

**Etudes sur le Bassin du Fleuve Gambie
de l'Université du Michigan**

**Écologie aquatique
et mise en valeur du
Bassin du Fleuve Gambie**

**Centre de recherche sur le développement économique
et
Great Lakes and Marine Waters Center
L'Université du Michigan
avec
Harza Engineering Company**

PN-AHU-029

**Etudes sur le Bassin du Fleuve Gambie
de l'Université du Michigan**

**Ecologie aquatique
et mise en valeur du
Bassin du Fleuve Gambie**

Elaboré pour
L'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID)
et l'Organisation pour la mise en valeur du Bassin du Fleuve Gambie (OMVG)
Contrat No. 685-0012-C-00-2158-0

Septembre 1985

PREFACE

Le présent document résume les résultats d'une étude menée pendant deux années sur les ressources aquatiques du bassin du fleuve Gambie. L'exposé est présenté de façon concise qui devrait être aisément comprise par un non-spécialiste. Les termes techniques sont soit évités soit définis au moment de leur premier emploi. Les Chapitres 3 à 7 sont distincts dans ce sens que chacun d'eux représente un concept indépendant ou un petit groupe de concepts. Le lecteur peut choisir de lire certains chapitres s'il ne s'intéresse qu'à un ou deux sujets. Une somme considérable d'ouvrages de base a servi à élaborer le présent document. Les lecteurs doivent se référer à ces ouvrages pour y trouver de plus amples détails sur un sujet donné.

Si les Chapitres 3 à 7 sont indépendants, ils n'en présentent pas moins une veine commune. Ils s'articulent en effet autour des études environnementales, pour commencer, et du programme de suivi/surveillance envisagé, pour terminer. Les liens entre les chapitres se présentent comme suit: une étude écologique approfondie et étendue du fleuve Gambie a été réalisée étant donné qu'on ne disposait d'aucune étude holistique du système fluvial. Certains segments de la faune et de la flore aquatiques n'ont jamais été décrits avant ce projet. De surcroît, une méthode d'échantillonnage intégrée a servi à éprouver des hypothèses relatives à l'environnement fluvial, y compris tous les segments des écosystèmes fluviaux. Les résultats de cette enquête écologique sont présentés au Chapitre 3.

Le fleuve Gambie a également été étudié en tant que ressource régionale. La valeur des pêcheries industrielles et artisanales a été abordée en tant que source d'alimentation domestique et d'emplois à l'intérieur du bassin. Ces deux études, qui servent en outre à caractériser le fleuve Gambie, sont présentées à la fin du Chapitre 3. Après avoir raisonnablement compris le système actuel du fleuve Gambie, on a procédé à une évaluation des incidences des barrages proposés. A partir des expériences d'autres programmes de mise en valeur de bassins fluviaux, on a identifié les incidences sur le fleuve Gambie imputables au programme de mise en valeur envisagé. L'importance spatiale et temporelle de ces incidences a été déterminée, de même que l'intensité des changements. Le

Chapitre 4 étudie les incidences. Il suggère des mesures visant à atténuer ces incidences dans la mesure du possible, et il indique des incidences qui ne se prêtaient pas à des mesures d'atténuation. Il offre par ailleurs un programme de gestion, de même qu'un scénario de mise en valeur précisant la meilleure façon d'appliquer les mesures d'atténuation. Le Chapitre 5 décrit les mesures d'atténuation, le scénario de la mise en valeur et le programme de gestion. Le Chapitre 6 étudie les aspects économiques des programmes de mise en valeur du bassin du fleuve Gambie. L'économie de chacun des cinq scénarios de développement est examinée selon un format analogue à la présentation des incidences. Enfin, le document formule des suggestions sur la manière de poursuivre les études sur le terrain en vue de suivre les changements accusés par le fleuve à mesure qu'intervient sa mise en valeur. Le Chapitre 7 recommande un programme de suivi.

REMERCIEMENTS

Il a fallu déployer des efforts considérables pour mener à bien la présente étude. Un grand nombre de gens ont apporté un concours nettement supérieur aux exigences normales de leurs fonctions professionnelles. Nous tenons à exprimer notre très vive gratitude aux organismes et aux personnes qui suivent.

