

Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Gambie

Etude des moyens de production et de transport de l'énergie électrique  
des pays membres de l'OMVG - Plan d'action environnemental

-----

**Evolution de l'environnement physique de l'estuaire de  
Gambie**

**Impacts possibles des modifications du régime du fleuve sur  
les mangroves**

-----

Rapport final

Annexe au rapport n°10861

Etude environnementale du projet Sambangalou

Dr. Olivier RUË

Cabinet Gressard

Décembre 2002

## SOMMAIRE

<b>0. RESUME .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
1.1. CADRE DE LA MISSION : .....	7
1.2. PROBLEMATIQUE ET ENJEUX : .....	7
1.3. ELEMENTS METHODOLOGIQUES : .....	9
<b>2. LES TRANSPORTS SOLIDES ET L'EVOLUTION DE L'ESTUAIRE.....</b>	<b>10</b>
2.1. INTRODUCTION : .....	10
2.2. LE COMPLEMENT DE L'ESTUAIRE DE LA GAMBIE : .....	11
2.2.1. <i>Un estuaire disproportionné</i> : .....	11
2.2.2. <i>Le remblaiement sédimentaire de l'estuaire</i> .....	11
2.2.3. <i>Origines des matériaux sédimentaires de comblement d'un estuaire</i> .....	12
2.3. FONCTIONNEMENT HYDRO-SEDIMENTAIRE ESTUARIEN : .....	12
2.3.1. <i>Captage et piégeage des sédiments fins dans l'estuaire</i> : .....	13
2.3.2. <i>Expulsion de l'excédent sédimentaire estuarien</i> : .....	13
2.4. DESEQUILIBRE DU BILAN HYDRO-SEDIMENTAIRE : .....	14
2.5. EXEMPLES DE DESEQUILIBRES HYDRO-SEDIMENTAIRES ESTUARIENS : .....	15
2.5.1. <i>Le Rio Kapachez</i> : .....	15
2.5.2. <i>La Tabounssou</i> : .....	15
2.5.3. <i>Le canal Kapachez-Nunez</i> : .....	15
2.5.4. <i>Le Sénégal et le Konkouré</i> : .....	15
2.5.5. <i>Le Rio Nunez</i> : .....	15
2.6. CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE ET SEDIMENTAIRE DES BIEFS DE L'ESTUAIRE DE LA GAMBIE : .....	16
2.6.1. <i>Les limites géographiques des biefs de l'estuaire</i> : .....	16
2.6.2. <i>L'embouchure</i> : .....	17
2.6.3. <i>L'estuaire maritime</i> : .....	17
2.6.4. <i>L'estuaire central (appelé haut-estuaire dans les études Michigan)</i> : .....	17
2.6.5. <i>L'estuaire supérieur</i> .....	17
2.7. EVOLUTION DE L'ESTUAIRE DE LA GAMBIE DANS SON CONTEXTE REGIONAL : .....	18
2.8. TENDANCE ACTUELLE DE L'EVOLUTION SEDIMENTAIRE DE LA GAMBIE : .....	18
2.8.1. <i>méthode d'étude</i> : .....	18
2.8.2. <i>Les sédiments du lit de l'estuaire central</i> : .....	18
2.8.3. <i>L'érosion des berges du chenal de l'estuaire central</i> .....	18
2.8.4. <i>La sédimentation de bourrelet de berge</i> : .....	18
2.8.5. <i>Témoins de sédimentation, les aires de régénération</i> : .....	19
2.9. EVOLUTION AVENIR DE L'ESTUAIRE SANS BARRAGE : .....	19
2.9.1. <i>Effets possibles de l'élévation du niveau marin sur l'estuaire de la Gambie</i> : .....	19
2.9.2. <i>Effets possibles de l'augmentation des vents sur l'estuaire de la Gambie</i> : .....	20
2.9.3. <i>Effets possibles de l'augmentation des précipitations sur le bassin de la Gambie</i> : .....	20
2.9.4. <i>Effets possibles de combinaisons de facteurs naturels</i> : .....	21
2.10. LE LITTORAL DE LA COTE GAMBIENNE ET SES RELATIONS AVEC L'ESTUAIRE : .....	21
2.10.1. <i>Le littoral Nord et Nord-Ouest de Banjul</i> : .....	22
2.10.2. <i>Le littoral Ouest de Banjul et plus précisément la plage de Bilijo Forest Parc</i> : .....	23
2.10.3. <i>Le littoral gambien au Sud de Bald Cape</i> : .....	23
2.10.4. <i>Origine des sédiments du littoral Sud de la Gambie et impact possible du projet</i> : .....	23
2.11. IMPACTS SEDIMENTAIRES PROBABLES DE LA MODIFICATION DU REGIME DU FLEUVE SUR L'ESTUAIRE : ...	24
2.11.1. <i>L'estuaire central</i> : .....	24
2.11.2. <i>L'estuaire maritime</i> : .....	25
2.11.3. <i>L'embouchure</i> : .....	25
2.11.4. <i>Croisements d'impacts et de facteurs</i> : .....	25
2.12. PRINCIPALES MESURES D'ATTENUATION : .....	25
2.13. CONCLUSION : .....	25
<b>3. LES MANGROVES.....</b>	<b>27</b>
3.1. PRESENTATION : .....	27
3.2. IMPORTANCE DES MANGROVES DE L'ESTUAIRE CENTRAL : .....	27
3.3. LE PRISME DE MANGROVE DE L'ESTUAIRE CENTRAL : .....	29

3.4. TENDANCE ACTUELLE ET SIGNIFICATION DE L'ÉVOLUTION DES MANGROVES :	30
3.4.1. <i>Les signes du renforcement de la méandrisation :</i>	30
3.4.2. <i>Remontée des Rhizophora vers l'amont de l'estuaire :</i>	30
3.4.3. <i>Les aires de régénération :</i>	30
3.4.4. <i>Les aires de mortalité :</i>	32
3.5. IMPACTS POSSIBLES SUR LES MANGROVES DE LA REGULARISATION DU RÉGIME DE L'ESTUAIRE :	32
3.5.1. <i>La mangrove peut-elle survivre en eau douce ?</i>	32
3.5.2. <i>Questions préalables sur la migration du coin salé et du bouchon vaseux.</i>	33
3.5.3. <i>Impact sur les mangroves du recul du front salé :</i>	33
3.6. MESURES HYDRAULIQUES DE PRESERVATION DES MANGROVES :	34
<b>4. ETUDES A MENER ET PROJETS A CREER</b>	<b>36</b>
4.1. CONSTAT :	36
4.2. OBJECTIFS DES ETUDES : CREER UNE BASE DE DONNEE INTERDISCIPLINAIRE PERENISABLE	36
4.3. ORGANISATION DES ETUDES :	37
4.4. TYPES DE DONNEES IMPORTANTES A ACQUERIR PAR ATELIER	37
4.4.1. <i>Hydrologie</i>	37
4.4.2. <i>Sédimentologie</i>	38
4.4.3. <i>Biogéographie et Foresterie.</i>	38
4.4.4. <i>Cartographie d'identification</i>	38
4.4.5. <i>Cartographie d'évolution</i>	38
4.4.6. <i>Changements globaux</i>	38
4.5. PROJETS A CREER	39
<b>5. CONCLUSIONS</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>41</b>

## 0. RÉSUMÉ

Le régime de sédimentation d'un estuaire est tout aussi déterminant que celui de la salinité pour le développement et la régénération de la mangrove. La vase estuarienne en constitue le milieu de prédilection. Néanmoins l'excès de sédimentation peut compromettre ses conditions de développement et de régénération par modification de ses régimes de submersion et d'oxygénation.

L'estuaire de la Gambie se classe donc parmi les plus grands du monde, il atteint 500km de longueur. Il est aussi le débouché d'un fleuve relativement court de 1200km.

L'estuaire de la Gambie se décompose en quatre biefs : l'embouchure, l'estuaire maritime, l'estuaire central et l'estuaire supérieur. Leurs caractéristiques et évolutions géomorphologiques, hydrologiques, sédimentologiques et biogéographiques sont distinctes.

Les mangroves occupent les rives de l'estuaire de l'embouchure jusqu'au kilomètre 200. Cependant on trouve des palétuviers jusqu'aux environs du kilomètre 250. Les plus belles forêts de mangroves sont situées dans l'estuaire central entre les kilomètres 140 et 190. Leur productivité naturelle est environ deux fois plus importante que celle des mangroves de l'estuaire maritime plus en aval.

### Régime et évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire

Les débits liquides du fleuve ne représentent en crue que le dixième des débits liquides des courants de marée dans l'estuaire. Les débits solides du fleuve sont faibles. L'hydrologie et la sédimentologie de l'estuaire sont donc largement dominés par les courants de marée.

En raison de ses dimensions considérables, l'estuaire est un piège à sédiment. La tendance de son évolution se caractérise à l'échelle :

- inter-millénaire par le remblaiement progressif de la vallée qu'il occupe ;
- inter centenaire par le comblement progressif du lit ;
- inter décennale par le colmatage des têtes de chenaux.

Ces remblaiement, comblement et colmatage ont pour effet principal de renforcer progressivement l'amortissement de la pénétration de la marée et donc de favoriser les conditions de piégeage et de fixation des matériaux fins qui y pénètrent.

L'équilibre morphologique des chenaux est donc précaire. L'entretien de leur calibre est assuré par la puissance hydraulique du volume oscillant<sup>1</sup> de l'estuaire, en particulier lorsque l'excédent fluvial des crues le fait gonfler et expulser en mer le surplus de vase accumulé au cours de la saison sèche. Le contrôle de l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire

---

<sup>1</sup> Volume oscillant : volume d'eau qui remplit l'estuaire à chaque marée ; il varie en fonction de l'amplitude des marées et des apports fluviaux ou pluviaux ; il peut être calculé en additionnant les débits d'un flot (courant de marée montante) au goulet d'embouchure avec les débits fluviaux écoulés dans l'estuaire sur la même durée.

repose donc plus sur la puissance des débits liquides des courants qui le traverse que sur le volume des matières solides importés dans l'estuaire.

L'évolution actuelle (depuis moins de 10 ans) de l'estuaire, telle que nous l'avons observé, est double.

On assiste à la fois à un recalibrage des chenaux de l'estuaire à un gabarit plus large et à une sédimentation des fonds de leurs lits et de leurs bourrelets de berges. Erosion et sédimentation simultanées qui traduisent l'augmentation à la fois de la puissance des débits liquides et solides de l'estuaire. Ce double phénomène est le résultat de l'impact de deux facteurs en évolution actuellement : l'élévation du niveau marin et le renforcement de l'agitation marine.

En l'absence de mesures hydro-sédimentologiques nouvelles, il est encore impossible de pondérer précisément les effets de ces différents facteurs d'évolution sur les différents biefs de l'estuaire, d'autant que certains facteurs ont sur certains sites des effets contraires et pourraient se compenser mutuellement.

Cependant il a été possible d'identifier, à partir des observations de terrain, des tendances générales comme l'aggravation de l'érosion des côtes de l'embouchure, l'élargissement des parties avales des chenaux et le colmatage de leurs têtes dans les parties maritimes et centrales de l'estuaire ou encore la dégradation des mangroves sur ou en arrière des sites sur-alluvionés. C'est l'analyse comparée de ces manifestations qui nous a permis d'identifier et d'apprécier les changements en cours des facteurs d'évolution.

#### Impacts sur l'estuaire et ses mangroves d'une modification du régime du fleuve :

Les avis qui suivent ont été établis à partir des observations de terrain de la mission et des compilations des rapports antérieurs. Ils devront être validés par de nouvelles campagnes de mesures en nature. Les deux principales modifications du régime du fleuve telles qu'elles sont prévues par le Schémas Directeur Hydraulique du Fleuve Gambie sont la réduction des pointes de crue et le relèvement du débit d'étiage.

La réduction des pointes de crues risque de réduire sensiblement le volume des panaches turbides rejetés en mer lors des hautes eaux du fleuve. Cela risque de provoquer un déficit d'alimentation sédimentaire des îles du Sine Saloum et des marais de la rive Nord de l'embouchure, ces îles et ces marais étant pour parties construites par les apports sédimentaires des effets de chasse de l'estuaire gambien.

La réduction des pointes de crue risque aussi à moyen terme et toute chose étant égale par ailleurs, de réduire les capacités hydrauliques estuariennes de remobilisation et d'expulsion en mer des excédents de vases piégées dans les chenaux et donc de favoriser leur comblement. A plus long terme cet empâtement sédimentaire de l'estuaire risquerait de réduire le volume oscillant par renforcement de l'amortissement<sup>2</sup> de la marée. La fréquence de submersion des berges diminuerait alors entraînant la réduction de l'aire inondable, le développement des zones sursalées et la contraction des zones de mangrove par réduction de la zone intertidale.

---

<sup>2</sup> Amortissement : perte de puissance - en amplitude (h) et en célérité (v) - de la marée montante (flot) au cours de sa progression dans un estuaire, une ria ou une baie, provoqué par les rugosités (entraves) morphologiques (réduction ou variations de profondeur, complication du tracé du chenal) et texturales (sédimentaires ou végétales) du lit du cours d'eau.

En revanche, le relèvement du débit d'étiage à 50m<sup>3</sup>/s empêchera la remontée du front salé et du bouchon vaseux en amont d'Eléphant Island (à 160 km de l'embouchure).

L'adoucissement total des eaux en amont de cette île entraînera la disparition des mangroves de tout l'estuaire central et leur remplacement par des hydrophytes. Les mangroves ne subsisteront alors que dans l'estuaire maritime, au long des 100 premiers kilomètres de rives en amont de l'embouchure.

La combinaison de la réduction des pointes de crue combinée au relèvement du débit d'étiage réduira l'apport d'alluvions de l'amont (fluviaux) et de l'aval (marins) aux berges des plaines de l'estuaire situées en amont d'Elephant Island.

### Recommandations

La préservation durable des capacités de régénération de la mangrove de l'estuaire central nécessite de laisser remonter librement le front salé et le bouchon vaseux pendant un à deux mois lors des plus fortes marées de saison sèche. La préservation des capacités de vidange sédimentaire estuarienne nécessite de disposer des plus forts débits possibles en période de crue. Ces deux nécessités sont complémentaires. Aussi la gestion hydraulique des eaux du fleuve qui serait la plus à même de préserver l'environnement estuarien consisterait, à faire s'écouler en période de crue ce qui a été retenu en amont du barrage en période sèche autrement dit à reconstituer un régime le plus proche possible du naturel en créant un étiage et une crue artificiels.

La seule identification de la nature des évolutions et des risques encourus dans l'estuaire par la réalisation d'un barrage sur le fleuve ne suffit pas pour évaluer précisément les différents impacts possibles d'une régularisation du régime du fleuve sur un système estuarien en pleine évolution " naturelle " .

La gestion durable des ressources du fleuve rend indispensable la réalisation de nouvelles séries de campagnes de mesures pour créer puis pérenniser une base de données estuarienne. Cet instrument de suivi aura pour fonction d'anticiper les évolutions possibles et d'évaluer les risques auxquels seront exposées les ressources naturelles de l'estuaire.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Cadre de la mission :

Chargée de l'étude environnementale du projet de Sambangalou, l'entreprise Coyne et Bellier a confié au Dr. Olivier Rué du Cabinet Gressard, la responsabilité de fournir un avis sur la sédimentation et sur les mangroves de l'estuaire de la Gambie.

La mission s'est déroulée du 02 au 10 juillet 2002 : un jour et demi à Banjul, quatre jours sur le terrain et 3 jours à Dakar.

Les objectifs spécifiques de cette consultation ont été de préciser:

- La nature et l'ampleur des impacts de la modification du régime du fleuve sur les transports solides de l'estuaire
- L'évolution de l'érosion et de la sédimentation dans la zone marine du projet l'embouchure et le littoral situé au sud de Banjul.
- La nature et l'ampleur des impacts du déplacement du coin salé sur les mangroves et plus particulièrement celles situées le plus en l'amont de l'estuaire ;

Cette étude environnementale préliminaire ne constitue pas encore l'Evaluation d'Impact Environnementale réglementaire.

La zone couverte par la présente étude est la partie de l'estuaire et de la côte constituant l'habitat de la mangrove et soumis à l'influence du projet en matière de transports solides et plus particulièrement la partie centrale de l'estuaire qui serait soustraite à l'influence saline après modification du régime du fleuve.

Les zones d'investigation de terrain ont été limitées, en raison du temps imparti pour cette mission, à l'estuaire central entre les PK 100 et 260 et aux plages de l'embouchure et du littoral situé au sud de Banjul.

Cette consultation s'inscrit dans la suite des travaux déjà réalisés par nous même pour l'OMVG dans le cadre du Schémas Directeur Hydraulique du Fleuve Gambie ( in Annexe 7 du Rapport principal de nov.1998 et aux points 1.8 et 4.2.1. du Rapport de synthèse de fev.1999.).

### 1.2. Problématique et Enjeux :

Les questions environnementales ont pris une part croissante dans les études relatives à l'aménagement du fleuve Gambie réalisées depuis 20 ans. Elles ont été à l'origine de l'abandon des sites de barrage de Balingho et de Kékréti . Parmi ces questions, celles relatives à la mangrove et plus globalement à la préservation de l'hydro-système estuarien semblent de plus en plus préoccupantes en raison de l'importance du rôle de nurserie et de nourricerie des mangroves vis à vis de la faune halieutique estuarienne et littorale et en raison du très fort degré d'interdépendance des différentes composantes physiques et biologiques de l'hydro-système estuarien.

