalisée à l'aide du logiciel ADDAD. Compte tenu de la nature hétérogène des variables décrivant l'espace littoral, une analyse factorielle en correspondances multiples (ACM) a été employée. L'ACM peut être considérée comme une généralisation de l'analyse factorielle des correspondances (AFC) car elle fournit une mesure des relations entre variables qualitatives. Dans une analyse en composantes multiples, on décrit le tableau de données à l'aide de trois paramètres (B. Escofier et J. Pagiès, 1990, T. Foucart ,1997):

- les individus, dans le cas présent les polygones de la segmentation de la zone intertidale,
- les variables qui correspondent aux attributs présentés sur l'illustration n° 27,
- les modalités de ces variables .

L'utilisation d'une ACM se justifie par l'intérêt de mettre en évidence les relations qualitatives qui peuvent exister entre les différentes entités de la zone littorale et mieux comprendre l'organisation et la dynamique de ces paysages. Elle trouve aussi sa justification par le nombre de variables (20) qualifiant l'estran et le grand nombre de polygones (2178). Cette méthode permet en effet de réduire le nombre P de variables décrivant un nombre N d'individus en les regroupant sous la forme de combinaisons linéaires en fonction de leur proximité statistique. Avant de procéder à l'analyse, une phase de codage des données a été nécessaire.

5.3 le codage des données

Le codage des variables trouve sa justification dans la nécessité de disposer d'une représentation homogène des variables afin de faciliter l'interprétation des résultats de l'ACM. En effet, les données se composent initialement de variables quantitatives et qualitatives. Or, "Une variable qualitative est une application de l'ensemble des individus dans un ensemble fini sur lequel on ne considère aucune structure" (B. Escofier et J. Pagiès , 1990). Au contraire, la variable quantitative se caractérise par une structure associée à une notion de continuité. Il a donc été nécessaire de substituer la notion de modalité à celle de contenu thématique pour représenter les variables dans le tableau de données destiné à l'analyse.

A chaque attribut thématique associé aux polygones de la segmentation de la zone intertidale a donc été substitué la modalité correspondante. Le choix des classes avait été réalisé avec le souci de mettre en valeur des seuils naturels décrivant des unités des paysages, tout en s'efforçant de privilégier des classes d'effectifs sensiblement égaux. Nous avons essayé de limiter le nombre de modalités pour chaque variable en raison du grand nombre de ces dernières (20). D'une manière générale quatre modalités (codées de 0 à 3) ont été retenues pour décrire chaque variable. Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques pour chaque classe de valeurs. Au total, 72 modalités décrivent les 20 variables initiales.

Le programme d'analyse des correspondances multiples du logiciel ADDAD décompose les données sous la forme d'un tableau disjonctif complet où les lignes représentent les individus et les colonnes représentent les modalités des variables (Annexe n°1). La représentation des données sous forme disjonctive est particulièrement intéressante car elle autorise la prise en compte de relations non-linéaires entre les variables pour le calcul des axes factoriels. Le tableau disjonctif

représente chaque modalité par une variable indicatrice prenant comme valeur 1 ou 0 suivant que l'unité statistique vérifie ou non cette modalité. L'analyse s'appuie ensuite sur la notion de ressemblance entre deux individus. Leur degré de similitude sera d'autant plus élevé que le nombre de leurs modalités communes sera plus important.

Les résultats de l'analyse, présentés en détail dans la partie suivante, ont été particulièrement complexes à interpréter. Les 25 premiers axes factoriels ne regroupent que 70% de l'information, ce qui impose, outre une très longue description analytique des contributions de chaque axe, l'emploi de méthodes de classification pour opérer une synthèse des résultats de l'analyse. La faible inertie des axes s'explique par la faible corrélation qui existe entre les différentes variables. Ce résultat contribue à valider la pertinence des variables qui ont été déduites de l'exploitation de la base d'information géographique.

Pour classer les données en unités statistiques homogènes nous avons fait appel à deux méthodes: une Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H.) -méthode dirigée- et une classification par nuées dynamiques -méthode automatique-. En raison du nombre d'axes et de la complexité d'analyse, les résultats de la classification ascendante hiérarchique ont été plus facilement interprétables que ceux obtenus par la méthode automatique.

5.4 réflexion sur la représentation cartographique des résultats

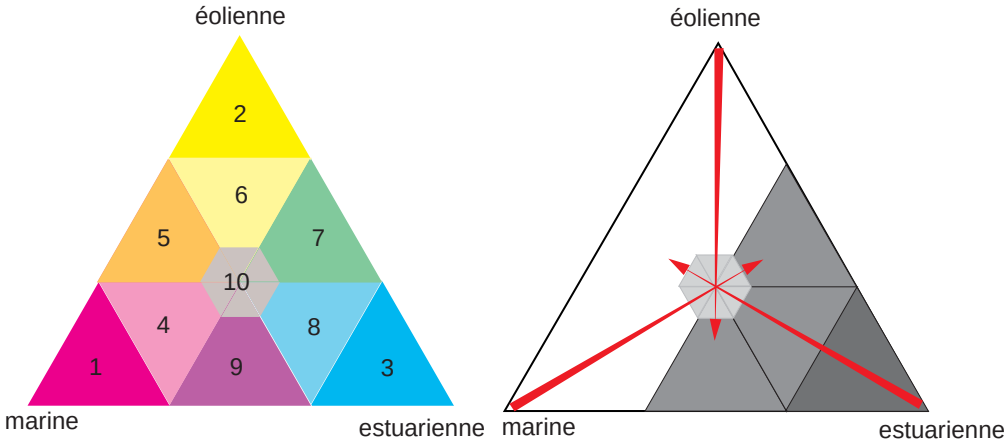
La représentation cartographique des résultats de cette étude pose de nombreux problèmes en raison des caractéristiques géographiques du milieu étudié. L'échelle de restitution de la carte de synthèse de l'environnement de l'archipel des Bijagos (publication en 1999) sera le 50 000 ème, ce qui représente dix feuilles. L'analyse a donc été menée de façon à respecter cette échelle de restitution. Il n'est cependant pas possible de présenter les résultats de l'étude à 1:50 000 dans le cadre de ce mémoire. Afin de pouvoir présenter les résultats sur l'ensemble de l'archipel, l'échelle de restitution utilisée dans ce mémoire est le 500 000ème. Compte tenu de ce choix, la représentation simultanée de la statique, de la dynamique et de la cinématique impose la définition de règles concernant l'emploi de variables visuelles.

A 1:500 000, les seules variables visuelles utilisables en raison de la taille des objets géographiques à représenter sont les formes et la couleur.

En géomorphologie littorale il existe des conventions pour représenter la cinématique (F. Verger *et al.*, 1972) : le rouge pour l'érosion, le magenta ou le jaune pour l'accumulation et le vert ou l'absence de couleur pour la stabilité. En ce qui concerne la dynamique, il existe aussi une convention à partir

de laquelle a été réalisée la carte géomorphologique de la France à 1:1000 000 (J. R. Vanney *et al*., 1995). La dynamique marine est représentée en bleu, la dynamique fluviale en vert, et la dynamique éolienne en jaune. Les formes, quant à elles, sont représentées par des symboles linéaires ou ponctuels, les formations par des surfaces tramées.

En partant de ces trois exemples et en y associant une transposition en couleur de la typologie triangulaire des deltas et des estuaires de Galloway (*in* F. Verger, 1991) , qui établit une hiérarchie en fonction de la prépondérance d'un ou de plusieurs agents dynamiques, il en résulte que la dynamique est caractérisée par les trois influences prépondérantes dans l'archipel : l'influence marine, l'influence estuarienne et l'influence éolienne.



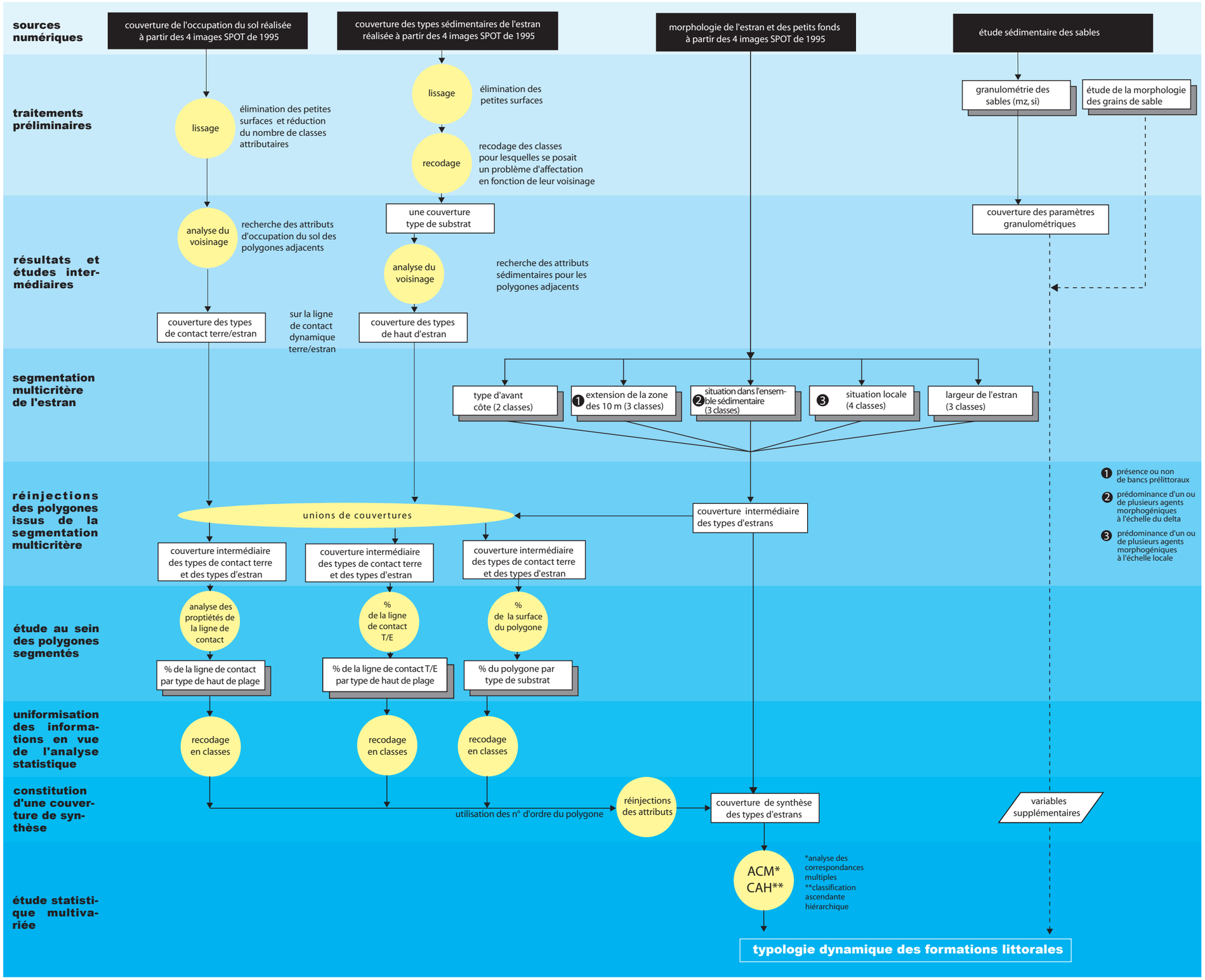
ill. n°29 : Composition de la légende de la dynamique littorale

La statique est représentée sous la forme de figurés linéaires reportés légèrement en retrait de la ligne de contact terre/estran, de façon à éviter toute confusion avec les polygones de la zone intertidale. La cinématique est exprimée par la couleur des figurés linéaires utilisés pour la statique, en utilisant le vert pour la stabilité, le rouge pour l'érosion et le magenta pour l'accumulation.

Conclusion

La typologie réalisée sur les littoraux de l'archipel des Bijagos est fondée sur la notion de continuité spatiale et de dynamique littorale. Elle est établie à partir de 20 variables représentées par 72 modalités qualifiant la zone littorale. L'estran de l'archipel est découpé en plus de 2000 polygones. L'illustration n°30 récapitule la démarche suivie pour le découpage de l'estran en entité homogène.

La seconde partie de l'étude présente les résultats obtenus.



ill. n°30 : organigramme de l'élaboration de la typologie dynamique des formations littorales

DEUXIÈME PARTIE : TYPOLOGIE DYNAMIQUE DE L'ARCHIPEL DES BIJAGOS

Introduction

L'objectif de cette deuxième partie est double. Il s'agit, d'une part, d'identifier les processus qui régissent la dynamique littorale de l'archipel des Bijagos et, d'autre part, de construire la typologie dynamique des formations littorales.

La description de la dynamique de l'archipel se fonde sur les résultats de l'analyse en correspondances multiples. Ceux-ci seront donc décrits en premier lieu. Le cadre structural sera ensuite présenté afin de révéler l'importance de l'héritage dans l'histoire de l'archipel. L'étude des agents de la dynamique actuelle de l'archipel est ensuite abordée en montrant l'étroite dépendance qui existe entre le cadre structural et les processus de la dynamique actuelle. Après avoir dressé le bilan des facteurs qui conditionnent l'existence de l'ensemble sédimentaire des Bijagos, sont décrites les formes et la cinématique. Une carte de synthèse sera présentée en guise de conclusion à cette partie.

Chapitre 1- Les résultats de l'Analyse des Correspondances Multiples

introduction

Les résultats de l'ACM présentent une hiérarchie de facteurs très complexe car il faut 25 axes factoriels pour expliquer 70% de la variance totale, ce qui rend l'interprétation particulièrement difficile à effectuer. La faible inertie des axes s'explique par la relative indépendance qui existe entre les variables. Elle nous indique cependant que ces variables sont probablement assez pertinentes et peu corrélées, ce qui valide à posteriori les choix thématiques qui ont été effectués pour qualifier les ensembles morphosédimentaires. Par ailleurs, ces résultats décrivant à la fois les attributs thématiques du milieu littoral et les relations de continuité spatiale entre les différents ensembles, on peut en déduire qu'ils traduisent bien la grande diversité paysagère du littoral de l'archipel.

Les trois premiers axes factoriels expliquent 25% de la variance totale et décrivent les grandes tendances de la répartition des ensembles sédimentaires. Les illustrations n° 31, 32 et 33 présentent les résultats du croisement de ces trois axes. Les résultats complets de l'ACM sont reportés en annexe n°1.

L'inertie de chacun des trois premiers axes est la suivante :

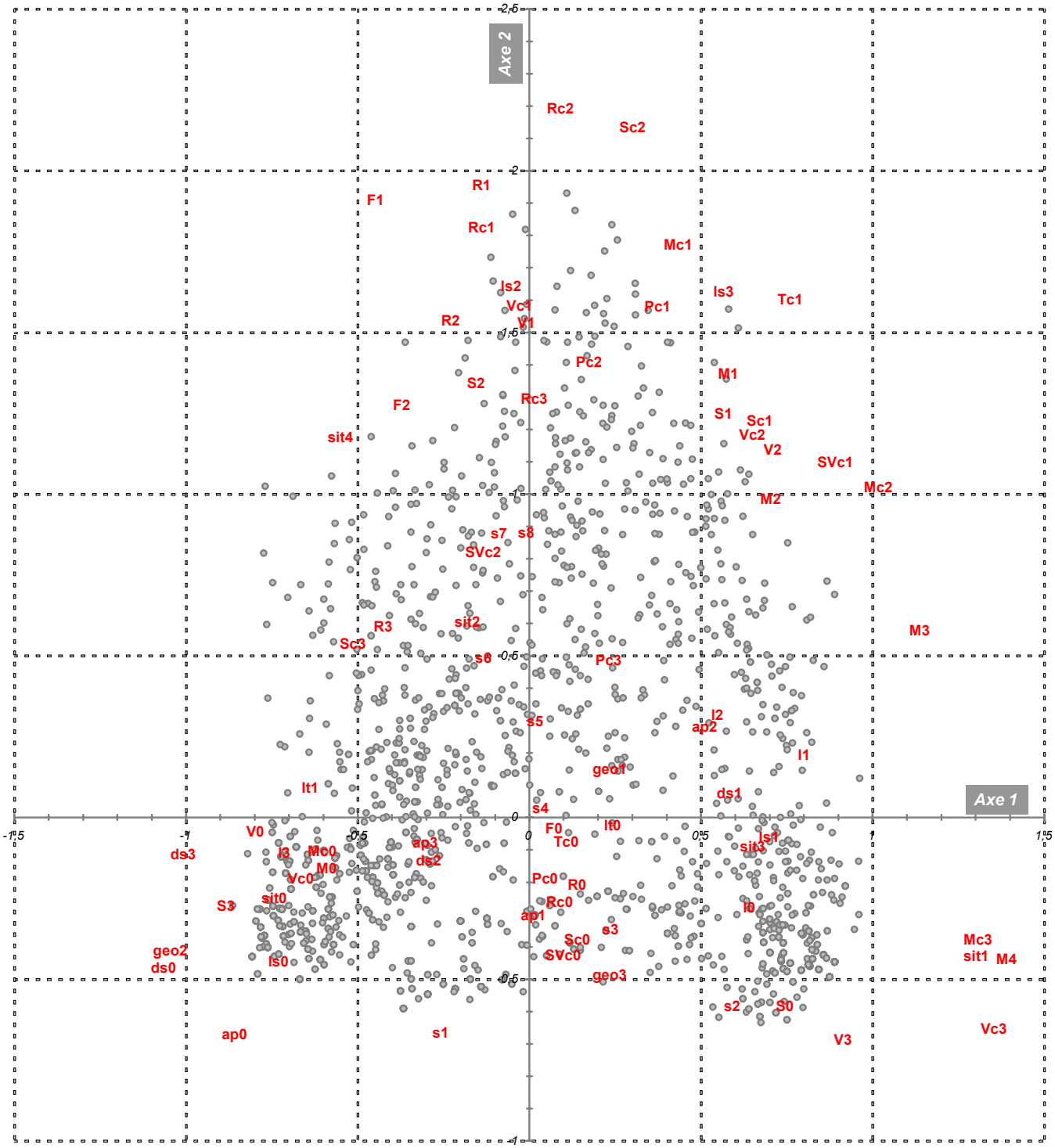
-10,4 % pour l'axe n°1
- 9,2 % pour l'axe n°2
- 5,4 % pour l'axe n°3

La description des agents dynamiques, des formes et de la cinématique s'appuie sur les constats opérés à partir de l'analyse de ces trois axes, mais aussi sur l'étude détaillée des informations révélées par les axes suivants, dans la mesure où ils fournissent souvent des explications concernant des situations locales particulières.

1.1 le croisement des axes 1 et 2 (ill. n° 31)

L'axe 1 oppose les milieux à prédominance de sédiments sableux à ceux majoritairement composés de sédiments sablo-vaseux. Ces derniers se localisent principalement dans la zone interne de l'archipel à distance moyenne de la côte. Du point de vue des types caractéristiques on trouve essentiellement les rives de bolons et les chenaux inter-îles actifs. Ces milieux sablo-vaseux se caractérisent à la fois par des estrans très larges et des estrans très étroits. Le haut estran est

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



Rappel de la codification des variables :

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
I0,,,I3	: largeur de la bande des 10 m.
It0-It1	: présence/non-présence de bancs
Is0,,,Is3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

ill. n°31 : Croisement des axes factoriels 1 et 2 de l'ACM

caractérisé par le contact avec la mangrove, sans que la compacité de celle-ci ne constitue un fait déterminant. Par contre, la longueur du contact a un poids assez important.

A l'opposé on trouve les milieux strictement sableux. Ils caractérisent du point de vue géographique le secteur de l'île de João Vieira, les rives des chenaux principaux et le front marin de l'archipel exposé aux houles.

L'axe n° 2 se caractérise principalement par sa dissymétrie. Il met en évidence les formations rocheuses (contact rocheux, estran rocheux, falaises) sans redécouper les deux premiers groupes opposés sur l'axe n°1. Le phénomène rocheux ne s'oppose pas à un autre phénomène mais constitue une entité explicative en soit. Il s'oppose à toutes les variables impliquant une organisation spatiale et indiquant ainsi son caractère azonal. Il est intéressant de noter les formations rocheuses expliquent presque autant de variance que l'opposition entre les ensembles sableux et sablo-vaseux. Cette information révèle un des éléments importants de la configuration de l'archipel qui n'avait jamais été pris en compte par les précédentes études. Ce constat nous a conduit à reconsidérer le poids de l'héritage structural qui n'apparaît que très peu sur le terrain en raison de son aspect ponctuel et de son absence d'organisation spatiale apparente (ill. n°18).

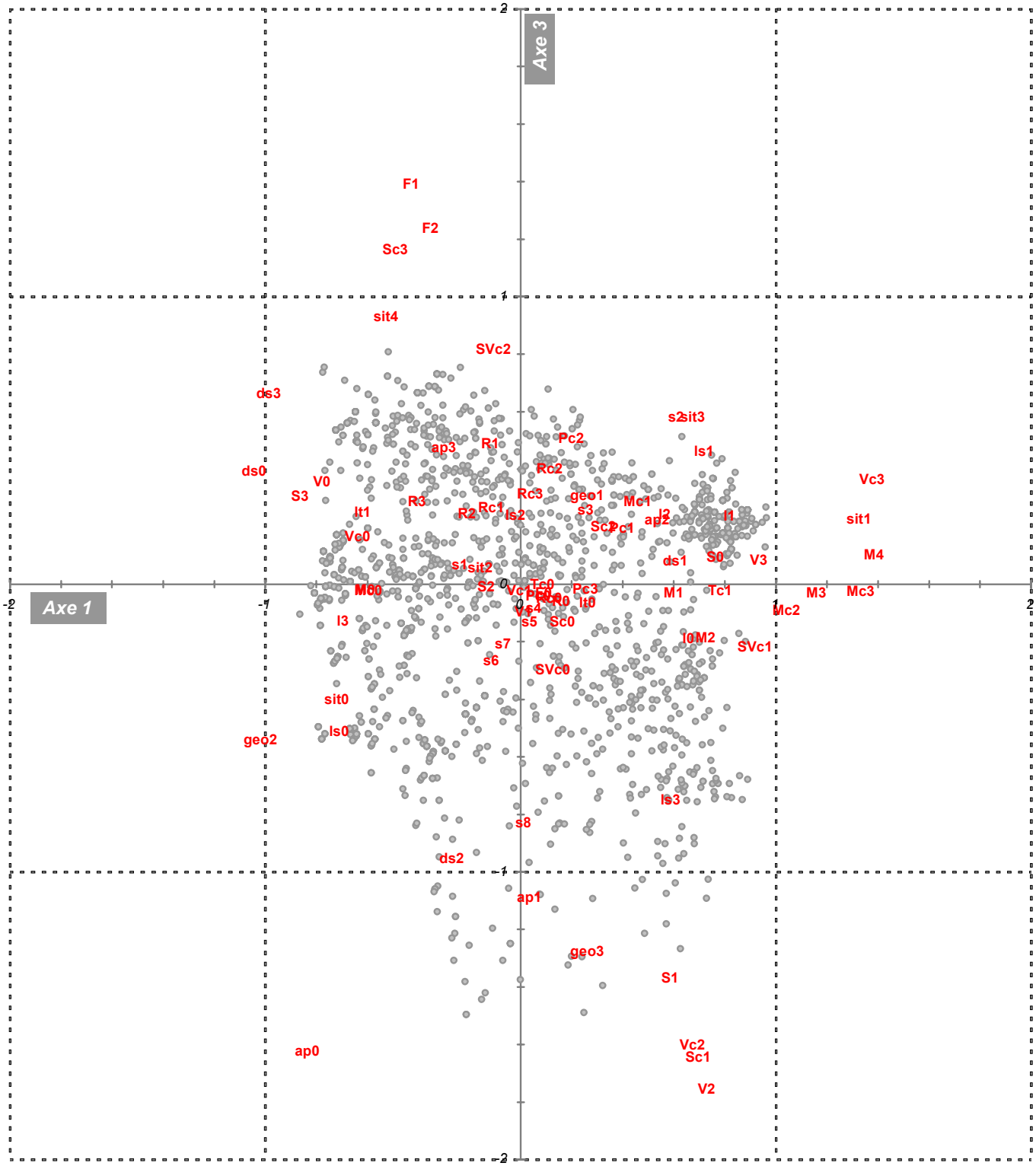
1.2 le croisement des axes 1 et 3 (ill. n°32)

Contrairement à l'axe n°2, l'axe n° 3 a une bonne symétrie et redécoupe en sous-ensembles les groupes identifiés sur l'axe n° 1. Ce découpage est complexe. Il se fonde à la fois sur la distance des milieux à l'embouchure du rio Geba et sur une opposition entre les formes liées aux houles, caractérisées par un contact sableux franc, et la partie pré-continentale de l'archipel, la région de l'île de Bolama dans laquelle se trouvent de larges estrans sablo-vaseux et mixtes. Les bolons à sédimentation sablo-vaseuse les plus proches du front marin sont clairement mis en évidence.

1.3 le croisement des axes 2 et 3 (ill. n°33)

Le croisement des axes 2 et 3 présente une grande dissymétrie liée à l'axe n° 2. Aux formations rocheuses et mixtes mis en évidence par l'axe n°2, l'axe n°3 oppose la partie interne de l'archipel encore exposée aux houles. La taille des estrans semble être dans ce cas un élément explicatif important avec des surfaces de polygones compris entre 200 et 600 ha et des estrans très larges.

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177

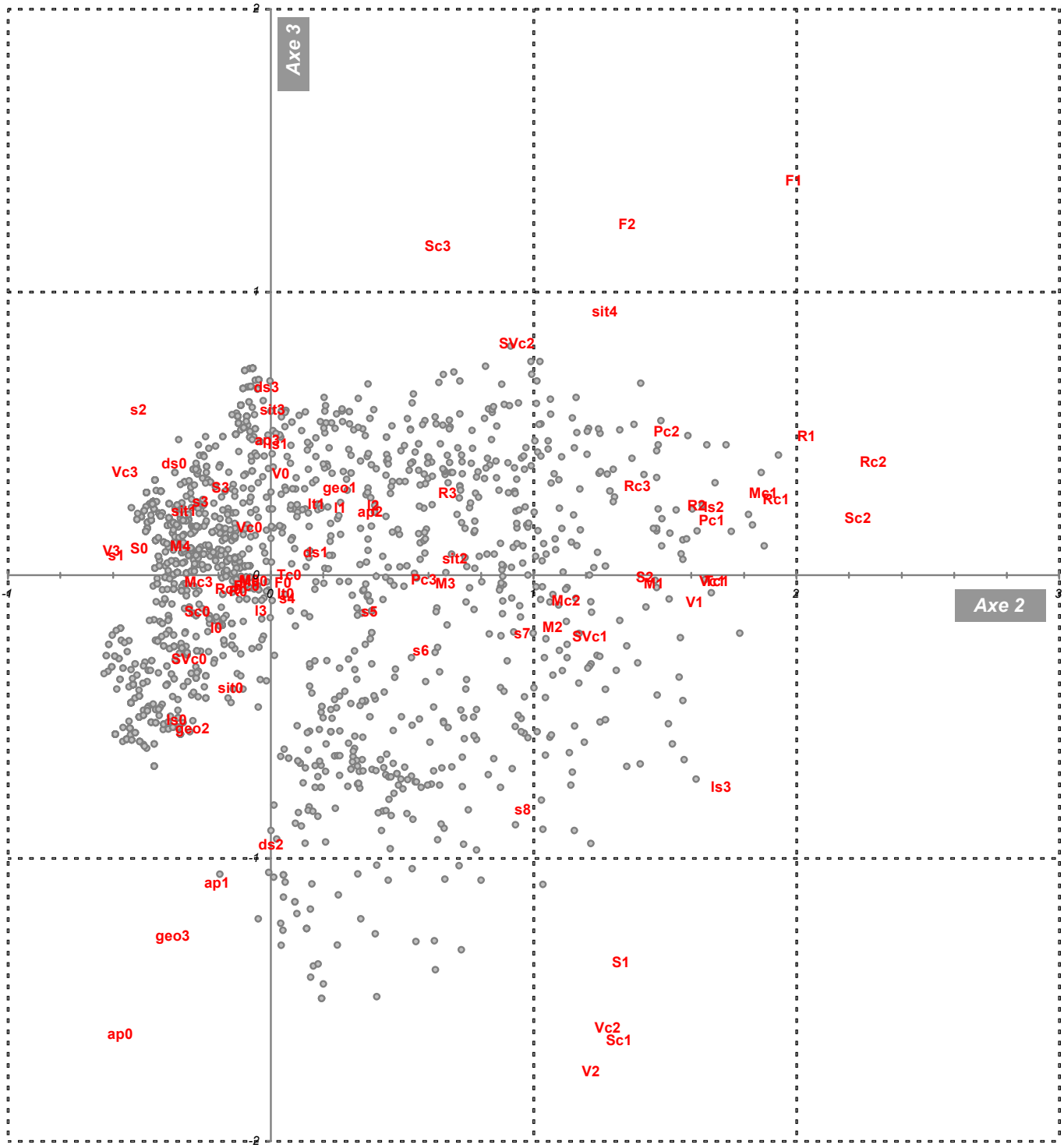


Rappel de la codification des variables :

			type de contact		*nature du substrat de l'estran*
s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"	**Rc0,,,Rc3**	: contact rocheux	**S0,,,S3**	: sableux
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.	**Sc0,,,Sc3**	: contact sableux	**V0,,,V3**	: vaseux
lt0-lt1	: présence/non-présence de bancs	**Vc0,,,Vc3**	: contact vaseux	**R0,,,R3**	: rocheux
ls0,,,ls3	: largeur de l'estran	**Pc0,,,Pc3**	: contact avec mangrove		*particularité de l'estran*
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone	**SVc0,,,SVc2**	: contact avec tanne	**M0,,,M4**	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran
ds0,,,ds3	: situation deltaïque	**Mc0,,,Mc3**	: contact avec palmeraie		
geo1,,,geo3	: entité géographique	**Tc0-Tc1**	: contact avec savane et/ou sol nu		
ap0,,,ap3	: distance à l'apex	**F0,,,F2**	: falaises		

ill. n°32 : Croisement des axes factoriels 1 et 3 de l'ACM

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



Rappel de la codification des variables :

			type de contact		*nature du substrat de l'estran*
s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"	**Rc0,,,Rc3**	: contact rocheux	**S0,,,S3**	: sableux
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.	**Sc0,,,Sc3**	: contact sableux	**V0,,,V3**	: vaseux
lt0-lt1	: présence/non-présence de bancs	**Vc0,,,Vc3**	: contact vaseux	**R0,,,R3**	: rocheux
ls0,,,ls3	: largeur de l'estran	**Pc0,,,Pc3**	: contact avec mangrove		*particularité de l'estran*
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone	**SVc0,,,SVc2**	: contact avec tanne	**M0,,,M4**	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran
ds0,,,ds3	: situation deltaïque	**Mc0,,,Mc3**	: contact avec palmeraie		
geo1,,,geo3	: entité géographique	**Tc0-Tc1**	: contact avec savane et/ou sol nu		
ap0,,,ap3	: distance à l'apex	**F0,,,F2**	: falaises		

ill. n°33 : Croisement des axes factoriels 2 et 3 de l'ACM

Conclusion

D'une manière générale on peut remarquer que les résultats de l'ACM caractérisent des ensembles morphosédimentaires homogènes et spécifiques. Il semble plus intéressant de présenter ces ensembles dans le contexte des processus qui les façonnent, des formes qui les caractérisent et de leur cinématique plutôt que d'en dresser une liste ici.

En dehors de la grande diversité paysagère du milieu littoral révélé par l'inertie des axes factoriels, on retiendra trois grandes tendances mises en évidence par l'ACM : l'archipel est caractérisé par une zone interne d'estrans à prédominance sablo-vaseuse, bordés de façon très continue par la mangrove; les estrans sableux se localisent sur la partie externe et plus particulièrement sur le front marin de l'archipel en association avec l'action de la houle; les formations rocheuses, quoique peu représentées spatialement et sans répartition spatiale organisée constituent un fait marquant et doivent être prises en compte pour comprendre l'origine du milieu.

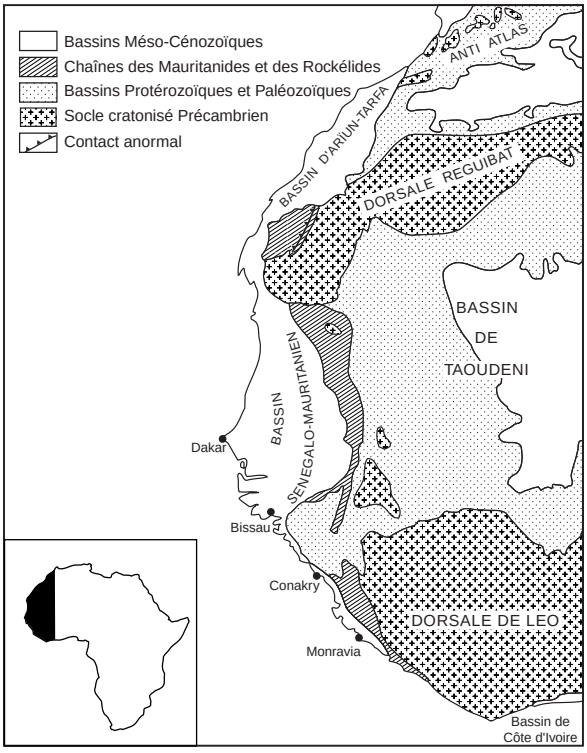
Chapitre 2- Importance de l'héritage dans la configuration du rivage

introduction

La configuration actuelle du littoral est conditionnée par deux éléments essentiels : le cadre structural et géologique et les variations du niveau marin.

2.1 le contexte structural

La Guinée Bissau est située dans la partie la plus méridionale du bassin sénégalo-mauritanien, au contact, de l'extrémité ouest du bassin primaire de Bové. L'Afrique de l'Ouest est essentiellement constituée d'un vieux socle cratonisé précambrien (P. Tempier, 1986). Ce socle affleure au nord, dans la dorsale de Réguibat, au sud dans la dorsale de Léo, et dans les boutonnières de l'Anti-Atlas, de Kayes et de Kénieba. En dehors de ces secteurs, le socle est recouvert par des séries sédimentaires épicontinentales dont les premiers dépôts datent du précambrien supérieur. Ce sont les bassins de Tindouf, de Taoudéni et de Bové. Ces bassins sont interceptés à l'Ouest par une longue bande plissée subméridienne, la chaîne des Mauritanides au nord et celle des Rockélides au Sud, résultant de l'orogénèse panafricaine (J. L. Liger, 1980) (ill. n°34).

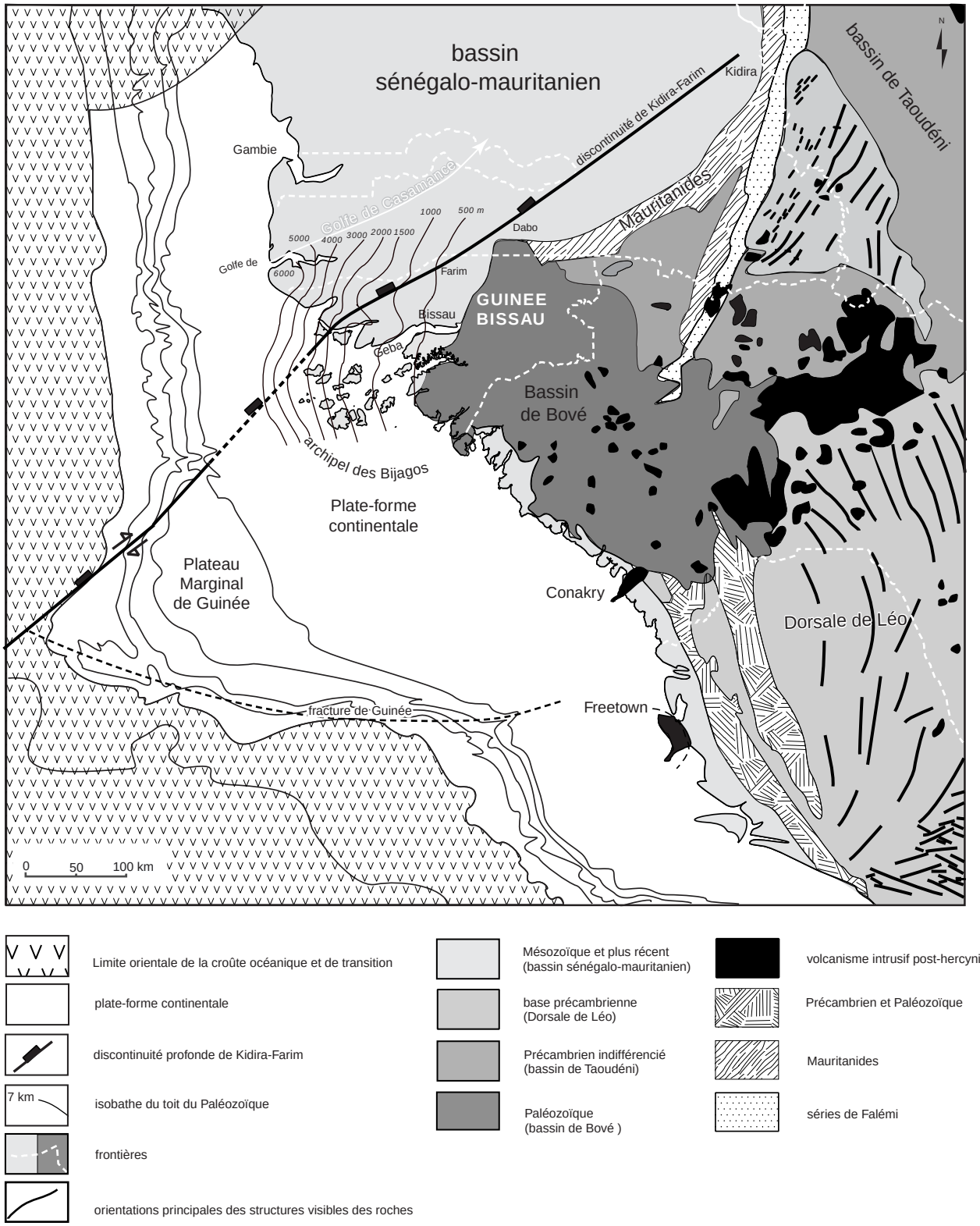


ill. n°34 : Principales unités structurales d'Afrique de l'Ouest

(d'après J.F.Ponsard, 1985)

La partie occidentale de cette bande est recouverte par les bassins côtiers secondaires et tertiai-

res d'Arïun-Tarfaya et sénégalo-mauritanien (ill. n°34). Le littoral ne constitue pas la limite structurale de ces bassins qui se poursuivent en mer sous la forme de plate-formes continentales plus ou moins étendues. Ainsi, entre le Cap Vert et les deux Guinées, le bassin sénégalo-mauritanien se poursuit



ill. n°35 : *Juxtaposition des principaux traits géologiques et structuraux de l'Afrique de l'Ouest au voisinage de la Guinée Bissau*

(d'après E.J.W. Jones et al. (1982), F. Ponsard (1985) et J.E.Teixeira (1968), J.P. Prian,1986)

en haute mer sur une largeur qui varie en moyenne de 35 et 120 km (Seibold, 1982, *in* Oliveira Mahinho, 1985).

A la latitude de la Guinée Bissau, entre 8 et 12°N, le plateau s'étend considérablement jusqu'à former un véritable bombement (ill. n°35). Il élargit la plate-forme qui s'étend sur 120 km sur ses marges Nord et Sud, et sur 200 km à son extremum. De plus au delà du talus continental, situé entre les isobathes 120 et 200 m, la plate-forme passe graduellement à un plateau marginal, le "Plateau Marginal de Guinée" étudié par O. Mahinho (1985). Ce plateau se situe entre les isobathes 200 m et 2000 m. Il est limité au nord par la discontinuité profonde de Kidira-Velingara-Bissau, et au sud par la fracture de Guinée (J.F. Ponsard, 1985).

2.2 mise en place du bassin sénégalo-mauritanien

La formation du bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien est liée à un mouvement de bascule d'axe Nord/Sud dû à un effondrement du soubassement, qui se serait produit entre la mise en place des dépôts primaires de Taoudéni et celle des dépôts secondaires du Sénégal (Jurassique, 130 M BP). C'est donc sur l'arrière pays d'une longue chaîne de direction générale nord-sud du cycle hercynien que s'est installé depuis le jurassique le bassin du Sénégal, de type ouvert, typique monoclinal de pendage ouest (A. de Spengler *et al*., 1966). La structure d'ensemble correspond à celle d'une marge passive qui trouve son origine lointaine dans la séparation de l'Amérique et de l'Afrique (E.W.J. Jones *et al*, 1982). Si le bassin sénégalo-mauritanien présente globalement un profil monoclinal calme, il constitue toutefois une zone de structure relativement complexe, ce qui explique en partie l'incertitude qui subsiste concernant les problèmes d'eustatisme local, et en particulier dans la région de la Guinée Bissau et du littoral de la République Populaire de Guinée. La partie sud du bassin sédimentaire est formée par la bordure méridionale du Golfe de Casamance (ill. n°32). Cette bordure est déformée par une structure haute le long d'un axe Farim-Dabo. Elle a été mise en évidence par J. P. Prian (1981) en Guinée Bissau et M. Pascal (1981) en Casamance. La flexure est soulignée par une condensation brutale et un biseautage des termes de l'Eocène qui se rapproche dans ce secteur de la surface topographique (J.P. Prian, 1986). Dénommée "ride du Rio Jumbembem" en Guinée Bissau et "horst de Salikénénié" au Sénégal, cette zone haute serait calquée sur la discontinuité profonde de Kidira-Farim, aussi appelée discontinuité de Kidira-Velingara-Bissau. Cette discontinuité a été interprétée comme étant la trace d'une zone transformante panafricaine (J. F. Ponsard *et al.*, 1982 ; J. F. Ponsard, 1984) qui trouverait sont origine dans l'effondrement de la partie sénégalaise du bassin lors de l'ouverture de l'Océan Atlantique Central et dans un cisaillement dextre dû probablement à l'ouverture de l'Océan Atlantique Sud (J. F.Ponsard, 1985 ; A. Serane, 1986). Elle a joué le rôle de haut fond barrière à l'Eocène, avant de rejouer en horst à l'Eocène supérieur. Cette discontinuité qui se prolonge en haute mer d'après J. F. Ponsard (1985) est la limite entre un compartiment septentrional subsident (le bassin du Sénégal) et un compartiment méridional moins subsident correspondant à l'actuel plateau continental et marginal de Guinée (ill. n°35).

2.3 l'évolution du bassin sédimentaire

Globalement, l'évolution du bassin sédimentaire est caractérisée par trois phases (A. de Splengler *et al.* , 1966) :

- une subsidence régulière sans régression importante durant le Crétacé qui a eu pour conséquence première l'effacement progressif vers l'est de la bordure du bâti africain, mais cette subsidence a été largement compensée par des apports de sédiments terrigènes. Il en résulte, au contraire, une extension vers l'ouest du continent. L'importance des apports sédimentaires au cours de cette période est due à l'érosion du socle cristallin mais surtout des couches gréseuses de l'Infracambrien et de la base Paléozoïque du grand bassin de l'Est de la Mauritanie et du Mali. Cette évolution explique la forte proportion de sables dans la zone Est du Bassin Sénégalais par rapport aux bassins côtiers plus méridionaux du Nigeria, du Gabon, de l'Angola et de la Côte d'Ivoire.

- une régression marine générale à la fin du Crétacé, suivie d'une période d'érosion intense

- un ralentissement durable de la subsidence au Paléocène qui correspondrait à un arrêt de la surrection de l'intérieur du continent.

2.4 le contexte stratigraphique général

En surface, le bassin sénégalo-mauritanien est presque entièrement couvert de sables quaternaires et pliocènes. Les séries crétacées sont largement représentées dans le bassin sédimentaire avec un approfondissement du socle du nord vers le sud sud-ouest, de l'est vers l'ouest et du sud du Geba vers le nord-ouest (J. E. Teixeira, 1968, E. S. Diop 1990). Ces séries crétacées sableuses auraient deux origines principales, la désagrégation du socle cristallin d'une part, et d'autre part l'érosion des grès des bassins précambrien et primaire de Taoudéni. Les séries plus récentes reposent en biseau dans la partie est et sud du bassin sédimentaire, sur le toit paléozoïque (J. E. Teixeira, 1968). Ce toit se situe, à la verticale de Bissau, au niveau de l'isobathe 1000 m et de l'isobathe 3 000 m sous l'estuaire du Rio Cacheu. A Dakar il est à 6 000 m (ill. n°35). Il souligne une subsidence beaucoup plus importante pour le centre du bassin par rapport à sa marge bissau-guinéenne.

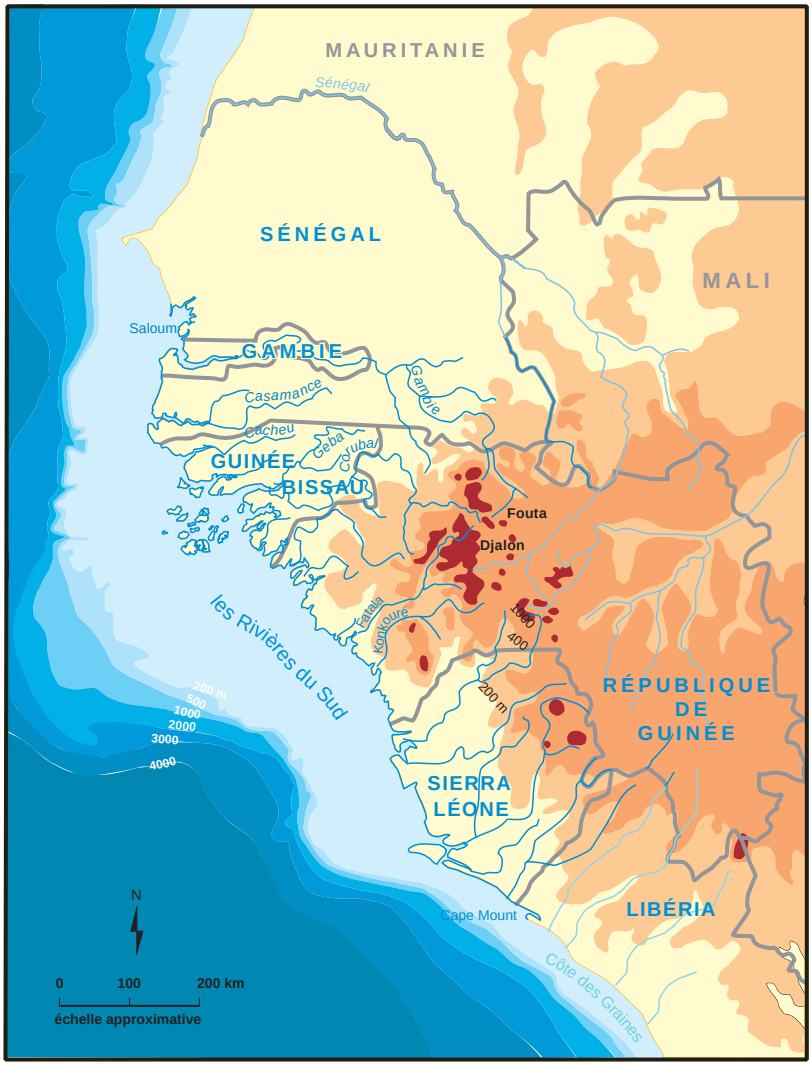
2.5 les caractéristiques générales des "Rivières du sud"

La partie sud-ouest du bassin sédimentaire est occupée par toute une série de plaines désignées sous le terme de "Rivières du Sud" depuis le XVe siècle par les navigateurs portugais. La plaine bissau guinéenne se situe au coeur de ce domaine géographique. Il s'agit d'une vaste zone affaissée

dont les altitudes sont généralement inférieures à 100 m, entaillée par de longues vallées inondables. Ce vaste ensemble de plaines côtières s'étend sur 700 km, du sud du delta du Saloum (Sénégal) jusqu'au Cap Mount au Liberia (ill. n° 36). Trois caractéristiques morphologiques (E. S. Diop, 1990 et A. Guilcher, 1954) fondent la définition de ce domaine :

- une organisation générale Est-Ouest des principaux réseaux hydrographiques,
- des rivages parcourus par un réseau dense de chenaux et bolons subordonnés, colonisés par la mangrove,
- des buttes peu accusées de roche en place, composées le plus souvent par des niveaux ferralitiques et des niveaux plus ou moins argileux et sableux.

Le caractère fortement disséqué du littoral bissau-guinéen constitue une autre particularité. Il s'oppose aux côtes faiblement découpées du continent africain. L'Afrique ne possède que 36 000 km de côtes, c'est à dire moins que l'Europe, qui pourtant ne couvre qu'un tiers de la superficie du continent africain. "Aucun autre continent n'est lourd et massif comme l'africain" (P. Gourou, 1970). La Guinée Bissau est un pays ouvert sur l'océan. Avec 36100 km², elle est l'un des plus petits états africains, mais compte à elle seule plus de 350 km de façade maritime contre seulement 530 km pour le Sénégal qui couvre 192 000 km². Les grands traits de cette côte sont liés aux variations du niveau marin.



ill. n°36 : Cadre géographique régional les "Rivières du sud"

2.6 le rôle des variations du niveau marin

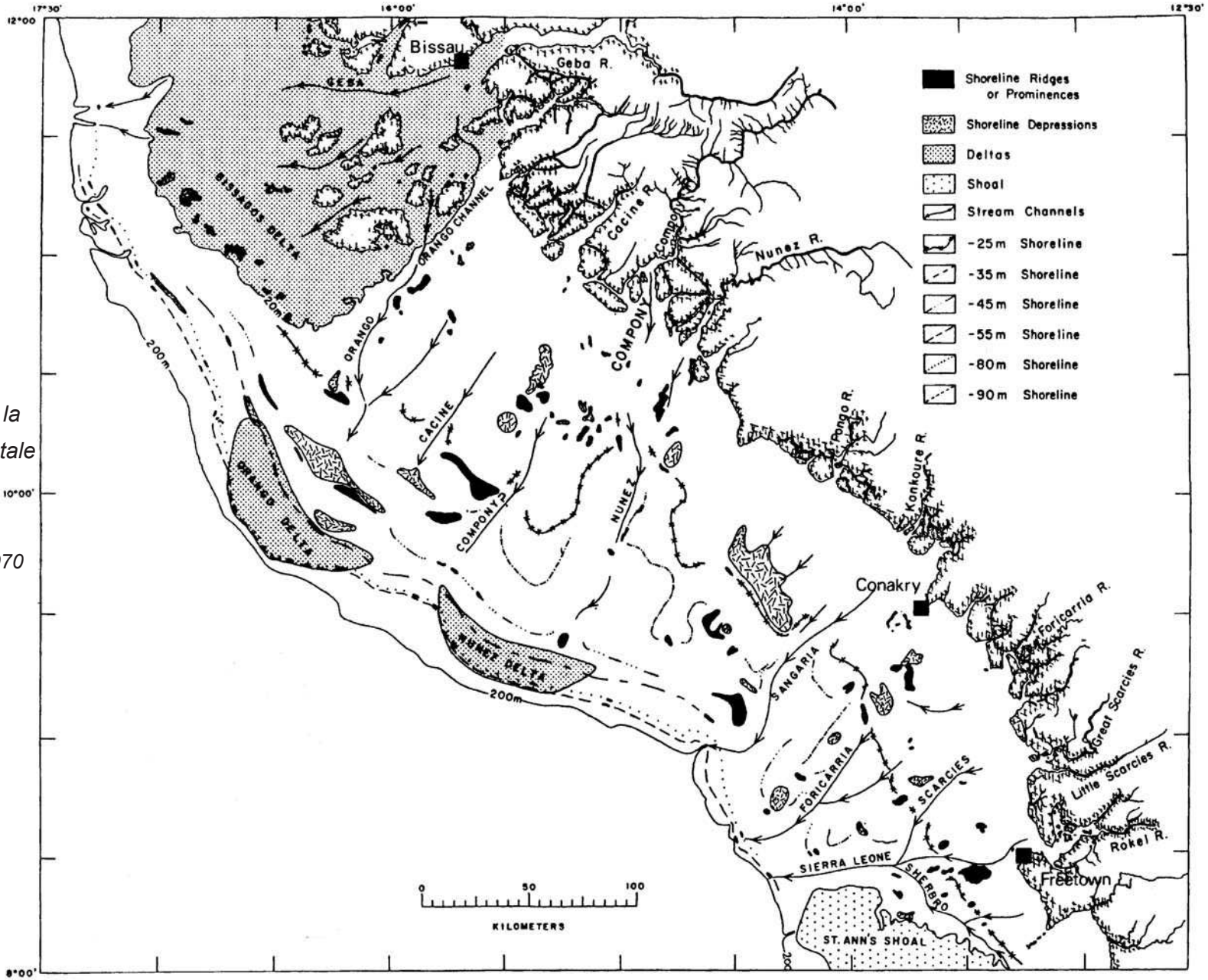
C'est à partir de l'Ogolien (11 000 à 20 000 B.P.) que l'on commence à pouvoir reconstituer les

phases du façonnement du littoral par les variations du niveau marin. En fait, cette période suit une transgression mal définie qui se serait produite au cours de l'Inchérien (de 20 000 à 40 000 BP). A l'Ogolien correspond une période semi-aride, régressive. C'est au cours de cette régression que les fleuves ont creusé profondément dans le très ancien matériel deltaïque de la plaine côtière comme en témoignent les Rio Grande de Buba, Cacine, Compony, Nunez, mais aussi plus au nord les fleuves Sénégal et Gambie : ils se prolongent sur la plate forme continentale en canyons sous marin. Cette période de façonnement durable de la zone côtière est désignée à juste titre par P. Michel (1973) de "phase d'entaille". C'est aussi au cours de l'Ogolien que le plus bas niveau marin des côtes d'Afrique occidentale a été reconnu et daté de 18 000 B.P. (H. Faure *et al.*, 1967). Il correspond aux maximums glaciaires du Würm qui auraient persisté de 21 000 à 15 000 B.P. Il s'agit d'une période particulièrement aride au cours de laquelle la mer s'est retirée entre -110 et -120 m par rapport au rivage actuel. Des traces de coraux datant de 19 000 ans ont été aussi trouvés entre -103 et -111 m indiquant de faibles profondeurs d'eau à ce niveau durant l'Holocène. Puis, alors que le niveau marin est encore bas, à partir de 14 000 B.P., intervient une "phase de recreusement des vallées" (P. Michel, 1973).

A partir de 12 000 B.P. , on assiste dans cette région à une remontée progressive du niveau marin. Les témoins de la remontée du niveau de la mer ont été mis en évidence par R.L. Mac Master *et al*. (1970) sur la plate-forme continentale guinéenne (ill. n°34) par la reconnaissance de différentes lignes de rivages à : -90m, -80 m, -55 m, -45 m, - 35 m, -25 m et aussi, mais avec moins de certitude, à -18 et -20 m. Dans les ensembles sédimentaires des Bijagos, Orango et Nunez, les formes fossiles de rivage sont régulières. Le long de la limite externe de l'aire de sédimentation des Bijagos, peu de niveaux marins fossiles on été observés. Cette absence indique leur probable enfouissement sous des sédiments plus récents. Le scénario d'évolution proposé par McMaster *et al.* (1970), réalisé d'après des études magnétiques et sismiques sur les marges de la plate-forme au large de la Guinée Bissau, montre en effet des phases successives d'érosion des couches sommitales de l'ensemble sédimentaire en période transgressive, et de dépôts en période régressive, favorisés jusqu'au Crétacé par une subsidence négative (ill. n°38).

Parallèlement à la transgression marine qui s'amorce à la fin de l'Ogolien et se poursuit au cours du Tchadien (6 800 à 11 000 B.P.) et du Nouakchottien (6 800 - 4 500 B.P.), le climat devient de plus en plus humide. L'humidification du climat, dont dépend l'alluvionnement des fleuves, a été à l'origine de l'alimentation des nappes sédimentaires quaternaires par l'érosion des formations dunaires de bordure datant du Miocène et Pliocène. Aussi, entre 8 000 et 6 000 B.P. s'effectue une remontée rapide du niveau de la mer : la ligne de rivage passe de -20 m à 0 m (cote I.G.N.) (H. Faure e*t al.*, 1967).

Le Nouakchottien et le Tafolien (2 000 - 4 500 B.P.), constituent les périodes les plus importantes pour la reconstitution de la configuration actuelle du littoral. Aussi au cours de la transgression Nouakchottienne, vers 4 500 B.P., la mer atteint son plus haut niveau, entre +1,5 m et +2 m (cote IGN). Au moment du maximum transgressif, la mer pénètre dans les rias guinéennes qui se



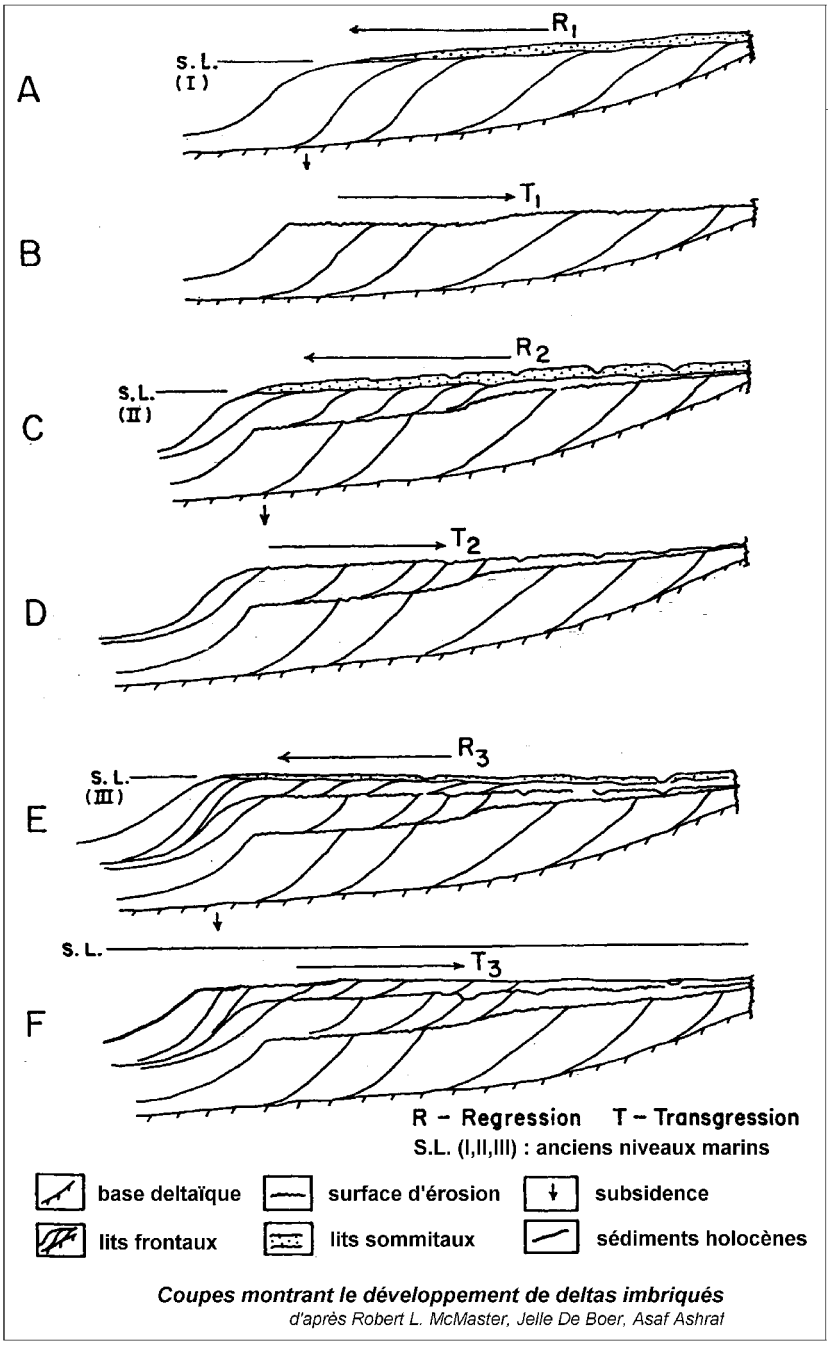
ill. n°37 : Morphologie de la plate-forme continentale au large de la Guinée Bissau

source : R.L. MacMaster, 1970

présentent alors sous la forme de vastes golfes ouverts sur l'océan. Le comblement des basses vallées des "Rivières du Sud" par des sables fins ou des limons est attribué à cette transgression, avec une sédimentation de type marin jusqu'à 4 500 B.P. (P. Michel, 1973), et de type lagunaire dans les zones internes à partir de 4 200 B.P. (M. Sall, 1982). Les étapes de régression qui suivent sont à l'origine de la formation de cordons littoraux successifs. L'adjonction de fines flèches littorales discontinues et le comblement des lagunes internes ont fortement participé à l'édification des îles estuariennes du littoral bissau guinéen (E.S. Diop 1990, M. Sall, 1986).

Entre 4 000 et 2 000 B.P., une série de petites régressions et transgressions se succèdent (de -2 m à - 3 m aux alentours de 4 000 B.P., + 2 m vers 3 000 ans B.P.), correspondant à une série de pulsions vers le niveau de la mer actuel. C'est aussi à cette période, vers 3 000 ans B.P., que s'amorce l'édification des grandes flèches sableuses du littoral ouest africain. Elles sont dirigées vers le Sud dans la partie nord des Rivières du Sud, ou orientées vers le nord en République de Guinée. Leur disposition indique le sens de la dérive littorale par la direction dans laquelle s'allonge leur extrémité libre.

L'évolution des cordons littoraux se poursuit à la période actuelle. La sédimentation sur les littoraux des Rivières du Sud est toujours fortement liée aux conditions climatiques. Si en République de Guinée et en Guinée Bissau la sédimentation se maintient, car elle est favorisée par un climat humide, plus au nord, l'aridification tend à figer les formes littorales et parfois inverser le fonctionne-



ill. n°38 : Scénario de construction des formations de l'ensemble sédimentaire des Bijagos (d'après R.L McMaster et al., 1970)

ment des estuaires. Les conséquences de cette aridification sont donc géomorphologiques mais aussi, et surtout, écologiques (E. S. Diop, 1990).

Conclusion

A l'échelle du temps géologique et à l'échelle régionale, le poids de l'héritage géologique et des variations du niveau marin au cours du Quaternaire constituent indéniablement la clé de l'origine de l'édification de ce littoral. Mais en raison de son statut de marge passive et de la faiblesse de la subsidence, ce cadre peut être considéré globalement comme inerte à la période actuelle. La dynamique littorale actuelle est essentiellement le résultat de l'action de processus hydrologiques et climatiques.

Chapitre 3 - Les agents de la dynamique littorale

Introduction

Les particularités de la morphogénèse littorale des régions chaudes qui donnent au modelé ses caractères spécifiques relèvent d'origines diverses. Ces spécificités peuvent être dues à des facteurs zonaux comme le climat, ou azonaux comme les agents marins (houle, marée) ou encore locaux (réponse et influence du milieu sur les agents morphogéniques).

L'importance du facteur climatique dans l'élaboration des formes de la zone tropicale n'est plus à démontrer ; il a constitué pendant longtemps l'un des principaux sujets d'attention des géomorphologues tropicalistes : "Tropical geomorphology was a study of climato-genic landforms" (J. Büdel, 1982 *in* A. Gupta, 1993). Le climat tropical se définit essentiellement par rapport à l'existence de la zone intertropicale de convergence (ZITC). Il paraît intéressant, dans l'étude de l'influence sur la morphogenèse littorale du facteur climatique, de débuter par un rappel sur la Zone Intertropicale de Convergence (ZITC), pour présenter plus clairement ses caractéristiques et son influence sur la côte ouest-africaine, ainsi que ses conséquences du point de vue de la dynamique littorale de l'archipel.

Quant aux agents marins, si les températures élevées introduisent des particularités dans la circulation des masses d'eau, leur influence sur la dynamique littorale est azonale ou polyzonale pour J. Tricart et A. Cailleux (1965). Cette influence dépasse la notion de zonation géographique proprement dite, mais participe aux échanges méridiens entre les deux pôles. Nous commencerons par dresser un bilan de la circulation des masses d'eau avant d'étudier les caractéristiques et le rôle des principaux agents morphogéniques du littoral, la marée et la houle.

3.1 le facteur climatique

Du point de vue climatique, la Guinée Bissau comme l'ensemble des Rivières du Sud appartient au domaine libéro-guinéen qui est une sous-division du climat tropical. La définition de sous-régions

climatiques, proposée par M. Leroux (1983), vise essentiellement à différencier les modalités d'alternance de la ZITC qui conditione la pluviométrie. L'abondance des pluies à ces latitudes est esssentiellement liée au fort potentiel précipitable advecté et au relief qui conditionne la translation estivale de la zone intertropicale de convergence. En raison de l'absence de relief entravant sa migration en latitude, elle remonte jusqu'au Sénégal mais de manière très aléatoire. Ainsi, du nord du Libéria à la République de Guinée, la forte pluviométrie tend à uniformiser les paysages de la région. Par contre si la basse Casamance dispose encore de pluies supérieures à 1500 mm, au voisinage de la Gambie elles ne sont plus que de l'ordre de 1000 mm.

Si aujourd'hui les mécanismes qui régissent le climat de la zone intertropicale sont bien connus et font l'objet de suivis dans le cadre de recherches scientifiques de type "veille climatique satellitaire" menée par l'ORSTOM au Centre de Météorologie Spatiale de Lannion, les travaux de M. Leroux sur "Le climat de l'Afrique tropicale" datant de 1983 constituent encore la référence pour l'Afrique.

Sur l'archipel des Bijagos, il existe deux postes météorologiques actifs, l'un à Bubaque et l'autre à Bolama. Malheureusement il n'existe pas de chronologie de données complète et sur une période suffisamment longue en ce qui concerne le poste de Bubaque. La station de Bolama est donc la seule dont les relevés sont utilisables pour analyser l'évolution du climat. Cependant, les écarts thermiques (-0.78°C pour Bubaque) et pluviométriques (-190.2 mm pour Bubaque) calculés d'après les quelques données disponibles entre Bubaque et Bolama montrent que la station de Bolama est assez représentative des conditions climatiques de l'Archipel.

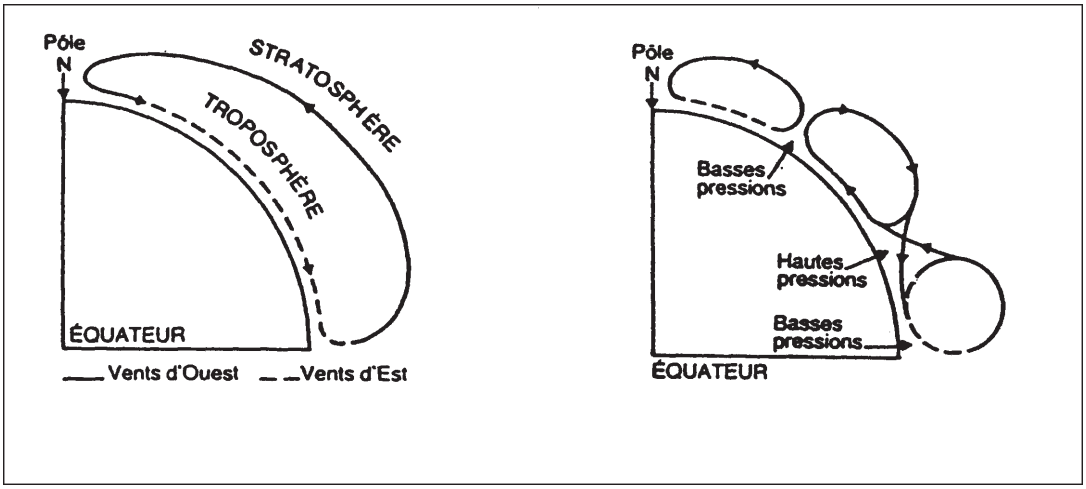
3.1.1 la zone Intertropicale de convergences (ZITC)

La zone intertropicale de convergence (ZITC) est repérée par un alignement de nuages convectifs à fort développement vertical. Elle correspond au contact dynamique des deux hémisphères et constitue l'élément central de la circulation méridienne. Cette circulation méridienne entre les pôles et l'équateur est aussi appelée cellule de Hadley.

En raison de l'inégalité de répartition du rayonnement solaire entre les pôles et l'équateur, le bilan radiatif de l'ensemble de l'atmosphère est positif entre 35 ° nord et 35° sud mais négatif au delà. De ce bilan résulte un transfert d'énergie qui se réalise de la terre vers l'atmosphère et des régions tropicales excédentaires vers les hautes latitudes déficitaires. Ce transfert s'effectue par l'intermédiaire des courants marins mais surtout par l'intermédiaire de courants aériens sous la forme de vapeur d'eau provenant de l'atmosphère et des océans tropicaux (M. Leroux, 1983) (ill. n°39).

Le schéma relativement simple de description de la ZITC en tant que branche ascendante de la cellule de Hadley est compliqué par la force de Coriolis. En altitude, les échanges entre l'équateur

et les pôles sont déviés vers l'est en donnant naissance aux "courants jets". Ces jets s'établissent à une latitude moyenne de 35° nord et 35° sud. Ils sont à l'origine de la création des ceintures anticycloniques subtropicales (ill. n°40).



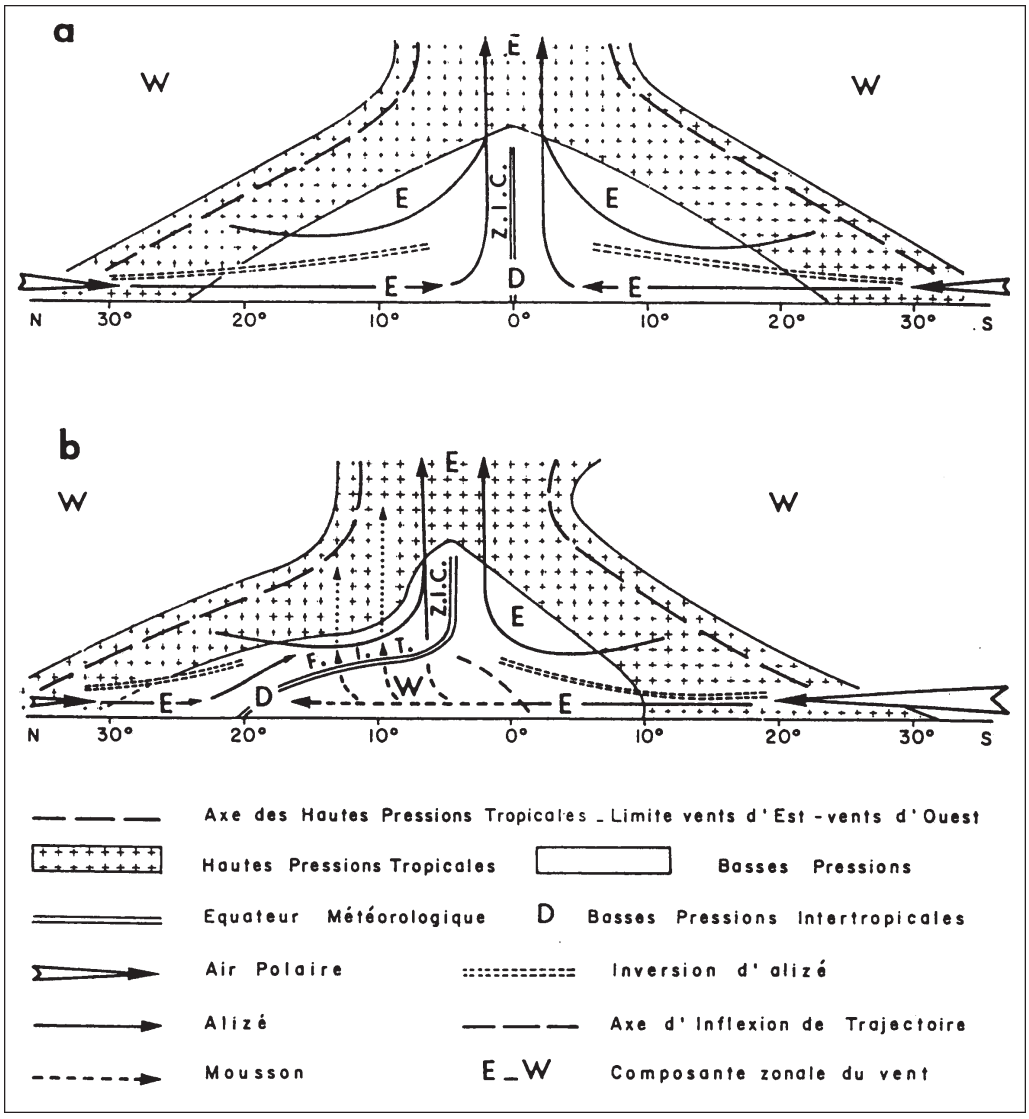
ill. n°39: Schémas de la circulation d'après Hadley et Rossby (extrait de G. Mahé, 1993)

Le schéma de Hadley (1735) fait apparaître la notion de circulation à l'échelle du globe ainsi que la déviation des vents au sol vers l'Ouest. En 1930, Rossby redécoupe cette cellule première en sous zones d'ascendance et de subsidence, donnant naissance à des zones de hautes et de basses pressions intermédiaires.

ill. n°40 : Coupe de la structure verticale moyenne de la troposphère tropicale (extrait de M. Leroux, 1983)

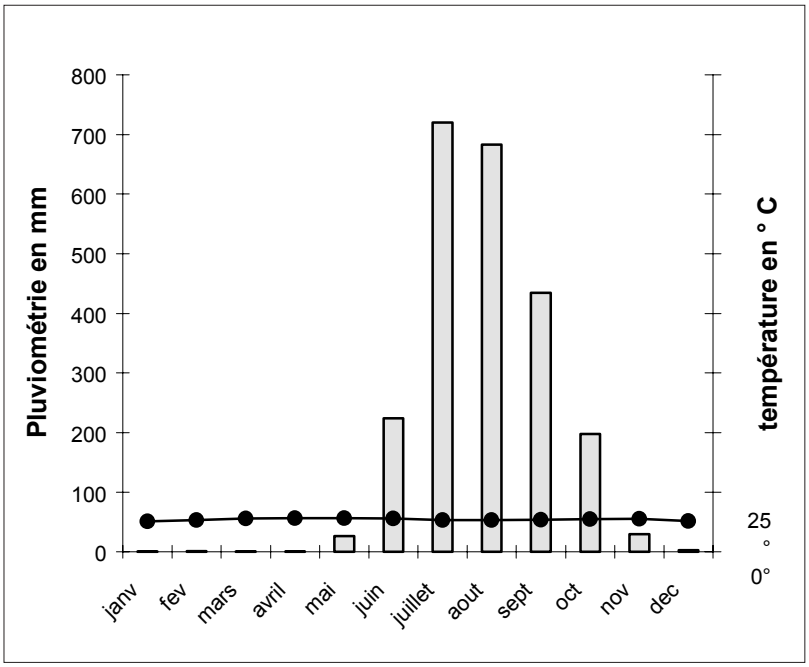
***a** : sur les océans les flux d'alizés humides convergent depuis les hautes pressions tropicales vers la zone dépressionnaire de l'EM ou ils peuvent s'élever et donner des pluies.*

***b** : Sur les continents les flux de moussons sont attirés par les dépressions thermiques et se glissent sous l'air sec et chaud continental.*

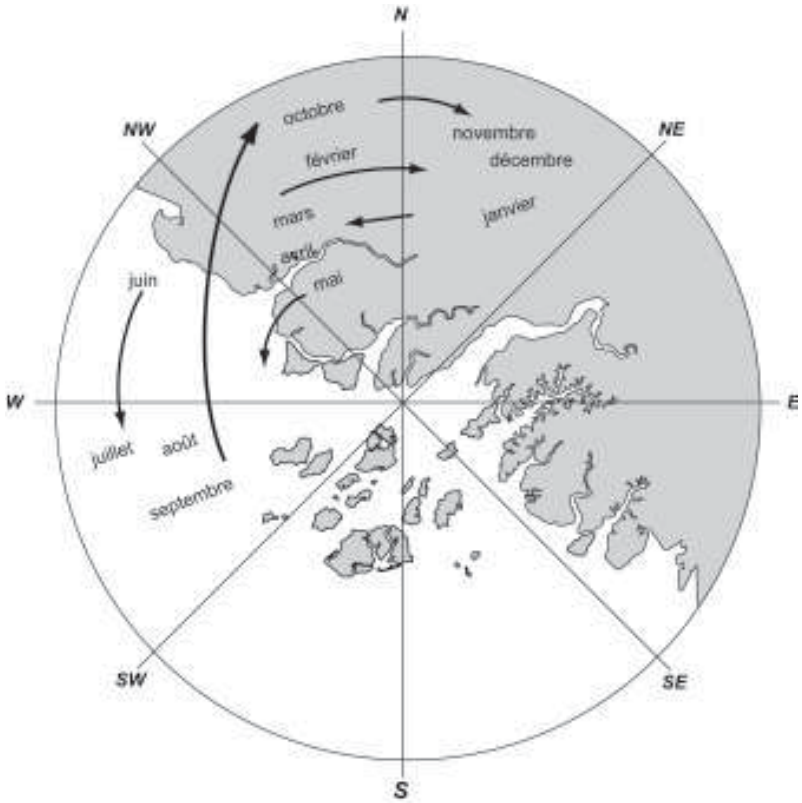


La ZITC se déplace entre 20°Nord et 20°Sud. Elle se situe en hiver boréal aux environs du tropique du Capricorne. Les flux provenant de l'anticyclone des Açores n'atteignent que très rarement la côte bissau-guinéenne alors qu'ils se font sentir plus au nord sur les côtes du Sénégal et de la Mauritanie. L'anticyclone saharien distribue un flux d'alizé continental sec du nord-est. Quand cet anticyclone saharien s'intensifie, le territoire est balayé par l'harmattan. Cette situation se traduit en Guinée Bissau par une saison sèche qui dure 5 mois, de décembre à avril, sans compter les mois de transition. Au contraire, en été boréal, l'influence du continent africain crée un centre de basses pressions résultant d'un réchauffement maximum. La ZITC remonte vers le nord et atteint son maximum d'extension vers le tropique du Cancer et son maximum d'intensité en août-septembre. Les alizés du sud subissent, sous les effets conjugués du changement de sens de la force de Coriolis au passage de l'équateur et de la dépression saharienne, une rotation qui les amène à des directions ouest à sud-ouest. Ces vents transportent des masses d'air très humides et sont soumis aux effets de la forte convergence des deux systèmes d'alizés dans la ZITC. Les vents du sud ouest ou d'ouest sont donc accompagnés de précipitations abondantes. Ce régime est appelé mousson sur tout l'ouest africain bien que le terme soit considéré comme impropre par de nombreux climatologues pour désigner la période des pluies en Afrique en raison de la faiblesse des précipitations par rapport à l'Asie en particulier (M. Leroux, 1983).

La saison des pluies dure 5 mois, de juin à octobre (ill. n°41). Cette saison se caractérise par des précipitations abondantes, une prédominance nuageuse, stratiforme, des vents provenant surtout du sud-sud-ouest et une grande humidité de l'air.



ill. n°41 : Profil ombrothermique établi pour la station de Bolama pour la période 1980-1993 (d'après les données du Serviço Meteõrologio da Guiné)



a)

S	SW	W	NW	N	NE		NE	N	NW	W	SW	S
			13	23	17	**J**	26	49				
	20	16	12	18		**F**	12	49	23			
17	31	25	8	11		**M**		44	32			
13	35	22		10		**A**		36	40			
21	40	20		7		**M**		28	40			
21	33	22				**J**		16	30	20		
21	35	17				**J**			16	21	23	
24	32	15				**A**			13	23	35	12
24	23	17		11		**S**			12	15	20	15
18	18	12	11			**O**	10	20	15			
	15	27	14	15		**N**	17	38	12			
		12	14	15	14	**D**	29	45				

b) à Cacheu en mer

ill. n°42 : Vents dominants au cours de l'année (d'après G.R. Berrit, 1977)

a) *vents dominants en mer*

b) *occurrences des orientations principales des vents en mer et à terre à la station météorologique de Cacheu.*

3.1.2 les vents enregistrés dans les stations météorologiques locales

Les relevés météorologiques permettent de décrire statistiquement le régime des vents entre 10° et 15° de latitude nord et 15° à 20°de latitude Ouest. Ce carré couvre la façade maritime de la Guinée Bissau jusqu'à environ 450 km au large. Les vents dominants ont une force moyenne de 3 Beaufort et varient entre 6 et 28 km/h au maximum. Leurs directions oscillent dans une demi-rose de nord à nord-est durant les mois de novembre à janvier puis ils tournent vers l'ouest aux cours des mois de février à mai soufflant alors du nord nord-ouest, puis de l'ouest nord-ouest en juin et enfin de l'ouest sud-ouest de juillet à septembre (ill. n°42). Le mois d'octobre présente la situation la plus

proche des calmes équatoriaux avec des vents très variables en direction et d'intensités plus faibles.