Le River Basin Development Office (RBDO) de l'Agence des Etats-Unis pour le développement international, à Dakar, pour avoir eu la vision d'entreprendre et de financer une telle étude. A cet Office, nous souhaitons remercier en particulier Lewis Tucke et David Hunsberger pour leur assistance et leur souplesse administrative. Feu le Dr Karl Lagler, chef d'équipe des Etudes du bassin du fleuve Gambie (EBFG) de l'Université du Michigan, pour ses précieux conseils et son infinie patience. L'Equipe chargée des ressources fluviales -- Thomas Berry, Loren Flath, Marc Healey, Gerald Krausse, Donna Page, Phil Schneeberger, Heang Tin et Marion van Maren -- a consenti des efforts remarquables pour assurer la réussite du projet. L'équipe du bateau Laurentian, notamment le capitaine Ed Dunster et Glen Tomkins, a fourni l'appui vital et les systèmes scientifiques qui ont garanti le succès de l'échantillonnage, y compris la mise en oeuvre de certains plans d'échantillonnage assez exceptionnels. Les familles de l'Equipe des ressources fluviales pour le soutien et la patience dont elles

ont fait preuve durant les études sur le terrain; le personnel administratif du Michigan, notamment le Dr A. M. Beeton, Norah Daugherty, Nelson Navarre et Mark Weishan. Les scientifiques africains de Gambie, de Guinée et du Sénégal qui ont oeuvré à la réussite du projet aux côtés de l'équipe chargée des ressources fluviales; l'OMVG pour tout son appui et en particulier André deGeorge, considéré comme le onzième membre de l'équipe. Et, enfin, une dernière contribution et non des moindres, celle de nos épouses, Pat et Marcia, qui ont accepté une longue solitude pour nous permettre de nous rendre en Afrique.

Ann Arbor, Michigan
Septembre 1985

Russell A. Moll
John A. Dorr III

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
PREFACE ET REMERCIEMENTS	iii
LISTE DES TABLEAUX	xiii
LISTE DES FIGURES.	xv
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	xvii
1. SYNTHÈSE	1
2. OBJECTIFS DE LA MISE EN VALEUR DU BASSIN ET OBJECTIF DE L'ETUDE.	9
2.1. Objectifs de la mise en valeur.	9
2.2. Objectif de l'étude	12
3. ETAT ACTUEL DES RESSOURCES AQUATIQUES DU FLEUVE GAMBIE	15
3.1. Synopsis hydrologique du bassin du fleuve Gambie.	15
3.1.1. Description générale du climat.	15
3.1.2. Débit	18
3.1.3. Marées.	21
3.1.4. Salinité.	22
3.1.5. Sédiments	28
3.1.6. Eau souterraine	29
3.2. Conditions écologiques actuelles du fleuve Gambie	29
3.2.1. Zone du bas estuaire.	32
3.2.2. Zone du haut estuaire	40
3.2.3. Zone du cours inférieur contenant de l'eau douce.	59
3.2.4. Eaux douces du cours supérieur.	69
3.2.5. Bassin de réception	79
3.3. Situation actuelle de la pêche.	81
3.3.1. Pêche artisanale.	83
3.3.1.1. Côte atlantique gambienne.	83
3.3.1.2. Pêche estuarienne et fluviale en Gambie.	84
3.3.1.3. Sénégal.	87
3.3.1.4. Guinée	88
3.3.2. Pêche industrielle.	88
3.3.2.1. Entreprises domestiques	91
3.3.2.2. Compagnies étrangères	92