L'estuaire de la Gambie est un système complexe en évolution permanente. Certains de ses paramètres ou facteurs d'évolution comme le niveau marin, les précipitations ou encore les vents générateurs de houle peuvent en se modifiant changer l'équilibre de l'hydro-système estuarien et dans le cas qui nous intéresse, augmenter ou diminuer l'impact que pourrait avoir la régularisation du régime du fleuve sur les mangroves, la sédimentation des berges et l'évolution générale de l'estuaire. Nous apprécierons donc les tendances actuelles et prévisibles de ces facteurs afin de proposer

différentes tendances d'évolution possible de l'estuaire avec ou sans régularisation artificielle du régime fluvial.

L'enjeu de l'aménagement consiste à produire de l'électricité tout en préservant autant que possible un patrimoine de paysages et de ressources naturelles.

Le patrimoine paysager de l'estuaire, indissociable de l'identité gambienne, constitue une ressource clef du potentiel touristique du pays. En raison de conditions morphologiques et hydrologiques particulières, la Gambie est l'une des plus belles rias estuariennes d'Afrique. Son relatif encaissement multiplie les points de vue de différents plans tant depuis le fleuve en direction des rives qu'inversement. La relative étroitesse de la vallée juxtapose une grande diversité de paysages (fleuve, rives, plaines du lit majeur, forêts galeries et forêts parcs des versants escarpés de son lit majeur et des plateaux qui les dominent) qui font de ce pays fleuve un remarquable sanctuaire naturel. Le long du fleuve s'élève une des forêts de mangrove parmi les mieux préservées d'Afrique. C'est entre Balingho et Ka-ur, au centre même du pays et de son estuaire qu'elle prend toute son ampleur. Les futaies " d'Elephant Island et Dankuku Island " confère à ces îles de mangrove des allures de cathédrales végétales.

Le patrimoine des ressources naturelles de l'estuaire constitue une clef des potentiels halieutiques forestiers et pédologiques du pays. L'enjeu environnemental de l'aménagement du fleuve est pour l'estuaire :

- de préserver au mieux la chaîne des ressources naturelles de milieu de mangrove (production primaire et ligneuse) mollusques (huîtres), poissons, crustacés (crabes, crevettes)...
- de préserver la fertilité des terres inondables ;
- de maintenir les aptitudes chimiques et hydro-biologiques du milieu estuarien et en particulier les fonctions d'épuration et d'enrichissement de l'estuaire indispensable au maintien de la biodiversité et de la fertilité des milieux adjacents (marins côtiers et continentaux marécageux) ;

La puissance des fonctions d'enrichissement et d'épuration de l'estuaire est commandée par le degré, la fréquence et la variabilité du mode d'interpénétration des milieux fluides, marins et fluviaux.

La réduction des termes de cette interpénétration par réduction des apports liquides, ou par entrave sédimentaire des écoulements risque de réduire d'autant la puissance de ces fonctions d'épuration et d'enrichissement et par là même d'appauvrir le patrimoine de mangrove, ses ressources ainsi que les eaux littorales et les terres inondables qui en dépendent.

Les caractéristiques du milieu estuarien à protéger pour l'exercice de leurs fonctions et pour la production de ressources naturelles sont donc :

L'étendue et le degré d'épanouissement des zones de mangroves car elles produisent :

- la base nutritive de la chaîne alimentaire des eaux estuarienne et partant des eaux côtières par sa production primaire considérable ;
- le cadre d'accueil et de protection (frais et nurseries) pour nombre d'espèces aquatiques ;
- le rechargement organique des sols des plaines de marais inondables par la marée ;
- l'aire d'inondation (le vase d'expansion) du volume oscillant de la marée dans l'estuaire.

Le volume oscillant estuarien qui par sa puissance cinétique génère et règle :

- la fréquence de submersion des vasières à mangrove, première condition de leur croissance et de leur régénération ;
- l'importance des échanges (physiques -minérales, sédimentaires- chimiques et biologiques) entre les eaux marines et continentales, entre les aires inondables (vasières à mangrove et sols de marais) et les eaux de l'estuaire ;
- le calibrage de l'ensemble des chenaux de marée (bôlons)
- la remobilisation, la réoxygénation, la désalinisation et la redistribution des vases et donc l'enrichissement continu des vasières à mangrove
- la capacité épurative des eaux estuariennes par brassage et oxygénation
- l'enrichissement (par limonage) des sols des plaines inondables



- la collecte au profit du fleuve de la litière de mangrove par balayage hydraulique.

Toute modification du volume oscillant de la marée dans l'estuaire aura donc des incidences sur l'ensemble des caractéristiques du milieu et sur les processus qui en commandent l'évolution. C'est une des raisons pour laquelle le site choisi pour la construction du barrage est celui qui est situé le plus en amont sur le cours d'eau, celui pour lequel l'incidence hydrologique sera la plus faible possible sur l'estuaire.

La question à examiner est donc de définir les impacts de la construction d'un barrage à Sambagalou sur le volume oscillant de la marée, les mangroves et la dynamique sédimentaire car les incidences ne toucheraient pas seulement ces trois éléments du système estuarien mais, de par leurs fonctions énergétiques (cinétique) pour la première, nutritives pour la seconde, pédologiques et mécaniques pour la troisième, l'ensemble des milieux avec lesquels elles entretiennent des échanges.

### 1.3. Eléments méthodologiques :

La mangrove, en raison de sa sensibilité aux variations des paramètres hydro-sédimentologiques est un remarquable témoin, traceur et intégrateur de l'évolution de son environnement. Aussi toute modification de la répartition spatiale, de la distribution, de l'étagement (zonation) et de l'état sanitaire des mangroves, toute dégradation ou régénération des palétuviers sont pour nous symptomatique de l'évolution hydrodynamique et morpho-sédimentaire de l'estuaire.

La présente mission n'a pas disposé de nouvelles mesures sur le milieu physique estuarien par rapport à celles collectées pour les études antérieures (généralement seulement centrées sur la question du déplacement du front salé). Aussi ce travail s'est-il attaché mais aussi limité à identifier la nature et l'ampleur des risques que les impacts hydrologiques de la régularisation du fleuve pourraient faire peser sur l'environnement estuarien.

La méthodologie d'appréciation de ces risques s'est construite par confrontation de l'analyse des paysages morpho-sédimentaires et végétaux de l'estuaire réalisé lors de la visite de terrain avec :

- les cartes les plus détaillées existantes,
- les conclusions des dernières études réalisées sur le fleuve,
- nos travaux personnels antérieurs réalisés sur d'autres estuaires de la sous-région.

L'analyse des paysages de l'estuaire a permis de préciser :

- l'importance et l'état sanitaire des mangroves de l'estuaire central ainsi que les limites amont et aval des différentes espèces végétales et des différents faciès de berge des plaines inondables ;
- l'état d'évolution morpho-sédimentaire des berges et des rivages de l'estuaire central, de la rive sud de l'embouchure et de la côte au sud de Banjul

Les matériaux de l'expertise sont :

- les notes et les photos de trois journées de terrain et de navigation (du 3 au 5 juillet 2002) dans l'estuaire central de la Gambie entre Tendaba et Baboon Island ;
- les notes et photos d'une journée de terrain sur le littoral gambien entre Banjul et Kartung ;
- les notes de trois journées d'entretien à Dakar à l'OMVG à l'ISRA
- l'ensemble des rapports du Schémas Directeur Hydraulique du fleuve Gambie
- les cartes topographiques au 1/300000<sup>ème</sup> et 1/25000<sup>ème</sup>
- différents ouvrages, articles, communications et rapports sur la dynamique estuarienne et l'évolution des mangroves en Afrique de l'Ouest ;

Nous sommes conscients que cette évaluation du milieu naturel et des risques d'impacts d'une régularisation du régime du fleuve est délicate car elle ne s'appuie que sur des observations qualitatives de terrain. Au moins permettra-t-elle de faire ressortir en raison de la complexité des processus d'évolution et de régulation du milieu concerné, la nécessité d'étudier de façon approfondie la dynamique estuarienne.

## 2. LES TRANSPORTS SOLIDES ET L'EVOLUTION DE L'ESTUAIRE

### 2.1. Introduction :

La question des transports solides est importante pour les raisons suivantes :

- C'est souvent dans les embouchures que les impacts négatifs de l'implantation de barrages sur les fleuves ont été les plus sévères. Les déficits d'apports solides ont souvent entraîné le recul des côtes dans les delta et leur inondation progressive par défaut de compensation sédimentaire à la subsidence du sol ou l'élévation du niveau marin. Ces déficits ont provoqué l'appauvrissement des terres et des eaux littorales entraînant la diminution des ressources agricoles et de pêche.
- En liaison avec les changements climatiques et océaniques globaux, les littoraux se transforment actuellement. Ils commencent à subir les effets d'une modification sans précédent des facteurs hydro-dynamiques qui les avaient modelés jusqu'à présent.
- La dynamique estuarienne n'a pratiquement pas été analysée sur la Gambie par les études consacrées aux impacts possibles de son aménagement hydro-électrique possible.
- La sédimentation fine constitue le domaine de prédilection de la mangrove. Elle est aussi, comme la mangrove, extrêmement sensible à toute modification de l'hydrodynamique. Mais le colmatage sédimentaire d'un bolon ou d'un estuaire peut modifier localement aussi les paramètres hydrodynamiques de marée qui l'avaient généré auparavant.

Les données existantes sur les transports solides dans l'estuaire :

D'après Gac et al. (1987), sur la période 1979-84 ; les apports solides du fleuve relevé à Gouloumbo - 530km de l'embouchure – ont été de 249760 T/an. La turbidité moyenne a été sur la même période de 67mg/l. Comparé à la fourchette mondiale des turbidités comprise entre 0,1 et 1g/l (Castaing et al 1987), les turbidités de la Gambie sont extrêmement faibles. Sur la période considérée relativement sèche, les turbidités moyennes ont oscillé entre 50 mg/l en saison sèche et 100mg/l en saison des pluies. En 1974 les débits solides à Gouloumbo se sont élevés à 660000T/an. Par comparaison, les débits solides du Konkouré en Guinée s'élevaient avant la construction du barrage à 1,2MT/an (Ruë 1994), ceux de la Volta au Ghana à 3MT/an (Rossi 1995).

Les apports solides du fleuve Gambie à l'estuaire sont donc faibles, d'autant que la fraction soluble du flux de matière dépasse en proportion la fraction particulaire. Leur diminution consécutive à un aménagement ne devrait pas entraîner d'effets négatifs sur l'estuaire.

Mais nous n'avons aucune donnée sur les transports solides estuariens de la Gambie. Nous supposons toutefois qu'ils sont bien différents de ceux des transports solides fluviaux. Les valeurs de turbidités propres aux estuaires atteignent pour le Konkouré (Guinée) comme pour la Gironde (France) des valeurs comprises entre 5 et 15 g/l dans le bouchon vaseux et entre 100 et 300g/l pour la crème de vase mobile sur le fond (Ruë 1994). Un estuaire est un piège à vase dont le maintien de l'équilibre morpho-sédimentaire dépend beaucoup plus du débit liquide du fleuve que des apports solides du bassin versant.

La question des transports solides dans un estuaire est tout à fait différente de celle qui se pose dans un delta.

Alors que dans un delta il faut pérenniser au mieux les débits solides pour protéger l'embouchure et ses ressources, dans un estuaire il faut préserver au mieux les variations de débit liquide pour réduire au plus la sédimentation de l'embouchure et conserver de ce fait une bonne circulation et une bonne capacité d'échange du volume oscillant de la marée.

Car c'est , rappelons-le, l'amplitude de cette oscillation dans l'estuaire qui garantit le régime de submersion des berges, l'état sanitaire des mangroves, la fertilité des sols submersibles et la richesse organique des eaux.

L'hydrologie du volume oscillant de marée et la sédimentologie n'ont pas été étudiés spécifiquement dans l'estuaire de la Gambie. Nous ne disposons donc pas des données qui permettrait d'établir les bilans hydrologiques et sédimentologiques de l'estuaire nécessaire à l'évaluation de l'impact réel d'une régularisation du régime du fleuve en matière de transports solides et d'évolution morphologique de l'embouchure.

Aussi nous montrerons :

- En quoi l'estuaire de la Gambie constitue l'estuaire le moins désavantagé pour supporter les incidences d'un aménagement hydroélectrique
- Le caractère inéluctable du comblement des estuaires ;
- Le fonctionnement hydro-sédimentaire d'un estuaire comme la Gambie
- Comment l'estuaire de la Gambie a évolué jusqu'à présent ; quelles sont ses tendances d'évolution actuelles et quelles seront ses évolutions possibles à l'avenir ;
- Quels seraient les effets sédimentologiques d'une régularisation du régime du fleuve tel qu'elle est prévue par le Schéma hydraulique et d'un écrêtage des pointes de crue sur les différentes parties de l'estuaire.

Nous présenterons enfin les problèmes d'érosion qui se pose au littoral situé au sud de Banjul et nous interrogerons sur l'existence de relations sédimentaires entre l'estuaire et le littoral.

## **2.2. Le comblement de l'estuaire de la Gambie :**

### **2.2.1. Un estuaire disproportionné :**

Par sa longueur, plus de 500km, l'estuaire de la Gambie est l'un des plus grand du continent africain. Par comparaison il n'est que deux fois plus court que celui de l'Amazone, alors que ce fleuve est cent fois plus grand par son bassin versant.

L'estuaire de la Gambie représente près de la moitié de la longueur totale de son cours (1150km). La raison en est morpho-structurale, le fond de la vallée qu'emprunte le fleuve pour rejoindre la mer est situé plus bas que le niveau de la mer et la marée peut donc remonter jusqu'à Gouloumbo, situé à 520km de l'embouchure.

Entre le fleuve et la marée le rapport de force est inégal. Le volume oscillant est très largement dominé par la marée en raison de la disproportion morphologique de la vallée estuarienne (ria) par rapport au bassin-versant du fleuve. Cette disproportion se reporte sur l'hydrologie. Le débit du volume oscillant de marée à Balingho s'élève à environ 7000m<sup>3</sup>/s soit environ dix fois les débits de crue moyenne du fleuve à Gouloumbo.

Les incidences sur l'estuaire d'une modification du régime du fleuve devraient donc être proportionnellement plus réduite que sur un estuaire plus petit et à volume oscillant de marée moins important et moins puissant.

### **2.2.2. Le remblaiement sédimentaire de l'estuaire**

Depuis que la mer a envahi cette basse vallée fluviale lors de la dernière transgression (holocène) les apports sédimentaires l'ont plus ou moins comblé créant latéralement, adossé aux versants, des berges de terre ferme de plus en plus étendues, de moins en moins inondables par les crues et les pleines-mers.

En raison du surdimensionnement de la vallée (ennoyée) l'estuaire a constitué dès son origine une trappe à sédiments qui s'est comblé progressivement. Au cours de son évolution la vallée originellement ennoyée s'est transformé progressivement en une vallée à fond plat comblée de terre

ferme et dans laquelle s'écoule maintenant un cours d'eau dont le calibre est modelé par la compétence de son débit maximum.

Lorsque à l'inverse, comme dans le Rio Grande de Buba en Guinée Bissau, les conditions de comblement n'ont pas été remplies et que les apports sédimentaires ont été trop faibles, la vallée est restée à peu près telle que la mer l'avait trouvée il y a 6000 ans. C'est une ria c'est à dire une vallée ennoyée mais que l'intrusion des eaux marines n'a pas encore amené à capter assez de sédiment pour être transformée en estuaire.

La très grande largeur de l'estuaire de la Gambie dans sa partie maritime montre que le remblaiement du lit majeur n'est pas achevé.

### **2.2.3. Origines des matériaux sédimentaires de comblement d'un estuaire**

La principale caractéristique sédimentologique d'un l'estuaire est que sa fourniture sédimentaire provient de sources multiples, marines, fluviales, et colluviales (versants de la vallée ennoyée). Nous rappellerons ici les principales :

De la mer proviennent :

- Les sables des plages adjacentes ou des bancs de l'avant-côte poussés par saltation à l'intérieur de l'embouchure par les houles du large ;
- Les vases des vasières submergées et littorales (marais côtiers) voisines remobilisées par l'agitation (érosion) et transportées en suspension par les courants de flot<sup>3</sup> à l'intérieur de l'estuaire, c'est la plus importante fourniture sédimentaire de comblement d'un estuaire

Des versants et des rives de l'estuaire proviennent :

- Les boues colluviales des versants (sablo-argileuses mais aussi caillouteuses ou graveleuses), particulièrement abondantes lorsque les défrichements ont dénudé les sols ;
- Le produit du démantèlement des berges lors des fortes crues ou lorsque par vent très fort l'étendue du plan d'eau permet la génération un clapot agressif ;

Du fleuve et ses affluents provient

- Le matériel sédimentaire du bassin versant, transporté en suspension, par saltation ou par charriage dans le cours d'eau.

Les sédiments fins constituent le gisement sédimentaire dominant des estuaires. Ces matériaux fins sont piégés par la cellule hydraulique constitué par les courants de marée canalisés par la présence et la forme de l'estuaire. Les vases marines sont largement prédominantes sur les boues fluviales. Les vases marines se différencient des boues fluviales, par leur teneur beaucoup plus élevée en carbonates et en matière organique.