3.1.3 Caractéristiques des pluies et leur incidence au niveau local

Plus encore que l'étude du profil ombrothermique, l'observation des nuages à sommets froids permettent de comprendre le rôle de la ZITC dans la répartition des pluies en Guinée Bissau (ill. n°43). Dès la première décade de juin, l'ensemble de la Guinée Bissau est couverte d'un voile nuageux souvent accompagné de pluies éparses. Le maximum de pluies se situe entre la 3éme décade de juillet à la 1ère décade de septembre, correspondant à la remontée maximum vers le nord de la ZITC. Les plus fortes pluies tombent vers la fin juillet. Elles se localisent dans la zone littorale et sur le massif du Fouta Djalon, en République de Guinée, en raison de l'impact de l'altitude et de l'influence océanique.

A l'échelle nationale, de même qu'à l'échelle régionale, il existe une double gradation des précipitations :

- une gradation nord sud marquant le passage de la zone soudano-guinéenne à la zone tropicale humide (de 1500 mm dans le Nord Ouest on dépasse 2600 mm dans le Sud (ill. n°44),
- une gradation est ouest qui se traduit par un décalage vers le nord des isohyètes dans la partie littorale et qui marque la limite entre la plaine littorale et les plateaux intérieurs.

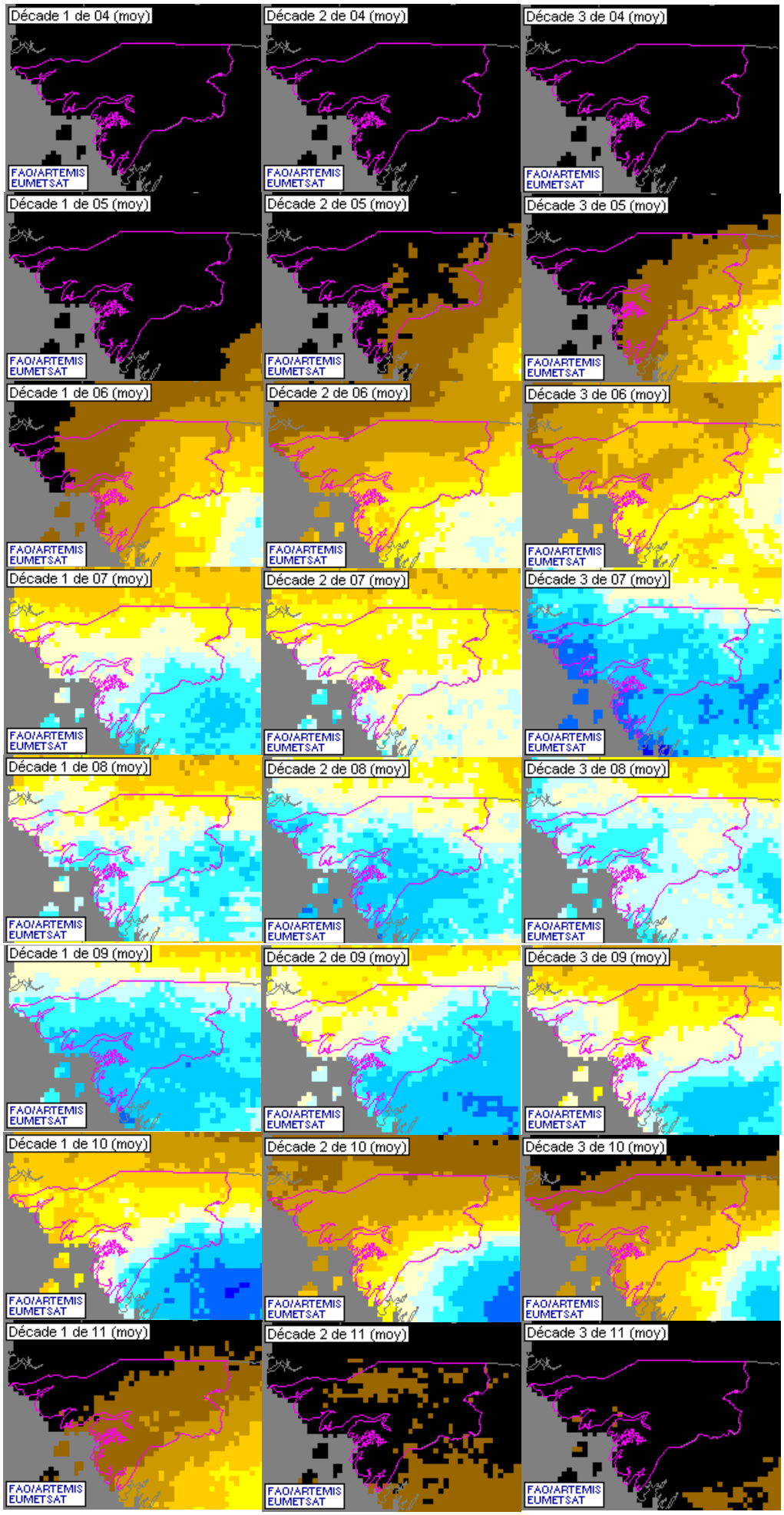
En ce qui concerne l'archipel des Bijagos nous avons utilisé les cartes proposées par Guimares et Teixeira (ill. n°44). Elles ont été établies avant la période de sécheresse des années 70 et 80 et donnent une bonne idées des gradients pluviométriques qui existent sur l'archipel. Notons l'étonnante courbure vers le sud de l'isohyète 1850 mm qui associe les îles Caravela, Carache, Unhocomo et Unhocomozinho à la zone soudanienne franche tandis que des îles situées à de plus hautes latitudes comme Bolama se trouvent à la limite de la zone tropicale humide. Ce décalage vers le sud des isohyètes peut s'expliquer par la faiblesse des altitudes sur l'archipel et la faible rugosité que ses îles peuvent présenter au passage des nuages.

L'analyse de la pluviométrie depuis 1924 permet de conclure à une légère diminution des pluies (ill. n°45). Mais ce constat de baisse de la pluviométrie est à tempérer par l'analyse du suivi des rendements agricoles réalisé par la FAO qui constate une augmentation notable de la production agricole, due à l'accroissement des précipitations depuis 1995.

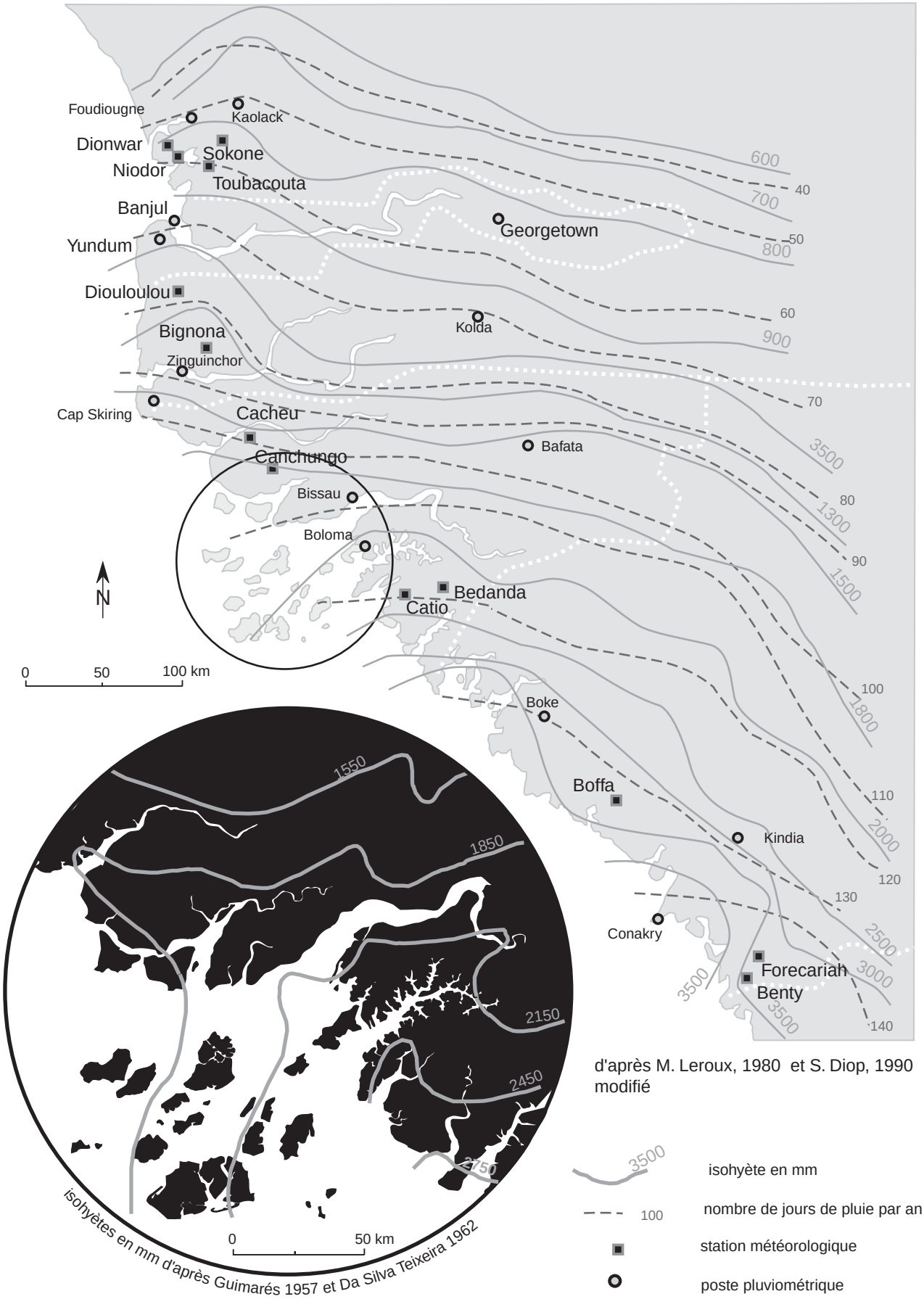
Les différences de précipitations ne peuvent cependant pas entraîner un changement des processus dynamiques. Les débits solides et liquides des fleuves sont conditionnés par les caractéristiques de leur bassin versant que se soit en terme de climatologie, de géomorphologie, de géologie, de biogéographie ou d'occupation humaine.

Durée de présence des nuages à sommets froids en Guinée Bissau : moyenne 1989-96 (avril à novembre)

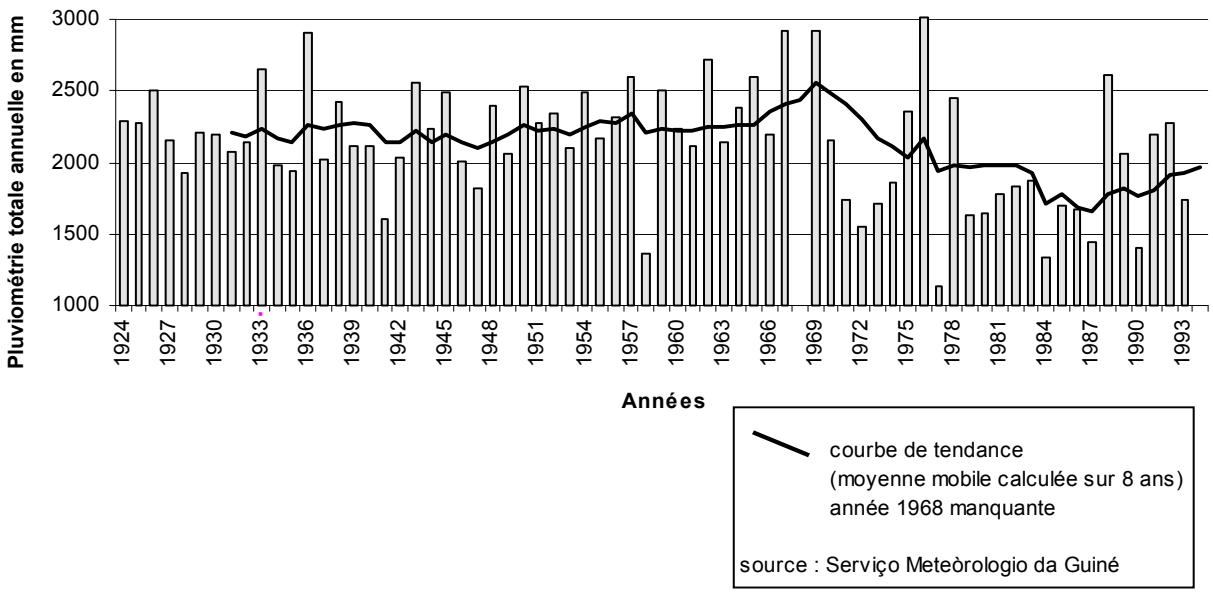
source : FAO-ARTEMIS
http://www.fao.org/waicent/



ill. n°43 : Durée de présence des nuages à sommet froids en Guinée-Bissau



ill. n°44 : Variations des précipitations moyennes mensuelles du nord du Saloum au sud de la République de Guinée (d'après Guimarés, 1957 ; Da Silva Teixeira, 1962 ; M. Leroux, 1983 ; S. Diop, 1990)

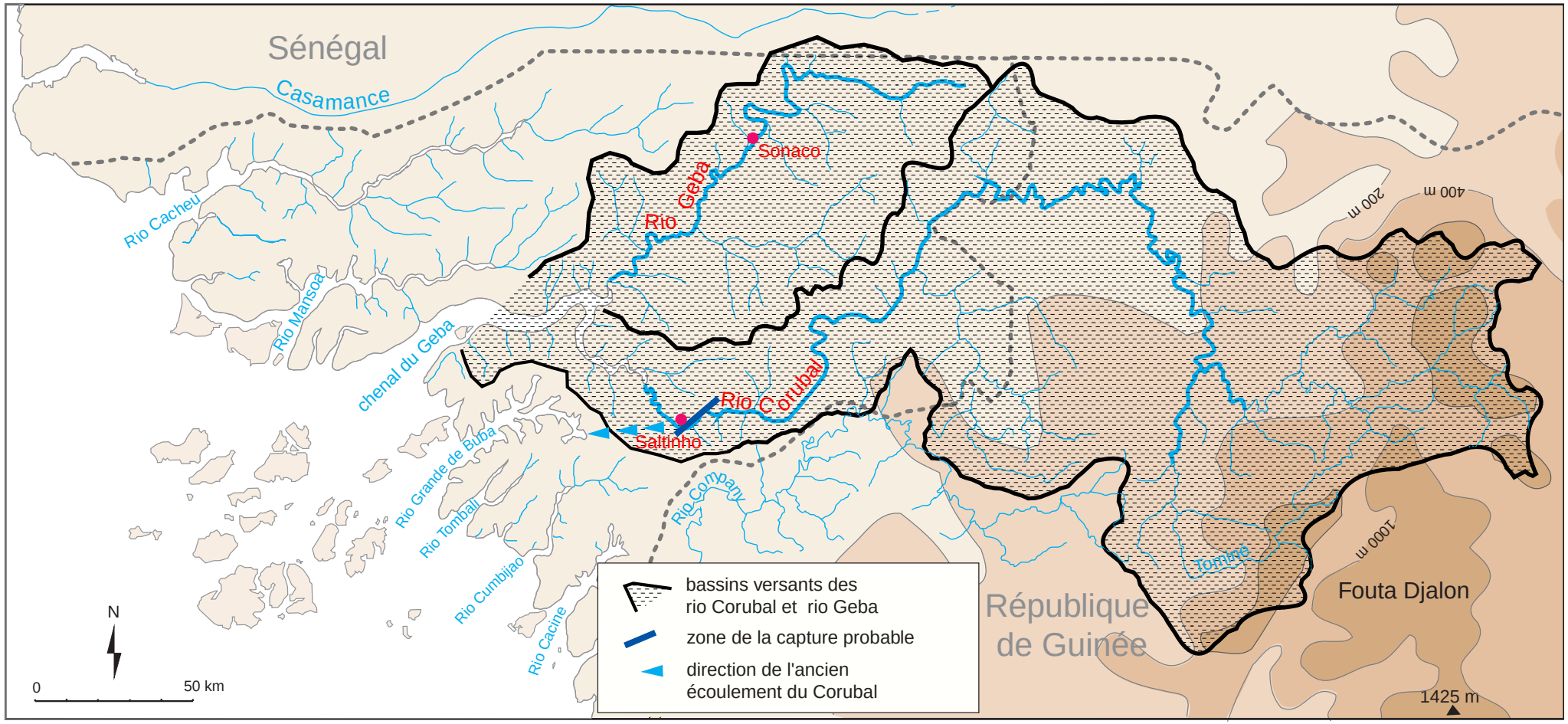


ill. n°45 : Évolution des précipitations à Bolama entre 1924 et 1993

L'archipel des Bijagos se situe à l'embouchure de l'estuaire du Geba placé à la confluence entre les rios Geba et Corubal. Cette confluence serait le résultat d'une capture tectonique qui aurait détourné le rio Corubal de son cours d'origine qui s'écoulait anciennement dans le rio Grande de Buba (Teixeira Da Mota, 1968). La taille du bassin versant emboîté du Geba-Corubal est d'environ 40 000 km2 (ill. n°46). Par comparaison celui du fleuve Gambie est estimé à 60 000 km2 (G. Mahé, 1991). Il peut être classé dans les fleuves côtiers de taille moyenne du littoral ouest africain.

Nous nous ne disposons malheureusement que très peu de données concernant ces deux fleuves (M. Biville et C. Tissot, 1998 ; J. Cadral Marques de Beja Neves *et al.*,1961; F. J. Vasconcelos, 1997; V. Mamedov, 1980). Les manques se font particulièrement ressentir lorsque l'on aborde le problème de la quantification des débits solides.

L'illustration n°47 donne les débits mensuels et annuels du Geba et du Corubal. Ces informations sont fournies par la base de données hydrométriques des bassins versants du programme Agrymet (F. J. Vasconcelos *et al.*, 1997). La différence de débit entre les deux fleuves est particulièrement frappante. La variation de la taille des deux bassins versants ne peut expliquer les écarts enregistrés. On note, en effet, respectivement comme moyenne annuelle 18.3 m3/s pour le fleuve Geba contre 312 m3/s pour le Corubal. L'explication vient essentiellement des caractéristiques climatiques des deux bassins versants. La source du rio Corubal culmine à 1518 m, dans le Fouta Djalon, véritable château d'eau de l'Afrique de l'Ouest (G. Mahé, 1993), tandis que le bassin du fleuve Geba prend sa source dans la Région de Gabu aux environs de 118 m (J. Albergel et Y. Pépin, 1990). Ces deux régions présentent des contextes climatiques très différents qui correspondent à la transition entre la zone soudano-guinéenne et la zone tropicale humide. Le Fouta Djalon a un climat de rythme

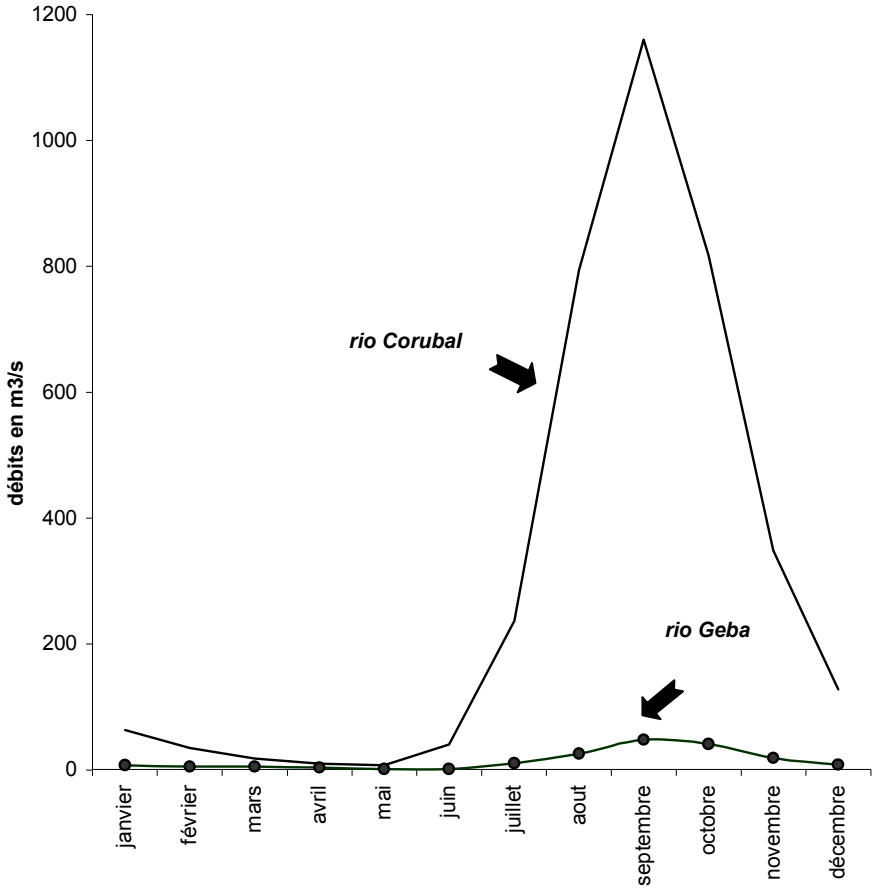


ill. n°46 : Extension du bassin versant emboîté des fleuves Geba et Corubal

tropical modifié par l'altitude, avec deux saisons de durée à peu près égale et dans sa partie occidentale une pluviométrie qui dépasse 2500 mm et 120 jours de pluie par an, tandis que le rio Geba prend sa source non loin de la frontière sénégalaise où l'on enregistre entre 1100 mm et 1300 mm de pluie par an, avec seulement 70 jours de pluie, et une saison sèche d'une durée de 7 à 8 mois (ill. n°44). Les faits suivants résultent de ces différences :

- les débits sont beaucoup plus importants pendant les périodes de crue : 1160 m^3/s pour le rio Corubal contre 48 m^3/s pour le rio Geba, au mois d'août (ill. n°47),
- une période de hautes eaux plus longue, de juillet à décembre, pour le rio Corubal et s'étendant seulement d'août à octobre pour le rio Geba.

Ces deux fleuves ont un régime irrégulier qui, à l'instar des fleuves de la zone tropicale, suit celui des précipitations. Les plus hautes eaux sont en retard sur les pluies de 1 à 2 mois. Le décalage est dû au délai de saturation : les premières pluies donnent très peu d'écoulement car elles servent à regarnir les nappes (A. Guilcher, 1965). Il en résulte une période de hautes eaux qui se situe pour les deux fleuves en septembre, ce qui est comparable à la situation des fleuves Sénégal et Gambie. Notons que la faiblesse des pentes et l'étendue des champs d'inondations joue aussi dans ce sens.



ill. n°47 : Débits moyens calculés entre 1977 et 1994 pour le rio Corubal à Saltinho et entre 1978 et 1993 pour le rio Geba à Sonaco amont.
(d'après F. J. Vasconcelos *et al.*, *1997)*

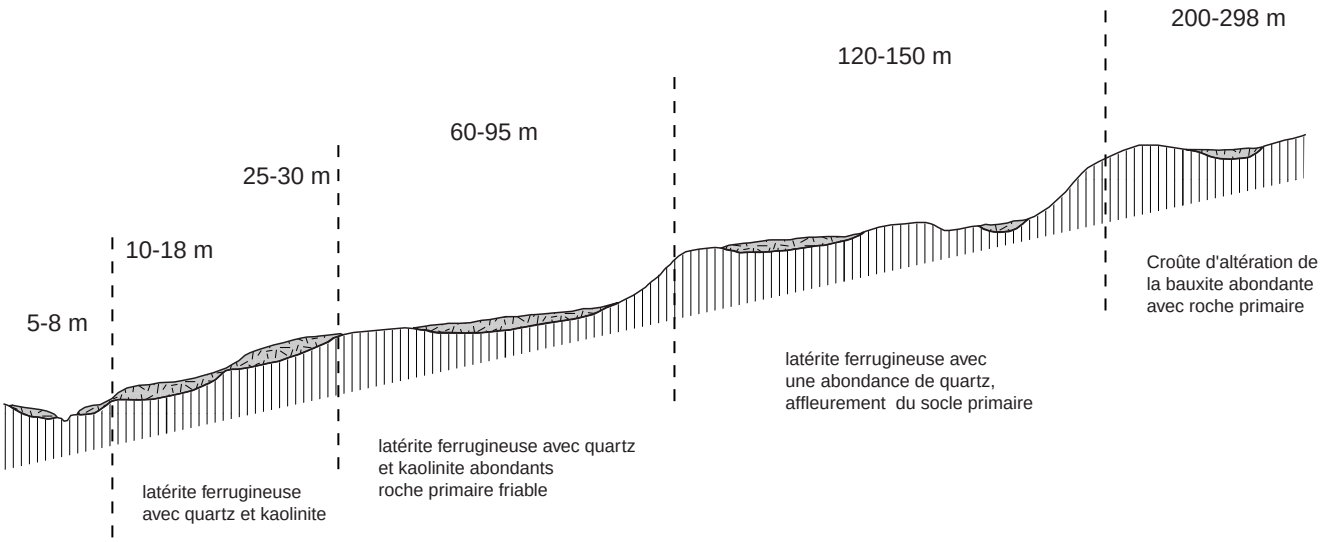
Il n'existe pas de données quantitatives portant sur le transport solide dans l'estuaire du Geba. Une seule étude a été réalisée par le service hydrologique de la Guinée Bissau en 1961 sur le type de matières en suspension. Toutefois, quelques indicateurs morphologiques et climatiques permettent de qualifier ces apports. Ce sont, comme le souligne P. Michel (1973) dans son étude des bassins versants des fleuves Sénégal et Gambie, "les intensités qui déterminent l'agressivité des pluies". Or d'après les chiffres enregistrés par les services météorologiques de Guinée Bissau, on a noté jusqu'à 40,5 mm/ h de pluies à Bissau, et 33,5 mm/h à Bafata (ill. n°48). Rien d'étonnant dès lors de constater que l'action mécanique des pluies se traduit par le lessivage des sols et le creusement de ravines qui s'enfoncent sur plusieurs dizaines de centimètres.

ill. n°48 : Intensités remarquables de pluies en Guinée-Bissau entre 1977/1981 (in E. S. Diop, 1990)

stations	dates	intensités remarquables
Bissau	30/10/77	25,1 mm/h
	22/04/78	22,4 mm/h
	06/06/80	31,5 mm/h
	06/11/81	40,5 mm/h
Bolama	16/06/78	33,8 mm/h
	03/10/79	24,3 mm/h
Bafata	11/06/78	33,5 mm/h
	03/10/79	24,2 mm/h

L'existence de nombreuses chutes sur les cours des rio Corubal et Geba exprime la faible régularisation du lit du fleuve. Ce phénomène a été décrit par de nombreux auteurs comme caractéristiques des fleuves de la zone tropicale humide (J. Tricart, 1955 ; J. P. Bravard et F. Petit,1997). Elle serait le résultat d'une très faible action mécanique des sédiments sur le fond en raison de la forte érosion chimique.

Plusieurs études évoquent la dualité des apports dans l'estuaire du Geba. Le contexte géographique des deux bassins versants semble confirmer cette hypothèse. Du point de vue géomorphologique, les contreforts du Fouta Djalon se caractérisent par des plateaux en escalier constitués de latérites ferrugineuses (ill. n°49). Ces latérites riches en quartz se situent sur un socle primaire affleurant altéré (V. Mamedov, 1980). On trouve sur le plateau de Bafata-Gabu une organisation similaire à celle des contreforts du Fouta Djalon. Mais elle se distingue par la partie supérieure du plateau qui serait constitué sur 5 m, en moyenne, par des grès latéritiques secondaires. En conséquence, on trouve, sur une base d'argile ferrugineuse, des grès latéritiques quartzeux avec ciment ferrugineux. Cette altération moins avancée des faciès sommitaux est certainement due, comme le souligne V. Mamedov (1980), à une élévation inférieure de la région de Gabu par rapport à celle du Fouta Djalon lors de l'orogénèse quaternaire.



ill. n°49 : Coupe schématique des plateaux latéritiques de la région de Bové
(d'après V. Mamedov, 1980)

Cette différence de faciès se retrouve sur la carte des vocations agricoles (feuille Est, SCET, 1978). Les sols traversés par le rio Geba sont des zones à vocation agricole. Les sols y sont relativement profonds sur des plateaux et terrasses à faible pente (1 à 2 %) et sont généralement bien drainés. Les pentes fortes comportent des sols à profondeurs irrégulières sur plateaux et les terrasses sont constituées de gravillons et cuirasses ferrugineuses. Le cours du Geba se caractérise par un envasement de ses rives jusqu'à sa confluence avec le Corubal. Cet envasement est certainement favorisé par la faiblesse du débit et l'existence d'argiles sur les sommets.

Sur les rives du Corubal, les sols présentent en général des pentes plus fortes. Ils sont classés comme peu profonds situés sur un plateau de cuirasses ferrugineuses, colluvions et cuirasses et affleurement rocheux. En raison de la faible profondeur de leurs sols, ces terrains ont une vocation pastorale et sont très sensibles à l'érosion.

Ces différences dans la configuration des bassins versants peut expliquer la dualité des apports mise en évidence par l'analyse réalisée par C.Cabral Marques de Beja Neves *et al*. en 1961). L'analyse granulométrique des dépôts sédimentaires de fond indique qu'ils sont composés d'éléments très fins ayant un diamètre moyen de 50µ. Cette dimension décroît progressivement au fur et à mesure que l'on remonte le cours du Géba et atteint un minimum de 34 µ dans la zone de Bissaqui et Geba (à 30 km en amont de la confluence des deux fleuves). A Cuméré, dans l'estuaire (en amont de la Bissau), le diamètre moyen mesuré est de 300µ et décroît jusqu'à 120µ à Porto Gole. Cette analyse, combinée avec l'étude des débits des fleuves, permet de conclure que les sables, qui sont dominants dans la section estuarienne du fleuve, proviendraient principalement du Corubal. L'importance des quartz dans les roches affleurantes tend aussi à confirmer cette hypothèse.

Les images satellitaires (Landsat 1973 et SPOT 1995) enregistrées à deux moments différents de la marée fondent l'observation des panaches de turbidité provenant des estuaires bissau guinéens. L'image de 1973 a été acquise à mi-marée en période de très faible débit : les eaux marines remontent faiblement dans le Geba. Les turbidités sont bloquées dans l'estuaire (ill. n° 50). Par contre dans le rio Grande de Buba où les débits fluviaux sont quasi nuls, les eaux marines remontent très profondément à l'intérieur de l'estuaire.

ill. n°50 : Composition colorée de l'image Landsat MSS du 10/03/1973 (couleurs naturelles)

Les images de 1995 ont été enregistrées au début du flot (ill. n°51). Bien que ces images aient été acquises en période d'étiage, elles présentent de fortes turbidités. On peut noter que :

- le panache de turbidité du Geba est rabattu contre la côte sud de la Guinée Bissau et de la République de Guinée,

- les turbidités remontent dans les rios Grande de Buba et Tombali confirmant le caractère végétatif et peu actif de ces estuaires,
- la confrontation entre les eaux marines et fluviales se traduit par la présence de fronts indiquant le caractère différent des masses d'eau.

ill. n°51 : Composition colorée de la mosaïque d'images SPOT du 09/05/1995 (couleurs naturelles)

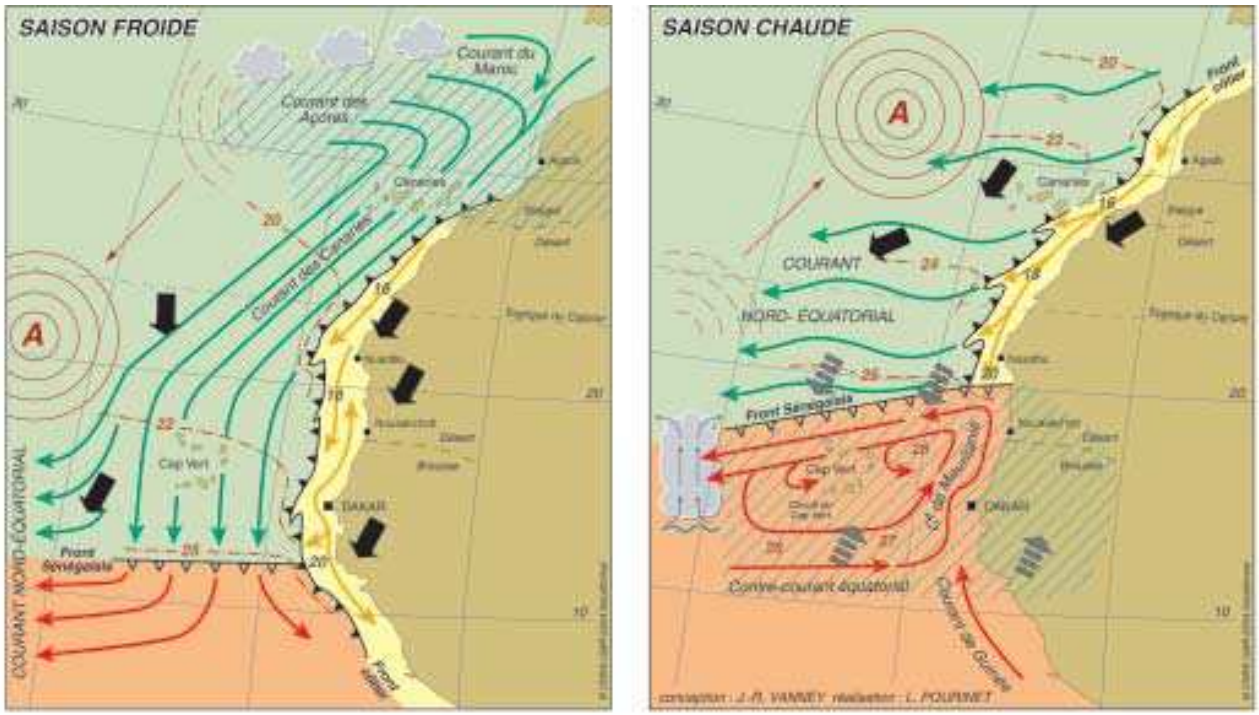
Bien que prises durant des périodes de très faibles débits ces images confirment le caractère particulièrement actif du rio Corubal par rapport aux autres fleuves bissau guinéens. L'image Landsat en particulier montre de très fortes turbidités dans le rio Corubal et dans l'estuaire du Geba alors que dans les autres estuaires les eaux sont relativement limpides. Notons, en outre, que sur les deux images la charge turbide est telle qu'il est difficile de dissocier, à l'embouchure de l'estuaire du Geba, les lentilles de turbidités des bancs émergés. En conclusion, retenons que le fleuve Corubal constitue un important pourvoyeur de sédiments sur le littoral bien qu'il ait un débit relativement faible.

3.2 les agents marins de la dynamique

Dons un premier temps sont présentés les grands traits de la circulation régionale océanique; les marées et les houles sont abordées ensuite.

3.2.1 la circulation régionale

Les eaux bissau-guinéennes sont sous l'influence du courant des Canaries en saison froide et du Courant de Guinée en saison chaude (ill. n°54). Il s'agit de courants océaniques généraux qui participent aux échanges méridiens.



ill. n°54 : Le système océanique ouest africain (extrait de J. R. Vanney, 1998)

Durant la saison froide, le basculement vers le sud de la ZITC entraîne la descente des influences tropicales. Au large des Guinées et du Sénégal, les courants sont alors globalement parallèles à la côte et portent au sud sud-est avec des vitesses voisines de 0,5 noeud.

Durant la saison chaude on assiste au renforcement de l'anticyclone des Açores et à la remontée de la ZITC entraînant celle des influences tropicales vers le nord jusqu'au Cap Blanc (Mauritanie). Ce changement d'influences est à l'origine de l'advection du circuit du Cap vert et de la formation du contre courant équatorial qui porte vers le nord près des côtes et renforce le courant de Guinée.

L'existence d'upwelling côtier sur la côte ouest de l'Afrique est due à l'action des alizés qui repoussent les eaux de surface en direction de l'ouest, associée à la force de Coriolis qui porte les eaux vers le large. Il existe deux zones d'upwelling permanents : le Cap Blanc et la petite côte sénégalaise.

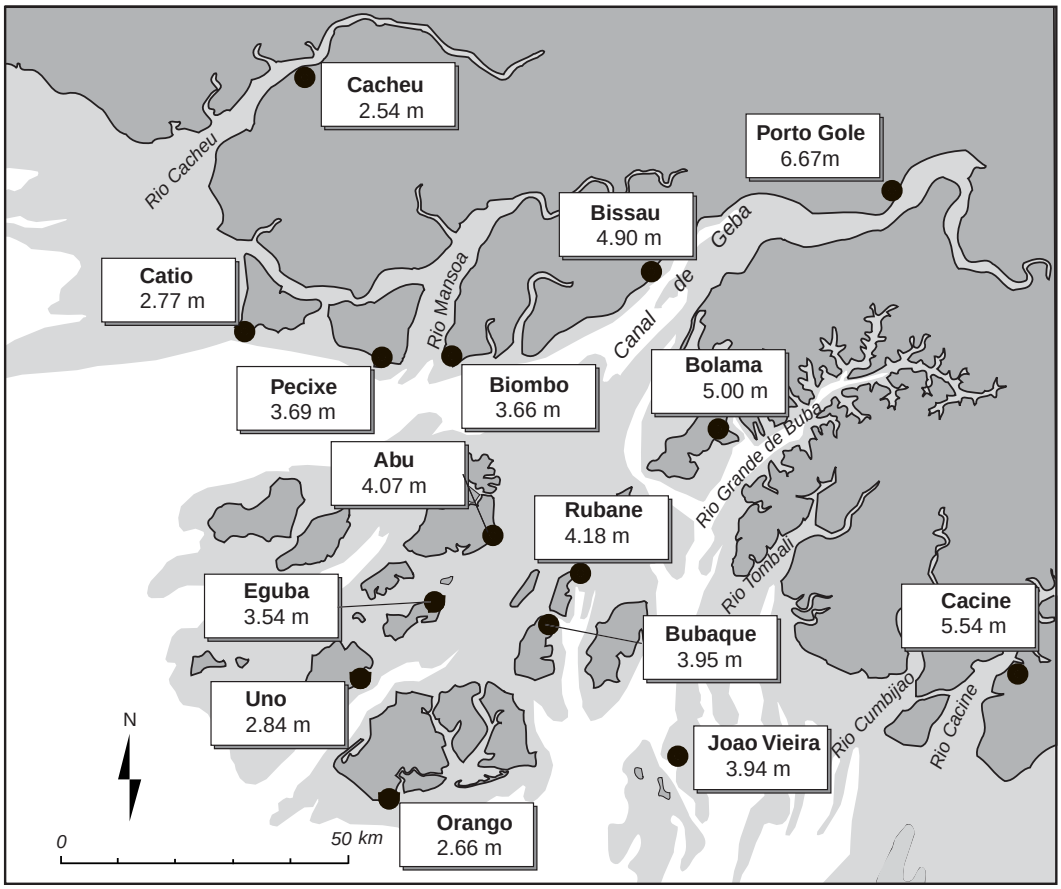
Les eaux bissau-guinéennes bénéficient de l'influence de l'upwelling sénégalais en raison de leur situation en aval par rapport au courant des Canaries. Les apports biologiques associés à la présence de l'upwelling sont un des facteurs qui expliquent la richesse halieutique des eaux de l'archipel.

3.2.2 la marée et les courants de marée

En Guinée Bissau, la marée est de type semi-diurne à inégalité diurne. L'onde de marée principale M2 vient du sud et se propage vers le nord le long de la côte. Sur la côte, le marnage est considérablement amplifié par l'extension du plateau continental, combiné à la profondeur des estuaires : Il dépasse 7 m par marée de vive-eau à l'intérieur du Rio Geba (ill. n°55).

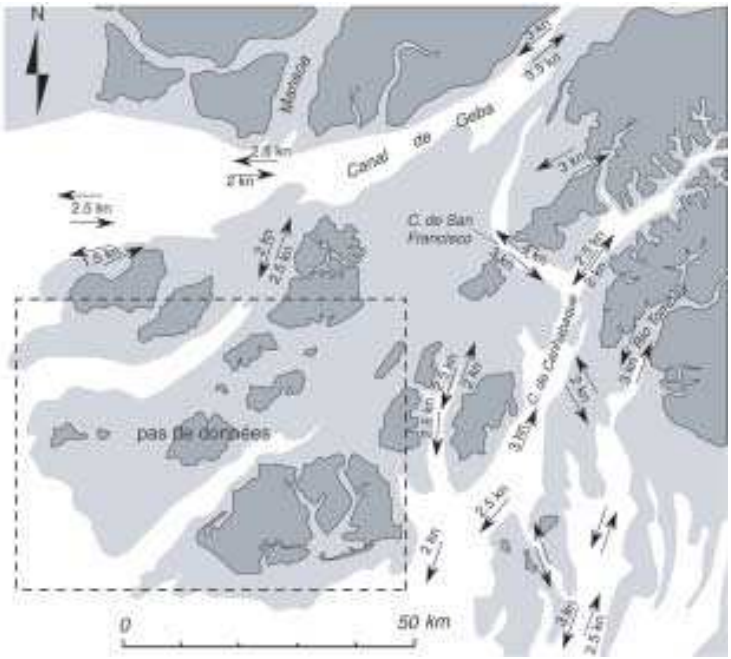
L'influence de la plate-forme se lit clairement dans les variations latitudinales des marnages : A Cacheu, le marnage est de 2.54 m tandis qu'il est de 5,54 m à Cacine et de 3,94 m à João Vieira, situé pourtant dans la partie marine de l'archipel. La conformation de l'archipel induit un gradient d'amplitude de l'ordre de 1,20 m, orienté sud-ouest nord-est et croissant entre l'île d'Uno et celle d'Abu. Le marnage moyen sur l'archipel de l'ordre de 3,60 m. En bordure du continent, le marnage est de 4,90 m à Bissau, 5,00 m à Bolama et 5,54 m à Cacine. Ces marnages sont les plus forts de la côte ouest africaine. En effet au sud de la Guinée-Bissau, ils varient entre 1 et 3 m de la Sierra Léone à la République de Guinée (SHOM) et ne depassent que rarement 1,5 m au Sénégal et en Mauritanie, à l'exception du Golfe d'Arguin. En zone tropicale, les marnages dépassent rarement 4 m. Du caractère spécifique de l'amplitude de marée résultent les conséquences suivantes : les courants associés à la propagation de la marée sont vigoureux et actifs; les estrans sont vastes et présentent de faibles pentes; la création de zones humides côtières est favorisée.

En haute mer, les courants de marée sont nettement moins forts que dans les estuaires. Ils restent cependant élevés par rapport à ceux observés le long de la côte d'Afrique de l'Ouest (G. Berrit, 1977). Au voisinage des Bijagos, ils ont une vitesse de l'ordre de 1,5 noeuds. Ils peuvent être plus forts dans les rias : on mesure jusqu'à 3.5 noeuds dans le rio Geba à mi-marée de vive-eau. Les interactions entre les masses d'eaux fluviales et marines entraînent des conséquences sur la régularité des mouvements de montée et de baissée (ill. n°57). La remontée de la marée dans l'estuaire du Geba, associée à la diminution de la profondeur et au resserrement des rives provoque l'apparition d'un phénomène de mascaret lors des marées de vive-eau.

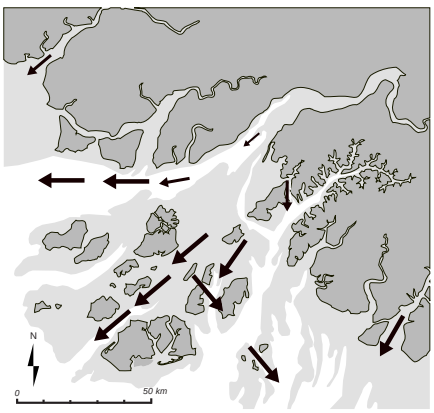


ill. n°55 : Marnages calculés pour 14 ports de Guinée Bissau (programme Prédit du SHOM)

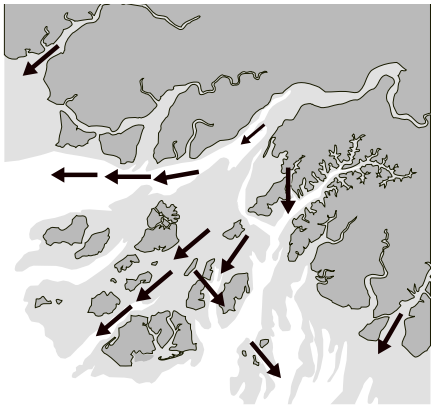
Les courants atteignent 2,5 noeuds à l'entrée de l'estuaire du Geba et entre 3 à 3,5 noeuds en amont. Dans le chenal de Bolama les vitesses atteignent 4 noeuds en vive-eau. A l'intérieur du Delta il existe peu de données. Les cartes marines anglaises de 1989 donnent des valeurs comprises entre 2 et 2,5 noeuds pour le canal de Bubaque, jusqu'à 3 noeuds pour le chenal de Canhabaque et entre 2 et 2.5 noeuds dans le chenal de San Francisco (ill. n° 56). Les courants sont directement influencés par les eaux fluviales en période de crue. La vitesse et la durée du jusant favorisent l'extension vers le large des panaches de turbidités.



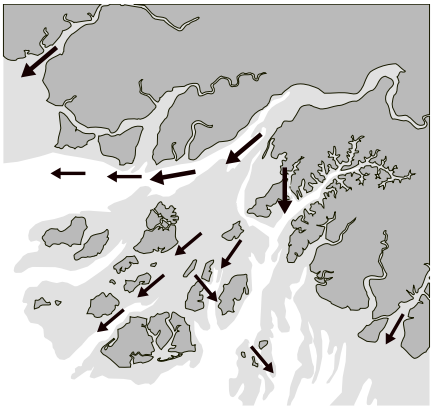
ill. n°56 : Intensités des courants de marée
(d'après les cartes marines anglaises et portugaises)



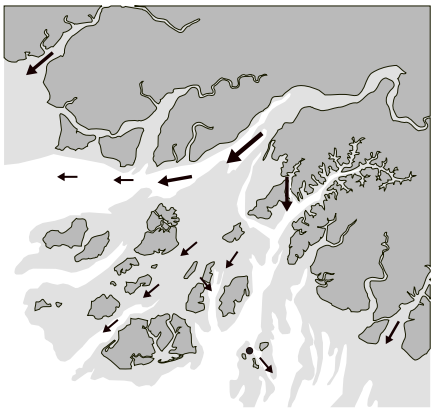
BM -4h



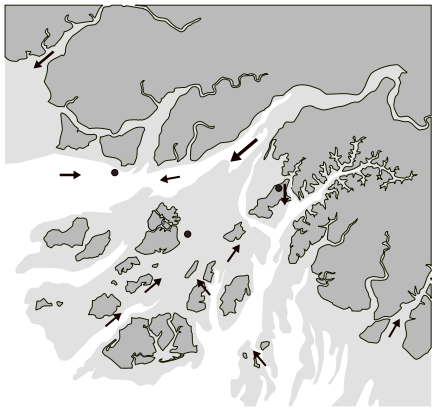
BM -3h



BM -2h

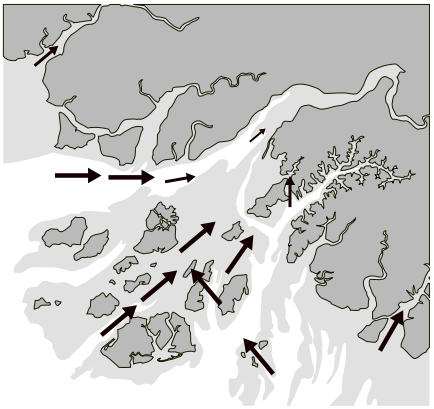


BM -1h

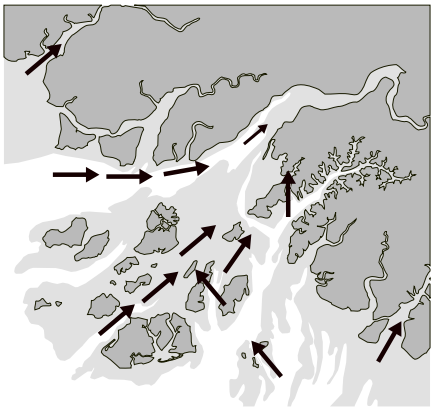


heure de la BM à Abu

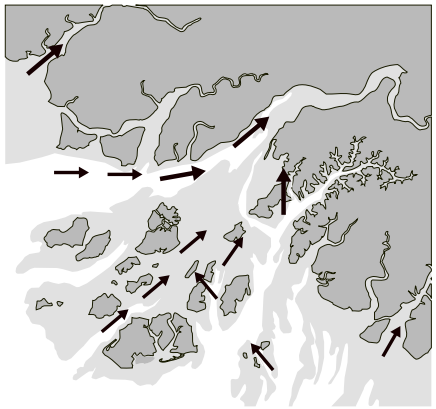
BM +1h



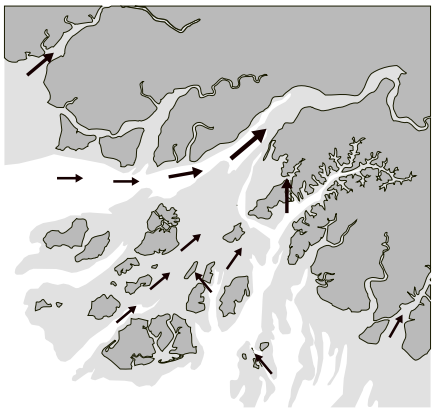
BM +2h



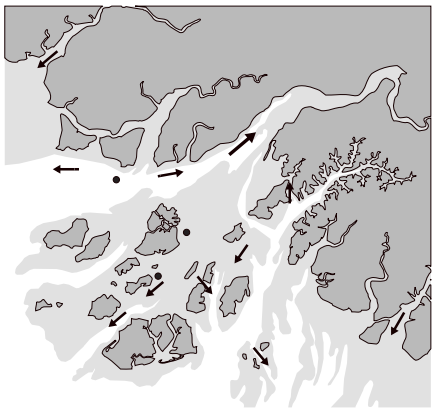
BM +3h



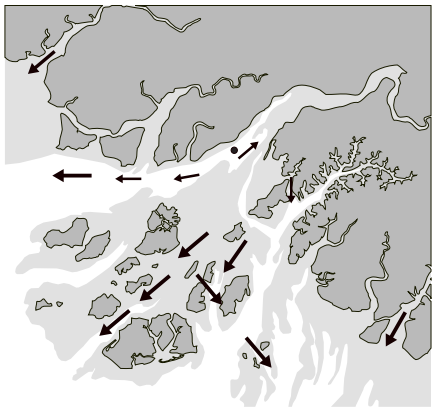
BM +4h



BM +5h



PM à Abu



PM +1h

intensité des courants : ↗ fort ↑ moyen ← faible • étale

ill. n°57 : Vitesses et directions des courants de marée sur le littoral bissau guinéen

(d'après la règle des 6èmes, à partir des valeurs numériques du SHOM)

3.2.3 les houles

Les conditions hydrologique et climatiques régionales devraient avoir une répercussion directe sur le régime des houles. Toutefois, "les vents de la côte atlantique d'Afrique [...] sont en toutes saisons des vents beaucoup plus faibles que ceux des latitudes plus élevées dans les deux hémisphères. [...] Ces vents ne sont pas capables de produire des houles à grande longueur d'onde et à longue période, susceptibles de se faire sentir à de grandes distances " (A. Guilcher, 1954). Ce sont donc les influences lointaines, en provenance du nord et du sud, qui se font sentir sur les côtes atlantiques de l'Afrique.

Il n'existe pas de relevés réguliers de bouées houlographes sur la côte d'Afrique de l'Ouest. On peut néanmoins décrire le régime des houles à partir de l'Oceanographic Atlas of the North-Atlantic Océan qui présente un bilan des observations réalisées par le ministère de la Marine américain jusqu'en 1970 (ill. n°58). A partir d'un découpage en 4 grandes saisons il nous donne des informations sur les directions, hauteurs et longueur d'onde de ces houles.

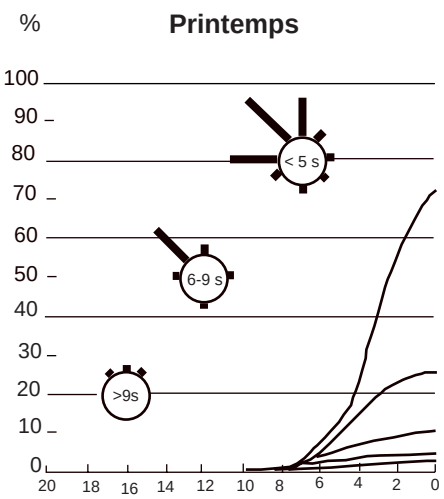
- En automne, les houles proviennent essentiellement du secteur nord avec 43 % des observations dont 17 % du nord-est (inopérantes à la côte), 16 % du plein nord et 10 % du nord ouest. Leur période est inférieure ou égale à 9 secondes.
- En hiver, les houles boréales sont toujours prédominantes avec 51 % des observations dont 28 % du nord-ouest et 23 % du nord, de période inférieure à 9 secondes.
- Au printemps, l'origine des houles oscille entre le nord et l'ouest avec 50 % des observations dont 27 % du nord-ouest de période inférieure à 9 secondes, 13 % d'ouest, de période inférieure à 5 secondes et 10 % du nord de période inférieure à 5 secondes.
- En été, enfin, les houles australes deviennent dominantes (si l'on tient compte que 33 % des directions sont indéterminées) et constituent 33 % des observations dont 20 % du sud et 13% du sud-ouest avec une période inférieure à 9 secondes.

Notons que les calmes ne représentent que 1 à 2 % des observations réalisées par saison sur l'ensemble de l'année. Les hauteurs des houles sont au maximum de 4 m 20 en hiver.

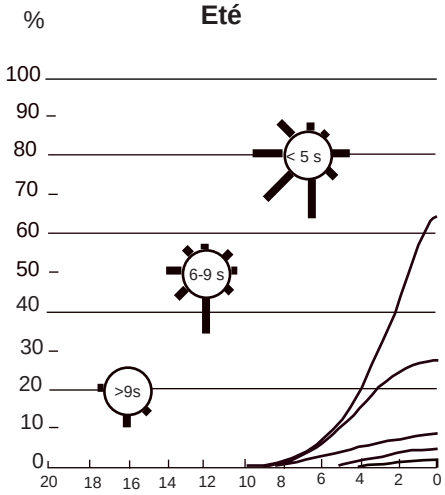
Ces observations confirment l'hypothèse proposée par A. Guilcher en 1954 dans son schéma dynamique de l'Afrique Atlantique suivant laquelle la côte des Rivières du Sud est sous l'influence de deux régimes alternés de houles lointaines provenant :

- du nord-ouest, boréales, induisant une dérive littorale du nord vers le sud,
- du sud-ouest, australes, qui engendrent une dérive sud-nord.

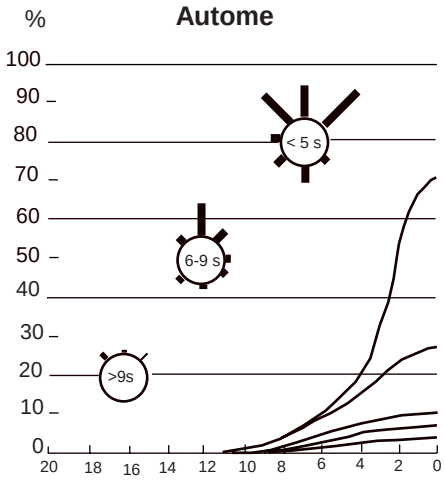
Le secteur d'influence réciproque de ces houles ne concerne qu'une faible partie de la côte africaine. Il s'étend de la Sierra Léone, au niveau des îles Turtle (E. J. Anthony, 1990), jusqu'à la petite côte



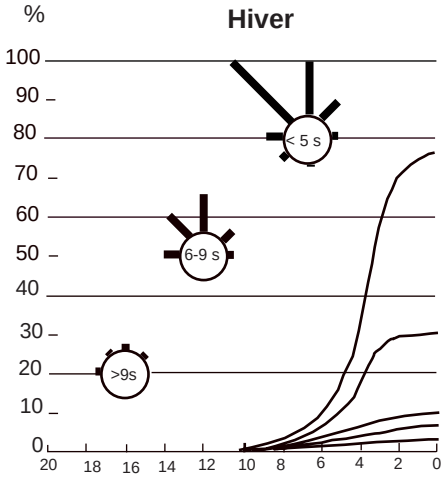
485 observations
1% calme
10 pieds de hauteurs maxi



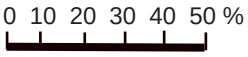
402 observations
2% calme
4 % indéterminé
11 pieds de hauteurs maxi



286 observations
2% calme
28 % indéterminé
11 pieds de hauteurs maxi



464 observations
1% calme
24 % indéterminé
14 pieds de hauteurs maxi



échelles des roses

ill. n°58 : Bilan des observations réalisées sur les houles au large par le ministère de la Marine américain jusqu'en 1970 (d'après Oceanographic Atlas of the North-Atlantic Ocean I)

sénégalaise où la diffraction engendrée par l'archipel des îles du Cap Vert rend difficile la description précise de la limite d'influence des houles australes (A.T. Diaw, 1997). Toutefois les flèches littorales progressent généralement vers le sud au nord de la Guinée Bissau, alors qu'elles progressent vers le nord en République de Guinée et en Sierra Léone (A. Guilcher, 1954).

Peut-on localiser avec précision la limite entre les dérives littorales nord et sud? P. Pélissier (1966), constatant que la rive sud de l'embouchure de la Casamance présente des flèches disposées en éventail, propose de situer cette limite au sud du Sénégal. A. Guilcher la localise dans le nord de la Guinée-Bissau. En fait, et la présence des grands ensembles sédimentaires côtiers en témoigne, c'est au niveau de l'archipel des Bijagos que l'on peut situer la limite des résultantes nord et sud qui contribuent à fixer en place les sédiments apportés par les estuaires côtiers.

L'examen de plans de vagues établis pour les directions dominantes d'été et d'hiver (F. Cuq, 1979) confirme cette hypothèse (ill. n°59). Ils ont été établis pour des houles de sud-ouest (205 °) et de nord-ouest (324°), de période 10 secondes et de célérité 15,6 m/s. Ces plans de vagues indiquent clairement que, quelle que soit la direction d'origine, la morphologie sous-marine associée à la présence d'écueils et de hauts-fonds au large de l'archipel provoque une vaste diffraction des houles qui induit des incidences comparables à la côte et entraîne donc les mêmes directions de dérive.

CONCLUSION

Malgré le manque de données quantitatives concernant les processus dynamiques, les conclusions suivantes peuvent être dégagées :

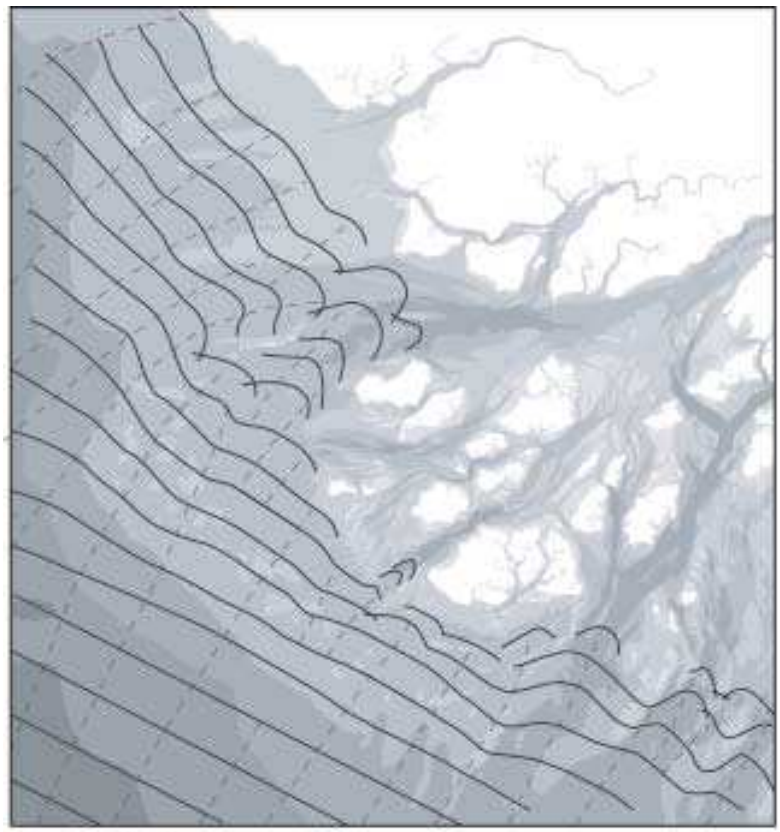
- Les houles sont globalement peu efficaces sur l'archipel en raison de la présence des hauts-fonds situés au large et de la diffraction induite par la morphologie sous-marine.
- de par son caractère fortement estuarien, la marée constitue un élément déterminant dans la configuration actuelle du littoral, tant par l'amplitude de son oscillation verticale que par les courants qu'elle engendre. L'importance du marnage et la vitesse des courants sont responsables de la dynamique spatiale des dépôts car la sédimentation et la remise en suspension sont liées à la puissance du brassage des eaux par les courants.
- les processus éoliens sont peu actifs et ne peuvent concerner que quelques sites particuliers de l'archipel.

L'illustration n°60 présente la synthèse des influences dynamique dans l'archipel. Le bilan a été dressé à partir de l'analyse des formes du milieu littoral en caractérisant les influences principales qui les façonnent. Cette carte a été réalisée en opérant la synthèse des attributs caractérisant la dynamique, présentés dans le chapitre 5 de la première partie de l'étude.

houle de sud-ouest (205 °),

période 10 secondes

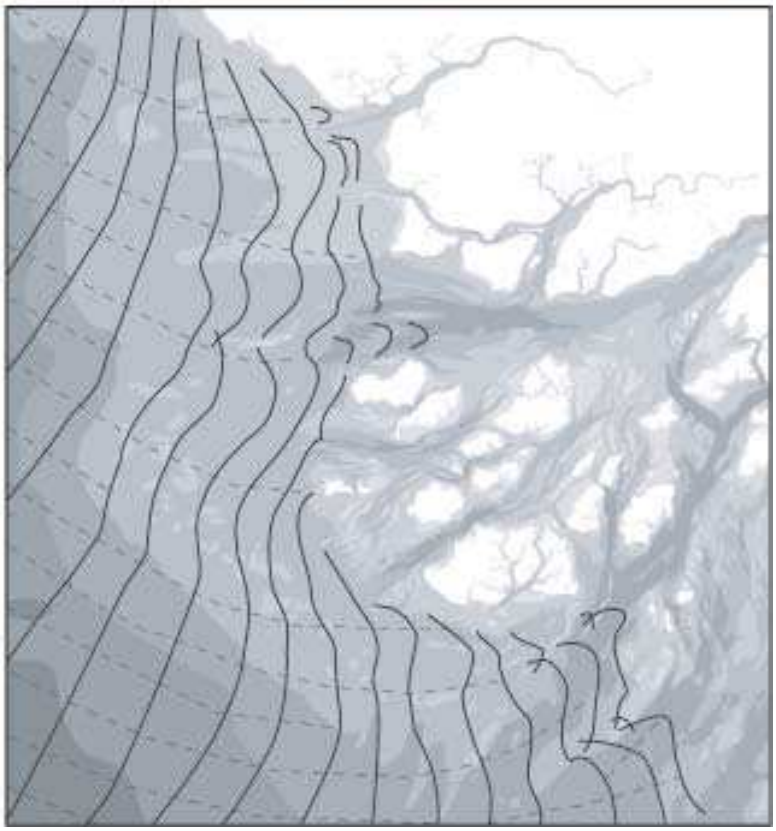
célérité 15,6 m/s



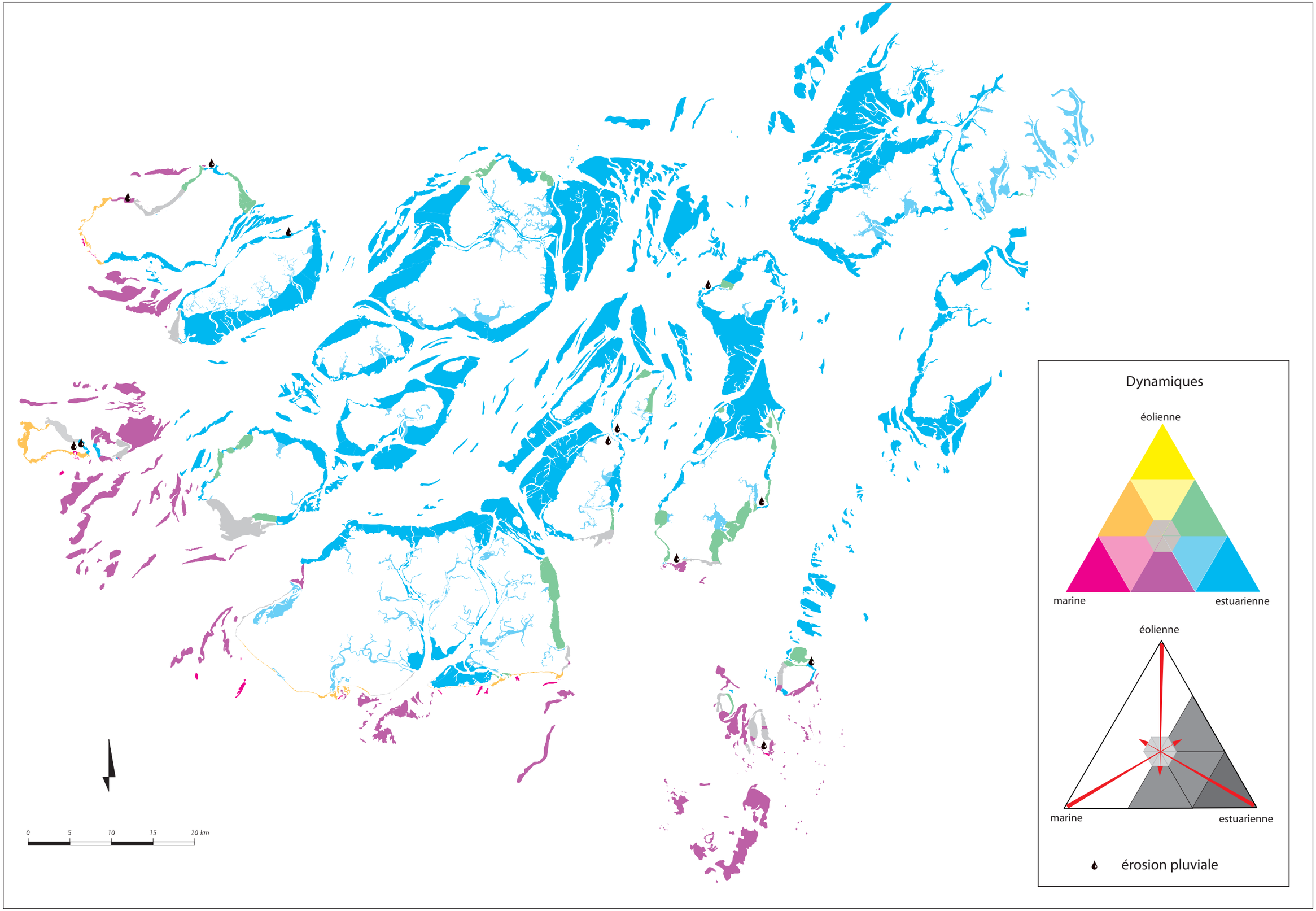
houle de nord-ouest (324°)

période 10 secondes,

célérité 15,6 m/s



ill. n°59 : *Propagation de la houle à la côte selon deux directions d'origine (d'après F. Cuq, 1979)*



ill. n°60 : Représentation synthètique des principaux agents dynamiques

Chapitre 4 - Physiographie du littoral de l'archipel des Bijagos

Introduction

Ce chapitre est consacré à la description physiographique du littoral de l'Archipel des Bijagos. En se plaçant dans une perspective comparable à celle adoptée part J.R.vanney et L. Ménanteau (Carte physiographique du littoral atlantique de l'Andalousie, 1985), cette description vise à étudier et représenter les paysages ainsi que les relations géographiques entre les différents éléments. Elle aborde différents aspects que sont l'étude du modelé, du couvert végétal et l'impact anthropique sur l'environnement.

4.1 Le cadre géographique général

Le littoral de la Guinée Bissau ne constitue pas une limite structurale. Dans l'intérieur des terres le pays est limité vers l'est par des collines. Dans les zones de transitions de 1'Oïo (au nord du Geba) et du Forréa (au sud du rio Corubal), on passe progressivement de la plaine maritime qui présente des reliefs légèrement ondulés, à des plateaux intérieurs, les plateaux de Gabu et de Bafata aux escarpements très prononcés. Vers l'ouest, la plaine côtière faiblement inclinée se prolonge vers l'océan sous la forme d'une vaste plate-forme qui s'étend vers le large sur une centaine de kilomètres.

Dans la zone littorale, les transgressions ont permis à la mer d'envahir les cours inférieurs des anciens fleuves, les transformant en rias et créant un réseau complexe de marigots colonisés par la mangrove. Le caractère faiblement incliné de la plaine côtière permet à la marée de remonter jusqu'à 100 km à l'intérieur des terres. La plaine bissau-guinéenne est entaillée par une série de cours d'eau d'organisation est-ouest (ill. n°61). O. Ruë (1994) note à juste titre que par opposition aux rias du Sénégal et de Guinée, les rias de Guinée-Bissau offrent la particularité d'être peu ou pas colmatées, présentant ainsi des embouchures largement ouvertes sur la mer qui témoignent de la prépondérance de la marée par rapport aux autres processus dynamiques. Le colmatage

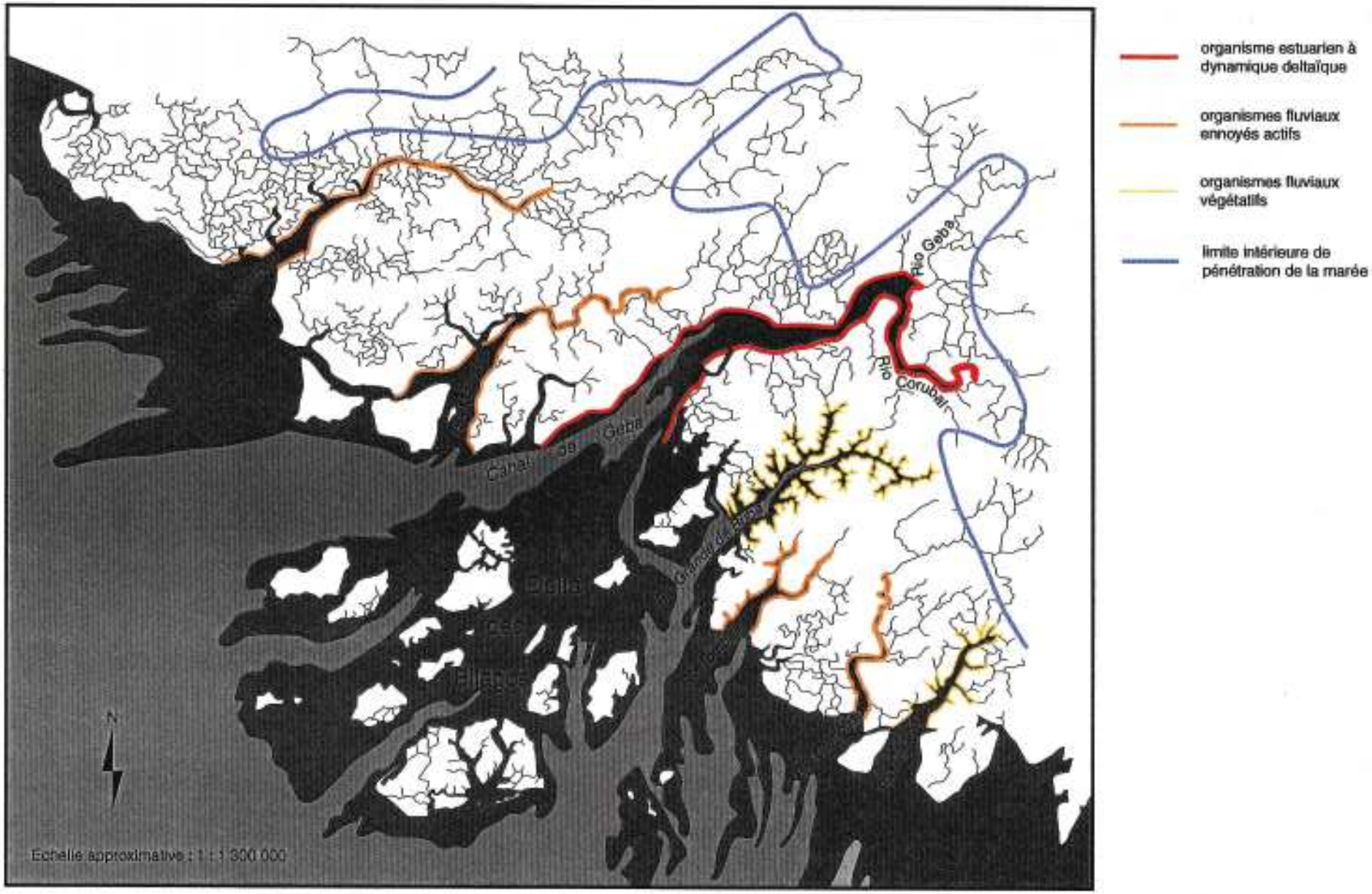
partiel de l'embouchure du Geba trouve son explication dans la configuration du bassin versant des fleuves Geba et Corubal. L'examen morphologique des estuaires et de bataille des bassins versants bissau guinéens permette bien comprendre la raison du non colmatage des autres estuaires. La typologie des estuaires bissau-guinéens proposée par F. Cuq en 1979 en distingue trois types (ill. n°58). Elle se base sur leur forme largement corrélée aux débits des fleuves :

-les organismes fluviaux végétatifs sont représentés par les rios Grande de Buba et Cacine. Les apports en eau douce actuels y sont quasi inexistants (Teixeira Da Mota, 1954). Ces organismes présentent des profils très disséqués avec des affluents perpendiculaires au chenal principal. Bien que ne pouvant être considérés comme morts, ils ne répondent plus que dans une très faible mesure aux influences extérieures.

- les organismes fluviaux ennuyés actifs que sont les rios Cacheu, Mansoa, Tombali, Cumbidja et Cacine. Ils se caractérisent paries débits moyens en raison de la petite taillade leur bassin versant, et une zonation marquée. Leurs embouchures sont larges et ils possèdent de nombreux bras secondaires organisés en un réseau bien étalé, avec de nombreux méandres colonisés par une vaste forêt de mangrove. Vers l'amont, apparaît une zone très large, souvent infléchie, avec une quasi absence de réseaux secondaires alors que dans une troisième section se dessinent de très petits méandres.

- un organisme estuarien à dynamique deltaïque, le rio Geba, résultat de la confluence des fleuves Geba et Corubal qui se distingue par l'importance de son débit, sa largeur et la dissymétrie de ses rives. Le rio Corubal est en effet le seul fleuve bissau-guinéen qui prend sa source dans le Fouta Djalon. Son caractère actif est souligné par la faible extension des formes d'accumulation actuelle sur ses rives et par l'importance des accumulations à son embouchure.

Le plateau continental bissau-guinéen offre une grande diversité de formes (R. L. McMaster *et al.,*1970) : lits permanents, canyons, deltas submergés actifs, écueils et hauts fonds, lignes de crêtes, tertres, dépressions et escarpements (ill. n°34). Presque tous les fleuves bissau guinéens se prolongent vers l'ouest et le sud-ouest, au delà de la ceinture de colmatage littorale, par des vallées sous marines sub-parallèles qui entaillent la plate-forme continentale. Ce sont des accidents topographiques relativement peu marqués. Leur enfoncement dépasse rarement 30 m et leur largeur varie de 10 à 25 km. Le chenal du Geba s'enfonce d'une vingtaine à une trentaine de mètres dans la plate-forme continentale entre 15° 55 et 16° 30 Ouest. Au delà, il s'élargit considérablement mais l'enfoncement y est beaucoup moins important si bien qu'il se confond avec l'aire de sédimentation. En revanche, les vallées de la partie sud se prolongent directement en canyons sous marins et le plateau présente toute une série de formes littorales fossiles du



Ill. n°61 : Typologie des estuaires bissau guinéens (d'après F. Cuq, 1979)

post Holocène sous la forme de sables dunaires et de plages lithifiés, conservant les traces d'érosion dues à leur émersion.

L'alignement d'écueils repérables sur l'illustration n°59 et n°37 situés au large de l'archipel est l'un des éléments caractéristiques de la plate-forme continentale. On a longtemps cru qu'ils étaient d'origine volcanique, mais il s'agit plus vraisemblablement d'un ensemble de chicots rocheux résiduels datant de la dernière transgression comme on peut en retrouver sur l'archipel. Ces écueils sont signalés sur les cartes marines comme ''zones dangereuses pour la navigation». Ils se situent à une profondeur moyenne de 9 mètres et soulignent la convexité de l'ensemble Bijagos. Cet arc de cercle s'étend du large de l'île Caravela jusqu'à la hauteur de l'île Orangozinho. Parmi ces écueils, les brisants Bijagos ne sont recouverts que par 3,7 m d'eau et se situent à environ 50 km à l'Ouest de l'île Caravela.

L'aire de dépôt privilégiée des sédiments associée à l'estuaire du Géba est soulignée par l'isobathe 20 m qui délimite une vaste protubérance de 1 250 000 ha. Cet ensemble se confond avec l'accumulation qui se forme à l'embouchure du fleuve Cacheu. Au sud, elle est délimitée par le chenal d'Orango, isolant le groupe des îles Joâo Vieira, Meio, Poilâo et Cavalos. Cet ensemble d'îles se situe sur une levée latérale reliée à la Pointe aux Esclaves sur la rive nord du rio Tombali. Cette levée s'étend sur près de 100 km, orientée du nord nord-est au sud sud-ouest sur une largeur maximale de l5 km. Elle supporte dans sa partie distale quatre îles et de nombreux écueils, couvrant 1610 ha au total. Sur toute la longueur, cette levée émerge sous la forme de banc sableux alignés par les courants.

L'isobathe 10 m permet de distinguer quelques ensembles principaux au sein de la zone de sédimentation principale (ill. n°62). Deux unités s'en dégagent, séparées par le chenal du Geba : la vasière de Cacheu et l'aire Bijogo. La vasière de Cacheu correspond à une vaste zone plane qui s'étend sur 60 km vers le large à partir du chenal du Geba et atteint la bordure du talus continental.

L'aire de sédimentation associée à l'archipel des Bijagos constitue indéniablement la forme marquante de la partie Nord du plateau. Elle s'étend sur 200 km d'est en ouest et émerge sous la forme de séries de bancs sableux mobiles, d'îles et d'îlots. Avant d'aborder la description des caractéristiques de cette aire de sédimentation, il est intéressant de noter l'existence sur la plate-forme d'autres formes de sédimentation plus petites. En effet au sud-ouest de l'archipel se dessine le delta fossile d'Orango. Il s'agit d'une zone de sédimentation d'une largeur de 30 km qui se situe entre les isobathes 50 et 100 m et qui semble être le prolongement des fleuves du sud de la Guinée Bissau, en particulier du rio Grande de Buba. La carte réalisée par Mc Master *et al.* (1970) présente de sérieuses distorsions par rapport aux cades actuelles. L'île de Canhabaque est située en effet plus au sud, à l'emplacement du chenal du même nom. C'est sans doute ce qui fait dire à l'auteur que le chenal fossile d'Orango est une des branches du Geba alors qu'il s'agit plus

vraisemblablement de l'ancienne zone d'écoulement du rio Grande de Buba. Cette hypothèse tend à démontrer l'activité importante du rio Grande de Buba à la période post Pléistocèn eantérieurement à la capture d'origine tectonique de son affluent principal, le Rio Corubal (ill. n°43).

L'archipel des Bijagos s'étend sur 10 000 km2. Historiquement, il est le territoire de l'ethnie Bijogo. Ce territoire est délimité au nord par le chenal du Geba et au sud par les îles de Joâo Vieira, Maio, Cavalos et Poilão. Cette délimitation ne se fonde pas sur une entité géomorphologique unique. Le rattachement de l'île de Bolama à l'aire viragos est liées une conquête tardive. En effet, les premiers explorateurs portugais signalent qu'au XVème siècle, cette île était le fief des Béafadas. Ce n'est qu'à partir de la fin du XVIIème siècle, après des raids répétés, qu'elle devient territoire bijogo (M. Teague, 1959). Pourtant, du point de vue géomorphologique, cette île ne constitue en fait qu'un appendice de la partie continentale : l'île est reliée au continent dans sa partie nord par une vaste zone de sédimentation.