	<u>Page</u>
4. INCIDENCES	95
4.1. Résumé.	97
4.2. Hydrologie de l'exploitation du réservoir	105
4.2.1. Barrage de salinité de Balingho	105
4.2.2. Barrage de retenue de Kékréti	107
4.2.3. Exploitation conjointe des barrages de Kékréti et de Balingho.	110
4.2.4. Barrages Guinéens	111
4.2.5. Réseau d'irrigation	112
4.3. Bas estuaire.	113
4.3.1. Aucune mise en valeur ou statu quo.	114
4.3.2. Barrage de retenue de Kékréti	114
4.3.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages Guinéens.	116
4.3.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho.	116
4.3.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages Guinéens et barrage de salinité de Balingho.	119
4.4. Haut estuaire	119
4.4.1. Aucune mise en valeur ou statu quo.	121
4.4.2. Barrage de retenue de Kékréti	121
4.4.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages Guinéens.	123
4.4.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho.	123
4.4.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages Guinéens et barrage de salinité de Balingho.	130
4.5. Zone d'eau douce du fleuve inférieur.	131
4.5.1. Aucune mise en valeur ou statu quo.	132
4.5.2. Barrage de retenue de Kékréti	133
4.5.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages Guinéens.	135
4.5.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho.	136
4.5.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages Guinéens et barrage de salinité de Balingho.	138
4.6. Zone d'eau douce du cours supérieur	138
4.6.1. Aucune mise en valeur ou statu quo.	139
4.6.2. Barrage de retenue de Kékréti	140
4.6.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages Guinéens.	144
4.6.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho.	144
4.6.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages Guinéens et barrage de salinité de Balingho.	144

	<u>Page</u>
4.7. Zone des eaux d'amont	145
4.7.1. Aucune mise en valeur ou statu quo.	146
4.7.2. Barrage de retenue de Kékréti	148
4.7.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages Guinéens.	148
4.7.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho.	151
4.7.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages Guinéens et barrage de salinité de Balingho.	151
5. STRATEGIES D'ATTENUATION ET DE CONTROLE DES INCIDENCES.	153
5.1. Atténuation des incidences.	153
5.1.1. Incidences primaires (physico-chimiques).	153
5.1.1.1. Régularisation du débit annuel	157
5.1.1.2. Modification du débit.	157
5.1.1.3. Modification des régimes thermiques.	157
5.1.1.4. Anoxie dans les eaux du fond des réservoirs.	159
5.1.1.5. Modification des régimes de nutriments dans les réservoirs	159
5.1.1.6. Modification des charges de solides en suspension	160
5.1.1.7. Augmentation de la pénétration de la lumière sous l'eau	160
5.1.1.8. Augmentation des solides en suspension à cause de la construction du barrage et du réseau d'irrigation.	161
5.1.1.9. Modification des rives du fleuve	161
5.1.1.10. Elimination de l'inondation saisonnière des plaines.	161
5.1.1.11. Mise en valeur des zones d'assèchement	162
5.1.1.12. Augmentation de l'évaporation à la surface des réservoirs	162
5.1.1.13. Absence de mélange de la marée au-dessus du barrage de salinité	162
5.1.1.14. Augmentation de l'amplitude de la marée en aval du barrage	162
5.1.1.15. Suppression de l'eau salée en amont de Balingho.	163
5.1.1.16. Absence d'un gradient de salinité dans le fleuve	163
5.1.1.17. Formation de sols sulfaté-acides	163
5.1.1.18. Accumulation de sédiments dans les bolons	164
5.1.1.19. Formation d'hypersalinité en aval du barrage	164
5.1.2. Incidences secondaires (biologiques).	164

	<u>Page</u>
5.1.2.1. Modifications des espèces dans les réservoirs	165
5.1.2.2. Prolifération des algues dans les réservoirs	165
5.1.2.3. Changements des espèces benthiques	165
5.1.2.4. Prolifération des réserves de poisson dans les réservoirs.	166
5.1.2.5. Prolifération de mauvaises herbes aquatiques dans les réservoirs et les canaux d'irrigation.	166
5.1.2.6. Evapotranspiration	167
5.1.2.7. Elimination ou réorganisation des forêts de palétuviers.	167
5.1.2.8. Voies de migration bloquées.	167
5.1.2.9. Elimination du plancton marin au-dessus de Balingho.	168
5.1.2.10. Modification de la production halieutique.	168
5.1.2.11. Elimination des invertébrés marins au-dessus de Balingho.	168
5.1.3. Incidences tertiaires (anthropogéniques).	169
5.1.3.1. Apport de substances toxiques et de nutriments dans le fleuve lié aux activités agricoles.	169
5.1.3.2. Augmentation de la production halieutique dans les réservoirs.	170
5.1.3.3. Préférence pour la consommation de poisson	170
5.1.3.4. Extension des cultures	171
5.1.3.5. Activités minières	171
5.1.3.6. Réinstallation de l'homme le long du fleuve et des réservoirs	172
5.1.3.7. Changements dans les vecteurs de maladie.	172
5.1.3.8. Déboisement des rives du fleuve.	172
5.1.3.9. Orientation des occupations vers la pêche et les activités connexes.	173
5.1.3.10. Nouvelles voies de commerce.	173
5.1.3.11. Déplacement de la faune aquatique.	173
5.2. Choix de mise en valeur	174
5.3. Stratégie de contrôle	175
5.3.1. Politiques de contrôle spécifiques.	175
5.3.1.1. Contrôle de la crue annuelle	175
5.3.1.2. Réservoirs de mélange.	176
5.3.1.3. Contrôle de la sédimentation pendant la construction.	176