### **2.3. Fonctionnement hydro-sédimentaire estuarien :**

Les deux principales caractéristiques hydro-morphologique d'un estuaire sont :

- d'avoir un chenal dont le calibre augmente vers l'aval car il est modelé par l'action du flot de marée (estuaire, du latin aestus : marée)
- d'être façonné par un courant alternatif à niveau variable.

Les estuaires sont caractérisés par une circulation originale des masses d'eau dominée par leur oscillation longitudinale (courants de marée) dont la limite amont est appelée point nodal (point le plus amont de l'estuaire atteint par le courant de flot).

La propagation de la pleine mer étant plus rapide que la basse mer dans l'estuaire (célérité proportionnelle à la racine carrée de la hauteur d'eau) l'onde de marée devient de plus en plus

---

<sup>3</sup> Flot : courant de marée montante, opposé au " jusant " : courant de marée descendante.

asymétrique vers l'amont, raccourcissant mais renforçant le courant de flot allongeant et adoucissant celui du jusant.

L'asymétrie de la marée (et donc la disproportion de la vigueur et de la durée de ses courants) entraîne la formation d'un bouchon vaseux dynamique (zone de turbidité maximum). Son entraînement vers l'amont est provoqué par la plus grande compétence des courants de flot par rapport à ceux du jusant et les conditions de calme hydrodynamique de pleine-mer .

La marée est susceptible de s'amplifier au milieu de l'estuaire comme c'est le cas ici entre Balingho et Kauntaur, lorsque les effets morphologiques de convergence des rives sont supérieurs à l'amortissement par frottement sur le fond.

### **2.3.1. Captage et piégeage des sédiments fins dans l'estuaire :**

La différence de compétence des courants de flot et de jusant a pour effet d'aspirer les suspensions dans l'estuaire. La marée fonctionne donc dans un estuaire comme une pompe à sédiments fins. Elle facilite leur remontée jusqu'au point nodal au-delà duquel domine le système fluvial. Les masses de sédiments en suspension dans un estuaire peuvent être considérables (quelques millions de tonnes dans l'estuaire de la Gironde) Elles se déplacent à l'intérieur de l'estuaire au gré de la combinaison des débits des marées et du fleuve. En marées de mortes eaux une partie du bouchon vaseux décantent et se concentre sur le fond sous forme de crème de vase.

Les vases remontent l'estuaire en suspension dans le bouchon vaseux ou par charriage sur le fond dans un tapis de crème de vase d'épaisseur variable.

Ce sont ces vases mobiles qui construisent les vasières latérales des chenaux, qui par engraissement successif vont former les plaines inondables latérales de l'estuaire. On rencontre ces vasières et ces plaines à géogenèse marine depuis l'embouchure jusqu'à Kantaur.

Ce sont ces mêmes vases mobiles qui peuvent aussi encombrer voir boucher les bolons ou même certaines parties de l'estuaire si la compétence du volume oscillant de période de crue est trop faible pour en expulser en mer l'excédent capté en saison sèche.

### **2.3.2. Expulsion de l'excédent sédimentaire estuarien :**

Avec l'arrivée de la crue du fleuve le bilan hydrologique du volume oscillant de la marée se déséquilibre. Le flux de jusant dépasse brutalement celui du flot. C'est ce qu'on appelle l'effet de chasse<sup>4</sup>. Les conséquences sédimentaires sont importantes.

Alors qu'en basses eaux, les eaux fluviales, bloquées par les courants de marée, mettent parfois des semaines à atteindre la mer, ce qui favorise le piégeage des suspensions à l'intérieur de l'estuaire, lors des crues, l'effet de chasse expulse le contenu vaseux en suspension hors de l'estuaire.

Ces expulsions de vase sont nécessaires au recalibrage des chenaux de l'estuaire qui préserve leur équilibre morphologique indispensable à la libre pénétration de la marée. Ces expulsions permettent le rééquilibrage annuel du bilan sédimentaire de l'estuaire.

En mer les courants de chasses rejettent de remarquables panaches turbides dont les sédiments en suspension vont nourrir les vasières infratidales de l'avant-côte ou les vasières intertidales et marais littoraux adjacents comme ceux qui occupent le delta du Saloum.

Une filiation sédimentologique a été établie entre l'estuaire de la Gambie et les îles méridionales du delta du Saloum (Diarra, 1999). Leur soubassement est formé avec les vases rejetées par la Gambie, leur engraissement actuel se nourrit des panaches turbides produits par les effets de chasse des crues en mer.

---

<sup>4</sup> Effet de chasse : Brutale accélération des courants de jusant dans un estuaire provoqué par l'arrivée d'une pointe de crue fluviale et qui, passant un seuil de vitesse d'entraînement sédimentaire, provoque une forte érosion du lit et une importante expulsion de sédiments en mer.

Cette filiation peut s'expliquer pour les raisons suivantes :

D'un point de vue hydrologique, l'embouchure de la Gambie regarde vers le NNO, les courants de chasse sont donc d'abord dirigés dans cette direction. Cette trajectoire des panaches turbides est maintenue rabattue le long de la côte par la propagation des houles fortement réfractées dans ce secteur et par les courants régionaux de saison sèche (février à juin) qui portent à la côte à cette période de l'année. En saison des pluies période bien évidemment la plus importante (juillet octobre) les courants régionaux portent les eaux qui sortent de l'embouchure vers le Nord ( Rebert 1977 in PNUE 1985). Les résiduelles de courants portent donc à la côte et vers le Nord.

D'un point de vue sédimentologique: les rivières Sine et Saloum n'apportent pas de matériel pélagique (Diarra 1999). Il n'existe aucune source de vase autre que les vasières estuariennes de la Gambie et submergées de l'avant côte pour nourrir les vasières des îles du Saloum. Il peut néanmoins y avoir des remaniements internes liés aux variations de puissance du volume oscillant à l'intérieur du Saloum.

Cette configuration Gambie-Saloum n'est pas sans rappeler les couples que forment aussi la Gironde avec les vasières du bassin de Marennes et le marais poitevin, la Loire avec les vasières de Bourgneuf et le marais breton. Ces vasières et marais se sont construits et sont alimentés par les matières solides en suspension expulsées par l'estuaire en période de crue.

A titre de comparaison l'estuaire de la Gironde, dont la configuration est proche de celui de la Gambie expulse 2500000 tonnes/an de fines en suspension. Plus près de la Gambie, L'estuaire du Konkouré en Guinée a expulsé en juillet 1988 lors d'une pointe de crue, un radeau de crème de vase (300g/l) de 15km de long par 300m de large et 80cm d'épaisseur Ce radeau est venu s'échouer sur la plage de Koba (de même longueur) située sur la côte Nord de l'estuaire. Nous avons montré par ailleurs (Ruë 1998) que ces phases de chasses constituent l'une des clefs pour comprendre la construction des plaines de front de mer (ou à chenier) des côtes de Guinée.

Aussi entre captage de basses-eaux et expulsion de crue se produit un équilibre sédimentaire (Ruë, 1998) qui entretient sa forme et par conséquent ses fonctions hydrologiques d'épuration et d'enrichissement des eaux littorales. Cet équilibre morphologique est donc indispensable à la préservation des ressources liées à l'hydrosystème estuarien.

#### **2.4. Déséquilibre du bilan hydro-sédimentaire :**

Cet équilibre du bilan hydro-sédimentaire est précaire et peut être modifié sous l'influence du changement de l'un des paramètres hydrologiques qui commandent à l'amplitude du volume oscillant et à sa fourniture en matières en suspension :

- débits liquides de la marée, par modification du niveau marin (même surcote temporaire) ;
- débits liquides du fleuve, de ses affluents et des précipitations directes sur l'estuaire ;
- débits solides du flot de marée chargés en matières en suspension suite à une période d'agitation marine locale soutenue ;
- débits solides du fleuve ou de ses affluents suite à une intensification du défrichement etc.

Cet équilibre peut être modifié aussi sous l'influence d'un changement des conditions de piégeage des matières fines en suspension dans l'estuaire par transformation des paramètres de forme ou de rugosité de l'estuaire ou de ses chenaux, freinant ou facilitant la circulation des eaux du volume oscillant :

- endiguement ou au contraire désendiguement de surfaces inondables
- obstruction, comblement ou au contraire recreusement de chenaux etc.

Aussi peut-on distinguer deux tendances :

- Le renforcement des rugosités morphologiques ou texturales du lit, consécutif à des aménagements qui entravent la circulation de l'eau ou consécutive à une longue période d'accrétion sédimentaire (en l'absence de chasse par exemple), renforce l'amortissement de la

marée dans l'estuaire et en réduit donc les vitesses de courant, les capacités de transport et les cotes de niveau de pleine-mer.

- A l'inverse la diminution de ces rugosités (naturelles ou artificielles) réduit l'amortissement, libère la circulation de l'eau, augmente les capacités d'érosion et de transport des courants ainsi que les cotes des niveaux de pleine-mer.

C'est le plus souvent la combinaison de ces facteurs entre eux qui provoquent le déséquilibre hydro-sédimentaire entraînant soit une accélération du comblement de l'estuaire soit au contraire, mais plus rarement, son désengorgement sédimentaire, son élargissement.

## **2.5. Exemples de déséquilibres hydro-sédimentaires estuariens :**

Voici quelques exemples de déséquilibres hydrosédimentaires récents sélectionnés dans la région ouest-africaine.

### **2.5.1. Le Rio Kapachez :**

L'estuaire du Rio Kapachez en Guinée s'est colmaté entièrement entre les années 1930 et 1960 sans aucun apport sédimentaire fluvial : Il s'est produit suite à la conjonction d'une forte érosion des marais littoraux voisins de l'embouchure et d'importants aménagements hydro-agricoles dans les vasières à mangrove situées à l'intérieur de l'estuaire. L'érosion des marais littoraux a libéré une quantité importante de sédiments en suspension qui sont venus se piéger dans un estuaire dont les capacités de transport du volume oscillant avaient été réduites suite à la réduction rapide des surfaces inondables.

### **2.5.2. La Tabounssou :**

A la même époque, le bassin estuarien de la Tabounssou situé au sud de Conakry a vu tous ces chenaux s'élargir suite à la capture par l'un de ses bras de la rivière voisine, la Kitema. L'apport liquide supplémentaire au volume oscillant de la Tabounssou a entraîné le recalibrage de l'ensemble des chenaux de son bassin.

### **2.5.3. Le canal Kapachez-Nunez :**

En 1956, l'administration coloniale a creusé un canal pour drainer les plaines rizicoles de l'estuaire du haut Kapachez, vers le Rio Nunez, son estuaire étant obstrué (voir ci-dessus) , le différentiel de marnage entre les deux réseaux hydrographiques et donc de volume oscillant entre les deux bassins de marée (de plus de deux mètres) a provoqué le dévasement progressif en 40 ans de l'ensemble du réseau de chenaux du haut Kapachez. Ce différentiel entame aujourd'hui le dévasement et l'élargissement des chenaux du bassin du moyen Kapachez.

### **2.5.4. Le Sénégal et le Konkouré :**

Plus récemment deux grands fleuves de la sous région ont été aménagés : le Sénégal et le Konkouré.

Dans les chenaux principaux et secondaires des parties avales des deux estuaires on assiste depuis 10 ans pour le Sénégal et depuis 5 ans pour le Konkouré à un envasement marqué des lits et des berges. Ce comblement des bolons quand ça n'est pas leur colmatage est consécutif de la réduction du volume oscillant de l'estuaire pour le fleuve Sénégal et de la disparition des effets de chasse liés à l'écrêtage des crues dans les deux cas. Ces piégeages sédimentaires étaient prévus ou déjà identifiés (Ruë, 1992 et Ruë 1994). Ils m'ont été confirmé cette année (communications personnelles de messieurs Bah et Samourah du Projet d'Impact de Garafiri pour le Konkouré et de M. Fall de l'OMVG pour le Sénégal).

### **2.5.5. Le Rio Nunez :**

Depuis 5 ans le bassin hydrographique de l'estuaire du Rio Nunez (Ruë 2001) montre une évolution morpho-sédimentaire caractérisée par :

- une érosion des rives du bas estuaire et des fronts de mer adjacents ainsi qu'une réincision, élargissement et allongement des collecteurs (bolons) de l'ensemble des chenaux de cette partie avale
- un engraissement sédimentaire des rives de l'estuaire supérieur et de tous ses collecteurs (bolons) dans cette partie amont

L'érosion et la réincision des chenaux de la partie avale est provoquée par une augmentation nette du volume oscillant combinée avec une agitation plus soutenue. La sédimentation dans l'estuaire supérieur correspond à une remontée du produit sédimentaire des chasses de l'estuaire. En effet l'augmentation de la fréquence de l'agitation (Ruë et Campin 2000), empêche le dépôt des vases sur l'avant-côte à la décrue, qui sont donc réaspirées par l'estuaire et vont garnir les têtes de bolons ou les crêtes de bourrelets de berge. On assiste actuellement dans ce secteur du Rio Nunez à une marinsation des marais à mangroves de front de mer et à une continentalisation des marais de fond d'estuaire.

## **2.6. Caractérisation morphologique et sédimentaire des biefs de l'estuaire de la Gambie :**

### **2.6.1. Les limites géographiques des biefs de l'estuaire :**

Les limites géographiques de l'estuaire peuvent être définies comme suit : l'embouchure se situe à l'aval du Goulet de Banjul, l'estuaire maritime ou bas estuaire, entre le Goulet de Banjul et Balingho (PK130), l'estuaire central, entre Balingho et Kantaur (PK250) et l'estuaire supérieur, en amont de Kantaur.

Ce découpage repose sur les raisons suivantes :

Balingho correspond, en remontant le cours d'eau, au premier resserrement important de la largeur des lits majeurs et mineurs et à l'approfondissement du chenal (modification du profil en travers ou section mouillée). Ce site correspond aussi à peu près à la limite amont de la salinité marine (33g/l) et de la riziculture endiguée.

Kantaur correspond, en remontant le cours d'eau, au second resserrement important du lit majeur, à un méandre au rayon de courbure nettement plus court qu'à l'aval et surtout à la disparition du caractère continu de ses zones inondables latérales (PK250). D'un point de vue sédimentologique le caractère nettement plus "propre" du sable des rives en amont de Kantaur (observé à Kantaur et à l'embarcadère de Baboon Island) semble bien souligner la proximité de la limite amont de la remontée du bouchon vaseux de l'estuaire. D'un point de vue biogéographique, le premier pied de *Rhizophora* en amont sur le fleuve est aujourd'hui situé à 10 km en amont de Kantaur. Cette limite de végétation est un meilleur indicateur que celle du front salé car la végétation halophyte intègre les variations des paramètres hydrologiques.

Cependant la zone comprise entre les PK 250 et 300 constitue certainement une zone de transition:

- la dernière île fluviale en amont (dont le développement caractérise l'estuaire central voir 2.6.3.) , Mac Carthy Island, se situe devant Georgetown. C'est seulement en amont de cette dernière île que le lit du fleuve est réellement encaissé et sa largeur, toujours inférieure à 400m.
- le pied de *Rhizophora* le plus en amont sur le fleuve est situé à 10km en amont de Kantaur mais il est apparu cette année. Le précédent était apparu à 2,5 km en aval de celui-ci il y a 2 ans, le précédent à 4,5km en aval il y a 4 ans et ainsi de suite jusqu'à Kantaur (leurs apparitions successives ont été notées par le technicien de l'association de Baboon Island) – voir points 3.3. et 3.4.2.-.
- la position du front salé et sans doute du bouchon vaseux varie au moins entre les PK 240 et 290. Ces limites hydrologiques sont très mobiles en raison de la variabilité des facteurs qui les commandent. Elles ne peuvent donc pas servir de limite géographique précise.

Kantaur est une limite géographique amont acceptable de l'estuaire central car elle se fonde plus sur des critères morphologiques, sédimentologiques et biogéographiques que sur l'hydrologie.



### **2.6.2. L'embouchure :**

En l'absence de données hydro-sédimentaires mesurées l'appréciation des transports solides peut se faire à partir de la description des faciès morfo-sédimentaires des rives de l'estuaire.

L'embouchure comprend le goulet situé entre Banjul et Bara Point (rive Nord) et s'étend vers le large jusqu'à Cape point (rive sud) et Buniada point, voire la pointe de Sangomar (rive Nord) . Le resserrement du cours d'eau à son embouchure est la conséquence de la progradation, à partir de la rive sud de la flèche sableuse qui a relié l'île de Banjul à la terre ferme. Les rives sont essentiellement sableuses et leur dynamique est assurée par l'évolution de l'agitation marine. La largeur du goulet est réglée par les débits maximums de l'estuaire en crue en période de vives-eaux.

### **2.6.3. L'estuaire maritime :**

L'estuaire maritime s'étend en amont de l'embouchure jusqu'aux environs du PK 130 à Balingho . Le chenal est très large (2 à 10 km) et relativement peu profond (6 à 8m). Il s'écoule entre de larges vasières à mangrove qui découvrent largement à marée basse. Les pentes du profil de ces vasières sont donc faibles. Le calibre du chenal ne se réduit véritablement qu'à l'approche de Balingho entre les PK100 et 130. L'amplitude de la marée ne décroît que faiblement, ce bief est proche du type synchrone de la terminologie de Salomon et Allen (1980). La sédimentation péltique domine largement, la tendance est à l'accrétion des rives du fleuve et donc à la réduction de la largeur du lit.