4.2 L'archipel des Bijagos : partie émergée d'un delta ?

Compte tenu de ses caractères morphologiques spécifiques il semble pertinent de commencer par répondre à la question : l'Archipel des Bijagos est il la partie émergée d'un delta? Avant d'aborder la description de l'aire de sédimentation de l'archipel des Bijagos, rappelons brièvement les principales caractéristiques des deltas.

De nombreux auteurs seront attachés à décrire les deltas de la planète à travers le rôle fondamental qu'ils ont joué dans l'histoire des civilisations. Ils constituent en effet des régions particulièrement propices aux établissements humains en raison des potentialités agricoles qu'ils offrent. Le terme désignant ces structures est donc ancien. Il a été pour la première fois utilisé par Hérodote pour désigner l'accumulation triangulaire qui se formait à l'embouchure du Nil (M. Coleman *et al.,* 1980).

Le terme a gardé ce caractère générique et désigne même l'ensemble des ''formes littorales plus ou moins saillantes vers le large et résultantes l'accumulation des matériaux apportés par un fleuve à son embouchure'' (F. Verger, 1991). La notion de cône de sédimentation est donc généralement retenue. Par contre les conditions d'enracinement à l'embouchure du fleuve sont variables. Elles sont parfois étendues à l'ensemble des ressentiments sous-marins '' pouvant faire office de vomitoire'' (I. R. Vanney, 1977). A l'opposé, J. Barell (1912) et A. Guilcher (1954) ont proposé une définition plus restrictive. Ils limitent l'utilisation du terme de delta aux dépôts partiellement subaériens et parlent de ''faux delta'' pour les formations coniques immergées à l'embouchure d'une rivière. Cette dernière définition n'est que rarement reprise. Dès 1967, V. Axelsson admettait l'existence de delta subaquatiques, supra-aquatiques, marins, sous-marins.

C'est cette notion générique du delta qui est retenue ici.

Lasaillie de forme triangulaire, soulignée par l'isobathe 10 m. à l'embouchure du fleuve Geba, répond bien à la définition d'un cône passa forme et par le système de pentes divergentes, d'environ 0,2 %, qui s'amorcent à partir du sommet du triangle. Ce cône occupe environ 800 000 ha et émerge sous la forme d'îles, d'îlots et de bancs sableux. Il présente trois lobes principaux qui progressent en direction du sud sud-ouest par rapport au chenal du Geba et s'étendent jusqu'à 100 km au large, en s'approchant de la bordure du plateau continental aux environs de l'isobathe 100 m, près du méridien 11° ouest.

Le cône présente une structure typique de delta ill. n°62). La partie supérieure, ou plate-forme deltaïque, est peu inclinée, de l'apex à la partie distale. Elle se situe entre les profondeurs 0 et 20 m. Elle est constituée par des couches sommitales, «topset beds» dans la terminologie anglo saxonne, aux dépôts subhorizontaux. Le pro-delta qui correspond au front deltaïque immergé, véritable talus de progradation, s'amorce au niveau de l'isobathe 20 m jusqu'à 200 m de profondeur. C'est la zone des couches frontales, ou «foreset beds». Elle correspondes talus de la plate-forme continentale (E.J. W. Jones *et al.,* 1982) qui se trouve empâté par des sédiments comme le montrent les coupes réalisées par Mac Master *et al.,* (1970) (ill. n°62).

De l'apex à la partie distale on compte environ 100 km (ill. n°64). Par comparaison, cette distance est de :

- 55 km pour le Rhône,
- 90 km pour le Danube,
- 180 km pour le Nil,
- 260 km pour le Mississippi.

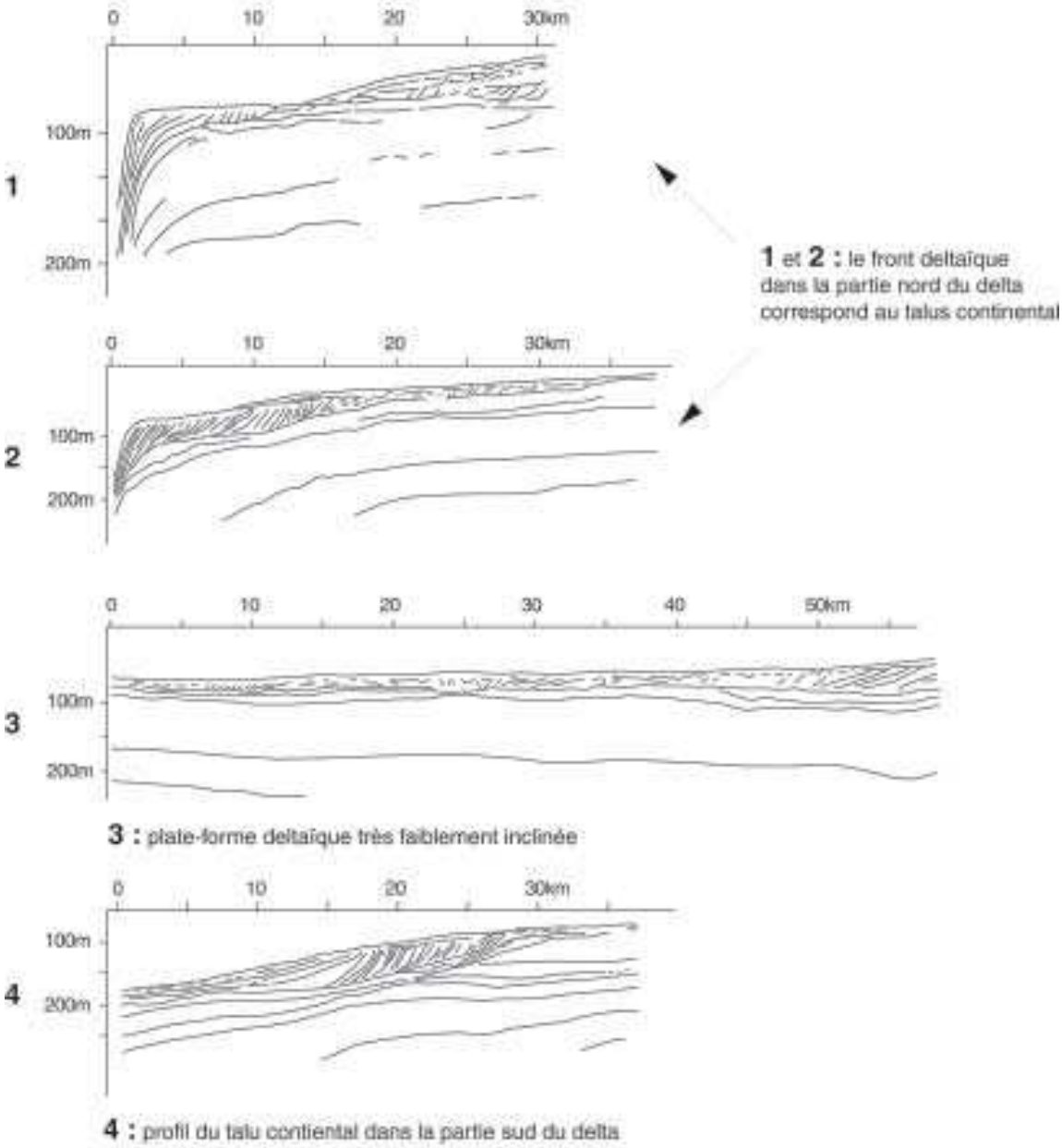
Pourtant, par opposition à ces deltas, celui des Bijagos fait figure de delta ''embryonnaire''. En effet, la plaine deltaïque n'est constituée que d'îles et d'îlots qui représentent à marée basse 270 000 ha soit 35 % du cône deltaïque.

Ce caractère faiblement développé des formations émergées est lié au fait que l'estuaire du Geba, bien qu'ils soit un grand pourvoyeur de sédiments, a des débits relativement faibles. Cette faiblesse apparaît pleinement dès lors que l'on établit la comparaison :

- Mississippi : 214 000 m^3/s (L.D. Wright et *al.,* 1973),
- Amazone : 175 000 m^3/s (M. Mietton, 1997),
- Rhône : 1 790 m^3/s (J.J. Blanc, 1981),
- Geba : 330 m^3/s (débits cumulés du Geba et du Corubal)

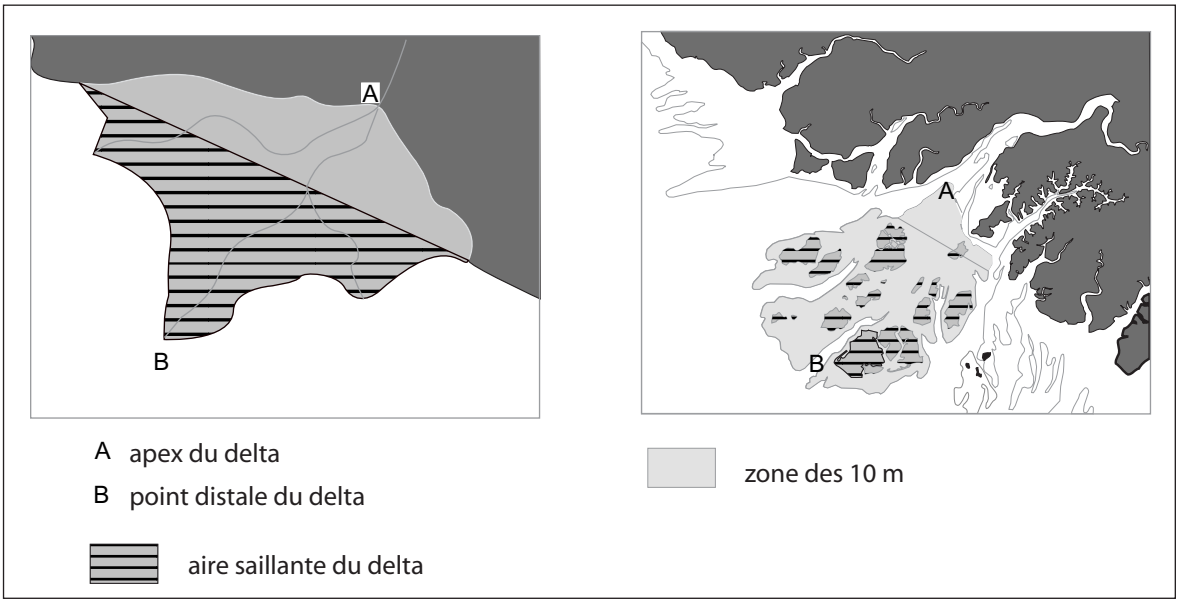
Différents indices ont été définis pour étudier et comparer les aires deltaïques comme l'indice de

localisation des profils



ï//. n°62 : Profils de sismique réflexion sur la plate-forme deltaïque (d'après R. McMaster et al., 1971)

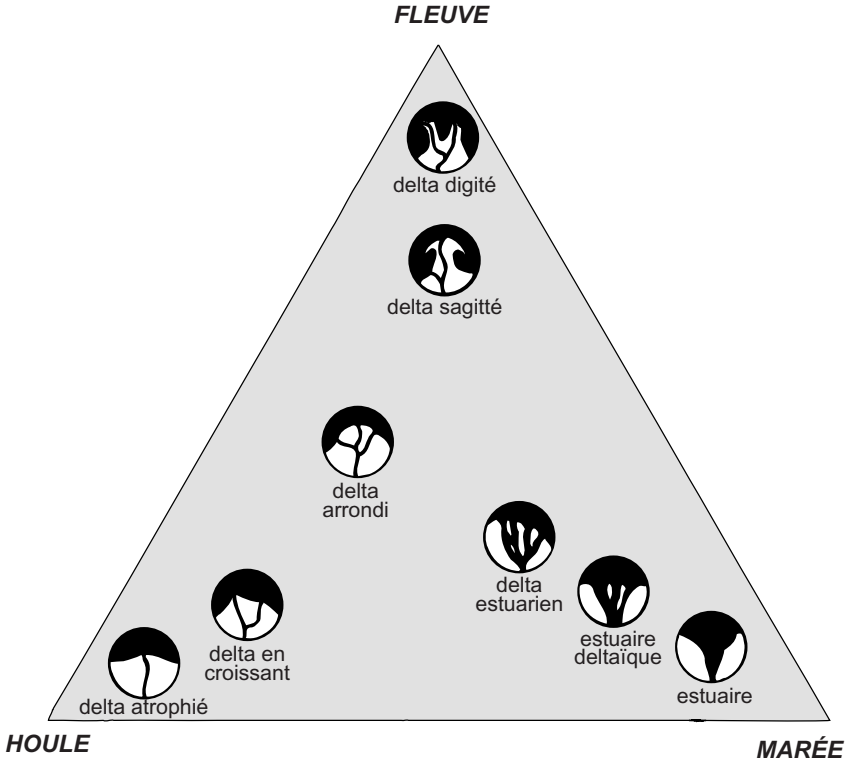
protubérance (F. Verger, 1991). Il vise à mesurer le rapport de surface entre l'aire totale du delta et l'aire saillante (ill. n°63). Cet indice se rapporte uniquement aux surfaces émergées. Il serait égal à 1 pour l'archipel car, à l'exception de quelques bancs, l'ensemble des formations deltaïques est situé au delà de la ligne de rivage continental, ce qui le rapproche du delta de l'Ebre qui a un indice égal à 0.9 (P. Defontaine, 1951). D'une manière générale, de telles saillants qualifient des deltas de mers ayant de très faibles marées et des houles peu efficaces : la faiblesse de ces agents limite la redistribution des apports fluviaux qui s'accumulent donc sans contraintes à l'embouchure du fleuve. Il ne s'agit pas, selon toute vraisemblance, du cas de l'archipel où la marée joue un rôle prépondérant bien que les apports fluviaux n'y soient pas négligeables.



ill. n°63 : Comparaison entre l'aire de protubérance du delta des Blagos et le schéma établi par F. Verger, (199 1)

Le delta des Bijagos présente quelques singularités. En effet, on note la présence de formations rocheuses résiduelles de la dernière transgression marine. Ces formations rocheuses se trouvent sur le littoral sous la forme de placiers, d'écueils ou de falaises ; elles constituent aussi les parties élevées de certaines îles (34 m maximum). Ces formations ont joué le rôle de points d'appui de la sédimentation littorale et favorisé le développement des îles.

La littérature sur les deltas propose un certain nombre de classifications basées sur la morphologie et le mode de progradation (J. M. Coleman et S. M. Galiano, 1965). La majorité d'entre elles tend toutefois à qualifier les relations entre les différents processus dynamiques qui régissent l'édification d'un delta (L. D. Wright et J. M. Coleman , 1976 et A. Volker, 1964). Mais la typologie ''triangulaire'' proposée par Galloway W.G. (1975) est de loin la plus abrutie (ill. n°64). Reprise par Allen et *al.* (1979), J.J. Blanc (1981), et F. Verger (1991) pour les estuaires et deltas, elle est basée sur la



ill. n°64 : Typologie des deltas d'après Galloway (1975) (extrait de F. Verger, 1991)

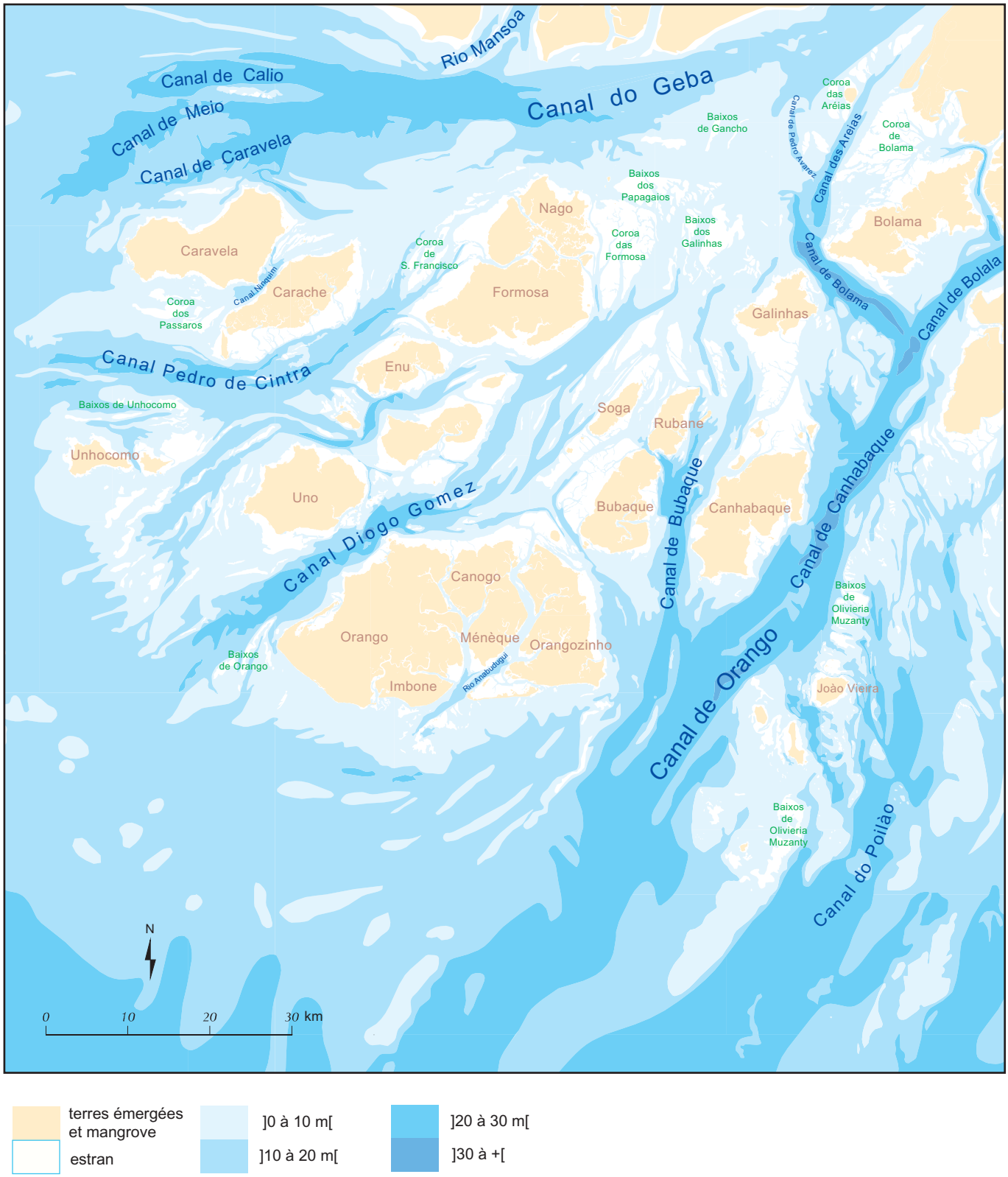
dominance d'un ou de plusieurs agents morphologiques. Cette dominance se lit dans les formes construites.

De par sa configuration générale, le delta des Bijagos peut être classé dans let ype ''delta estuarien'' ou ''delta de marée'' bien qu'il ne réponde pas à tous les critères. Il se définirait parure influence tidale importante, mais non prépondérante par rapport à l'action fluviale et l'action des houles. En effet. la marée a pour conséquence de limiter l'extension vers le large de la partie émergée du delta et d'autre part d'élargir les bouches des fleuves. L'étude des agents dynamiques nous a montré la prépondérance de la marée en tant qu'agent morphologique. Cependant, la protubérance que dessine le delta des Bijagos indique l'intervention d'autres facteurs, et en particulier la convergence des deux dérives ouest africaines qui contribuent fortement au piégeage des sédiments sur la plate- forme guinéenne. De façon indirecte, la houle est donc l'un des principaux agents de l'entretien de l'équilibre sédimentaire du delta.

4.3 physiographie des formations deltaïques

Deux éléments expliquent la physionomie générale du delta :

- le réseau de chenaux qui constitue l'élément structurant du delta,
- la plaine deltaïque qui peut être divisée en deux parties : la partie immergée et la partie tidale.



ill. n°65: Principaux chenaux et bancs du delta des Bijagos

4.3.1 le réseau de chenaux

Deux chenaux principaux constituent les limite latérales du delta, il s'agit du chenal du Geba, au nord, et du chenal d'Orango-Canhabaque au sud.

Le Chenal du Geba est orienté est-ouest et s'élargit jusqu'à 25 km au niveau de l'île de Caravela. En ce point, il se divise en trois branches secondaires délimitées par des bancs alignés dans le sens du courant. Il prend alors les noms de chenal de Caliö au nord, do Meio au centre et de Caravela au sud. Les bancs sont situés à la terminaison de la zone de creusement maximum du chenal (40 m) (ill. n°65).

Par opposition, le chenal d'Orango-Canhabaque s'enfonce de plus de 50 m dans la plate-forme continentale. Il a un cours beaucoup moins régulier et change plusieurs fois d'orientation. Il débute dans le chenal du Geba, au niveau de l'apex du delta, avec le chenal das Areias - littéralement chenal des sables - puis se poursuit par le chenal do Pedro Alvares plus au sud.

Le chenal das Areias est le moins actif des deux. Par endroits, sa profondeur dépasse à peine les 2 m. Cela est dû à l'existence d'un appendice rejoignant ses deux rives entre le banc de Bolama et le banc dos Aréias (entre 1,7 m et 2,7 m)(ill. n° 64). De même, plus en amont, le banc dos Aréias rejoint la partie continentale par une section à peine immergée, obstruant presque complètement le chenal. Cette configuration correspond sans doute à un processus de migration lente du chenal du Geba vers le nord en raison de l'accrétion du delta, migration que semble confirmer la configuration de ses rives : vastes zones de sédimentation au sud et rives convexes peu étendues au nord. C'est sans doute un processus analogue qui est à l'origine du rattachement de l'île do Mangal (île des mangroves) au continent.

Le chenal do Pedro Alvarez délimite vers l'amont le cône deltaïque. Il s'enfonce entre 6 et 20 m et se situe presque dans l'alignement du canal de Bolama. Il s'agit d'un goulet de 3 km de largeur ou les courants sont particulièrement forts jusqu'à 4 noeuds) et où les profondeurs sont plus grandes, jusqu'à 66 m.

Enfin, le chenal de Bolama se déverse dans le canal de Bolola, à l'embouchure de l'estuaire du rio Grande de Buba, au sud de l'île de Bolama, pour former le chenal de Canhabaque puis de Orango.

Dans cette dernière section le chenal s'élargies nouveau jusqu'à 20 km dans sa partie distale, entre les îles de Joâo Vieira et d'Orangozinho.

D'autre part, le delta est parcouru par toute une série de chenaux secondaires qui présentent une vague similitude avec la disposition arborescente qui caractérise certains types de deltas (F. Verger, 1991). Cette «arborescence'' s'organise à partir du chenal du Geba et se réalise vers le sud. L'ensemble de ces chenaux sont peu profonds, de 10 à 30 m. Ils s'approfondissent et

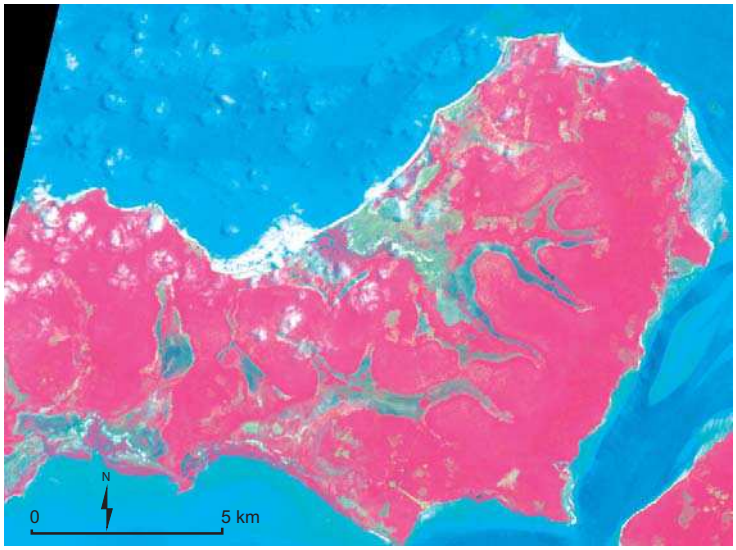
s'élargissent vers la mer. Leurt racé dessine trois lobes que souligne l'isobathe 10 m. Des chenaux tertiaires (très peu larges) opèrent des confluences entre ces divers bras et présentent parfois des courants plus importants que les chenaux secondaires en raison de leurs renversements. D'une manière générale, les chenaux qualifiés de secondaires présentent une orientation similaire à celle des estuaires côtiers : ils sont orientés vers le sud sud-ouest. Cette similarité des orientations ainsi que la position des quelques deltas fossiles laisse penser qu'il s'agit sans doute d'anciens estuaires creusés à la période du maximum glaciaire, colmatés en partie et réexploités à la période actuelle.

Ainsi, on constate un alignement presque parfait du Rio Mansoa, du chenal de Ninquim qui sépare les îles Carache et Formosa, et du chenal Pedro de Cintra (iII. n°59). Ces chenaux se trouvent de part et d'autre du chenal du Geba, ce qui pourrait constituer un autre élément étayant l'hypothèse d'une dérive vers le nord du chenal du Geba.

Les chenaux qui séparent le groupe des îles Orango, Canogo, Ménèque, Orangozinho et Imbone présentent un cas particulier. Ils ont une direction direction générale nord-sud et présentent un colmatage très avancé, si bien que ne subsistent entre les îles que des belons ou des chenaux anastomoser.

Les vasières de l'archipel sont drainées par un réseau dense de petits chenaux de marée, peu profonds, perpendiculairement à la côte. Ces chenaux fonctionnent surtout à marée basse, comme des drains. Ils s'élargissent et s'approfondissent progressivement vers l'aval et se développent et s'entaillent au fur e tà mesure du développement des vasières. Il subissent parfois des flexions dues à la variation de la dérive littorale lors de l'accrétion des entrais sable-vaseux qu'ils drainent, ou à la construction de flèches littorales sableuses à pointe libre.

Notons la configuration particulière de l'île de Caravela qui présente des traces de chenaux anciens sous la forme de longues trouées, colonisées par la savane humide ou la savane sèche, dans une forêt de palmiers qui couvre la presque totalité de l'île (ill. n°66). Il nous est impossible de dater ces formations mais elles présentent exactement la même orientation que les îles ''continentales''.



ill. n° 66 : Le réseau d'anciens chenaux sur l'île de Caravela : composition colorée de l'image SPOT

4.3.2 la plaine deltaïque

L'ensemble de la plaine deltaïque couvre 270 000 ha. Elle est morcelée en un ensemble d'îles et d'îlots dont le nombre varie suivant les estimations entre 50 (CRAD/SUCO, 1982) et 88 (INEP, 1991). tout dépend, en fait, de la définition de l'île retenue. Pour "Le Petit Robert", une île est : "une étendue de terre ferme émergée d'une manière durable dans les eaux d'un océan, d'une mer, d'un lac ou d'un cours d'eau". La notion de terre ferme ne permet pas une bonne représentation des formations insulaires dans l'archipel pour diverses raisons :

- certaines îles sont constituées de plusieurs parcelles de terre ferme isolées les unes des autres à marée haute mais insérées dans une même forêt de palétuviers et portant un nom unique dans la toponymie locale.
- il existe de nombreux ensembles de tailles variées constitués de mangrove dont seule la canopé émerge à marée haute.

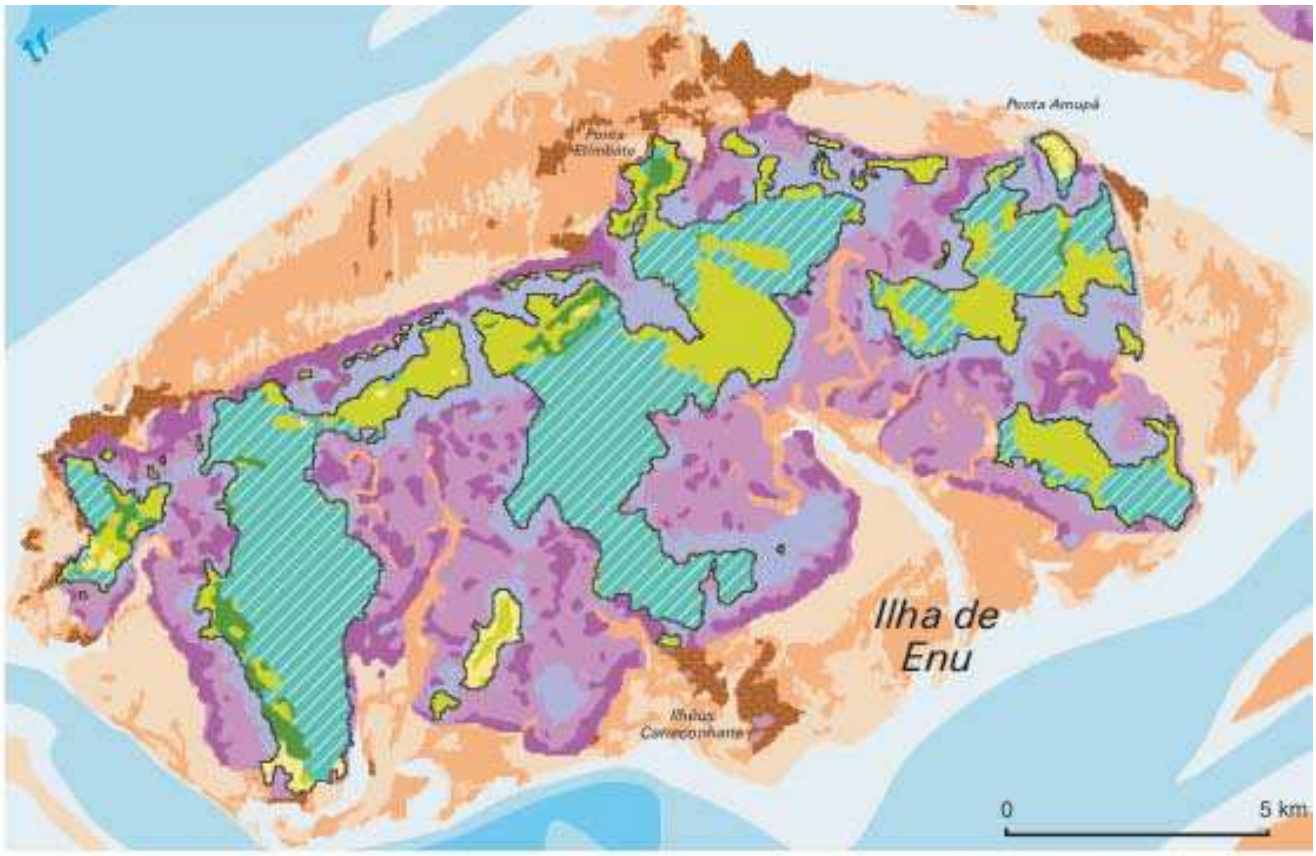
Le terme créole *djiu*, qui désigne toutes les parcelles émergeant à marée haute et isolées les unes des autres par la mer, offre une meilleure caractérisation de l'archipel dans ses formes et sa dynamique. Certaines îles, telle Enu, constituée de 26 parcelles terrestres isolées les unes des autres, est considérée comme une seule et même entité, car elles sont insérées dans une même forêt de palétuviers (ill. n°67). C'est cette définition qui a été retenue par l'INEP en 1991 et que nous utiliserons en retenant le chiffre de 88 îles. Notons que cette réflexion a été menée dans le cadre du plan d'aménagement de la Réserve de Biosphère Bolama-Bijagos (B. Limoges *et al*., 1991). Plus qu'un dénombrement précis des îles cette réflexion constitue une première approche de la description de la complexité des formations insulaires. Globalement, les terres émergées couvrent 112 000 ha contre environ 160 000 ha pour le domaine intertidal, dont 37 000 ha de mangrove. Il en résulte qu'à marée basse l'archipel double de surface.

- le facteur anthropique

Les traces des usages anthropiques du littoral étant quasi inexistantes et très limitées dans l'espace, l'homme ne peut être considéré comme un facteur de la dynamique à court terme des paysages littoraux de l'archipel. Cependant, l'action à long terme des sociétés humaines a induit des transformations importantes du couvert végétal et le développement actuel du tourisme balnéaire provoque des transformations sociales rapides et d'importantes mutations dans les modes d'appropriation des ressources.

Sur les 88 îles de l'archipel, seules 21 sont habitées. L'ensemble de l'archipel comptait 26 500 habitants en 1991[1] (*Institudo National De Estatistica* bissau-guinéen), chiffre quasiment inchangé

[1] Il existe une marge d'erreur estimée à 5000 habitants entre la population de droit et celle effectivement domiciliée. Le chiffre cité représente la population totale.



ill. n° 67 : l'île de Enu et ses 26 parcelles d'habitat terrestre extrait de la carte de synthèse de l'environnement de l'archipel des Bijagos

par rapport au précédent recensement (1975). La population est répartie entre 177 villages (CRAD-SUCO, 1982) mais se concentre dans deux centres principaux : Bolama, l'ancienne capitale de la Guinée Portugaise et actuelle capitale de région (9250 habitants), et Bubaque (8 200 habitants) qui est le centre économique et touristique de l'archipel.

Les Bijogos[1] sont les premiers habitants de la région et leur origine est encore mal connue. Autrefois, cette ethnie considérée comme très belliqueuse, vivait du pillage des navires. Les bijogos auraient perdu leur ardeur guerrière au cours de la période coloniale avec l'établissement du "contrôle militaire", de l'impôt, du travail forcé, l'action des missionnaires, le tout conjugué avec la

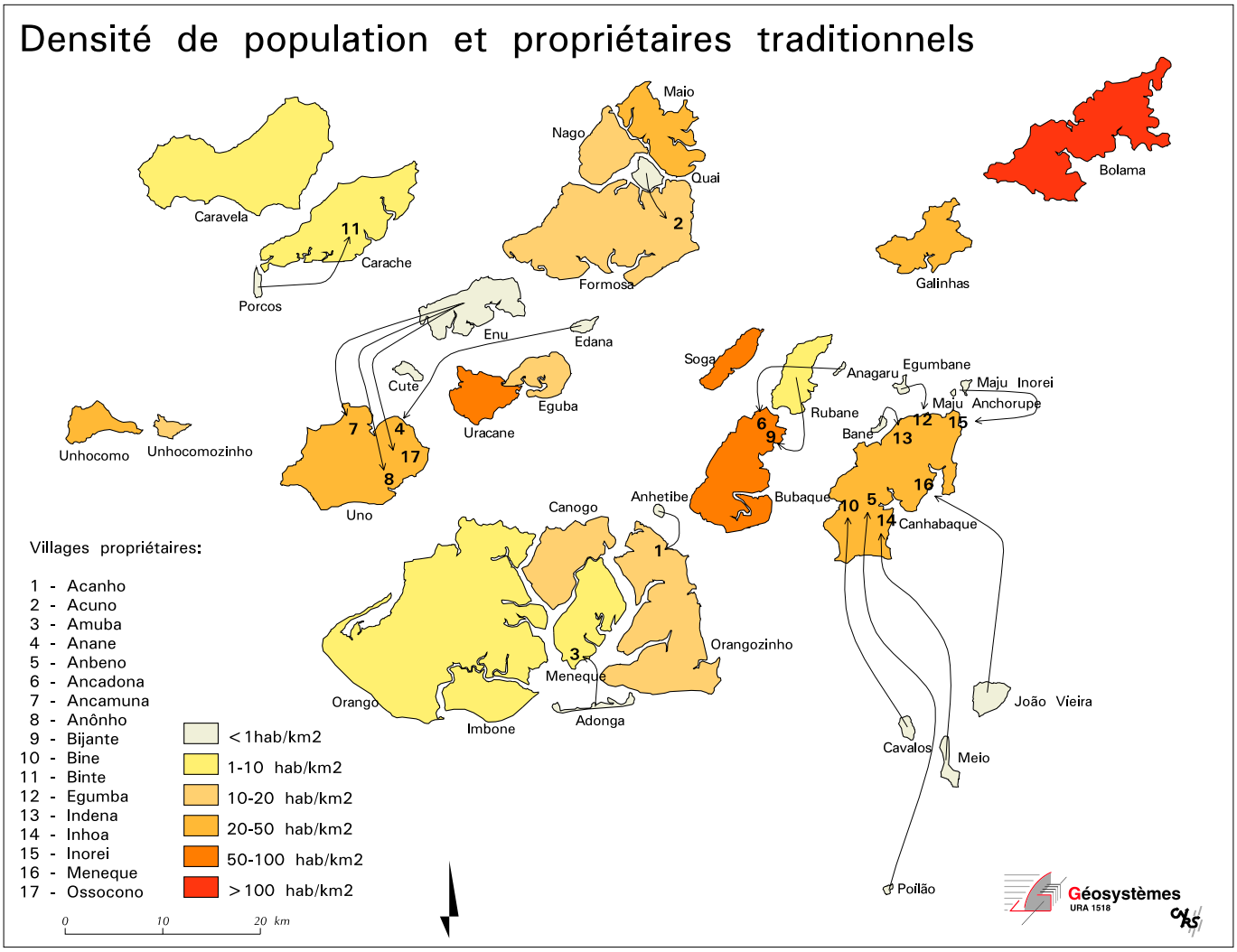
[1]la première référence au peuple Bijogo date de 1454 (Cadamostro, 1867) . Elle serait le fait de marins vénitiens au service de l'infante D. Henrique (*in* Henry C., 1989)

sédentarisation d'autres ethnies Papeis et Mandingue (D. Gallois-Duquette, 1979). La rareté des villages sur le littoral accentue l'impression de faible occupation humaine dans l'archipel.

Les villages bijogos, ou "tabancas", se situent exclusivement à l'intérieur des îles. Différentes explications ont été proposées pour expliquer ce phénomène. L'une d'entre elles serait que "les vagues successives de pacification des 19èmes et 20èmes siècles [...] auraient dépossédé les bijogos de leur connaissance de la navigation et les auraient repoussé vers l'intérieur des terres" (C. Henry, 1989). Une autre théorie, plus largement admise, est que si les bijogos étaient de bons marins, leur connaissance de la navigation était surtout liée à la récolte du vin et de l'huile de palme sur les îles de l'archipel. Ces pratiques ont entraîné une gestion très spécifique du territoire par les bijogos. Quatre clans se partagent l'ensemble de l'archipel (ill. n°68). Chaque île, en fonction de sa taille, est divisée en un ou plusieurs territoires correspondant aux principaux villages, et chaque village possède des îles annexes non habitées mais exploitées pour la riziculture et les palmeraies. Le caractère morcelé des territoires serait à l'origine de l'utilisation de grandes pirogues. La tendance actuelle est au repli de l'exploitation des palmiers sur les îles principales. Aujourd'hui, les bijogos construisent des pirogues monoxyles de petite taille, louent ou font l'acquisition de pirogues de conception sénégalaise fabriquées sur place.

Bien que l'emprise humaine sur l'archipel soit faible, elle conditionne dans une large mesure l'évolution des paysages insulaires. En effet, la palmeraie qui couvre 44% de la superficie insulaire, n'est pas la formation climacique de l'archipel. La présence d'un lambeau de forêt sub-humide dense sur l'île de Canhabaque suggère que le rôle de l'homme dans la transformation de la forêt sub-humide en palmeraies "naturelles" est très important (CRAD/SUCO, 1982). L'explication la plus simple de l'abandon de l'utilisation des grandes pirogues est sans doute liée à la disparition quasi totale des grands arbres de la forêt sub-humide originelle. Cette expansion de la palmeraie s'est faite en raison des pratiques agricoles. Les bijogos pratiquent depuis toujours une agriculture sur brûlis. Compte tenu des temps de jachère, réduits de 10-12 ans autrefois à 7-8 ans aujourd'hui, on peut dire que le tiers des terres arables de l'archipel brûle chaque année. Mais lors des brûlis, les bijagos ont toujours préservé le palmier à huile naturel (*Eleais guineensis*) qui est un des éléments structurel de la culture et de la vie sociale des Bijogos : il fournit nourriture (huile de palme) et boisson (vin de palme). Les brûlis ont cependant tendance à être pratiqués de plus en plus tard, juste avant la saison des pluies, ce qui limite considérablement la capacité de regénération des palmeraies (P. Campredon, com. pers.)

La riziculture sur brûlis est plus développée sur l'archipel des Bijagos que la riziculture de bas-fonds. Seule l'île de Bolama, confirmant ainsi son lien avec le continent, présente des traces de riziculture en eau salée dans les "*bolanhas de agua salgada*". L'abandon des rizières est essentiellement dû à la chute du prix du riz. Sur les images satellitaires on peut repérer certaines d'entre elles par la

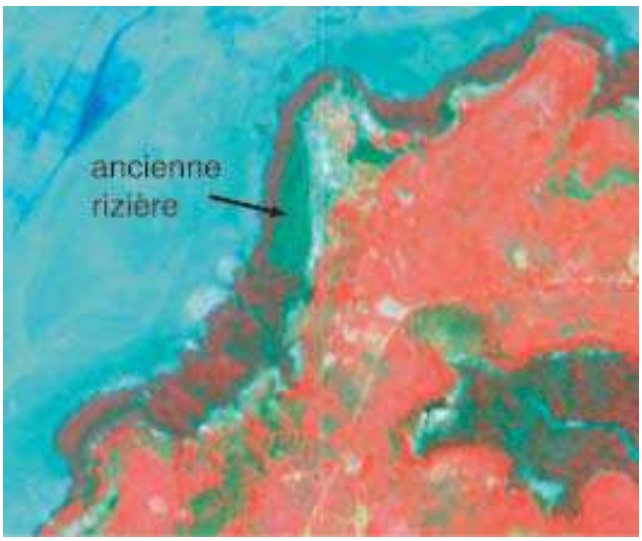


ill. n°68 : Densité de population et propriétaires traditionnels (extrait de A. Simão Da Silva, 1994)

coupure nette qu'elles opèrent dans la mangrove (ill. n°69).

Pour les bijogos, l'activité de pêche a toujours été une pratique de subsistance utilisant des techniques traditionnelles. Ces techniques sont le harpon, le panier et le ramassage de coquillages à marée basse, la pêche étant le domaine des homme et le ramassage des coquillages sur l'estran celui des femmes et des enfants. A l'instar des Bijogos, il existe de nombreux peuples littoraux pour qui le fruit de la pêche ne constitue qu'un appoint alimentaire (L. Brigand, 1988).

L'archipel des Bijagos est considérée comme une zone particulièrement riche du point de vue des ressources halieutiques. Cette richesse est à l'origine de la migration saisonnière ou de la fixation sur place de communautés de pêcheurs originaires du Saloum au Sénégal et de Sierra Léone (A. B. Saïd *et al.*, 1991). Contrairement aux bijogos, ces populations se sont installées sur les rivages de l'archipel, à proximité des zones de pêche. Les campements temporaires se sont en partie



ill. n°69 : Rizière abandonnée de l'île de Bolama

pérennisés au fil des années. Les villages ne disposent pas toutefois d'infrastructures marquantes et les débarquements se font à même le rivage. La pêche sportive est aussi à l'origine d'une des formes de tourisme international les plus organisée sur le littoral de l'archipel. On retrouve ces camps de pêche sur plusieurs îles dont Bubaque, Rubane, Galinhas. Le zonage défini lors de la création de la réserve de biosphère Bolama-Bijagos a pour but d'éviter le développement anarchique de ce type d'implantation pour laquelle la demande est de plus en plus forte. L'implantation anarchique de ces campements sur l'ensemble de l'archipel et le développement du tourisme en général constituent un des principal facteurs de risque de perturbation de l'environnement en raison de la fragilité des milieux, de la faune (tortues marines, hippopotames marins,...) et en raison des pratiques culturelles (sites d'initiations, îles et sites sacrés).

Les deux seuls ports de l'archipel sont Bolama, l'ancienne capitale, et Bubaque. Ils disposent de quais datant de l'époque coloniale qui conditionnent l'ensemble du trafic maritime dans l'archipel car ils permettent l'accostage des navires réalisant le trafic régulier vers Bissau. Bubaque, centre économique de l'archipel, doit principalement son essor au tourisme. La côte sud de l'île est formée par une longue plage de sable fin, la plage de Bruce, d'un intérêt touristique indéniable.

- les formations insulaires

La description des formations littorales a été réalisée à partir de l'exploitation de la base d'information géographique, des résultats de l'analyse en composantes multiples, des images satellitaires et des photographies aériennes.

Les formations insulaires de l'archipel ont deux origines : l'une sédimentaire liée à l'accrétion du delta

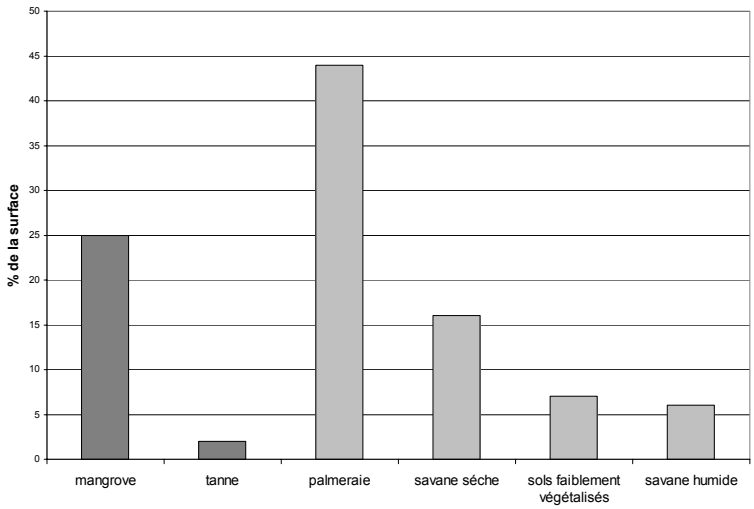
et l'autre résiduelle sous la forme de buttes et de chicots rocheux datant de la dernière transgression. L'évaluation de la part due à l'héritage et celle due à l'accrétion deltaïque aurait été intéressante à faire. Une tentative a été réalisée par le CRAD/SUCO en 1982 pour les formations émergées. La planimétrie proposée donne les résultats suivants :

- 56,8 % du territoire en sols ferralitiques,
- 6,8 % en sols hydromorphes,
- 48,5 % en sols halomorphes,
- 4.9 % en sols sableux.

Ces statistiques ont été établies à partir de l'analyse des photographies aériennes, des études de terrains mises en relation avec les couverts végétaux décrits par la carte d'occupation des sols (SCET, 1978 à 1:200 000). Les résultats obtenus s'appuient sur l'étude des sols réalisés par A. J. Teixeira (1959) à l'échelle de la Guinée Bissau, si bien que les données concernant la région Bolama-Bijagos sont très sommaires. Le problème essentiel de l'estimation des types de sols est qu'un type végétal peut correspondre à différent faciès .

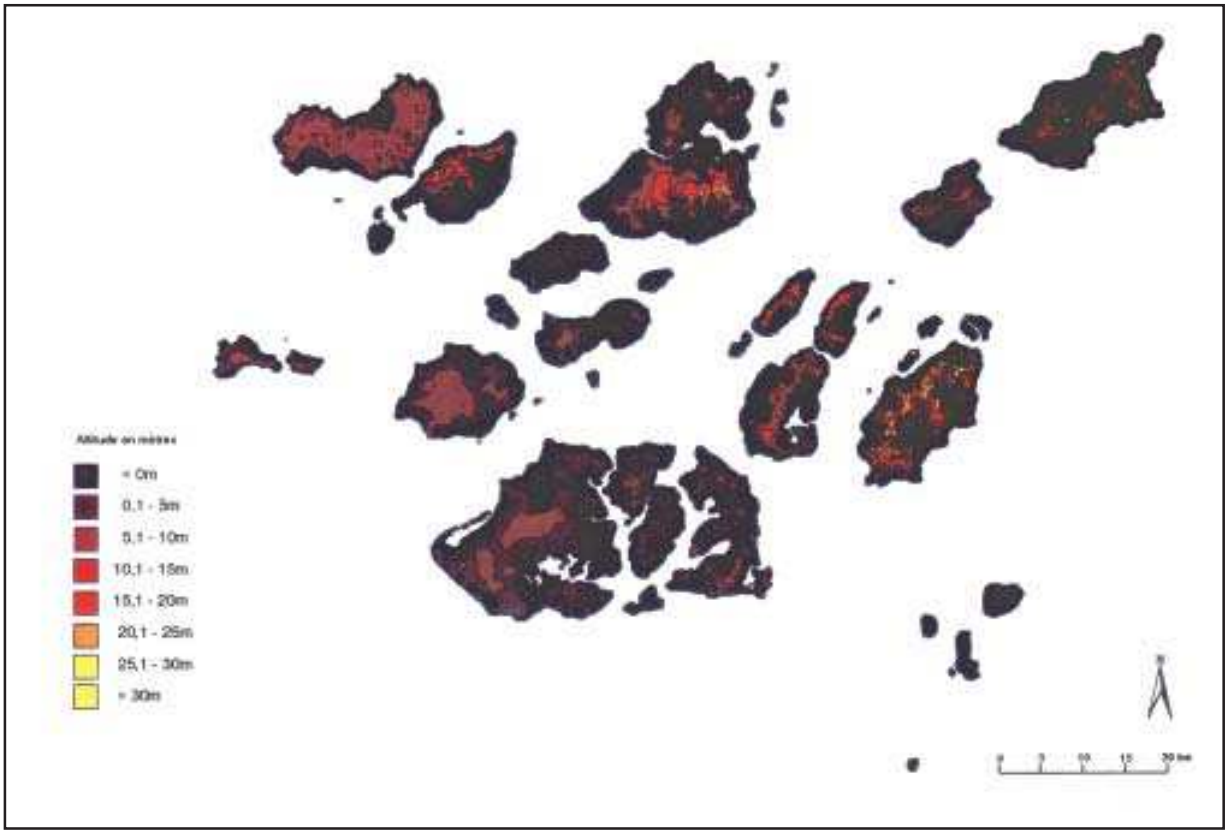
Ainsi, la palmeraie qui couvre 44% de la superficie insulaire se développe aussi bien sur des sols ferralitiques que sur des sols à tendance sableuse ce qui engendre de grands risques d'erreurs d'estimation. Il ne serait pas étonnant que sur l'île Orango, les sols ferralitiques évalués à 50 % de la surface aient été surestimés en raison de la forte colonisation des anciens cordons sableux par la palmeraie. En ce qui concerne les sols halomorphes les surfaces sont plus facilement estimables car ils sont associés aux tannes et aux mangroves.

D'une manière très générale, à partir de la couche d'occupation du sol de 1995 (ill. n°70), on peut cependant estimer que la part de l'héritage est moins importante que celle des formations d'origine sédimentaire.



ill. n°70 : Occurrences des types d'occupation du sol de l'archipel des Bijagos

Les formes continentales résiduelles constituent les parties hautes de certaines îles sous la forme de buttes qui ne dépassent pas 34 m d'altitude (ill. n°71). Elles sont facilement localisables, comme à Canhabaque, et se présentent essentiellement sous la forme de collines. En coupe, elles se caractérisent principalement par des niveaux de roches ferralitiques sur lesquels reposent des couches plus ou moins épaisses de formation sablo-limoneuses. Ces buttes ont des profils en pentes douces, interrompues à la base par des ruptures de pente de l'ordre de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres qui soulignent leurs genèse. Mais en fonction du niveau d'altération, la cuirasse latéritique peut se trouver mise à jour et se présente alors sous la forme de plateaux latéritiques peu élevés.



ill. n°71 : Réprésentation des altitudes du modèle numérique de terrain réalisé sur l'archipel à partir des cartes topographiques portugaises à 1:50 000. (extrait de G. Pennober, 1993)

- la zone littorale

Les formations résiduelles se retrouvent très ponctuellement dans la zone littorale. Elles se présentent sous la forme d'écueils, de quelques rares platiers et sous la forme de falaises (ill. n°72). Ces falaises se caractérisent principalement par des niveaux de roches ferralitiques sur lesquels reposent des couches plus ou moins épaisses de formations sablo-limoneuses de couleur rouge à ocre. La roche ferralitique se présente sous la forme de concrétions de couleur rouille fortement alvéolées, riches en quartz. En raison de l'importance des formations limono-argileuses, les falaises sont particulièrement sensibles aux facteurs sub-aériens de type ruissellement. Les formes d'entailles dans les buttes et plateaux ferralitiques au contact avec l'estran varient de la micro-falaise, haute de quelques centimètres, aux falaises de 5 à 20 m . La formation de micro-falaises est due soit à l'entaille d'un bas de versant soit à l'érosion d'un plateau latéritique peu élevé. Deux types de falaises peuvent être individualisés (ill. n°72) :

- les falaises versants : leur profil est rectiligne à convexe, plus ou moins colonisé par une végétation annuelle ou pérenne. Elles se situent à l'amont d'un estran encombré dans sa partie supérieure par des blocs d'arrachement de roches ferralitiques et d'un platier peu étendu susceptible d'atténuer l'énergie du jet de rive ou l'efficacité morphologique des courants.

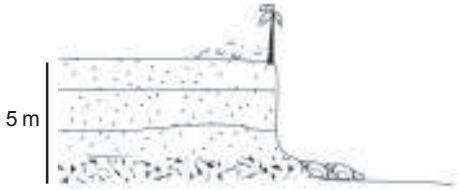
- les falaises vives : présentent un profil vertical à subvertical. En fonction de leur structure deux sous types peuvent être individualisés :

  - les falaises vives à base latéritique : durant l'hivernage, l'érosion pluviale déclenche des affaissements par pans entiers qui sont ensuite évacués par la mer. La base latéritique plus résistante est alors mise à jour sous la forme de plate-forme d'abrasion marine ou de gros blocs. De même que pour les falaises versant, la base latéritique mise à jour, joue un rôle de protection contre l'érosion marine.

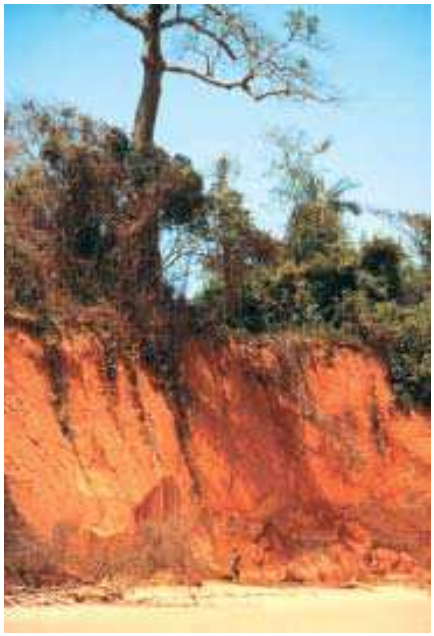
  - les falaises vives entièrement constituées de formations limono-argileuses : le profil de la falaise est légèrement concave en raison de la concomitance de l'érosion pluviale et de l'érosion marine. En période d'hivernage, on assiste à une érosion de la partie supérieure comme dans le cas précédent. Ce matériel empâte le pied de la falaise qui est déblayé petit à petit. En fin de saison sèche, l'ensemble du matériel a été déblayé si bien que l'on assiste au creusement d'une encoche marine à la base.

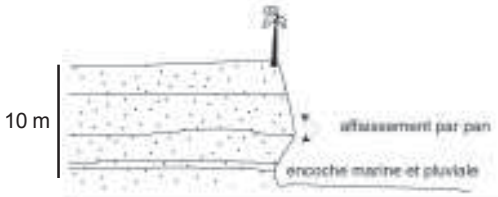
D'une manière générale, les plate-formes d'abrasion sont rares en raison du mode hydrodynamique local et de la structure des roches. La base latéritique se situe généralement au niveau de l'estran. En raison du caractère alvéolé des cuirasses latéritiques l'eau circule facilement dans ces structures et permet le ruissellement. Ce ruissellement est à l'origine de l'affouillement qui laisse la

a) falaise versant de l'île de Carache avec à la base une cuirasse



b) falaise vive de l'île d'Unhocomo avec à la base une cuirasse





c) falaise vive de l'île de Meio limono-argileuse

ill. n°72 : Types et profils des falaises de l'archipel des Bijagos

roche en porte à faux ce qui la rend plus sensible à l'érosion mécanique des houles et des courants de marée. Il existe toutefois quelques rares cas de platiers rocheux plus ou moins étendus comme à Poilão ou Unhocomo. Ainsi, l'ensemble de l'île de Poilão repose sur un platier latéritique. Il doit s'agir d'une ancienne butte ferralitique pour laquelle l'ensemble des formations limono-argileuses a été entièrement érodé. Seule subsiste la base latéritique sur laquelle repose actuellement un système dunaire colonisé par une formation arborée. Sur la façade sud de l'île, la plus exposée, la houle est amortie par les rochers et permet même l'établissement de pieds de mangrove en arrière du platier.

En raison de leur morphogenèse, il n'est pas étonnant de constater que ces formations présentent un caractère azonal marqué sur le littoral de l'archipel. Ce caractère azonal est souligné par les résultats de l'ACM (ill. n°31 et 32). Il n'existe aucune corrélation évidente entre un milieu identifié dans la typologie et les formations rocheuses, contrairement à ce que l'on peut constater pour les formations sableuses et les formations sablo-vaseuses. Sur l'axe n° 2 de l'ACM (ill. n°31 et 33), on voit apparaître une opposition marquée entre les ensembles rocheux et les formations sablo-vaseuses étendues de la zone interne du delta. Ces dernières sont celles qui présentent l'organisation spatiale la plus marquée. Sur ce même axe, à l'opposé des ensembles sablo-vaseux, les formations rocheuses apparaissent associées à des ensembles mixtes : des estrans composés de moins de 40 % de sable et de moins de 40 % de "vase", caractérisés par des contacts terre/estran mixtes allant jusqu'à 70 % de savane et de sols nus. Ces types caractérisent des milieux aux processus variés et complexes où les rochers jouent un rôle important dans l'édification des formes. L'examen des cartes et des images satellitaires nous permet de constater que les formations rocheuses correspondent soit à des faciès d'érosion (falaises), soit à des points d'amorce à la sédimentation dans des secteurs relativement dynamiques. En effet, il existe de nombreux cas de flèches littorales développées à partir d'une pointe rocheuse. Les flèches abritent parfois des vasières éventuellement colonisées par la mangrove dans des secteurs atypiques (front deltaïque), ou alors sont associées à des ensembles de cordons dunaires complexes. Ceci constitue sans doute l'une des explications au fait qu'il n'existe qu'une faible corrélation entre les différentes variables que nous avons étudiées dans l'ACM.

Sur l'axe n°3 (ill. n°32 et 33), l'opposition entre les zones rocheuses et les autres types de substrats s'impose. Ces zones sont fortement corrélées avec les falaises, ce qui du point de vue des paysages littoraux n'est pas de prime abord évident car il n'existe que de rares cas de développement de platier rocheux.

De même il existe une corrélation entre les zones de contact rocheux et les petites surfaces de mangrove. Il s'agit de secteurs protégés en arrière de pointes rocheuses. Notons aussi qu'il semble y avoir une corrélation directe entre formations rocheuses et palmeraie. Les particularités des formations rocheuses au sein de l'archipel expliquent qu'elles constituent l'essentiel de la variable

expliquée à partir de l'axe n°4 (annexe n°1).

- les caractéristiques sédimentologiques des estrans

Dans ses "Etudes littorales et estuariennes en zone intertropicale" J. R. Lafond (1967), résume les caractéristiques sédimentologiques des zones fluvio-marines intertropicales par deux points essentiels : une sédimentation fine et bien triée.

Les formations de la zone intertidale de l'archipel des Bijagos sont pour l'essentiel des sables et des formations sablo-vaseuses. L'étude de la granulométrie des estrans sableux (cf. Annexe n°2), présente des sédiments compris entre 106 et 508 µ. Il s'agit donc de sables très fins à moyens avec une moyenne proche de 200 µ. Du point de vue du tri, les courbes cumulatives sont très bien redressées et l'indice de tri SI > 0.97 caractérise des sédiments très biens classés exceptés dans quelques rares cas. Quelques échantillons présentent en effet des sables plus grossiers entre 400 et 500 µ.

Du point de vue granulométrique, les sables de l'archipel présentent de grandes similitudes avec les sédiments des Rivières du Sud. Ainsi, E.S. Diop (1990) donne pour l'ensemble des Rivières du Sud une moyenne granulométrique comprise entre 125 et 160 µ. On se situe dans tous les cas dans une sédimentation fine typique des zones fluvio-marines de la zone tropicale.

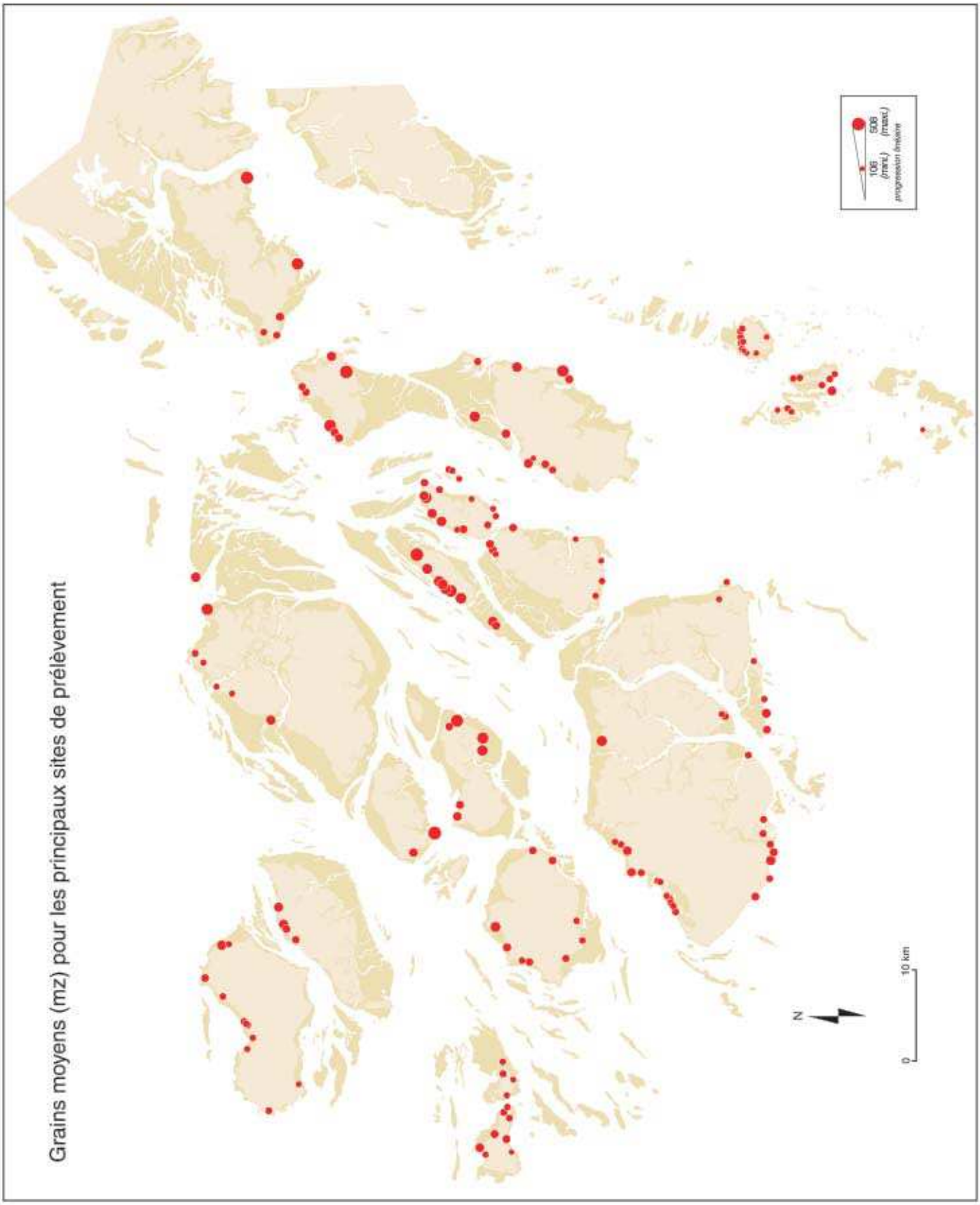
Du point de vue de la nature des sédiments sableux dans l'archipel, les sables quartzeux dominent et on peut même parler d'exclusivité du matériel quartzeux. L'absence des sédiments coquilliers est le résultat du fort pouvoir de dissolution des eaux chaudes, telle que les quartz présentent des figures marquées de dissolution (ill. n°74).

La granulométrie de la fraction sableuse des plages de l'archipel des Bijagos ne montre pas de zonation spatiale marquée qui puisse être directement expliquée par les processus dynamiques identifiés (ill. n°73). Deux faits sont toutefois intéressants à noter :

- une plus grande finesse des sables sur la levée latérale dite de João Vieira, entre 106 µ et 160 µ.
- les échantillons de sable les plus grossiers (entre 400 et 500 µ) se situent dans la zone interne de l'archipel.

Ces deux constatations sont le reflet de phénomènes dynamiques difficiles à interpréter à l'état brut. L'analyse granulométrique doit être complétée par une analyse morphoscopique.

Le caractère essentiel des environnements deltaïques est la variété des influences fluviatiles de moyenne énergie, visibles sur les grains de quartz. Cependant, au fur et à mesure que l'on se dirige



ill. n°73 : Représentation de la répartition spatiale du grain moyen dans l'archipel des Bijagos

vers le front du delta, les influences marines deviennent normalement plus sensibles, puis exclusives, modifiant ainsi progressivement les caractères originels des quartzs fluviatiles (P. Legigan *et al.*, 1987).

La filiation des sables est relativement facile à mettre en évidence en utilisant les caractères morphoscopiques des grains de quartz (L. Le Ribault, 1971, 1972, 1974). La présence de grains très fins (sablons) à João Vieira, qui se situe dans une zone très exposée aux houles, peut être un indicateur de la prépondérance des agents estuariens. L'examen de certains échantillons à la loupe binoculaire permet de confirmer cette hypothèse. En effet, on constate dans la majorité des échantillons analysés, une nette dominance des grains de type "éclat naturel, non usé et faiblement usé". Ces formes de quartz sont significatives d'un transport en saltation : les grains n'ont pas subi d'abrasion sur le fond qui aurait pu en polir les angles. Une étude plus poussée au microscope électronique nous montre toutefois qu'en réalité les grains qui apparaissent à la loupe binoculaire "éclat naturel non émoussé" montrent des arêtes polies (ill. n°74 et 75). Malgré ce polissage, ces grains s'opposent aux grains dits "marins" qui présentent des polissages beaucoup plus importants ou sont fortement cariés par un séjour prolongé dans des milieux sous saturés en silice.

En ce qui concerne la présence de matériel sableux plus grossier en certains points de la zone interne du delta, l'explication peut être liée à l'érosion des buttes ferralitiques résiduelles. En effet, l'ablation des formations anciennes se fait indifféremment dans la zone exposée aux houles ou dans celle commandée par les courants de marée. Mais si le déblaiement du matériel se fait aisément par les houles grâce au déferlement, dans la zone interne, il faut attendre les forts coefficients de marée pour que cette partie du littoral soit atteinte : le matériel autochtone reste donc plus longtemps sur place. Ce matériel qui n'a pas subi de transport hydraulique est plus grossier. Ce caractère est amplifié par l'agglomération de plusieurs grains dans des gangues ferrugineuses.

Les grains typiquement marins représentent 10 à 15% des échantillons de l'archipel, sans qu'un caractère zonal puisse être mis en évidence. Ce fait confirme la prépondérance des apports d'origine estuarienne dans la construction des formations sédimentaires deltaïques et confirme l'hypothèse d'une alimentation de l'estran encore importante à la période actuelle. L'origine des grains marins peut être expliquée de deux façons :

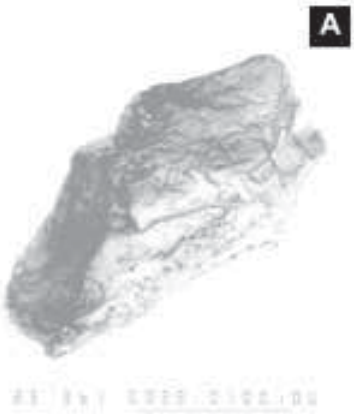
L'une des explications serait que ces sables correspondent à une remobilisation de stocks plus anciens. Cette hypothèse est à mettre en parallèle avec le schéma d'évolution du delta au cours des régressions et transgressions marines (McMaster *et al.*, 1970). La source de ces sédiments pourrait être liée à l'érosion des *topsets beds* au cours des périodes transgressives du Nouakchottien et du Tafolien (2000-6800 B.P.). Cette érosion aurait permis une remobilisation des sables aboutissant à l'édification des grandes flèches sableuses. L'origine ancienne et transgressive expliquerait ainsi la présence de ces grains de quartz à faciès marin abouti sur l'ensemble des plages du delta.

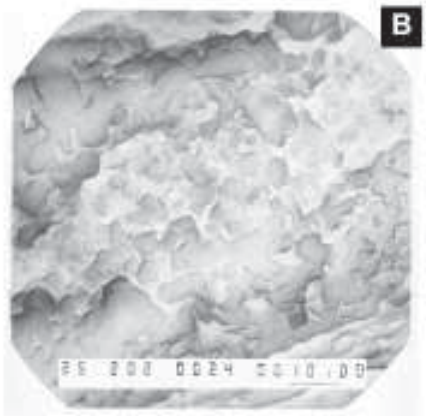
La seconde explication pourrait être qu'une partie de ce stock "marin" serait liée à la convergence des dérives littorales ouest africaines. Les rivages sableux du Sénégal et de la Gambie pourraient constituer une source secondaire d'alimentation pour le delta, les courants de marée répartissant ces sédiments sur l'ensemble des plages de l'archipel.

L'étude au microscope électronique des grains de quartz sur 3 sites (Baie de l'Escarmouche sur l'île Caravela, João Vieira, et la flèche d'Acapa sur l'île Orango) a mis en évidence des processus différents à la surface des grains (ill. n°74 et 75). Les quartz de la Baie de l'Escarmouche présentent des formes avancées de dissolution tandis que ceux du secteur de João Vieira et d'Orango présentent des accumulations secondaires de silice.

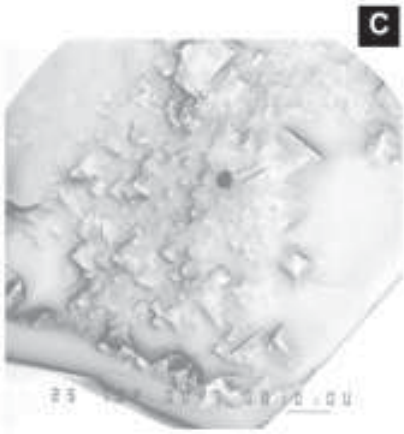
Il s'agit apparemment d'un phénomène dont l'explication est liée à des facteurs locaux. La Baie de l'Escarmouche présente en effet une configuration assez complexe. La migration des barres de bas d'estran et des bancs prélittoraux commande la dynamique de cette portion du littoral. La grande mobilité de ces barres modifie l'impact de la houle à la côte et conditionne, pour partie, l'alimentation de la plage en sédiments.

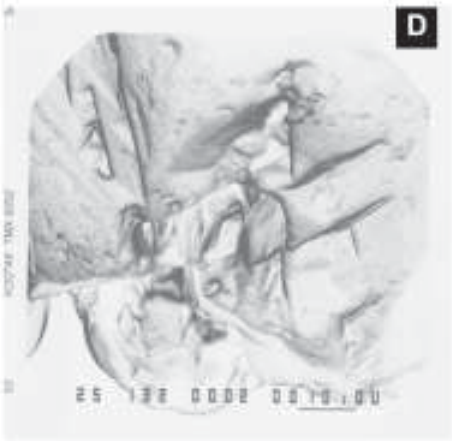
L'alimentation de la plage par ces formations littorales et prélittorales constitue une explication à la présence d'un fort pourcentage de grains de quartz polis dans les échantillons prélevés dans la baie. L'examen à la loupe binoculaire nous a permis d'identifier trois types de "quartz marins" : les premiers fortement émoussés, les seconds plus gros, de forme ovoïde à ronde et enfin un dernier type fortement carié (ill. n°74). En raison de leur important niveau de polissage et des traces dissolution du quartz, ces deux derniers types présentent des caractères marins beaucoup plus affirmés. Les grains ovoïdes montrent très peu de traces de chocs et correspondent à des milieux de basse énergie situées en bas d'estran peu pentus. Les grains cariès, par contre, correspondent aux milieux sous saturés en silice des zones infratidales.



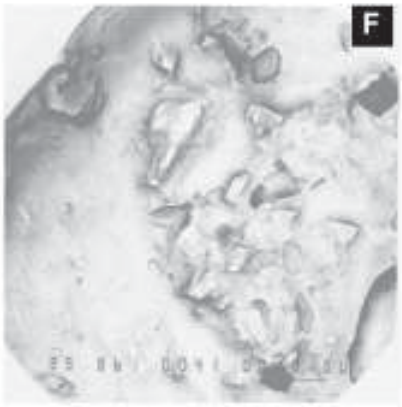


A et **B**
Baie d' Escaramuça (Caravela) :
grain carié caractéristique des zones infratidales sous-saturées en silice.



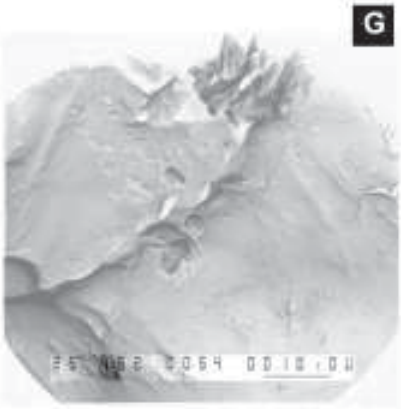


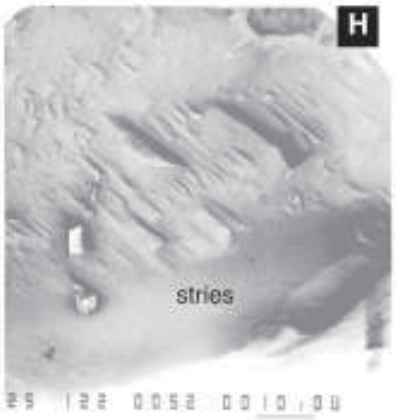
C et **D**
Baie d' Escaramuça (Caravela) :
formes de dissolution géométriques en "v" situées dans les zones dépressionnaires du grain de quartz ; des diatoméess y sont piégées par des dépôts secondaires siliceux. On note que les dissolutions en forme de triangle sont parfois disposées tête-bêche pour faire apparaître des formes de "dissolution carrées".



E
João Vieira :
grains montrant une diagénèse complexe, formes de dissolutions et dépôts de silice, emprisonnant une diatomée.

F
João Vieira :
forme de dissolution sur un grain de quartz arrondi avec des diatomées fraîches. Les diatomées ne se localisent pas uniquement dans les dépressions ; il s'agit donc d'un grain provenant d'un milieu de faible énergie.





G
João Vieira :
dépôts de silice sur les arêtes et les dépressions et quelques traces de chocs en "coup d'ongle".

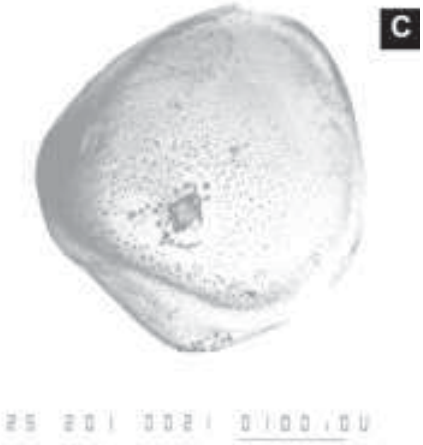
H
João Vieira :
stries de frottement caractérisant les quartzs de la zone intertidale exploitées lors d'une phase de dissolution.

ill. n°74 : Photographies de la morphologie des grains de quartz examinés au microscope à balayage

A
Joao Vieira :
quartz émoussé : éclat naturel présentant des traces de choc en coup d'ongle et conchoïdales polies et réexploités lors d'une phase de dissolution peu avancée.

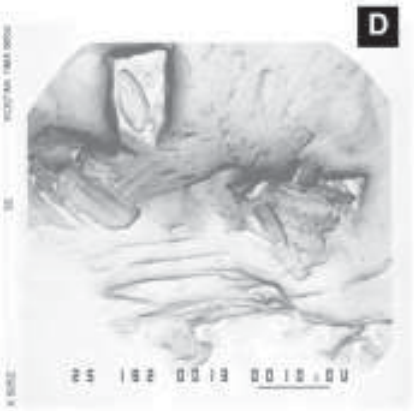
B et **C**
Baie d' Escaramuça (Caravela) :
grains de quartz ovoïdes sans trace de choc donc caractéristiques des milieux marins à faible énergie.

B
exemple de grain émoussé qui à la loupe binoculaire apparaît "NU" (non usé)

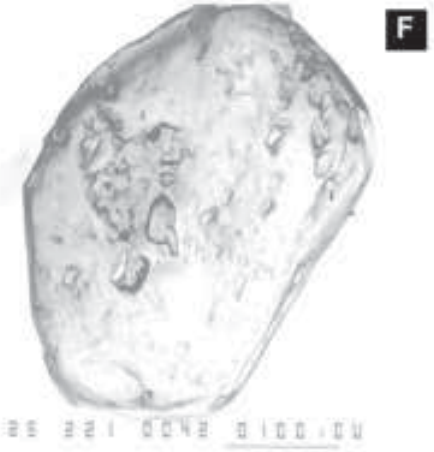


D
Baie d' Escaramuça (Caravela) :
grain émoussé de forme ovoïde typique de la zone intertidale. Il présente des traces de dissolution en "carré", des stries, des diatomées emprisonnées dans des dépôts secondaires de silice.

E
Baie d' Escaramuça (Caravela) :
grain ovoïde avec quelques traces de chocs en coup d'ongle.



F
Orango :
grains ovoïde avec trace de dissolution et diatomées.



ill. n°75 : Photographies de la morphologie des grains de quartz examinés au microscope à balayage

- caractéristiques spatiales des formations de la zone intertidale

Les formations sédimentaires présentent une zonation marquée. L'opposition entre les estrans sableux et les estrans sablo-vaseux constitue l'explication de la plus grande part de la variance expliquée de l'ACM (ill. n° 31, 32 et 33).

Ces formations s'opposent spatialement. Les estrans exclusivement sableux se localisent pour l'essentiel sur le front du delta et dans le secteur de João Vieira et de manière plus générale dans les zones les plus éloignées de l'apex. Les estrans sablo-vaseux sont caractéristiques de la partie centrale du delta et de celle proche de l'apex. Ils concernent également les secteurs qui ont les meilleures conditions d'abri : les bolons et les chenaux actifs insérés entre une ou deux îles, comme c'est le cas dans le groupe des îles d'Orango ou pour Formosa. Ces estrans sont colonisés par la mangrove, sous forme de fines ceintures ou de vastes forêts. Il n'existe pas de relation directe entre l'étendue de la mangrove et celle des slikkes bordières. Cela s'explique par le fait que dans les bolons, la mangrove colonise presque toute l'étendue intertidale tandis que dans les secteurs plus actifs (rives des chenaux secondaires), seule la partie haute de l'estran est colonisée : la slikke peut s'étendre sur plusieurs kilomètres comme c'est le cas sur la face nord de l'île Canhabaque et la face ouest de l'île Carache.

Pourtant, au delà du constat de ces quelques évidences, les résultats de l'ACM ne fournissent pas un schéma clair de la zonation des formations au sein de l'archipel. Cette non-différenciation est liée aux différentes formes de successions sédimentaires et morphologiques et souligne la complexité et la variété des processus d'édification des formations littorales.

Les sables se retrouvent un peu partout dans le delta ce qui souligne le caractère dynamique des chenaux internes mais aussi l'importance du matériel sableux dans les apports. Il n'est pas rare de trouver dans la zone interne des hauts d'estran sableux associés à des bas d'estran sablo-vaseux plus étendus. La reconnaissance sur le terrain de ces types d'associations avait conduit à dissocier la nature du haut d'estran du type de substrat de l'estran pour constituer la couche "nature sédimentaire" de la base d'information géographique. Cette alternance de dépôts peut être significative d'une modification dans les apports, d'une transformation des processus dynamiques ou encore de l'action différentielle des processus dynamiques à différents moments de la marée.