	<u>Page</u>
5.3.1.4. Contrôle de la prolifération des mauvaises herbes aquatiques.	176
5.3.1.5. Contrôle des pratiques agricoles	176
5.3.1.6. Séparation des terres irriguées du fleuve.	177
5.3.1.7. Garanties minières	177
5.3.1.8. Routes et installations maintenues loin du fleuve	177
5.3.1.9. Ceinture verte le long du fleuve	177
6. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES	179
6.1. Résumé.	179
6.2. Situation Economique Actuelle des Pêches.	181
6.2.1. Secteur Industriel.	182
6.2.1.1. Pêche au poisson	182
6.2.1.2. Pêche aux mollusques et crustacés.	186
6.2.2. Secteur Artisanal	188
6.2.2.1. Pêche au poisson	189
6.2.2.2. Pêche aux mollusques et crustacés.	195
6.3. Conséquences et Compromis Associés au Développement	198
6.3.1. Aperçu Général.	198
6.3.2. Aucun Développement	199
6.3.2.1. Pêche au poisson	199
6.3.2.2. Pêche aux mollusques et crustacés.	201
6.3.3. Barrage-Réservoir de Kékréti.	203
6.3.4. Barrage-Réservoir de Kékréti et Barrages de Guinée.	206
6.3.5. Barrage de Kékréti et Barrage Anti-sel de Balingho.	208
6.3.6. Barrage de Kékréti, Barrages de Guinée et Barrage de Balingho	216
7. SUIVI ET INSTITUTIONNALISATION	219
7.1. Suivi et Etudes Futures	219
7.2. Etudes Parallèles	222
7.3. Institutionnalisation	223
7.4. Suivi et Gestion Futurs des Pêches.	224
BIBLIOGRAPHIE.	227
ANNEXE I. PRESENTATION DES INCIDENCES PAR TYPE.	235

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau</u>	<u>Page</u>
3.1. Debit mensuel moyen bassin du fleuve Gambie	19
3.2. Debit mensuel moyen en 1983 et pourcentage de la moyenne à long terme.	20
3.3. Caracteristiques de la marée.	23
3.4. Caracteristiques physiques et limites supérieures des cinq zones écologiques du fleuve Gambie	31
3.5. Valeurs moyennes des variables physico-chimiques recueillies à Kedougou pendant la montée des eaux	76
3.6. Valeurs moyennes des variables physico-chimiques recueillies à Kedougou pendant la periode de crue	77
3.7. Prises artisanales marines enregistrées par espèce pour la côte Atlantique Gambienne, juin 1982 à juillet 1983. . .	82
3.8. Prises de la pêche artisanale estuarienne et fluviale entre juin 1982 et juillet 1983	85
3.9. Prise saisonnière de poisson par les pêcheurs independants dans le cours inferieur du fleuve Gambie . . .	86
3.10. Redevances pour les bateaux de pêche agréés et taxes d'exportation en Gambie	89
3.11. Valeur économique des produits halieutiques	90
4.1. Incidences anticipés du program de développement proposé sur l'environnement aquatique, la flore et la faune du Bassin du fleuve Gambie.	98
4.2. Repartition des incidences anticipés par region du fleuve Gambie.	100
4.3. Degré de risque ou niveau de l'impact associé à chaque option de développement	102
4.4. Exploitation autonome du barrage de Kékréti: surface maximale irrigable et limite de pénétration saline.	109
5.1. Mesures suggérées pour attenuer les incidences du programme de développement proposé sur le fleuve Gambie . .	154
6.1. Prises artisanales et industrielles de poisson (en tonnes) enregistrée en Gambie de 1978 à 1983.	184