### **2.6.4. L'estuaire central (appelé haut-estuaire dans les études Michigan) :**

L'estuaire central s'étend entre le PK 130 et les PK 250 ou 300 (voir tableau de synthèse dans l'annexe 7 du Schéma hydraulique) . Ses limites sont les ressernements du lit : à l'aval, à Balingho, à l'amont à l'aval de Kantaur puis encore à l'amont de Georgetown. Le chenal de ce bief est nettement plus étroit mais plus profond que dans l'estuaire maritime, les rives ont des profils abrupts qui plongent directement à 8 ou 10 mètres de profondeur. Trois traits morphologiques spécifiques caractérisent le bief de cette partie de l'estuaire : la présence d'îles, l'importance des méandres et l'étendue des plaines alluviales. Un trait sédimentologique domine : on observe un gradient granulométrique croissant de Balingho (encore largement dominé par la sédimentation péltique de rive) à Baboon Island en amont de Kauntaur (déjà largement dominé par la sédimentation sableuse de rive).

Les profondeurs du chenal augmentent dans la courbure des méandres. L'amplitude de la marée augmente lorsque le chenal se ressert, elle diminue lorsque le chenal se dédouble ou s'élargit. C'est dans ce bief que se produit l'oscillation annuelle la plus complète du coin salé et peut-être du bouchon vaseux quelles que soient les variations inter annuelles de débit fluviaux

L'estuaire central est donc la zone de rencontre privilégiée des flux sédimentaires fluviaux et marins, la zone d'amortissement hydraulique réciproque maximum. Les îles à soubassement sableux sont sans doute le produit morphologique de la perte de charge sédimentaire fluviale du charriage de crue, les plaines latérales à soubassement vaseux celui de la perte de charge des vases remontée par la marée. Les caractéristiques et variations hydrologiques et sédimentologiques de cette partie centrale sont les plus compliquées de l'estuaire.

### **2.6.5. L'estuaire supérieur**

L'estuaire supérieur, qui s'étend des PK 300 à 520, est caractérisé par son encaissement, qui amortit considérablement la compétence de la marée et favorise au contraire la compétence du fleuve pour renvoyer vers l'aval les éléments fins montés avec le flot. En période de crue la puissance des chasses est ici canalisée. Plus on remonte le cours plus les dépôts d'excès de charge du fond du lit sont de type fluvialite, sableux puis grossiers. Le lit est donc dénué de sédiments proprement estuariens, les berges ne sont plus occupées par des marais maritimes.

Toute modification des caractéristiques énergétiques des courants entraînera des réajustements sédimentaires puis morphologiques des rives des différents biefs. Nous essayerons de les apprécier dans la partie consacrée aux effets possibles de la modification du régime du fleuve sur les transports solides.

## **2.7. Evolution de l'estuaire de la Gambie dans son contexte régional :**

Depuis 6000 ans l'estuaire de la Gambie, comme de très nombreux estuaires, se comble inexorablement mais ce comblement est relativement plus lent que celui de la Casamance en raison des débits de crue de son fleuve et de la morphologie particulièrement encaissée de sa vallée inférieure qui permet de canaliser l'oscillation d'un important volume de marée dans l'estuaire.

Au milieu du 18<sup>ème</sup> siècle l'embouchure de l'estuaire était plus grande. L'île de Banjul était encore nettement séparée de la terre ferme par un vaste bras de mer. L'estuaire maritime était plus large et les îles de la moitié sud du delta du Saloum étaient plus petites qu'aujourd'hui. On assiste donc depuis 250 ans dans ce secteur à une expansion des marais à mangrove internes et externes à l'embouchure. L'embouchure de l'estuaire de la Gambie se comble bien progressivement.

Depuis 50 ans on assiste sur l'ensemble de la région Ouest africaine à des accélérations du transit sableux littoral, à l'allongement puis à la rupture de flèches comme celles de Sangomar, à l'érosion et au recul de nombreuses plages. Ce démantèlement des cordons littoraux sableux est corrélatif d'une augmentation de l'agitation marine et correspond à une augmentation régulière de la fréquence des vents de mer supérieurs à 10m/sec. (Ruë et Campin 2000). Il correspond aussi sans doute à une élévation du niveau de la mer et à un épuisement des ressources sédimentaires sableuses (Paskoff 2001). Cette augmentation de l'agitation est donc susceptible de remobiliser le matériel pélagique des vasières de l'avant-côte et du littoral et donc charger en transports solides les courants de marée qui pénètrent dans l'estuaire de la Gambie et qui sont à même, toute chose étant égal par ailleurs, de nourrir l'engraissement des vasières de l'estuaire et donc son comblement.

## **2.8.Tendance actuelle de l'évolution sédimentaire de la Gambie :**

### **2.8.1. méthode d'étude :**

Pour cette question nous avons effectué au cours de cette mission trois types d'observations :

- Description de la nature et de la concentration du matériel du fond du lit de l'estuaire entre Ka-ur et Tendaba à raison d'un prélèvement tous les 10km ; les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une drague artisanale fabriquée sur place ;
- Description de la morphologie et de la sédimentologie des berges de l'estuaire sur le même parcours ;
- Localisation des aires de régénération de palétuviers

### **2.8.2. Les sédiments du lit de l'estuaire central:**

Nous n'avons pu prélever de matériel sédimentaire qu'en amont de Balingho. Les sédiments prélevés dans l'axe du chenal de l'estuaire étaient partout pélagiques à plus de 80% et la concentration était comprise entre 100 et 300g/l. Le tapis de crème de vase était donc très étendu (au moins entre Balingho et Ka-ur) et chargé. Il était positionné dans l'estuaire central. Ce qui doit correspondre à sa position de fin d'étiage, la montée des eaux douce n'ayant pas vraiment commencé. Le captage de vase par le volume oscillant de l'estuaire a donc été important cette année et va dans le sens d'un alluvionnement marin important.

### **2.8.3. L'érosion des berges du chenal de l'estuaire central**

Dans ce bief de l'estuaire, les berges du chenal sont toutes très consolidées et taillées en corniche. Elles ont généralement toutes des faciès d'érosion et de recul. Elles indiquent une tendance à l'augmentation de compétence des courants, à un gonflement du volume oscillant et à un recalibrage du chenal à une largeur plus grande.

### **2.8.4. La sédimentation de bourrelet de berge :**

En revanche les berges des bolons de la rive concave (gauche) du chenal dans la boucle d'Elephant Island (entre Bai Tenda à Sambang Tenda) montrent au sommet de leur rives convexes une sédimentation pélagique fraîche et importante. Ces aires en sédimentation sont occupées par de grands Rhizophora qui sont morts cette année (ils portent encore toutes leur feuilles mais jaunies).

Tout se passe comme si l'excès de sédimentation avait asphyxié les arbres (en bouchant les lenticelles des racines échasses ?)

Nous sommes dans ce cas sur une rive concave de l'estuaire où doit se concentrer en raison de l'appui de la force de Coriolis, le courant de flot. En raison de l'accélération du courant il a la compétence nécessaire pour à la fois éroder la berge et transporter sa charge sédimentaire vers l'amont. En revanche les bolons qui débouchent sur cette rive sont caractérisés par des courants beaucoup plus faibles. Ils constituent des zones d'amortissement du courant et de décharge sédimentaire. Une fois à l'intérieur du bolon l'excès de charge sédimentaire en suspension vient se déposer sur les berges de dépôt préférentielles, les rives convexes.

Cette sédimentation excessive de haute berge indique une tendance nette à une augmentation des débits liquides et solides de la marée. Différentes aires de régénération situées sur des berges d'altitude plus faible confirment cette tendance.

### **2.8.5. Témoins de sédimentation, les aires de régénération :**

Les aires de régénération sont un bon indicateur d'accrétion sédimentaire car les plantules ne se fixent sur ces rives que si la concentration du matériel leur permet soit de s'y planter, pour les Rhizophora, ou de s'y accrocher par leurs racelles, pour les Avicennia. Ces aires d'envasement fonctionnent comme des pièges à plantule. L'âge évalué des arbustes permet de dater la régénération et donc l'époque du dépôt.

Trois aires de régénération ont été identifiées :

- A l'aval immédiat du campement hôtelier de Tendaba (Bas estuaire) , on observe une progradation de jeunes Rhizophora sur la vasière depuis 4 ans (mon précédent passage)
- A Bambatenda, Loïc Trébaol a photographié cette année une aire de régénération de jeunes Rhizophora de 2 à 3 ans, en arrière de la rive du chenal
- Enfin à Jattaba sur le Bintang Bolon, la tendance à la régénération d'Avicennia se confirme clairement, il est consécutif à un meilleur limonage des sols depuis quelques années

Ces observations confirment les conclusions énoncées plus haut à savoir la tendance à l'augmentation du volume oscillant de la marée et de l'alluvionnement côtier qui provoque à la fois un recalibrage des chenaux mais aussi une sédimentation dans les têtes de bolons ou sur les hauts bourrelets de berge. Elles vont dans le sens des évolutions observées plus au sud dans le Rio Nunez (Ruë 2001). L'augmentation du volume oscillant semble être l'effet produit de l'élévation du niveau marin. L'alluvionnement semble être l'effet produit du renforcement de l'agressivité des mers de vents et des houles régionales sur les côtes d'Afrique de l'Ouest depuis 50 ans.

### **2.9. Evolution avenir de l'estuaire sans barrage :**

Cette partie traite de l'impact des principaux facteurs dynamiques d'évolution du système estuarien :

Mais rappelons auparavant que les caractéristiques d'un estuaire à un instant T ne peuvent constituer une situation de référence pour les raisons suivantes :

- les embouchures des fleuves sont en évolution perpétuelle car ils sont les produits d'interactions de facteurs dynamiques : océanographiques, hydro-climatiques et humains ;
- la quasi totalité des estuaires va se combler à plus ou moins longue échéance ;
- on assiste actuellement à une modification de certains paramètres hydro-climatiques qui entraînent un changement du jeu des interactions au sein des systèmes naturels et génèrent des transformations de l'environnement côtier ;

Aussi une situation de référence doit-elle intégrer les tendances des facteurs d'évolution que sont : le niveau marin, le degré d'agitation marine, les précipitations

#### **2.9.1. Effets possibles de l'élévation du niveau marin sur l'estuaire de la Gambie :**

Le niveau marin s'est élevé en moyenne au cours du 20<sup>ème</sup> siècle de 17cm et devrait s'élever de 48cm en moyenne au cours du 21<sup>ème</sup> siècle. Les effets à attendre dans l'estuaire devraient être toute chose étant égale par ailleurs les suivants :

Dans l'estuaire l'augmentation du volume oscillant de la marée aura pour conséquence :

- Le recalibrage à des dimensions plus grandes du réseau de chenaux et donc la remise en circulation de vases remobilisées et le rechargement des vasières littorales par gonflement des panaches turbides.
- La diminution de l'amortissement de la marée par augmentation de son volume entraînant une augmentation des vitesses de courant, une intrusion plus profonde du point nodal et donc du bouchon vaseux et du front salé.
- L'augmentation des aires inondables et de la fréquence de submersion des berges ; élévation des berges bien alimentées en vase qui se régleront progressivement par engraissement sédimentaire au nouveau niveau marin.
- Le redéploiement latéral des aires de mangrove et la réduction des aires de tannes.

Sur la côte l'augmentation du volume oscillant de la marée aura pour conséquence le renforcement de la compétence des houles au rivage entraînant une érosion et un recul des hautes plages et un étalement du matériel sédimentaire sur l'avant-côte, la disparition progressive des îles barrières, des flèches et des cordons littoraux, l'élargissement des passes de lagunes.

### **2.9.2. Effets possibles de l'augmentation des vents sur l'estuaire de la Gambie :**

Le renforcement progressif de l'alizé depuis 50 ans (Ruë et Campin, 2000) génère une augmentation des houles régionales et locales. Ce renforcement de l'agitation de saison sèche devrait avoir pour effet toutes choses égales d'ailleurs de :

- remobiliser les vasières littorales, pourvoir les courants de marée en suspensions et donc accélérer le colmatage de l'estuaire ainsi que les zones abritées du littoral ;
- générer des surcotes par effet de swatch sur les plages exposées de l'embouchure entraînant le recul des crêtes de plages, leur débordement, l'inondation des secteurs situés en arrière des cordons littoraux ;
- démanteler les berges ou hautes plages meubles construites par des régimes d'agitation de degré énergétique plus faible ;
- accélérer les transits sableux, donc affiner les flèches et augmenter les risques de brèches dans les édifices sédimentaires
- obstruer les embouchures avec une accumulation de bancs de sables.

Pour ce qui est de l'estuaire, les effets du relèvement marin et de l'augmentation de l'agitation sont relativement contraires, l'élévation du niveau de la mer a plutôt tendance à désengorger et élargir l'estuaire, on dirait rajeunir en géomorphologie. L'augmentation de l'agitation liée à celle des vents a, en revanche, plutôt tendance à accélérer la sédimentation par piégeage dans l'estuaire du produit péritique de l'érosion littorale, par obstruction de l'embouchure.

Pour la côte les effets des deux phénomènes vont dans le sens d'une aggravation de l'érosion.

### **2.9.3. Effets possibles de l'augmentation des précipitations sur le bassin de la Gambie :**

La tendance du retour des pluies sur l'Afrique de l'Ouest est beaucoup moins marquée qu'on aurait pu l'espérer après la sécheresse. L'évolution inter annuelle des précipitations semble plutôt caractérisée par une plus grande irrégularité. L'analyse de l'évolution des vents depuis 50 ans fait ressortir un renforcement de l'alizé tant en intensité qu'en durée d'action sur l'année ce qui semble avoir pour effet de contenir la remontée en latitude du front intertropical de convergence et donc de limiter la durée de la saison des pluies (Ruë et Campin 2000).

Ce qui importe du point de vue de l'entretien morpho-sédimentaire de l'estuaire c'est, nous l'avons vu, la puissance des effets de chasse. En effet la vase estuarienne étant un matériau dont la rhéologie varie considérablement avec la concentration (inverse de la teneur en eau), seules des vitesses de

courant élevées peuvent éroder des berges de vases cohésives. Le recalibrage des chenaux ne peut donc se faire qu'avec des vitesses de pointes importantes.

L'augmentation des précipitations sur le bassin versant de la Gambie, si elle restait cantonnée sur le calendrier actuel devrait provoquer :

- un renforcement de l'érosion fluviale par augmentation des vitesses de crue dont les effets dans l'estuaire ne peuvent être que positifs pour le reprofilage des chenaux du réseau
- un renforcement de l'alluvionnement et du colluvionnement par érosion des versants du bassin s'ils sont surpaturés, défrichés, s'ils ont été l'objet de brûlis ou pire, d'écobuage.

#### **2.9.4. Effets possibles de combinaisons de facteurs naturels :**

Il est rare que les facteurs dynamiques d'évolution du milieu naturel agissent seul. Ils sont le plus souvent combinés.

On distinguera pour évaluer leurs effets combinés deux cas de figure : Elévation du niveau marin avec ou sans renforcement des vents de mer. Ces hypothèses d'effets doivent être comprises toute chose étant égale par ailleurs :

##### Elévation du niveau marin et renforcement des vents (hypothèse la plus probable);

- sur la côte : accélération du recul des côtes, de l'allongement des flèches et de l'augmentation des fréquences de ruptures de leur racine (si déficit d'alimentation) ; renforcement de l'érosion des vasières d'avant-côte et ensablement de ces mêmes secteurs;
- dans l'embouchure : élargissement des parties avales des chenaux et des bolons ; alluvionnement des bolons et colmatage des têtes de bolons ; réduction des aires inondables par la marée et des mangroves dans les secteurs suralluvionnés ;

##### Elévation du niveau marin et affaiblissement des vents (hypothèse la moins probable):

- sur la côte : après une phase de recul , engraissement silteux et péritique des rivages marins ;
- dans les embouchures : amaigrissement des vasières d'estuaire, recalibrage des bolons et chenaux,
- sur les berges : augmentation de la submersion des berges, redéploiement de la mangrove si les conditions sédimentaires s'y prêtent (léger alluvionnement)

L'élévation du niveau des mers doit être analysée couplée avec l'augmentation des vents régionaux générateurs de houle (supérieurs à 10m/s.) car les deux phénomènes sont déjà à l'œuvre actuellement et s'amplifient.

Comme on l'a vu certains effets de l'élévation du niveau de la mer et du renforcement de l'agitation sont contraires. Ils auraient donc tendance une fois combinés à se compenser l'un l'autre.

#### **2.10. Le littoral de la côte Gambienne et ses relations avec l'estuaire :**

Nous avons vu précédemment que les îles méridionales du delta du Saloum s'étaient construites par atterrissements des vases expulsées par les chasses estuariennes de la Gambie (Diarra,1999). Nous avons vu aussi que le produit sédimentaire de l'érosion actuel des rivages de ces îles de mangrove et des vasières submergées de l'avant-côte étaient aspirés à l'intérieur de l'estuaire par les courants de flot et venaient nourrir les berges submersibles de ses rives.