De même il existe deux types de vasières qui correspondent à des modes d'édification différents :

- les marais maritimes constitués dans les zones d'abri, en arrière d'une flèche ou d'un cordon de sable (ill. n°78). Ces formations se retrouvent dans la zone interne et sur le front du delta. La condition de faible agitation de l'eau qui permet le dépôts des particules fines est réalisée grâce à la présence du cordon littoral. Ces formes peuvent se développer un peu partout, dès

lors que les apports en sable sont suffisants pour construire des cordons sableux.

- les vasières ouvertes constituent les rives des chenaux ou bolons (ill. n°79). Ces vasières correspondent à des secteurs dont les conditions d'abri sont déterminées par leur situation dans l'archipel : elles se développent dans la zone interne du delta. Sur les rives des chenaux externes, l'agitation est trop importante pour réaliser de telles conditions d'abri. Un cas toutefois est à noter : il s'agit des deux vasières qui se développent de façon combinée sur plusieurs dizaines de kilomètres à l'abri des îles de Canhabaque et de Galinhas. Construites en situation d'abri vis-à-vis du flot pour l'une, et du jusant pour l'autre, elles ont accentué leurs protection vis-à-vis du courant par leur développement mutuel.

Ces vasières sont colonisées inégalement par la mangrove. En raison des spécificités de ces formations végétales et de leur rôle, il semble utile de leur accorder une attention particulière.

- les vasières à mangrove

A l'instar des mangroves ouest africaines et plus généralement atlantiques, la mangrove bissau guinéenne est très pauvre en espèces (4 à 6) (V.J. Chapman, 1977) alors que l'inventaire mondial des écosystèmes de mangrove établi par l'UICN donne une liste de 60 espèces d'arbres propre à ces écosystèmes (D.E. Mercer et S.C.Snedaker, 1984). L'origine pacifique des formations expliquerait que les mangroves atlantiques soient plus pauvres et constituées d'espèces relativement anciennes (BLasco, 1991). La mangrove représente l'écosystème le plus important et le plus spécifique de la zone côtière : 41 % de la population en vit et dépend de ses ressources (P. Ribordy *et al*., 1993). De nombreux auteurs en ont décrit les caractéristiques, et leur impact géomorphologique en est à présent bien connu.

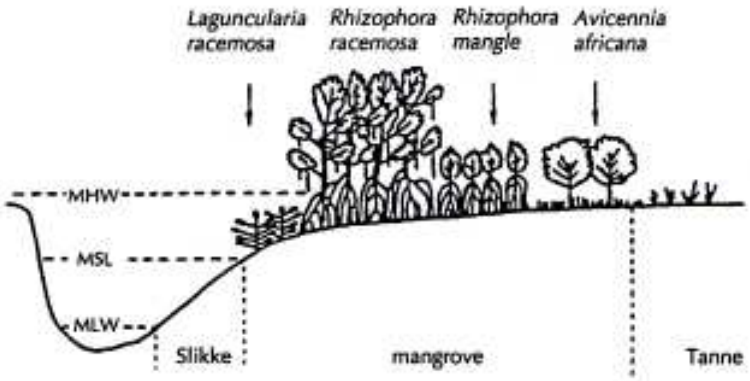
Autrefois décrite comme une "inextricable forêt vierge" (Géographie Universelle de Quillet, 1926) la mangrove est étudiée avec attention depuis le début des années 60. La multiplication des travaux s'accompagne d'une diversification des thèmes (M.C. Cormier Salem, 1994) et l'ensemble des publications scientifiques souligne la diversité des rôles joués par la mangrove (F. Blasco, 1991 ; D.E. Mercer et L. S. Hamilton,1984). De ces études émerge la notion d'écosystème de grand intérêt.

La mangrove de Guinée-Bissau, généralement assez basse (rarement plus de 20 m de haut) colonise de manière générale les fonds meubles plus ou moins vaseux de l'étage intertidal (A. Simao Da Silva, 1993). Les vasières à mangrove sont constituées de sédiments essentiellement pélitiques (<10µ), dotés d'une fraction sableuse plus ou moins bien représentée (L. R. Lafond 1967 ; E.S. Diop 1986 ; F. Bertrand, 1993). Cependant la mangrove peut exister sur des sables, des cailloutis, voire même sur des substrats rocheux.

Sur l'archipel, elle colonise en effet des bancs sableux et des formations rocheuses bien que les formes les plus développées se trouvent dans les zones sablo-vaseuses. Dans le cas des formations rocheuses, il s'agit de platiers dont les interstices (alvéoles) sont colmatés par des sables plus ou moins vaseux et favorisent l'enracinement de quelques plants de Rhizophora.

Il n'existe pas d'étude concernant spécifiquement l'Archipel des Bijagos. Toutefois, un rapport effectué pour le MDRA-DGFC et l'UICN (P. Ribordy, 1993) établit un bilan des connaissances sur les mangroves de Guinée Bissau. La forêt est principalement composée de Rhizophora et d'Avicennia. Du point de vue des toposéquences, on trouve généralement une slikke plus ou moins étendue, parfois absente en bordure de chenal, puis un liséré de rhizophoracées suivi par une large surface d'Avicennia. Les tannes constituent le dernier étage de la toposéquence dans la zone où la salinité et la submersion ne permettent plus le développement des formations végétales de l'estran. Les facteurs déterminants de la zonation sont en effet la salinité et la topographie. Le Rhizophora supporte des salinités de 40 à 50 g/l, jusqu'à 65 g/l pour l'Avicennia plus résistant et l'on trouve des concentrations de 90 g/l sur les tannes. Cette salinité est liée à la submersion par la marée, elle même étroitement dépendante de la topographie. Les toposéquences de chaque groupe ne dépassent pas quelques dizaines de centimètres.

ill. n°76 : Zonation schématique des vasières à mangrove de Guinée Bissau



- les Combrétacées (*Laguncunaria racémosa*) : elles se présentent sous la forme de petits arbrisseaux qui possèdent parfois des pneumatophores. Nous n'en avons observé que sur l'île de Bolama.

- les rhizophoracées (*R. racemosa, R. mangle, R. harsonii*) se reconnaissent aisément à leurs nombreuses racines échasses en forme d'arche aussi appelées pneumatophores. Ces racines qui partent du tronc et des branches basses s'élèvent jusqu'à plusieurs mètres au dessus de la vase. Elles ont par ailleurs un enracinement relativement profond de 40 à 50 cm et assez dense de

radicelles fibreuses. La multiplication de l'enracinement permet de réaliser une stabilité que les substrats meubles rendent difficile. Une autre caractéristique de cet arbre explique son mode de colonisation des estrans : sa viviparité. La graine germe à l'intérieur du fruit encore attaché à l'arbre et produit une longue racine appelée radicule. Lorsqu'elle atteint une certaine longueur (environ 30 cm), le fruit tombe comme une flèche dans le substrat et, si ce dernier est suffisamment meuble, il s'y enfonce profondément ce qui lui évite d'être emporté par les courants de marée. Cette fixation immédiate n'est pas toujours assurée et à chaque marée un certain nombre de plantules sont emportées permettant de coloniser de nouveaux secteurs.

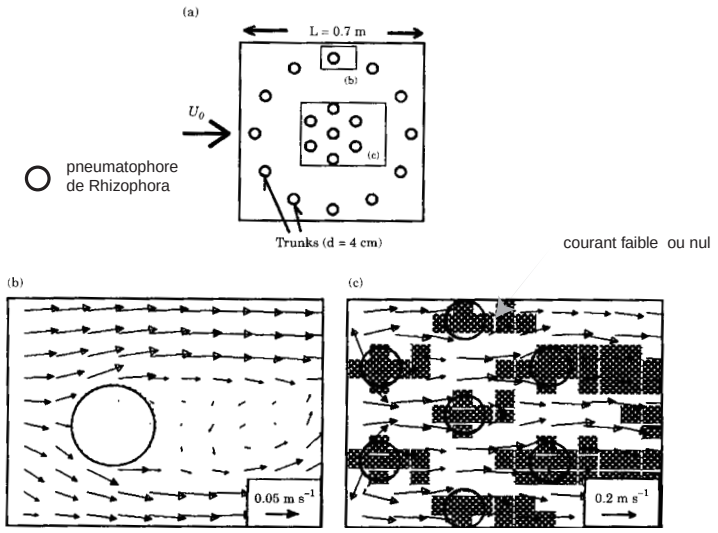
- les Verbénacées (*Avicennia africana*) : leurs racines sont aussi du type pneumatophores mais cette fois, les racines aériennes prennent la forme de craies ou de doigts dirigés vers le ciel. Les graines de cette espèce peuvent flotter et commencer à faire pousser leurs racines dès qu'elles sont tombées de l'arbre. Cela leur permet de se fixer dans la vase dès qu'elles sont arrivées dans un secteur adéquat.

Dans la partie haute des estrans atteinte par les marées exceptionnelles, des formations sursalées appelées tannes sont généralement associées aux estrans à mangrove. Les tannes sont des surfaces à efflorescences salines, faiblement inclinées, situées en arrière de vasières à mangrove. Certains auteurs distinguent des tannes nus et des tannes herbus (E.S. DIOP *et al.* 1978 ; T. Diaw, 1997). "Le tanne herbu, à la différence du tanne nu, est isolé de toute influence des marées et se raccorde au tanne nu par un petit talus de très faible dénivellation. Il s'agit de surfaces légèrement plus élevées et dessalées en surface permettant le développement d'un tapis herbacé" (T. Diaw, 1997). Si l'on considère que les tannes sont situés à l'intérieur de la zone de balancement des marées, les formations herbacées ne peuvent être définies comme une forme de tanne. Elles doivent plus justement être considérées en tant que zones de transition entre l'estran et les formations végétales terrestres. Les tannes ont souvent été assimilés à tort à des secteurs de dégradation de la mangrove. Leur existence est liée à la conjonction d'une immersion lors de marnage exceptionnel et d'un fort ensoleillement en période sèche.

L'archipel ne compte que 2600 ha de tanne soit à peine 2 % des superficies insulaires émergées à basse mer. L'explication du faible développement des tannes est d'ordre morphologique. En effet il n'est pas rare que le contact entre les estrans de mangrove et la partie terrestre de l'archipel se réalise sous la forme d'une brusque rupture de pente de l'ordre de quelques centimètres. Par ailleurs, il n'est pas rare de trouver des estrans sableux et même des cordons dunaires importants en arrière de la mangrove. Ces successions sont le reflet de la modification des conditions d'exposition des littoraux en fonction de la progradation du delta.

L'installation des différentes espèces est étroitement liée aux sols et à leur évolution et conditionne

cette dernière. Elle est chronologique (T. Diaw , 1997). La Rhizophoracée fait généralement office de formation pionnière. Elle s'installe en premier, occupant les terres basses atteintes par presque toutes les marées et où la sédimentation est relativement lente. Son installation va favoriser une sédimentation plus rapide car elle entraîne l'établissement d'un équilibre entre le maintien d'une certaine turbulence et le freinage des courants favorisant la sédimentation (ill. n°). Les particules fines cohésives apportées par le flot restent en suspension. Au moment de l'étale, les turbulences disparaissent et permettent aux matières en suspension de se déposer. Durant le jusant, les sédiments encore instables ne sont pas remis en suspension car la végétation est dense et freine les courants. L'exhaussement engendre une exondation plus fréquente des sols et une salinité plus importante. Sur ces dépôts d'alluvions, la flore évolue alors vers une domination de l'Avicennia dont les pneumatophores préfèrent les terrains moins exondés et supportent une salinité plus grande.



ill. n° 77: Turbulences autour des pneumatophores de Rhizophoras

(extrait de K. Furukawa et al.,1997)

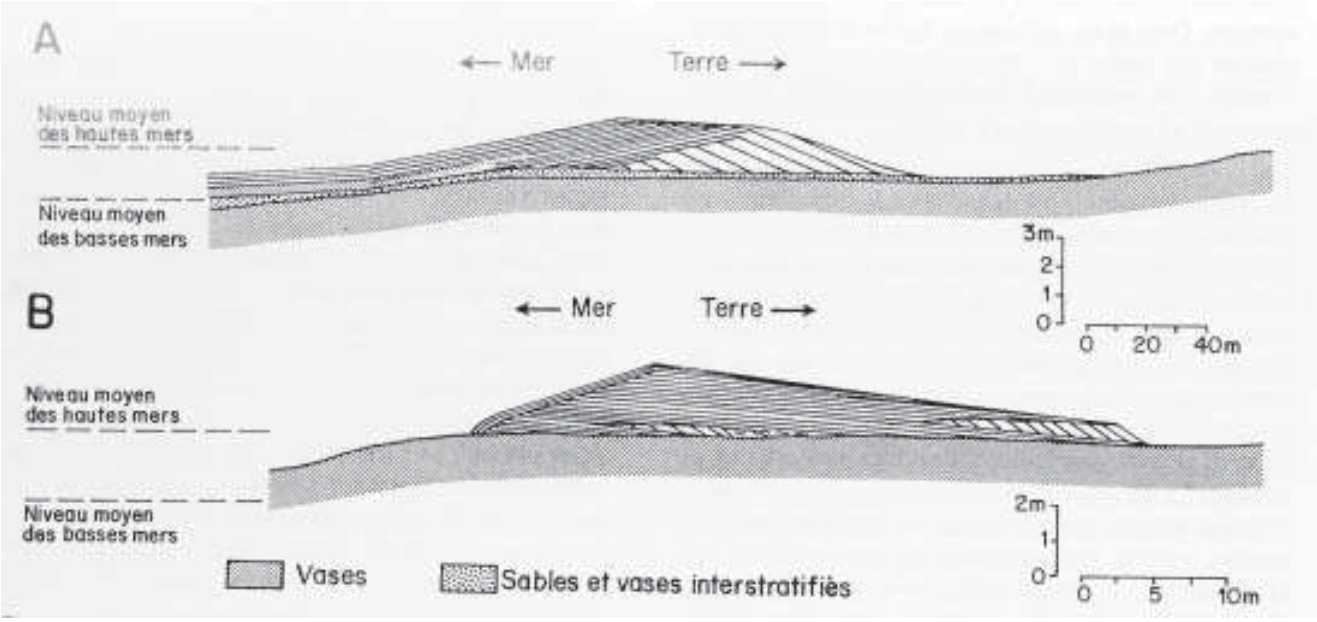
Dans bien des cas, on peut observer l'imbrication de Rhizophoras et d'Avicennia, en particulier sur des estrans peu étendus accueillant une très fine ceinture de mangrove.

A l'intérieur de la mangrove, on trouve des bancs sableux colonisés par une savane rare, parfois associés à des tannes. Ces formations sont souvent désignées par le terme de chenier. Ce terme, d'origine cajun, est utilisé en Louisiane pour désigner des cordons isolés dans des vasières, à disposition semi-parallèle ou palmée (W. A. Price, 1955). En raison de la similitude des processus d'édification, le terme a été étendu aux bancs sableux isolés dans la mangrove (ill. n°81 et 82). On parle de plaine à cheniers lorsque ces successions atteignent une certaine ampleur. Elles sont caractéristiques des zones intertropicales où les fleuves apportent de grandes quantités de sédiments sur des rivages de relative basse énergie (J. L. Davies, 1980). Ces formations sont

ill. n° 78 :Vasière colonisée Rhizophora abritée en arrière d'un cordon de l'île de Caravela

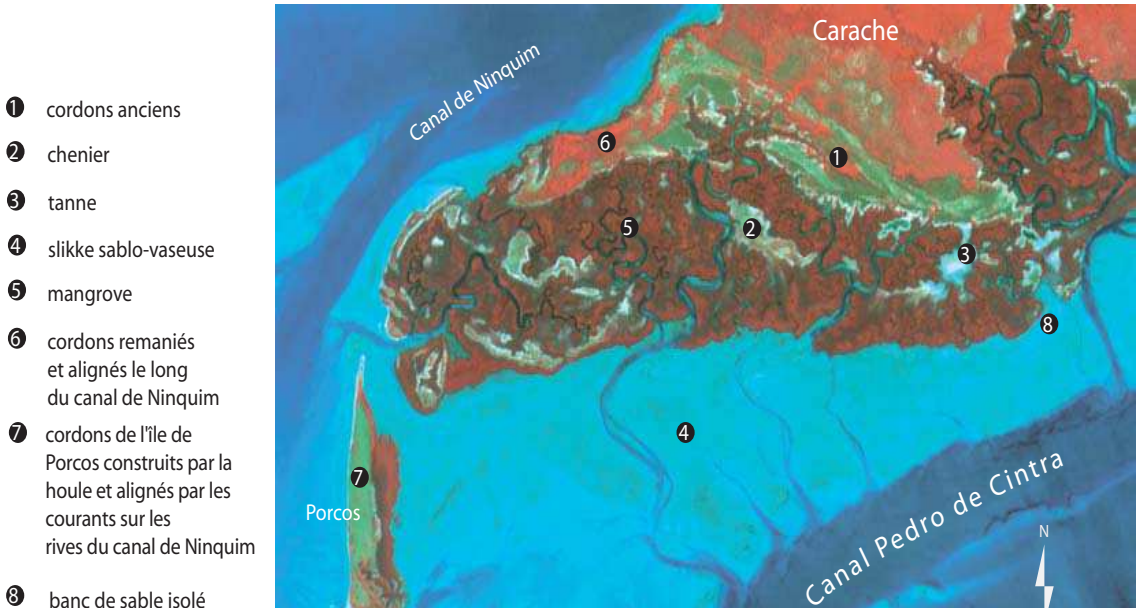
ill. n°79 : Vasière colonisée par vaste forêt de palétuviers et présentant une slikke très étendue sur l'île d'Orangozinho (photo : P. Campredon)

ill. n°80 : Cordon littoral faiblement végétalisé de l'île d'Orango



ill. n° 81: Structure et morphologie des cheniers (extrait de P.G.E.F. Augustinus, 1989)
A) chenier développé à partir d'une barre longitudinale. B) chenier après migration vers le rivage.

largement développées entre la Sierra Léone et la Guinée Bissau (E. J. Anthony, 1990). Les dépôts présentent de grandes similitudes avec des plaines à cordons classiques. Afin de les distinguer, il faut se référer au contexte stratigraphique. Les formes désignées par le terme de chenier se situent dans des milieux à sédimentation vaseuse ou sablo-vaseuse colonisés par la mangrove. L'interruption temporaire des apports peu favoriser la formation épisodique de cordons sur des vasières côtières. Il s'agit donc de remaniements épisodiques de cordons sur des dépôts fluviatiles. Dans le delta, il existe un type particulier de chenier qui correspond à la progression du front marin vers le large. Les secteurs sableux autrefois exposés aux houles sont à présent isolés dans des vasières.



ill. n°82 : Structure à cheniers de l'île de Carache

Le plus bel exemple se situe dans la partie sud ouest de l'île de Carache (ill. n°82).

Les formations sableuses de l'archipel se localisent d'une manière générale à proximité du trait de côte et sont stabilisées par la végétation. Les savanes boisées et herbacées constituent des formations édaphiques associées à ces sols très peu fertiles à texture sableuse. Le groupe représenté par les sols nus et les savanes constitue 70 % des types de contact entre l'estran et les terres émérgées. Abondamment arrosés en saison des pluies, ils ne disposent que de faibles ressources en eau en saison sèche ce qui limite le développement de la végétation. Toutefois, on trouve des palmeraies à "*Eleais guinéensis*" sur des substrats sableux. Elles colonisent les cordons dunaires anciens et se retrouvent aussi sous forme de fines ceintures dans les dépressions interdunaires, à la limite des formations halomorphes et hydromorphes.

En bordure de plage, les savanes prennent l'allure de buissons denses composés principalement de *Chrysobalanus* précédés d'espèces rampantes, *Ipoméa pestaprae,* de la famille des Convolvulacées (CRAD/SUCO, 1980). Les formations buissonnantes fermées séparent souvent efficacement la plage des cordons dunaires situés en arrière. Ces cordons sont colonisés, en alternance avec une savane basse, par des formations xerophiles herbacées que l'on retrouve sur les dunes embryonnaires. Ce sont des indicateurs d'une accrétion récente précédant l'apparition de formations buissonnantes (ill. n°80). Ces herbacées sont des annuelles et ont été classées en sols faiblement végétalisés à nus dans la carte d'occupation du sol. Ce classement peut parfois donner une impression de non stabilisation des parties hautes des cordons dunaires. Les systèmes racinaires denses et profondément ancrés de ces formations assurent pourtant une bonne stabilité de ces constructions et les formes de déflation éolienne sont peu importantes.

Bien qu'il soit difficile d'associer un groupement végétal à un type morphologique, les statistiques sur les savanes et les sols nus, par île, donnent des résultats assez intéressants. Ils fournissent de précieux indicateurs pour la reconnaissance et la localisation des formes sableuses et confirment le schéma général décrit dans le chapitre précédent.

- la partie distale du delta

Dans la partie frontale du delta, les houles redistribuent les sédiments sur les rivages en formant des cordons littoraux parallèles à la ligne de rivage. Leur action entretient une turbulence qui interdit le dépôt des formation pélitiques et entretient la formation des structures sableuses. Les 5 îles qui ont les surfaces les plus importantes, classées en savanes et sols faiblement végétalisés, se situent dans la partie frontale (ill. n°83). L'axe n° 1 de l'ACM présente une forte corrélation entre les contacts estran/terre représentés par de la savane et des sols faiblement végétalisés et la zone frontale du

nom de l'île	surface en ha			% de la surface en sols f.v. et savane sèche
	totale des terre émergées	savane sèche	sols faiblement végétalisés (f.v.)	
Uno	8944	2007	1805	43
Orango	18927	6903	1982	47
Imbone	2519	547	1389	77
Unhocomo	1553	805	168	63
Unhocomozinho	383	199	67	69

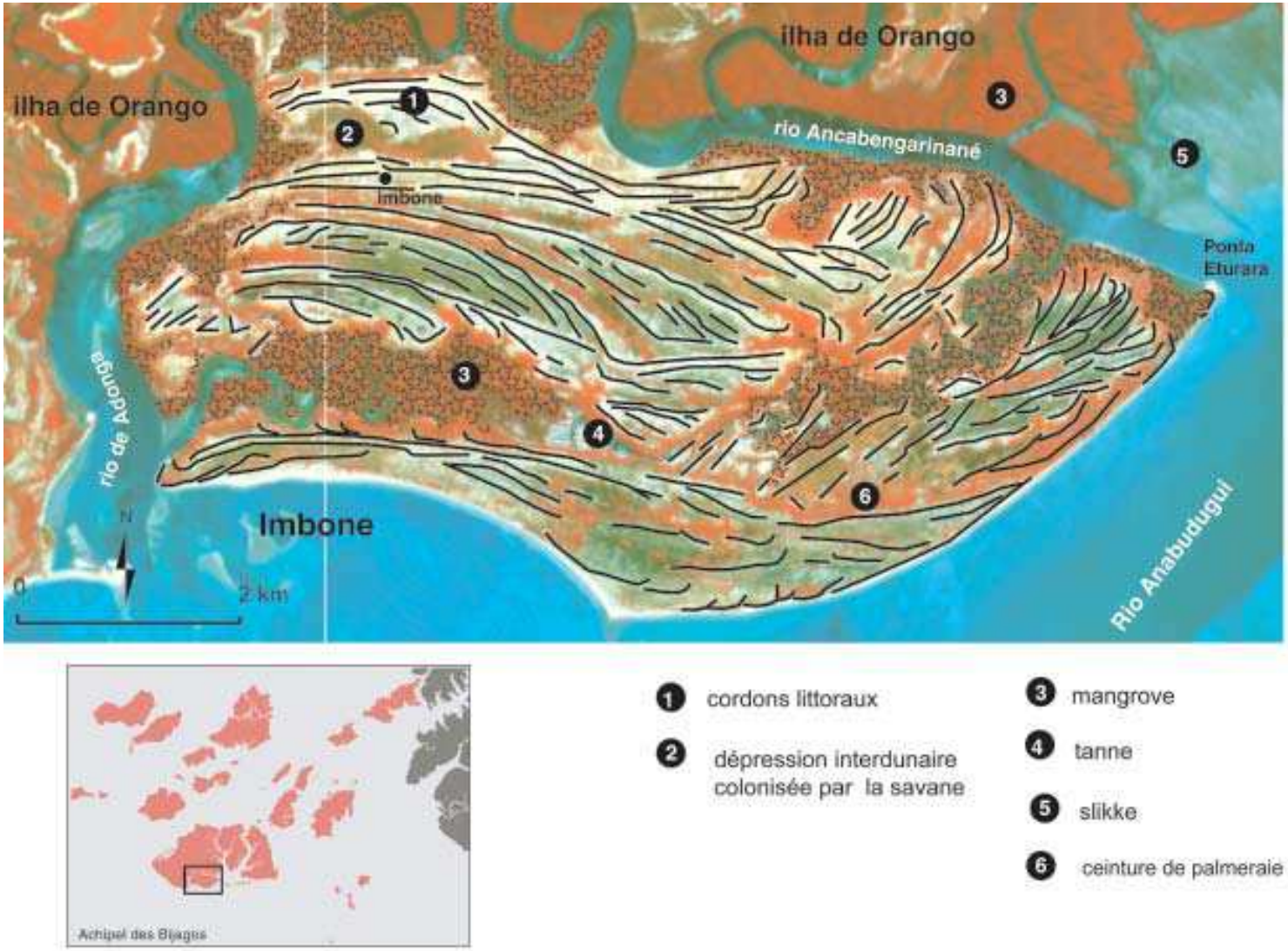
ill. n° 83 : Surfaces de savane et de sols faiblements végétalisés sur les 5 îles du front deltaïque

delta, la plus éloignée de l'apex et des chenaux principaux.

L'observation détaillée des cordons littoraux du front du delta met en évidence différents types selon leur mode de développement et leur complexité. Il peuvent être constitués en barrière unique ou encore groupés sous forme d'ensemble unique ou d'ensembles complexes juxtaposés. Ils peuvent se présenter sous la forme de flèches accolées ou bien abriter des vasières. Ces structures sont construites par les houles et sont caractéristiques du "delta rivage marin" (F. Verger, 1991).

Parmi les 5 îles précédemment citées, Imbone est celle qui possède la plus forte proportion de sols sableux par rapport à sa surface (ill. n°84). L'île est entièrement constituée de cordons fins, formant un système complexe correspondant à l'avancée progressive du front deltaïque. Le changement fréquent de l'orientation des cordons correspond à une modification régulière de l'impact des houles à la côte en raison de l'accrétion de l'île et de la modification de la morphologie de l'avant-côte. L'île d'Orango présente aussi une succession de cordons sableux. Ils sont beaucoup plus larges mais beaucoup moins réguliers que ceux de l'île d'Imbone. Les cordons dunaires abritent des zones humides qui présentent des structures d'anciens chenaux.

La partie distale du delta se caractérise aussi par un grand nombre de formations sableuses prélittorales, situées entre 0 et 20 m de profondeurs (ill. n°85 et 87) et alignées dans le sens du courant dominant. Les dunes hydrauliques longitudinales ainsi caractérisées se regroupent en séries formées d'éléments parallèles, séparés par des couloirs alvéolaires ou continus. Ces formations sédimentaires ont été décrites par de nombreux auteurs et se retrouvent sous toutes les latitudes. J. R. Vanney en a proposé une synthèse en 1977. Chaque élément de l'ensemble dunaire hydraulique présente un gabarit relativement homogène. Leur origine a depuis longtemps été associée à l'action des courants de marée, mais ceux-ci ne constituent pas l'agent exclusif de leur équilibre dynamique. Ces formations subissent, en effet, un plus ou moins grand remaniement par les houles. L'action des houles peut se lire, en particulier, dans la courbure de leur partie frontale.



ill. n° 84: Le système de cordons de imbriqués l'île d'Imbone

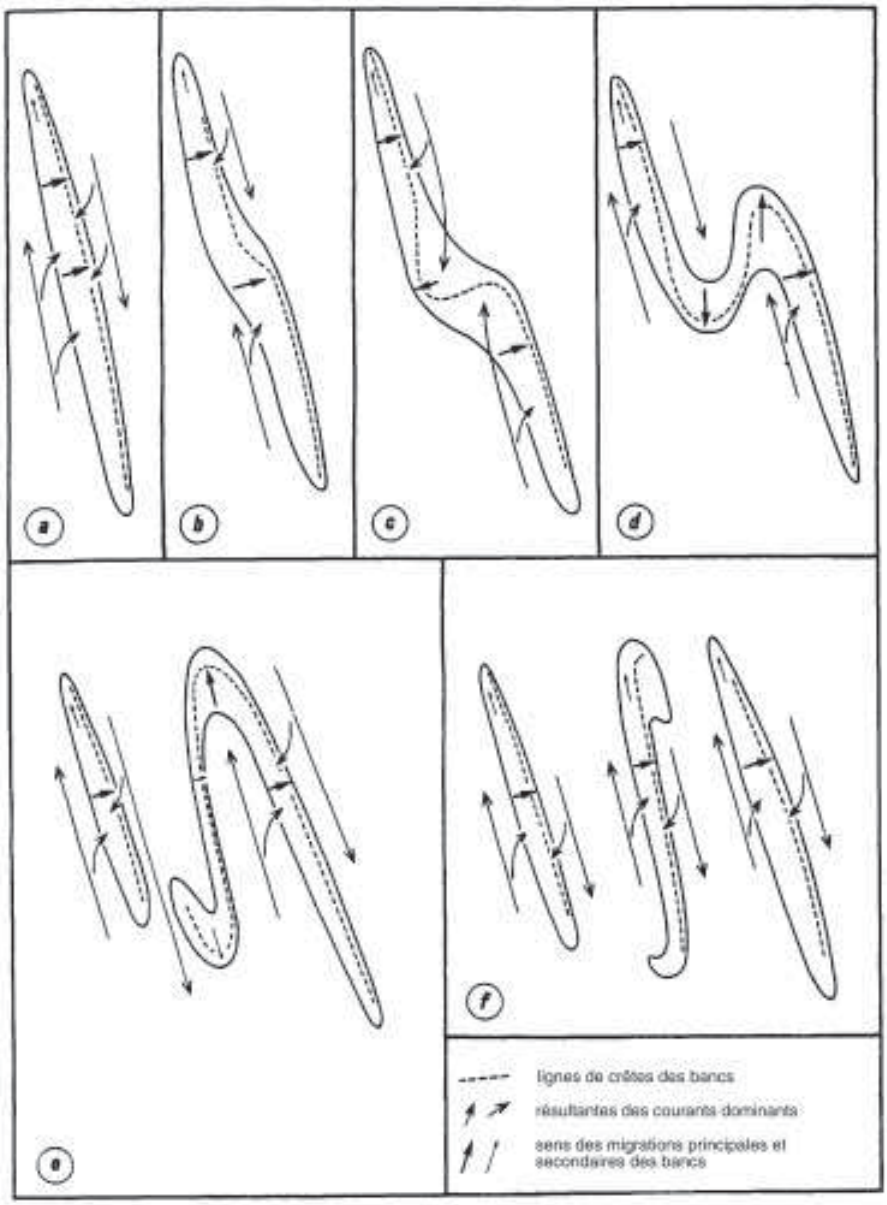
ill. n°85 : Dunes hydrauliques en rubans situées entre les îles de Unhocomo et Uno

D'une manière générale, ces dunes se caractérisent par un remarquable parallélisme qui est lié à leur mode d'édification (ill. n°86). Leur origine sédimentaire provient :

- de dépôts anciens faiblement immergés et facilement remaniés par les courants et les houles.
- des apports fluviaux en suspension. Les courants sont ralentis par l'existence d'un relief sous-marin qui favorise le dépôt sédimentaire. Ces bancs sont situés en aval de resserrements où la force des courants diminue brusquement (ill. n°85).

Notons le cas particulier de l'accumulation sédimentaire située en arrière de l'île d'Unhocomozinho (ill. n°87). Elle se forme par la conjugaison de deux phénomènes : la migration des dunes hydrauliques vers les bordures des chenaux Alvaro Fernandes et Pedro de Cintra et l'alignement d'une flèche littorale par le flot dans le prolongement de l'île. L'étalement de cette formation sédimentaire a été favorisé par la présence de pointement rocheux et par l'amortissement du courant au débouché du chenal Pedro de Cintra .

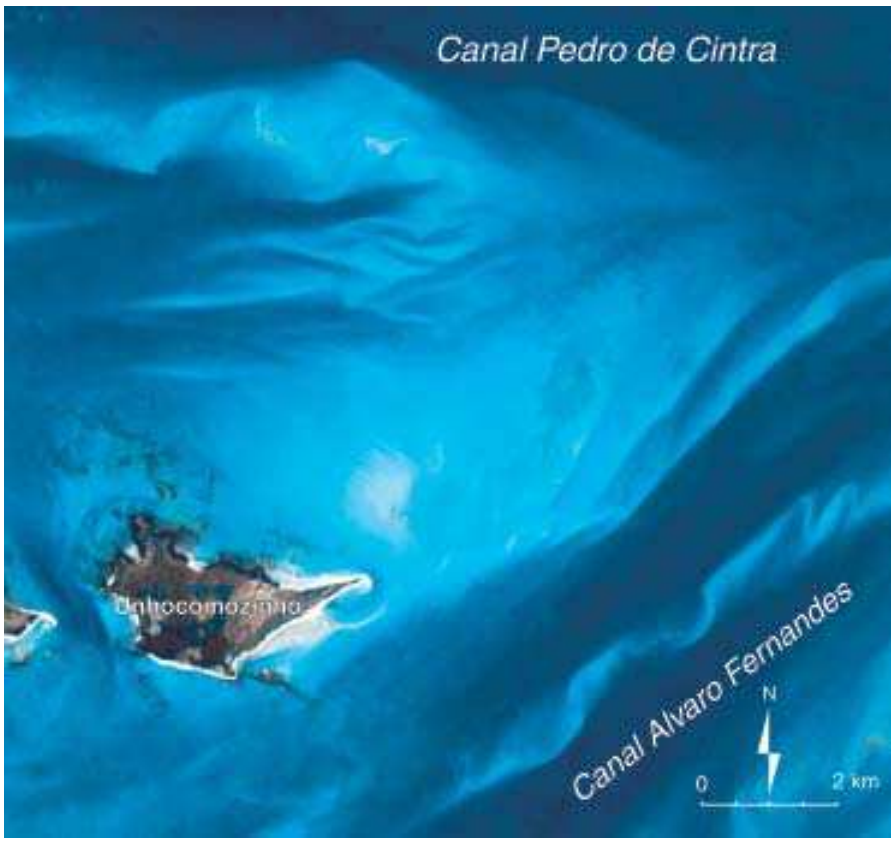
La présence de bancs alignés par les courants dans la zone distale du delta est la preuve de la prédominance de la marée dans les processus d'édification. Le front deltaïque en lui même est directement dominé par l'action des houles. La zone d'influence commune de la houle et du courant est donc très étroite et constitue l'une des particularités du delta des Bijagos.



ill. n° 86: Stades évolutifs d'une dune hydraulique longitudinale d'après Caston 1972

(extrait de J.R. Vanney, 1977)

***a**) dune hydraulique longitudinale initiale*
***b**) décalage de la ligne de crête par inégalité des transports*
***c**) formation d'un col*
***d**) apparition d'une double concavité développée par le flot et le jusant*
***e**) accentuation du tracé parabolique et rupture*
***f**) retour au stade initial*



ill. n° 87: L'accumulation sédimentaire de l'île Unhocomozinho

Conclusion

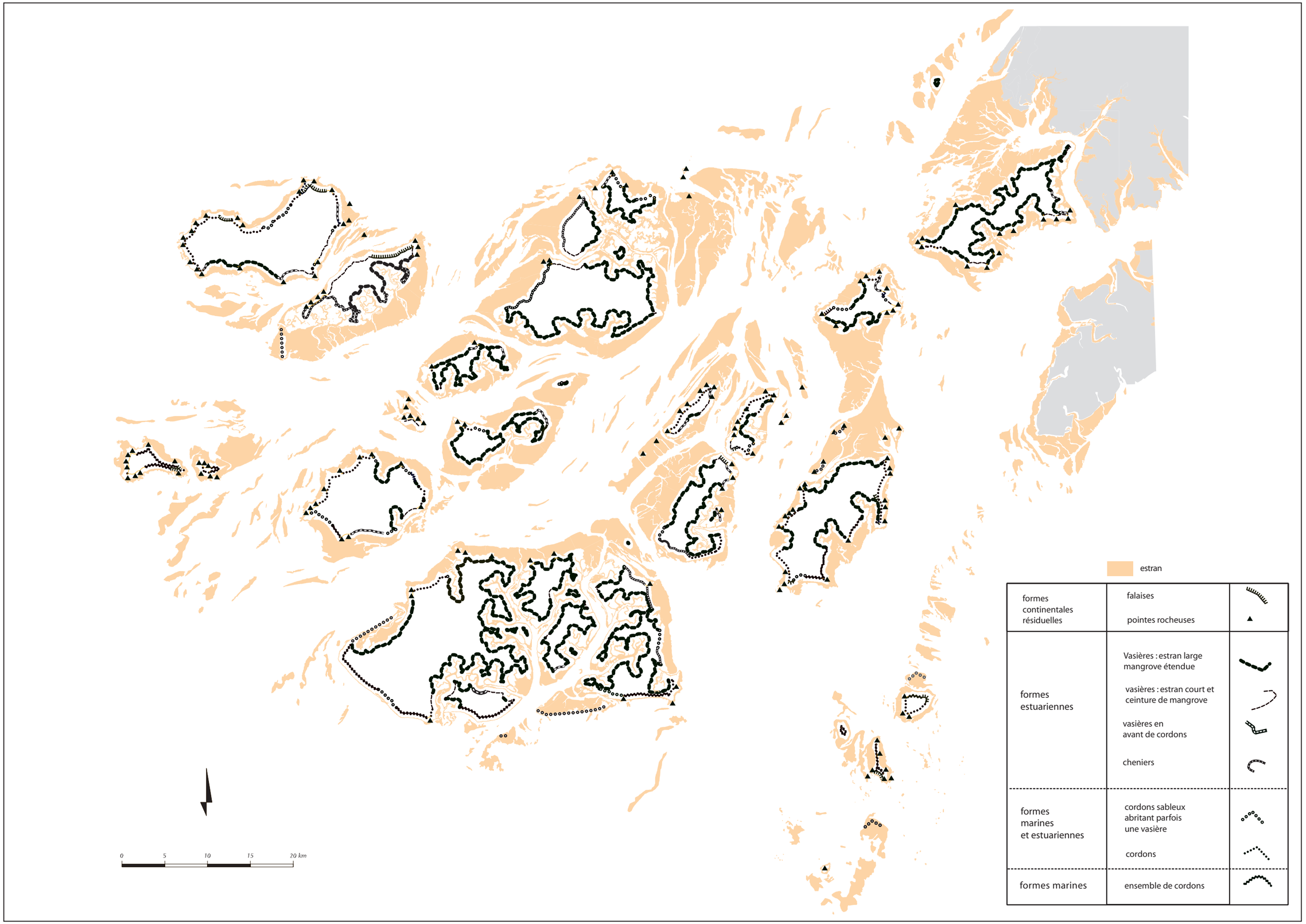
Du point de vue physiographique on retrouve globalement l'opposition décrite par F. Verger (1991) entre le schéma radial du delta qui caractérise le "delta terminaison fluviale" et le "delta rivage marin" qui s'ordonne selon une disposition concentrique à partir des chenaux. Mais, contrairement a ce que la forme convexe du delta pouvait laissait prévoir, on a bien une influence estuarienne dominante par rapport à l'action des houles comme le démontre l'organisation des bancs situés dans la zone distale.

Le mode battu et le mode abrité conditionnent l'évolution des grands types de paysages littoraux de l'archipel. Du point de vue des formes cela se traduit par une opposition entre le "schéma radial du delta, terminaison fluviale", et le "rivage marin" qui tend à disposer les formes de façon concentrique. De même, du point de vue de la nature sédimentaire des dépôts, une opposition s'établit entre les milieux sableux et les ensembles sablo-vaseux.

Les formations sableuses organisées sous la forme de cordons et de flèches littorales représentent l'un des principaux éléments structurant de la construction des littoraux alimentés par des apports fluviaux. Elles constituent de véritables barrières en arrière desquelles peuvent sédimenter des

matériaux plus fins. Ce schéma général trouve sa pleine expression dans les zones deltaïques actives ou les apports sont par définition importants. L'illustration n°88 propose une représentation synthétique des formes littorales à l'échelle de l'archipel regroupées en quatre groupes :

- les formations continentales résiduelles
- les formes estuariennes
- les formes d'origine mixte (courants de marée ou houle)
- les formes marines



ill. n°88 : Représentation des formations littorales de l'Archipel des Bijagos

Chapitre 5 - Cinématique et Bilan

introduction

La cinématique concerne l'évolution géomorphologique pendant une durée appelée "intervalle chronologique", indépendamment des causes qui la produisent. Mais la double fonction de bilan et d'étude cinématique de ce chapitre impose cependant de fournir des éléments explicatifs .
La cinématique peut être définie à partir d'un constat ou encore d'une potentialité. Définir les indicateurs de la cinématique constitue le premier problème à résoudre. Elle peut être étudiée à long et à court terme. A un pas de temps défini, les composantes du paysage sont alors considérées comme des systèmes en équilibre ou en déséquilibre durant la période considérée. Le but de ce chapitre est de faire une synthèse de l'ensemble des informations disponibles à partir des résultats de l'analyse spatiale, de la bibliographie, des photographies aériennes et de l'imagerie satellitaire.
La cinématique est abordée selon trois approches :

- la cinématique actuelle, analysée à partir des données de terrain, des images satellitaires et de quelques photographies aériennes.
- les potentialités cinématiques, étudiées à partir de l'exploitation de la base d'information géographique pour tenter de définir les potentialités d' érosion, d'accumulation ou de stabilité en fonction des interactions entre les milieux supratidaux, tidaux et infratidaux.
- la cinématique à long terme, envisagée par l'étude des formes littorales dans leur succession et leur organisation spatiale.

Pour chacune de ces approches, trois états sont envisagés :

- une évolution négative (érosion)
- une stabilité par absence d'évolution ou un bilan nul.
- une évolution positive (accumulation ou accrétion)

4.1 la cinématique actuelle

La cinématique actuelle se lit directement sur l'estran et dans le type de contact qu'il entretient avec le domaine terrestre.

- les littoraux rocheux

La présence des formations résiduelles dans la zone intertidale peut servir de témoin de l'érosion ou de la stabilité du trait de côte. Les formes d'érosion les plus marquantes rencontrées dans les buttes ferralitiques sont les entailles en falaise. Leur présence à la période actuelle au contact de l'estran indique un processus amorcé lors de la "phase d'entaille" (P. Michel, 1973) qui se perpétue à la période actuelle comme c'est probablement le cas pour le Nord de l'île Caravela, ou encore une modification des conditions hydrodynamiques par la migration d'un chenal ou la modification des conditions d'exposition aux houles et aux courants, comme c'est le cas pour les falaises de l'île de Meio. Il n'existe pas de données permettant d'évaluer la rapidité du recul de ces falaises. Mais leur profil témoigne de vitesses d'érosion plus ou moins rapides en fonction de leur structure et de l'intensité réciproque des agents dynamiques.

Les pointes rocheuses sont dans l'ensemble relativement stables. Dans leur partie supérieure, la présence de plants de Rhizophora ou d'accumulations sableuses, y compris dans des secteurs très exposés comme l'île de Poilão, témoigne de cette stabilité. Par contre ces pointes rocheuses servent d'amorce à la sédimentation sableuse et abritent parfois des vasières. Elles constituent donc souvent des points d'appui à l'accumulation.

- les littoraux sableux

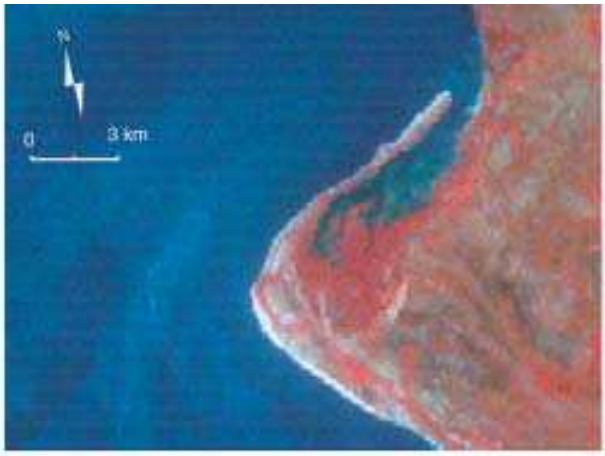
Les formes d'érosion et d'accumulation sur les plages ne sont souvent que le reflet de l'action des processus marins à un moment donné ou durant une courte période. Il est donc difficile de faire la part entre les variations saisonnières du profil de plage et l'identification d'indicateurs de changements durables à partir de relevés réalisés sur le terrain à une année d'intervalle. Il est nécessaire de valider les observations. La comparaison des images satellitaires Landsat et SPOT acquises à 20 ans d'intervalle fournit quelques éléments explicatifs. Celle effectuée à partir des images SPOT de 1990 et 1995 confirme aussi certaines observations faites sur le terrain. En effet, la validation par les images satellitaires fournit une distinction entre les tendances saisonnières et les tendances à moyen ou long terme. Notons que seules les variations spatiales d'une certaine ampleur peuvent être constatées et que l'analyse diachronique des images ne peut s'appliquer directement qu'à des

estrans présentant des pentes marquées.

l'illustration n°89 présente le cas de la façade sud de l'île d'Orango, située sur le front du delta. Le littoral est constitué par un long cordon qui s'étire sur une vingtaine de kilomètres, recourbé en son milieu vers l'intérieur du chenal Diogo. Des petites flèches de moindre ampleur se greffent sur ce cordon dans certains renfoncements de la ligne de rivage. Les extrait d'images de 1973 à 1995 nous montrent essentiellement une accrétion de la partie distale de la flèche et une stabilité de la mangrove située dans la baie. La composition diachronique 1990/1995 montre une succession de zones en recul (en rouge) et en accrétion (en bleu) qui correspondent à la migration du fulcrum des flèches littorales. Les formes d'érosion dans ces formations se matérialisent là où elles sont le plus avancées par des attaques "en falaise" de cordons anciens (ill. n°). La composition colorée diachronique permet de confirmer les observations faites sur le terrain. Elles confirme aussi que les attaques des cordons anciens représentent une évolution à caractère durable mais facilite l'explication de leur contexte dynamique. On peut aussi noter l'évolution des bancs pré-littoraux situés en avant de la côte. Cet exemple illustre l'effet d'un changement brusque d'orientation du rivage, associé au changement d'influence dynamique entre l'action des houles et celle des courants. Toutes proportions gardées, il peut être comparé à la situation de la rive nord de l'estuaire de la Gironde qui présente des ensembles morphologiques analogues : une flèche sableuse alignée par la dérive littorale le long de la rive nord de l'estuaire -la flèche de la Coubre- et un ensemble de bancs prélittoraux -le banc de la Mauvaise- situés au droit du changement d'orientation de la côte (F. Cuq, 1982).

Plus au sud, comme le montre l'illustration n°90, les estrans faiblement étendus du front deltaïque évoluent rapidement. Ils présentent des formes successives d'érosion et d'accumulation traduites par :

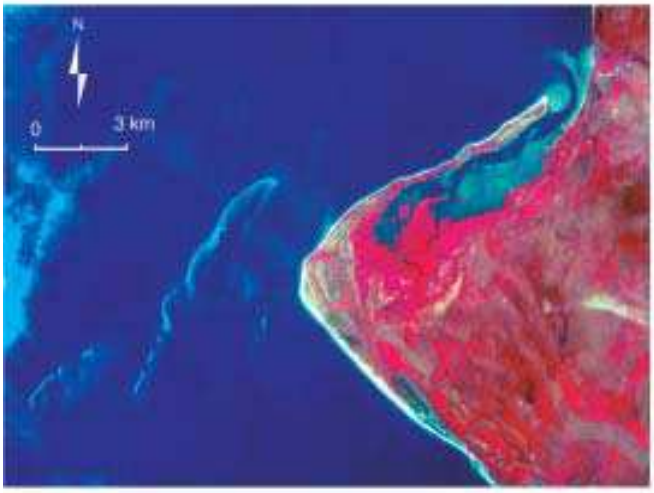
- la migration des fulcrum des pointes libres sur la partie frontale de l'île d'Adonga,
- l'adjonction de nouveaux crochets dans les parties distales
- l'érosion de secteurs pour lesquels les conditions hydraudynamique on évolué comme c'est le cas de la partie de l'île d'Adonga située en arrière de l'île Acapa-Imbone
- l'érosion des formations les plus exposées suite à la modification des conditions hydrodynamiques. Les images satellitaires de 1973 nous permettent d'assister à la "naissance d'une île" Acapa-Imbone, et à sa destruction en 1995 avec une redistribution des sédiments.



Extrait d'une composition colorée
Landsat2 - bandes 4 5 7-
10/03/1973

hauteur d'eau au port de référence de l'île d'Orango

date et heure	coefficient	hauteur d'eau	heure et hauteur de la PM et BM	
10/03/1973 10h52	93	2.19 m	6 h39	0.55 m
			13 h0	2.76 m



Extrait d'une composition colorée
SPOT1 - bandes 1 2 3 - 10/02/1990

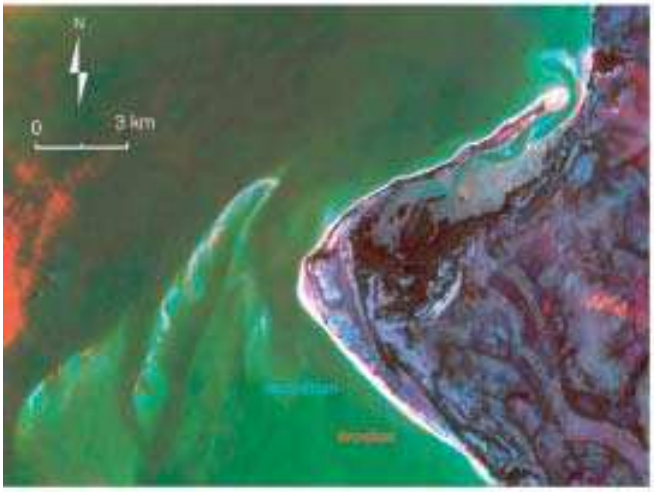
hauteur d'eau au port de référence de l'île d'Orango

date et heure	coefficient	hauteur d'eau	heure et hauteur de la PM et BM	
10/02/1990 11h43	94	2.26 m	09h 54	2.75 m
			15h 51	0.48 m

Extrait d'une composition colorée
SPOT3 - bandes 1 2 3 - 09/05/1995

hauteur d'eau au port de référence de l'île d'Orango

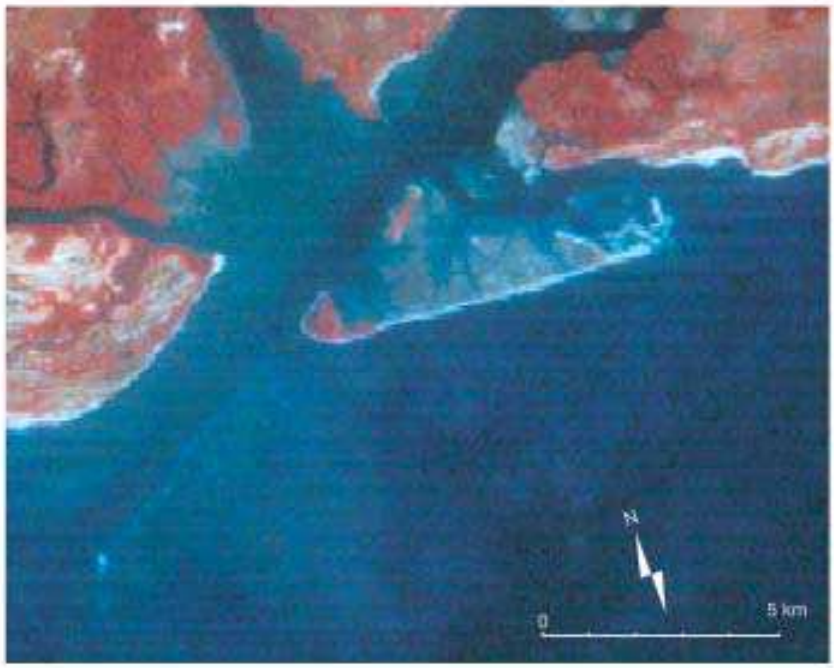
date et heure	coefficient	hauteur d'eau	heure et hauteur de la PM et BM	
09/05/1995 11h42	46	1.29 m	10h 19	1.16 m
			16h 41	2.40 m



composition colorée diachronique

SPOT1 1990 XS2 rouge
SPOT3 1995 XS2 vert
SPOT3 1995 XS1 bleu

ill. n° 89 : Cinématique de la flèche d'Acapa sur l'île d'Orango



Extrait d'une composition colorée Landsat2 - bandes 4 5 7- 10/03/1973

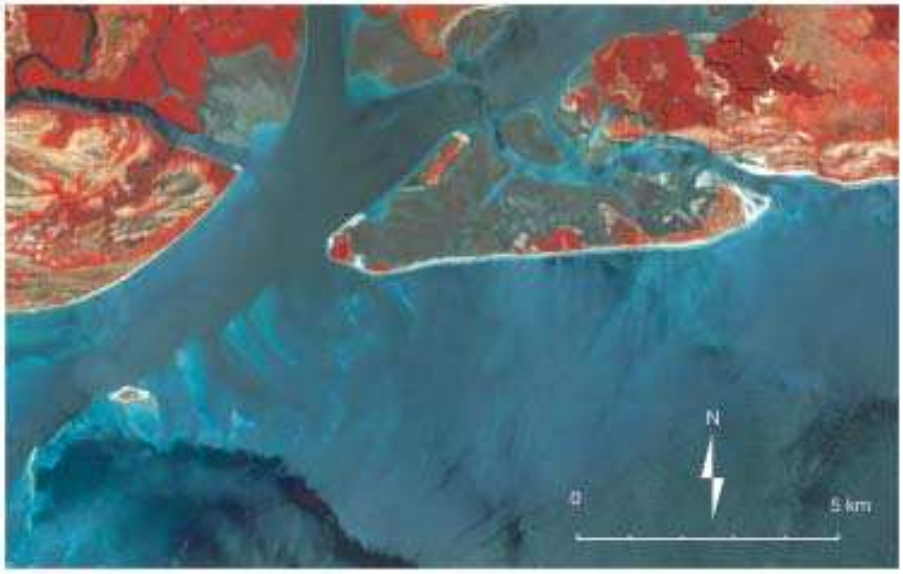
hauteur d'eau au port de référence de l'île d'Orango

date et heure	coefficient	hauteur d'eau	heure et hauteur de la PM et BM	
10/03/1973 10h52	93	2.19 m	6 h39	0.55 m
			13 h0	2.76 m

Extrait d'une composition colorée SPOT1 - bandes 1 2 3 - 10/02/1990

hauteur d'eau au port de référence de l'île d'Orango

date et heure	coefficient	hauteur d'eau	heure et hauteur de la PM et BM	
10/01/90 11h43	86	1.48 m	8h31	2.65 m
			14h34	0.50 m



Extrait d'une composition colorée SPOT3 - bandes 1 2 3 - 09/05/1995

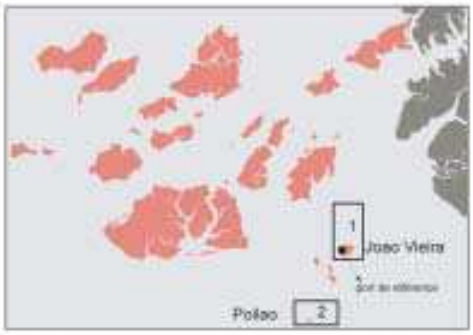
hauteur d'eau au port de référence de l'île d'Orango

date et heure	coefficient	hauteur d'eau	heure et hauteur de la PM et BM	
09/05/1995 11h42	46	1.29 m	10h 19	1.16 m
			16h 41	2.40 m

ill. n° 90 : Cinématique de l'île d'Adonga

hauteur d'eau au port de référence de l'île de Joao Vieira

date et heure	coefficient	hauteur d'eau	heure et hauteur de la PM et BM	
10/03/1973 10h52	93	2.91 m	7h26 13h29	0.55 m 4.12 m
10/01/1990 11h43	86	2.85 m	8h58 16h29	4.1 m 0.76 m
09/05/1995 11h42	46	1.71 m	11h14 17h27	1.69 m 3.67 m



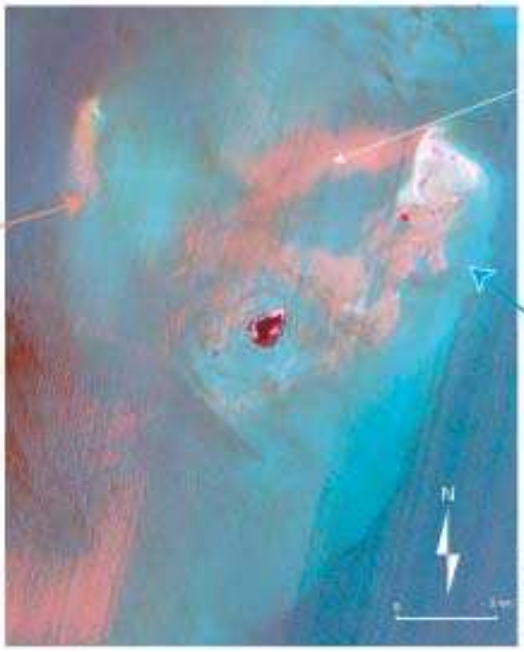
extrait de
landsat MSS1973
canal 5
(rééchantillonné, non rectifiée)

extrait SPOT 1 XS1 1990

extrait SPOT 3 XS1 1995

remaniements entre la période 1990 et 1995 par les courants de marée et la houle

composition colorée diachronique
SPOT 1 1990 XS1 (rouge)
SPOT 3 1995 XS1 (vert)
SPOT 3 1995 XS2 (bleu)



composition colorée diachronique
SPOT 1 1990 XS2 (rouge)
SPOT 3 1995 XS1 (vert)
SPOT 3 1995 XS2 (bleu)

ill. n° 91 : Cinématique des bancs sur la levée latérale de João Vieira

1) dans le secteur de l'île de João Vieira

2) dans le secteur de l'île de Poilão

L'analyse diachronique des images confirme la grande mobilité des bancs littoraux et prélittoraux. Leur accrétion ou leur érosion est complexe à définir. Deux types ont été identifiés :

- des bancs mobiles participant à la construction d'autres formations : au terme de leur migration ces bancs finissent par être plaqués au pied d'une formation existante. La plage ouest de Uno en est un cas typique (ill. n°85). Cette plage présente un profil irrégulier lié à la présence de bâches et de barres correspondant à des bancs alignés le long de l'île par les courants de flot et de jusant. La forme triangulaire de cette plage est liée aux apports simultanés des bancs situés dans les chenaux Alvaro Fernandes et Diogo (ill. n°85). Ce type de bancs peut aussi participer à l'engraissement de formations situées en aval comme c'est le cas sur la levée de João Vieira (ill. n°91). On assiste alors au démaigrissement ou à la destruction de bancs situés en amont. Dans ce cas particulier les bancs présentent un profil dissymétrique correspondant à des différences d'intensité de courants sur leurs deux rives. Sur la rive nord, les bancs sont modelés par l'action des courants et de la houle le long du chenal d'Orango Canhabaque. Sur la rive sud par contre, les courants sont moins forts car ils correspondent à l'embouchure du Rio Grande de Buba qui est un organisme végétatif, et on assiste alors à un étalement des formes sédimentaires et à une accrétion.
- des bancs situés à l'embouchure d'un détroit : ils correspondent à des secteurs de diminution rapide de la vitesse et de l'agitation des eaux qui deviennent incapables de remettre en suspension les sédiments. La rupture de charge plus ou moins progressive engendre des surfaces de dépôts au bilan morphologique et sédimentaire positif.

- les vasières

Nous ne disposons que de très peu de données pour évaluer la cinématique des vasières de l'archipel. Les images satellitaires sont d'un faible recours car elles n'ont pas été acquises à des hauteurs de marée comparables. Or, même une très faible différence de hauteur d'eau sur ces estrans aux pentes faibles modifie fortement la distribution des surfaces émergées. Ainsi, la comparaison entre les images de 1990 et de 1995 donne la trompeuse impression d'une très forte accrétion des slikkes (ill. n°90).

En ce qui concerne les mangroves, les levés de terrain n'ont permis de localiser que de très rares secteurs de mangrove en recul :arbres morts sur pied ou arrachés, mise à jour de niveaux tourbeux par une reprise d'érosion (ill. n°95 et 97). La faible emprise spatiale de ces phénomènes les rend difficilement repérables à partir des images excepté sur l'île d'Adonga où le recul est souligné par une rupture du cordon (ill. n° 90). De même les nouvelles colonisations par la mangrove, en général linéaires et parallèles aux forêts déjà existantes, sont difficilement détectables avec un pixel de 20

m de côté en raison des propriétés mixtes des pixels "frontières" qui mêlent la slikke et la mangrove. Les formes de développement de la mangrove identifiables par l'analyse des images satellitaires sont ponctuelles (ill. n°90). Dans tous les cas elles se situent dans des secteurs dont les conditions d'abri ont évolué à moyen terme : accrétion par adjonctions de crochets supplémentaires de flèches barrières protégeant une baie. L'île d'Adonga constitue encore une fois un cas intéressant car l'étude permet d'observer entre 1973 et 1990 et 1995 la colonisation de la vasière située en abri de l'île (ill. n°90). Sur la même illustration on peut assiter à la progression de la colonisation de slikkes sur l'île de Orangozinho (à droite) et d'Orango (à gauche). Mais d'une manière générale, la comparaison entre l'ensemble des images disponibles montre une grande stabilité de la mangrove à l'échelle de l'archipel.

Ces observations s'accordent bien avec celles réalisées dans d'autres pays des Rivières du sud par Anthony (1990) en Sierra Léone, par O. Ruë en République de Guinée (O. Ruë *et al*., 1991) et également avec les conclusions du Programme DUM (Dynamique et Usage de la mangrove) (M. C. Cormier Salem, 1994 et 1996). En effet, en opposition à l'idée suivant laquelle la mangrove est très fragile et en régression, les résultats de ces travaux montrent une progression de ces formations ou, tout au moins, leur remarquable dynamique.

En résumé on peut retenir que la cinématique des mangroves doit être considérée en fonction de l'intervalle chronologique utilisé :

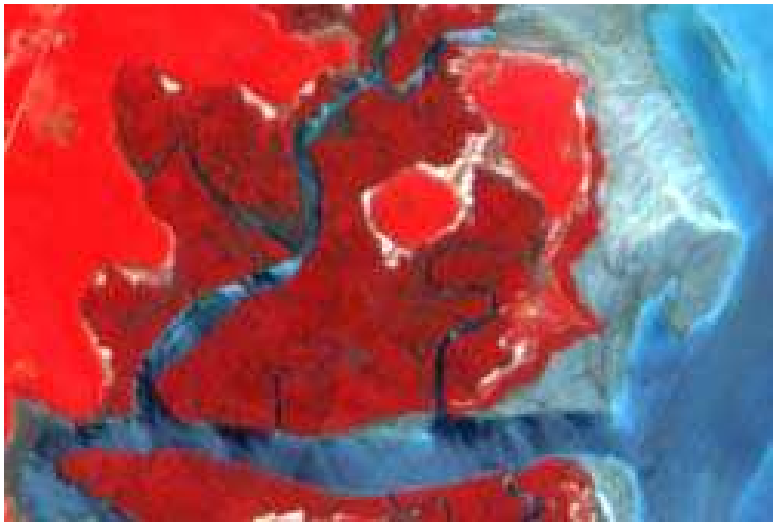
- à court terme (intra ou interannuel), les changements locaux peuvent être très rapides que ce soit en terme d'accrétion ou d'érosion

- à long terme, les spécialistes s'accordent sur une relative stabilité de ces formations dans cette partie du globe.

La comparaison entre les images satellitaires et les cartes portugaises à 1:50 000 montre à l'intérieur des forêts de palétuviers, un développement général des bancs isolés porteurs de savane sèche (ill. n°92). Le développent de formations végétales continentales à l'intérieur de la mangrove tend à indiquer que ces secteurs ont subi un exhaussement important les isolant des influences de la marée. Notons que d'une manière générale nous n'avons pas tenu compte des cartes portugaises pour étudier la cinématique en raison de différences d'interprétation qui pourraient exister.Sauf pour les savanes et les mangroves, la distinction étant facile à réaliser sur les photographies aériennes, on peut estimer que les données portugaises sont relativement fiables. De plus, cette constatation permet d'étayer l'hypothèse d'une accrétion verticale du delta.

ill. n°92 : Rattachement de l'île d'Anchancho à l'île d'Ametite par une bande de savane sèche dans le Sud Ouest de l'île de Bubaque

extrait des carte Portugaises à 1 : 50 000 - feuille de Bubaque (1957)



extrait d'une composition colorée SPOT3 (XS3, rouge ;XS2, vert ; XS1, bleu)

4.2 les potentialités cinématiques

L'identification des types de contacts fournit une bonne perception de la cinématique actuelle. Mais plus encore que la simple étude de ces contacts, c'est la combinaison de facteurs favorables qui permettent d'établir certaines potentialités cinématiques.

Les relevés sur le terrain nous ont permis de constater que certains types de contacts étaient indicateurs soit d'érosion soit d'accumulation. Pour l'érosion, au delà de l'évident contact avec les falaises on peut noter celui des palmeraies avec l'estran. Il est relativement atypique puisqu'il n'est représenté sur la ligne de rivage que dans 9 % des cas alors que les forêts de palmiers couvrent 44 % de la surface insulaire. Lorsque la palmeraie est en contact avec des formations rocheuses de la zone intertidale, Il s'agit, dans la majeur partie des cas, de secteurs en érosion. Ce type de contact correspond à des attaques d'anciennes buttes ferralitiques. Mais, lorsque il se réalise entre une plage et la palmeraie, il s'agit d'un recul du trait côte au dépend d'anciens cordons sableux (ill. n°94). Ce recul s'exprime par des formes d'érosion dans le profil de la plage (micro-falaises) et

ill. n°93 : entaille en falaise d'un cordon ancien sur l'île d'Unhocomozinho

ill. n°94 : contact de la palmeraie avec l'estran indiquant une érosion des cordons anciens sur l'île d'Orangozinho

ill. n°95 et 96 : Sur l'île d'Adonga, formes d'érosion exeptionnelles de secteurs colonisés par la mangrove

ill. n°97 : accrétion de la partie distale de la flèche d'Acapa par adjonction d'un crochet

l'arrachement de palmiers, ou encore par la mort de palmiers sur pied qui sont arrachés par la suite lors des fortes tempêtes . La mort des palmiers s'explique par une salinisation brusque des sols liée à l'érosion d'une partie du cordon.

Le contact entre les sols peu végétalisés et l'estran, ou entre les savanes sèches et l'estran, est peu significatif du point de vue de la cinématique. S'il désigne en général des milieux sableux, il peut tout aussi bien caractériser des secteurs très développés en accrétion que des secteurs peu évolués d'une grande stabilité, comme on en rencontre beaucoup sur les rives des chenaux "secondaires" dans la partie interne du delta ou encore des secteurs d'attaque en falaise de cordons anciens. Ce type de contact peut aussi se rencontrer dans le cas de villages qui, comme à Bubaque ou à Galinhas, surplombent une falaise sans que pour autant il y ait développement d'un platier. D'autres facteurs doivent être examinés afin de dissocier les différents états des littoraux sableux.

Plusieurs types de transitions spatiales, indicatrices de dynamiques, ont été identifiés. La conjonction de plusieurs facteurs peut être indicatrices d'érosion comme par exemple une faible extension de l'estran et des petits fonds. Dans la zone interne du delta de tels estrans se retrouvent sur les rives des chenaux secondaires actifs. Ces rives présentent en général des formes de micro-falaises ou de falaises. Lorsque, à ce type d'estran, est associée une fine ceinture de mangrove, les rives montrent par contre une relativement grande stabilité. Toutefois, des estrans nus peu étendus ne sont pas toujours significatifs d'érosion ou de stabilité. Ils peuvent aussi qualifier des zones en accrétion. En effet, les slikkes peu étendues associées à de vastes forêts de mangrove (cas des bolons) sont néanmoins des zones d'accrétion actives. Rappelons que les mangroves jouent un rôle fondamental dans l'exhaussement des slikkes par le piégeage des sédiments qu'elles réalisent grâce à leur réseau racinaire dense.

D'une manière générale, les zones en accumulation se caractérisent par des estrans étendus qu'ils soient sableux ou sablo-vaseux. L'accrétion est d'autant plus grande qu'ils sont protégés et/ou alimentés par des bancs prélittoraux.

4.3 la cinématique à long terme

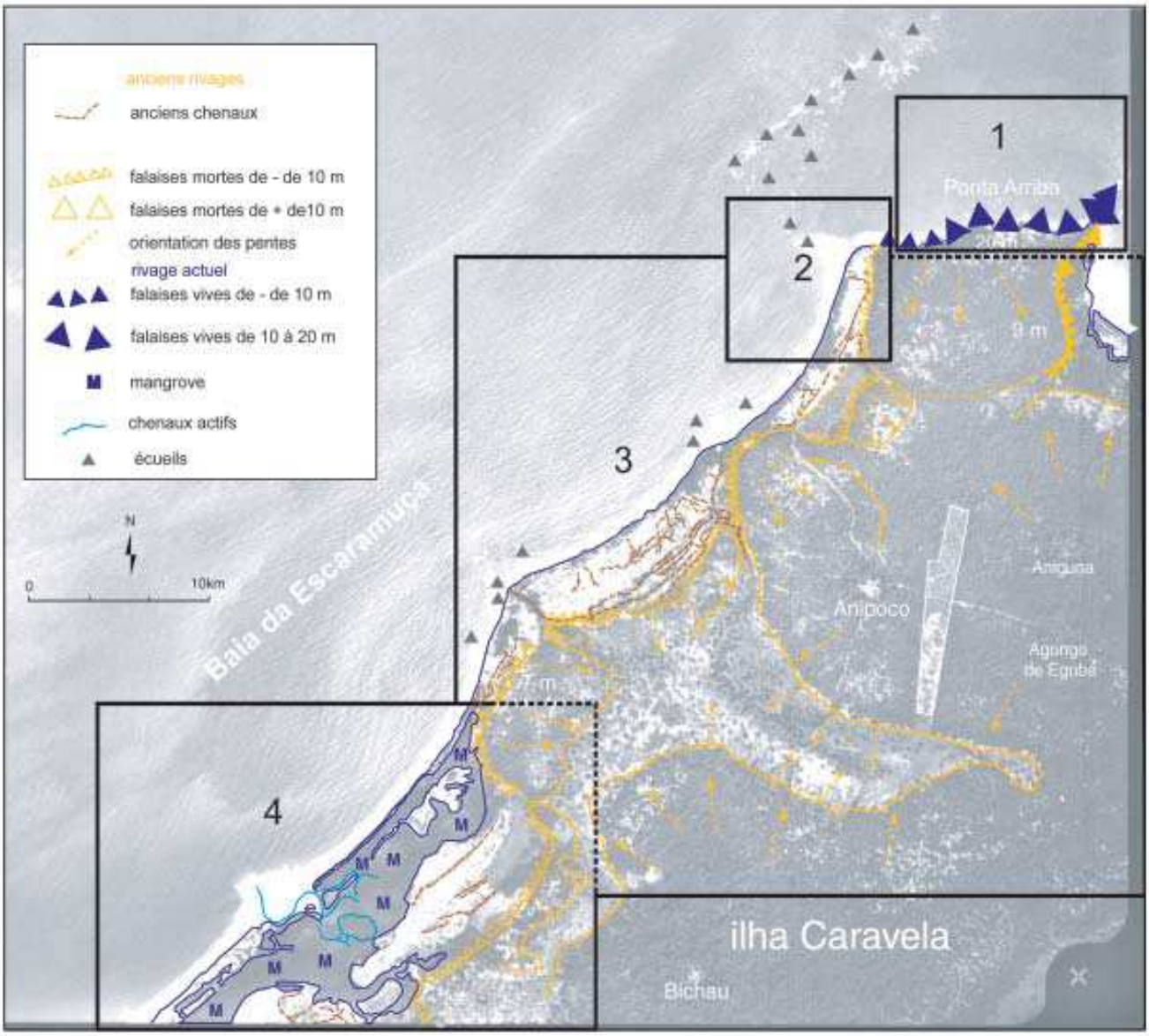
Les indicateurs de la cinématique à long terme se lisent au travers de la succession des formes anciennes et actuelles. A long terme, les seules formes à tendance érosive sont les falaises et les estrans courts bordant des chenaux actifs. Les falaises représentent moins de 1 % de la ligne de rivage. Pour ce qui concerne l'entaillement de dunes anciennes on note qu'il correspond à une

adaptation "momentanée" de la ligne de rivage, provoquée par des modifications de la dynamique qui conditionnent d'une part les apports sédimentaires et d'autre part l'exposition aux houles dominantes. Le cas de l'île d'Imbone en est l'exemple le plus significatif. L'organisation des cordons montre un changement régulier d'orientation, des phases d'érosion et d'accumulation donnant une structure compliquée à ces ensembles de cordons comme c'est le cas pour l'île d'Imbone présenté sur l'illustration n°84.

Les formes d'accrétion sont multiples que ce soit dans les vasières ou sur les plages. Les successions de cordons littoraux constituent un bon indicateur de la cinématique des secteurs sableux. La construction de vastes ensembles de cordons est, sans le moindre doute, significative d'une accrétion à long terme. De même, la construction de plaines à chenier qui portent en elles les variations qualitatives des apports, sont significatives de formes en accrétions depuis plusieurs milliers d'années. Le cas particulier d'ensembles de cordons présents en arrière de cheniers, comme c'est le cas sur la face ouest de l'île Carache, est quant à lui significatif de la progradation du delta. La présence de bancs alignés par les courants dans la zone frontale du delta est elle aussi significative de l'accrétion du delta : les apports fluviaux sont suffisamment importants pour que les remaniements par les houles ne les détruisent pas.

L'existence de falaises mortes en arrière de cordon est la preuve d'une modification de la cinématique qui est passée d'une phase érosive à une phase d'accumulation. D'une manière générale la construction de formations littorales juxtaposées, qu'elles soient sableuses, vaseuses, ou les deux à la fois, est un signe d'accrétion certain (ill. n°98). De même la reconnaissance d'anciennes formes littorales dans les parties émergées de l'archipel atteste bien de l'accrétion du delta à long terme. Ces formes peuvent être de vaste ensembles de cordons réguliers montrant une constante dans la progradation ou des modifications dans leurs orientations ou encore attestant d'un changement des conditions hydrologiques (chenier). De même la reconnaissance de structures similaires dans des formations en construction actuellement et dans des formations stabilisées atteste de la poursuite d'évolution débutées depuis très longtemps qui perdure aujourd'hui dans une phase transgressive du delta.

Les changements à long terme de l'environnement côtier pourraient cependant modifier cette cinématique durable. La fin des années 1980 à vu fleurir les publications alarmistes sur les prévisions de variations du niveau de la mer . "On n'exclut même pas une disparition complète, par rétroaction positive, en un laps de temps de l'ordre du siècle, de toute la calotte glaciaire de l'Antarctide occidentale, ce qui entraînerait un niveau marin de 5 à 6 m supérieur à l'actuel" (R. Paskoff, 1985). Toutefois les scientifiques semblent actuellement s'accorder sur des chiffres de 2



photographie aérienne non rectifiée de la côte Nord est de Caravela à 1/30000
(n° 2608, 6 décembre 1980, KLM Aérocarto, Pays Bas)

1 érosion : attaque des buttes ferralitiques résiduelles en falaise

2 invertion de la cinématique : cordons en avant d'une falaise morte

3 remaniements de formes littorales anciennes et comblement des échancrures du rivage par des cordons dunaires

4 sucessions complexes de formations littorales comprenant d'anciennes lignes de rivage soulignées par de petites buttes résiduelles entaillées en falaise, des zones basses asséchées, des dunes sans relief, une mangrove abritée en arrière d'un cordon très fin

ill. N°98 : Transitions spatiales et évolutions sur le long terme de la côte Nord de l'île de Caravela

à 2.2 mm/an ce qui en 2050 donnerait un rehaussement de l'ordre de 10 à 11 cm (Joseph T. Kelley *et al*., 1996). Notons que ces chiffres sont régulièrement revus à la baisse.

Quant à une possible accentuation du phénomène de relevé du niveau marin par la subsidence : il faut rappeler que les différents auteurs sont à peu près d'accord sur une subsidence très ralentie, voire nulle, depuis le Crétacé de cette partie du bassin Sénégalo-Mauritanien. Dans la perspective de la remontée du niveau marin, la subsidence de cette partie du bassin ne contribuerait que de manière très peu significative. En outre la qualité de marge passive de l'Atlantique de cette partie de l'Afrique préserve d'un changement structural rapide.

Quelles peuvent être les conséquences d'un relevé du niveau marin pour l'archipel des Bijagos ? En l'absence de données fournissant une véritable estimation du budget sédimentaire de l'archipel, seuls peuvent être avancées des hypothèses fondées sur l'étude des conditions hydrodynamiques actuelles. Dans le chapitre consacré à l'étude des agents dynamiques, a été développée l'hypothèse de piège à sédiments que pourrait constituer la plate-forme continentale en raison de sa situation à la rencontre des dérives littorales ouest africaines. Il est intéressant de se demander dans quelle mesure le piégeage des sédiments allocthones pourrait compenser l'érosion qui ne pourrait manquer de se produire en cas du relèvement du niveau marin. Certains secteurs littoraux du Sénégal et de Gambie (T. Diaw, 1997, M. Sall, 1982) présentent actuellement des formes avancées d'érosion alors que le delta semble relativement stable et montre des signes de progradation lente. Une remontée de quelques centimètres du niveau de la mer ne pourra qu'accentuer l'érosion de ces littoraux déjà fragilisés. La remobilisation de ces sédiments pourrait éventuellement, par le jeu de la dérive littorale, alimenter des secteurs moins exposés et compenser pour partie l'effet d'une remontée du niveau marin sur le delta des Bijagos.

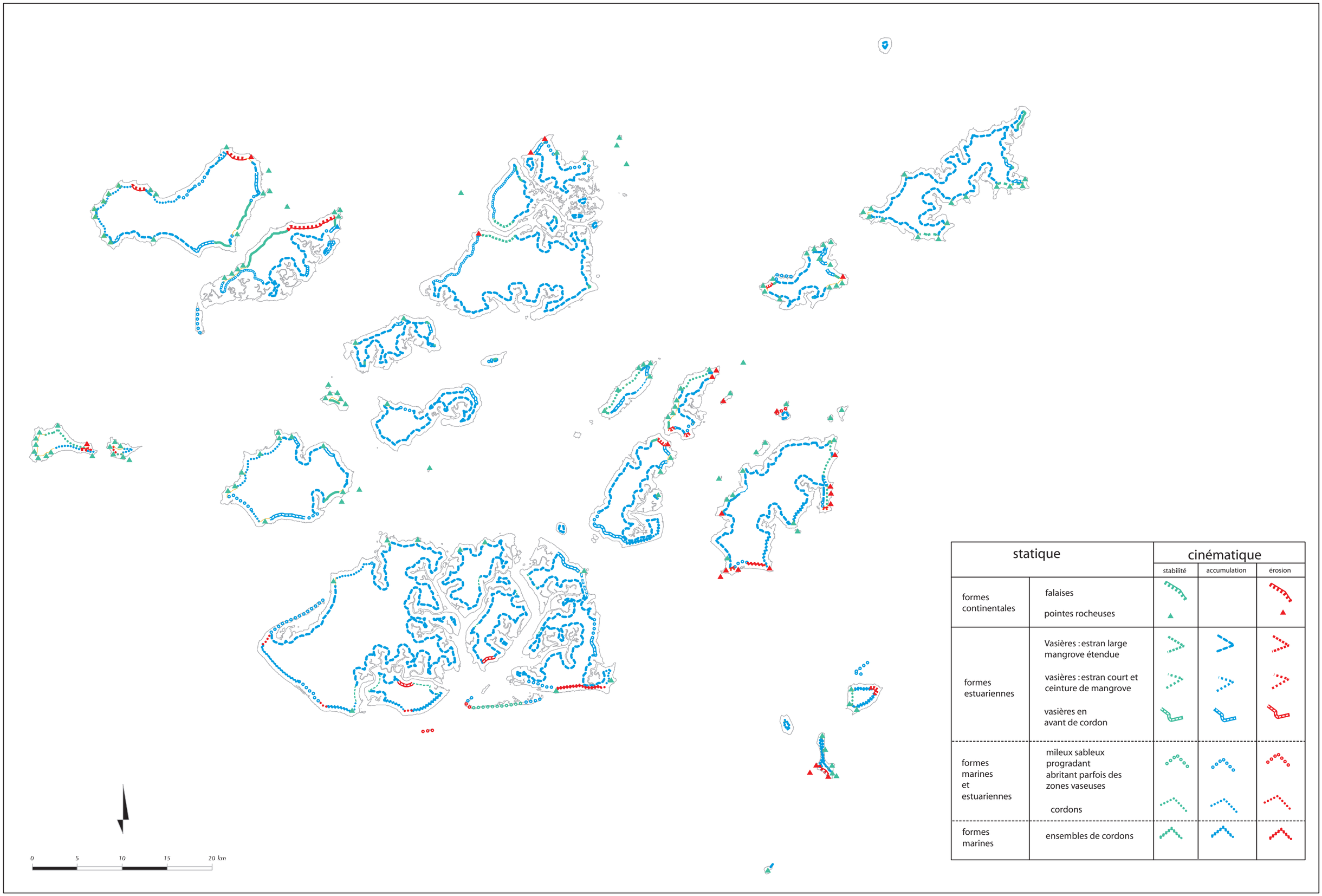
L'aménagement du littoral peut être un facteur perturbant pour la cinématique à long terme. A l'échelle locale, l'obtention du label de réserve de biosphère devrait protéger l'archipel de l'implantation d'infrastructures risquant de modifier les processus dynamiques.