<u>Tableau</u>	<u>Page</u>
6.2. Estimation des prises annuelles de la pêche artisanale continentale (en tonnes) et du rendement (kg/ha/an) dans les cours inférieur et supérieur du fleuve Gambie, Afrique de l'Ouest, en 1980 et 1982-83.	191
6.3. Estimations du rendement et de la valeur économique (réservoir de Kékréti)	206
6.4. Estimation du rendement et de la valeur économique des réservoirs guinéens	207
6.5. Synthèse des estimations de rendement et de valeur économique annuels de la pêche dans les réservoirs proposés pour le fleuve Gambie et ses affluents	210
6.6. Estimation du rendement et de la valeur économique (Kékréti et Balingho)	215
6.7. Estimation du rendement et de la valeur économique (cinq barrages)	217

LISTE DES FIGURES

<u>Figure</u>	<u>Page</u>
2.1. Bassin du fleuve Gambie	10
3.1. Sites des barrages dans le bassin du fleuve Gambie.	16
3.2. Mouvement longitudinal de la limite de salinité pendant l'année dans le bassin du fleuve Gambie et débit à Gouloumbou.	25
3.3. Salinité du fleuve Gambie - Coupe transversale fin juillet 1973 (coupe à 142 km en amont de Banjul).	26
3.4. Salinité du fleuve Gambie - Coupe transversale debut octobre 1973 (coupe à 72 km en amont de Banjul)	27
3.5. Fluctuation saisonnières des variables physico-chimiques dans le zone du bas estuaire.	35
3.6. Fluctuation saisonnières des variables chimiques dans le zone du bas estuaire.	36
3.7. Fluctuation saisonnières des variables physico-chimiques dans le zone du haut estuaire	43
3.8. Fluctuation saisonnières des variables chimiques dans le zone du haut estuaire	46
3.9. Modifications des variables physico-chimiques en fonction de la distance et du temps dans un bolon de palétuviers près de Balingho	52
3.10. Modifications des variables chimiques en fonction de la distance et du temps dans un bolon de palétuviers près de Balingho	55
3.11. Fluctuation saisonnières des variables physico-chimiques dans le zone du cours inférieur	61
3.12. Fluctuation saisonnières des variables chimiques dans le zone du cours inférieur	63
3.13. Distribution de chlorophylle-A dans le fleuve Gambie entre Banjul et km 300 (échantillons pris à 1 m).	67
3.14. Fluctuation saisonnières des variables physico-chimiques dans le zone du cours supérieur	71
3.15. Fluctuation saisonnières des variables chimiques dans le zone du cours supérieur	73

Figure

Page

5.1.	Débit moyen à Gouloumbou de 1970 à 1980 et débit projeté après la construction du barrage de Kékréti et l'aménagement de 70.000 ha irrigués	158
------	---	-----

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

AHT	Agrar-und Hydrotechnik
CRED	Center for Research on Economic Development
EBFG	Etudes du bassin du fleuve Gambie
FMC	Fish Marketing Company, rebaptisée National Fish Marketing Board (Gambie)
GD	Gambia Datum
HHL	Howard Humphreys Limited
LRDC	Land Reclamation and Development Consultants Ltd.
NPE	National Partnership Enterprise, Ltd. (Gambie)
OMVG	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Gambie
ORSTOM	Office de la recherche scientifique et technique outre-mer
RRI	Rhein-Ruhr Ingenieur - GmbH
USAID	Agence des Etats-Unis pour le développement international

1. SYNTHÈSE

Le présent chapitre met en évidence les résultats d'une étude vaste et détaillée sur les ressources aquatiques du fleuve Gambie. Cette étude a été guidée par le principe voulant que le seul moyen de se prononcer en connaissance de cause sur les effets possibles de la mise en valeur du fleuve Gambie et l'ampleur de ces effets soit de comprendre le système actuel. Le volume d'informations réuni dans le cadre de cette étude comprend des données économiques et écologiques. Le lecteur est encouragé à examiner les documents de base à partir desquels le présent document a été élaboré pour de plus amples informations sur le système fluvial. Ces documents de base comprennent: études physico-chimiques (Berry et al., 1985), études sur le plancton (Healey et al., 1985), études sur les macro-invertébrés (van Maren, 1985), études halieutiques (Dorr et al., 1985), problèmes pédologiques liés à l'acide sulfurique (Colley, 1985), études sur les forêts de palétuviers (Twilley, 1985), l'économie de la pêche (Josserand, 1985), et études hydrologiques (Harza, 1985).