L'estuaire entretient donc des échanges sédimentaires importants avec petits fonds marins et les côtes qui bordent son embouchure externe. L'importance de ces échanges est commandée par la capacité de l'agitation marine à remobiliser le matériel érodé et par la puissance du volume oscillant de la marée que commande, jusqu'en mer libre, la présence et la dimension de l'estuaire.

Si l'estuaire entretient des échanges sédimentaires avec la côte Nord de son embouchure, en entretient il avec sa côte sud ?

Nous avons donc consacré une journée de cette mission pour faire une reconnaissance de l'évolution de la côte Sud de l'embouchure externe de la Gambie afin d'observer si elle était aussi concernée par le fonctionnement de l'estuaire et si le matériel sédimentaire qui la constituait provenait du fleuve ou de la mer.

Le secteur de la côte sud de Gambie qui pourrait être concerné par le projet s'étend de Banjul Point dans le goulet d'embouchure de l'estuaire à Bald Cape au sud ouest.

Ce secteur de côte borde au sud la grande embouchure de la Gambie qui s'étire de la pointe de Sangomar au nord à Bald Cape au sud et dont les fonds sont tapissés, dans sa partie occidentale, par la vasière submergée de décharge du fleuve Gambie qui s'étend sur 40km par 20km à des profondeurs comprises entre 5 et 10m.

Ce secteur de côte se décompose en deux segments d'orientation et de morphologie différentes :

- de Banjul point à Cape point, la côte s'étire sur 12km selon une direction ESE-ONO ; c'est une série de grèves squelettiques adossées à des falaises d'érosion taillées dans le continental terminal de Toll Point ou les remblais modernes ;
- de Cape point à Bald Cape, la côte s'étire sur 15km selon une direction NE-SO ; C'est une longue plage en arc à faible rayon de courbure adossée sur un massif dunaire et appuyée à ses extrémités sur des falaises vives d'une trentaine de mètres de hauteur.

Ces deux segments de côte sableuses sont en érosion rapide et semblent dans les deux cas marqués par une déperdition sédimentaire transversale (vers l'avant côte) et par un déficit d'alimentation.

Les grandes houles qui proviennent 9 mois de l'année du nord-ouest sont fortement réfractés par la faiblesse des profondeurs de l'avant côte et parviennent plein ouest à la côte. Elles génèrent un courant de dérive littorale SO-NE de Bald Cape à Cape point et ONO –ESE de Cape point à Banjul Point. Le sens de cette dérive est attesté par la flèche sableuse O-E qui tend à fermer l'embouchure d'Oyster Creek.

Cependant l'augmentation de la fréquence des vents forts de NO depuis 50 ans doit générer de plus en plus souvent des clapots érosifs en provenance de cette direction. Le renforcement relativement récent de cette forme d'agitation peut expliquer pour partie le regain d'érosion de la côte de Banjul et surtout le démaigrissement de ses plages depuis plusieurs années.

### **2.10.1. Le littoral Nord et Nord-Ouest de Banjul :**

La côte de Banjul à Cape Point est tellement fragile qu'on a l'impression que c'est la route qui la domine qui lui sert d'armature. Une armature bien dérisoire quand on voit les falaises vives qui sapent son soutènement. Cette côte semble être menacée depuis près de 50 ans, depuis l'époque où les Anglais ont édifié les premiers épis de plage pour tenter de retenir le sable. Plus récemment, face à l'aggravation de l'amaigrissement des plages de Banjul et pour tenter de stopper l'érosion qui avait déjà emporté des villas, une moitié du bâtiment d'une station de radio et plus de la moitié du cimetière chrétien, les pouvoirs publics ont édifiés des enrochements de haute plage qui n'ont pas eu d'effets significatifs. La situation continue de se dégrader et c'est bientôt la route d'accès au centre de Banjul qui risque d'être coupée.

La stratégie de défense de la côte retenue jusqu'à présent est inadaptée. Elle aurait même tendance à activer le démaigrissement par augmentation du transit transversal du haut vers le bas de plage et du bas de plage vers l'avant côte. Dans le cas présent il faudrait lui préférer une stratégie offensive d'amortissement de l'énergie des houles avant qu'elle n'atteigne le rivage. Différentes formes d'ouvrages submergés longitudinaux ou brises lames existent et pourraient être proposés pour défendre les côtes de Banjul.

Le déficit d'alimentation sédimentaire dont souffrent ces plages n'est pas inéluctable. Le gisement ressource existe. C'est la flèche qui s'étire à l'est de Cape Point mais elle ne peut rejoindre les plages de Banjul car elle en est séparée par l'embouchure de l'Oyster Creek. Ce chenal de mangrove sépare l'île de Banjul de la terre ferme en joignant l'estuaire et la mer libre. Les courants de vidange de ce

bolon à son embouchure maritime forme un épi hydraulique perpendiculaire à la plage qui disperse le sable apporté de la flèche sableuse par la dérive littorale et l'empêche, de ce fait, de nourrir les plages de Banjul. L'obstruction de cette embouchure permettrait de recharger naturellement les plages de Banjul et donc d'assurer la protection de ses côtes.

### **2.10.2. Le littoral Ouest de Banjul et plus précisément la plage de Bilijo Forest Parc :**

La plage est raccordée par une falaise d'érosion de 4 mètres de haut au massif dunaire fossilisé auquel elle est adossée et qui porte la forêt du Bilijo Forest Parc. La basse plage se prolonge avec une inclinaison faible sans rupture de pente jusqu'au pied de falaise. Il n'y a pas véritablement de bourrelet d'estran ni même de concavité d'érosion dans le profil. Cette plage semble arasée.

Même si cette plage semble souffrir d'un manque d'alimentation sédimentaire latéral son érosion n'est pas que le fait de l'action marine, elle est renforcée par l'action anthropique. C'est une zone d'extraction de sable pour la construction. Les engins sont d'ailleurs rangés à proximité du chemin d'accès à la plage. Ces extractions sont-elles destinées aux constructions de clubs et hôtels de plage qui fleurissent actuellement sur cette côte.

Un premier problème ici est que la plage qui fait l'objet d'extractions est celle du premier parc aménagé pour le tourisme de nature en Gambie, celui de la forêt de Bilijo. Ces extractions se produisent au mépris ou dans l'ignorance de la réglementation : en effet la zone du parc comprend la plage, sa limite est située 25m en mer (aux alentours du niveau des plus basse mer possible).

Un second problème, et qui montre l'inconscience ou l'incohérence des investisseurs est que les extractions destinées aux constructions d'hôtels de plage s'effectuent sur la plage elle-même. Non seulement ils dégradent la raison d'attraction de leur établissement (la plage) mais en plus ils menacent l'équilibre de la dune sur laquelle ils ont construit leurs équipements.

### **2.10.3. Le littoral gambien au Sud de Bald Cape :**

Les autres plages visitées au sud de Bilijo Forest Parc (Ghana Town, Tujering, Sanyang, Gunjur et Kartung) sont correctement rechargées en sable et ne montrent aucun signe d'érosion ou de démaigrissement. Elles n'ont été l'objet d'aucun aménagement important, certaines d'entre elles sont encore totalement sauvages, leur morphologie sédimentaire semble équilibrée.

L'érosion est donc concentrée sur littoral entre Bald Cape et Banjul. Elle se renforce progressivement depuis 50 ans mais plus particulièrement ces dernières années en raison de

- l'exposition de ce segment de côte au renforcement de l'agitation de nord-ouest ;
- la multiplication des prélèvements de sable pour la construction de la ville de Banjul ;
- l'édification de systèmes de protection inadaptés.
- l'élévation du niveau de la mer

### **2.10.4. Origine des sédiments du littoral Sud de la Gambie et impact possible du projet :**

A première vue, car nous n'avons disposé d'aucune donnée relative à la minéralogie, la morphoscopie ou l'exoscopie des sables de ces plages, nous n'avons pas observé de matériel typiquement estuarien.

A Banjul, comme à Bilijo, le bas estran est tapissé de minéraux lourds de couleur gris sombre qui pourraient provenir du bassin versant par le fleuve mais aussi des falaises meubles en érosion . Les hauts de plage de Banjul sont composés d'un matériel assez mal trié et légèrement coquillier, à Bilijo il est mieux trié et plus silicaté.

Ces sables peuvent donc provenir des bancs de sables de l'embouchure ou être le produit d'érosion des plages ou falaises adjacentes. Le vecteur dominant de leur transport et leur dépôt semble être la houle.

Il ne semble pas que les courants de l'estuaire influencent directement les estrans sableux de ce secteur. Les modifications de régime du fleuve consécutif à la mise en service du barrage ne devraient pas avoir d'influence directe sur ce littoral sud de la Gambie.

Néanmoins il est hautement souhaitable que la stratégie de protection de ce secteur de côte soit harmonisée voir intégrée à la stratégie de gestion générale du fleuve

### **2.11. Impacts sédimentaires probables de la modification du régime du fleuve sur l'estuaire :**

La construction d'un barrage hydroélectrique à Sambagalou entraînerait selon le scénario hydraulique retenu par le Schémas directeur :

- un écrêtage des débits de crue de 50 à 60% ;
- un écrêtage de la cote maximum annuelle de 6cm en moyenne à Ka-ur au PK200 et de 2 cm en moyenne à Balingho au PK 130;
- un débit d'étiage soutenu à 50m<sup>3</sup>/s provoquant le recul du front salé d'étiage du PK 290 au PK170.

Les conditions de régénération et d'épanouissement des mangroves sont rappelons-le :

- Un limonage régulièrement renouvelé du substrat
- Un régime de submersion adapté à chaque espèce ;
- Une salinité moyenne positive ;

Ces conditions hydriques et sédimentaires sont déterminées par

- Les caractéristiques hydrologiques et sédimentologiques du volume oscillant de la marée
- La configuration morpho-sédimentaire du réseau hydrographique de l'estuaire qui par sa simplicité ou sa complication règle les conditions de l'écoulement dans les chenaux et de la submersion sur les berges.

L'évolution des mangroves est donc largement déterminé par l'évolution de la configuration morpho-sédimentaire du bassin de marée.

Nous précisons ici certains impacts sédimentaires possibles de la régularisation du régime du fleuve sur les différentes parties de l'estuaire. Ces impacts possibles doivent s'entendre toutes choses étant égales par ailleurs.

#### **2.11.1.L'estuaire central :**

C'est le secteur à impacts possibles les plus importants. La modification du régime des courants risque de provoquer un changement du caractère dynamique fondamental de ce secteur, celui de la perte de charge. Ce caractère devra être l'objet d'études particulières.

Les îles du fleuve comme les plaines inondables qui le borde sont des formations meubles (bancs de sables d'estuaires calotés d'une couche de vase consolidée et pédogénésée en surface). Ce sont des formes dynamiques, leur extension ou leur réduction est réglée par l'évolution du régime hydro-sédimentaire de l'estuaire ; les sables proviennent surtout de l'amont, les vases, essentiellement de l'aval.

Si dans un premier temps, la diminution des débits liquides de crue entraîne une réduction du calibre du lit, cette évolution se stabiliserait vite en raison d'un déficit marqué d'alimentation sédimentaire fluviale.

Le relèvement à 50m<sup>3</sup>/s du débit d'étiage risquerait de bloquer la remontée du bouchon vaseux et de la crème de vase en aval du PK 170 tout comme il le ferait pour le coin salé. Ce report en aval de l'oscillation du bouchon vaseux réduirait voir supprimerait les apports sédimentaires du flot de marée à ces îles ainsi qu'à toutes les berges des plaines situées en amont de ce point. La disparition des pointes de crues combinées au débit de soutien d'étiage réduirait considérablement les apports sableux de l'amont.

Commencerait alors une lente mais inexorable érosion des berges mais surtout un vieillissement et un tassement des sols de mangrove et des plaines adjacentes qui seraient alors privées du limonage fertilisant que produit la combinaison des crues actuelles avec les pleines-mers de vives eaux exceptionnelles. Le dessèchement partiel des horizons superficiels de ces plaines risquerait fort de les acidifier, car nombre d'entre eux sont potentiellement sulfatés acides.



### **2.11.2. L'estuaire maritime :**

La réduction des effets de chasses des pointes de crue combinée avec le report de l'oscillation du bouchon vaseux dans cette partie aval de l'estuaire (voir ci-dessus) risquerait d'y favoriser le piégeage des fines et donc l'engraissement des vasières de rives et l'empatement des bolons.

Cette tendance à la sédimentation serait renforcée par l'étranglement sableux du goulet d'embouchure lié à la réduction des débits maximum. Le colmatage péritique favoriserait le développement des mangroves à court terme, et leur ruine à moyen et long terme car les secteurs d'arrière mangrove ne seraient plus atteints par la marée en raison de l'encombrement des bolons. Ces secteurs arrière se tanifieraient progressivement comme en Casamance ou dans le Bintang Bolon.

### **2.11.3. L'embouchure :**

La disparition des effets de chasse devrait entraîner la réduction de la section de l'embouchure de l'estuaire de la Gambie. En effet ce sont les crues (débit maximum) qui déterminent son calibre. Celui-ci se réglerait au calibre du nouveau débit maximum. La nouvelle embouchure de calibre plus réduite constituerait alors un frein nouveau à la pénétration de la marée dans l'estuaire. Ce renforcement de l'amortissement de la marée réduirait alors à plus long terme son amplitude d'oscillation à l'intérieur de l'estuaire et donc réduirait l'étendue des surfaces inondables et la fréquence de submersion des berges. Elle accélérerait la réduction de l'estuaire et de ses mangroves.

La réduction des effets de chasses, réduirait d'autant l'importance des panaches turbides qui nourrissent les vasières d'avant côte et de la côte, et en particulier celles du Sine Saloum. On verrait se dégrader les mangroves des îles du Sine-Saloum.

### **2.11.4. Croisements d'impacts et de facteurs :**

L'augmentation de l'agitation devrait renforcer les tendances énoncées pour l'embouchure et l'estuaire maritime à savoir que l'augmentation de l'alluvionnement marin renforcerait l'obstruction sableuse de l'embouchure et le colmatage péritique de l'estuaire maritime. Cette tendance se renforcerait encore plus si les précipitations venaient à diminuer.

En revanche l'élévation du niveau marin peut, en augmentant le volume oscillant de la marée :

- recalibrer l'embouchure, le chenal et les bolons ;
- repousser vers l'amont le coin salé et le bouchon vaseux ;
- augmenter la submersion et le limonage des berges et des plaines inondables ;
- re fertiliser les sols, enrichir les eaux et dynamiser la mangrove.

L'élévation du niveau marin peut compenser nombre d'effets hydro-sédimentologiques négatifs tant de la régularisation artificielle du régime du fleuve que de l'augmentation naturelle de l'agitation marine. Le problème ici est que la modification du régime du fleuve se produirait sur un temps court alors que l'élévation du niveau de la mer est un phénomène plus lent même si sa puissance d'impact est sans doute considérablement plus forte. Il faudrait donc pouvoir mesurer les vitesses d'impact des deux phénomènes sur l'estuaire.

### **2.12. Principales mesures d'atténuation :**

Les principales mesures d'atténuation hydraulique consistent à reconstituer autant que faire se peut un pseudo régime naturel du fleuve (voir nos propositions en 3.6).

### **2.13. Conclusion :**

L'évolution générale de la Gambie depuis son origine est marquée par son comblement. C'est un phénomène inexorable à niveau marin équivalent. Cependant ce comblement est beaucoup moins rapide que dans de nombreux autres estuaires de la sous-région en raison de la puissance de son volume oscillant de marée (lié à la configuration géomorphologique de la vallée). Le caractère

dominant du débit de marée par rapport au débit de crue du fleuve limite les incidences sédimentaires d'une modification du régime du fleuve.

Néanmoins la puissance du volume oscillant ne signifie pas que son équilibre dynamique ne puisse pas être fragile. Des exemples de déséquilibres hydro-sédimentaires dans des estuaires voisins l'ont montré (voir point 2.5).

L'estuaire de la Gambie est comme toutes les embouchures fluviales un système dynamique en évolution rapide. Il est actuellement marqué par une tendance caractérisée par une augmentation de puissance de son volume oscillant et par un renforcement de l'alluvionnement marin. Le renforcement de cette tendance à l'avenir pourrait-il compenser les effets négatifs sur l'estuaire d'une régularisation brutale du régime du fleuve? C'est à évaluer. Les signatures multiples de l'évolution sédimentaire en cours montrent que le plus grand estuaire d'Afrique de l'Ouest peut-être aussi sensible qu'un autre aux modifications des termes de son équilibre hydrologique.

### 3. LES MANGROVES

#### 3.1. Présentation :

L'état sanitaire des mangroves repose d'abord sur un régime de submersion produit de la combinaison :

- d'un équilibre hydrologique entre les influences marines et fluviales et dont les variations sont commandées par l'hydroclimat et les changements du niveau marin ;
- d'une configuration topographique, morphologique, géographique (distance à la mer ou à l'estuaire) et sédimentologique de vasières dont les changements sont commandés par l'évolution de leur bilan hydro-sédimentaire.

D'après le " Schéma hydraulique du fleuve Gambie la modification possible du régime du fleuve Gambie fera reculer le front salé du PK 290 au PK 170, ce qui induira la disparition progressive de la mangrove dans l'estuaire central entre les PK 220 et 170.