En revanche, à l'échelle de l'ensemble du système estuarien plane toujours la menace du projet de construction d'un barrage sur le Corubal (M. Biville et C. Tissot, 1998 ; COBA, 1992,1990). La construction de ce barrage aurait pour conséquence de priver le delta d'une grande part de ses apports fluviaux ce qui remettrait indéniablement en cause son équilibre dynamique. En raison de l'état de guerre en Guinée Bissau depuis juin 1998, ce projet est actuellement en sommeil mais, compte tenu des intérêts financiers en jeu, il peut être relancé dès que la situation politique le permettra.

Conclusion

La carte "cinématique littorale de l'archipel des Bijagos", présentée sur l'illustration n°99, propose une synthèse réalisée à partir des trois états cinématiques observés et des trois cas retenus : stabilité, érosion et accumulation. A l'échelle de l'archipel il apparaît clairement que les formes d'accumulation sont les plus importantes par rapport à celles en cours d'érosion. Les formes stables sont peu représentées d'une manière générale.

En ce qui concerne les formes d'érosion on peut noter qu'elles sont régulièrement réparties sur l'archipel et qu'elles sont relativement ponctuelles. En raison de l'échelle de restitution certaines d'entre elles n'ont pu être représentées. Leur faible extension spatiale est à lier au fait qu'elles correspondent en général à des modifications de contextes hydroclimatiques locaux. Ce constat tant à confirmer l'hypothèse émise d'une progression générale du delta à la période actuelle.



ill. n°99 : Représentation de la cinématique littorale de l'Archipel des Bijagos

Chapitre 6 - Synthèse des formes, de la dynamique et de la cinématique du delta des Bijagos

Sur la carte de synthèse présentée sur l'illustration n°100 apparaît pleinement l'opposition entre la zone interne et la zone distale du delta. Ces deux secteurs s'opposent par leur extension, par les formes et par l'étendue générale des estrans et des bancs. Le front du delta influencé par la houle ne concerne qu'une bande étroite et la zone de transition d'influence est très courte, alors que les formes estuariennes s'étendent de l'apex à la zone distale.

6.1 la zone interne du delta

Dans la zone interne du delta quatre grands types de littoraux reflètent particulièrement bien la cinématique et la dynamique, ancienne et actuelle :

- les littoraux à mangrove simple caractérisent d'une manière générale la zone de sédimentation active de type estuarienne. Ces littoraux caractérisent les chenaux actifs internes au delta et les bolons. Seule l'étendue de la slikke bordière distingue ce type de littoraux. Elle est significative de la dynamique actuelle. Là où la slikke est étroite, on a essentiellement une accrétion verticale de la vasière tandis qu'aux endroits où elle est étendue, on a à la fois une accrétion verticale et un accroissement frontal de la forêt de palétuviers au fur et à mesure que les conditions de son implantation sont remplies.

- les cheniers qui correspondent à une alternance des apports sédimentaires fluviaux.

- les cordons dunaires situé en arrière de vasières qui sont parfois associé à une plaine a chenier comme c'est le cas à Carache. Ces derniers sont significatifs de la progression du delta.

- les littoraux sableux peu développés montrant l'importance des apports sableux fluviaux et la force des remaniements par les courant.

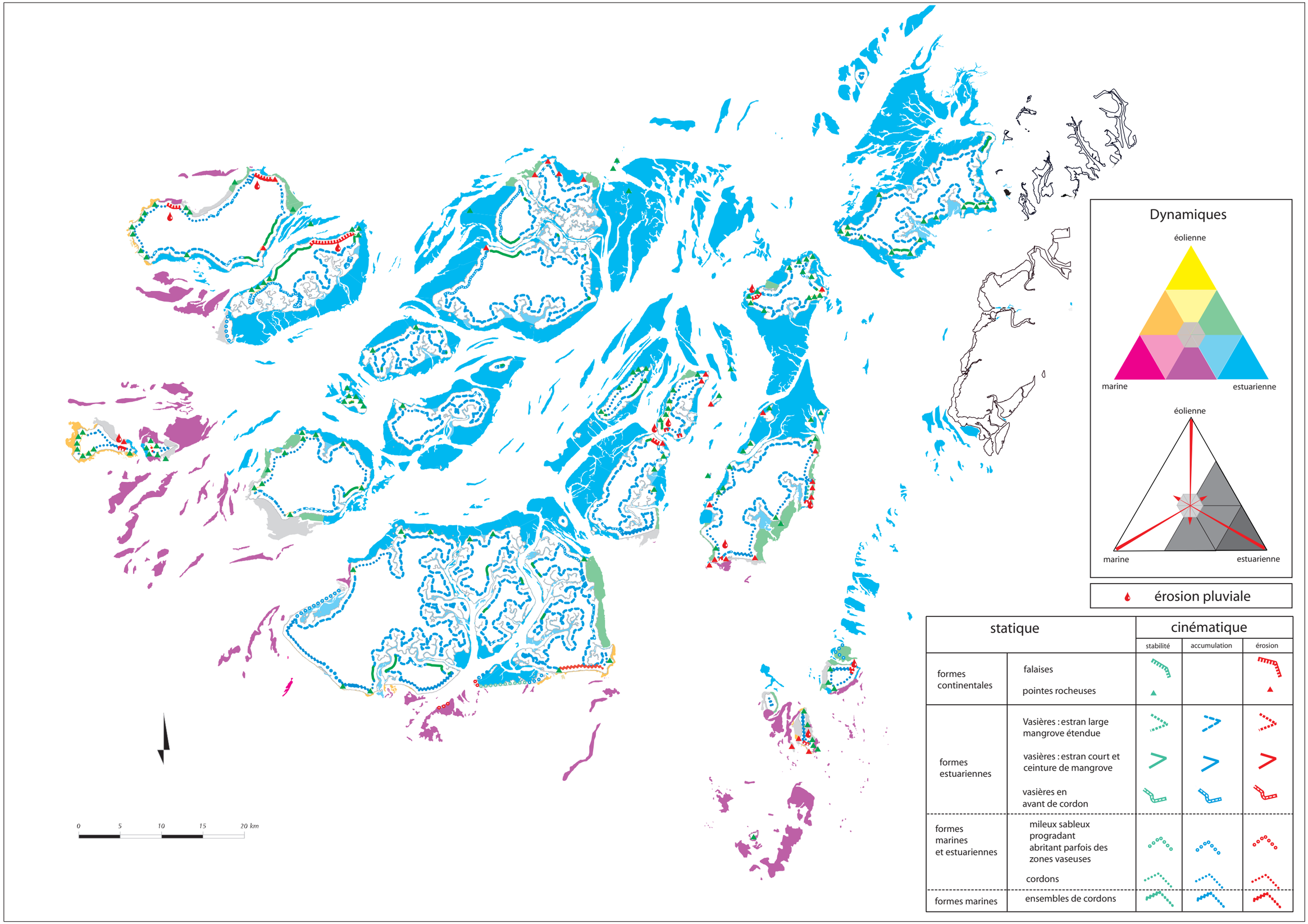
6.2 la partie distale

La partie distale du delta se caractérise par sa faible extention ces formes et sa cinématique par deux éléments :

- des ensembles de cordons étendus présentant des formes d'érosion et d'accumulation correspondant soit à des phases de leur construction soit à la modification des conditions hydrodynamique. Ces cordons constituent la véritable clés de voûte de ce littoral en permettant l'installation de vasières dans l'abri qu'elles créent.

- des bancs alignés par les courants et plus ou moins remaniées par la houle (en mauve sur la carte) qui conditionnent l'alimentation des flèches et cordons littoraux. Leur alignement par les courants de marée dans cette partie du delta montre bien que les houles sont très amorties lorsqu'elles arrivent à la côte.

Ainsi on peut retenir que le delta des Bijagos est bien dans sa dynamique et dans ses formes un delta de type estuarien.



ill. n°100 : carte de synthèse

Conclusion générale

et perspectives

Ce travail a présenté l'analyse spatiale de la dynamique de l'environnement littoral de l'archipel des Bijagos. Il a été réalisé en constituant une base d'information géographique analysable à l'échelle du 50 000ème, fondée sur la collecte de mesures réalisées sur le terrain, de documents cartographiques anciens et d'images satellitaires à haute et moyenne résolutions spatiales.

La démarche méthodologique adoptée a consisté dans l'introduction des méthodes de l'analyse spatiale en géomorphologie littorale. L'objectif était de décrire et modéliser l'évolution du littoral en montrant les liens d'interdépendance spatiale qui existent entre les ensembles morphologiques, tant au niveau local qu'à celui de l'archipel. Ces liens ont été établis en analysant, au niveau local, les relations topologiques entre les éléments constituant les toposéquences depuis les petits fonds jusqu'aux contacts terre/estran, et en étudiant les contiguïtés entre les ensembles morphodynamiques à l'échelle de l'archipel à la lumière des interactions qui s'établissent entre les différentes composantes du littoral (formes, dynamique, cinématique). Cette étude a été fondée sur l'emploi des outils de la géomatique et a comporté les éléments suivants :

Une réflexion sur la collecte de mesures de terrain à destination de l'analyse spatiale a débouché, en fonction de critères de représentativité et d'exhaustivité spatiales, sur l'adaptation de méthodes classiques utilisées en géomorphologie littorale avec :

- une normalisation du positionnement en absolu des relevés de terrain, réalisée par l'emploi d'un récepteur GPS connecté à un micro-ordinateur,
- l'emploi et l'étalonnage d'une colonne à sédimentation pour l'étude granulométrique des sables. L'usage de cet appareil autorise le traitement d'un grand nombre d'échantillons. Il facilite la reconnaissance de gradients sédimentaires ou la localisation des limites entre les différents ensembles. Cet appareil a été certifié récemment à la norme iso 2000 et devrait être prochainement commercialisé.

Le traitement des images satellitaires a consisté en l'application de méthodes de classification automatique, de filtrage et d'analyse multicritère d'images (radiométrie, texture, structure) étayé par des vérifications de terrain. Les résultats obtenus ont conduit à :

- améliorer la description des petits fonds (< 10 mètres) par classification et lissage d'image SPOT et interprétation conjointe avec une couche bathymétrique numérique. Ce travail a fondé la description des zones non encore levées comme celle des dunes hydrauliques située entre les îles de Unhocomo et Uno ou encore celle des secteurs mal représentée sur les cartes marines.
- décrire la nature sédimentaire des estrans par une classification automatique des images affinée par une analyse des voisinages. L'analyse des voisinages a pour but de définir les règles de la réaffectation automatique des structures composites et des cas d'indécision ou de confusion radiométrique.
- étudier la cinématique de certaines parties du littoral par des études diachroniques d'images.

L'analyse spatiale dans le cadre de la base d'information géographique a abouti à la conception d'une typologie dynamique des littoraux de l'archipel des Bijagos. Elle comprend la définition des opérateurs spatiaux significatifs pour l'analyse multiscalaire du littoral dans ses formes, sa dynamique et sa cinématique. L'utilisation d'une analyse multivariée en composantes multiples a fondé la description statistique des relations entre l'ensemble des paramètres utilisés pour décrire les composantes du milieu littoral. Cette analyse a montré les grandes tendances de la distribution des formations morphosédimentaires de l'archipel et a confirmé la pertinence de la mesure des liens topologiques entre ces formations. Elle a révélé l'importance de l'héritage structural dans la construction du delta par le contraste important qui oppose les secteurs rocheux aux ensembles sédimentaires.

Sur le plan de la connaissance de l'archipel des Bijagos, cette thèse avait deux objectifs :

- faire un bilan des informations disponibles et tenter de combler les principales lacunes,
- décrire les paysages littoraux de l'archipel dans une perspective dynamique.

Les informations concernant cette partie de la côte d'Afrique de l'Ouest sont principalement fournies par des descriptions à l'échelle régionale de la géologie ou de l'action des agents dynamiques. Cet archipel occupe une position très particulière en Afrique de l'ouest :

- à la limite méridionale du Bassin Sénégalo-Mauritanien, séparé du reste du bassin par la discontinuité profonde de Kidira-Farim,
- dans la zone de rencontre des dérives littorales ouest africaines.

Les résultats qui ont été obtenus ne permettent pas de contribuer à l'analyse de la subsidence et de mesurer l'impact de l'accrétion du delta sur cette dernière. Par ailleurs, ne disposant pas de mesures quantitatives sur les charges solides apportées par les fleuves, il est impossible d'établir le budget sédimentaire de l'archipel dans la perspective du relèvement à long terme du niveau marin.

Du point de vue des formes, ce travail a montré que l'archipel constitue la partie émergée d'un delta de type estuarien très particulier. Les deltas estuariens sont habituellement localisés dans des mers sans marées ou alimentés par des fleuves très gros pourvoyeurs de sédiments. Or il ne s'agit pas du cas de l'archipel :

- le marnage dépasse 7 m dans le rio Geba et atteint 4 m dans l'archipel, plus fortes valeurs enregistrées en Afrique de l'Ouest,
- le principal pourvoyeur de sédiments est le rio Corubal dont le débit est de 312 m^3/s soit à peine plus du millième de celui du Mississipi.

L'explication de la présence du delta des Bijagos réside dans l'extension de la plate-forme continentale et de la combinaison des agents dynamiques à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest qui en font un vaste piège à sédiments. Les influences estuariennes du delta sont donc majoritairement définies par le rôle des courants de marée, la houle se faisant sentir à deux échelles : par une influence directe locale limitée au front du delta et par une influence indirecte à l'échelle du sous-continent dans la rencontre des deux dérives littorales nord et sud d'Afrique de l'ouest.

Bien qu'il s'agisse d'un delta très particulier, il présente une organisation spatiale typique avec une opposition entre le schéma radial du delta "rivage-fluvial" organisé par les courants et la disposition concentrique des formations marines caractérisant le delta "rivage-marin". Cette distinction des formes construites exprime la dynamique actuelle et à long terme du delta avec :

- une zone interne dont la dynamique est commandée par la marée. C'est la zone privilégié de la sédimentation avec la construction de vastes estrans colonisés par la mangrove. Elle est caractérisée par une dynamique spatiale faible mais est visiblement sujette à un exhaussement. La sédimentation, de type sableux et sablo-vaseux, caractérise un milieu relativement dynamique avec une pénétration de la houle par les principaux chenaux. Ce type de sédimentation est aussi significatif de la progradation du delta et de l'alternance des apports avec la construction de cheniers.
- La zone distale qui se caractérise par la construction de cordons et une grande mobilité des formes construites. Cette grande dynamique est liée :
    - à la dynamique des formations prélittorales qui modifie le sens de propagation de la

houle.

- à l'action des tempêtes tropicales (il n'existe pas de mesures permettant de quantifier cette action)

La limite de l'influence dynamique entre la houle et la marée s'étend sur un gradient très court dans la partie distale du delta ainsi que l'indique la présence de dunes hydrauliques dans ce secteur.

Les résultats de cette thèse seront utilisés pour la réalisation d'une carte de synthèse de l'environnement de l'Archipel des Bijagos, publiée courant 1999 par le laboratoire Géosystèmes (ill. n° 101). Au-delà de son utilisation pour la description de l'environnement littoral et de son exploitation cartographique, la base d'information géographique qui a été constituée représente aujourd'hui un outil pertinent pour la planification côtière et la gestion de la réserve de biosphère de l'archipel. L'emploi de requêtes d'analyse spatiale fournira les informations utiles à la définition de projets de développement ou d'implantations touristiques présentant les meilleures garanties de l'exploitation durable des ressources paysagères.

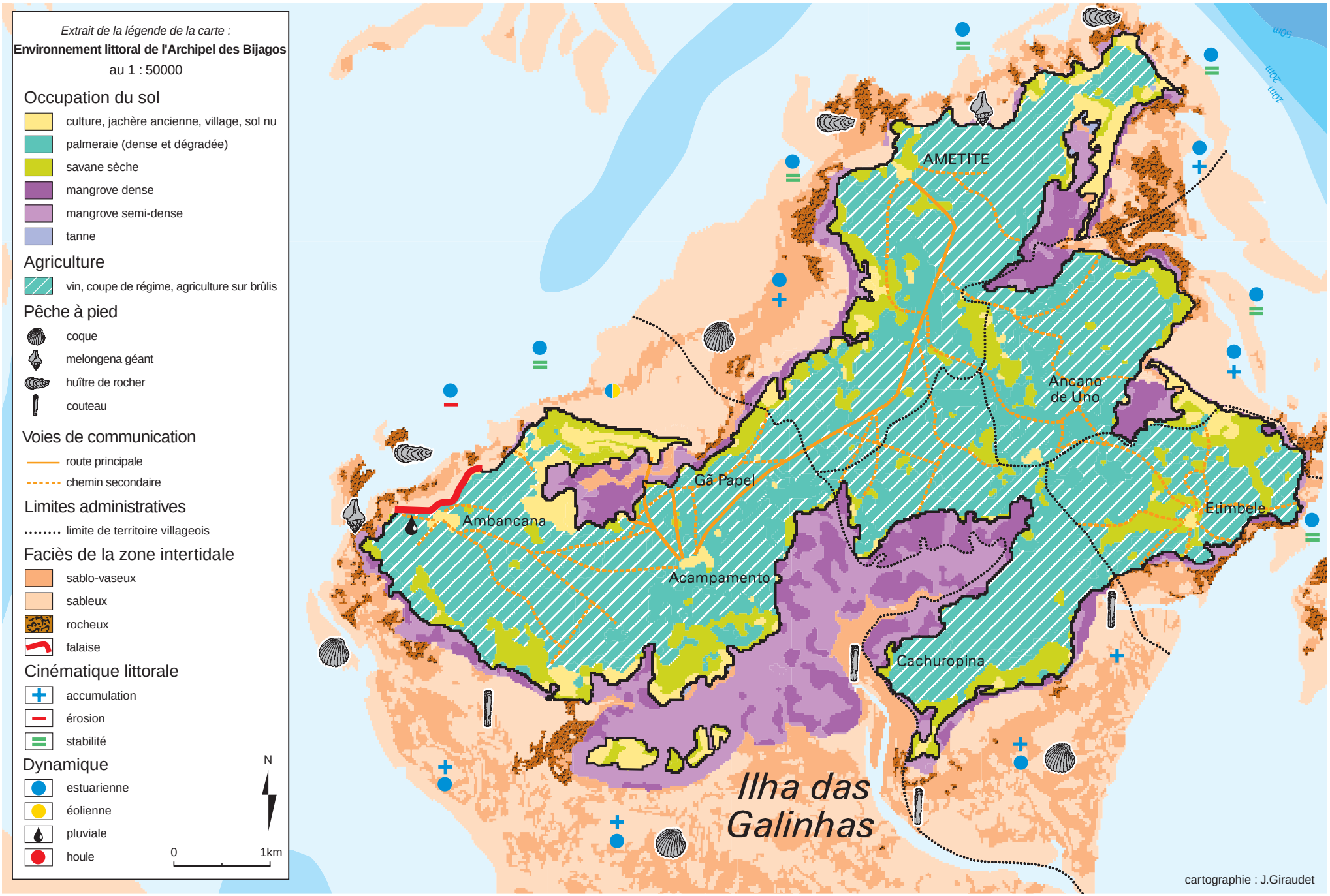
Les perspectives de recherche

Par ses conclusions thématiques et sa démarche méthodologique, cette étude doit être replacée dans la perspective plus générale de l'analyse à long terme de l'évolution de l'environnement côtier d'Afrique de l'Ouest. Outre l'analyse des changements physiques du milieu, il est nécessaire, après une quarantaine d'années d'indépendance de la plupart des pays côtiers ouest-africain, d'établir un bilan de l'évolution des usages et de leur impact sur le milieu, face aux grands phénomènes climatiques, politiques et économiques. (F. Cuq et P. Campredon, 1997). Exploiter les ressources renouvelables dans une perspective durable nécessite de comprendre le fonctionnement des grands ensembles côtiers et d'analyser leurs niveaux d'interdépendance afin de favoriser une approche régionale de la planification des côtes ouest-africaines.

Cette côte évolue en effet à un rythme accéléré depuis une cinquantaine d'années sous l'influence des variations climatiques, des dynamiques marines mais aussi des réponses des sociétés humaines aux modifications de l'environnement . Les conflits d'usage et les pressions nouvelles, les divers niveaux de décision, de gestion et de protection qui peuvent exister constituent donc un

---

ill. n°101 : Extrait de la carte de synthèse de l'environnement de l'Archipel des Bijagos (p. 177)


Extrait de la légende de la carte :
Environnement littoral de l'Archipel des Bijagos
au 1 : 50000
Occupation du sol
culture, jachère ancienne, village, sol nu
palmeraie (dense et dégradée)
savane sèche
mangrove dense
mangrove semi-dense
tanne
Agriculture
vin, coupe de régime, agriculture sur brûlis
Pêche à pied
coque
melongena géant
huître de rocher
couteau
Voies de communication
route principale
chemin secondaire
Limites administratives
limite de territoire villageois
Faciès de la zone intertidale
sablo-vaseux
sableux
rocheux
falaise
Cinématique littorale
accumulation
érosion
stabilité
Dynamique
estuarienne
éolienne
pluviale
houle
N
0
1km
AMETITE
Ancano de Uno
Gã Papel
Ambancana
Acampamento
Etimbele
Cachuropina
Ilha das Galinhas
50m
10m
20m
cartographie : J.Giraudet

important facteur de l'évolution de la zone littorale.

Pour ce faire, il serait intéressant d'analyser :

- la circulation des masses d'eau avec le suivi de l'impact des upwelling côtiers qui conditionnent la productivité et la biodiversité de la zone côtière, avec des sites phares comme le golfe d'Arguin, l'estuaire du Saloum, l'archipel des Bijagos et le littoral guinéen.
- l'érosion côtière particulièrement active au Sénégal et en Gambie, en réalisant des bilans par le suivi de sites tests représentatifs au niveau régional. L'origine des processus d'érosion pourra être abordée avec :
    - le suivi des panaches de turbidités des estuaires côtiers,
    - l'étude des dérives littorales locales et l'élaboration de bilans régionaux, par l'étude de l'impact des houles à la côte,
    - l'évaluation du rôle des barrages actuels ou en projet dans la modification de la fourniture des sédiments,
    - la modélisation des variations à long terme du niveau marin et la définition de scénarios probables d'évolution,
    - l'étude des modifications des usages du littoral par le suivi du développement des centres d'activité (villes côtières, implantations touristiques) et de l'utilisation du sol (exploitation des forêts de palétuviers)

Du point de vue méthodologique, l'apport de l'analyse spatiale à la compréhension des mécanismes littoraux constitue un champ vaste encore à peine exploré. Dans ce domaine, outre les techniques de mesures *in situ*, le traitement des images à différentes résolutions devrait fournir une bonne description des phénomènes qui régissent la dynamique littorale.

Le traitement d'images satellitaires faciliterait le suivi de la dynamique des paysages côtiers par :

- l'utilisation d'images AVHRR, SeaWifs et MODIS pour l'analyse des températures de surface et de la couleur de l'eau,
- l'étude diachronique de photographies aériennes, d'images SPOT en mode panchromatique et multibande pour le suivi d'évolution des formations d'une certaine ampleur,
- l'étude de la réfraction des houles à la côte par l'analyse des ensembles morphosédimentaires à partir d'images SPOT et SAR. De même, il serait intéressant d'utiliser la complémentarité radar/optique pour la détection des ensembles morphosédimentaires,
- l'analyse d'images SPOT pour le suivi des changements d'usages des terres littorales.

La réflexion menée sur l'établissement de relations de continuités en zone littorale est aussi un champ d'étude dont nous avons juste effleuré les possibilités dans cette thèse et qui serait particulièrement intéressant d'intégrer dans une démarche de modélisation quantitative des agents de la dynamique et de la sédimentologie en couplant l'emploi d'un modèle hydrodynamique avec une base d'information géographique. L'objectif serait d'aboutir à une meilleure compréhension des processus dynamiques de la côte d'Afrique de l'Ouest.

BIBLIOGRAPHIE

AGARDY T. (1991).- Maximizing sustainable development and conservation in the Bijagos Archipelago ; coastal biosphere reserve plan. WWF-US/IUCN-Wetland Programme/MDRA-DGFC-Gab. Planif. Costeira, photocop. Bissau

ALBERGEL J. et PEPIN Y. (1990) Etude d'évaluation et d'inventaire des ressources en eau de surface, rapport d'avancement n°1, réseau hydrologique et banques de données. ORSTOM, projet GBS/87/002, Assistance à la Direction Générale des ressources Hydrauliques, Dakar, 112 p.

ALLEN G. P., LAURIER D. ET THOUVENIN J. (1979).- Etude sédimentologique du delta de la Mahakam. notes et mémoires ; total, C.F.P., n°15, 156 p.

ANDREINI J.C. et LAMBERT M. (1978).- La Guinée Bissau : d'Amilcar Cabral à la reconstruction nationale, Paris ed. l'Harmattan, 210 p.

ANTHONY E. J. (1990).- Environnement, géomorphologie et dynamique sédimentaire des côtes alluviales de la Sierra Léone (Afrique de l'ouest). *Revue de Géographie du laboratoire d'analyse spatiale Raoul Blanchard*. n°27-28, Thèse de doctorat d'Etat, univ. Sophia Antipolis, Nice, France, 189 p.

ANTHONY E. J. (1995).- Beach-ridge development and sediment supply : examples from West Africa. *Marine Geology* n°129 p.175-186.

AUBRY M.P. et ROUVILLOIS A. (1974).- Application du microscope électronique à balayage (M.E.B.) à la paléontologie et à la sédimentologie. *Travaux du laboratoire de micropaléontologie* n°3, Université de Paris VI, p.193-222.

AUGUSTINUS P.G.E.F.(1989).- Cheniers and cheniers plains : a general introduction. *Marine Geology* n°90, p. 269-281.

AXELSSON V. (1967).- The Laitaure Delta, a study of deltaïc morphology and process. *Geografista Annaler*, vol. 49, n°1, 167p.

BALTZER F. et LAFOND L.R. (1971).- Marais maritimes tropicaux. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, vol. XIII, Fasc. 2, Avril-Mai, Paris, p.173-196.

BALTZER F. et LE RIBAULT L. (1971).- Néogenèse de quartz dans les bancs sédimentaires d'un delta tropical. Aspects des grains en microscopie électronique et optique.. *C.R. Acad. Sc.* Paris, t.273, juin, p.1083-1086.

BARBAROUX L., BOUSQUET B., BROSSE R., DA NOBREGA-COUTINHO P. et JOVIC P. (1972).- Examen au microscope électronique à balayage de grains de sable de diverses origines. Essai de typologie, signification environnementale, *Bulletin du BRGM*, deuxieme série, section IV, n°4, p. 3-31

BARELL J. B. (1912). Criteria for recognition of ancient delta deposits. *Bull. Geol. Soc. Amer.* vol n° 23, p. 337-446.

BARTLETT D., DEVOY R., McCALL S. et O'CONNELL I. (1997).- A dynamically segmented linear data model of Coast. *Marine Geodesy*, Taylor et Francis, n°20, p. 37-151.

BAUDOIN Y. (1996).- L'aide aux P.V.D. du continent africain en matière de systèmes d'information géographique : quelques réalités. *Revue internationale de géomatique*., vol.6-n°1, p. 93-126.

BAUDRY J. (1992).- Approche spatiale des phénomènes écologiques : détection des phénomènes d'échelles? *In* Hiérarchies et échelles en écologie. ed. Naturalia, Cahors, p. 9-16 et 157-172.

BERRIT G.R. (1977).- Le milieu marin de la Guinée-Bissau. ORSTOM, Paris. 153 p.

BERRIT G.R. (1973).- Recherches hydroclimatiques dans les régions côtières de l'Atlantique tropical oriental état des connaissances et perspectives. *in Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 3° série, n°148, mai-juin, écologie générale, p. 85-99.

BERTHOIS L. (1949).- Remarques sur la statistique granulométrique dans l'étude des sables. *Circulaire du centre de recherches et d'études océanographiques*, Paris, novembre, n°3, p. 1-26.

BERTHOIS L. (1967).- La sédimentation en période de crue dans le fleuve Konkouré (République de Guinée) *in revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, mai-juin, vol IX, fasc. 3, p. 253-262.

BERTHOIS L. (1975).- Etude sédimentologique des roches meubles, ed. Doin, Paris, 277 p.

BERTHOIS L. et AUBERT M. (1951).- Les effets de broyage sur les sables à éléments organogènes calcaires au cours des tamisages mécaniques. *Annales de la Société Géologique Française*, tome 71, p. 172-186.

BERTRAND F. (1993).- Contribution à l'étude de l'environnement et de la dynamique des mangroves de Guinée, données de terrain et apports de la télédétection. ed. ORSTOM, coll. études et thèses, Paris, 201 p.

BIVILLE M. et TISSOT C. (1998).- Projet de construction d'un barrage sur le rio Corubal (Guinée-Bissau), constitution d'un Modèle numérique de terrain et approche des impacts sédimentaires. mémoire de DEA de géomorphologie et aménagement des littoraux, Laboratoire Géosystèmes, UBO, Brest, 71 p.

BIROT P. (1981).- Les processus d'érosion à la surface des continents. Masson, 607 p.

BLASCO F. (1991).- Les mangroves. *La Recherche*, n°231 avril, p. 444-453.

BLANC J.J. (1981).- Sédimentation des marges continentales, actuelles et anciennes. Masson, Paris, p. 90-119.

BOILLOT G. (1990).- Géologie des marges continentales. Masson, Paris 3ème édition, 135 p.

BONN F. et ROCHON G. (1992).- Précis de télédétection,. AUPELF, Presses de l'Université du Québec, Vol n°1, 485 p.

BONN F. (1996).- Précis de télédétection, applications thématiques. AUPELF, Presses de l'Université du Québec, Vol n°2, 633 p.

BOTTON S., DUQUENNE F., EGELS Y., EVEN M. et WILLIS P. (1997).- GPS, localisation et navigation. Conseil National de l'Information Géographique, Groupe Positionnement Statique et Dynamique, Hermès, 159 p.

BRAVARD J.P., PETIT F. (1997).- Les cours d'eau, dynamique du système fluvial. Armand-Colin, Paris, 22 p.

BRIGAND L. (1988). Un programme de recherche interdisciplinaire sur les îles du Ponant : l'Observatoire des changements écologiques, économiques et sociologiques. *in Bull. Ass. des Géog. Franç.*, Paris, vol. 3, p. 259-270.

BROUSSARD M.I. (1975).- Deltas, models for Exploration. Houston Geological Society. Ed Broussard, 556 p.

BUCHANAN J.B. (1984).- Sediment Analysis. Methods for the study of marine Benthos. Seconde édition, ed. Galliard L.t.d. Great Garmouth Norfolk, 387 p, p. 41-65.

CABRAL MARQUES DE BEJA NEVES J. et DE ARAUJO COUTINHO J. (1961).- Transports solides en suspension et déposés dans le fleuve Géba en Guinée Portugaise, emploi des résultats obtenus. Conférence Interafricaine sur l'hydrologie,CCTA, Nairobi, p. 239-246.

CADET D.L. (1988). Prévision du temps : une éclaircie sous les tropiques. *La Recherche*, 19, 195, p. 118-120.

CAILLEUX A. et TRICART J. (1963).- Initiation à l'étude des sables et des galets. Centre de documentation universitaire, Paris, 369 p.

CARTER R.W.G. (1988).- Coastal environments. Academic Press, London, 617 p.

CHABOUX C. (1994).- Les activités économiques dans les littoraux à mangroves du Sénégal à la Sierra Léone : la filière des produits halieutiques. *in Actes de l'atelier de Dakar du 8 au 15 mai : Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des Rivières du Sud (du Sénégal à la Sierra Léone)*. p. 171-184.

CHAMLEY H. (1987).- Sédimentologie. Géosciences Dunod, Bordas, Paris, 175 p.

CHAMPOUX P. et BEDARD Y. (1992).-Notions fondamentales d'analyse spatiale et d'opérateurs spatiaux. *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale* vol.2, n°1 p. 187-208.

CHEYLAN J.P., MIELLET J.P. et WANIEZ P. (1993). Les Systèmes d'Information Géographique : un état de l'art. *Revue internationale de géomatique* vol. n°4, p.1-2.

CIPA (1997a).- Resultados da Pesca Experimental no Archipélago dos Bijagos, Rio Grande de Buba e Rio Cacine. *Documento Cientifico* n°9. Bissau.

CIPA (1997b).- Capturas da Pesca Artesanal, Rio Grande de Buba (Abril de 1995/Abril de 1997). *Documento Cientifico* n°8. Bissau.

COBA (1992).- Aménagement hydroélectrique de Saltinho. BAD, Coba consultores de engenharia, Bissau, 146 p.

COBA , MDRNI (1992).- Aménagement hydroélectrique de Saltinho, dossier de synthèse. Coba, Consultores para Obras, barragens e planeamentos, Ministère des Ressources Naturelles et de l'Industrie, Lisbonne, 45 p.

COBA (1990).- Etude de l'impact sur l'environnement de la construction du barrage de Saltinho, Coba, Consultores para Obras, barragens e planeamentos, Lisbonne, 23 p.

COI (1997).- Guide méthodologique de la zone côtière. *Manuels et guides* n°36, UNESCO, 47 p.

COLEMAN J.M. et GALIANO S.M. (1965).- Sedimentary structures Mississipi River deltaïc Plain. Coastal Studies Institut, Louisiana State University, Baton Rouge n° 16, pp 133-265.

COLEMAN J.M. et WRIGHT L.O. (1974).- MISSISSIPI river mouth processes, effluent dynamics and morphology development. *Journ. Géol.* 82, p.751-778.

COLEMAN J.M. et D. PRIOR (1980).- Deltaic sand bodies. Education course note séries #15, AAPG, Coastal Studies Institut, Louisiana State University, Baton Rouge,171 p.

CORMIER-SALEM M.C. (1994).- Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des rivières du sud, du Sénégal à la Sierra Leone. *Actes de l'atelier de travail de Dakar du 8 au 15 mai 1994*, ORSTOM ed., coll. Colloques et Séminaires, Paris, 353 p.

CORMIER-SALEM M.C. (1996).- Les littoraux à mangrove, des régions fragiles? *Actes du coll. Dynamique et usage des ressources renouvelables*, ORSTOM ed., Orléans, 16 et 17 octobre 1996, p. 173-183.

C.R.A.D. et S.U.C.O. (1980) Le développement rural intégré de la région de Bolama, République de Guinée-Bissau, rapport de la phase 1: études et propositions préliminaires, Québec, 329 p.

C.R.A.D. et S.U.C.O. (1982) Le développement rural intégré de la région de Bolama, République de Guinée-Bissau, 3 volumes, Québec.

CUQ F. (1979).- Guinée Bissau, présentation générale et utilisation des données landsat I et II. Mémoire de maîtrise en géographie, UBO, Brest, 104p. + annexes.

CUQ F. (1983).- Télédétection du littoral Saintongeais, méthodes de traitement d'images satellitaires. *Coll. de l'Ecole Normale Supérieure de jeunes filles* n°23, Paris, 192 p.

CUQ F. (1993 a).- Les systèmes d'information environnementale. ICALPE, p. 63-68.

CUQ F. (1993 b).- Remote sensing of sea surface and coastal features in the area of the Golfe d'Arguin, Mauritania. *Hydrologia*. n°258, Belgique, p. 33-40.

CUQ F., MADEC V. et GOURMELON F. (1993 c).- Planification côtière de Guinée-Bissau. vol. 2, 3 cartes ht : l'occupation des sols de Guinée Bissau , au 1 : 200 000 (4 feuilles A1) ; carte des unités physiographiques, au 1 : 500 000 (1 feuille A1) ; carte de l'environnement socio-économique, au 1 : 500 000 (1 feuille A1). UICN/DGFC-MDRA, traduit en français, anglais et portugais.

CUQ F. et GOURMELON F. (1996).- L'intégration des données satellitaires au sein de bases d'information géographique, *Revue de géomatique*, n°4, p. 349-363.

CUQ F., MADEC V. et GOURMELON F. (1996).- Mise à jour de la carte d'occupation des sols des provinces côtières de Guinée-Bissau. *Mappemonde,* n°4, p. 21-26.

CUQ F. et CAMPREDON P. (1997) Analyse spatiale de l'environnement côtier de l'Afrique de l'Ouest. *in Actes des VIIèmes journées de Géographie tropicale iles et littoraux tropicaux*, Brest, sept. 1997, p. 232-236.

DAVIES J. L. (1972). Geographical variation in coastal development. Edinburgh, p. 43.

DAVIES J. L. (1980).- Geographical variation in coastal development. Longman, London, 212 p.

DAVIS F.W. et SIMONETT D. S. (1991).- GIS and Remote sensing. *in Geographycal Information Systems*, principles and applications. ed Longman Scientific and Technical, sous la direction de D. J. Maguire, M.F. Goodchild et D. W. Rhind, vol. n°1 principles, p. 191-213.

DEME-GNINGUE I., DIOUF P.S. et ALBARET J.J. (1994).- le Rio Buba : environnement et peuplement de poissons. CRODT/ORSTOM, Dakar, Sénégal, 56 p.

DERRUAU M.(1974).-Précis de géomorphologie. Masson, 6è édition, 453 p.

DESFONTAINES P. (1951).- Le delta de l'Ebre : étude de géographie humaine. Comptes rendus du congrès international de géographie, Lisbonne, vol. n°3, p. 525-546.

DIAW A.T. (1997).- Evolution des milieux littoraux du Sénégal, géomorphologie et télédétection. Thèse de doctorat d'état ès lettres, Université Paris 1, Panthéon Sorbonne, UER 08, géographie, 242 p.

DIAW A.T., BA A., BOULAND P. DIOUF P.S., LAKE L.A, MBOW M.A., NDIAYE P. et THIAM M.D. (1993).- Gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal. *Actes de l'atelier de Gorée du 27-29 juillet 1992*, UICN, Gland, Suisse, 476 p.

DIOP E.S., LEZINE A.M., BARUSSEAU J.P., GIRESSE P. FAURE H., SAOS J.L. et al. (1984).- Environnements sédimentaires marins au cours du Quaternaire récent sur la marge atlantique de l'Afrique. Communication au 5ème Congrès Européen de Sédimentologie, Marseille.

DIOP E.S. (1990).- La côte ouest-africaine, du Saloum (Sénégal) à la Mellacorée (Rep. de Guinée). ed. ORSTOM, coll. études et thèses, 379 p.

DIOP E.S. (1985).- The Coastal areas of Guinea Bissau and Republic of Guinea (R.P.R.G.) Geographical studies, in The World's Coastline Encyclopedia ed. E.C.F. Bird et M. L. Schwartz. Van Nostrand Reinhold Compagny, New York, 561-567 p.

DIOP E.S. et SALL M. (1986).- Estuaires et mangroves en Afrique de l'Ouest : évolution et changements, du Quaternaire récent à l'actuel. Symposium ASEQUA/INQUA. vol. spécial Symposium Global, ORSTOM, *Travaux et Documents*, Paris, n°197, 540 p.

DIOUF P.S., DEME-GNINGUE I. et ALBARET J.J. (1994). - L'Archipel des bijagos : Environnement aquatique et peuplements de poissons. CRODT/ORSTOM/CECI/Ministère des pêches de Guinée Bissau. 87 p.

EHLERS M. EDWARDS G. BEDARD Y. (1989).- Integration of Remote Sensing with geographic Information System : a necessary evolution. *Photogrammetric Engineering Remote Sensing*, 55, p. 1619 -1627.

ESCOFIER B. et PAGIÈS J. (1990).- Analyses factorielles simples et multiples, objectifs, méthodes et interprétation. Dunod, 274 p.

FAURE H. et ELOUARD P. (1967).- Schéma des variations du niveau de l'Océan Atlantique sur la côte de l'Ouest de l'Afrique depuis 40 000 ans. Compte Rendu de l'Académie des Sciences, Paris, t 265, p.784-787.

FOUCART T. (1997).- L'analyse des données, mode d'emploi. coll. DIDACT statistique, PUR, Rennes, 188 p.

FURUKAWA K. , WOLANSKI E. et MUELLER H. (1997) - Currents and Sediment Transport in Mangrove Forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, n°44 (1997), p.301-310.

FURUKAWA K. et WOLANSKI E. (1996) - Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves and Salt Marshes*, vol.1, n°1 (1996), p.3-10.

GALICHON P. et MAKOWSKI Z. (1993).- Détermination des vitesses de chute à l'aide de la balance sédimentométrique, description et mode d'emploi de l'appareil. SOGREAH Ingénierie, 19 p.

GALLOIS-DUQUETTE D.(1979).- Dynamique de l'art Bidjogo (Guiné-Bissau), contribution à une anthropologie de l'art des sociétés africaines. Thèse de IIIe cycle, Université Paris 1, 285 p.

GARCIA S.M. et KAPETSY J.M (1991).- GIS applications for fisheries and aquaculture *in* FOA. The Future Shoreline Management Conference Papers, National Rivers Authorithy, Anglian Region, UK, 17-18 oct.

GARLANT T. (1993) Innovation dans le domaine de la cartographie marine au SHOM. *Revue hydrographique internationnale*, Monaco, LXX p.109-126.

GIRARD M.C. et GIRARD C.M. (1989).- Télédétection appliquée, zones tempérées et intertropicales. Coll. Sciences Agronomiques, Masson, Paris, 260 p.

GOURMELON F. et PENNOBER G. (1998).- BIJASIG, un outil d'analyse de l'environnement et d'aide à la planification côtière de l'Archipel des Bijagos (Guinée -Bissau). *in Actes des VIIèmes journées de Géographie tropicale iles et littoraux tropicaux*, Brest, sept. 1997, p. 253-260.

GOUROU P. (1970).- l'Afrique. Hachette.

GREEN E. P., MUMPHY P. j., EDWARDS A.J. et CLARK C. D. (1996).- A review of remote sensing for the assessement and management of tropical Coastal Resources. *Coastal Management*, ed Paylor et Francis,vol 24, p. 1-40.

GRENIER A. et DUBOIS J.M.M. (1992). - Evolution littorale récente par télédétection : synthèse méthodologique. *Photo-Interprétation*, n°1990-6, Paris, p. 3-16.

GROUPE CHADULE (1994).- Initiation aux pratiques statistiques en géographie. coll géographie, Masson 3ème édition, Paris, 203 p.

GUILCHER A. (1954). - Morphologie littorale et sous marine. P.U.F., coll. ORBIS, 216 p.

GUILCHER A. (1954).- Rapport sur les causes de l'envasement du Rio Kapatchez (Guinée française.gav. gén. A.O.F. Service Hydraulique, 29 p.

GUILCHER A. (1954).- Dynamique et morphologie des côtes sableuses de l'Afrique Atlantique. *Cahiers de l'Information Géographique*, Paris, Baillère, p. 57-68.

GUILCHER A. (1965).- Précis d'hydrologie marine et continentale. Masson, Paris, 389 p.

GUILCHER A. (1979).- Marshes and estuaries in different latitudes. I*nterdiciplinary Science Reviews*, vol 4, p.158-168.

GULINK M. (1943).- Sur la précision des analyses granulométriques par tamisage. *Bulletin de la Société Belge de géologie Paléontologie hydrologie*, tome 2, fascicule n°2, p. 206-213.

GUPTA A. (1993).- The changing geomorphology of the humid tropics. *Geomorphology*, n°7 Elsvier Science Publishers, Amsterdam, p.165-186.

HADJOUIS A. (1987).- Granulométrie des fractions sableuses. *in* Géologie de la préhistoire : méthodes, techniques, applications, sous la direction de J. C. Miskovsky, ed. A.E.E.G.P., Paris, p. 413-437.

HAMILTON L. S. et SNEDAKER S. C. (1984) - Handbook for mangrove area management. Honolulu, EWC, UICN, Unesco, PNUE.

HENRY C. (1989).- Marinheiros Bijogós : passado e presente. *Sorondo, revista de estudos guineenses*, n°8, INEP, Bissau, p. 25-46.

HOLLIGAN P.M et de BOOIS H. (1993).- Land-Ocean interactions in costal zone (LOICZ), *Science plan. IGBP/ICSU*, report n° 25, Stockholm 50 p.

HUGHES R.H. et HUGHES J.S. (1992).- Répertoire des zones humides d'Afrique. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume Uni / PNUE, Nairobi, Kenya / CMSC, Cambridge, Royaume Uni, p. 350-353.

JOLY G. (1986).- Traitements de fichiers image. Télédétection satellitaire 3, Paradigme, 137 p.

JONES E.J.W. et MGBATOGU C.C.S. (1982).- The structure and evolution of the West African continental margin off Guinée Bissau, and Sierra Leone. *in The Ocean Floor*, Londres, 318 p. p.165-202.

KELLEY J.T., DICKSON S. M. et BELKNAP (1996).- Maine's History of Sea-level changes. Maine Department of Conservation and Department of Geologycal Sciences University of Maine.

KRANENBURG C. (1992).- On the precision of sedimentation balance measurements. report n°1-92, *Département d'ingénierie civile, section Hydrodynamique, Université Technologique de Delft*, Delft, Pays-bas, 17 p.

KUIJPER C., CORNELISSE J. M., et WINTERWERP J.C. (1992).- Méthodology and accuracy of measuring physico-chemical properties to caracterize cohesive sediments. Cohesive Sediments. report n° 39-92, *Delft Hydraulique, Université Technologique de Delft*, Delft, Pays-Bas, 20 p.

LAFOND L. R. (1967).- Etudes littorales et estuariennes en zone intertropicale humide, thèse d'état ès Sciences naturelles, Faculté des Sciences d'Orsay, 794 p.

LARRAS J. (1965).- Embouchures, estuaires, lagunes et deltas. coll. du centre de recherche et d'essais de Chatou, Paris, 171 p.

LEGIGAN P. et LE RIBAULT L. (1987).- Exoscopie des quartz : application à la reconstitution des environnements sédimentaires. in *Géologie de la préhistoire* : *méthodes, techniques, applications*, sous la direction de J. C. Miskovsky, Paris, p. 499-517.

LEGROS J.P. (1996).- Cartographies des sols, de l'analyse spatiale à la gestion des territoires. PPUR, Lausanne, 321 p.

LE RIBAULT L. (1971).-Comportement de la pellicule de silice amorphe sur les cristaux de quartz en fonction des différents milieux évolutifs. *C.R. Acad. Sc.* Paris, t.272, mai, p. 2649-2652.

LE RIBAULT L. (1971).- Présence d'une pellicule de silice amorphe à la surface de cristaux de quartz des formations sableuses. *C.R. Acad. Sc.* Paris, t.272, avril, p.1933-1936.

LE RIBAULT L. (1972).- Exoscopie : caractères distinctifs des quartz à évolution marine. *C.R. Acad. Sc.* Paris, t.275, août, p. 735-738.

LE RIBAULT L. (1972).- Exoscopie : caractères distinctifs des quartz à évolution fluviatile. *C.R. Acad. Sc.* Paris, t.274, ,juin, p. 3190-3193.

LE RIBAULT L. (1974).- L'exoscopie, méthode de détermination de l'histoire géologique des quartz détritiques. rev. de géographie physique et de géologie dynamique, vol. n° XVI, fasc. 1, Paris, p.119-130.

LEROUX M. (1983).- Le climat de l'Afrique tropicale. editions Champions, Paris, 631 p, vol 2.

LIEBIG W. (1994).- Protecting the environment : GIS and the Wadden sea. *Europe's Geographical Information Systems magazine*, Vol. 3, n°2, p. 34-36.

LIGER J. L. (1980).- Structure profonde du bassin côtier Sénégalo-Mauritanien, interprétation de données gravimétriques et magnétiques. *Travaux des Laboratoires des Sciences de la Terre*, série B, n°16, Saint Jérôme, Marseille, p. 1-14.

LIMOGES B. (1989).-Résultats de l'inventaire faunique au niveau national et propositions de modifications de la loi sur la chasse. rapport MRDA/CECI/UICN, Bissau, 145 p.

LIMOGES B. et ROBILLARD M.J. (1991).- Proposition d'un plan d'aménagement de la réserve de la biosphère de l'archipel des Bijagos. Ministerio do Desenvolvimento rural e da Agricultura, *Direcca geral dos servicos florestais e caca*, CECI, UICN, vol. n° 3, 107 p.

LYSENGA D.R. (1978).- Passive Remote sensing techniques for mapping depth and bottom features. *Applied Optics*, vol. 17 n°3, p. 379-383.

MAHÉ G. (1993).- Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique, étude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelles, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. ORSTOM, coll. études et thèses, Paris, 312 p.

MAMEDOV V. (1980) Geologia e minerios da republica da Guiné-Bissau. Comissariado de estudo dos recursos Naturais Direcçao de geologia e Minas. Bissau, p.1-52.

MARITONERA S. (1996).- Remote sensing water attenuation in coral reefs : a case study in French Polynesia. *International Journal of Remote Sensing*, n° 17, p. 155-166.

McMASTER R.L. et LACHANCE T.P. (1969).- Northwestern African continental shelf sediments. *Marine Geology,* vol.7, n°1, February 1969, p. 57-67.

McMASTER R.L., de BOER J. et ASHRAF A. (1970). - Magnetic and seismic reflection studies on continental shelf of portuguese Guinea, Guinea and Sierra Leone, (West Africa). *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 54 (1), p. 158-167.

McMASTER R.L., LACHANCE T.P. et ASHRAF A. (1970). - Continental shelf geomorphology features of portuguese Guinea, Guinea and Sierra Leone, (West Africa). *Marine Geology* vol 9 n°3, p. 203-213.

McMASTER R.L., MILLIMAN J.D. et ASHRAF A. (1971). - Continental shelf upper slope sediments of portuguese Guinea, Guinea, and Sierra Leone, West africa. *Journal or Sedimentary Petrology*, vol. 41, no. 1, figs. 1-5, Mars, p. 150-158.

MADROLLE C. (1895).- En Guinée Occidentale d'Afrique, Casamance, Guinée portugaise..., Paris, Libr. H. Le Soudier, 407 p.

MARETTI C.C. et SALES R.R. (1994).- Planification côtière en Guinée Bissau. UICN/DGFC-MDRA, Bissau, UICN, 120 p.

MAUNY R. (1961).- Tableaux géographiques de l'Ouest Africain au Moyen Age. I.F.AN., Dakar, 587p.

MICHEL P. (1973).- Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. *Mémoire de l'ORSTOM*, Paris, n°63, 3t., 752 p.

MIGNIOT C. (1988) - Manuel sur l'hydrodynamique sédimentaire et l'érosion. *Cours de l'ENTB de l'Etat et de la Faculté des Sciences d'Orsay*, 1ère partie, 1988, 159 p.

MENANTEAU L. (1990).- Applications de la télédétection au domaine littoral. CNES, télédétection spatiale, université d'été, p. 202-214.

MOUNSEY H.M. (1991).- Multisource, multinational environmental GIS : lessons learnt from CORINE. *in Geographycal Information Systems*, *principles and applications*, sous la direction de D. J. Maguire, M.F. Goodchild et D. W. Rhind, vol. n°2 applications, p. 185-200.

MURDAY M. (1997).- Application of GIS technology to Beach Erosion in the Gulf of Guinea, West Africa, *Coastal zone 97*, vol. n°2, p. 875-876.

NUTTALL C.(1996).- La démarche de l'OSS et de l'UNITAR. *Aménagement et Nature* n°119 p. 37-44.

OLIVIERA MARINHO (de) M. (1985).- Le plateau marginal de la Guinée, transition entre atlantique centrale et atlantique équatoriale. Laboratoire de géodynamique sous-marine de Villefranche sur Mer, Thèse soutenue à l'Université Pierre et Marie Curie, Paris, 180 p.

OTTMAN F. (1965). - Introduction à la géologie marine littorale. Masson, Paris, 259 p.

PARADES J. M. et SPERO R. E. (1983) Water depth mapping from passive remote sensing data under a generalized ratio assumption. *Applied optics*, n° 22, p. 1134-1135.

PARIS B. et PEREIRA H. F. (1993).- As tatarugas marinhas da Guiné-Bissau : ecologia geral e guia para os inventarios. UICN/MDRA, Bubaque.

PASCAL M. (1981).- Recherches de phosphates au Sénégal ; mise au point à l'issue de la campagne 1980-1981. *Rapport BRGM 81 DAK 002*.

PASKOFF R. (1985).- Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. Masson, 187 p.

PELISSIER P.C. (1966) - Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Imp. Fabreque, Saint Yrieux, 939 p., 74 fig., 64 pl. phot.

PENNOBER G. (1993).- Constitution d'un modèle numérique de terrain sur les îles de l'Archipel des Bijagos (Guinée-Bissau). Mémoire de DEA de géomorphologie et aménagement des littoraux, UBO, Brest, 44 p.

PENNOBER G. (1997).-Apport des outils de l'analyse spatiale à l'étude de la dynamique littorale de l'archipel des Bijagos. *in Actes du colloque Littoraux, entre environnement et aménagement*, GEOPHEN, Caen, mai 1997.

PENNOBER G. (1998).- Approche par l'analyse spatiale de la dynamique littorale de l'archipel des Bijagos (Guinée Bissau). *in Actes des VIIèmes Journées de Géographie tropicale îles et littoraux tropicaux*, Brest, sept., p. 261-268.

PERNETTA J.C. (1996).- *LOICZ. Medias Newsletter*, n°8, avril, p.18-20.

PIBOUBES R. (1994).- Pour une identité du littoral. *in* Atlas du littoral de France sous la direction de Z. MASSOUD et R. PIBOUBES ed J.P. de Monza, Paris, p. 11-15.

PINOT J.P. (1992).- Vocabulaire de géomorphologie littorale et d'aménagement littoral. UBO, Brest, 48 p.

PONSARD J.F. (1984). - La marge du craton Ouest-Africain du Sénégal à la Sierra Leone : Interprétation géophysique de la chaîne panafricaine et des bassins du protérozoïque à l'actuel. *Trav. Lab. Sci. Terre*, Thèse de géologie, St. Jérôme, Marseille (B) n°25, février 1985, 198 p.

PONSARD J.F. LESQUER A., VILLENEUVE M. (1982).- Tectonique : une structure panafricaine sur la bordure occidentale du craton ouest africain ? *C.R. Acad. Sc.*, Paris, t295, série II, p. 1161-1164.

PORNON H. (1990).- Systèmes d'information géographique, S.TU., Hermès , Paris, 108 p.

PRIAN J. P. (1981).- Recherche de phosphates par sondages dans la région de Farim (Guinée Bissau). Résultats de la première campagne. *Rapport du BRGM* n° 81RDM043AF, 206 p.

PRIAN J. P. (1986).- Géologie de la bordure méridionale du Golfe tertiaire de Casamance (Sénégal, Guinée Bissau). *documents du BRGM,* n°101, p.1-36.

PRICE W. A. (1955).- Environment and formation of the chenier plain. *Quaternaria*. vol. n°2, p. 55-86.

QUELENNEC R.E. (1987).- Erosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre : causes naturelles et anthropiques, prospective et conséquences pour la protection et l'aménagement du littoral. *Nature et ressources*, vol. XXIII, n°3/4, juillet- décembre, p. 2-9.

RACHID SAID A. et M. FERRAZ L.P. (1996).- La réserve de Biosphère de l'archipel des Bijagos. document d'information UICN/INEP/UNESCO, 37p.

RAMSEY R., PATRAW K. BIGGS B., FALCONER A., NEIL T., HALISKY M., SPENCER R. (1995). GIS for environmental Management : A hierarchical database structure. conf. ESRI des utilisateurs, p.111-113.

REPERT J.P. (1977).- Aperçu sur l'hydrologie du plateau continental ouest-africain de la Mauritanie à la Guinée. *Rapport COPACE/PACE*, série 78,10, 4 p.

RIBORDY P., TAVIERA COSTA A. M. et SIMAO DA SILVA (1993).- La mangrove en Guinée Bissau : pour une législation. vol.1, MDRA-DGFC, UICN, Bissau, mai, 56 p.

RICKETTS P.J. (1992).- Current approaches in Geographic Information Systems for coastal management. *Marine Pollution Bulletin*, Grande Bretagne, vol 25, 1-4, p. 82-87.

ROBIN M. (1995).- La télédétection. ed. Nathan Université, coll. fac géographie, 317 p.

ROCHE S. (1997).- Les SIG : un regard nouveau sur l'espace et sa gestion. *L'espace géographique* n°1, p. 60-66.

ROSSIGNOL M., MEYRUEIS A.M. (1964). - Etude des masses d'eau et de la circulation dans l'Atlantique entre les Iles du Cap Vert, la côte du Sénégal et la Guinée. Rapport ORSTOM, Dakar, 91 p.

ROSSIGNOL M. (1973).- Contribution à l'étude du complexe guinéen. Document du Centre ORSTOM de Cayenne.

ROUET P. (1991).- Les données dans les systèmes d'information géographique. Hermès, 278 p.

ROUGERIE G. (1986).- Biogéographie littorale. Cours de l'université de Besançon. Centre de documentation universitaire, Paris p.1-38.

RUË O., SOW M., SAOS J. L., TALLINEAU M. M., DIANE I. (1991).- Projet études côtières (1990-1991). Rapports provisoires de missions réalisées en République de Guinée pour la Mission française de coopération.

SAID A. R. et FERRAZ L.P.M. (1996).- La réserve de biosphère de l'archipel des Bijagos. UICN/INEP/UNESCO, 37 p.

SAID A. R. et da FONSECA (1991).- Etude socio-économique des îles Bijagos. INEP, Bissau, vol. n° 2, 157 p.

SALES R.R. et MARETTI C.C. (1994).- Guinée Bissau, Planification côtière. UICN/MDRA-DGFC, Bissau, UICN, 32 p.

SALL M. (1982).- Dynamique et morphogénèse actuelles au Sénégal Occidental. Thèse de doctorat d'Etat ès-Lettres, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg 1, 2 t. 604 p.

SERANE A. (1986).-Géologie de la Guinée Bissau et du plateau continental adjacent, étude bibliographique, rapport, Bissau, 50 p.

Service Hydrographique de la Marine (1981).- Instructions nautiques, Afrique côte ouest, 1er volume (au Nord de cape Palmas) p. 280-286.

SIMAO DA SILVA A. (1993) - Planification côtière, UICN/MDRA-DGFC. *International Society for Mangrove Ecosystems*, octobre 1993, technical reports vol.3, project PD114/90 (F).

SIMAO DA SILVA A. (1994).- Contribution à l'étude scientifique de l'Archipel des Bijagos (Guinée-Bissau) dans la perspective d'un projet de réserve de Biosphère. Mémoire de maîtrise de géographie, UBO, Brest, 71 p.

SIMAO DA SILVA A. (1995).- Le groupe d'îles d'Orango (futur parc national), archipel des Bijagos (Guinée Bissau) : exemple de sytème d'information géographique d'aide à la gestion des ressources naturelles. DEA de géomorphologie et aménagement des littoraux, UBO, Brest, 42 p.

SIMON H.A. (1973).- The organisation of complex systems, in Pattee. HH ed. Hierarchy Theory, New York, Braziller, p. 1-27.

SHOW M., DIALLO A., DIALLO N., DIXON C.A., GUISSÉ A. (1994). Formations végétales et sols dans les mangroves des Rivières du Sud. Colloques et Séminaires, éd. ORSTOM, Dynamique et usages de la mangrove dans les pays des Rivières du Sud, Dakar 8 au 15 mai 1994, p. 51-57.

SPENGLER (de) A., CASTELAIN J., CAUVIN J. et LEROY M. (1966).- Le bassin secondaire-tertiaire du Sénégal. In bassins sédimentaires du littoral africain. 1ère partie : Littoral Atlantique, D. Reyre ed., *Assoc. Serv. Géol. Afri.* (ASGA), p. 80-94.

SPOT IMAGE (1989).- Le catalogue des produits SPOT et de ses services. CNES, Toulouse, France, 54 p.

TANRÉ D., DEROO C., DUHAUT P., HERMAN M., MORCRETTE J.J., PERBOS J. et DESCHAMPS P.Y. (1986).- Simulation of the satellite Signal in the solar Spectrum (5S), *Document Laboratoire d'Optique Atmosphérique*, 265 p.

TANRÉ D., DESCHAMPS P.Y., HERMAN M., KERGOMARD C., et VERMOTE. E. (1989).- Influence de l'atmosphère sur les mesures satellitaires dans le spectre solaire - possibilités de correction. *Bul. S.F.P.T.* n°115, p. 3-4.

TEAGUE M. (1958).- Bolama in the 18th Century. *Boletim cultural da Guiné Portuguesa.* vol. XIII, avril, n°50, p. 175-195.

TEIXEIRA A.J. (1959).- The soils of Portuguese Guinea. III Conf. Int. Sols. Dabala; p. 467-477.

TEIXEIRA DA MOTA (1954) *Agencia Geralao Ultramar*, 2 vol. Lisbonne, 669 p.

TEIXEIRA J.E. (1968).- Geologia da Guiné Portuguesa, Junta de Invest. Ultr., *curso de Geol. de Ultramar*, vol. n°1, Lisboa, 100 p.

TEMPIER P. (1986).- Le Burkinien, cycle orogénique majeur du protérozoïque inférieur de l'Afrique de l'ouest. Paris, Journée CIFEG, p. 4.

THOMAS Y.F. et DIAW A.T. (1997).- Suivi (1984-1993) de la rupture de la flèche de Sangomar, estuaire du fleuve Saloum, Sénégal. Photo-Interprétation n° 1997/3-4, p.199-204.

THORETTE J., DURAND H., MARCHAND M. (1995) - Stabilité du trait de côte, exploitation statistique de la base de données "corine érosion côtière", perspective pour l'intégration des bases sur le littoral. *Revue Equinoxe*, n°57, p. 21-36.

THORETTE J. (1997).- Information géographique sur le littoral, cohérence et qualité de l'information. *in Actes des 6èmes Journées thématiques du Technopôle Brest-Iroise : Les outils d'aide à la décision, leurs applications à la gestion intégrée du littoral*, Brest, 16 et 17 octobre p. 13-17.

TRICART J. (1955).- Types de fleuves et systèmes morphogénétiques en Afrique Occidentale. *Bull. sect. géogr.* Comité Trav. Hist. et Scientifiques LXVIII, p. 303-345, 21 pl.

TRICART J. et CAILLEUX A. (1965).- Le modelé des régions chaudes, forêts et savanes. Traité de géomorphologie tome V, Paris, Sedes, p. 322, p.106-149.

TRICART J. (1966).- La place de la géomorphologie dans l'étude de la mise en valeur des deltas tropicaux. *in Actes du colloque de Dacca organisé par le gouvernement du Pakistan et l'Unesco du 24 février au 2 mars 1964*, ed. Unesco, Dacca, p. 15-33.

TRICART J. et TRAUTMANN J. (1996).- La télédétection appliquée à la géomorphologie continentale et aux systèmes écogéographiques. *in Précis de télédétection*, vol n°2, applications thématiques PUQ/AUPELF, Québec, p. 58-89.

VANNEY J.R.(1977).- Géomorphologie des plates formes continentales. ed. Doin, Paris, 300 p.

VANNEY J.R.et MENANTEAU L. (1985).- Carte physiographique de l'Atlantique de l'Andalousie au 1/50 000. Consejeria de Politica Territorial, Agencia de Medio Ambiente, casa de Velazquez. 2 cartes, une notice.

VANNEY J.R. (1998).- L'Atlantique un regard géographique. *Historiens et Géographes*, n°363, p. 75-128.

VANNUCCI M. (1997).- Supporting appropriate Mangrove Management. *International Newsletter of coastal Management*, N° spécial, mars 1997, p. 1-3, 42-43.

VASCONCELOS F.J., SILVA R. et TRIBOULET J.P. (1997).- Base de données hydrométriques des bassins versants des fleuves Geba et Corubal (Guinée Bissau. *AGRYMET, études et rapports techniques série ressources en eau*, publication n°7, sept. CLISS/ AGRYMET, 28 p.

VERGER F. (1971).- L'expression cartographique de la dynamique littorale. *Mémoire du Laboratoire de Géomorphologie de l'E.P.H.E.* n°20, 26 p.

VERGER F. (1971).- La cartographie dynamique en géomorphologie littorale. Revue de Géomorphologie dynamique, XXIIe année, n°4, p.161-172.

VERGER F., AUPHAN E. et MONIOT C. (1972).- La carte géomorphologique conçue comme un modèle dynamique. Mémoires et documents publié sous la direction de Jean DRESCH, 43p.

VERGER F. (1976).-Les techniques d'analyse granulométrique. ed. du CNRS, Paris, 62 p.

VERGER F. (1981).- Télédétection et aménagement des espaces littoraux. *Colloque franco-espagnol sur les espaces littoraux*, Madrid, p. 917-925.

VERGER F. (1982).- L'observation de la terre par les satellites. coll. *Que sais je*? PUF, Vendômes, 127 p.

VERGER F. (1991).- Les deltas et leur aménagement. *Annales de Géographie*, n° 561-562, p.731-769.

VERGER F. (1993). - Perception géométrique du littoral. *Mappemonde*, Reclus vol 1, p. 1-3.

VERGER F. (1996). - La télédétection des domaines littoraux. *in précis de télédétection, applications thématiques* sous la direction de Ferdinand Bonn, AUPELF, Presses de l'Université du Québec, Vol n°2, p. 325-343.

VESTAPPEN (H.) (1964).- The use of aerial photographs in deltas studies. UNESCO Symposium on Humid Tropical Zone Deltas, Dacca, 5 p.

VOLKER (A.) (1964).- Tentative classification and comparison with deltas of other climatics regions. UNESCO Symposium on Humid Tropical Zone Deltas, Dacca, p. 399-408.

WARNE D. K. (1978).- Landsat as an aid in the preparation of hydrographic charts. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, n° 44, p. 1011-1016.

WRIGHT L.D. et COLEMAN J.M. (1973).- Variations *in* morphology of major discharge regimes. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.* 57,2, p. 370-398.

REFERENCES CARTOGRAPHIQUES

C.R.A.D. et S.U.C.O. (1982) - Le développement rural intégré de la région de Bolama, République de Guinée-Bissau, vol 3, Québec. Cartes d'occupation des sols, 1 : 30 000, 7 feuilles.

Hydrographic Office of the Navy (1989).- Guinéa Bissau, Bolama and Approaches. 1 : 100 000, Taunton (R.U.), 1 feuille.

Hydrographic Office of the Navy (1989).- Guinéa Bissau, Approaches to Canal do Geba and Rio Cacheu. 1 : 100 000, Taunton (R.U.), 1 feuille.

Hydrographic Office of the Navy (1989).- Guinéa Bissau, Canal do Geba and Bissau. 1 : 100 000, Taunton (R.U.), 1 feuille.

Institudo Hidrográfico (1968).- Carta hidrográfica do Cabo Roxo Ao Cabo Verga. 1 : 400 000, Lisbonne, 1 feuille.

Ministerio do Ultramar (entre 1952 et 1962) Carta topografica da Guiné-Bissau. 1 : 50 000, Lisbonne, 13 feuilles.

SCET International (1978).- *Mapa da occupacao dos solos, Republica da Guiné-Bissau*. 1 : 200 000. Fonds d'aide et de coopération de la République Française et Comissariado de Estado de Agricultura e Pecuaria. 2 feuilles format A0.

ADRESSES ELECTRONIQUES

CENTRE RÉGIONAL AGRHYMET : INSTITUTION SPÉCIALISÉE DU COMITÉ PERMANENT INTER-ETATS DE LUTTE CONTRE LA SÉCHERESSE DANS LE SAHEL (CILSS)
http://www.agrhymet.ne/

DANA H. Global Positioning System Overview. (existe depuis 1994) :
http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html

KELLEY J.T. DICKSON S. M. et BELKNAP (1996).- Maine's History of Sea-level changes.
http://web.ddp.state.me.us/doc/nrimc/pubedinf/factsht/marine/sealevel.htm

PREDICTION OF AGGREGATED-SCALE COASTAL EVOLUTION (PACE)
http://www.sms.utwente.nl/ondz/pace/pace1.htm

PNUD/FAO (1993). Bilan diagnostic du secteur agricole. Rapport du projet GBS/92/T01/A. :
http://www.fao.org/waicent/faoinfo

RAMSEY R., PATRAW K. BIGGS B., FALCONER A., NEIL T., HALISKY M., SPENCER R. (1995) GIS for environmental Management : A hierarchical database structure. conf. ESRI des utilisateurs.
http://www.esri.com/resources/userconf/proc95/to150/p111.html

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) :
http://www.unesco.org/

ANNEXES I

Résultats des aides à l'interprétation pour une analyse des correspondances multiples (ACM) et plans de croisement des axes.