Les Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan ont été divisées en quatre études portant sur quatre sujets: ressources aquatiques, santé publique, faune et flore, et socio-économie. Les objectifs des quatre études étaient approximativement les mêmes, avec de légères modifications selon les disciplines. Le premier objectif des quatre études consistait à passer en revue la documentation existante sur le fleuve Gambie. Cette base d'informations a ensuite servi à établir un plan d'étude du bassin fluvial axé sur les aspects jamais ou mal évalués jusqu'à présent. Le second objectif des Etudes était de permettre une bonne compréhension du système existant. Cette compréhension a ensuite permis d'atteindre le troisième objectif, à savoir la prévision des incidences sur le fleuve des divers programmes de mise en valeur proposés pour le fleuve Gambie. Ces programmes de mise en valeur comprennent jusqu'à cinq barrages (quatre retenues d'eau douce et un barrage anti-sel) destinés à fournir de l'eau à une superficie pouvant atteindre 85.000 hectares de cultures irriguées dans le bassin du fleuve Gambie et à permettre de produire de l'électricité. Le dernier objectif consistait à suggérer des mesures d'atténuation des incidences identifiées.

L'étude des ressources aquatiques du fleuve Gambie a été réalisée par zone. Des recherches préalables ont indiqué la grande variété des conditions aquatiques le long du fleuve de l'estuaire au bassin de réception. Partant, on a divisé le fleuve en cinq zones et on a réalisé des études détaillées à un ou deux endroits dans chacune des cinq zones, qui sont: le bas estuaire, le haut estuaire, les eaux douces du cours inférieur, les eaux douces du cours supérieur, et le bassin de réception. Les principales caractéristiques de chaque zone sont présentées ci-dessous.

- Bas estuaire. Il s'agit d'un segment large et relativement peu profond du fleuve dominé par l'influx d'eau de mer. Le bas estuaire présente la plupart des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques de l'eau de mer dans laquelle se jette l'estuaire. Les marées semi-diurnes mêlent constamment les eaux du bas estuaire et véhiculent une faune et une flore marines typiques. Les rives du bas estuaire sont bordées de forêts de palétuviers sur jusqu'à 10 kilomètres à l'intérieur des terres. La production primaire nette de ces forêts de palétuviers est la base nutritive de nombreux organismes marins et estuariens, avec plusieurs pêcheries florissantes de poissons et crustacés. Ces pêcheries sont les plus productives du fleuve.

- Haut estuaire. La zone du haut estuaire a des caractéristiques hautement saisonnières en raison de la crue annuelle. Pendant la saison sèche (octobre à juin), ce segment du fleuve est estuarien et abrite essentiellement une faune et une flore marines. Mais durant l'hivernage, les eaux de crue transforment une grande partie de cette zone en eaux douces et provoquent une migration des espèces marines. Les marées sont un facteur prépondérant qui mélange les eaux fluviales de haut en bas et permettent l'eau de pénétrer dans les multiples petits cours d'eau appelés bolons, bordés de palétuviers. De même que pour le bas estuaire, la principale source de matière organique dans la zone du haut estuaire vient des forêts de palétuviers qui avancent parfois sur trois kilomètres à l'intérieur des terres. Une grande partie des détritiques des forêts de palétuviers est acheminée en aval vers le bas estuaire. Les forêts les plus luxuriantes le long du fleuve se trouvent dans cette zone. Les détritiques des forêts de palétuviers alimentent des pêcheries prospères mais saisonnières.

- Ecosystème de palétuviers. Ces systèmes constituent une partie intégrale et fondamentale des zones estuariennes du fleuve Gambie. La faune riche et diverse de l'estuaire est une conséquence de la production nette élevée de ces systèmes. En outre, il semble que l'exportation des matières organiques constitue un apport de matériaux et de nutriments essentiels à l'environnement océanique côtier qui borde l'embouchure du fleuve Gambie.