Nous préciserons dans cette partie l'importance relative, la zonation longitudinale et les caractéristiques spécifiques des mangroves de l'estuaire central (entre les PK 130 et 220). Nous nous interrogerons ensuite sur la validité de la prévision de disparition des mangroves et sur les possibilités de leur préservation. Nous proposerons enfin, des mesures d'atténuation des effets néfastes de la modification du régime au cas où le scénario hydraulique du Schéma Directeur d'Aménagement était retenu.

#### 3.2. Importance des mangroves de l'estuaire central :

(D'après R.Twilley, 1985 et note FAO 1995)

Les surfaces occupées par la mangrove dans l'estuaire central, en amont du pk 130, s'élèvent à 8700 ha soit environ 13% de l'ensemble des mangroves de Gambie. On peut supposer que les mangroves situées en amont du pk 170 en représentent au plus la moitié, soit moins de 6% de la surface totale des mangroves de Gambie.

Les données statistiques les plus précises à notre disposition sont exprimées par division administrative. Elles montrent une nette différence de taille entre les mangroves de Mac Carthy Island Division et les autres divisions administratives

Division administrative	Surface (ha)	Taille des arbres	
		<7m	>7m
Western Division	21500	78%	22%
Lower River Division	16700	74%	26%
North Bank Division	28100	80%	20%
<b>Mac Carthy Island D</b>	<b>600</b>	<b>16%</b>	<b>84%</b>

Or les mangroves de l'estuaire central s'étendent sur Mac Carthy Island Division et sur une partie de North Bank Division. Les indicateurs de foresterie confirment le plus bel épanouissement des mangroves de Mac Carthy Island Division et de North Bank Division.

Indicateur forestier	Western Division	Lower Division	<b>North Bank et Mc Carthy Island Division</b>
Densité (n/ha)	371	385	<b>472</b>
Aire de base (m <sup>2</sup> /ha)	11.8	15.7	<b>30.3</b>
Diamètre moyen (cm)	20	23	<b>23</b>
Hauteur moyenne (m)	11	12	<b>13</b>
Volume (m <sup>3</sup> /ha)	103	153.2	<b>208.9</b>
Arbres abîmés (% de densité)	32	23	<b>21</b>
Arbres morts (% de densité)	21	19	<b>8</b>
Indice de structure (Taille * Aire de base * densité)	0.48	0.73	<b>1.25</b>
Productivité estimée (T/ha/an)	6.7	8.6	<b>10.8</b>

La lecture des résultats par découpage administratif laisse penser que les mangroves de la rive Nord sont nettement plus épanouies que celles de la rive sud. Cependant la répartition des arbres de grande taille (>20m) montre une opposition très nette entre les mangroves situées en amont ou en aval de Balingho (PK130).

Bas estuaire	PK 0-130	4% d'arbres supérieurs à 20m ( dont 72% de Rhizophoras)
Estuaire central	PK 130-220	41% d'arbres supérieurs à 20m (dont 91% de Rhizophoras)

North Bank Division est à cheval sur le bas estuaire et l'estuaire central. Il intègre dans ses valeurs moyennes les mangroves plus petites de l'aval avec les plus grandes de l'amont.

Les valeurs moyennes des indicateurs forestiers mentionnés ici pour North Bank et Mac Carthy Island Division sont donc sans doute légèrement inférieures à la réalité des mangroves de l'estuaire central car elles tiennent compte des plus petites mangroves de la partie avale de North Bank division.

Le découpage administratif ne convient pas à la géographie des mangroves de l'estuaire car il y a plus de différence entre l'amont et l'aval qu'entre le Nord et le Sud. Cette déduction est confirmée par l'appréciation qualitative de l'ensemble des auteurs pour qui les mangroves situées en amont du pk 150 sont de plus grande hauteur et de meilleure santé générale (taux de mortalité plus faible et taux de régénération plus fort).

“ Les plus belles mangroves se situent dans la partie mésohaline de l'estuaire (partie centrale), c'est particulièrement vrai de Tendaba à Elephant Island (et j'ajoute à Dankuku Island). Les Rhizophora dépassent 20m de haut et 50cm de diamètre ”. (FAO 1995). Le rapport 6 de l'université de Michigan précise que la suppression des mangroves de l'estuaire central (13%) entraînerait la suppression de 59% des arbres de plus de 20 m de l'ensemble de la mangrove Gambienne.

La production primaire, calculée à partir des indices de Twilley, des deux parties de l'estuaire souligne cette différence :

estuaire central =	8700 ha*10.8 tonnes/ha/an =	93960 tonnes/an
bas estuaire =	57300 ha * 7 tonnes/ha/an =	401100 tonnes/an

Aussi , même si les mangroves de l'estuaire central ne représentent en surface qu'une part réduite de la totalité de l'estuaire, (environ 13%) elles ont une productivité nettement plus élevée en raison de leur volume (double de celui des mangroves d'embouchure), de leur densité, de leur vitalité (mortalité plus faible).

On peut estimer la productivité des mangroves de l'estuaire central entre les PK 140 et 190 à environ 12 T/ha/an soit près du double de celle de la partie avale de l'estuaire maritime. C'est la raison pour laquelle l'évaluation de capacité de production des mangrove ne peut être établie à partir de la mesure des surfaces occupées.

La production primaire des mangroves de l'estuaire central représente environ 20% de la production primaire des mangroves de Gambie alors qu'elle représente moins de 13% des surfaces. Cette production est d'autant plus élevée que les mangroves qui occupent l'estuaire central sont surtout des mangrove de rive (riverine mangrove) qui exportent vers le fleuve le plus de carbone organique.

Twilley, a montré que les forêts de palétuviers produisent l'essentiel (85%) de la matière organique dans l'environnement estuarien et côtier. Une réduction de la production primaire par disparition d'une partie des mangroves pourrait à son tour réduire la biomasse animale (crustacés et poissons).

Si la mangrove de l'estuaire central disparaissait, c'est environ 20% de nutriments de base qui seraient retiré au fleuve et à la chaîne des ressources vivantes de l'estuaire. Ce serait aussi la plus belle futaie (1 million de m<sup>3</sup> de bois) et les deux plus belles îles de mangrove de l'estuaire, “ Eléphant Island et Dankuku Island ” qui lui serait retiré.

### 3.3. Le prisme de mangrove de l'estuaire central :

Les mangroves à Rhizophora qui longent l'estuaire entre les PK 140 et 190 sont sans doute les plus belles de Gambie. Elles sont plus hautes et plus épanouies que celles du secteur du Bao Bolon plus petites, moins denses, plus émergées et dont le taux de mortalité est plus élevé (visitées par nous en 1998). Ces mangroves de l'estuaire central devraient faire l'objet, si ce n'est déjà le cas, de protections particulières.

Dans cette partie centrale de l'estuaire :

- La limite amont des Avicennia se situe aux environs du pk 150 à l'aval d'Elephant Island.
- La limite amont de Rhizophora se situe aux environs du pk 260 soit 110km plus haut.

La limite amont des Rhizophora correspond aussi à la limite des plaines à géogenèse marine, elle doit donc correspondre au point de remontée maximum du bouchon vaseux et des tapis de crème de vase sur le fond du lit de l'estuaire.

C'est une mangrove à Rhizophora Racemosa de zone saumâtre. Le cortège d'herbacés halophytes qui l'accompagne habituellement (Sesuvium, Philoxerus et Paspalum) est rapidement remplacé vers l'amont par des Cyperacées (Cyperus, Typha, Phragmites), et des graminées souvent associées à des palmiers nains.

Les premiers hydrophytes de berge sont visibles à partir de Musu Bolon (PK170). A partir de ce point les phragmites (appelés ici Reads) semblent coloniser l'espace dès que la mangrove disparaît. Ils colonisent aussi les rizières sitôt leur abandon.

Si les mangroves de rives restent hautes dans l'estuaire central, leur largeur se réduit au fur et à mesure que l'on remonte le cours du fleuve. Puis le rideau devient discontinu en amont du PK170. Il est remplacé par des massifs puis des bosquets puis enfin des arbres isolés.

Descriptif linéaire de la mangrove de l'estuaire central		
P K.	Taux d'occupation des rives	Descriptif
100-170	99%	le rideau de mangrove est presque continu sur les deux rives (sauf aménagement humain), sa largeur n'excède pas 2km, les arbres sont hauts à très hauts
170-190	50%	le rideau de mangrove n'occupe qu'une seule rive à la fois, la rive convexe, sa largeur n'excède pas 200m, les arbres sont hauts à très hauts (25m)
190-250	25%	le rideau de mangrove est discontinu (par bouquets) la taille des arbres diminue progressivement autour de 12m puis de 7m. La taille des roseaux augmente au fur et à mesure que l'on remonte.
250-270	1%	Des Rhizophoras isolés apparaissent de plus en plus haut dans l'estuaire. Leur vitesse de progression est de 3,5km/an depuis 1995 (environ 20km); Assisté-t-on à une remontée du point nodal du bouchon vaseux corrélatif d'une remontée du niveau marin ?
270-290		Limite annuelle amont de la salinité, elle était située environ 40km plus bas en moyenne dans les années 1955-1975. Était-ce seulement lié à l'abondance des débits fluviaux de l'époque ou à un niveau de la mer légèrement plus bas ou les deux phénomènes combinés ?

La mangrove disparaît ici progressivement soit par défrichage soit par mortalité lorsque le niveau topographique de la berge excède le niveau supérieur de fréquence de submersion de Rhizophora qui se situe autour du niveau de la pleine-mer de morte eau. L'altitude des plaines de l'estuaire semble s'élever vers l'amont car la cote d'alluvionnement s'élève au fur et à mesure que l'on se rapproche du secteur de surcote importante de pleine-mer en période de crue, en amont de Ka-ur.

Le bief de l'estuaire compris entre les PK 150 et 250 est donc caractérisé par une séquence spécifique de paysage de rive : un prisme de transition biogéographique végétale sédimentologique et pédologique. Ce bief est aussi caractérisé par une morphologie particulière ( tracé, forme et profondeur du lit de l'estuaire central, chenaux anastomosés et donc présence d'îles) et des caractéristiques hydrologiques particulières caractérisées par des oscillations d'amplitude de marée et un fort gradient moyen de salinité (nous sommes dans la zone d'oscillation du front salé).

### **3.4. Tendances actuelles et signification de l'évolution des mangroves :**

#### **3.4.1. Les signes du renforcement de la méandrisation :**

La comparaison des profils des deux berges à la hauteur de Pakuba Bolon (PK150) montre les différences suivantes : Sur la rive sud, légèrement convexe les Rhizophora sont de belle venue et de taille moyenne croissante en s'éloignant de la rive. Sur la rive Nord, en face, concave, les arbres sont tous plus grands et pour partie ( environ 15%) morts. Par leur taille les arbres de la rive Nord indiquent leur antériorité sur ceux de la rive sud et leur morbidité indiquent la dégradation de la qualité des sols (qui doivent être compactés, appauvris et donc plus anciens ). La comparaison des deux rives montre un mouvement progressif à long terme d'accroissement du méandre et donc de tendance à la réduction de l'énergie hydraulique du cours d'eau. C'est un témoignage du comblement à long terme de l'estuaire.

#### **3.4.2. Remontée des Rhizophora vers l'amont de l'estuaire :**

L'un des faits le plus spectaculaire de l'évolution des mangroves de Gambie est l'apparition récente de nouveaux Rhizophora en amont de Kauntaur (entre les PK 250 et 270). Le relevé de ces apparitions par le technicien de la réserve de chimpanzé de Baboon Island a permis d'établir la vitesse de progression de Rhizophora vers l'amont à 3,5km/an depuis 1995 (voir point 3.3 et 2.6.1). Cette progression est à rapprocher de la remontée du front annuel de salinité de 2km/an depuis 20 ans et du développement du rideau de Rhizophora à la hauteur de Jarreng (PK220) alors qu'il n'était pas mentionné sur la carte d'occupation du sol de 1974.

Deux interprétations sont possibles :

- la sécheresse des années 70 et 80 a facilité une remontée du front salé mais aussi du bouchon vaseux plus en amont dans l'estuaire ;
- on assiste à une manifestation de l'augmentation du volume oscillant de la marée consécutive à une élévation assez rapide du niveau marin local ou régional.

Cette seconde interprétation confirme les interprétations tirées des observations d'évolutions morphologiques et sédimentologiques (voir point 2.8.5).

#### **3.4.3. Les aires de régénération :**

Les aires de régénération de berge que nous avons observés dans l'estuaire central se situent préférentiellement dans les rives des berges légèrement concaves, en érosion modérée.

Ainsi on en trouve :

- sur la rive sud à Bai Tenda et à la hauteur d' Elephant Island,
- sur la rive Nord à la hauteur de Dankuku Island.

Elles se présentent en rideau de classe d'âge, de 1m de hauteur au droit des deux îles et de 3 et 7m de hauteur à Bai Tenda.

Les deux classes d'âge des régénérations de Bai Tenda sont proches de celles observées par Loïc Trébaol à BambaTenda situé vingt kilomètres en aval. Elles ont entre 3 et 5 ans.

En revanche, la classe d'âge des aires de régénération des rives au droit de Dankuku et Elephant Islands sont situés à 10 et 30 km en amont. Elles n'ont qu'un an d'âge.

Ce mouvement de régénération semble donc progresser d'aval en amont depuis 5 ans. Il n'est peut-être pas indépendant des régénérations que l'on a vu se produire plus en aval à Tendaba et à Jataba sur le Bintang Bolon depuis cette époque.

Tout se passe comme si on assistait depuis quelques années à un accroissement de la submersion et à une augmentation progressive d'alluvionnement, deux conditions qui favorisent la régénération des palétuviers. (voir aussi 2.8.5.)

C'est sans doute à Jataba sur le Bintang Bolon que la régénération de la mangrove est la plus spectaculaire. En effet la mangrove qui occupait le plus grand Bolon de Gambie dans sa partie amont avait complètement disparue dans les années 1980 suite à une mortalité soudaine et sur pied de l'ensemble de la végétation. La mortalité s'était produite graduellement en commençant par le haut de la rivière. La surface de mangrove perdue s'est élevée à 8400 ha. Il y a quelques années encore cet état de fait semblait irréversible. Or depuis au moins quatre ans une régénération se produit dans le cimetière même des palétuviers morts là où plus rien n'avait poussé pendant plus de 15 ans.

Pour expliquer la mortalité en masse des années 1980, on a invoqué la construction de deux barrages sur la rivière en amont qui auraient réduit l'alimentation en eau douce du bolon entraînant une hyper salinisation fatale des berges du bolon.

Le suivi des salinités du bolon réalisé par le Département des ressources en eau a d'ailleurs attesté d'une multiplication par 4 des salinités entre 1976 et 2000 et surtout d'une sursalure de la partie amont du bolon par apport à l'aval. Le Bintang Bolon est donc devenu au cours de cette période, tout comme les bolons de Casamance ou du Saloum, un estuaire inverse.

Une autre raison peut aussi expliquer cette mortalité brutale des mangroves. Le lit du Bintang Bolon a été l'objet d'une forte sédimentation au cours de la même période. Le suivi des profondeurs du Bolon montre qu'elles sont passées de 4,6m à 2,4m entre 1974 et 2000.

La réduction par les deux barrages des débits de la rivière en particulier en saison des pluies a pu faire disparaître les effets de chasse qui curait et recalibrant jusqu'alors le lit du bolon et provoquer son remblaiement. Le comblement partiel a pu provoquer l'amortissement de la pénétration de la marée dans le Bolon et donc une modification de ses caractéristiques hydrologiques :

- réduction des vitesses de courant et donc de leur compétence aggravant l'encombrement sédimentaire du lit et empêchant le limonage des berges ;
- diminution des fréquences et des durées de submersion des berges entraînant une modification du régime hydrique
- élévation des températures et salinités par diminution du renouvellement de l'eau à chaque marée facilitant leur évaporation et leur saturation en sel.

La diminution des apports d'eau douce et sans doute des effets de chasse d'hivernage a déséquilibré le bilan hydro-sédimentaire du Bintang Bolon qui s'est partiellement comblé. L'obstruction sédimentaire a entravé la libre circulation de la marée dans le Bolon. La modification du régime hydrique des berges a provoqué la mort des mangroves.

Mais comment une régénération d'*Avicennia* a-t-elle pu se produire alors que les barrages sont toujours en place et que le lit du bolon est toujours encombré par une charge sédimentaire importante?

Seul le gonflement du volume oscillant provoqué par une élévation du niveau marin peut, toute chose égale par ailleurs, générer un tel phénomène.

Notons toutefois que c'est *Avicennia* seul qui régénère actuellement dans le Bolon. Cette espèce est plus halotolérante dans les valeurs positives et moins exigeante en submersion, c'est sans doute ce qui explique son caractère pionnier.

L'évolution du Bintang Bolon au cours des 30 dernières années est une bonne illustration de la notion de déséquilibre hydro-sédimentaire estuarien. Elle montre combien ils sont précaires et combien les mangroves sont sensibles aux variations du contexte environnemental.

“ Tout se passe comme si chaque espèce de mangrove vivait dans les conditions écologiques proches de sa limite de tolérance à l’égard de la salinité de l’eau et du sol et de la durée quotidienne d’immersion ” (Blasco, 1991).

#### **3.4.4. Les aires de mortalité :**

Nous avons observé deux types de mortalité de *Rhizophora* correspondant à deux parties distinctes de l’estuaire.