TAUX DE L'INERTIE DU NUAGE SUR CHACUN DES FACTEURS (bibliothèque ADDAD)

LES VALEURS PROPRES VAL(1)= .30759

NUM	VAL PROPRE	POURC.	CUMUL	VARIAT.	HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES
1	.30759	10.427	10.427	*******	**********
2	.27057	9.172	19.599	1.255	**********
3	.16059	5.444	25.042	3.728	**********
4	.14203	4.814	29.857	.629	**********
5	.10909	3.698	33.555	1.117	**********
6	.10433	3.537	37.091	.161	**********
7	.09310	3.156	40.247	.381	**********
8	.08103	2.747	42.994	.409	**********
9	.07706	2.612	45.606	.135	**********
10	.07124	2.415	48.021	.197	**********
11	.07008	2.375	50.397	.039	**********
12	.06897	2.338	52.735	.038	**********
13	.06367	2.158	54.893	.179	**********
14	.06219	2.108	57.001	.050	**********
15	.05614	1.903	58.904	.205	**********
16	.05584	1.893	60.797	.010	**********
17	.05414	1.835	62.633	.058	**********
18	.05313	1.801	64.434	.034	**********
19	.05248	1.779	66.213	.022	**********
20	.05151	1.746	67.959	.033	**********
21	.04990	1.692	69.650	.054	**********
22	.04970	1.685	71.335	.007	**********
23	.04696	1.592	72.927	.093	*********
24	.04643	1.574	74.501	.018	*********
25	.04600	1.559	76.060	.015	*********
26	.04470	1.515	77.575	.044	*********
27	.04363	1.479	79.054	.036	*********
28	.04138	1.403	80.457	.076	********
29	.04071	1.380	81.837	.023	********
30	.04004	1.357	83.194	.023	********
31	.03984	1.351	84.545	.007	********
32	.03681	1.248	85.793	.103	*******
33	.03543	1.201	86.994	.047	*******
34	.03324	1.127	88.121	.074	******
35	.03146	1.066	89.187	.060	******
36	.02989	1.013	90.200	.053	******
37	.02706	.917	91.118	.096	*****
38	.02449	.830	91.948	.087	*****
39	.02346	.795	92.743	.035	*****
40	.02246	.761	93.504	.034	****
41	.02226	.754	94.259	.007	****
42	.02040	.692	94.951	.063	****
43	.01986	.673	95.624	.018	****
44	.01821	.617	96.241	.056	****
45	.01674	.568	96.809	.050	***
46	.01375	.466	97.275	.101	***
47	.01295	.439	97.714	.027	***
48	.01138	.386	98.100	.053	**
49	.01068	.362	98.462	.024	**
50	.01005	.341	98.802	.021	**
51	.00910	.308	99.111	.032	**
52	.00707	.240	99.351	.069	*
53	.00688	.233	99.584	.006	*
54	.00613	.208	99.792	.026	*
55	.00307	.104	99.896	.104	*
56	.00116	.039	99.935	.065	
57	.00092	.031	99.966	.008	
58	.00054	.018	99.985	.013	
59	.00045	.015	100.000	.003	
60	.00000	.000	100.000	.015	
61	.00000	.000	100.000	.000	
62	.00000	.000	100.000	.000	
63	.00000	.000	100.000	.000	
64	.00000	.000	100.000	.000	
65	.00000	.000	100.000	.000	
66	.00000	.000	100.000	.000	
67	.00000	.000	100.000	.000	
68	.00000	.000	100.000	.000	
69	.00000	.000	100.000	.000	
70	.00000	.000	100.000	.000	
71	.00000	.000	100.000	.000	
72	.00000	.000	100.000	.000	
73	.00000	.000	100.000	.000	
74	.00000	.000	100.000	.000	
75	.00000	.000	100.000	.000	
76	.00000	.000	100.000	.000	
77	.00000	.000	100.000	.000	
78	.00000	.000	100.000	.000	
79	.00000	.000	100.000	.000	

AIDE A L'INTERPRETATION DE l' ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (bibliothéque ADDAD)

CODE	QLT	POID	INR	1#F	COR	CTR	2#F	COR	CTR	3#F	COR	CTR	4#F	COR	CTR	5#F	COR	CTR
s1	567	8	14	-319	20	3	-666	88	14	69	1	0	-17	0	0	399	31	12
s2	388	8	14	529	51	7	-583	62	10	582	62	16	21	0	0	-22	0	0
s3	606	7	15	175	5	1	-346	20	3	258	11	3	11	0	0	-559	52	20
s4	695	6	15	-28	0	0	-17	0	0	-83	1	0	39	0	0	-483	34	14
s5	657	5	15	-45	0	0	297	10	2	-129	2	1	43	0	0	-462	25	10
s6	632	6	15	-195	5	1	492	35	6	-266	10	3	37	0	0	64	1	0
s7	557	6	15	-150	3	0	877	97	16	-207	5	1	-161	3	1	350	15	6
s8	695	3	16	-70	0	0	879	58	10	-829	52	15	29	0	0	1138	97	41
sit0	787	17	11	-817	340	37	-249	32	4	-399	81	17	-296	45	10	-438	98	30
sit1	740	13	13	1228	514	62	-428	63	9	226	17	4	-71	2	0	-47	1	0
sit2	750	16	12	-255	30	3	604	166	21	58	2	0	177	14	3	515	121	38
sit3	581	4	16	577	31	5	-90	1	0	582	32	9	766	55	18	-37	0	0
sit4	499	1	17	-625	4	1	1174	14	3	932	9	3	-280	1	0	210	0	0
ls0	905	20	10	-798	418	41	-446	130	15	-511	172	32	-81	4	1	218	31	9
ls1	827	24	9	631	362	31	-60	3	0	462	194	32	112	11	2	-284	73	18
ls2	584	4	16	-108	1	0	1599	219	37	240	5	1	-515	23	7	-203	4	1
ls3	689	2	16	499	13	2	1625	135	24	-749	29	8	398	8	3	1335	91	40
ds0	342	0	17	-1140	5	1	-464	1	0	393	1	0	339	0	0	628	1	1
ds1	765	30	7	509	377	25	74	8	1	80	9	1	99	14	2	248	89	17
ds2	673	10	14	-368	33	4	-95	2	0	-953	222	55	-857	179	51	-497	60	22
ds3	803	10	13	-1083	308	40	-113	3	0	664	116	29	521	71	20	-248	16	6
l0	616	9	14	585	78	10	-279	18	3	-188	8	2	-112	3	1	-334	26	10
l1	530	8	14	745	107	15	193	7	1	237	11	3	-212	9	3	-32	0	0
l2	693	11	13	492	67	9	318	28	4	244	16	4	328	30	8	-132	5	2
l3	713	22	10	-769	458	42	-110	9	1	-128	13	2	-36	1	0	221	38	10
lt0	565	40	3	181	127	4	-24	2	0	-65	16	1	-118	54	4	-152	89	8
lt1	565	10	13	-700	127	16	92	2	0	251	16	4	455	54	15	587	89	32
M0	872	30	7	-697	706	47	-168	41	3	-20	1	0	-4	0	0	78	9	2
M1	707	5	15	512	30	4	1371	211	35	-30	0	0	-213	5	2	-627	44	18
M2	565	2	16	636	19	3	984	45	8	-186	2	0	-55	0	0	-14	0	0
M3	386	2	16	1070	36	6	577	11	2	-30	0	0	382	5	2	388	5	2
M4	723	12	13	1295	506	63	-432	56	8	103	3	1	63	1	0	24	0	0
ap0	717	2	16	-933	31	5	-670	16	3	-1622	95	29	-726	19	6	-1019	38	17
ap1	877	9	14	-62	1	0	-302	21	3	-1088	276	70	-850	169	48	-44	0	0
ap2	721	21	10	437	140	13	282	58	6	223	36	7	96	7	1	226	37	10
ap3	776	18	11	-398	86	9	-109	7	1	476	124	25	413	93	21	-146	12	3
Rc0	757	43	2	12	1	0	-261	446	11	-50	16	1	71	33	2	131	113	7
Rc1	474	2	16	-215	2	0	1824	117	21	266	2	1	-439	7	2	794	22	10
Rc2	676	2	16	14	0	0	2193	205	36	400	7	2	-1115	53	18	-130	1	0
Rc3	761	3	16	-62	0	0	1295	103	18	314	6	2	-12	0	0	-2342	337	145
Sc0	780	36	5	65	11	0	-377	370	19	-130	44	4	-157	64	6	20	1	0
Sc1	729	3	16	596	24	4	1226	103	18	-1644	186	54	2024	281	93	-746	38	16
Sc2	493	2	16	225	3	0	2135	238	42	200	2	1	-847	37	13	-77	0	0
Sc3	804	8	14	-590	68	9	537	56	9	1163	264	69	156	5	1	228	10	4
Vc0	849	27	8	-737	627	47	-180	38	3	167	32	5	115	15	2	-99	11	2
Vc1	860	4	16	-104	1	0	1581	231	39	-23	0	0	-1717	272	88	515	24	10
Vc2	848	6	15	574	43	6	1184	182	30	-1601	332	92	1258	205	64	247	8	3
Vc3	845	13	12	1278	587	70	-653	153	21	363	47	11	-230	19	5	-70	2	1
Pc0	557	44	2	-29	6	0	-190	242	6	-39	10	0	52	18	1	49	16	1
Pc1	551	3	16	299	5	1	1580	140	25	194	2	1	-437	11	4	168	2	1
Pc2	569	2	16	99	0	0	1408	99	17	507	13	4	-225	3	1	-698	24	11
Pc3	722	1	16	155	1	0	485	7	1	-17	0	0	-394	5	2	-634	12	5
SVc0	817	34	6	9	0	0	-427	374	23	-298	182	19	-54	6	1	80	13	2
SVc1	739	3	16	802	45	7	1098	85	15	-219	3	1	82	0	0	-74	0	0
SVc2	822	13	12	-224	18	2	819	239	33	817	238	55	118	5	1	-185	12	4
Mc0	873	30	7	-700	707	47	-170	42	3	-22	1	0	-2	0	0	77	9	2
Mc1	691	4	16	354	11	2	1771	288	49	289	8	2	-136	2	1	-272	7	3
Mc2	702	3	16	938	49	8	1020	59	10	-92	0	0	31	0	0	-146	1	1
Mc3	800	14	12	1228	563	67	-378	53	7	-24	0	0	41	1	0	-55	1	0
Tc0	436	49	0	-11	8	0	-26	42	0	0	0	0	-4	1	0	-10	6	0
Tc1	436	1	17	686	8	1	1601	42	8	-23	0	0	228	1	0	602	6	3
R0	749	42	3	74	28	1	-208	226	7	-58	18	1	62	20	1	229	274	20
R1	377	1	17	-203	1	0	1955	95	17	489	6	2	-930	22	7	703	12	6
R2	548	2	16	-294	4	1	1536	123	22	245	3	1	-955	48	16	-559	16	7
R3	800	4	15	-490	23	3	588	33	6	289	8	2	207	4	1	-2101	417	175
S0	840	21	10	680	339	32	-583	249	27	95	7	1	-277	56	11	-161	19	5
S1	827	5	15	502	28	4	1249	174	29	-1368	209	59	1685	318	101	-650	47	19
S2	769	8	14	-219	9	1	1341	332	52	-7	0	0	-1070	211	63	306	17	7
S3	814	16	12	-948	424	47	-274	35	4	307	45	9	356	60	14	268	34	11
V0	872	21	10	-862	557	52	-44	1	0	356	95	17	274	56	11	-223	37	10
V1	898	5	15	-72	1	0	1530	274	45	-97	1	0	-1496	262	82	561	37	15
V2	871	5	15	645	46	7	1136	141	24	-1755	337	95	1565	268	85	159	3	1
V3	868	18	11	850	421	43	-688	276	32	84	4	1	-313	57	13	57	2	1
F0	522	49	0	10	5	0	-34	52	0	-29	37	0	15	10	0	34	52	1
F1	505	0	17	-510	2	0	1909	32	6	1393	17	5	-1080	10	4	-574	3	1
F2	487	1	17	-434	2	0	1275	21	4	1238	20	6	-393	2	1	-2199	63	28
geo1	760	38	4	147	65	3	150	68	3	309	289	22	203	124	11	183	101	12
geo2	794	6	15	-1133	167	24	-412	22	4	-541	38	10	-225	7	2	-970	122	50
geo3	860	7	15	147	3	0	-487	37	6	-1275	251	68	-946	138	42	-194	6	2

QLT: qualité de la représentation ; POID: masse statistique ; INR: part de l'inertie de l'élément au nuage total ; #F: coordonnées ; COR: contribution relative du facteur à lélément ; CTR: contribution relative de l'élément au facteur

AIDE A L'INTERPRETATION DE l' ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (bibliothéque ADDAD)

CODE	QLT	POID	INR	6#F	COR	CTR	7#F	COR	CTR	8#F	COR	CTR	9#F	COR	CTR	10#F	COR	CTR
s1	567	8	14	-187	7	3	308	19	8	-281	16	8	55	1	0	-283	16	9
s2	388	8	14	186	6	3	167	5	2	-173	5	3	-18	0	0	-279	14	8
s3	606	7	15	131	3	1	-80	1	0	212	7	4	131	3	2	103	2	1
s4	695	6	15	-285	12	5	-312	14	7	415	25	13	-110	2	1	139	3	2
s5	657	5	15	84	1	0	-316	12	6	296	10	6	-283	9	5	-4	0	0
s6	632	6	15	-337	16	7	-45	0	0	50	0	0	-92	1	1	-262	10	6
s7	557	6	15	237	7	3	236	7	3	-226	6	4	-122	2	1	169	4	2
s8	695	3	16	381	11	5	-193	3	1	-308	7	4	627	30	18	1033	80	52
sit0	787	17	11	405	84	27	173	15	5	57	2	1	127	8	4	43	1	0
sit1	740	13	13	185	12	4	-76	2	1	13	0	0	-212	15	7	-45	1	0
sit2	750	16	12	-857	334	110	-144	9	3	-146	10	4	-86	3	1	113	6	3
sit3	581	4	16	891	74	32	-81	1	0	513	25	14	544	28	16	-319	10	6
sit4	499	1	17	773	6	3	1250	16	8	-2040	42	26	-849	7	5	-1089	12	8
ls0	905	20	10	-336	74	21	-255	43	14	6	0	0	-67	3	1	114	9	4
ls1	827	24	9	224	45	11	137	17	5	119	13	4	-70	4	2	-202	37	14
ls2	584	4	16	40	0	0	513	23	11	-315	8	5	65	0	0	-158	2	1
ls3	689	2	16	486	12	6	-92	0	0	-707	26	15	1129	65	40	1308	87	58
ds0	342	0	17	288	0	0	-203	0	0	1007	4	2	113	0	0	-393	1	0
ds1	765	30	7	-330	158	31	-87	11	2	-51	4	1	-85	11	3	-47	3	1
ds2	673	10	14	580	82	32	232	13	6	-355	31	15	-138	5	2	-192	9	5
ds3	803	10	13	388	40	15	32	0	0	462	56	27	371	36	19	321	27	15
l0	616	9	14	597	82	32	-712	116	51	-614	86	43	-140	4	2	-584	78	45
l1	530	8	14	-473	43	17	49	0	0	-480	44	23	-299	17	9	-40	0	0
l2	693	11	13	368	37	14	85	2	1	605	101	49	243	16	8	430	51	28
l3	713	22	10	-263	53	14	244	46	14	140	15	5	50	2	1	51	2	1
lt0	565	40	3	98	37	4	-70	19	2	-19	1	0	-23	2	0	-31	4	1
lt1	565	10	13	-380	37	14	272	19	8	75	1	1	89	2	1	120	4	2
M0	872	30	7	-62	6	1	-27	1	0	1	0	0	-64	6	2	-162	38	11
M1	707	5	15	-156	3	1	496	28	13	-378	16	9	84	1	0	495	28	17
M2	565	2	16	-117	1	0	207	2	1	167	1	1	1263	74	46	577	15	10
M3	386	2	16	177	1	0	-918	27	14	-599	11	7	628	13	8	-639	13	9
M4	723	12	13	227	15	6	-65	1	1	210	13	6	-196	12	6	173	9	5
ap0	717	2	16	1616	94	44	-2454	218	113	-1921	133	79	-669	16	10	-87	0	0
ap1	877	9	14	-93	2	1	1165	317	138	256	15	8	170	7	4	-288	19	11
ap2	721	21	10	-455	152	42	-252	46	14	-364	97	35	-312	71	27	-248	45	18
ap3	776	18	11	435	103	32	-81	4	1	489	131	52	348	66	28	460	115	52
Rc0	757	43	2	71	33	2	-54	19	1	41	11	1	12	1	0	-67	30	3
Rc1	474	2	16	1059	39	18	1112	43	23	-936	31	18	-215	2	1	456	7	5
Rc2	676	2	16	92	0	0	173	1	1	-580	14	8	-300	4	2	1516	98	66
Rc3	761	3	16	-1757	190	86	40	0	0	352	8	4	164	2	1	-329	7	4
Sc0	780	36	5	-235	144	19	-125	40	6	-48	6	1	75	15	3	148	57	11
Sc1	729	3	16	39	0	0	327	7	4	570	22	13	-514	18	11	-553	21	14
Sc2	493	2	16	-99	1	0	-416	9	5	-36	0	0	-341	6	4	765	31	20
Sc3	804	8	14	1052	216	87	548	59	26	0	0	0	-25	0	0	-671	88	52
Vc0	849	27	8	-158	29	6	98	11	3	-202	47	13	25	1	0	25	1	0
Vc1	860	4	16	96	1	0	-820	62	30	1380	176	99	-125	1	1	-642	38	24
Vc2	848	6	15	413	22	9	31	0	0	49	0	0	-227	7	4	-60	0	0
Vc3	845	13	12	110	4	2	49	1	0	-53	1	0	87	3	1	180	12	6
Pc0	557	44	2	-17	2	0	-75	38	3	106	75	6	-62	26	2	-16	2	0
Pc1	551	3	16	323	6	3	471	12	6	-422	10	6	454	12	7	593	20	13
Pc2	569	2	16	-4	0	0	429	9	5	-763	29	17	-492	12	8	224	3	2
Pc3	722	1	16	-91	0	0	686	14	7	-1143	39	23	1856	103	65	-975	28	19
SVc0	817	34	6	-146	43	7	-97	19	3	85	15	3	-119	29	6	198	80	18
SVc1	739	3	16	-276	5	2	-435	13	7	-709	35	20	2466	427	259	-688	33	22
SVc2	822	13	12	441	69	25	357	45	18	-39	1	0	-313	35	17	-334	40	21
Mc0	873	30	7	-64	6	1	-25	1	0	-1	0	0	-63	6	2	-162	38	11
Mc1	691	4	16	204	4	2	344	11	5	-437	18	10	-535	26	16	405	15	10
Mc2	702	3	16	-401	9	4	-620	22	11	-633	23	13	2600	380	234	-733	30	20
Mc3	800	14	12	154	9	3	70	2	1	260	25	11	-207	16	8	372	52	26
Tc0	436	49	0	-3	1	0	19	21	0	5	2	0	-5	2	0	39	95	1
Tc1	436	1	17	205	1	0	-1143	21	11	-321	2	1	334	2	1	-2413	95	66
R0	749	42	3	122	78	6	2	0	0	-17	1	0	3	0	0	-99	51	6
R1	377	1	17	728	13	6	1054	28	15	-1439	52	31	-789	16	10	1607	64	44
R2	548	2	16	-169	1	1	-266	4	2	509	14	8	170	2	1	413	9	6
R3	800	4	15	-1298	159	70	-161	2	1	274	7	4	95	1	1	270	7	4
S0	840	21	10	-206	31	9	122	11	3	-91	6	2	116	10	4	171	22	9
S1	827	5	15	-120	2	1	168	3	2	292	10	5	-369	15	9	-249	7	4
S2	769	8	14	196	7	3	-590	64	29	585	63	33	-68	1	0	-62	1	0
S3	814	16	12	214	22	7	73	2	1	-256	31	13	-5	0	0	-118	7	3
V0	872	21	10	-54	2	1	24	0	0	-184	25	9	11	0	0	44	1	1
V1	898	5	15	107	1	1	-760	68	32	1212	172	95	-135	2	1	-588	40	25
V2	871	5	15	445	22	9	124	2	1	-27	0	0	-215	5	3	-12	0	0
V3	868	18	11	-87	4	1	156	14	5	-123	9	3	84	4	2	119	8	4
F0	522	49	0	19	16	0	-15	11	0	31	42	1	24	26	0	1	0	0
F1	505	0	17	213	0	0	904	7	4	-1882	31	19	-2292	46	30	739	5	3
F2	487	1	17	-1587	33	16	552	4	2	-1049	14	9	-260	1	1	-597	5	3
geo1	760	38	4	-147	66	8	-75	17	2	29	3	0	-60	11	2	-47	7	1
geo2	794	6	15	895	104	44	-1283	213	101	-489	31	17	92	1	1	653	55	34
geo3	860	7	15	61	1	0	1522	357	166	258	10	5	257	10	6	-295	13	8

QLT: qualité de la représentation ; POID: masse statistique ; INR: part de l'inertie de l'élément au nuage total ; #F: coordonnées ; COR: contribution relative du facteur à lélément ; CTR: contribution relative de l'élément au facteur

AIDE A L'INTERPRETATION DE l' ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (bibliothéque ADDAD)

CODE	QLT	POID	INR	11#F	COR	CTR	12#F	COR	CTR	13#F	COR	CTR	14#F	COR	CTR	15#F	COR	CTR
s1	567	8	14	71	1	1	-613	75	45	329	21	14	-481	46	31	91	2	1
s2	388	8	14	-442	36	22	85	1	1	-195	7	5	568	59	40	199	7	5
s3	606	7	15	-311	16	10	-16	0	0	-380	24	16	-242	10	7	29	0	0
s4	695	6	15	95	1	1	106	2	1	-315	14	10	-129	2	2	-299	13	10
s5	657	5	15	554	36	23	-672	53	34	-52	0	0	-175	4	3	-486	28	22
s6	632	6	15	661	62	39	119	2	1	397	22	15	792	90	63	697	69	54
s7	557	6	15	548	38	24	1128	160	103	432	23	16	99	1	1	-51	0	0
s8	695	3	16	-1615	196	130	95	1	0	-322	8	6	-710	38	28	-610	28	23
sit0	787	17	11	-192	19	9	-17	0	0	-196	20	10	154	12	6	76	3	2
sit1	740	13	13	-152	8	4	202	14	8	-242	20	12	409	57	34	11	0	0
sit2	750	16	12	171	13	7	-31	0	0	156	11	6	-117	6	3	-151	10	6
sit3	581	4	16	574	31	20	-878	72	48	938	82	59	-1153	124	91	54	0	0
sit4	499	1	17	66	0	0	3863	152	109	-80	0	0	-2048	43	34	1431	21	18
ls0	905	20	10	95	6	3	-43	1	1	102	7	3	6	0	0	18	0	0
ls1	827	24	9	-38	1	0	-144	19	7	-190	33	13	20	0	0	0	0	0
ls2	584	4	16	711	43	29	1281	141	94	861	64	46	371	12	9	147	2	2
ls3	689	2	16	-1553	123	84	-315	5	3	-371	7	5	-849	37	28	-388	8	7
ds0	342	0	17	35	0	0	-153	0	0	-421	1	1	1596	9	8	1995	15	13
ds1	765	30	7	118	20	6	-49	4	1	114	19	6	-104	16	5	-10	0	0
ds2	673	10	14	-9	0	0	118	3	2	-119	3	2	-17	0	0	-117	3	2
ds3	803	10	13	-329	28	16	33	0	0	-206	11	7	285	21	14	103	3	2
l0	616	9	14	-217	11	6	-227	12	7	296	20	13	92	2	1	-153	5	4
l1	530	8	14	-228	10	6	187	7	4	-673	87	57	206	8	5	491	46	35
l2	693	11	13	657	119	67	-6	0	0	343	32	20	-508	71	45	-279	22	15
l3	713	22	10	-149	17	7	31	1	0	-48	2	1	137	14	7	23	0	0
lt0	565	40	3	86	28	4	-17	1	0	17	1	0	-62	15	2	-4	0	0
lt1	565	10	13	-332	28	16	67	1	1	-64	1	1	238	15	9	16	0	0
M0	872	30	7	40	2	1	-46	3	1	-72	8	2	-165	39	13	4	0	0
M1	707	5	15	-207	5	3	-770	67	43	1102	136	96	450	23	16	628	44	35
M2	565	2	16	705	23	16	1211	68	47	119	1	0	262	3	2	-1348	84	71
M3	386	2	16	-1301	54	37	-953	29	20	-404	5	4	344	4	3	-5	0	0
M4	723	12	13	26	0	0	348	37	20	-265	21	13	129	5	3	-27	0	0
ap0	717	2	16	226	2	1	87	0	0	729	19	15	-359	5	4	151	1	1
ap1	877	9	14	-22	0	0	-191	9	5	-11	0	0	153	5	4	-195	9	6
ap2	721	21	10	-44	1	1	13	0	0	-165	20	9	-99	7	3	-5	0	0
ap3	776	18	11	41	1	0	78	3	2	131	9	5	72	3	1	96	5	3
Rc0	757	43	2	2	0	0	-34	8	1	28	5	1	44	13	1	10	1	0
Rc1	474	2	16	-424	6	4	1755	108	76	107	0	0	-1368	66	51	-310	3	3
Rc2	676	2	16	1322	74	51	-1444	89	62	-1268	68	52	652	18	14	519	11	10
Rc3	761	3	16	-720	32	21	504	16	11	414	11	8	-319	6	5	-338	7	6
Sc0	780	36	5	39	4	1	36	3	1	61	10	2	11	0	0	19	1	0
Sc1	729	3	16	52	0	0	222	3	2	103	1	1	-110	1	1	298	6	5
Sc2	493	2	16	-579	17	12	-1198	75	52	-134	1	1	504	13	10	-382	8	6
Sc3	804	8	14	-18	0	0	115	3	2	-270	14	9	-158	5	3	-86	1	1
Vc0	849	27	8	41	2	1	-45	2	1	25	1	0	5	0	0	-95	10	4
Vc1	860	4	16	-344	11	7	276	7	5	295	8	6	-141	2	1	288	8	6
Vc2	848	6	15	55	0	0	-171	4	2	-475	29	20	30	0	0	89	1	1
Vc3	845	13	12	3	0	0	77	2	1	62	1	1	22	0	0	62	1	1
Pc0	557	44	2	-10	1	0	7	0	0	-32	7	1	49	16	2	3	0	0
Pc1	551	3	16	-480	13	9	446	11	8	248	3	3	141	1	1	1249	88	74
Pc2	569	2	16	256	3	2	-279	4	3	389	8	6	377	7	5	-2133	228	193
Pc3	722	1	16	753	17	12	-569	10	7	-135	1	0	-2354	165	129	1137	39	33
SVc0	817	34	6	60	7	2	86	15	4	31	2	1	-57	7	2	25	1	0
SVc1	739	3	16	712	36	24	268	5	3	-513	19	14	389	11	8	-141	1	1
SVc2	822	13	12	-332	39	21	-286	29	16	48	1	0	48	1	0	-30	0	0
Mc0	873	30	7	46	3	1	-45	3	1	-72	8	2	-164	39	13	7	0	0
Mc1	691	4	16	-502	23	15	-836	64	43	1168	125	90	429	17	12	45	0	0
Mc2	702	3	16	211	3	2	-194	2	1	-294	5	4	1065	64	49	83	0	0
Mc3	800	14	12	13	0	0	393	58	30	-146	8	5	16	0	0	-45	1	1
Tc0	436	49	0	12	9	0	-14	12	0	-11	7	0	-17	18	0	46	128	2
Tc1	436	1	17	-725	9	6	865	12	9	671	7	6	1064	18	15	-2805	128	113
R0	749	42	3	-19	2	0	-23	3	0	58	17	2	22	2	0	-22	2	0
R1	377	1	17	604	9	6	196	1	1	426	5	3	182	1	1	1007	25	22
R2	548	2	16	1700	151	102	-515	14	10	-1461	111	83	81	0	0	166	1	1
R3	800	4	15	-960	87	57	465	20	14	159	2	2	-308	9	7	-170	3	2
S0	840	21	10	-88	6	2	-39	1	0	120	11	5	-160	19	9	-28	1	0
S1	827	5	15	-56	0	0	87	1	1	64	0	0	-26	0	0	187	4	3
S2	769	8	14	11	0	0	-78	1	1	-433	35	23	-184	6	4	63	1	1
S3	814	16	12	129	8	4	62	2	1	32	0	0	308	45	25	-52	1	1
V0	872	21	10	48	2	1	78	5	2	-86	6	3	143	15	7	-78	5	2
V1	898	5	15	-373	16	10	150	3	2	204	5	3	-127	2	1	146	2	2
V2	871	5	15	150	2	2	-108	1	1	-500	27	19	18	0	0	188	4	3
V3	868	18	11	10	0	0	-105	6	3	177	18	9	-136	11	5	-1	0	0
F0	522	49	0	-14	9	0	2	0	0	59	160	3	43	84	1	8	3	0
F1	505	0	17	2196	42	30	-505	2	2	-2910	75	58	-596	3	2	-3720	122	108
F2	487	1	17	-398	2	1	220	1	0	-2549	85	66	-2877	108	86	1914	48	42
geo1	760	38	4	27	2	0	-6	0	0	0	0	0	-24	2	0	21	1	0
geo2	794	6	15	3	0	0	333	14	9	89	1	1	20	0	0	166	4	3
geo3	860	7	15	-157	4	2	-255	10	6	-76	1	1	118	2	1	-263	11	8

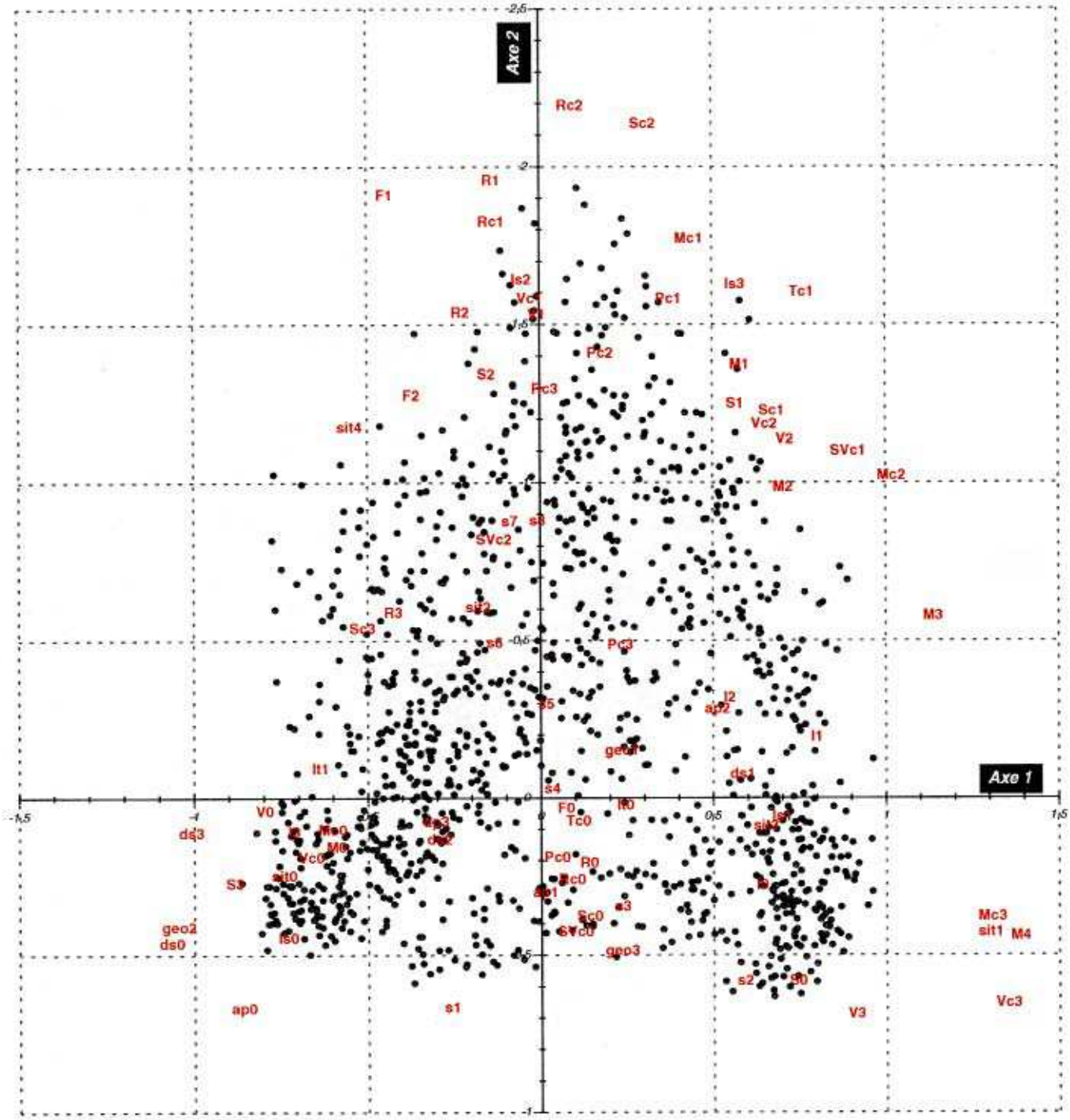
QLT: qualité de la représentation ; POID: masse statistique ; INR: part de l'inertie de l'élément au nuage total ; #F: coordonnées ; COR: contribution relative du facteur à lélément ; CTR: contribution relative de l'élément au facteur

AIDE A L'INTERPRETATION DE l' ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (bibliothéque ADDAD)

CODE	QLT	POID	INR	16#F	COR	CTR	17#F	COR	CTR	18#F	COR	CTR	19#F	COR	CTR	20#F	COR	CTR
s1	567	8	14	-26	0	0	428	36	28	-750	111	88	275	15	12	-559	62	50
s2	388	8	14	-49	0	0	185	6	5	-285	15	12	405	30	24	313	18	15
s3	606	7	15	-251	10	8	-489	39	31	-166	5	4	-1545	395	323	159	4	3
s4	695	6	15	-222	7	6	1176	201	162	1465	312	256	272	11	9	-536	42	35
s5	657	5	15	166	3	3	-1462	250	207	205	5	4	1321	204	174	-211	5	5
s6	632	6	15	949	129	101	3	0	0	177	4	4	-573	47	39	945	127	108
s7	557	6	15	-985	122	97	-154	3	2	-435	24	20	-33	0	0	-535	36	31
s8	695	3	16	712	38	32	-132	1	1	158	2	2	192	3	2	761	43	39
sit0	787	17	11	-59	2	1	78	3	2	-202	21	13	77	3	2	5	0	0
sit1	740	13	13	-62	1	1	-77	2	1	176	11	7	50	1	1	-17	0	0
sit2	750	16	12	-6	0	0	8	0	0	109	5	4	-82	3	2	115	6	4
sit3	581	4	16	180	3	2	166	3	2	-281	7	6	-156	2	2	-128	2	1
sit4	499	1	17	2193	49	44	-2307	54	50	1303	17	16	39	0	0	-2211	50	48
ls0	905	20	10	-9	0	0	-86	5	3	-8	0	0	-49	2	1	-25	0	0
ls1	827	24	9	8	0	0	21	0	0	86	7	3	73	5	2	-29	1	0
ls2	584	4	16	-373	12	10	152	2	2	-485	20	17	-181	3	2	-89	1	1
ls3	689	2	16	601	18	16	241	3	3	17	0	0	-26	0	0	635	21	19
ds0	342	0	17	936	3	3	5877	127	117	1978	14	14	5842	126	119	3020	34	33
ds1	765	30	7	49	4	1	-34	2	1	39	2	1	-104	16	6	-3	0	0
ds2	673	10	14	250	15	11	89	2	1	137	5	3	144	5	4	55	1	1
ds3	803	10	13	-392	40	29	-92	2	2	-274	20	15	56	1	1	-97	2	2
l0	616	9	14	-299	20	15	46	0	0	340	26	20	-82	2	1	-273	17	13
l1	530	8	14	34	0	0	323	20	16	-673	87	69	62	1	1	365	26	21
l2	693	11	13	559	86	60	7	0	0	145	6	4	-14	0	0	111	3	3
l3	713	22	10	-162	20	10	-143	16	8	31	1	0	19	0	0	-73	4	2
lt0	565	40	3	144	80	15	18	1	0	18	1	0	-135	70	14	63	15	3
lt1	565	10	13	-556	80	57	-69	1	1	-71	1	1	521	70	53	-241	15	12
M0	872	30	7	44	3	1	16	0	0	-76	8	3	-21	1	0	17	0	0
M1	707	5	15	-262	8	6	-433	21	18	235	6	5	377	16	14	388	17	15
M2	565	2	16	232	2	2	1861	160	141	1	0	0	-711	23	21	-974	44	41
M3	386	2	16	645	13	11	-112	0	0	91	0	0	-607	12	11	-2163	148	140
M4	723	12	13	-128	5	3	-191	11	8	79	2	1	105	3	2	261	21	15
ap0	717	2	16	394	6	5	521	10	9	-354	5	4	483	8	8	-91	0	0
ap1	877	9	14	154	6	4	-73	1	1	240	13	10	-168	7	5	20	0	0
ap2	721	21	10	4	0	0	28	1	0	-26	0	0	10	0	0	-42	1	1
ap3	776	18	11	-126	9	5	-46	1	1	-63	2	1	30	1	0	49	1	1
Rc0	757	43	2	-35	8	1	-14	1	0	10	1	0	-34	8	1	42	11	1
Rc1	474	2	16	-293	3	3	-401	6	5	120	1	0	465	8	7	-104	0	0
Rc2	676	2	16	194	2	1	435	8	7	-12	0	0	-341	5	5	-631	17	16
Rc3	761	3	16	561	19	16	135	1	1	-209	3	2	483	14	13	-119	1	1
Sc0	780	36	5	-7	0	0	-55	8	2	5	0	0	9	0	0	14	1	0
Sc1	729	3	16	-11	0	0	127	1	1	-385	10	9	273	5	5	10	0	0
Sc2	493	2	16	-463	11	10	136	1	1	448	10	9	-416	9	8	-632	21	19
Sc3	804	8	14	178	6	5	150	4	3	-5	0	0	-22	0	0	126	3	3
Vc0	849	27	8	98	11	5	-17	0	0	51	3	1	-37	2	1	-63	5	2
Vc1	860	4	16	37	0	0	240	5	4	-240	5	5	199	4	3	203	4	3
Vc2	848	6	15	-243	8	6	5	0	0	-152	3	3	-137	2	2	-78	1	1
Vc3	845	13	12	-105	4	3	-44	1	0	38	1	0	71	2	1	97	3	2
Pc0	557	44	2	35	8	1	53	19	2	-51	18	2	-49	16	2	-75	38	5
Pc1	551	3	16	1131	72	61	-894	45	39	714	29	26	608	21	19	-932	49	45
Pc2	569	2	16	-416	9	7	-239	3	3	-378	7	6	-34	0	0	1461	107	99
Pc3	722	1	16	-2449	179	155	434	6	5	852	22	20	398	5	4	1559	72	68
SVc0	817	34	6	-65	9	3	-53	6	2	54	6	2	12	0	0	39	3	1
SVc1	739	3	16	-286	6	5	-89	1	0	66	0	0	386	10	9	163	2	2
SVc2	822	13	12	237	20	13	158	9	6	-156	9	6	-126	6	4	-141	7	5
Mc0	873	30	7	43	3	1	7	0	0	-75	8	3	-18	0	0	11	0	0
Mc1	691	4	16	-692	44	36	151	2	2	452	19	16	-291	8	7	26	0	0
Mc2	702	3	16	725	30	25	-266	4	3	-561	18	16	112	1	1	-205	2	2
Mc3	800	14	12	-22	0	0	-10	0	0	133	7	5	108	4	3	8	0	0
Tc0	436	49	0	21	26	0	25	38	1	-17	17	0	7	3	0	0	0	0
Tc1	436	1	17	-1255	26	23	-1533	38	35	1012	17	15	-445	3	3	14	0	0
R0	749	42	3	-4	0	0	5	0	0	48	12	2	0	0	0	50	13	2
R1	377	1	17	-70	0	0	930	22	19	-270	2	2	-264	2	2	-301	2	2
R2	548	2	16	-262	4	3	-713	26	23	-56	0	0	125	1	1	-540	15	14
R3	800	4	15	207	4	3	98	1	1	-354	12	10	1	0	0	-91	1	1
S0	840	21	10	-9	0	0	16	0	0	-230	39	21	34	1	0	-138	14	8
S1	827	5	15	48	0	0	108	1	1	-227	6	5	109	1	1	8	0	0
S2	769	8	14	-294	16	12	-139	4	3	-65	1	1	-83	1	1	62	1	1
S3	814	16	12	140	9	6	13	0	0	405	78	50	-38	1	0	150	11	7
V0	872	21	10	79	5	2	-52	2	1	259	50	27	-53	2	1	81	5	3
V1	898	5	15	10	0	0	149	3	2	-204	5	4	140	2	2	169	3	3
V2	871	5	15	-243	6	5	52	0	0	-167	3	3	-110	1	1	-103	1	1
V3	868	18	11	-30	1	0	4	0	0	-199	23	14	52	2	1	-115	8	5
F0	522	49	0	2	0	0	0	0	0	-1	0	0	-3	0	0	-17	13	0
F1	505	0	17	1281	14	13	465	2	2	-2613	60	56	1693	25	24	768	5	5
F2	487	1	17	-1030	14	12	-342	2	1	1854	45	42	-935	11	11	774	8	7
geo1	760	38	4	32	3	1	7	0	0	15	1	0	15	1	0	3	0	0
geo2	794	6	15	-199	5	4	-11	0	0	-246	8	7	0	0	0	131	2	2
geo3	860	7	15	-10	0	0	-29	0	0	129	3	2	-83	1	1	-131	3	2

QLT: qualité de la représentation ; POID: masse statistique ; INR: part de l'inertie de l'élément au nuage total ; #F: coordonnées ; COR: contribution relative du facteur à lélément ; CTR: contribution relative de l'élément au facteur

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



Rappel de la codification des variables :

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
lt0-lt1	: présence/non-présence de bancs
ls0,,,ls3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

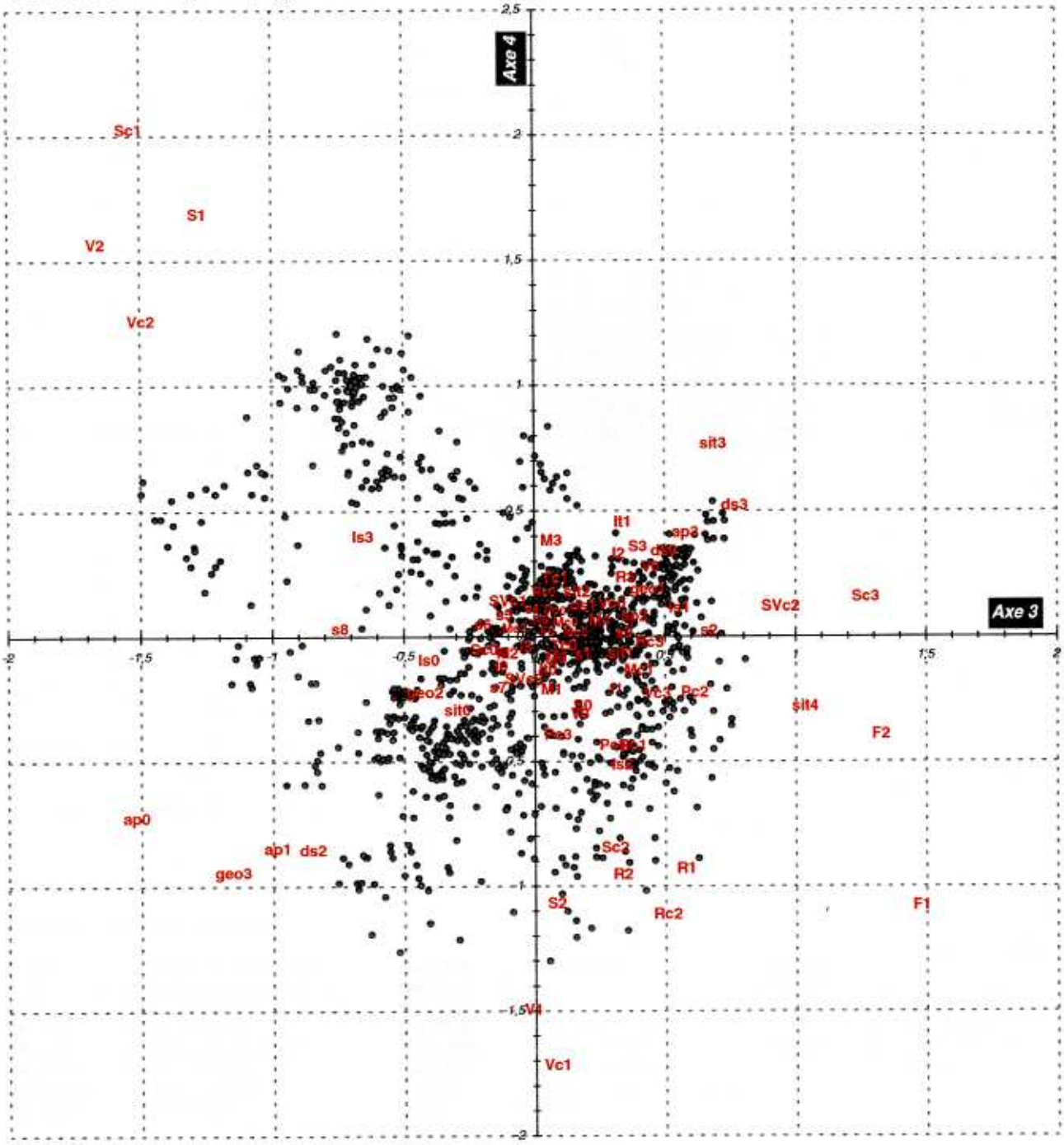
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



Rappel de la codification des variables :

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
It0-It1	: présence/non-présence de bancs
Is0,,,Is3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

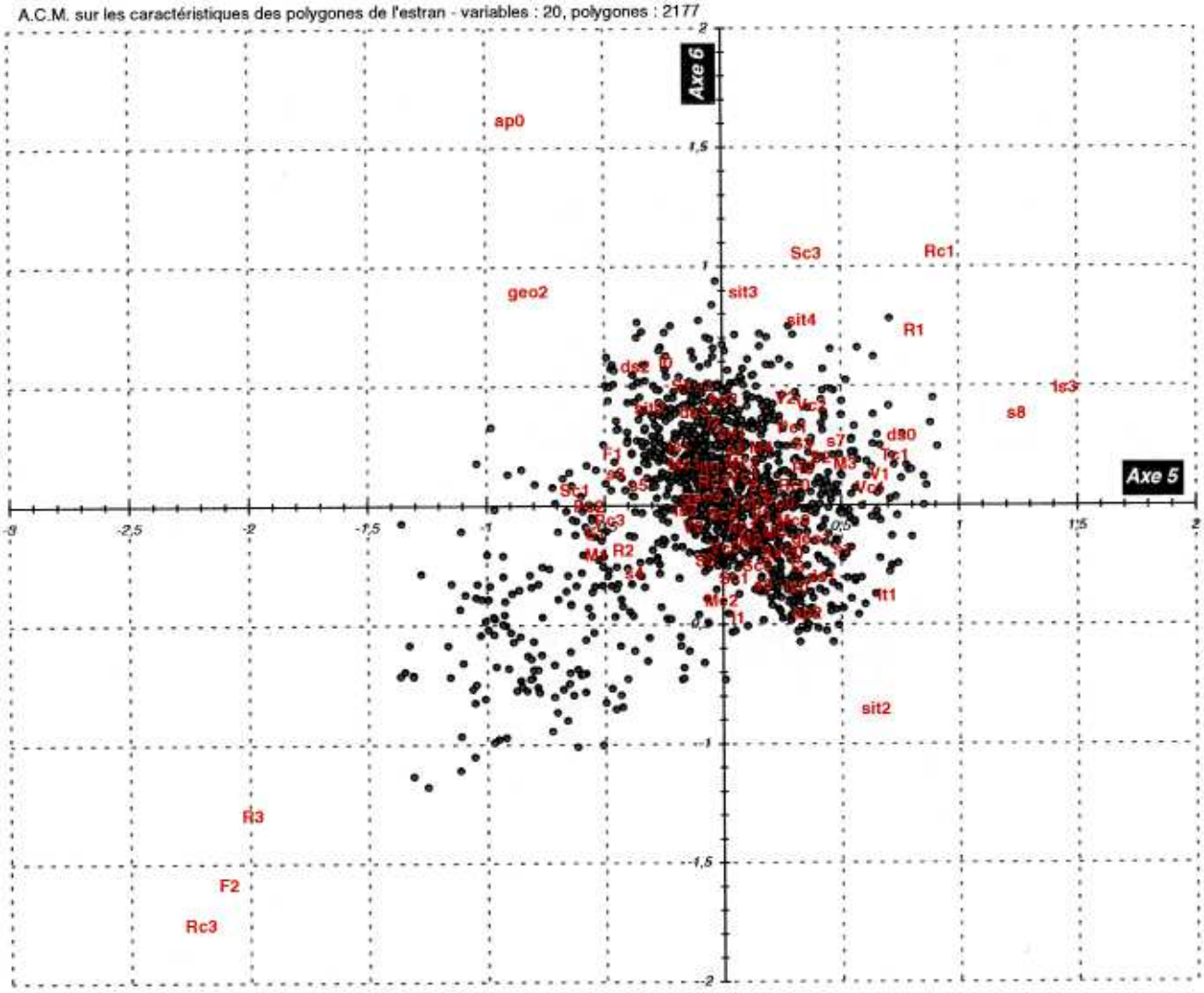
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



Rappel de la codification des variables :

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
lt0-lt1	: présence/non-présence de bancs
ls0,,,ls3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

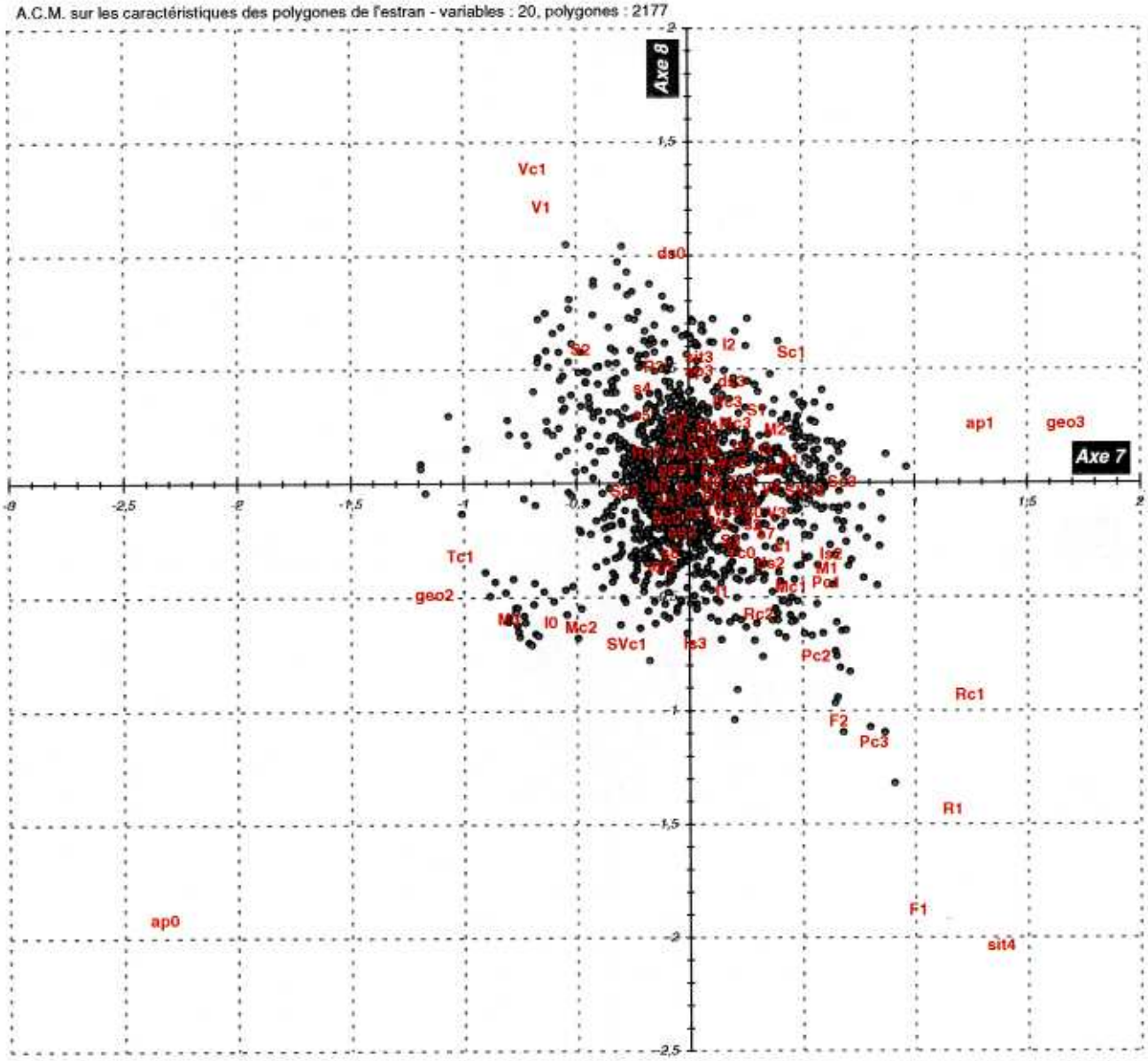
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



Rappel de la codification des variables :

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
lt0-lt1	: présence/non-présence de bancs
ls0,,,ls3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

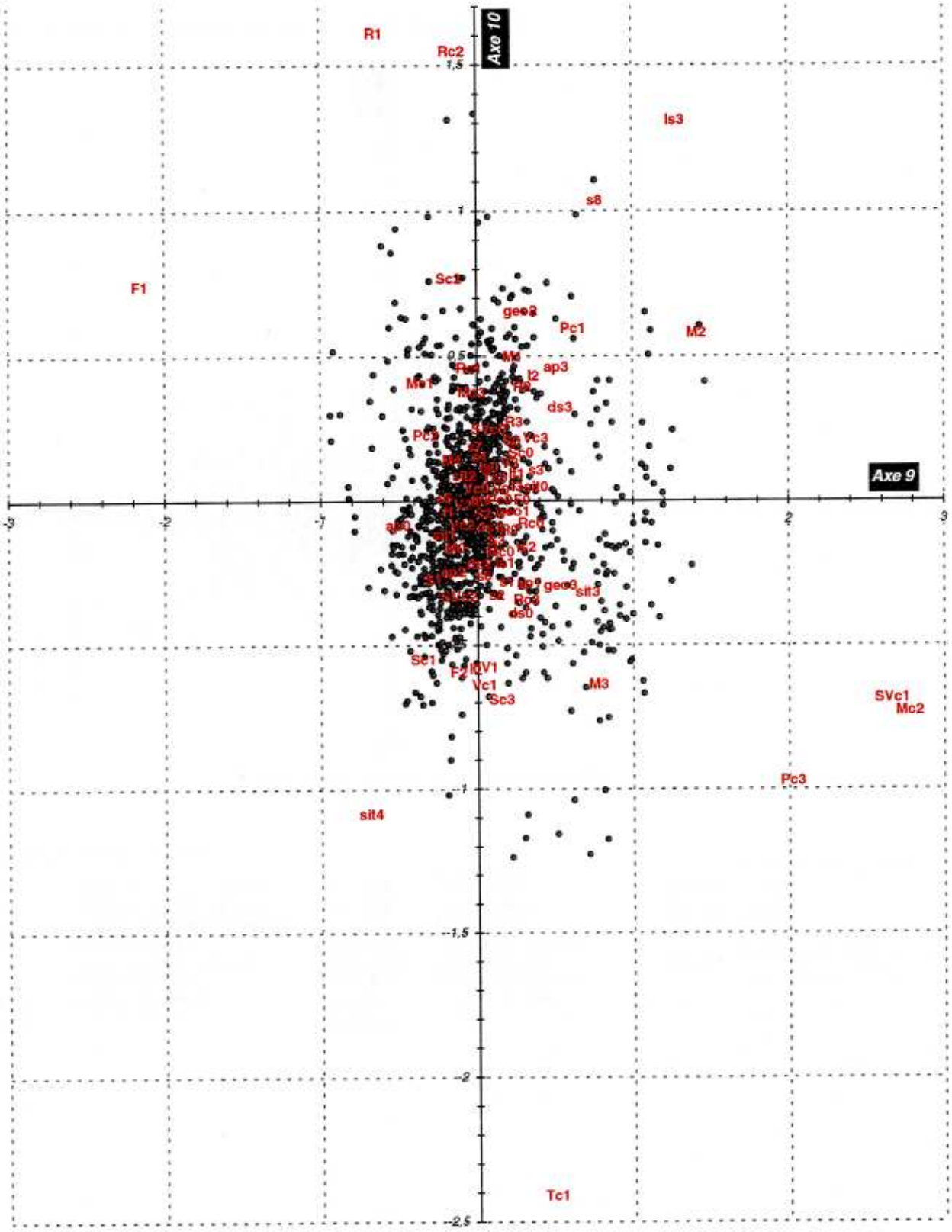
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



Rappel de la codification des variables

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
lt0-lt1	: présence/non-présence de bancs
ls0,,,ls3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

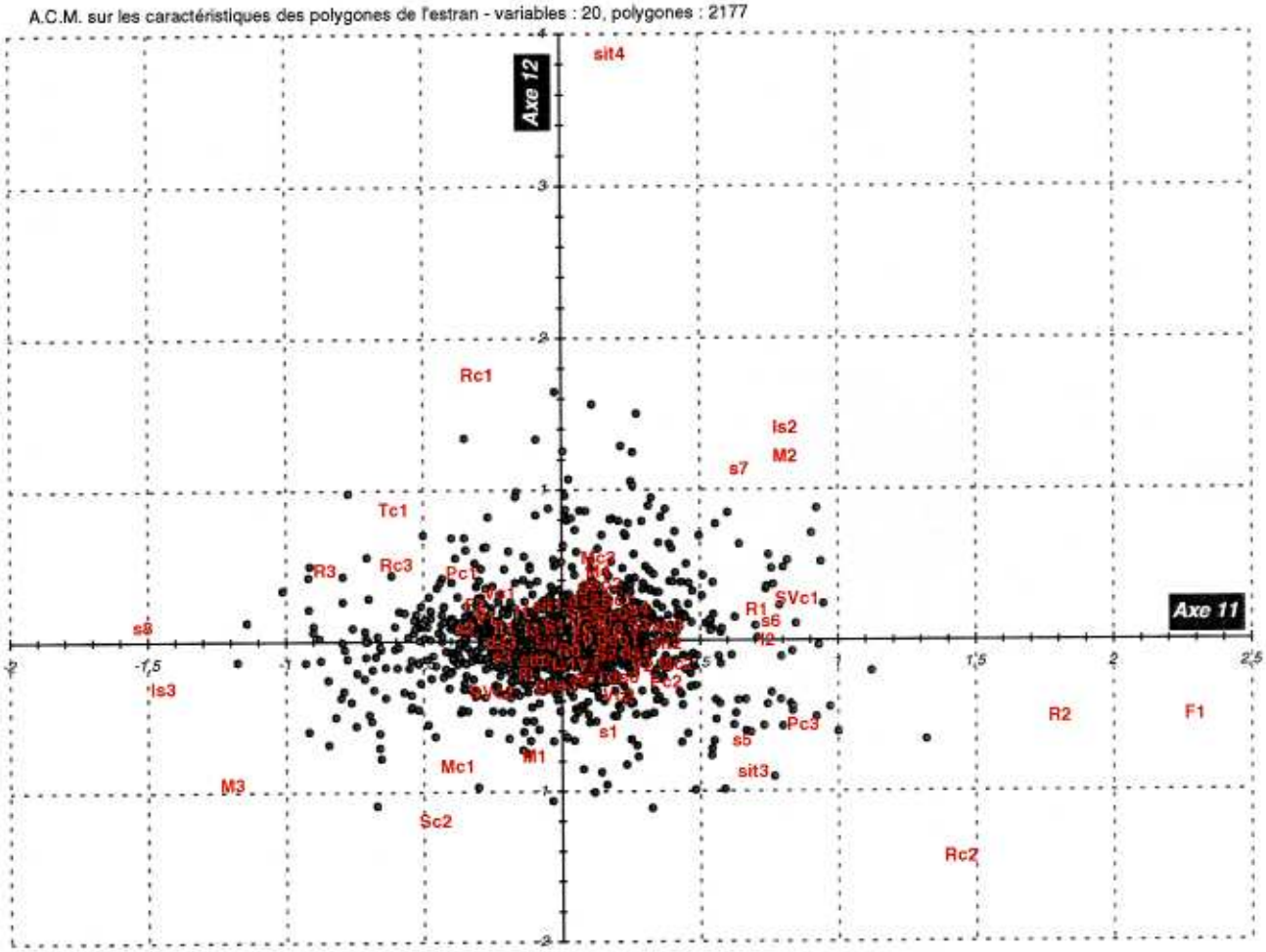
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



* Rc0, Tc0, ap2, Pc0, It0, Vc0, ap3, Is0, Mc0, Sc0, M0

Rappel de la codification des variables

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
It0-It1	: présence/non-présence de bancs
Is0,,,Is3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

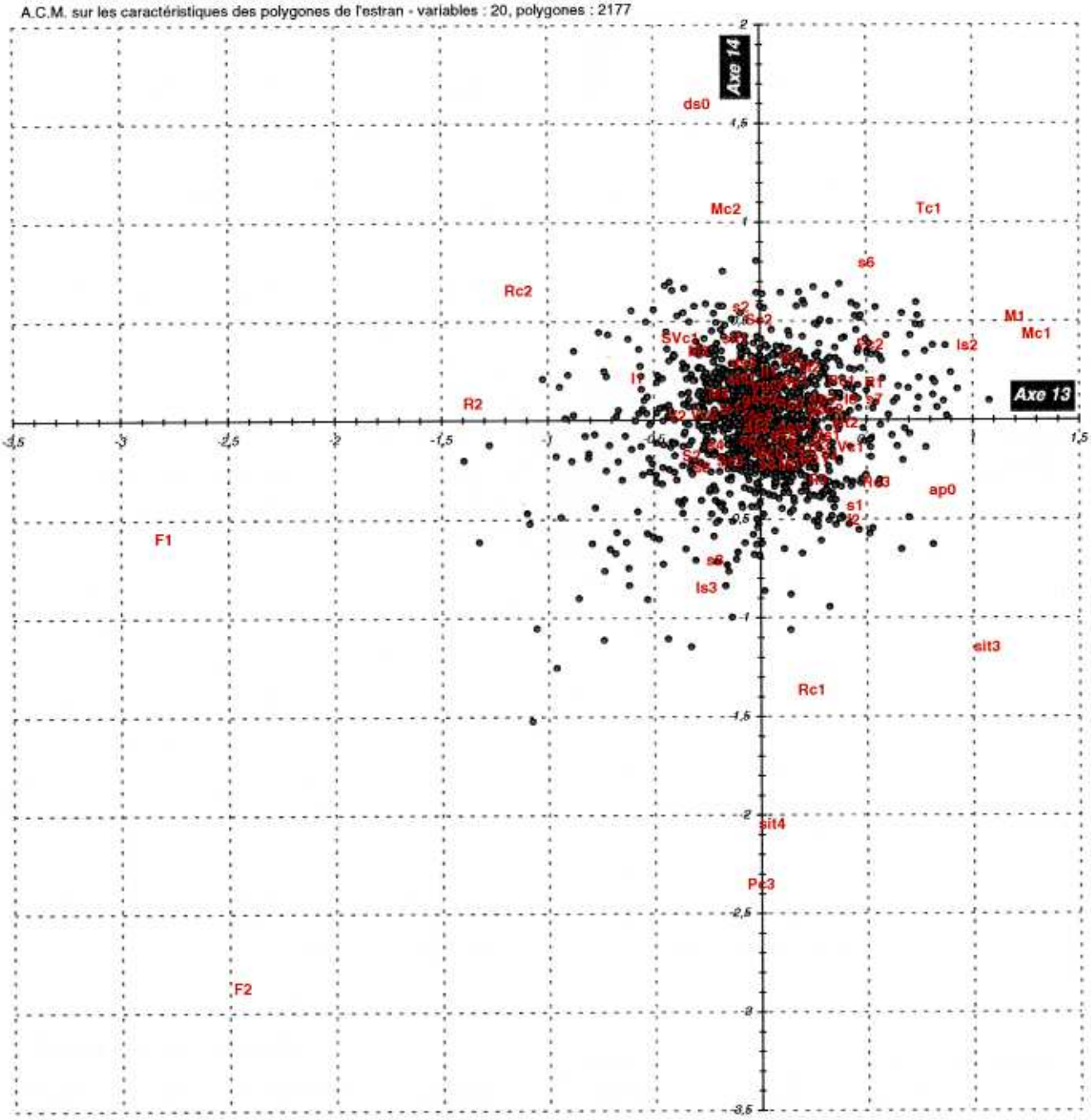
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



* S1, F0, Vc0, Sc0, Tc0, Vc3, Rc0, Is0, R0, Sc2, It0

Rappel de la codification des variables :

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
It0-It1	: présence/non-présence de bancs
Is0,,,Is3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

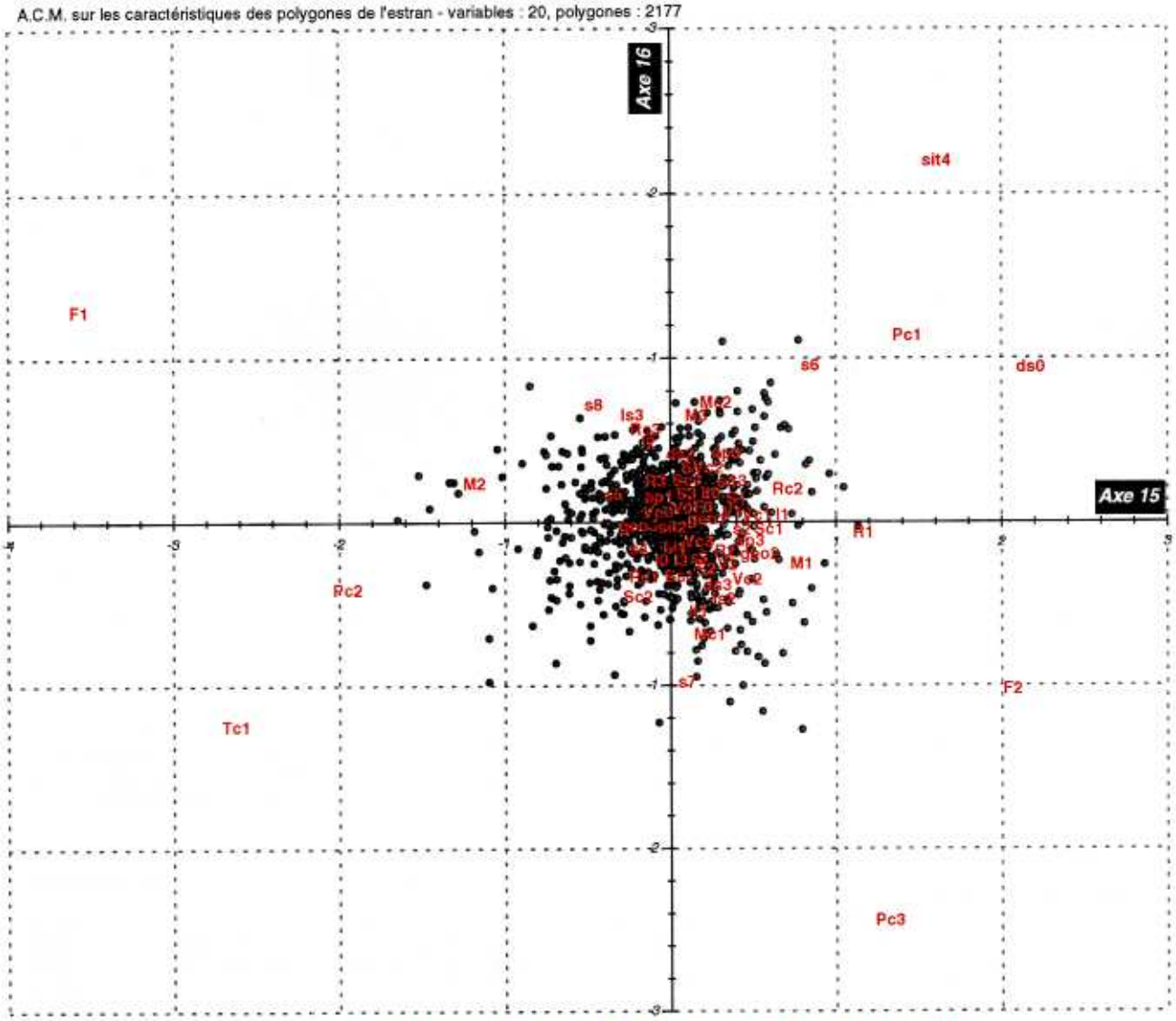
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



* ap2, s1, Rc0, sit0, S0, Sc0, sit1, V3, R0, Pc0, Is0, Mc0, Is1, SVc0, Tc0, ds1, M0

Rappel de la codification des variables

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
It0-It1	: présence/non-présence de bancs
Is0,,,Is3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

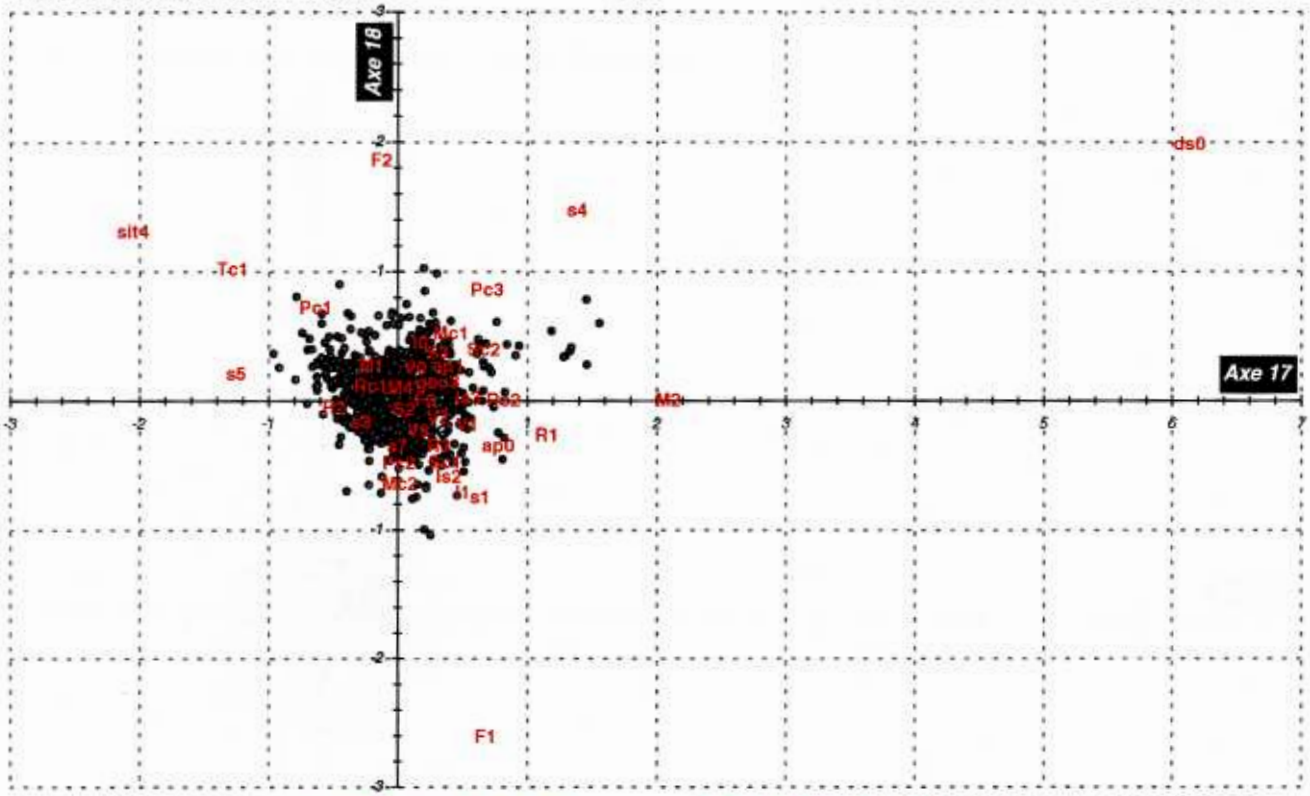
nature du substrat de l'estran

S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

particularité de l'estran

M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



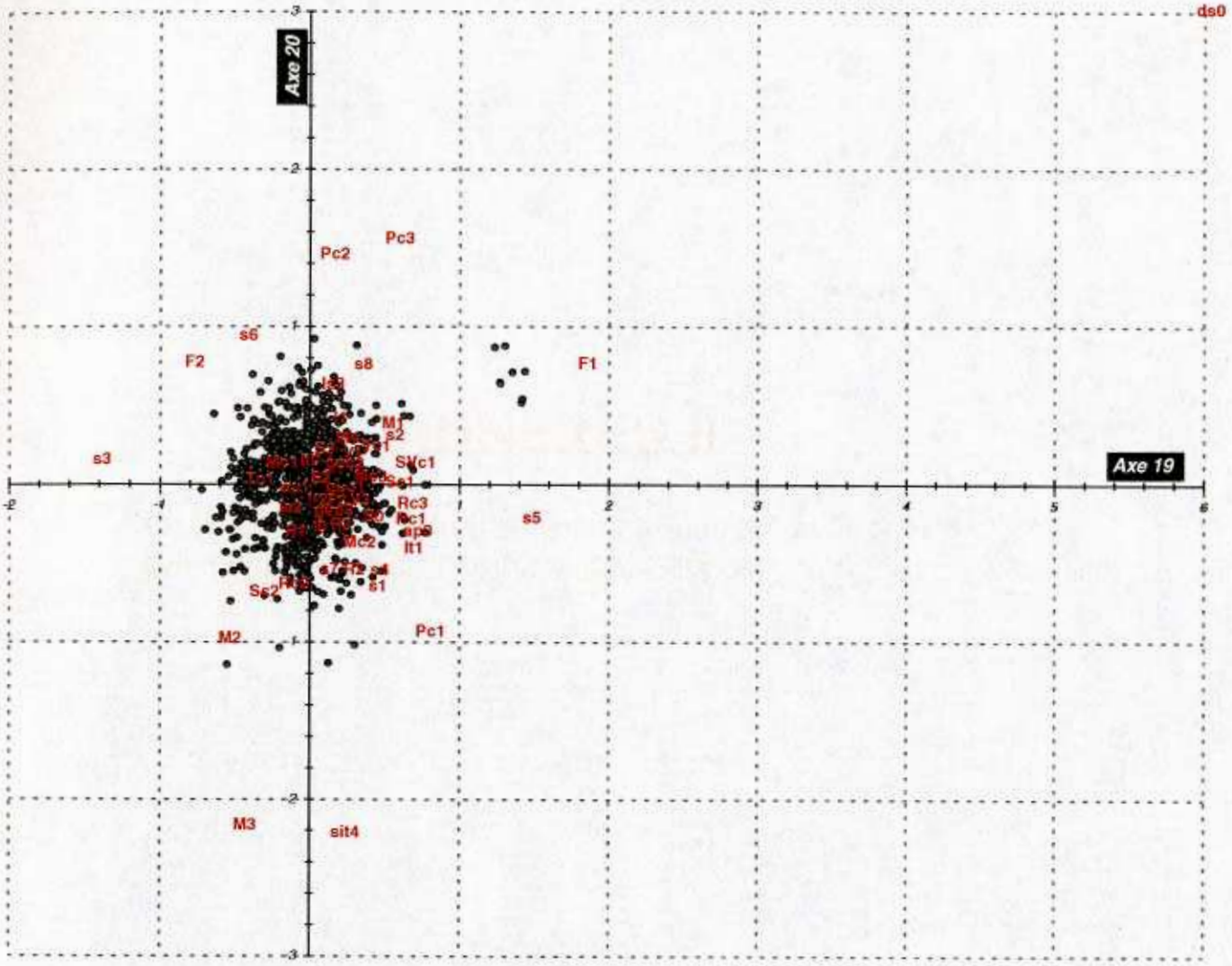
★ s6, sit2, Is0, Is1, ds1, It0, M0, I2, ap2, ap3, Rc0, Sc0, Sc3, Vc0, I3, sit1, ds2, M3, s8, geo1, Vc3, Pc0, SVc0, Tc0, It1, R0, SVc1, Mc0, Mc3

○ s2, sit3, S0, sit0, Rc3, S1, Vc2, Vc1, SVc2, ds3, geo2

Rappel de la codification des variables

			type de contact		*nature du substrat de l'estran*
s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"	**Rc0,,,Rc3**	: contact rocheux	**S0,,,S3**	: sableux
I0,,,I3	: largeur de la bande des 10 m.	**Sc0,,,Sc3**	: contact sableux	**V0,,,V3**	: vaseux
It0-It1	: présence/non-présence de bancs	**Vc0,,,Vc3**	: contact vaseux	**R0,,,R3**	: rocheux
Is0,,,Is3	: largeur de l'estran	**Pc0,,,Pc3**	: contact avec mangrove		*particularité de l'estran*
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone	**SVc0,,,SVc2**	: contact avec tanne	**M0,,,M4**	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran
ds0,,,ds3	: situation deltaïque	**Mc0,,,Mc3**	: contact avec palmeraie		
geo1,,,geo3	: entité géographique	**Tc0-Tc1**	: contact avec savane et/ou sol nu		
ap0,,,ap3	: distance à l'apex	**F0,,,F2**	: falaises		

A.C.M. sur les caractéristiques des polygones de l'estran - variables : 20, polygones : 2177



* Sc0, sit0, Rc0, Mc0, sit1, l3, Sc3, ls0, SVc0, V0, Tc0, ls1, ds2, R0, sit2, Vc0, Vc3, ds1, ds3, M0, sit3, Pc0, S1, l2, Vc2, SVc2, ap2, ap3

Rappel de la codification des variables :

s1,,,s8	: surface du "polygone-estran"
l0,,,l3	: largeur de la bande des 10 m.
It0-It1	: présence/non-présence de bancs
ls0,,,ls3	: largeur de l'estran
sit0,,,sit4	: situation locale du polygone
ds0,,,ds3	: situation deltaïque
geo1,,,geo3	: entité géographique
ap0,,,ap3	: distance à l'apex

type de contact

Rc0,,,Rc3	: contact rocheux
Sc0,,,Sc3	: contact sableux
Vc0,,,Vc3	: contact vaseux
Pc0,,,Pc3	: contact avec mangrove
SVc0,,,SVc2	: contact avec tanne
Mc0,,,Mc3	: contact avec palmeraie
Tc0-Tc1	: contact avec savane et/ou sol nu
F0,,,F2	: falaises

nature du substrat de l'estran

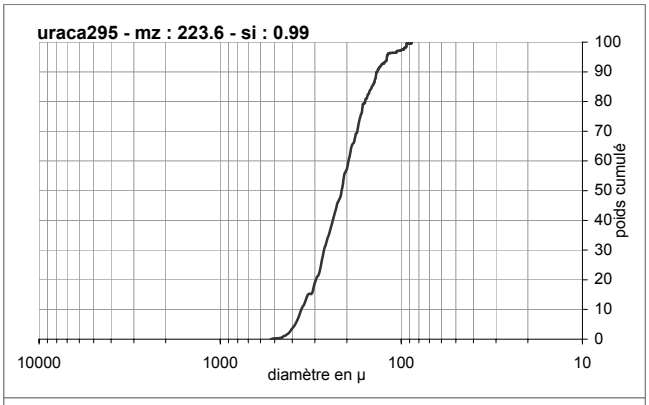
S0,,,S3	: sableux
V0,,,V3	: vaseux
R0,,,R3	: rocheux

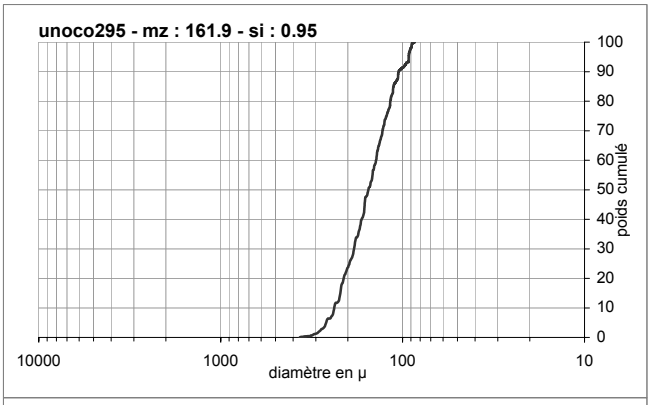
particularité de l'estran

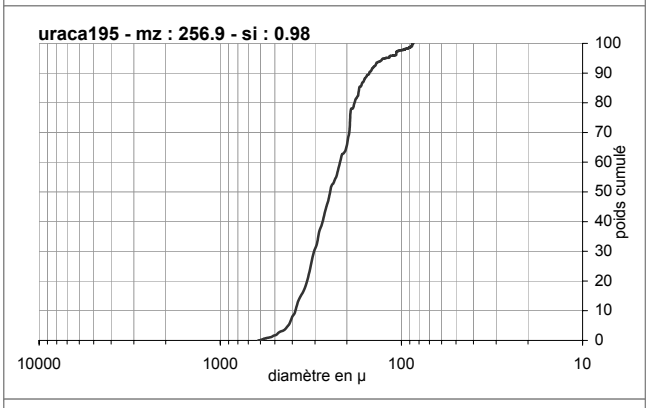
M0,,,M4	: taille de l'entité mangrove en haut d'estran

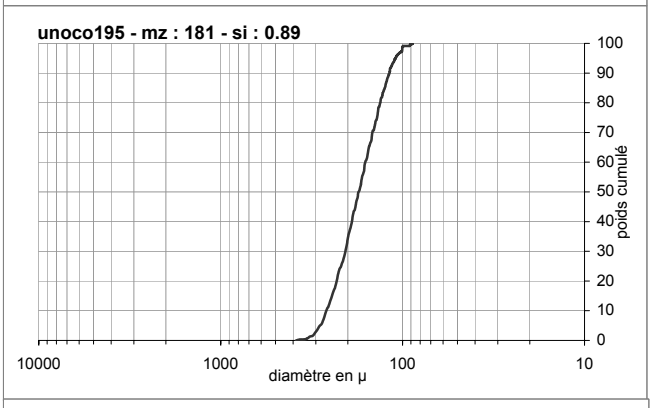
ANNEXES II

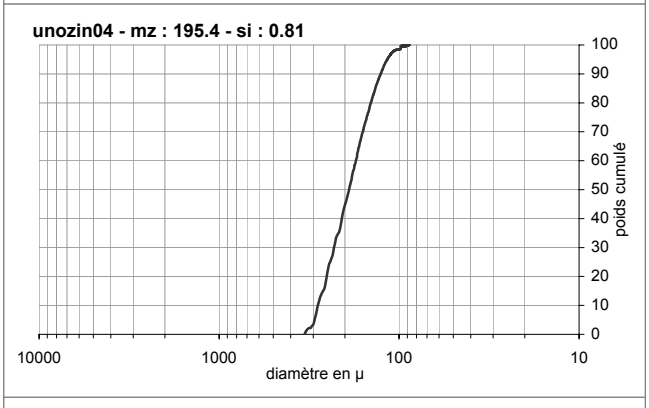
Courbes sédimentaires des échantillons prélevés sur les principaux sites de l'Archipel des Bijagos.