Les résultats de l'échantillonnage sur le terrain, conjugués aux données hydrologiques, fournissent la séquence généralisée suivante dans l'estuaire du fleuve Gambie: la production primaire nette des palétuviers, en particulier les espèces Rhizophora, est près de dix fois supérieure à la production algale in situ. Cette production est repoussée depuis le tapis des forêts de palétuviers jusqu'aux bolons bordés de palétuviers et au chenal principal du fleuve. Une fois immergés dans les eaux tièdes, les détritiques de palétuviers se dégradent rapidement, enrichissant les eaux estuariennes avec des nutriments organiques et inorganiques. Tandis que les marées maintiennent les détritiques en suspension dans la colonne d'eau et les agitent dans un mouvement de balancier le long du chenal du fleuve, le débit provoque un mouvement net en aval. A mesure que les détritiques et les nutriments avancent doucement en aval, des intrants issus d'autres forêts de palétuviers enrichissent continuellement les eaux estuariennes. De nombreux détritivores vertébrés et invertébrés se nourrissent de cette abondante source de matière organique qui remonte jusqu'à 175 kilomètres en amont de l'embouchure du fleuve. Ces détritivores constituent une base alimentaire qui sert de base aux riches pêcheries côtières et estuariennes.

Les palétuviers jouent un autre rôle vital en ce sens que l'eau riche et paisible des bolons constitue un site de frai et/ou de croissance idéal pour les larves. En conséquence, de nombreuses espèces de poissons et d'invertébrés présentes dans l'estuaire du fleuve et à proximité sont des espèces frayant dans les eaux estuariennes. Pendant certaines périodes de l'année, les poissons et invertébrés côtiers pénètrent dans le fleuve Gambie pour la ponte des oeufs et/ou la croissance des larves. Ces migrations sont souvent liées au cycle annuel des crues et de la sécheresse.

- Eaux douces du cours inférieur. Ce segment du fleuve a de l'eau douce toute l'année, mais elle est encore troublée par les marées. Les crues annuelles provoquent d'importants changements saisonniers dans l'environnement physique, chimique et biologique. Comme les eaux de crue arrivent dans cette zone en août, elles transportent une forte concentration de nutriments en solution qui stimulent à leur tour un sursaut de production d'algues. Cependant, cette portion du fleuve est peu productive pendant la majeure partie de l'année. En conséquence, les pêcheries dans le cours inférieur à eau douce sont relativement peu productives pendant une grande partie de l'année.
- Eaux douces du cours supérieur. Cette zone présente de nombreuses caractéristiques communes avec le cours inférieur, y compris un ensemble hautement saisonnier de caractéristiques et des pêcheries relativement improductives. Les principales différences entre les deux zones sont que les eaux du cours supérieur ne sont pas mélangées par les marées et n'ont pas d'écoulement net pendant une grande partie de l'année (le fleuve est réduit à quelques flaques).
- Bassin de réception. Cette section du fleuve comprend les petits cours d'eau arborescents qui parcourent les monts Fouta Djallon de la Guinée. L'environnement aquatique est dominé par les précipitations annuelles; le fleuve n'a pas d'écoulement net pendant la fin de la saison sèche et se transforme ensuite en torrent pendant la saison des pluies. Par rapport à ses biefs inférieurs, ce segment du fleuve est improductif et alimente une industrie de la pêche peu active.

Des pêcheries estuariennes et côtières le fleuve Gambie fournit une grande quantité de nourriture aux populations locales. Si l'on tient compte du fait que cette région de l'Afrique s'efforce de relever la production vivrière, le fleuve Gambie est une précieuse ressource régionale. Les pêcheries artisanales le long du fleuve et de la côte adjacente emploient jusqu'à 16.000 personnes et produisent plus de 8100 tonnes de poisson par an. Les pêcheries commerciales côtières de la Gambie fournissent quelque 7300 tonnes de poisson par an, ce qui dégage des revenus pour l'économie locale sous forme de droits de pêche et taxes d'exportation et constituent une source de devises. Le produit annuel des pêcheries artisanales et commerciales pourrait être sensiblement augmenté en exploitant certains stocks côtiers et estuariens. En

revanche, le stock d'eau douce est probablement exploité au maximum de capacité à l'heure actuelle. Les principaux obstacles au développement des pêcheries côtières et estuariennes sont une manutention et des techniques de conservation peu efficaces et de mauvais circuits de commercialisation. Le manque de données sur le stock et le volume de prise empêche également de définir un rendement soutenu maximal et un rendement économique maximal des ressources de la pêche. Enfin, il est nécessaire d'établir un programme de développement et de gestion des pêcheries régionales pour le Bassin du fleuve Gambie et les eaux côtières contiguës.