L’une affecte des individus adultes relativement isolés situés dans la partie centrale de l’estuaire sur la rive sud entre les PK 170 et 190. La mort des arbres semble provenir d’une asphyxie des racines provoqué par un suralluvionnement de vase de bourrelet de berge (voir 2.8.4.)

L’autre affecte un peuplement située plus bas dans l’estuaire, sur les deux rives, entre les PK 100 et 150 . Il s’agit ici de mortalité des arbres placés à l’arrière rang du rideau de mangrove de rive . Les arbres sont morts sur pied. Nous n’en avons vu du fleuve que les cimes. La proportion d’arbres morts semble osciller entre 20 et 40%. L’engraissement important des vasières de bas estran semble gêner la pénétration de la marée dans le sous-bois, les sols ne sont sans doute plus limonés ni inondés aussi régulièrement, ils se tassent et se compactent entraînant la mortalité des arbres.

Ces mortalités sont liées dans les deux cas à un suralluvionnement qui semble confirmer l’augmentation du débit solide de la marée sur l’ensemble de l’estuaire.

#### **3.5. Impacts possibles sur les mangroves de la régularisation du régime de l’estuaire :**

L’impact hydrologique sur l’estuaire de la réalisation d’un barrage à Sambagalou peut se résumer d’après le Schéma Directeur Hydraulique aux trois effets suivants :

- un écrêtage des débits de crue de 50 à 60% ;
- un écrêtage de la cote maximum annuelle de 3 à 9 cm en moyenne à Ka-ur et de 2 cm en moyenne à Balingho ;
- un débit d’étiage soutenu à 50m<sup>3</sup>/s qui repousserait le front salé en aval du PK 170 (il remonte actuellement à l’étiage au PK 290

##### **3.5.1. La mangrove peut-elle survivre en eau douce ?**

Dans l’hypothèse où l’eau de l’estuaire serait douce en permanence à l’amont du PK 170 tel que cela est prévu dans le scénario optimal du Schéma Directeur d’Aménagement Hydraulique du fleuve, les mangroves situées en amont de ce point survivraient-elles ?

Les mangroves peuvent-elles vivre en permanence en eau douce ? Sur cette question Schnell (1971) rapporte quelques cas :

- J. Huber signale avoir observé en 1902 des mangroves en eau douce dans l’estuaire supérieur de l’amazone ;
- Van Steenis signale en 1963 qu’un *Sonneratia* (espèce de mangrove pacifique et indienne) a été retrouvée sur un lac d’eau douce en Nouvelle Guinée
- Des espèces de mangrove ont pu être cultivées sur un substrat non salé notamment par Teysmann au jardin de Bogor (Buitenzorg) et par Winckler à Hambour. Mais Davis en 1940 signale que les *Rhizophora* et les *Avicennia* qu’il avait cultivé sur des substrats non-salés n’avaient survécu que quelques années.
- F. Pannier en cultivant expérimentalement des plantules de *Rhizophora* a constaté un développement optimal (taille et poids secs des racines, grandeur des feuilles) sur des solutions de salinité comprises entre 7 et 9 g/l.
- Pour Lindeman 1953 le fait que certains *Rhizophora* et *Avicennia* se rencontrent parfois sur des eaux non salées démontrent qu’ils seraient des halophytes facultatifs.



Khouma (2002) rapporte deux cas de mangrove d'eau douce : l'un en Australie du Nord-Ouest et l'autre en Floride dans les Everglades où *Rhizophora mangle* se serait établi durablement dans un marais d'eau douce.

Tous ces cas ont un caractère exceptionnel sur lequel il serait risqué de se fonder pour garantir les possibilités de survie des mangroves de l'estuaire central de Gambie en eau douce.

Ce qui est sûr, car nous l'avons maintes fois vérifié dans la sous-région, c'est que les mangroves adultes supportent sans problème la dessalure complète mais temporaire des eaux qui les baignent en saison des pluies. Les halophytes n'ont pas besoin d'eau salée pour survivre. Ce ne sont pas des plantes qui aiment le sel. Elles le tolèrent par ce qu'elles sont équipées pour lui résister.

Il semble en revanche que la raison pour laquelle les mangroves ne survivent pas longtemps en eau douce est due essentiellement à la concurrence des hydrophytes mieux adaptées. (Khouma 2002). L'adoucissement total et permanent de l'eau risquerait donc de provoquer le remplacement progressif mais inéluctable des mangroves par une flore dulçaquicole (hydrophyte).

La marée permettra sans doute dans un premier temps le maintien des arbres existants qui devrait continuer de croître mais, l'absence possible de limonage estuarien (le bouchon vaseux sera sans doute repoussé aussi plus en aval) ne permettra plus aux propagules de se planter dans le substrat vaseux indispensable à la régénération. D'autre part la colonisation des espaces libres par les hydrophytes remplacera progressivement les halophytes .

Le recul annoncé du front salé (1g/l) au PK 170 ne nous renseigne pas sur le devenir du coin salé (zone saumâtre) sur son extension et son gradient de salinité. Aussi avant de proposer des hypothèses d'évolution hydrologique et végétale de la zone concernée, poserons-nous les questions hydrologiques nécessaires pour l'établissement de l'évaluation d'impact environnemental à venir.

### **3.5.2. Questions préalables sur la migration du coin salé et du bouchon vaseux**

Certaines questions ne semblent pas avoir été traitées par le modèle hydrologique réalisé pour le Schéma Directeur Hydraulique du fleuve Gambie :

La fixation du débit fluvial à 50m<sup>3</sup>/s. au minimum réduira-t-elle seulement l'oscillation annuelle du front salé ? Affectera-t-elle aussi l'oscillation bi-mensuelle liée au cycle des amplitudes de marée voire l'oscillation semi-diurne ?

Autrement dit, le débit de la marée variant au moins du simple au double en fonction de son amplitude, la position du front salé est-elle la même à débit fluvial fixe pour des marées de mortes-eaux et des marées de vives eaux, pour des marées d'amplitudes croissantes et pour des marées d'amplitudes décroissantes ?

Le modèle peut-il aussi nous indiquer les variations de longueur et de position de la zone saumâtre (entre 1 et 30g/l) pour différentes situations de marée (pleine mer et basse mer), en vives et mortes eaux et pour des amplitudes de marée croissantes (montant) et décroissantes (perdant) ?

D'autre part la vase constitue, rappelons le, le milieu de prédilection de la mangrove (Baltzer et Lafond 1971) La régénération ne se produit que sur des vases de concentrations faibles, après qu'un limonage estuarien les aient déposées sur les rives. Ces limonages ne peuvent se produire que dans la zone d'oscillation du bouchon vaseux. Quelles sont actuellement les zones d'oscillation du bouchon vaseux et du tapis de crème de vase et quelles seraient leurs limites et leurs aires d'oscillation après fixation du débit liquide du fleuve ? Le bouchon vaseux reculerait-il autant ou plus que le front salé ? Ne sera-t-il pas fixé définitivement en aval du PK 170 avec toutes les conséquences sédimentologiques prévisibles dans le lit et sur les berges liées à l'arrêt complet des apports de vases fraîches à chaque marée montante ?

### **3.5.3. Impact sur les mangroves du recul du front salé :**

Le problème du déplacement du front salé est en fait celui du déplacement de la zone saumâtre, cette partie variable du cours d'eau où le gradient de salinité est le plus fort sur l'ensemble de l'année . Elle

s'étend au maximum du PK 290 qui est atteint par la tête des eaux saumâtre (1g/l) quelques jours par an au PK 140 qui est atteint par les eaux de mer (33g/l) quelques jours par an.

Si l'on repoussait le front salé (1g/l) en saison sèche au Pk 170 soit à 120km en aval de sa position actuelle d'étiage, le prisme de mangrove de l'estuaire central se contracterait-il (voir 3.3.) ou serait-il repoussé intégralement de 120km vers l'aval ?

Le report du front salé de saison sèche de 120km en aval (du PK290 au PK170) risque d'entraîner la disparition progressive de la mangrove non seulement jusqu'à ce point mais beaucoup plus en aval, le report de la zone saumâtre s'étendant bien en deçà de cette limite.

Les mangroves s'épanouissent lorsque la salinité est suffisante pour les protéger des hydrophytes. Or à la limite actuelle du front salé (1g/l une fois par an) ne correspond pas de mangrove. Le pied le plus amont de palétuvier est situé aux environs du PK 270 et entre ce point et le PK 250 il n'y a que quelques petits arbres dispersés. En revanche, à l'aval de l'île de Dankuku (PK190), qui constitue à la véritable limite amont de plein épanouissement de la mangrove correspond une salinité déjà bien différente: pendant 4 mois et demi la salinité à cet endroit est comprise entre 1 et 12 g/l. La section de l'estuaire de salinité suffisante pour assurer les conditions hydrochimiques nécessaires à l'épanouissement de la mangrove se situe donc actuellement à une distance comprise entre 70 et 100 km en aval du front salé.

La limite amont des plus belles mangroves est située à l'île de Dankuku au PK 190. Cette limite amont est donc située à près de 100km en aval de la limite amont du front salé (PK 290). Le report de la limite amont du front de salinité au PK 170 devrait donc en toute logique entraîner le report de la limite amont des mangroves de 100km en aval de leur limite amont actuelle soit au PK 90, en aval du débouché du Bao Bolon. En amont du PK 90 les nouvelles conditions hydrochimiques seraient beaucoup plus favorables aux hydrophytes qui poussent actuellement en amont de Ka-ur qu'aux mangroves.

Mais ce report vers l'aval du front salé déplacerait la zone d'oscillation saline dans un bief de l'estuaire où de nombreux paramètres de l'environnement sont différents (en particulier les paramètres morphologiques de l'hydrographie ainsi que les caractéristiques de marée). Les conditions écologiques seraient donc nouvelles car si le front de salinité était reporté en aval, les conditions de submersion (morphologie du fleuve, topographie des berges, étendue des aires inondables quotidiennement, marnage), elles, ne le seraient pas. D'autre part, nous ne connaissons pas les nouvelles conditions de mélange des eaux douces et salées en arrière du front. Peut-être qu'en raison de la régularisation du débit fluvial et du déplacement du front salé dans un secteur où les débits de marée sont plus forts on assisterait à un tassement de la section saumâtre de l'estuaire.

En tassant la zone saumâtre de l'estuaire qui correspond, nous l'avons vu, aux valeurs de salinité optimum de développement des mangroves, on n'en réduirait alors non seulement l'aire de développement mais aussi le milieu susceptible de la produire.

Aussi, en l'absence de données plus précises, nous ne pouvons pas dire si l'ensemble des caractéristiques biogéographiques, sédimentologiques et pédologiques du prisme seraient transférés à l'aval et si la mangrove se reconstituerait sur le nouveau site aval avec les caractéristiques de l'ancien site amont. Mais les risques existent bien. Cette question demande une étude spécifique à elle seule.

### **3.6. Mesures hydrauliques de préservation des mangroves :**

Les deux conditions de préservation des mangroves sont, à régime de submersion équivalent, la salinité pour contrôler le développement des hydrophytes et le limonage estuarien pour garantir les conditions mécaniques et organiques de la régénération.

La mesure qui permettrait de saliniser et de limoner les berges à mangrove de l'estuaire consiste à permettre la remontée temporaire des fronts salés et bouchons vaseux dans ses limites actuelles en réduisant au maximum ou en arrêtant le débit du fleuve. Les paysans n'en seraient pas forcément mécontents car l'eau de mer est pour nombre de riziculteurs traditionnels de la région des "Rivières du Sud" le meilleur désherbant contre les adventices dans leurs parcelles et la vase, une fois

dessalée le meilleur amendement, en raison de ses très fortes teneurs en éléments organiques et minéraux.

L'argument invoqué par le Schéma Directeur Hydraulique de libérer des terres des contraintes de la salinité doit être limité par le fait que seulement 10% des surfaces de terres aptes à l'irrigation en Gambie sont situés entre les PK170 et 250 (que ce soit en aptitude élevée que tous niveaux d'aptitudes confondus). Ce protocole ne gênerait d'ailleurs nullement le développement de la culture irriguée dans ce secteur, elle exigerait seulement un endiguement léger pour se protéger de quelques marées salines de vive-eau.

Ces périodes de turbinage réduit à nul seraient compensées par des périodes équivalentes à débits double ou triple de la normale. Ce qui serait favorable pour l'évolution sédimentologique de l'estuaire et la riziculture artisanale si les périodes de haut débit étaient calés sur le calendrier cultural car le front salé seraient alors repoussé bien plus en aval.

Deux types de régimes artificiels de saison sèche sont possibles pour garantir la protection durable des mangroves :

- des réductions ou arrêts de courte durée mais répétés de débits fluviaux pour provoquer environ une dizaine de remontées salines dans tout l'estuaire central ;
- une seule réduction ou un seul arrêt de plus longue durée (1 à 2 mois) par an du débit fluvial pour provoquer un régime tidal (marin) stricte dans tout l'estuaire central.

Dans le premier cas, pour optimiser l'efficacité de la marée, les jours de réductions de débits devraient être synchronisés avec des périodes de vive-eau d'amplitude croissante (période de revif de marée).

Dans le second cas la meilleure période pour effectuer la réduction de débit serait la période d'équinoxe de printemps pour profiter des plus grandes marées possibles.

Ce second type de régime artificiel serait plus efficace du point de vue de la dynamique estuarienne et plus simple à mettre en œuvre (moins de manipulations de vannage). Il présente l'avantage de recréer une saisonnalité hydrologique qui serait bénéfique pour l'ensemble des composantes de l'environnement.

Le renforcement des débits fluviaux les autres mois de l'année aurait de nombreux avantages :

- il abaisserait la salinité générale de l'estuaire ce qui serait bénéfique pour la mangrove ;
- il repousserait pendant cette période le front salé plus en aval qu'avec un débit moindre ce qui serait bénéfique pour la riziculture artisanale ;
- il déséquilibrerait légèrement mais favorablement le bilan hydro-sédimentaire de l'estuaire.

Cependant même si le nouveau régime de salinité alterné pouvait être appliqué et permettait de limiter la progression des hydrophytes en aval du PK 190, il faudrait quand même s'attendre à une adaptation des mangroves aux nouvelles conditions de submersion, de turbidité, de sédimentation et hydro-pédologiques.

## 4. ETUDES A MENER ET PROJETS A CRÉER

L'inventaire des études à mener et des projets à créer nécessiterait à lui seul une évaluation particulière tant sont grands les besoins en matière d'informations et de structures d'encadrement. Nous présenterons cependant ici :

- pour les études quelques " idées cadre " ainsi que la liste des types de données nécessaires à l'établissement d'un diagnostic de l'environnement estuarien ;
- pour les projets les principaux domaines pour lesquels un encadrement nous semblent nécessaire.

### 4.1. Constat :

Comme nous l'avons vu au cours de cette étude, de nombreuses données manquent pour :

- quantifier l'état des lieux et bâtir un référentiel mesuré pour caractériser précisément les milieux physiques et biogéographiques estuariens ainsi que leur évolution ;
- étalonner l'impact sur l'estuaire de chacun des différents paramètres hydrodynamiques (niveau marin, agitation, précipitations) ainsi que l'incidence de leur modification depuis quelques décennies sur l'équilibre dynamique de l'hydrosystème ;
- établir de façon mesurée les risques encourus par ces milieux d'une modification du régime du fleuve et dresser l'Evaluation d'Impact Environnementale de l'aménagement ;
- mettre en œuvre la nécessaire mise en observation de l'estuaire (suivi) ;
- apporter les calages en nature nécessaires au développement de modèles hydro-sédimentologiques de l'estuaire ;

### 4.2. Objectifs des études : Créer une base de donnée interdisciplinaire pérennisable

Plus qu'un programme de donnée il faut prévoir un observatoire. Etant donné la pénurie d'information, la dispersion des données existantes, et l'exigence d'un plan de suivi, ce nouveau programme d'étude ne doit pas avoir pour seul objectif de répondre aux besoins immédiats d'une évaluation mais de constituer une plate-forme d'acquisition et de traitement de données, un instrument de surveillance de l'évolution environnementale de l'estuaire. C'est indispensable car la gestion environnementale exigera l'acquisition en routine des paramètres indicateurs de l'évolution du fleuve et de ses ressources.

Comme on l'a vu dans cette étude, on ne peut appréhender la dynamique des mangroves et l'évolution de l'estuaire sans disposer de données sédimentologiques. De même on ne peut analyser l'évolution morpho-sédimentaire sans mesures hydrologiques, océanographiques ou climatologiques.

Les estuaires constituent sans doute le cadre environnemental dans lequel le degré d'interpénétration des différents milieux est parmi les plus forts. La puissance des interférences et interactions et telle qu'elle exige que son approche soit interdisciplinarisée dès la définition des études à réaliser.

Les données doivent pouvoir se raisonner entre elles et d'un point de vue logistique les campagnes d'acquisition doivent être programmées les unes par rapport aux autres et le plus souvent possible simultanément.