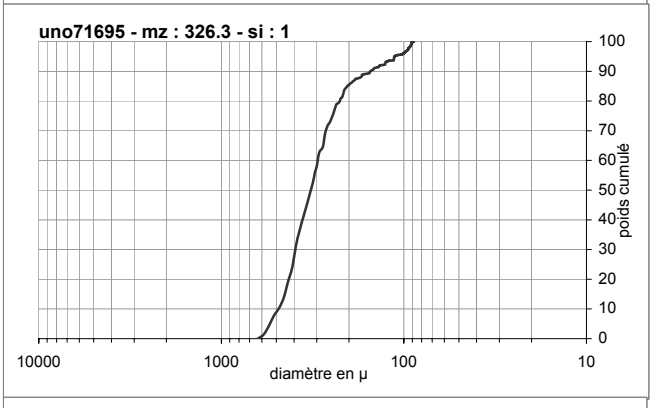

uraca295 - mz : 223.6 - si : 0.99
poids cumulé
diamètre en µ

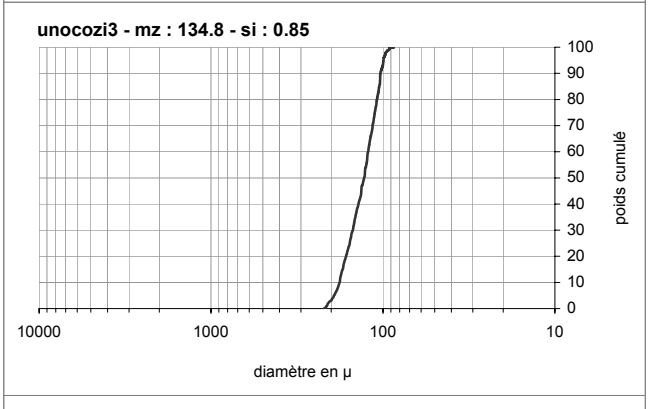

unoco295 - mz : 161.9 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

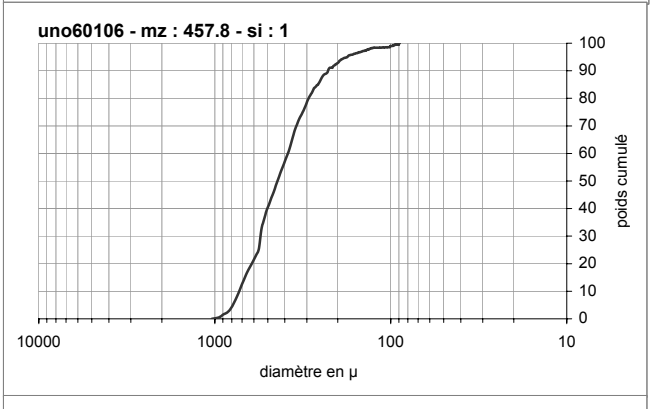

uraca195 - mz : 256.9 - si : 0.98
poids cumulé
diamètre en µ

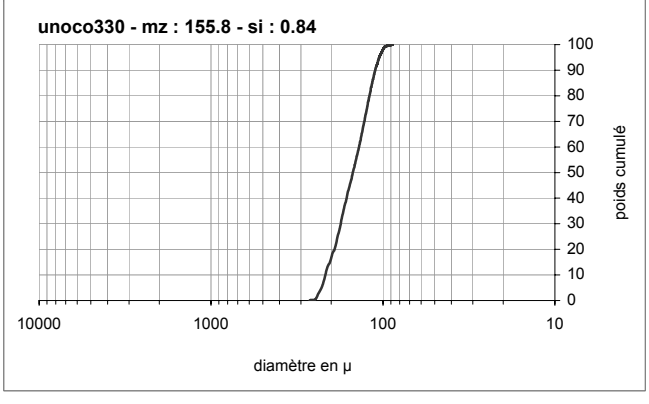

unoco195 - mz : 181 - si : 0.89
poids cumulé
diamètre en µ

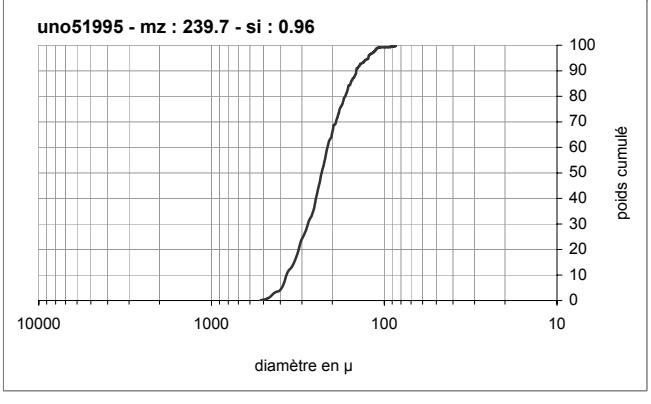

unozin04 - mz : 195.4 - si : 0.81
poids cumulé
diamètre en µ

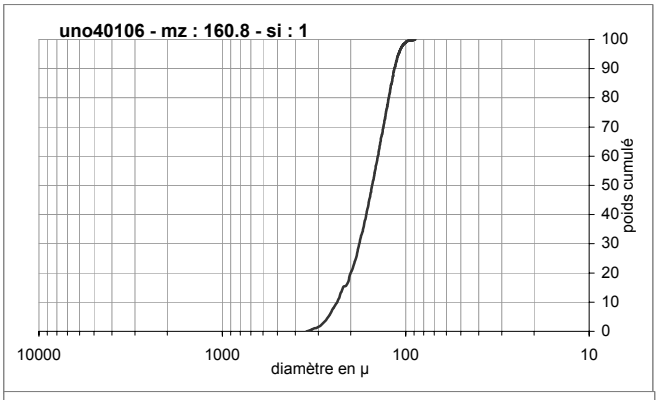

uno71695 - mz : 326.3 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

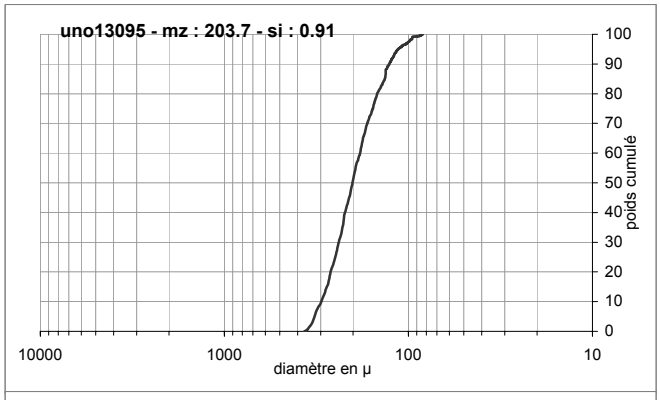

unocozi3 - mz : 134.8 - si : 0.85
poids cumulé
diamètre en µ

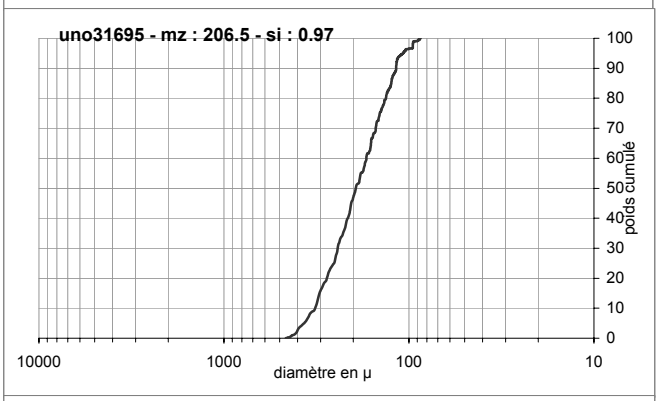

uno60106 - mz : 457.8 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

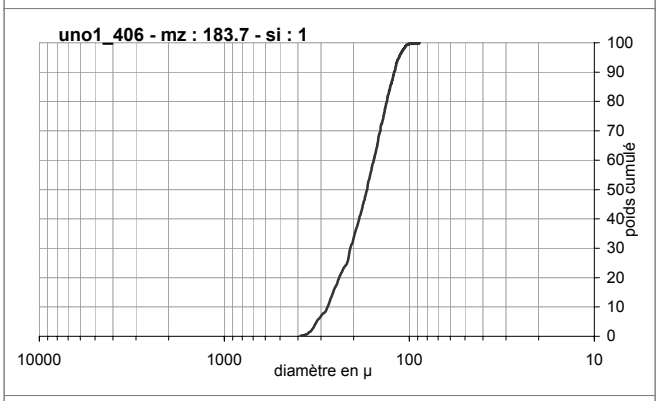

unoco330 - mz : 155.8 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

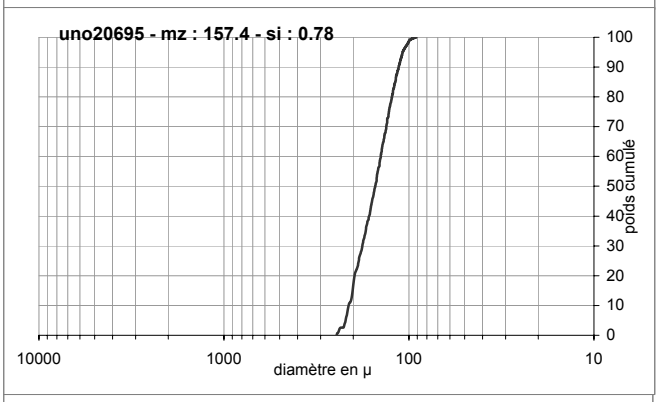

uno51995 - mz : 239.7 - si : 0.96
poids cumulé
diamètre en µ

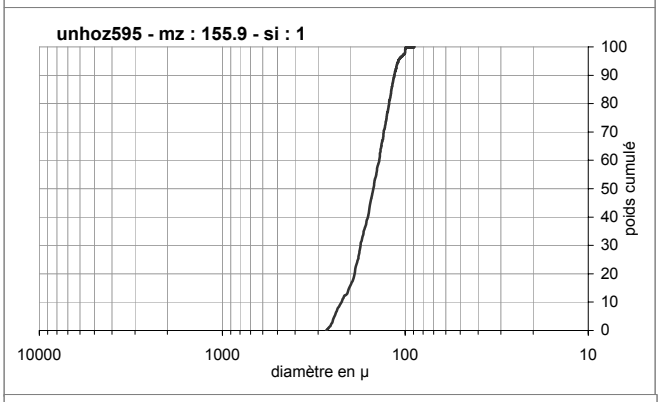

uno40106 - mz : 160.8 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

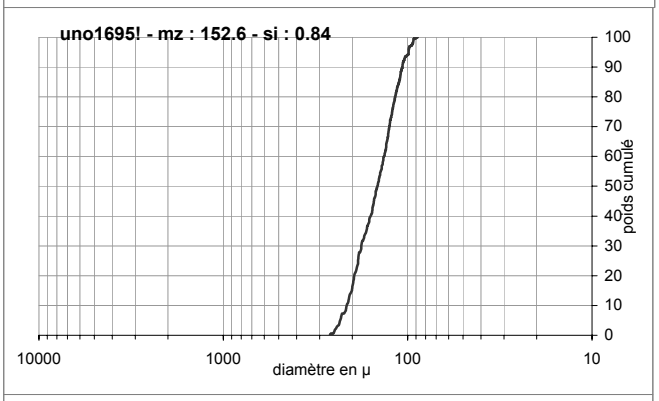

uno13095 - mz : 203.7 - si : 0.91
poids cumulé
diamètre en µ

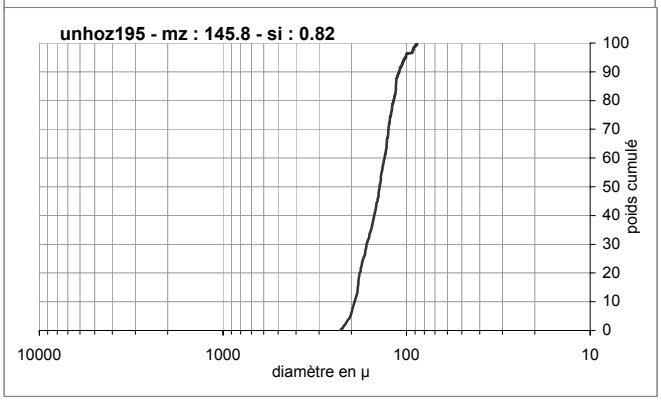

uno31695 - mz : 206.5 - si : 0.97
poids cumulé
diamètre en µ

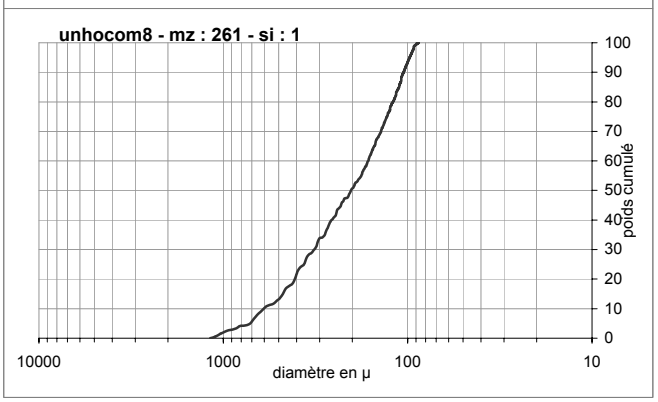

uno1_406 - mz : 183.7 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

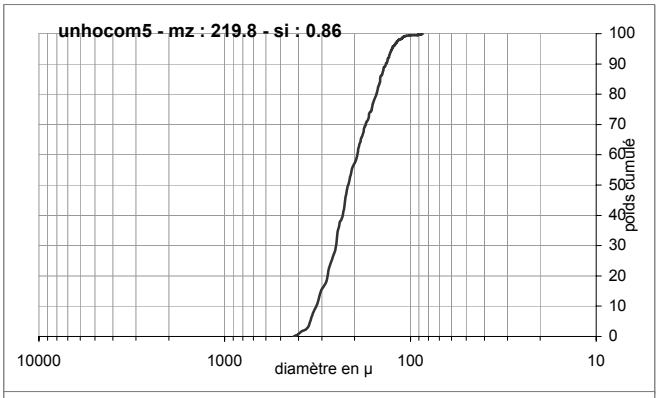

uno20695 - mz : 157.4 - si : 0.78
poids cumulé
diamètre en µ

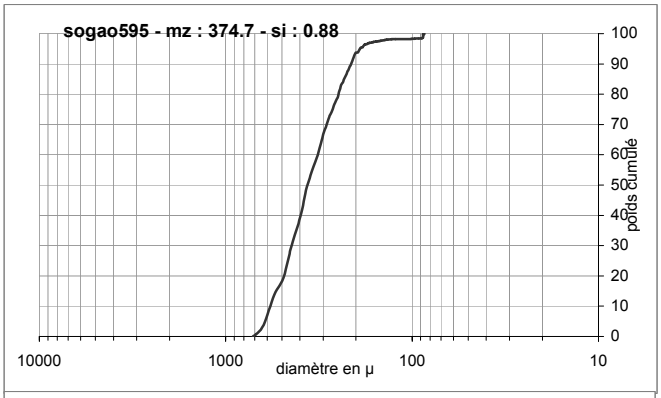

unhoz595 - mz : 155.9 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

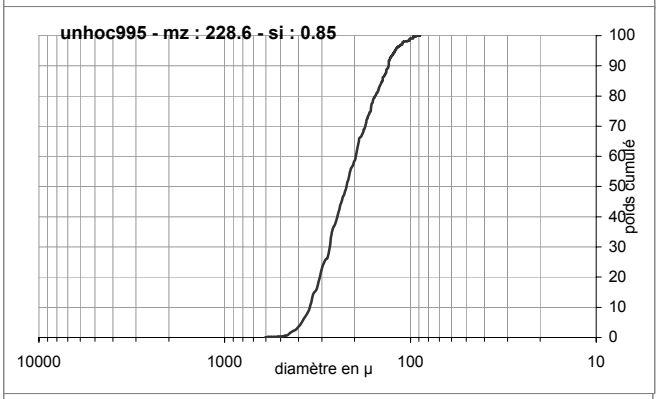

uno1695! - mz : 152.6 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

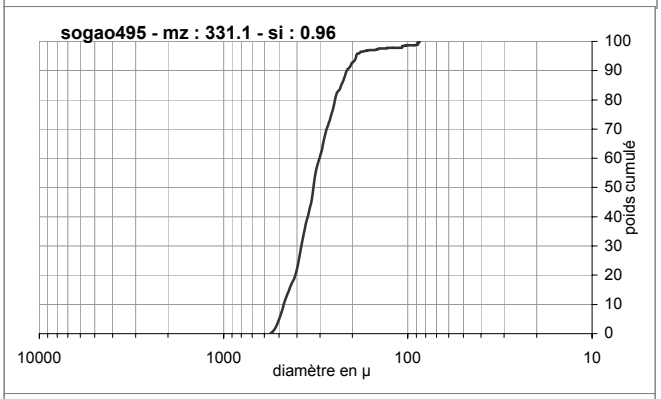

unhoz195 - mz : 145.8 - si : 0.82
poids cumulé
diamètre en µ

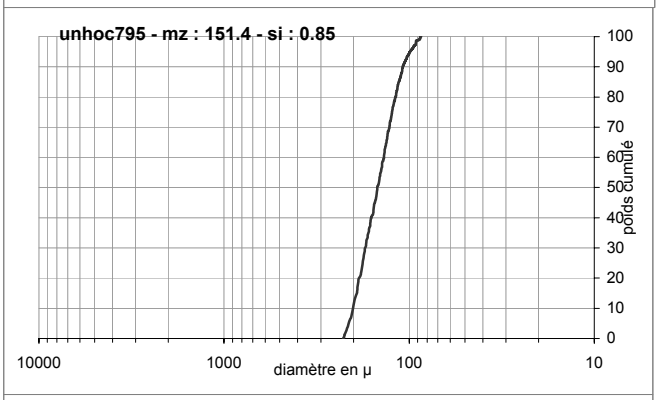

unhocom8 - mz : 261 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

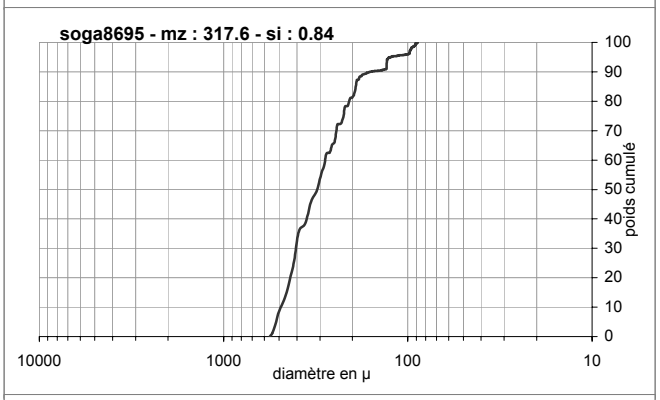

unhocom5 - mz : 219.8 - si : 0.86
poids cumulé
diamètre en µ

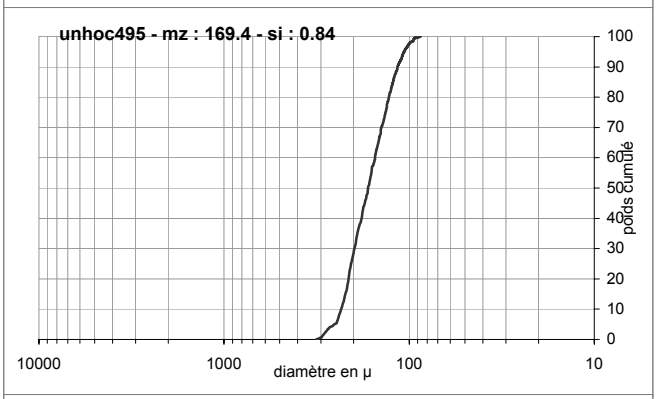

sogao595 - mz : 374.7 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

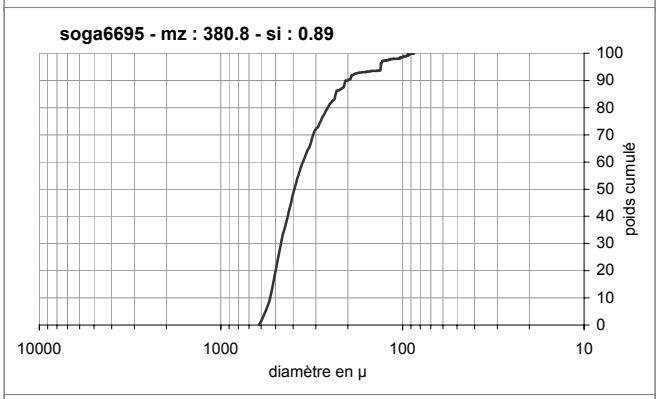

unhoc995 - mz : 228.6 - si : 0.85
poids cumulé
diamètre en µ

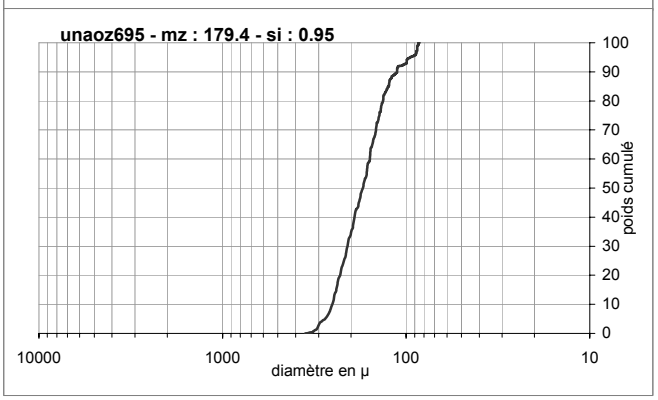

sogao495 - mz : 331.1 - si : 0.96
poids cumulé
diamètre en µ

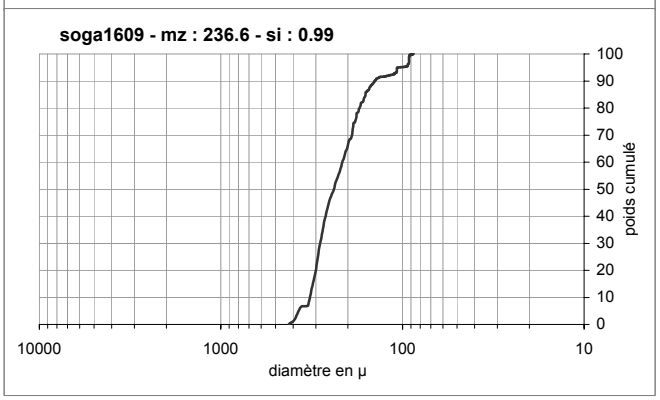

unhoc795 - mz : 151.4 - si : 0.85
poids cumulé
diamètre en µ

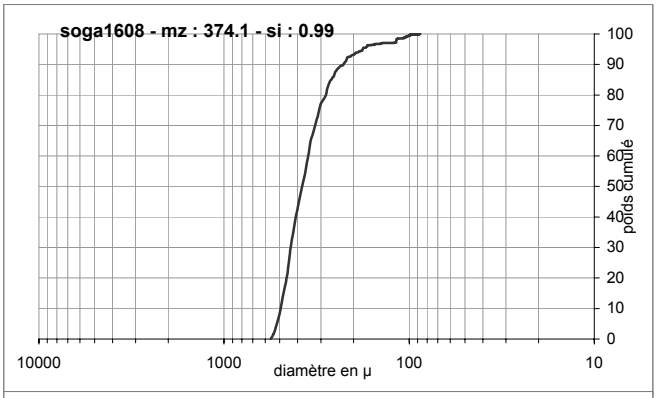

soga8695 - mz : 317.6 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

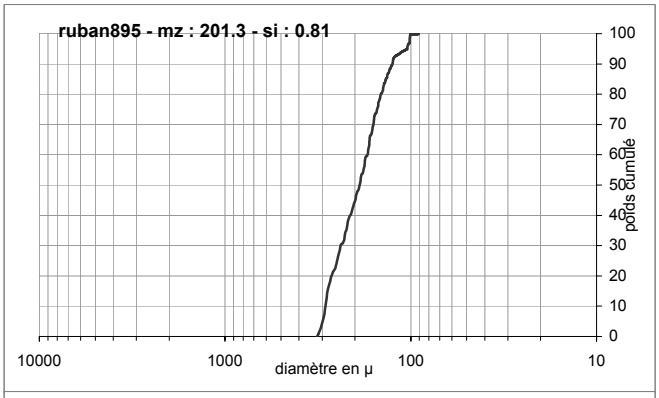

unhoc495 - mz : 169.4 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

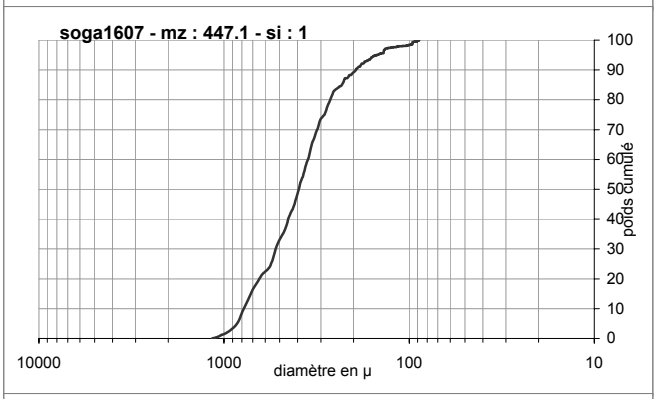

soga6695 - mz : 380.8 - si : 0.89
poids cumulé
diamètre en µ

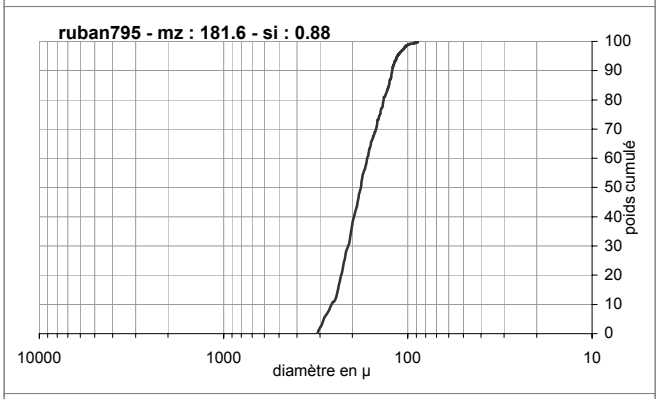

unaoz695 - mz : 179.4 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

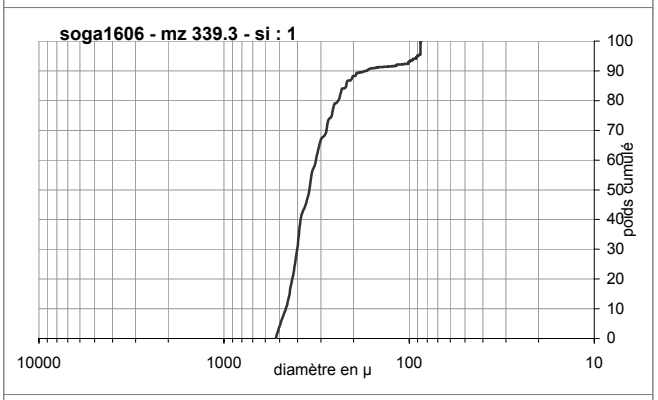

soga1609 - mz : 236.6 - si : 0.99
poids cumulé
diamètre en µ

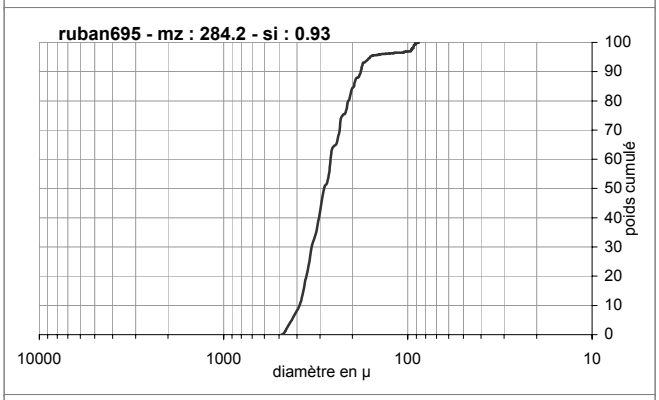

soga1608 - mz : 374.1 - si : 0.99
poids cumulé
diamètre en µ

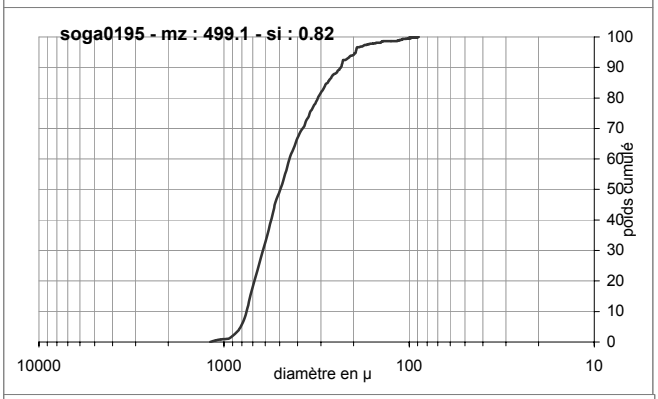

ruban895 - mz : 201.3 - si : 0.81
poids cumulé
diamètre en µ

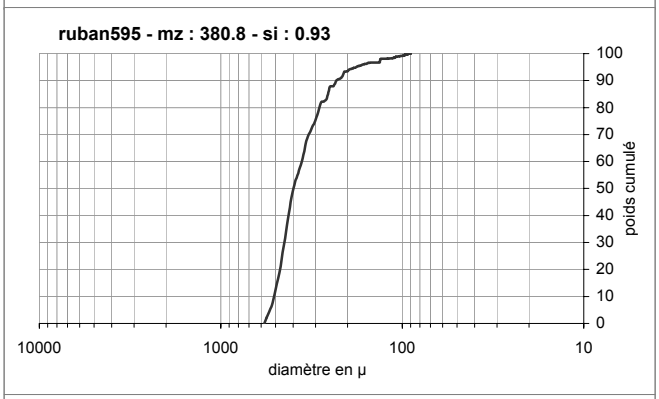

soga1607 - mz : 447.1 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

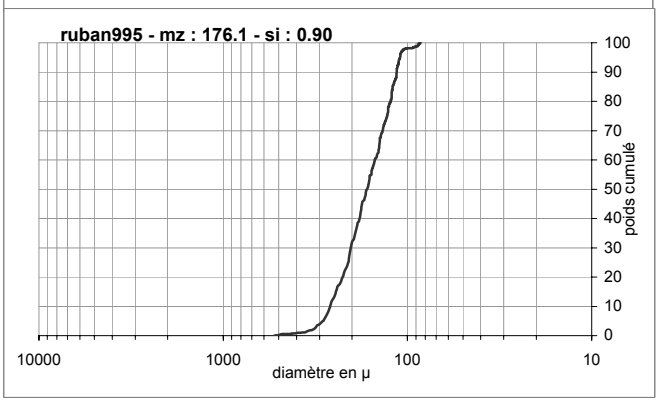

ruban795 - mz : 181.6 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

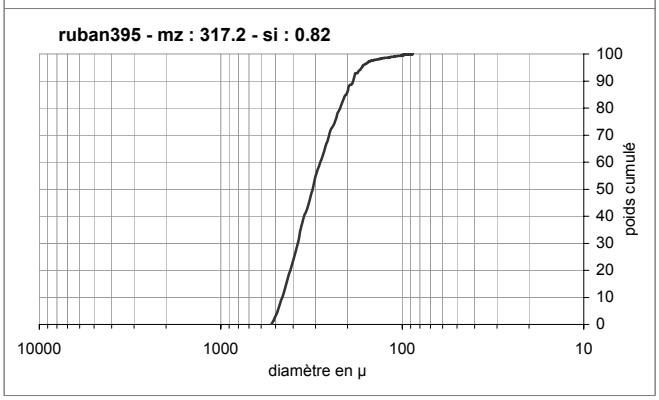

soga1606 - mz 339.3 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

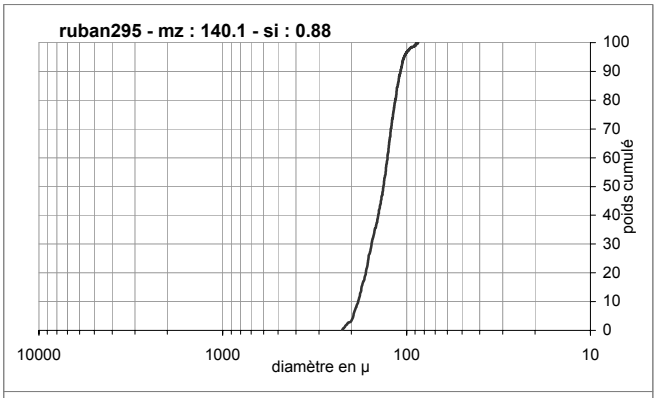

ruban695 - mz : 284.2 - si : 0.93
poids cumulé
diamètre en µ

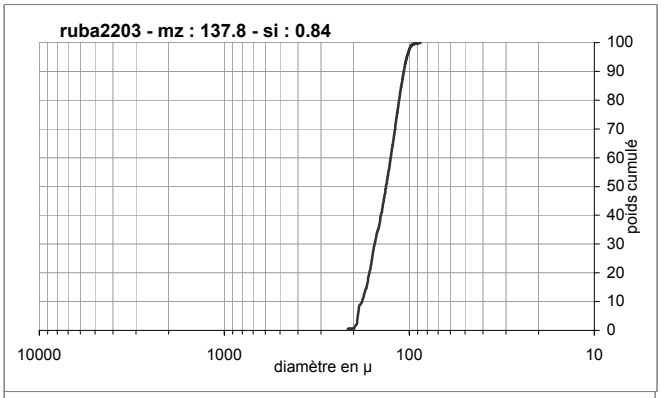

soga0195 - mz : 499.1 - si : 0.82
poids cumulé
diamètre en µ

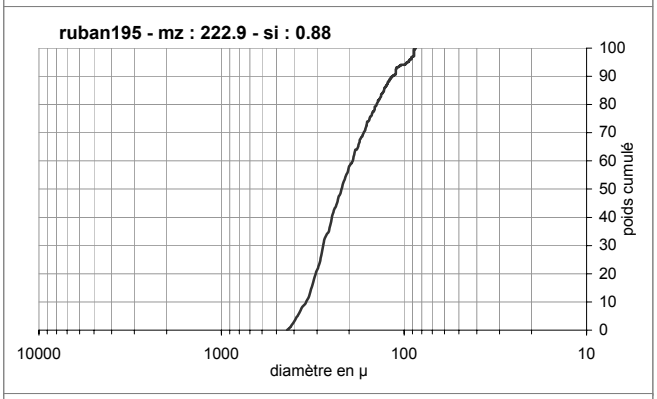

ruban595 - mz : 380.8 - si : 0.93
poids cumulé
diamètre en µ

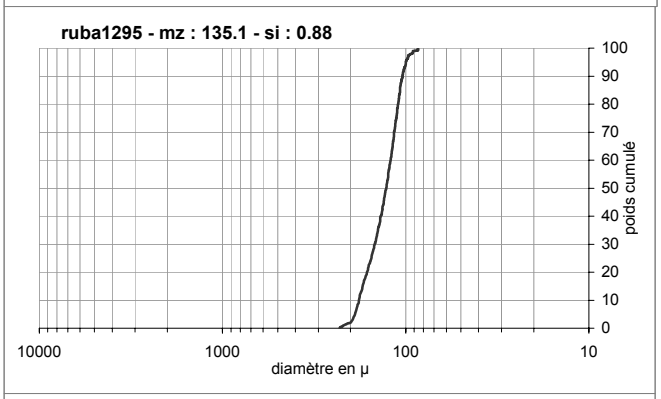

ruban995 - mz : 176.1 - si : 0.90
poids cumulé
diamètre en µ

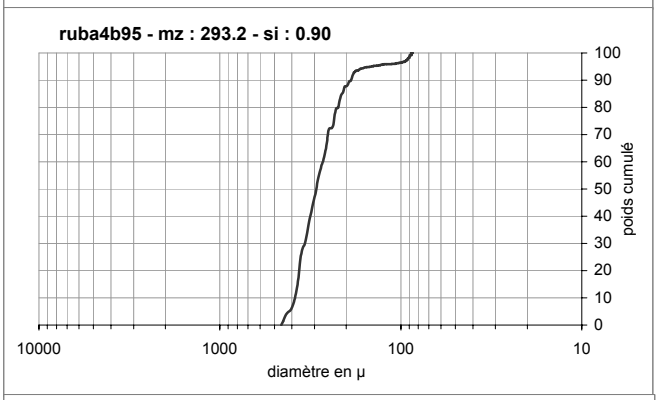

ruban395 - mz : 317.2 - si : 0.82
poids cumulé
diamètre en µ

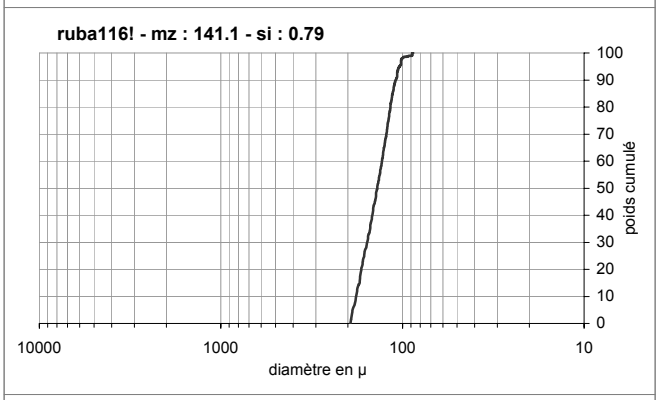

ruban295 - mz : 140.1 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

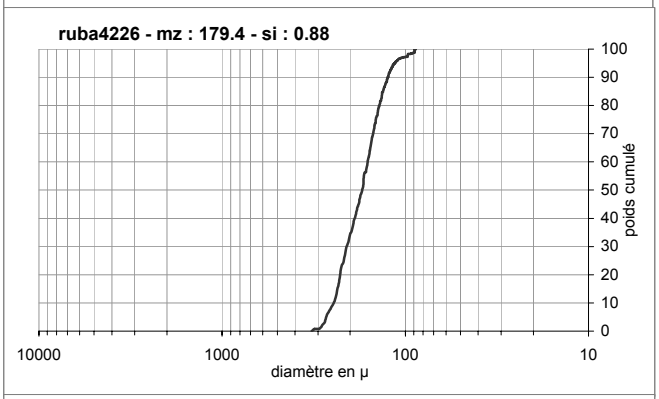

ruba2203 - mz : 137.8 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

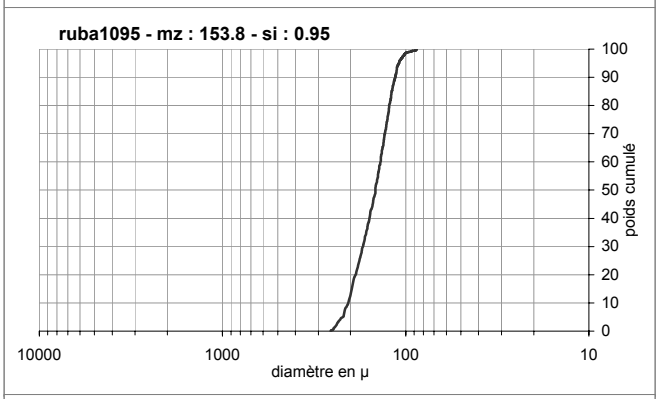

ruban195 - mz : 222.9 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

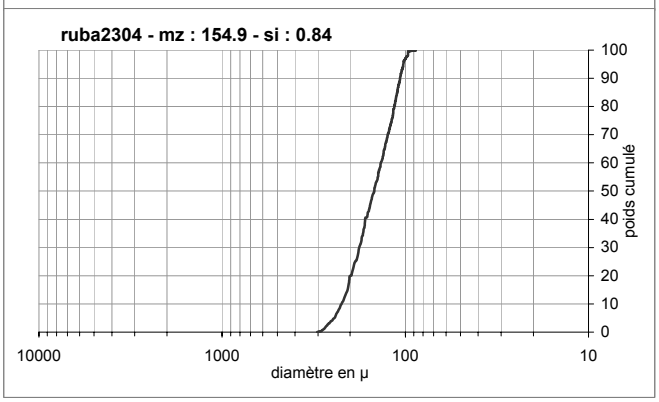

ruba1295 - mz : 135.1 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

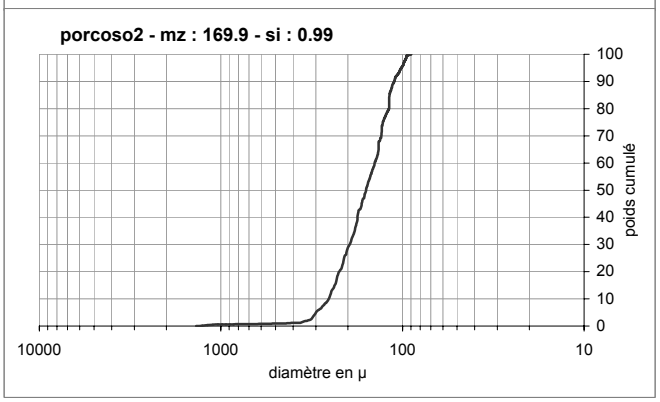

ruba4b95 - mz : 293.2 - si : 0.90
poids cumulé
diamètre en µ

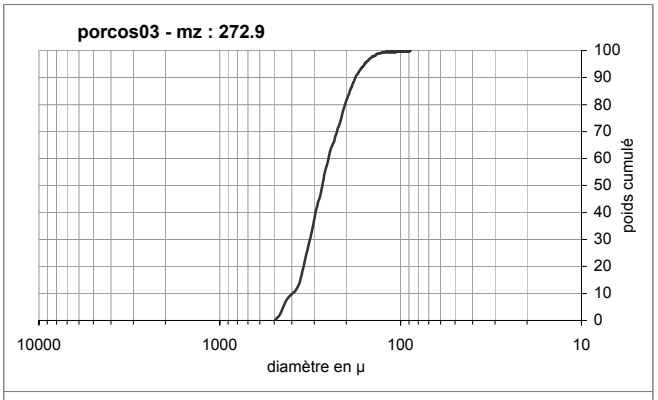

ruba116! - mz : 141.1 - si : 0.79
poids cumulé
diamètre en µ

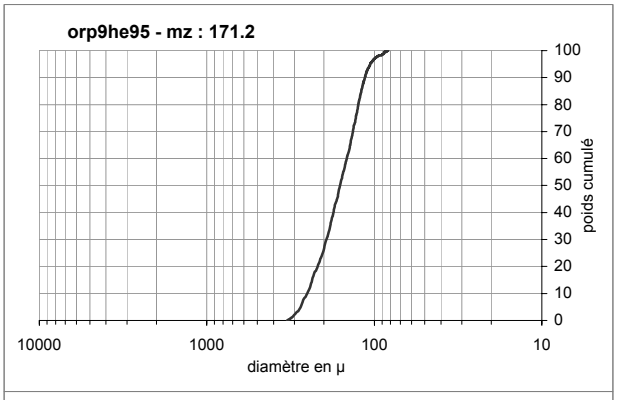

ruba4226 - mz : 179.4 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

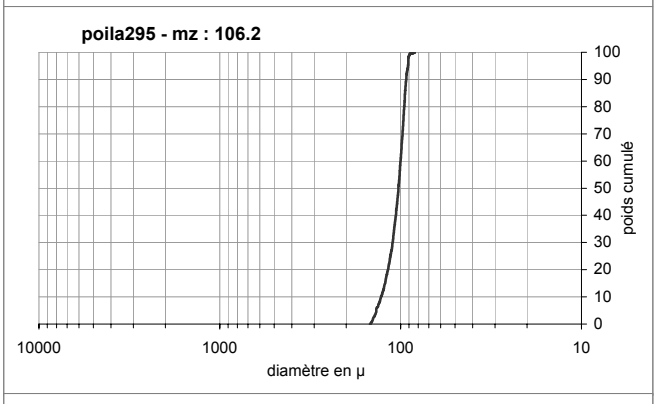

ruba1095 - mz : 153.8 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

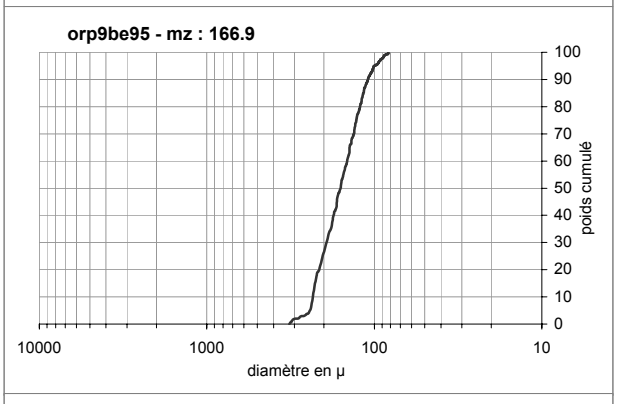

ruba2304 - mz : 154.9 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

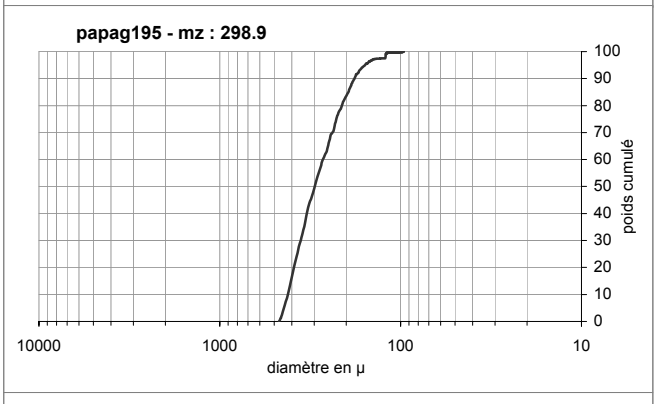

porcoso2 - mz : 169.9 - si : 0.99
poids cumulé
diamètre en µ

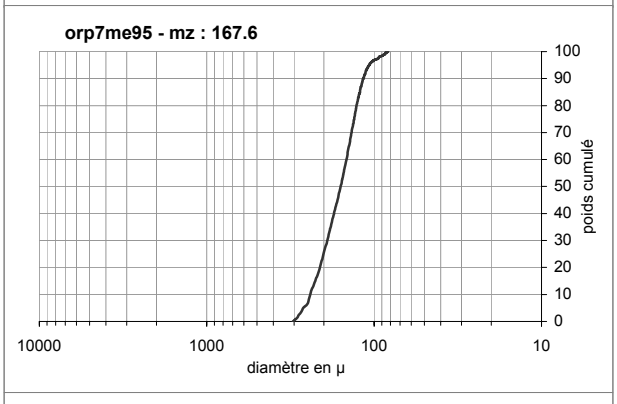

porcos03 - mz : 272.9
poids cumulé
diamètre en µ

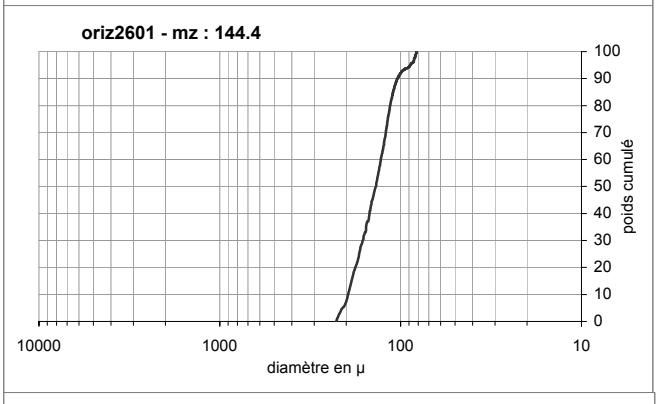

orp9he95 - mz : 171.2
poids cumulé
diamètre en µ

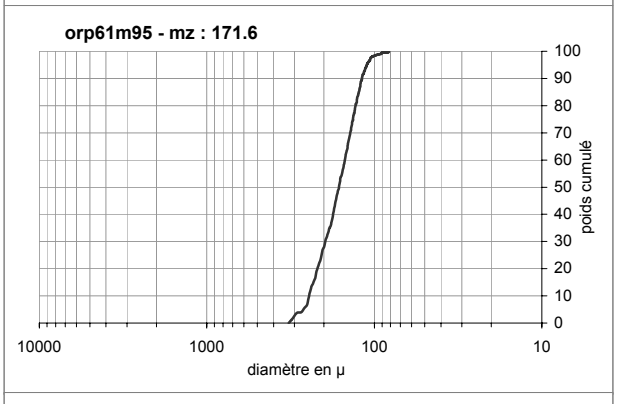

poila295 - mz : 106.2
poids cumulé
diamètre en µ

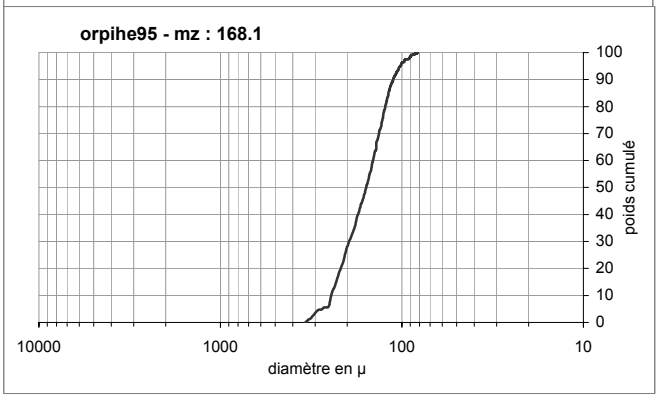

orp9be95 - mz : 166.9
poids cumulé
diamètre en µ

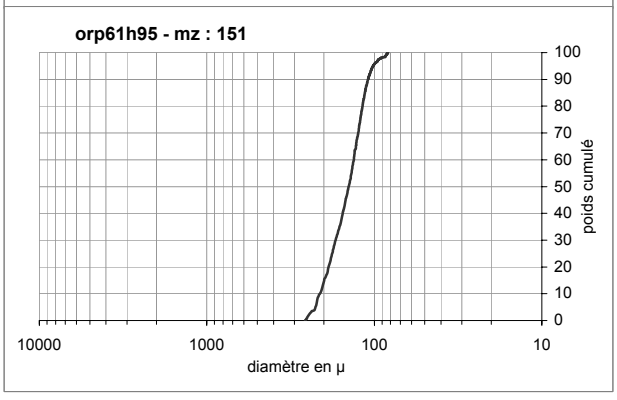

papag195 - mz : 298.9
poids cumulé
diamètre en µ

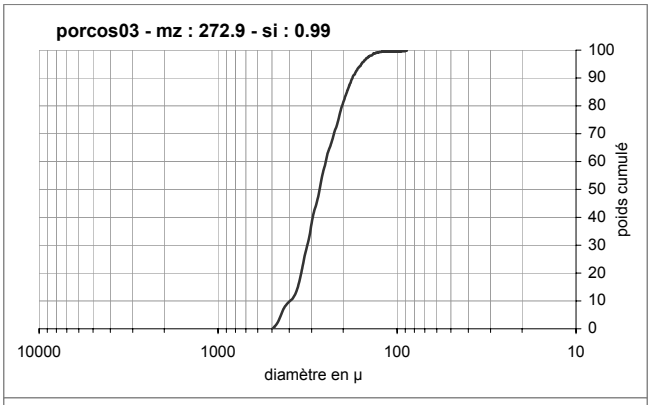

orp7me95 - mz : 167.6
poids cumulé
diamètre en µ

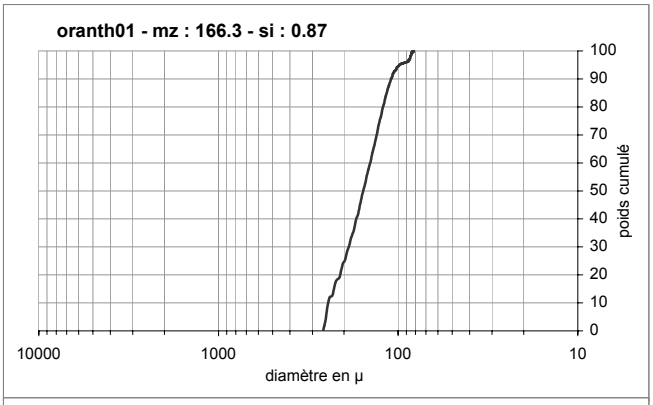

oriz2601 - mz : 144.4
poids cumulé
diamètre en µ

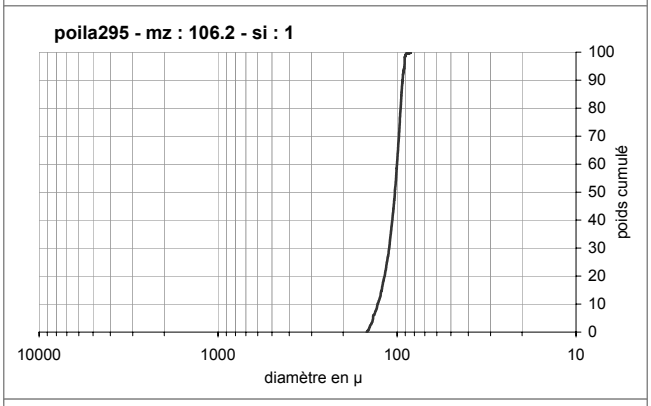

orp61m95 - mz : 171.6
poids cumulé
diamètre en µ

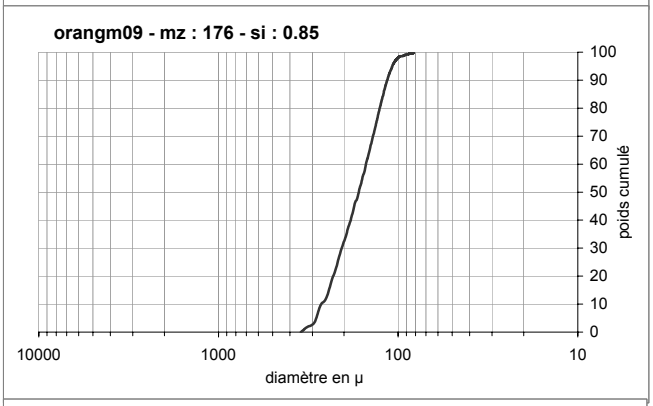

orpihe95 - mz : 168.1
poids cumulé
diamètre en µ

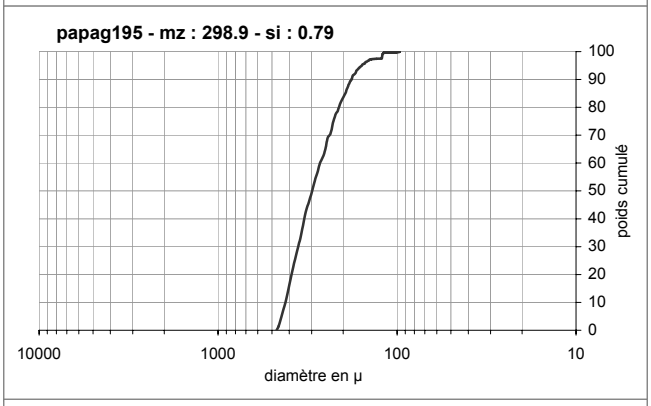

orp61h95 - mz : 151
poids cumulé
diamètre en µ

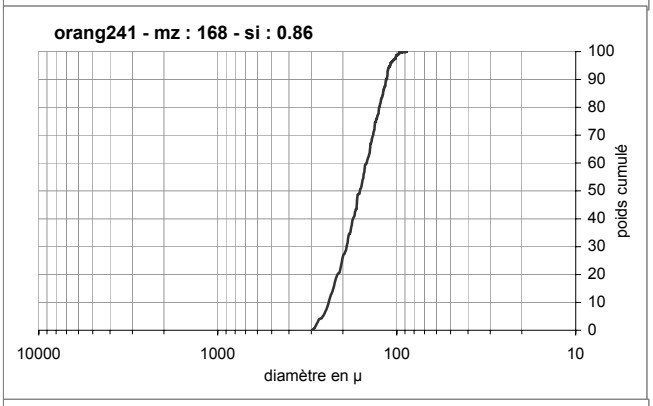

porcos03 - mz : 272.9 - si : 0.99
poids cumulé
diamètre en µ

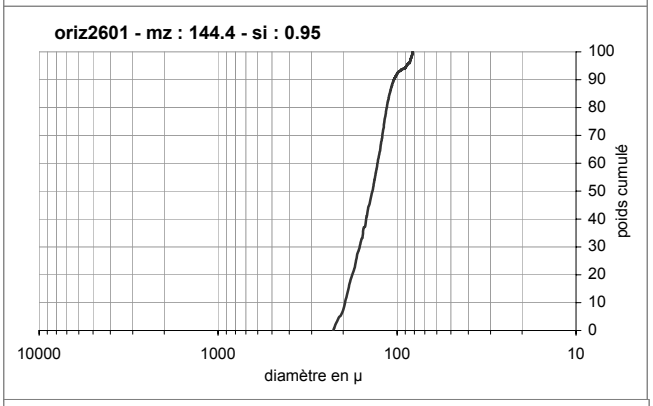

oranth01 - mz : 166.3 - si : 0.87
poids cumulé
diamètre en µ

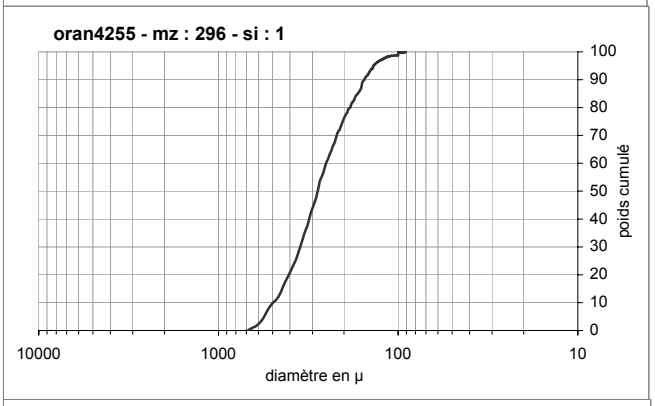

poila295 - mz : 106.2 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

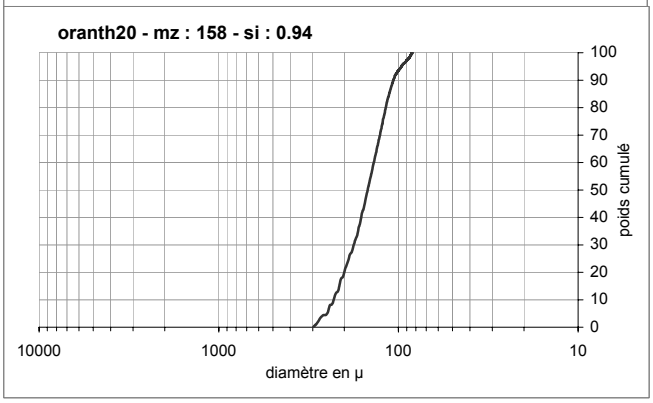

orangm09 - mz : 176 - si : 0.85
poids cumulé
diamètre en µ

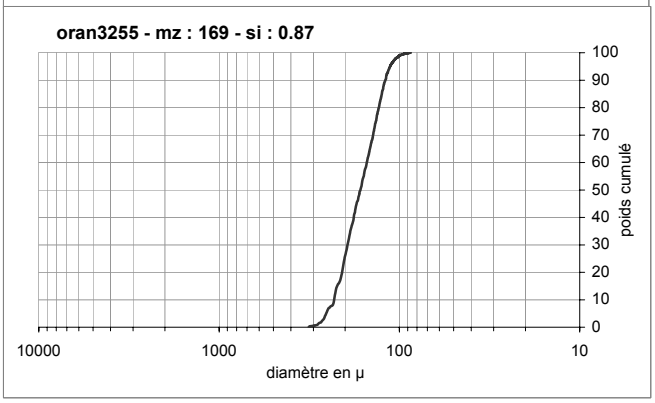

papag195 - mz : 298.9 - si : 0.79
poids cumulé
diamètre en µ

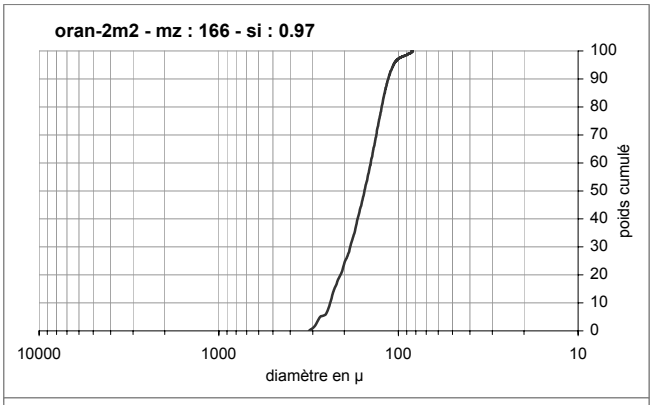

orang241 - mz : 168 - si : 0.86
poids cumulé
diamètre en µ

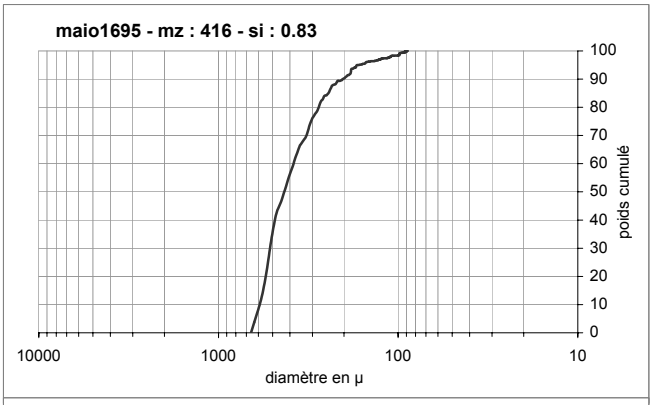

oriz2601 - mz : 144.4 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

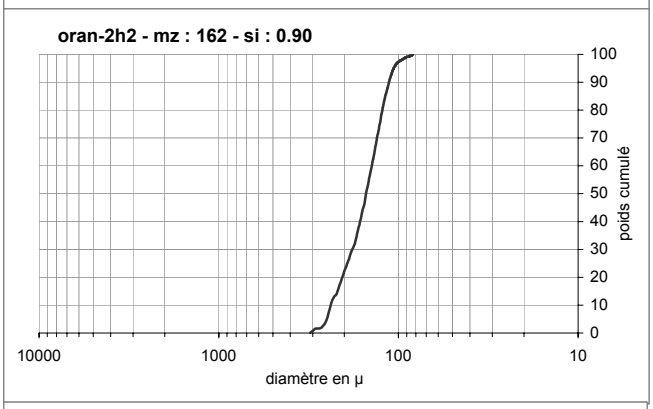

oran4255 - mz : 296 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

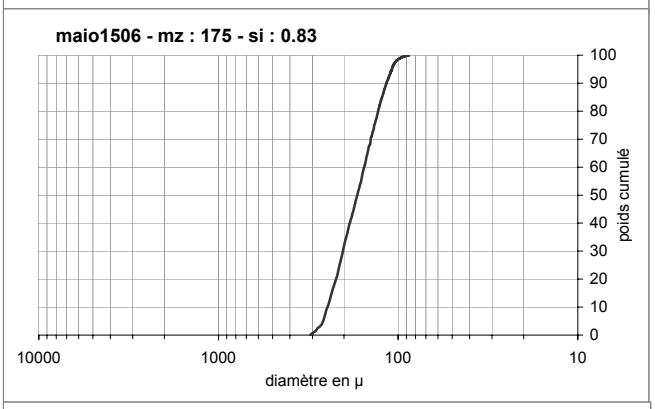

oranth20 - mz : 158 - si : 0.94
poids cumulé
diamètre en µ

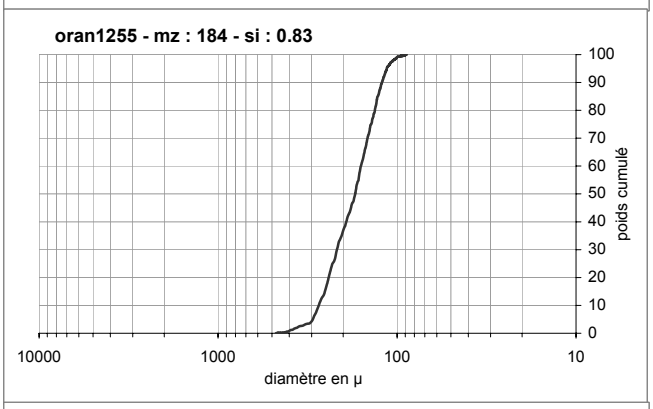

oran3255 - mz : 169 - si : 0.87
poids cumulé
diamètre en µ

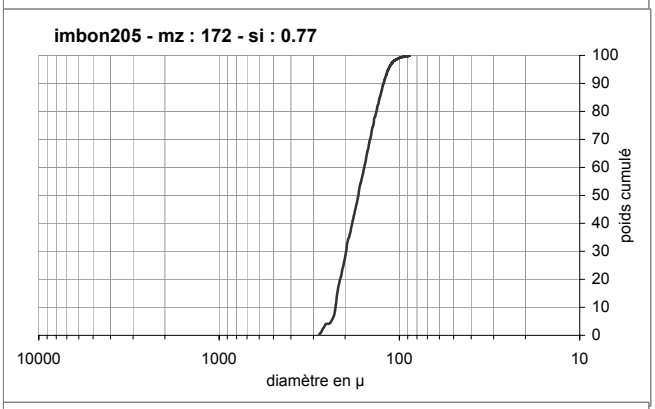

oran-2m2 - mz : 166 - si : 0.97
poids cumulé
diamètre en µ

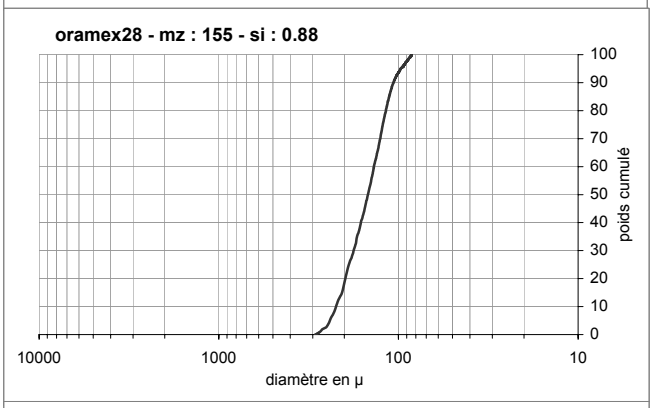

maio1695 - mz : 416 - si : 0.83
poids cumulé
diamètre en µ

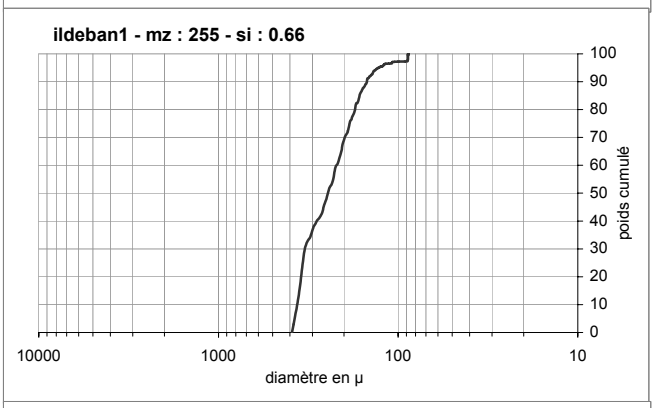

oran-2h2 - mz : 162 - si : 0.90
poids cumulé
diamètre en µ

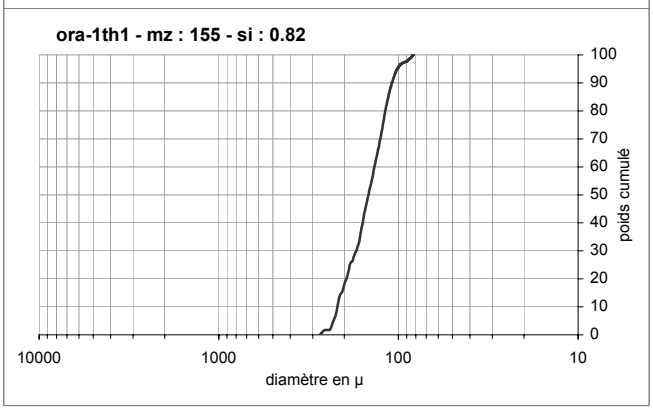

maio1506 - mz : 175 - si : 0.83
poids cumulé
diamètre en µ

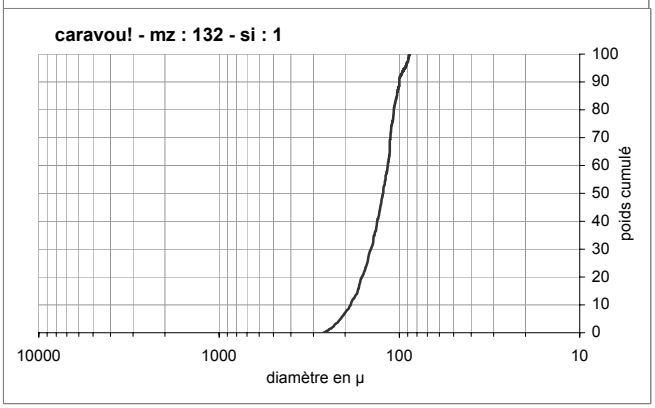

oran1255 - mz : 184 - si : 0.83
poids cumulé
diamètre en µ

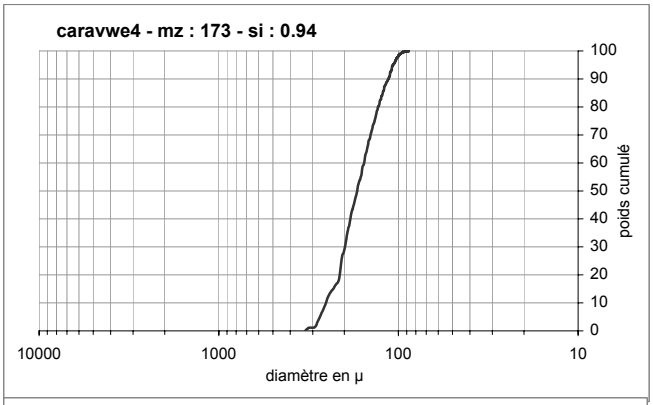

imbon205 - mz : 172 - si : 0.77
poids cumulé
diamètre en µ

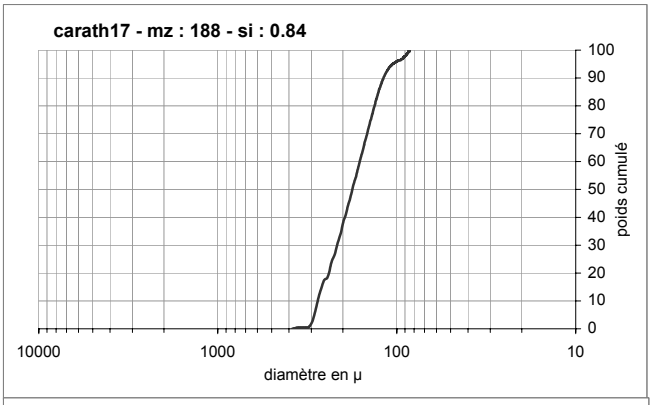

oramex28 - mz : 155 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

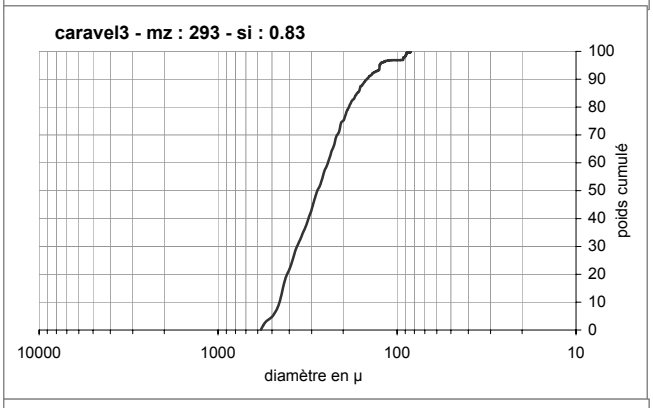

ildeban1 - mz : 255 - si : 0.66
poids cumulé
diamètre en µ

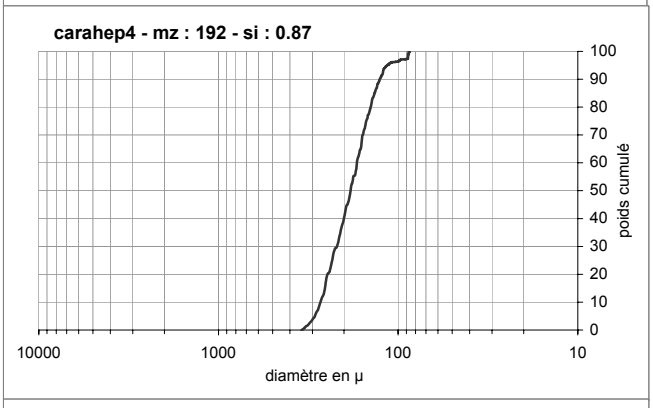

ora-1th1 - mz : 155 - si : 0.82
poids cumulé
diamètre en µ

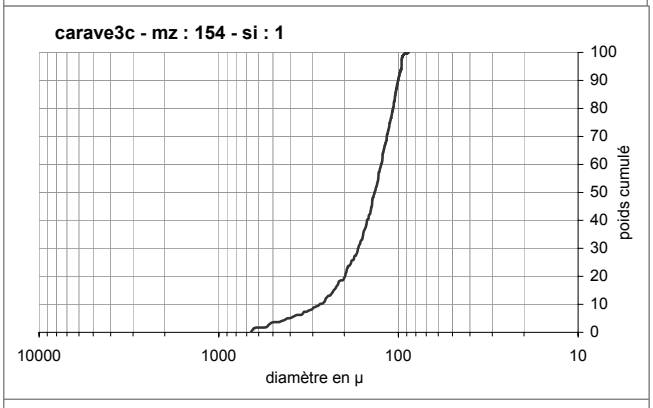

caravou! - mz : 132 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

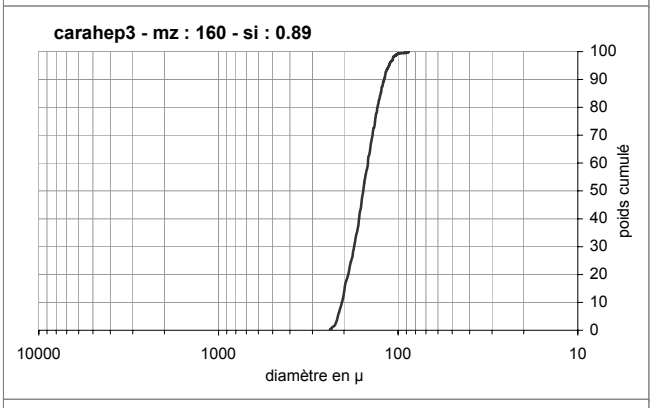

caravwe4 - mz : 173 - si : 0.94
poids cumulé
diamètre en µ

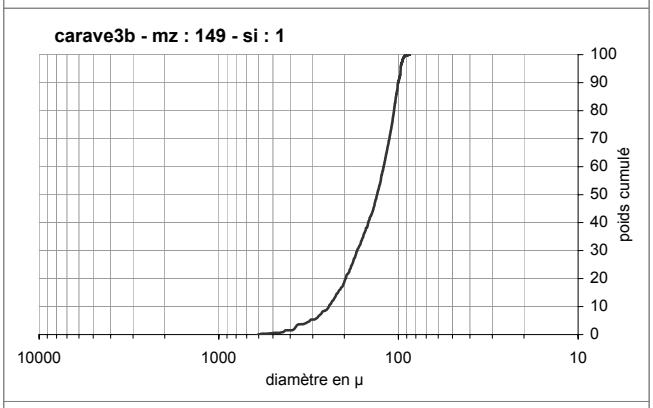

carath17 - mz : 188 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

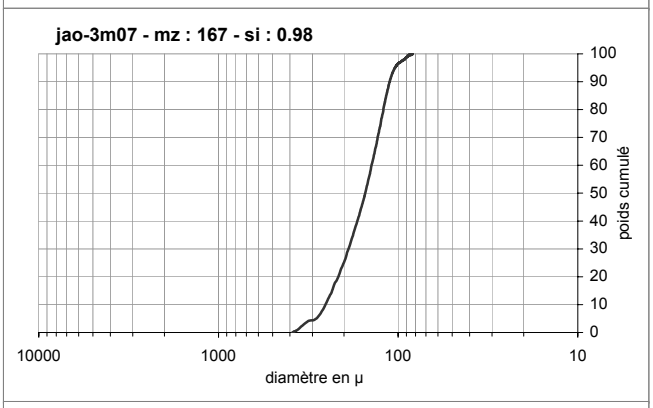

caravel3 - mz : 293 - si : 0.83
poids cumulé
diamètre en µ

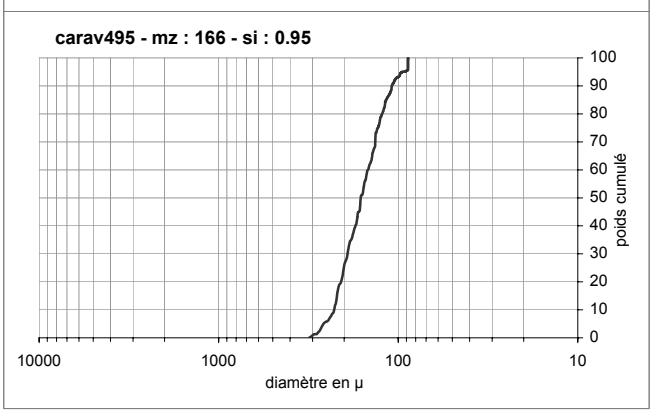

carahep4 - mz : 192 - si : 0.87
poids cumulé
diamètre en µ

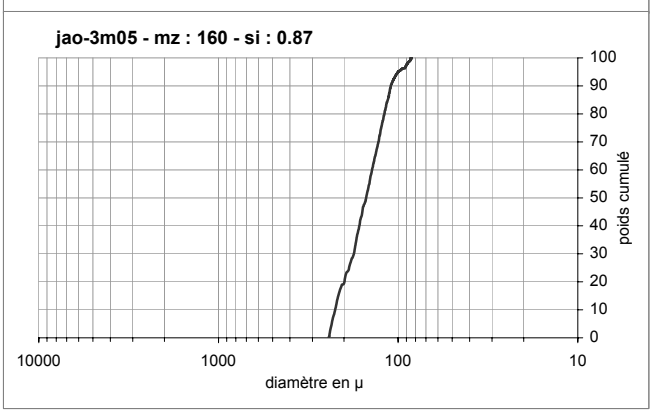

carave3c - mz : 154 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

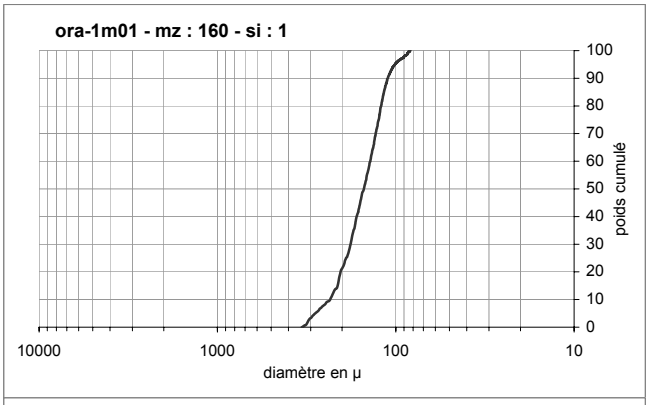

carahep3 - mz : 160 - si : 0.89
poids cumulé
diamètre en µ

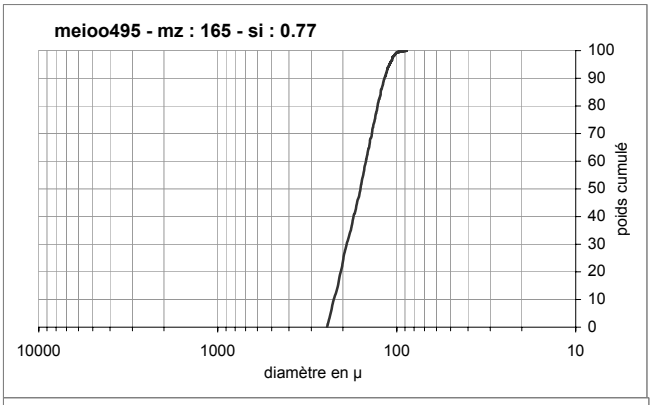