Pour disposer d'un état de référence global et dynamique de l'estuaire et pour optimiser (rentabiliser) l'usage des données, celles-ci doivent être facilement comparables entre elles. Cette comparabilité des données doit pouvoir s'établir :

- entre disciplines : les données hydrologiques doivent servir aux biologistes et aux sédimentologues et inversement ;
- dans l'espace : les sites d'échantillonnage doivent être géographiquement raisonnés ;
- avec les données anciennes : refaire des mesures là où il en existe déjà et les faire dans les mêmes conditions (saison, amplitude de marée et hauteur d'eau) ;

Pour assurer la comparabilité avenir des données, les positions géographiques des mesures doivent être géoréférencées et accompagnées d'informations précises sur les conditions de leur acquisition. De ce fait, ces données pourront être intégrées au sein d'un système d'information géographique pérennisable.

Pour disposer d'un état de référence contextualisé il faut aussi intégrer les mesures et analyses dans un cadre géographique plus vaste. En effet l'étude d'un estuaire ne peut qu'être incluse dans celle d'un système allant des sources du fleuve aux limites du plateau continental et s'étalant sur une période d'évolution pluriséculaire.

On ne peut interpréter correctement les interférences et les interactions dynamiques sans appréhender entièrement les entités en mouvements. Trop d'erreurs de diagnostic ont été effectuées dans le passé en raison d'une appréhension spatialement trop réduite des processus analysés.

#### **4.3. Organisation des études :**

Quatre phases d'études sont nécessaires à la création d'une base d'information sur l'estuaire :

- définition des objectifs de compréhension du système estuarien nécessaire à sa gestion environnementale ;
- organisation transdisciplinaires des données et établissement du cadre et du calendrier des campagnes d'acquisition des données ;
- capitalisation, d'intégration des données existantes (cartographiques, photographiques, statistiques...)
- acquisition de données nouvelles en nature effectuée autour de cinq ateliers : hydrologie marine et estuarienne, sédimentologie, biogéographie et foresterie, géomatique, Changements globaux.
- Intégration des données (anciennes et nouvelles) au sein d'un système d'information.

Parallèlement à ces études, une évaluation rétrospective des différentes expériences menées par l'OMVS sur le fleuve Sénégal pourra être menée afin de s'inspirer des expériences réussies et éviter de reproduire les mêmes erreurs.

#### **4.4. Types de données importantes à acquérir par atelier**

##### **4.4.1. Hydrologie**

- mode d'oscillation de la marée à l'intérieur de l'estuaire pour différentes amplitudes caractéristiques, vitesses de propagation et déformation de l'onde ; cotes de pleine mer pour les différentes amplitudes de marée ;
- fréquences et durées de submersion pour différentes topo-séquences caractéristiques des berges et des plaines inondables des trois grandes parties de l'estuaire (vasières mangroves et rizières) ;
- variations simultanées de vitesses et de débits de flot de jusant (heure par heure) en différents points caractéristiques du profil vertical et longitudinal de l'estuaire (8 stations entre Golumbo et Banjul à réhabiliter) ;
- mesures de courants instantanés et résiduels de marée en différents points de l'estuaire (au moins pour les trois parties principales de l'estuaire, au mieux pour les 8 stations) ;

ces mesures hydrologiques présentées ci-dessus doivent être effectuées :

- aux différents cycles de marée (mortes-eaux, vives-eaux),
- aux deux saisons hydrologiques (hautes et basses eaux)
- sur plusieurs années pour intégrer les déficits et excédents ;

Les bilans hydrologiques de marée doivent pouvoir être réalisés à Banjul, Balingho, Kantaur (pour des périodes de marée, de morte eau, de revif, de vive eau, de déchet ) aux différentes saisons hydrologiques (étiage, débit moyen, crue)

- (voir aussi en cartographie ci-après)

#### 4.4.2. Sédimentologie

- variation de la concentration des vases et de la granulométrie des sables dans l'estuaire en fonction des saisons hydrologiques et des cycles de marée ;
- minéralogie des sables et des argiles des différents biefs de l'estuaire et des principaux bolons ;
- débits solides en suspension, instantanés et résiduels aux moments caractéristiques de la marée en fonction des saisons hydrologiques et des cycles de marées au droit des 8 stations hydrologiques de l'estuaire et dans l'embouchure externe (panaches turbides) ;
- bilan des transports solides saisonniers et annuels au droit des 8 stations hydrologiques de l'estuaire
- étude morpho-dynamique et sédimentologique complète de l'estuaire, c'est à dire qui ne se limite pas aux processus à l'œuvre à l'intérieur de l'estuaire actuellement mais qui tiennent compte de l'évolution des caractéristiques du fleuve et de son bassin versant (comme sa dégradation sous l'influence combinée de l'évolution du climat et des pratiques agricoles ou pastorales) mais aussi de l'évolution de la mer dans laquelle il se jette (niveau, courants, agitation) ;
- études estuariennes permettant de dresser des bilans hydro-sédimentaires mensuels et annuels pour les trois sections de l'estuaire, le supérieur, le central et le bas estuaire, pour les principaux bolons et pour l'estuaire dans son ensemble à partir du bilan à l'embouchure
- (voir aussi en cartographie ci-après)

#### 4.4.3. Biogéographie et Foresterie

- Inventaire forestier des différentes formations arborées de mangrove ;
- Description de la variation du spectre végétal entre les hydrophytes purs aux halophytes purs.
- Etude détaillée hydro-pédologique des plaines formées sous géogenèse estuarienne (salée) et sous mangrove (variations des caractéristiques pédologiques en fonction du degré d'inondabilité) ;
- (voir aussi en cartographie ci-après)

#### 4.4.4. Cartographie d'identification

- des surfaces inondées et de l'inondabilité des plaines par application d'images satellites prises au moment des situations hydrologiques caractéristiques sur un fond topographique détaillées ; on prendra soin de distinguer pour les comparer les inondations de marée (mesurées aux marées d'équinoxe de printemps) des inondations de crue et de marée (mesurées aux équinoxes d'automne) ;
- de la sédimentologie des fonds (entre 0 et 15m) de l'avant côte ;
- de la morphologie du réseau hydrographique (signifiant des tendances globales de l'évolution de l'estuaire).

#### 4.4.5. Cartographie d'évolution

(par analyse diachronique de photographies aériennes et images satellites prises depuis 50 ans).

- des fonds des chenaux de l'estuaire (position des chenaux, migration de bancs) par comparaison des différentes cartes de l'estuaire existantes avec un nouveau levé bathymétrique (carte des zones d'érosion-sédimentation) ;
- des surfaces de Rhizophora et de tannes (signifiants opposés d'expansion ou de contraction des surfaces inondables et du volume oscillant) ;
- des surfaces d'Avicennia ;
- de l'occupation (ou de l'abandon) et de l'aménagement des plaines inondables (signifiant mixte à la fois de l'évolution des contraintes du milieu et des systèmes de production et de l'économie rurale).

#### 4.4.6. Changements globaux

- étude des tendances évolutives des paramètres climatiques (à partir des statistiques météorologiques relevés à l'aéroport de Banjul) ;
- étude de l'évolution des précipitations sur l'ensemble du bassin de la Gambie depuis un siècle ;
- étude de la modification du niveau marin à Banjul, (fréquence des surcotes de marée sur la plus longue période possible) ;

- étude de la modification de l'amplitude de marée à l'intérieur de l'estuaire ; évolution du différentiel d'amplitude entre les différentes stations de l'estuaire sur la plus longue période possible.

L'ensemble de ces données nourrira un SIG régulièrement actualisé. Il deviendra le tableau de bord de surveillance environnementale de l'estuaire nécessaire à la définition et à l'adaptation de ses politiques d'aménagement et de gestion. Ce SIG fournira, à partir des projections issues des tendances d'évolution, une cartographie des risques et des populations les plus exposées à des changements environnementaux.

D'autres données, halieutiques, socio-économiques, démographiques doivent nécessairement compléter ce SIG mais doivent être déjà développées par ailleurs.

#### 4.5. Projets à créer

Cinq domaines auraient besoin d'être encadré pour se développer et se pérenniser :

- l'évaluation environnementale du fleuve ;
  - la communication entre acteurs travaillant sur le fleuve ;
  - le tourisme durable et son intégration dans les contextes naturels et sociétaires gambiens ;
  - la riziculture artisanale ;
  - les forêts de mangrove (première formation végétale du pays).
- au sein de l'OMVG trois structures devraient appuyer la direction :
    - un bureau de communication et de médiation sur les questions de protection environnementale et de gestion des ressources naturelles (mes propositions de 1998)
    - un bureau d'évaluation et de suivi environnemental du fleuve (structure pluridisciplinaire d'étude) ;
    - un bureau de représentation des intérêts des populations affectées par les impacts négatifs du barrage et qui pourrait aussi devenir un bureau des réparations des dommages causés aux biens et aux ressources communes que constituent les milieux naturels
  - une association des Iles du fleuve pour les protéger, les valoriser comme réserves de faune et flore et aussi peut-être comme halte touristique pour des bateaux de croisière sur le fleuve
  - un projet " mangrove " auprès de la direction nationale des forêts chargé de :
    - dresser l'inventaire forestier,
    - réaliser les suivis de l'état sanitaire, de la régénération, de la dégradation, et de la mortalité
    - la gestion (usage et reconstitution) de la ressource, foresterie, coupes, sylviculture
  - un projet " tide rice " de gestion et de développement des plaines en aval de kauntaur (les plaines de géogenèse marine) pour
    - orienter la vocation des terres,
    - valoriser et améliorer les pratiques culturelles locales ;
    - réhabiliter les terres stérilisés par acidification et/ou sursalure
    - favoriser les échanges d'expérience de pratiques culturelles entre paysans du pays et de la sous-région ;
    - expérimenter en milieu paysan de nouvelles pratiques culturelles avant de les appliquer ;
    - créer trois polders expérimentaux de riziculture correspondant aux trois types de régimes hydrologiques de l'estuaire (doux dans l'estuaire supérieur, en amont du front salé ; faiblement saumâtre dans l'estuaire central, dans la zone d'oscillation du front salé ; fortement saumâtre dans le bas estuaire, dans la zone presque toujours salée).

## 5. CONCLUSIONS

La Gambie est le dernier grand fleuve encore sauvage de la sous-région mais son estuaire est en raison de ses dimensions très largement sous influence de la marée. Les conséquences d'une régularisation du régime du fleuve entraîneraient donc, à priori, des effets limités sur l'environnement physique estuarien. Le choix de Sambagalou pour la construction du barrage est en raison de son éloignement de l'estuaire le site le mieux situé car la distance modère au mieux ses impacts négatifs.

L'estuaire et les forêts de mangroves qui le borde constituent pour les gambiens un patrimoine paysager identitaire à haut potentiel écotouristique et un gisement important de ressources naturelles. D'autre part, en raison d'une pression de pêche croissante au large des côtes, la préservation des fonctions environnementales d'épuration et d'enrichissement de l'estuaire est économiquement fondamental dans une optique de développement durable.

Le report du front salé d'étiage à 100km en aval de sa position actuelle provoquera-t-il le report sur une distance équivalente en aval de l'ensemble du prisme biogéographique et paysager de l'estuaire ? Le risque est grand. Si c'est le cas, c'est la plus belle moitié des mangroves de Gambie qui disparaîtrait. Mais si les autres paramètres hydrographiques et hydrologiques restent inchangés, n'assisterons nous pas plutôt à un tassement de la zone saumâtre qui préserverait alors une partie importante du capital forestier ? Dans le meilleur des cas possibles, la protection des mangroves exige la préservation d'une oscillation même épisodique et temporaire des coins salés et bouchons vaseux pendant la saison sèche sur la plus grande amplitude possible. Elle implique une gestion particulière et novatrice des débits du barrage.

Les transports solides sont largement alimentés dans l'estuaire par l'alluvionnement marin actuel en progression constante ces dernières années sous l'influence du renforcement des vents générateurs de houle en Afrique de l'ouest. La réduction des effets de chasse de crue favoriserait à terme la réduction voir l'obstruction de l'embouchure et l'engraissement des vasières de l'estuaire maritime. La réduction des panaches turbides en mer réduirait les apports solides en suspension aux îles de mangrove du Sine Saloum dont on sait qu'elles se sont construites avec les apports de vase de Gambie. Ce déficit d'alimentation sédimentaire entraînerait leur érosion progressive.

Par ailleurs l'établissement d'un débit d'étiage de 50m<sup>3</sup>/s repousserait, en plus du front salé, le bouchon vaseux qui assurerait jusqu'à présent l'enrichissement sédimentaire et l'équilibre morphologique des îles, berges et plaines de l'estuaire central. Le brutal déficit sédimentaire devrait générer dans ce secteur un régime d'érosion. Tout comme pour la mangrove, la protection des berges de l'estuaire central exige la reconstitution d'une oscillation du bouchon vaseux.

L'augmentation actuelle du volume oscillant, sous l'influence de l'élévation en cours du niveau marin, va se renforcer au cours du siècle qui commence. Cette augmentation se manifeste par le regain de puissance de remaniement sédimentaire des courants de marée et d'étendue des aires de submersion et de limonage. Aussi les effets de l'élévation du niveau marin pourraient compenser tant pour les mangroves que pour les transports solides certains effets négatifs de l'aménagement et de l'alluvionnement marin actuel.

L'appréciation de l'impact de l'aménagement sur l'embouchure ne pourra donc être établi que confronté aux changements globaux qui affectent de façon grandissante la dynamique estuarienne.

L'identification de la nature et de l'ampleur des effets des différents facteurs d'évolution du milieu ne permet pas d'en évaluer quantitativement les impacts et les combinaisons d'impact pour les quelles des études estuariennes poussées devront être entreprises.



## BIBLIOGRAPHIE

**BALTZER F. ET LAFOND L.R. 1971**

Marais maritimes tropicaux in Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2), vol.XIII,Fasc.2, pp. 173-196

**BLASCO F. 1991**

Les mangroves in La recherche n°231 pp444-453.

**DIARA M. 1999**

Formation et évolution fini-holocènes et dynamique actuelle du delta Saloum-Gambie ; Thèse de Doctorat d'Université en Océanologie; Perpignan ; 153p.

**F.A.O. – U.N.D.P. 1995**

Study of the mangrove ecology in the estuarine area of the Gambia ; Rome ; 32p.

**GAC J.Y. et al. 1987**

Géochimie des eaux du Fouta-Djalou, Flux dissous et particuliers en haute Gambie ; Contribution à la monographie de la Gambie ; ORSTOM ; 102p.

**KHOUMA 2002**

Incidence du barrage de Sambagalou sur la mangrove de Gambie, rapport provisoire. 12p.

**KIENER A. 1978**

Ecologie, physiologie et économie des eaux saumâtres. Masson.

**MICHIGAN University 1985**

Ecologie aquatique et mise en valeur du Bassin du fleuve Gambie (1) ; Ecologie terrestre et mise en valeur du Bassin du fleuve Gambie (2) ; Développement rural dans le Bassin du fleuve Gambie (3).

**OMVG 1996**

Etude pour l'intégration des investissements de production et de transport d'énergie électrique dans les pays membres de l'OMVG ; Etude environnementale phase 1, volume 3 ; phase 2 volume 7. Hydro-Québec

**OMVG 1998**

Schémas Directeur Hydraulique du Fleuve Gambie – Rapport provisoire de phase 2 et ses annexes n° 3-4-7

**OMVG 1999**

Schémas Directeur Hydraulique du Fleuve Gambie – Rapport de Synthèse

**PASKOFF R. 2001 (sous la dir.)**

Le changement climatique et les espaces côtiers ; Actes du colloque d'Arles des 12 et 13 octobre 2000 ; La documentation Française ; 97p.

**PNUE 1985**

Erosion côtière en Afrique de l'Ouest et du Centre, PNUE-UNESCO ; 241p.

**ROSSI G. 1995**

Le barrage d'Akossombo (Ghana) ; in Barrages internationaux et coopération; Karthala ; pp243-252.

**RUË O. 1992**

Evolution du fleuve Sénégal après la construction du barrage de Diama – Contribution sédimentologique ; in Productivité des estuaires et mangroves d'Afrique de l'Ouest ; rapport de l'atelier de recherche conjointe de l'estuaire du fleuve Sénégal ; UNESCO – COMARAF ; pp 15-22

**RUË O. 1994**

Impacts possibles du barrage de Garafiri sur les mangroves du Konkouré ; rapport d'expertise Coyne et Bellier ; 23p.

**RUË O. 1998a**

Etude des mangroves de Gambie ; rapport d'étude ; Cabinet Gressard ; SECA ; 30p.

**RUË O. 1998b**

Environnement physique Impact du Schémas Directeur sur les mangroves, Annexe 7 du rapport principal du Schémas Directeur Hydraulique du Fleuve Gambie; OMVG, SOGREAH, Hydroconsult, Scet-Tunisie.

**RUË O. 1998c**

L'aménagement du littoral de Guinée, mémoires de mangroves, L'Harmattan, 301p.

**RUË O. et CAMPIN J.M. 2000**

Evolution des vents sur les côtes Ouest-Africaines depuis 50 ans et incidence sur leur régime morpho-sédimentaire ; communication aux journées de géographie de la mer, Dunkerque 3-4 juin 2000.

**RUË O. 2001**

Rapport Hydro-sédimentologie du Plan d'Aménagement des Plaines Rizicoles de la Guinée maritime ; SOFRECO ; 33p.

**SCHNELL R. 1971**

Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux ; Gauthiers Villars pp.811-849

**TWILLEY R. 1985**

An analysis of mangrove forests along the Gambia river estuary : implications for the management of estuarine ressources ; The University of Michigan ; Report n°6 ; 75p.