carave3b - mz : 149 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

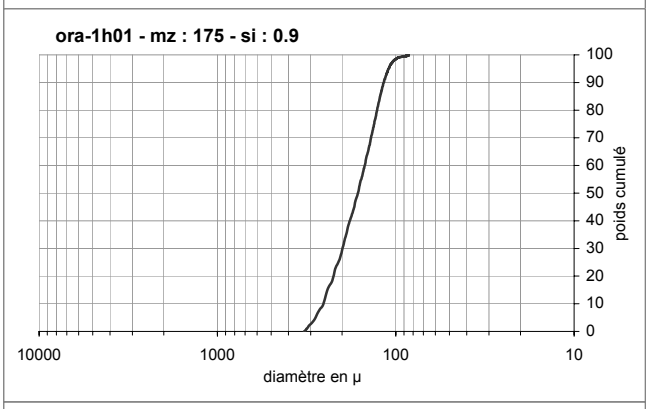

jao-3m07 - mz : 167 - si : 0.98
poids cumulé
diamètre en µ

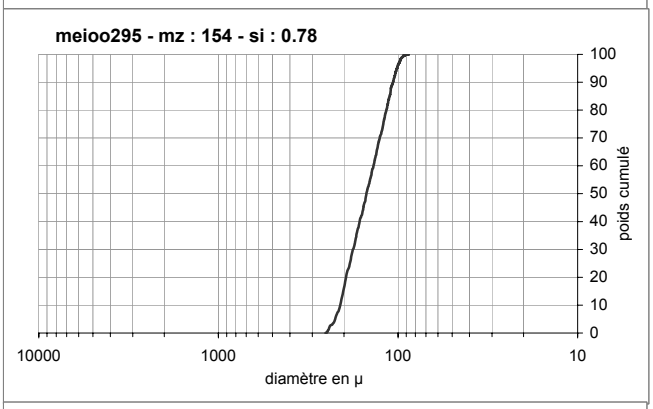

carav495 - mz : 166 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

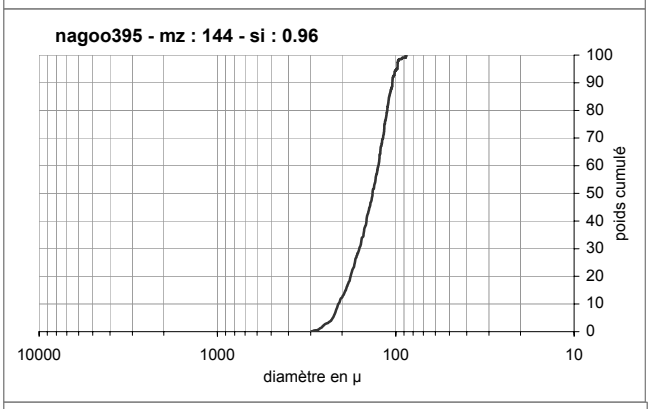

jao-3m05 - mz : 160 - si : 0.87
poids cumulé
diamètre en µ

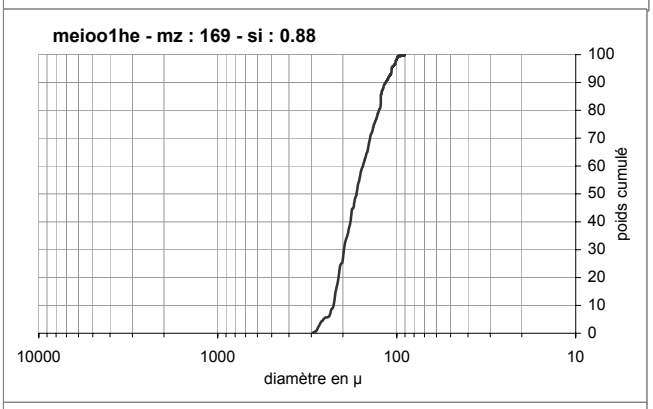

ora-1m01 - mz : 160 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

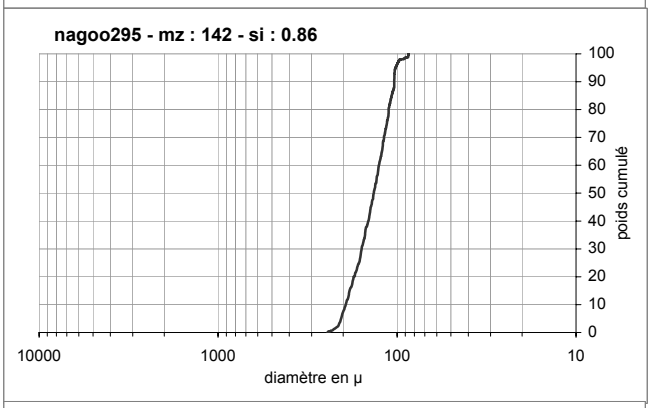

meioo495 - mz : 165 - si : 0.77
poids cumulé
diamètre en µ

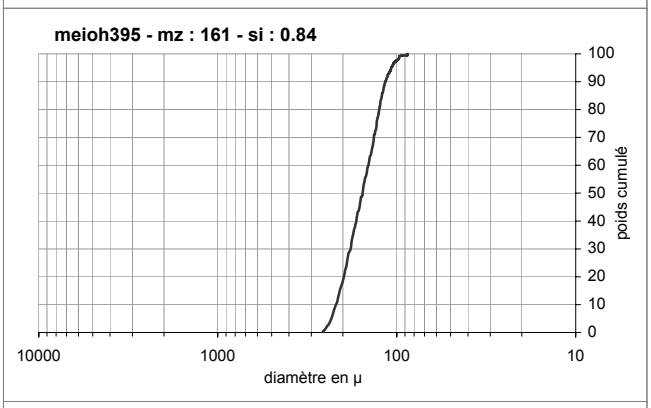

ora-1h01 - mz : 175 - si : 0.9
poids cumulé
diamètre en µ

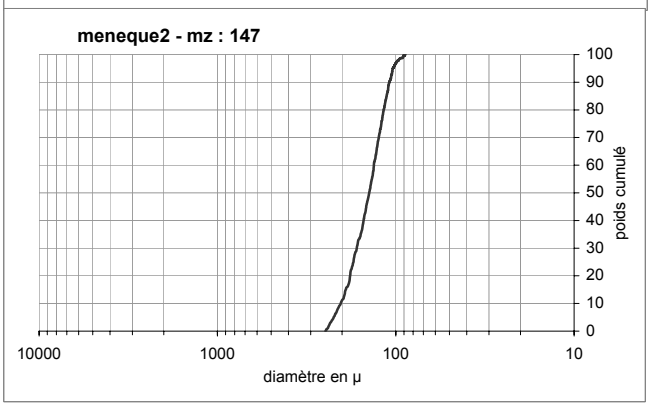

meioo295 - mz : 154 - si : 0.78
poids cumulé
diamètre en µ

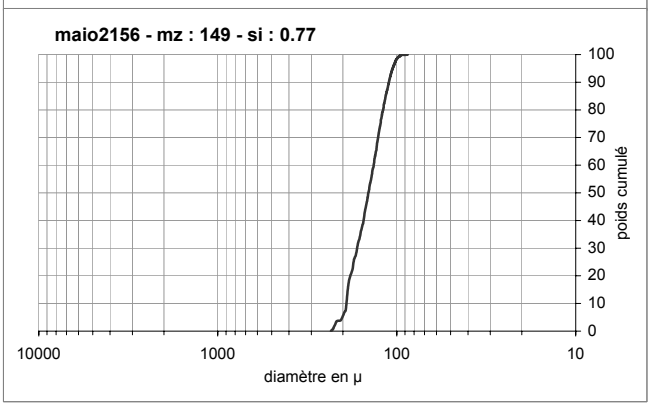

nagoo395 - mz : 144 - si : 0.96
poids cumulé
diamètre en µ

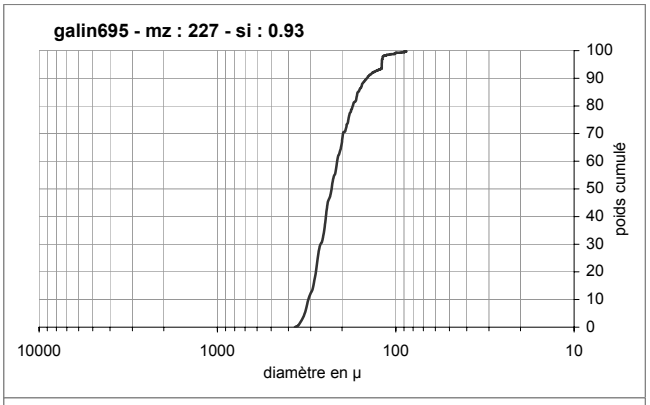

meioo1he - mz : 169 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

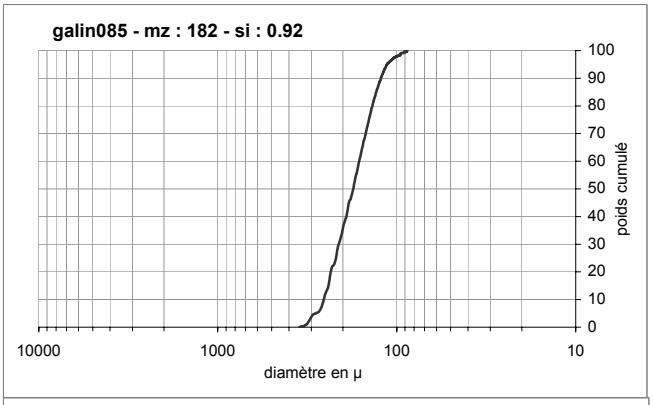

nagoo295 - mz : 142 - si : 0.86
poids cumulé
diamètre en µ

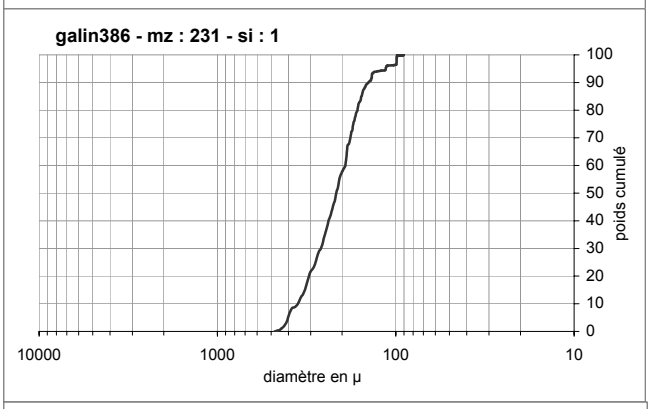

meioh395 - mz : 161 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

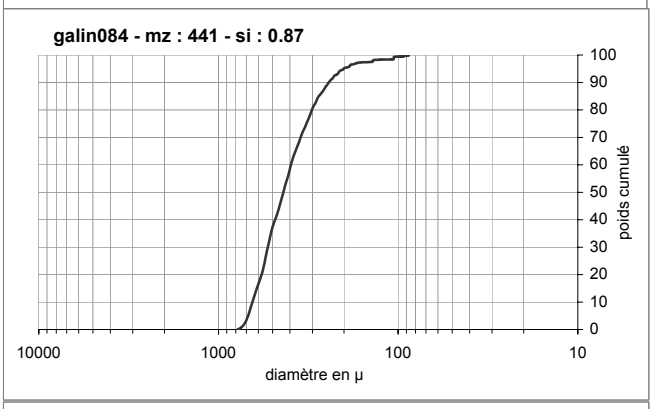

meneque2 - mz : 147
poids cumulé
diamètre en µ

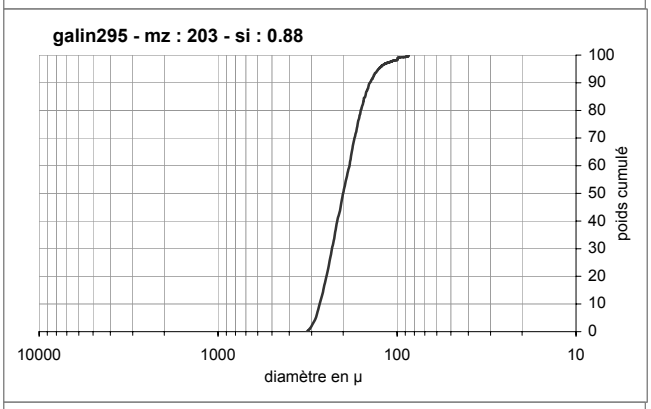

maio2156 - mz : 149 - si : 0.77
poids cumulé
diamètre en µ

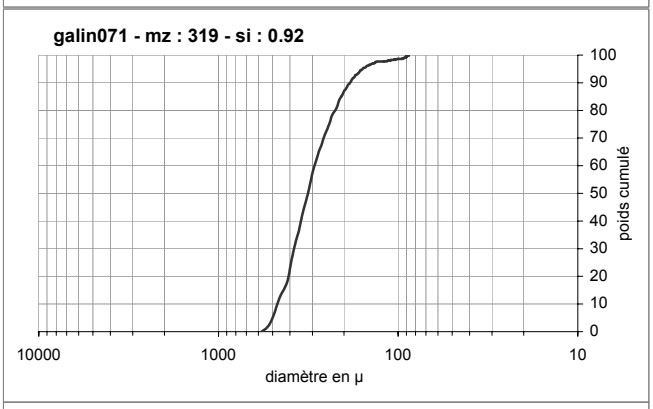

galin695 - mz : 227 - si : 0.93
poids cumulé
diamètre en µ

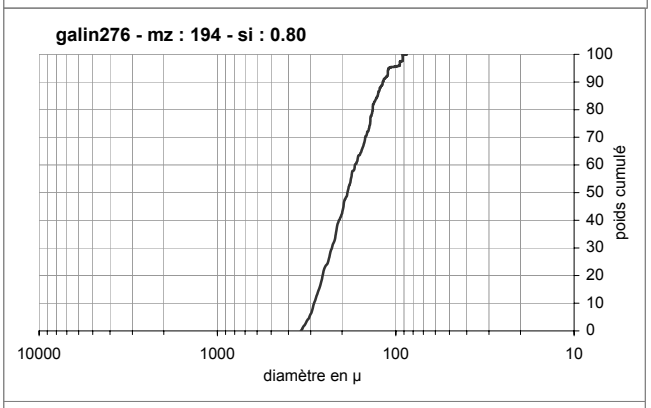

galin085 - mz : 182 - si : 0.92
poids cumulé
diamètre en µ

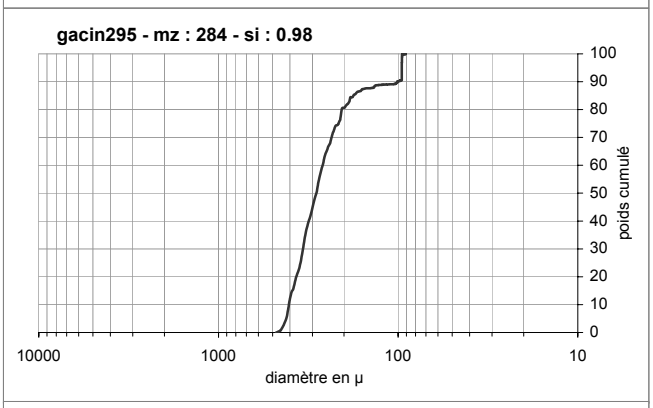

galin386 - mz : 231 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

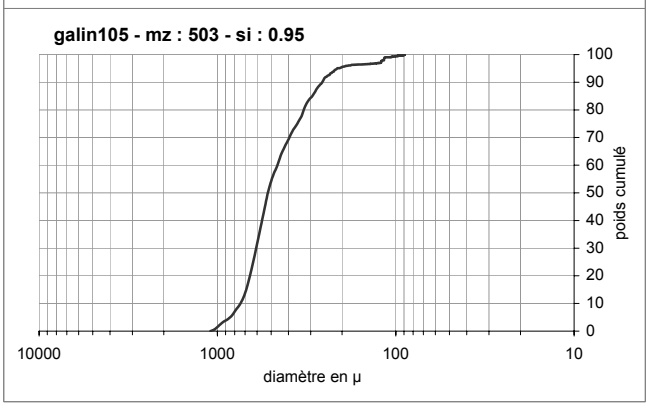

galin084 - mz : 441 - si : 0.87
poids cumulé
diamètre en µ

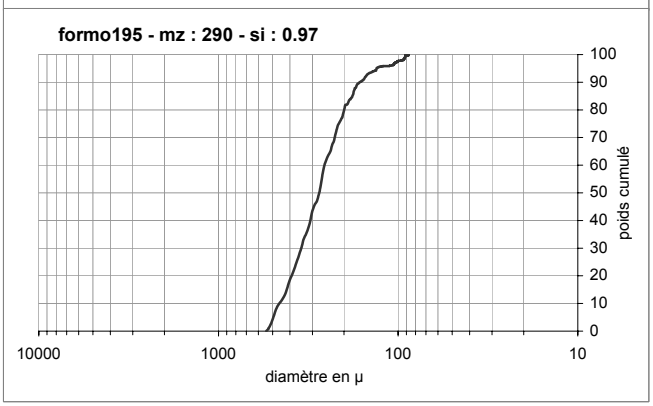

galin295 - mz : 203 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

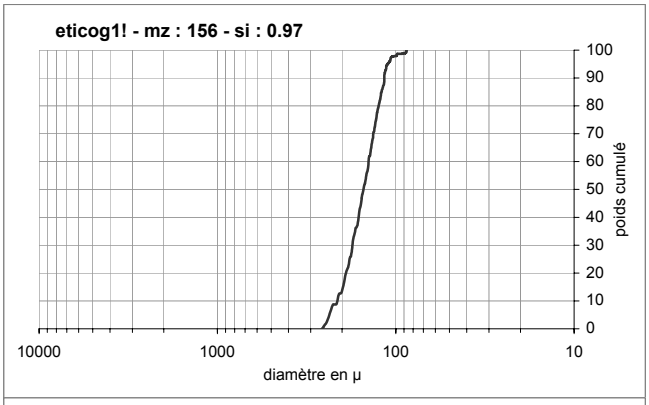

galin071 - mz : 319 - si : 0.92
poids cumulé
diamètre en µ

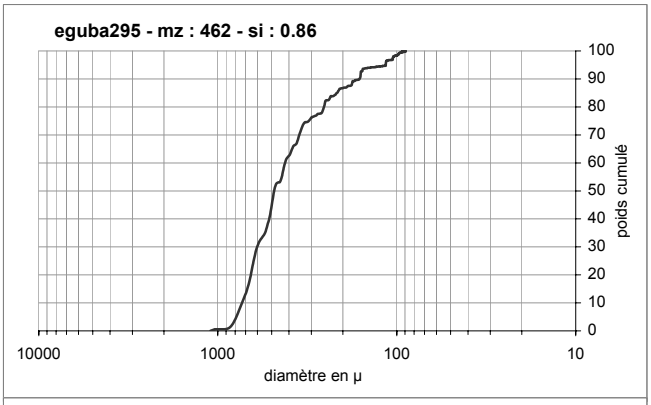

galin276 - mz : 194 - si : 0.80
poids cumulé
diamètre en µ

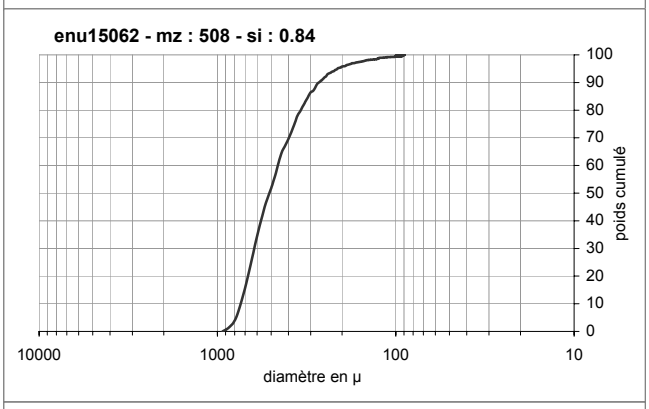

gacin295 - mz : 284 - si : 0.98
poids cumulé
diamètre en µ

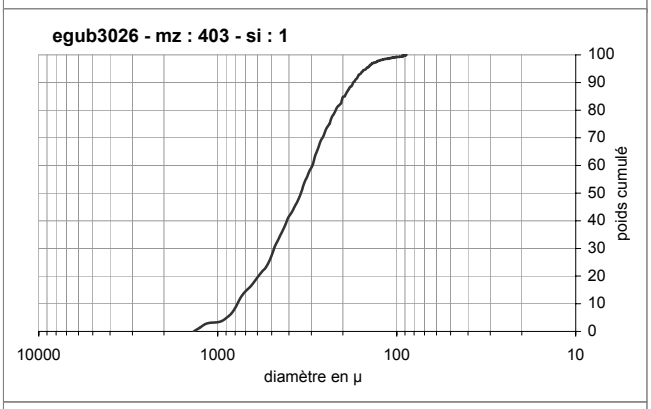

galin105 - mz : 503 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

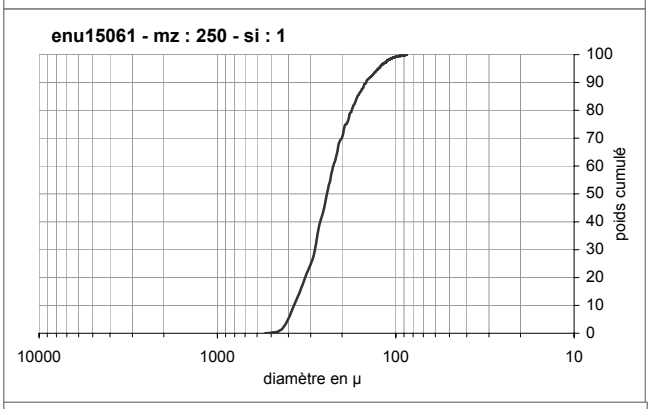

formo195 - mz : 290 - si : 0.97
poids cumulé
diamètre en µ

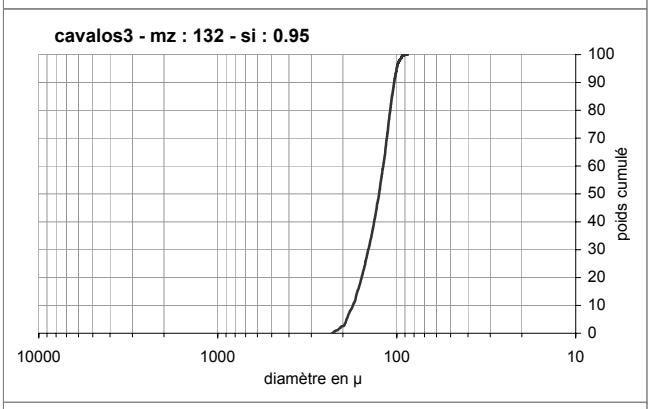

eticog1! - mz : 156 - si : 0.97
poids cumulé
diamètre en µ

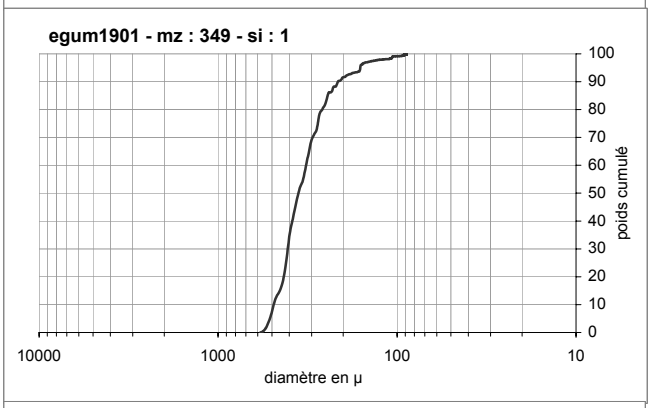

eguba295 - mz : 462 - si : 0.86
poids cumulé
diamètre en µ

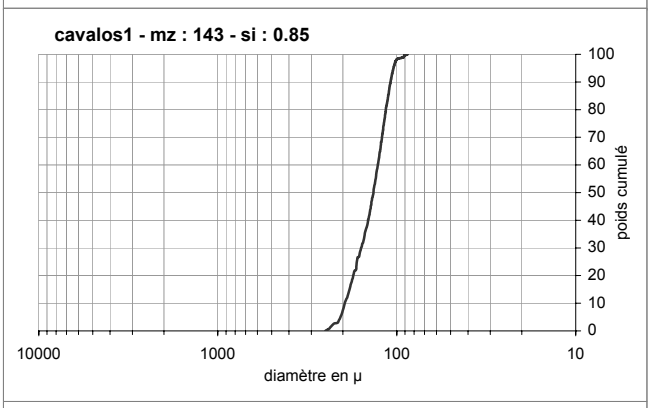

enu15062 - mz : 508 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

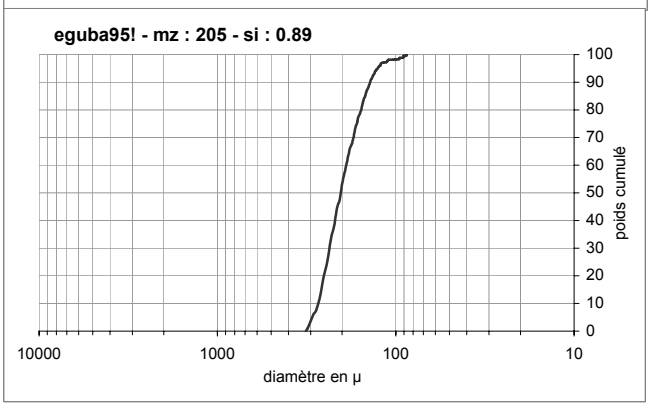

egub3026 - mz : 403 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

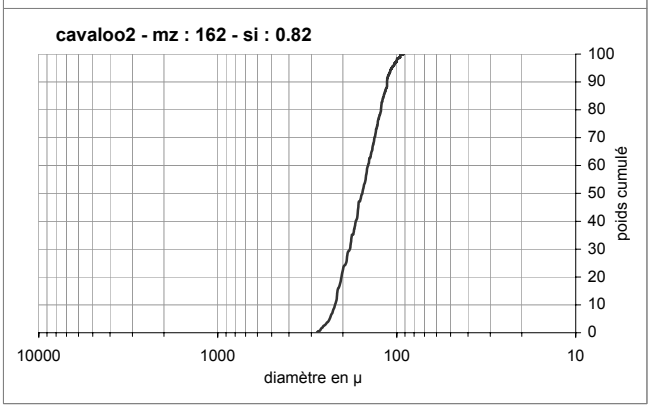

enu15061 - mz : 250 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

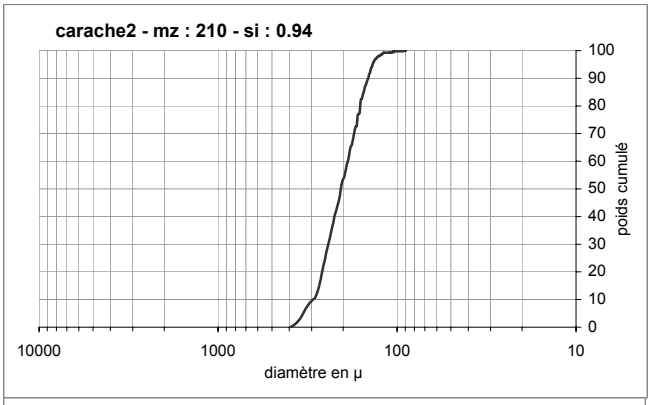

cavalos3 - mz : 132 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

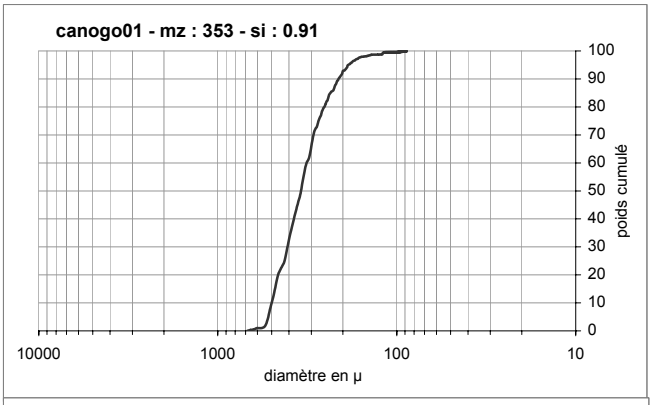

egum1901 - mz : 349 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

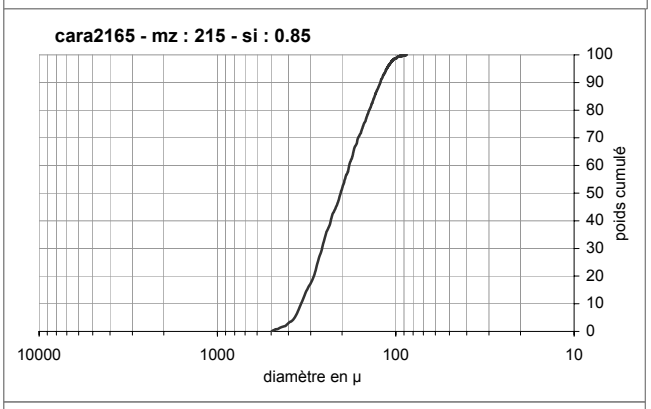

cavalos1 - mz : 143 - si : 0.85
poids cumulé
diamètre en µ

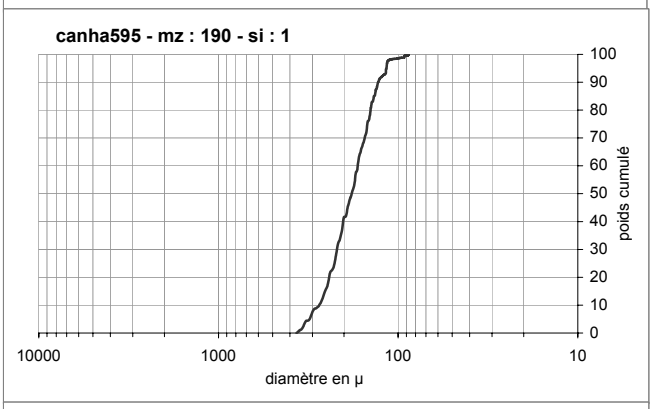

eguba95! - mz : 205 - si : 0.89
poids cumulé
diamètre en µ

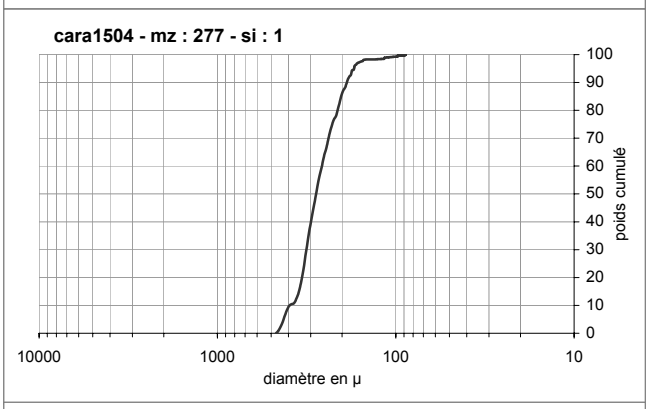

cavaloo2 - mz : 162 - si : 0.82
poids cumulé
diamètre en µ

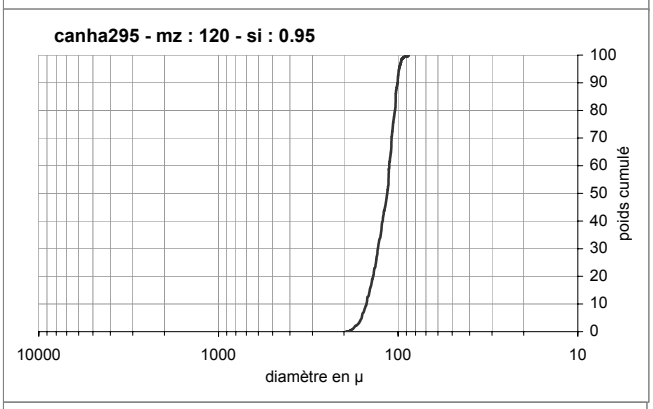

carache2 - mz : 210 - si : 0.94
poids cumulé
diamètre en µ

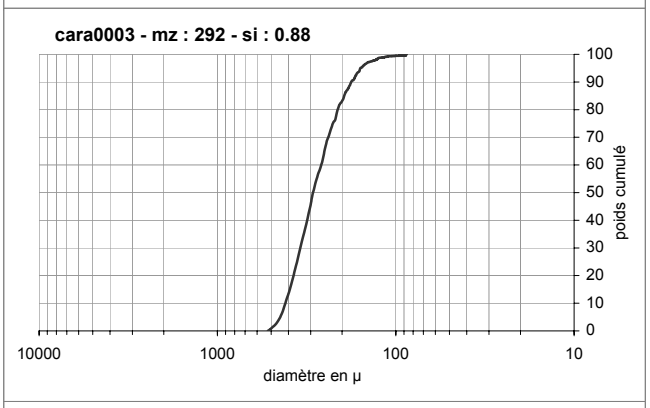

canogo01 - mz : 353 - si : 0.91
poids cumulé
diamètre en µ

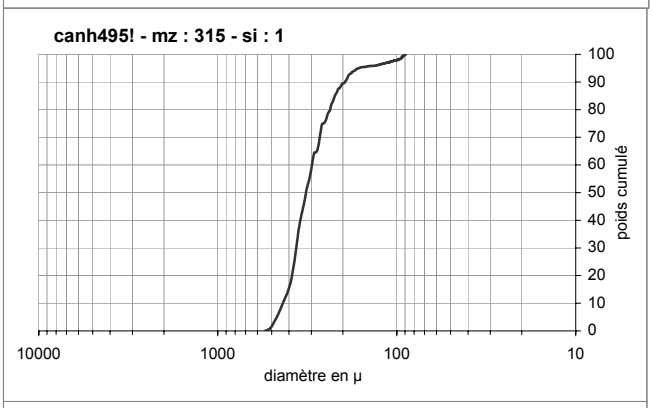

cara2165 - mz : 215 - si : 0.85
poids cumulé
diamètre en µ

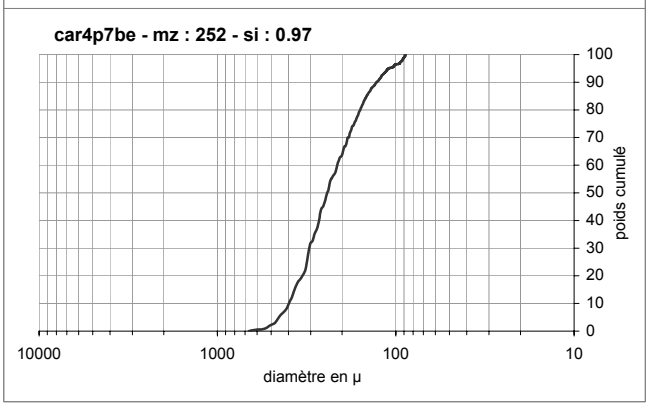

canha595 - mz : 190 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

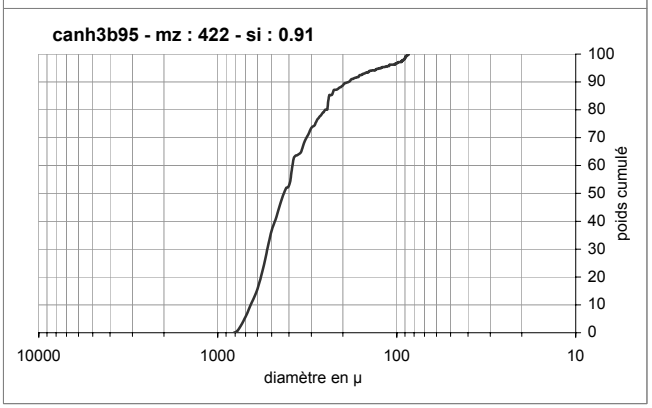

cara1504 - mz : 277 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

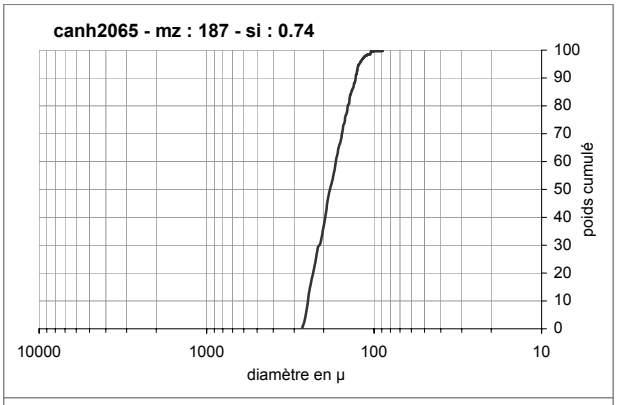

canha295 - mz : 120 - si : 0.95
poids cumulé
diamètre en µ

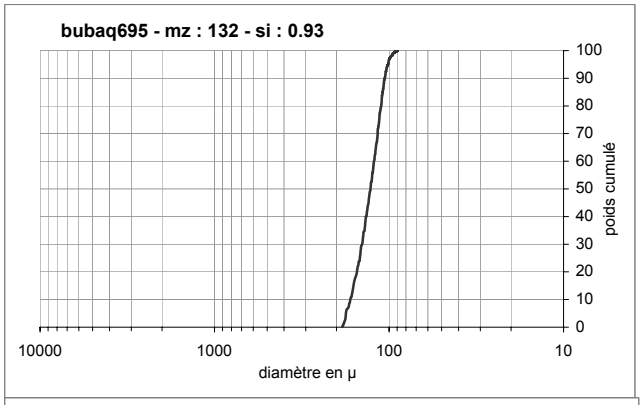

cara0003 - mz : 292 - si : 0.88
poids cumulé
diamètre en µ

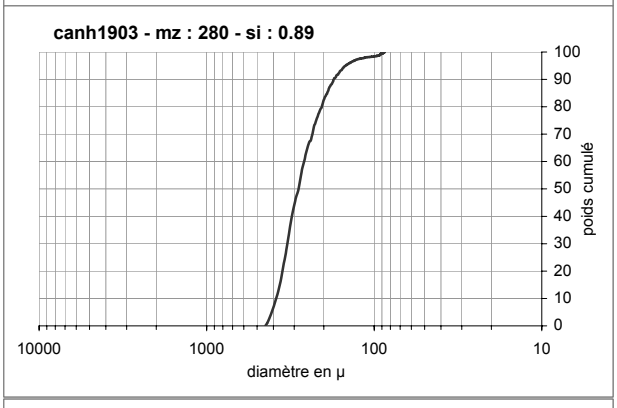

canh495! - mz : 315 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

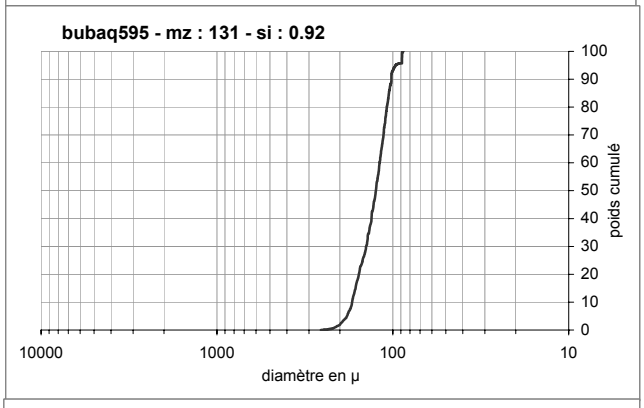

car4p7be - mz : 252 - si : 0.97
poids cumulé
diamètre en µ

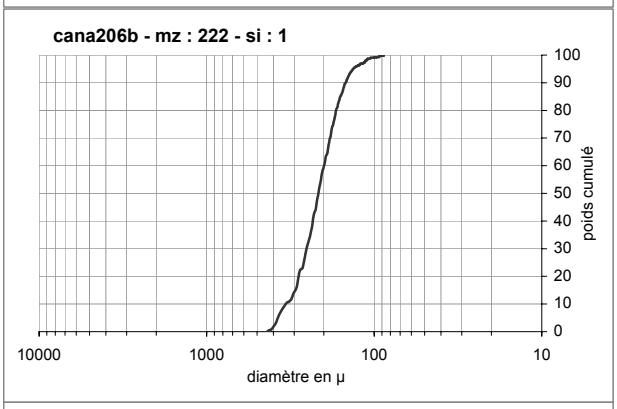

canh3b95 - mz : 422 - si : 0.91
poids cumulé
diamètre en µ

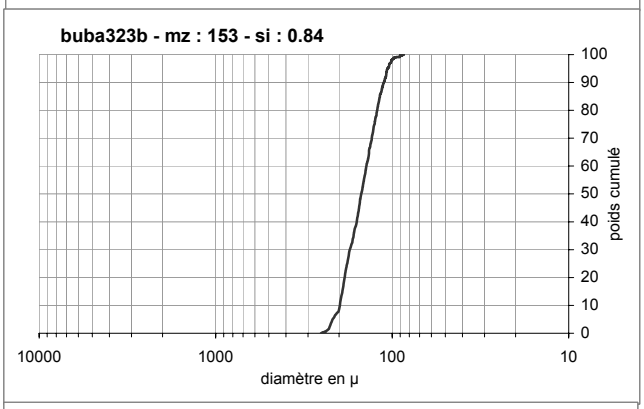

canh2065 - mz : 187 - si : 0.74
poids cumulé
diamètre en µ

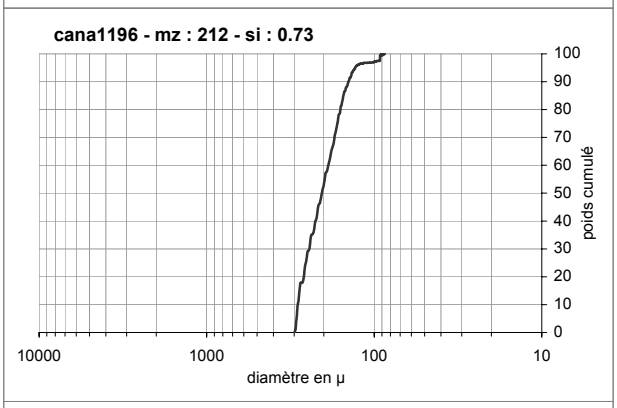

bubaq695 - mz : 132 - si : 0.93
poids cumulé
diamètre en µ

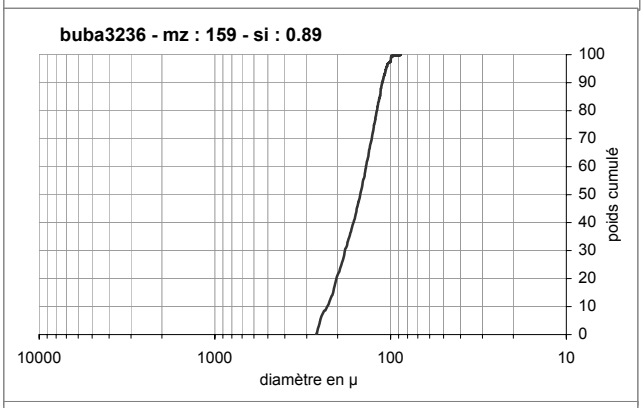

canh1903 - mz : 280 - si : 0.89
poids cumulé
diamètre en µ

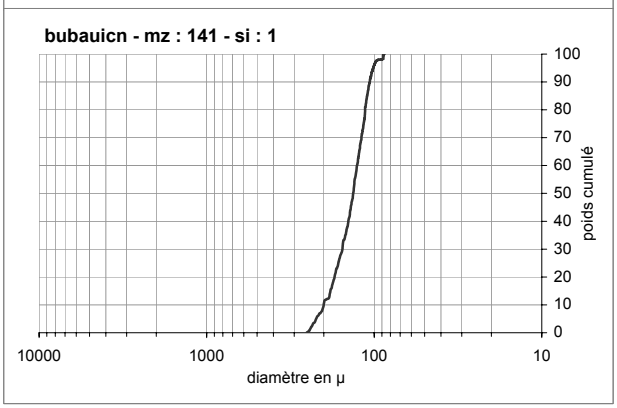

bubaq595 - mz : 131 - si : 0.92
poids cumulé
diamètre en µ

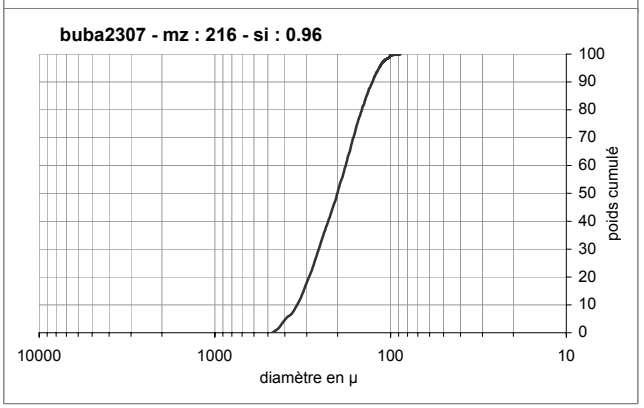

cana206b - mz : 222 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

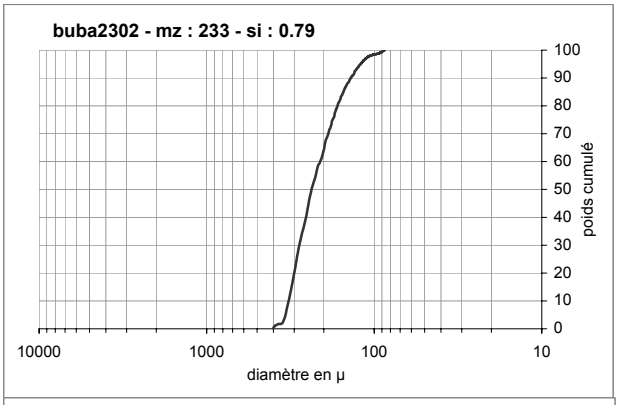

buba323b - mz : 153 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

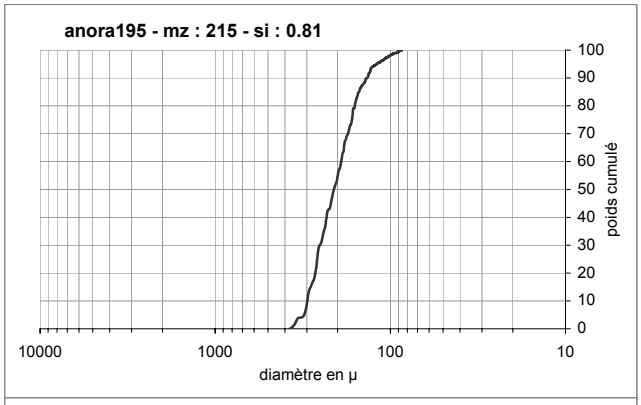

cana1196 - mz : 212 - si : 0.73
poids cumulé
diamètre en µ

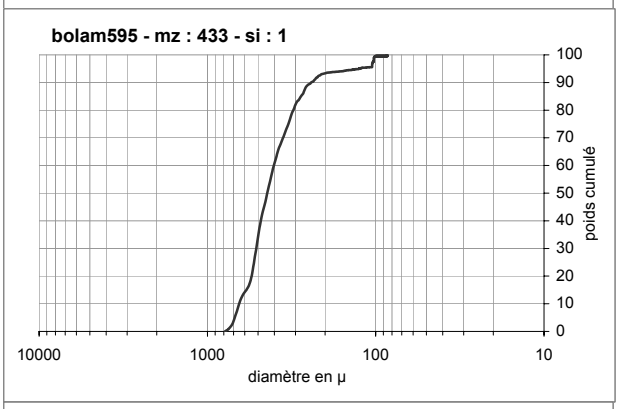

buba3236 - mz : 159 - si : 0.89
poids cumulé
diamètre en µ

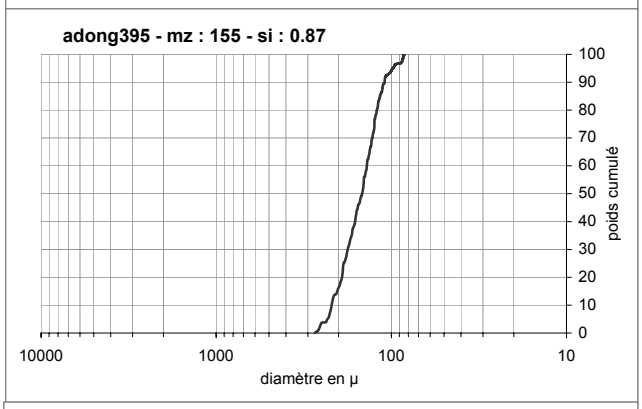

bubauicn - mz : 141 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

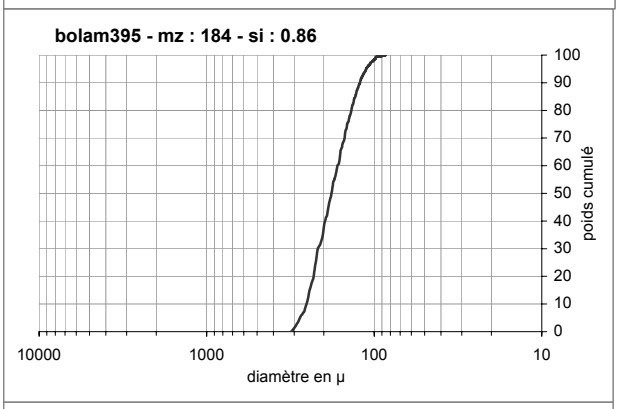

buba2307 - mz : 216 - si : 0.96
poids cumulé
diamètre en µ

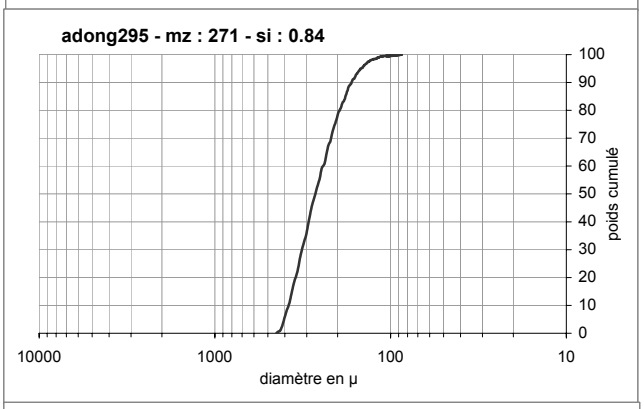

buba2302 - mz : 233 - si : 0.79
poids cumulé
diamètre en µ

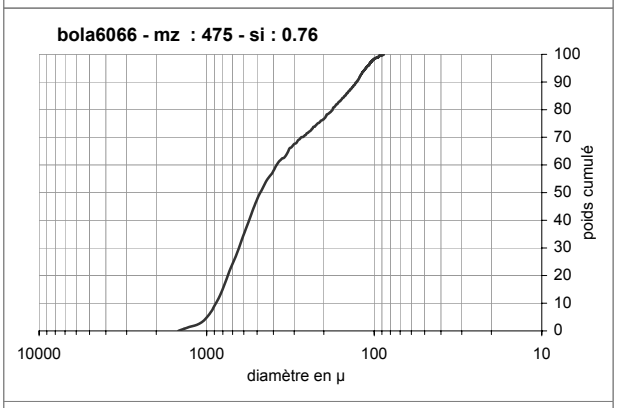

anora195 - mz : 215 - si : 0.81
poids cumulé
diamètre en µ

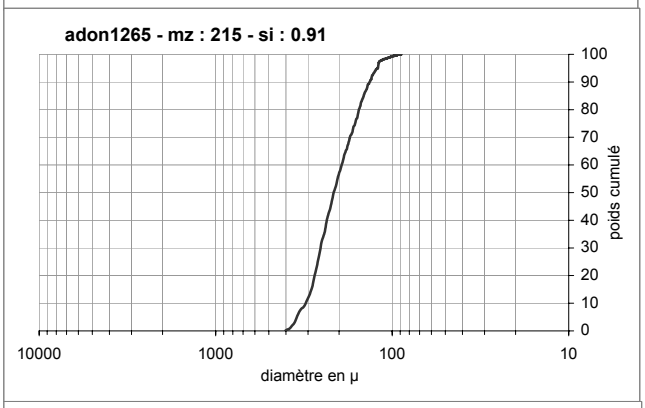

bolam595 - mz : 433 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ

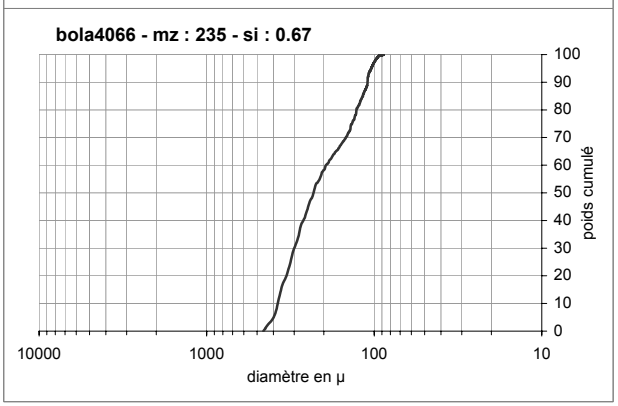

adong395 - mz : 155 - si : 0.87
poids cumulé
diamètre en µ

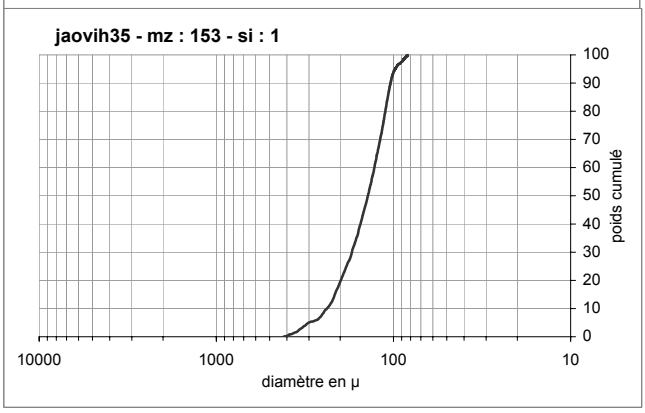

bolam395 - mz : 184 - si : 0.86
poids cumulé
diamètre en µ

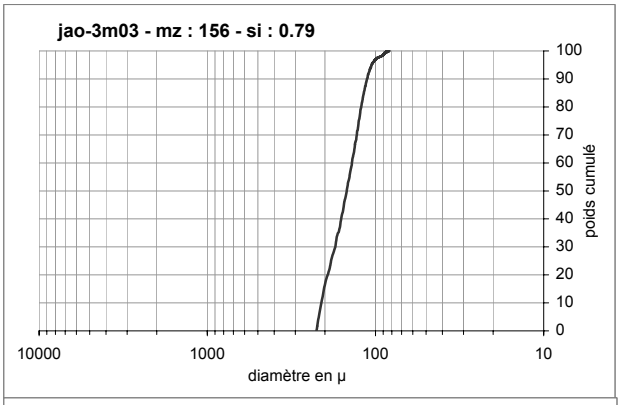

adong295 - mz : 271 - si : 0.84
poids cumulé
diamètre en µ

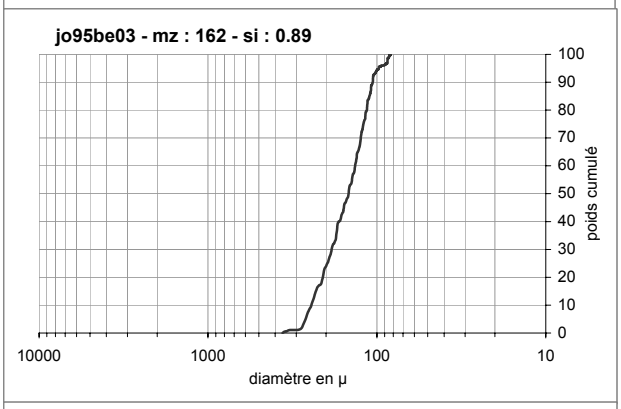

bola6066 - mz : 475 - si : 0.76
poids cumulé
diamètre en µ

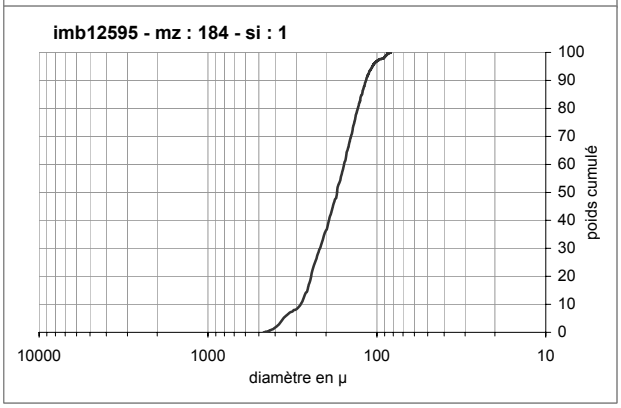

adon1265 - mz : 215 - si : 0.91
poids cumulé
diamètre en µ


bola4066 - mz : 235 - si : 0.67
poids cumulé
diamètre en µ


jaovih35 - mz : 153 - si : 1
poids cumulé
diamètre en µ


jao-3m03 - mz : 156 - si : 0.79
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
poids cumulé
10000
1000
100
10
diamètre en µ


jo95be03 - mz : 162 - si : 0.89
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
poids cumulé
10000
1000
100
10
diamètre en µ

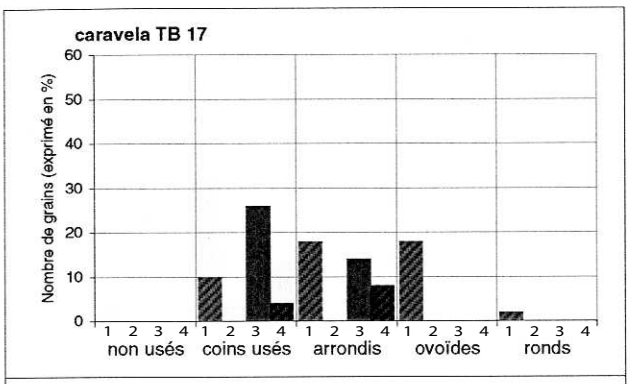

imb12595 - mz : 184 - si : 1
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
poids cumulé
10000
1000
100
10
diamètre en µ

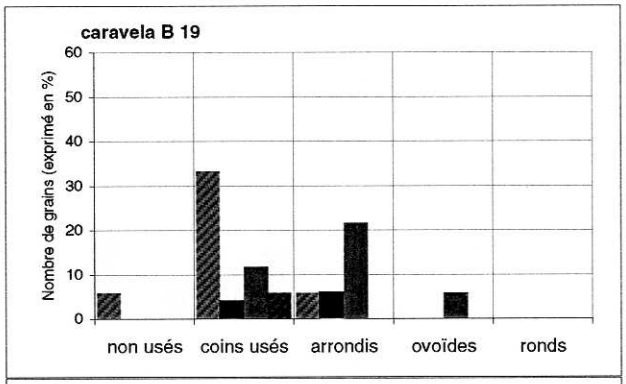
ANNEXES III

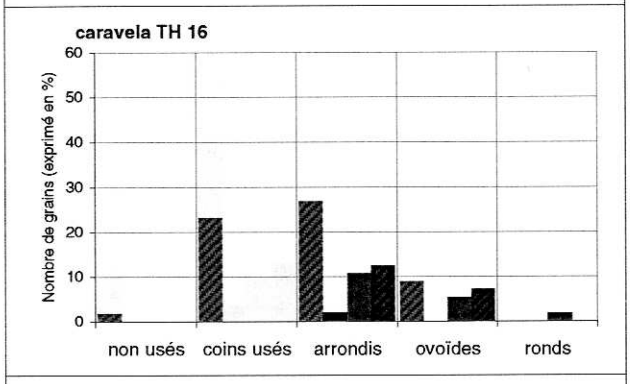
Morphoscopie des grains de quartz.

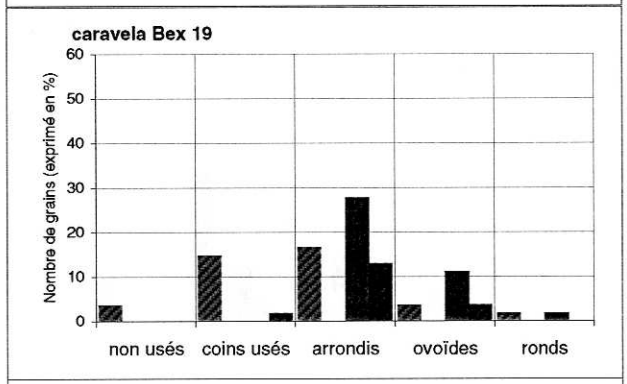
Morphoscopie des grains de sables

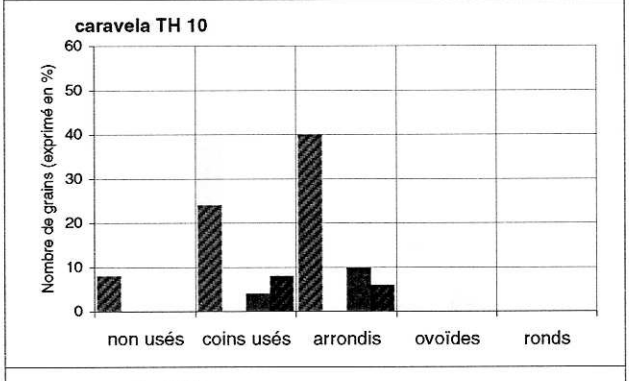
légende commune : éclats nat. (1) mats (2) luisants (3) picotés (4)

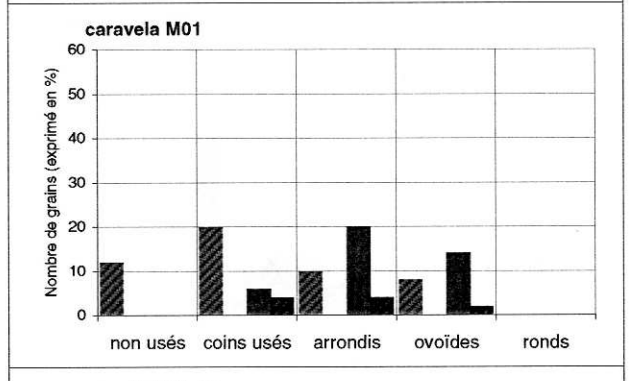


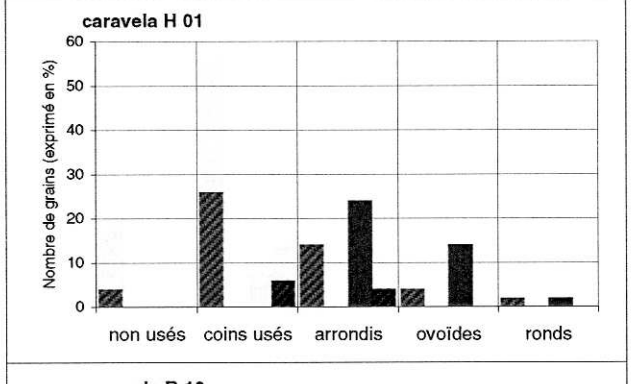


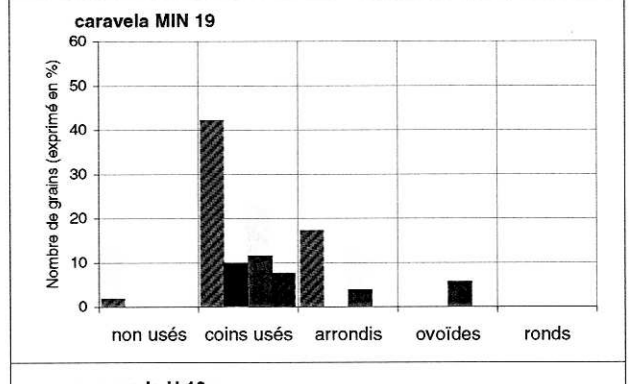


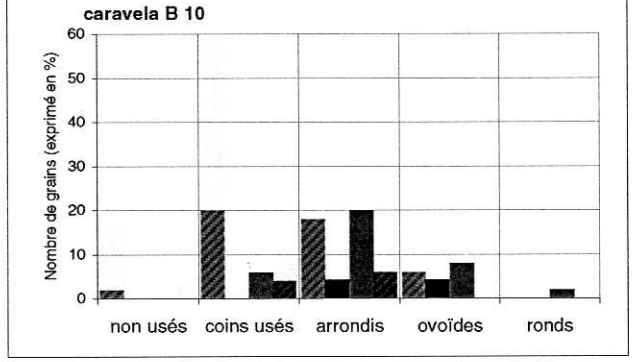


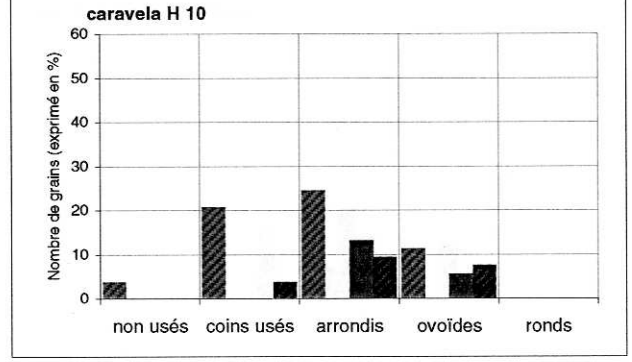






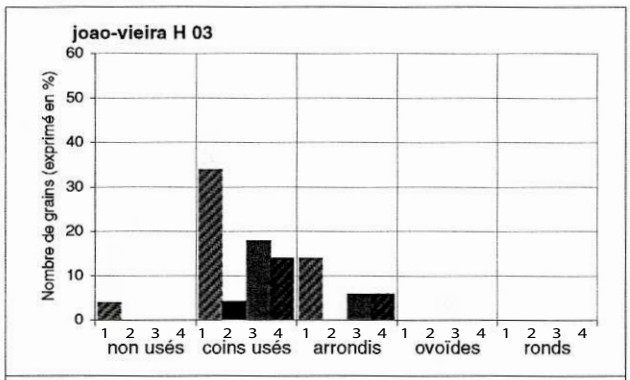


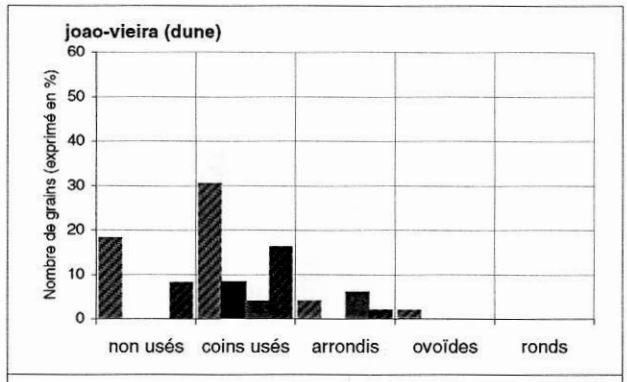


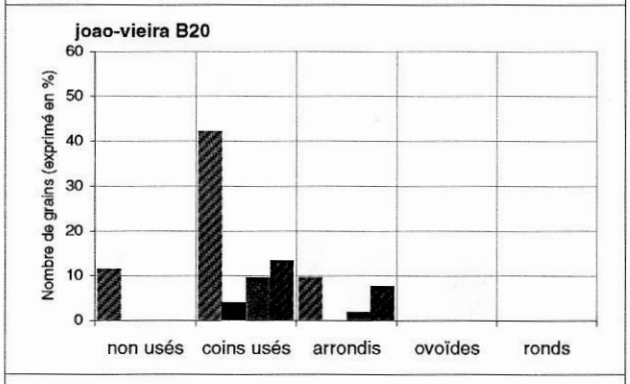


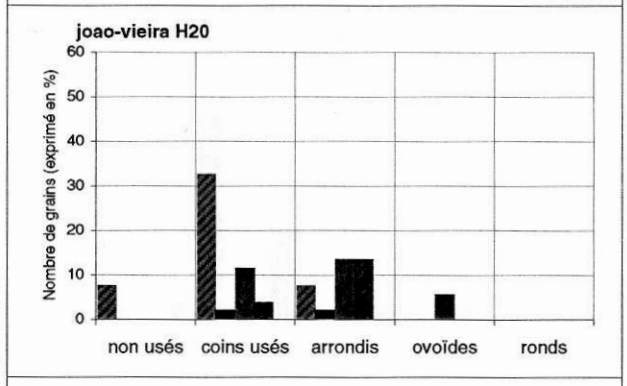
Morphoscopie des grains de sables

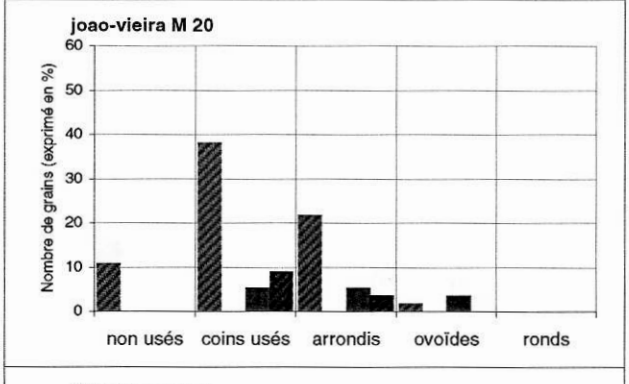
légende commune : éclats nat. (1) mats (2) luisants (3) picotés (4)

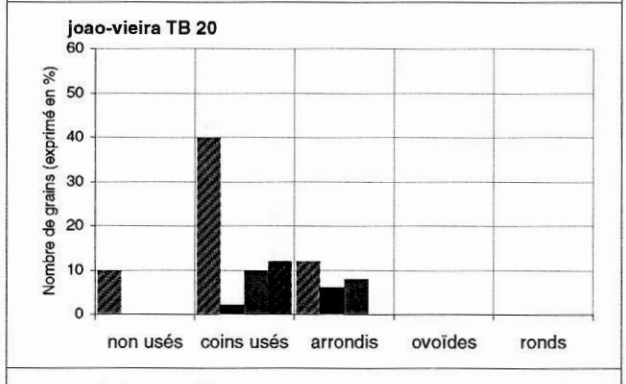


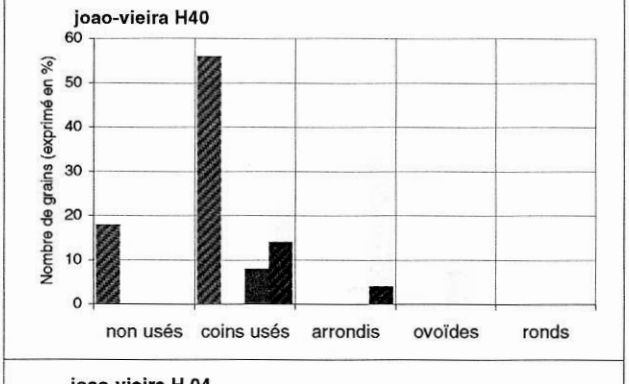


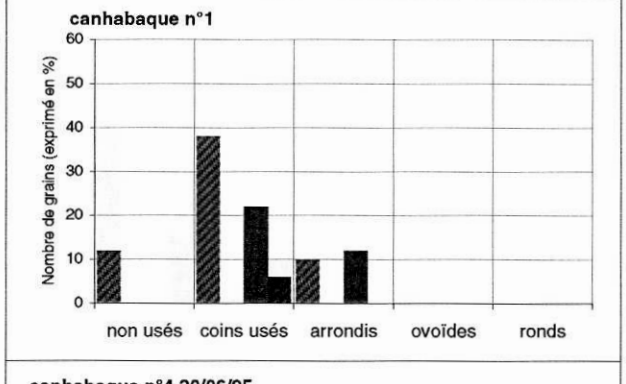


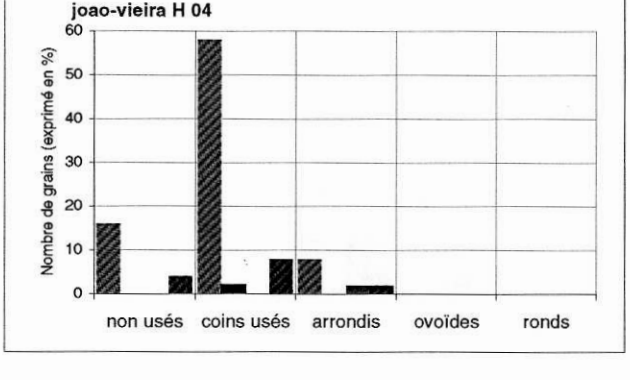


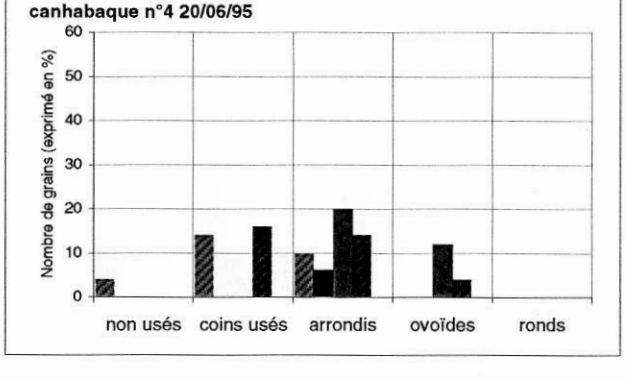






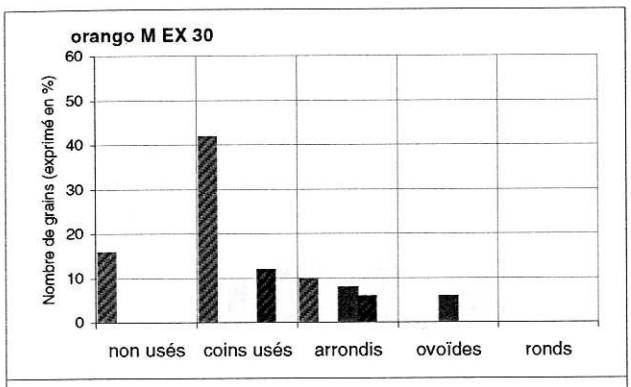


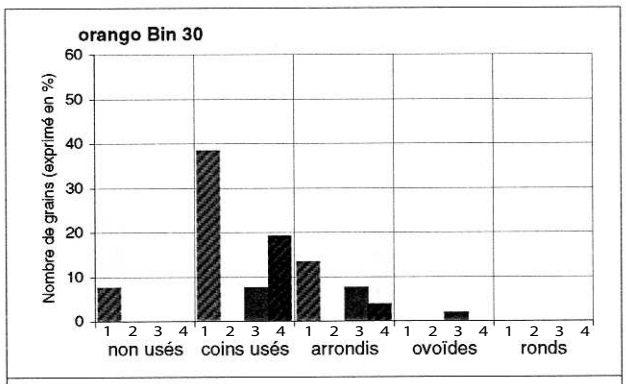


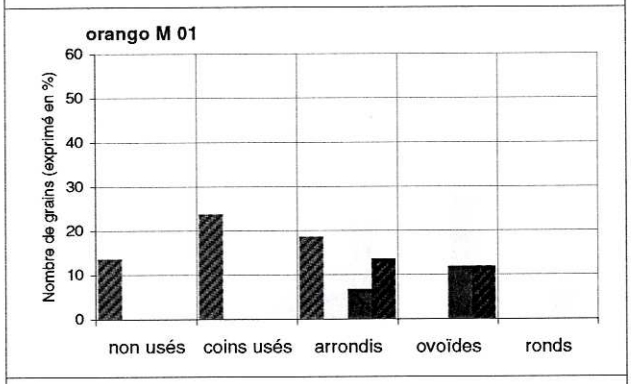


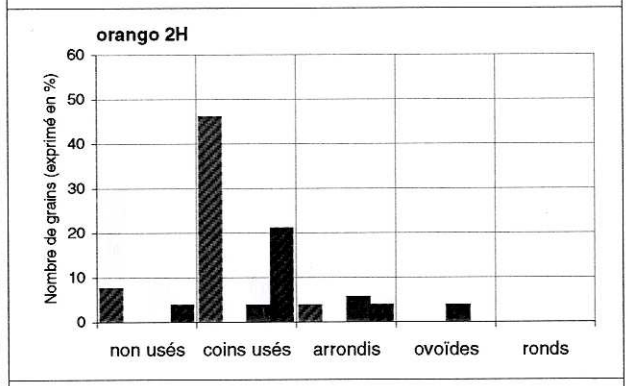
Morphoscopie des grains de sables

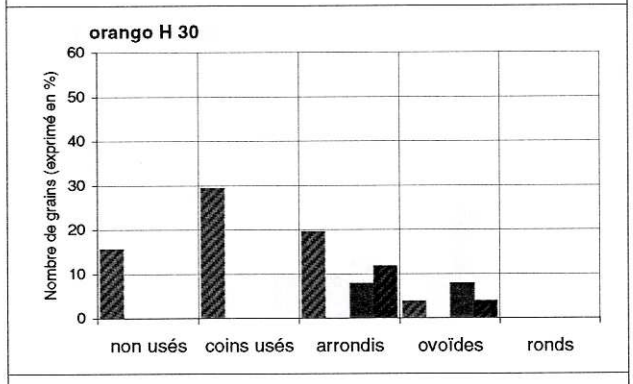
légende commune : éclats nat. (1) mats (2) luisants (3) picotés (4)

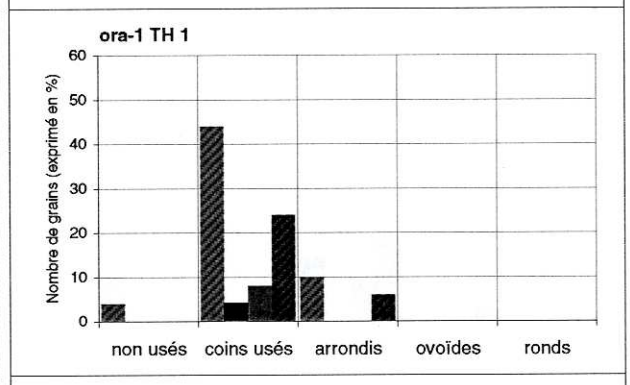


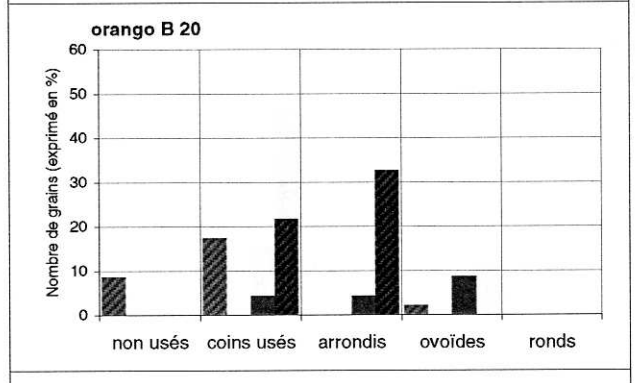


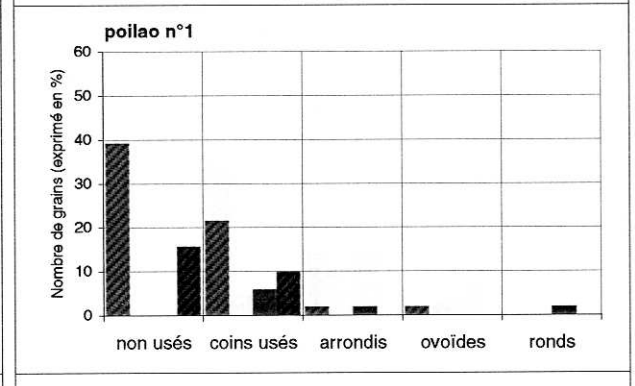


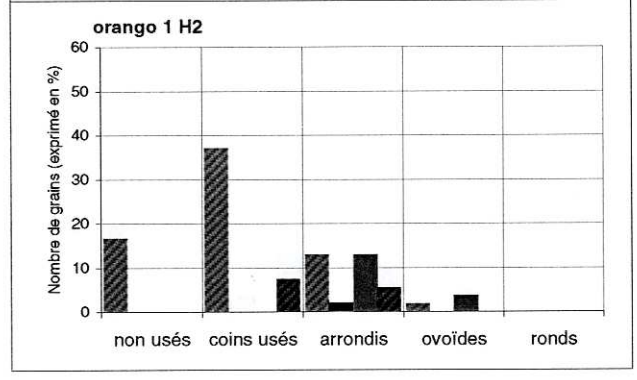


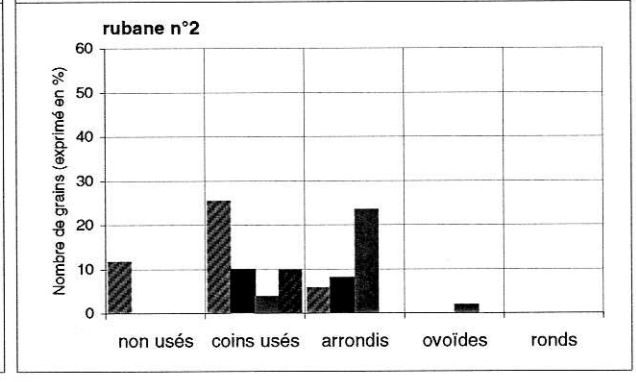


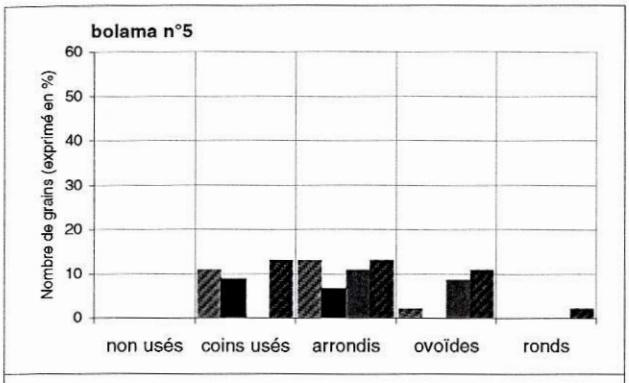
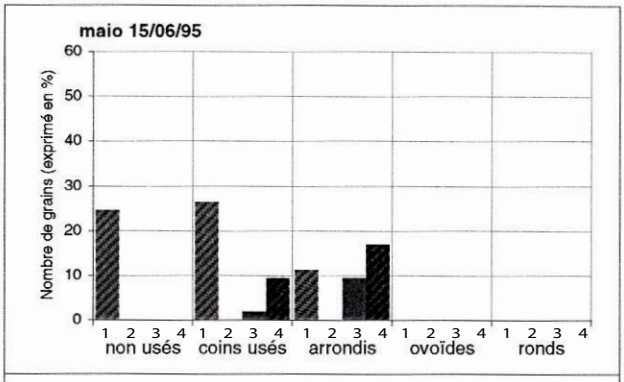
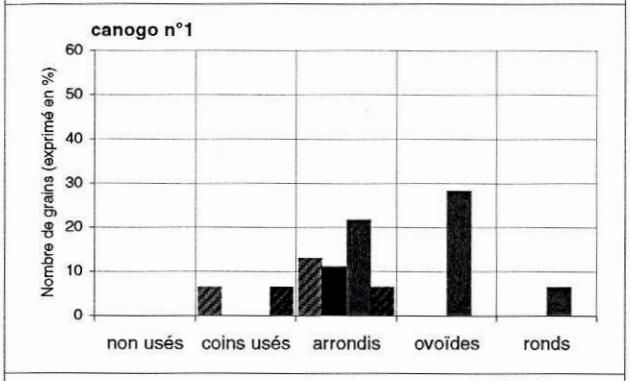
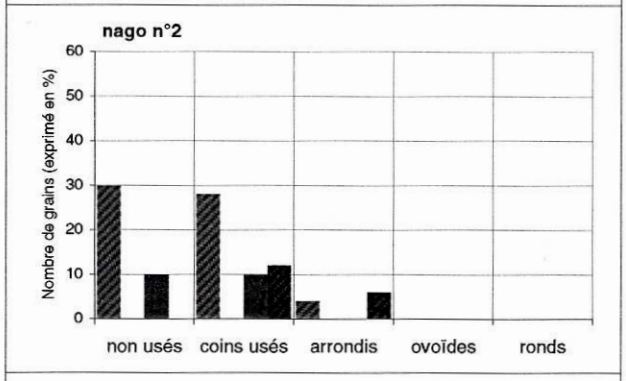
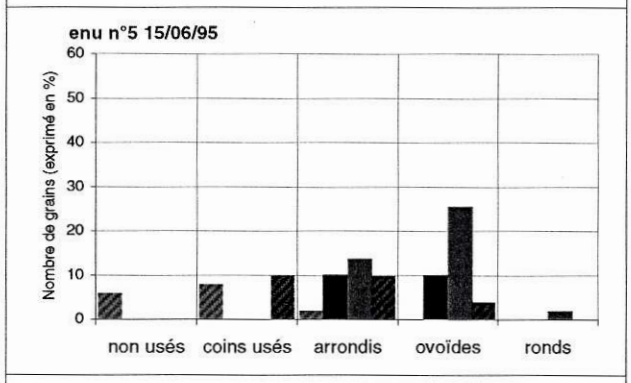
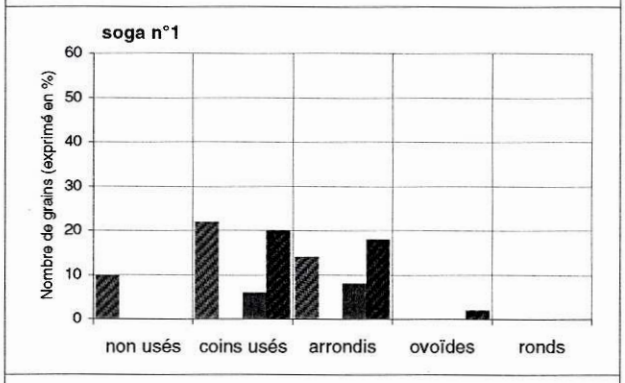
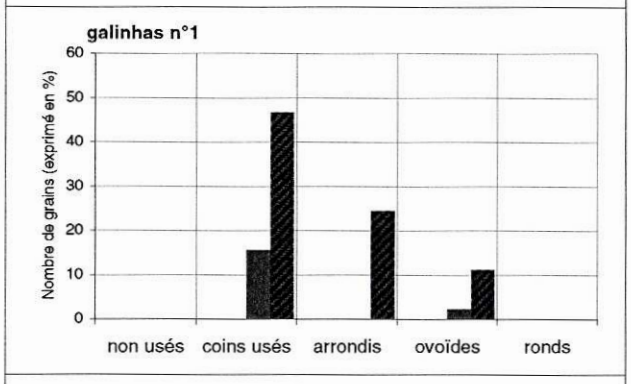
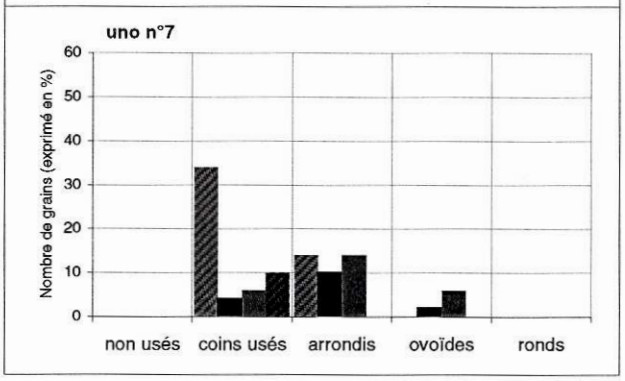
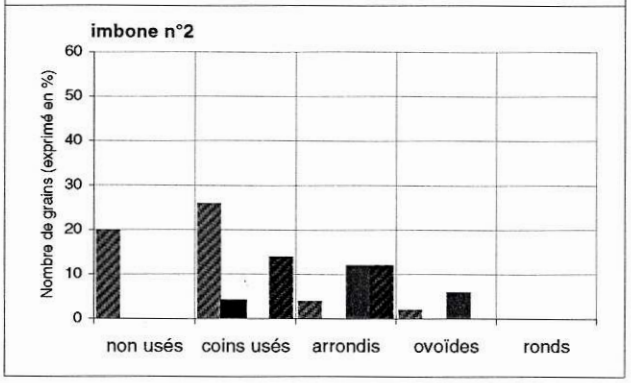










Morphoscopie des grains de sables

légende commune : éclats nat. (1) mats (2) luisants (3) picotés (4)