On a identifié et mis en évidence quarante-et-une incidences sur les ressources aquatiques du fleuve Gambie comme une conséquence des programmes de mise en valeur proposés. On a envisagé ces incidences sous un double point de vue, par zone (Chapitre 4) et par type (Annexe I). La présentation des incidences par zone révèle les effets de chaque scénario de mise en valeur dans chacune des cinq zones. On a envisagé cinq scénarios différents de mise en valeur dans chaque zone, soit vingt-cinq au total.

On a divisé les incidences identifiées en trois catégories: primaire, secondaire et tertiaire. On a considéré que les incidences primaires sont celles qui affectent l'environnement physique et/ou chimique du fleuve. Des exemples des dix-neuf incidences primaires comprennent la modification des régimes d'écoulement, la transformation des portions du fleuve de cours d'eau en plan d'eau lacustre, l'élimination du mélange par les marées en amont du barrage anti-sel, et la suppression du gradient de salinité de l'estuaire. Ces incidences primaires créent à leur tour des modifications dans la biote du fleuve. Ces modifications de la biote sont classées dans la catégorie des incidences secondaires. Des exemples en sont: mutation des espèces fluviales en espèces lacustres, croissance accélérée des mauvaises herbes aquatiques, destruction des forêts de palétuviers en amont du barrage anti-sel, et hausse de la production halieutique dans les réservoirs qui seront créés. La population du Bassin du fleuve Gambie s'adaptera au nouvel environnement aquatique et produira à son tour de nouvelles incidences par son comportement. Ces onze incidences sont classées dans la catégorie des incidences tertiaires: addition de nutriments et

pesticides dans le fleuve du fait de l'agriculture irriguée, développement de la pêche et migration de la population vers les nouvelles ressources d'eau douce.

L'atténuation des incidences identifiées part du principe voulant que les incidences primaires produisent les autres types d'incidences en raison de leur nature fondamentale. Partant, la réduction ou l'élimination de chaque incidence passe par l'identification de la modification fondamentale de l'environnement physique et/ou chimique et l'atténuation de cette modification. Par exemple, l'atténuation des incidences dues aux activités d'extraction minière s'obtient en empêchant les résidus miniers et les eaux usées de pénétrer dans le fleuve. De ce point de vue, il devient évident que plus de la moitié (21) des incidences ne peuvent ou n'ont pas besoin d'être atténuées. Neuf des quarante-et-une incidences sont favorables et ne doivent donc pas être atténuées. Douze incidences ne peuvent être mitigées et devraient donc être acceptées comme une conséquence inévitable de la mise en valeur du fleuve.

L'étude des incidences par zone a démontré qu'un projet particulier, le barrage de salinité de Balingho, produirait toute une série d'incidences indésirables difficilement atténuables. Qui plus est, ces incidences se feront sentir dans la portion la plus productive du fleuve. En conséquence, le barrage de salinité semble être un mauvais choix parmi les options de mise en valeur des ressources aquatiques. Ce concept est également étayé par des considérations économiques. Dans ces conditions, le programme de développement logique consiste à commencer par mettre en valeur le barrage de Kékréti et à évaluer les conséquences du projet. La construction du barrage de salinité devrait être entreprise uniquement après avoir identifié sa nécessité et étudié plus soigneusement les incidences associées.

Vingt incidences devraient répondre aux efforts d'atténuation, par une gestion minutieuse des ressources en eau. Ces mesures d'atténuation entrent dans un programme cohérent en neuf volets:

- i) produire une crue annuelle contrôlée;
- ii) mélanger artificiellement les réservoirs;
- iii) limiter l'écoulement de la sédimentation pendant la construction;

- iv) contrôler la croissance des herbes aquatiques par des moyens mécaniques;
- v) gérer soigneusement les périmètres irrigués;
- vi) établir une séparation ou une barrière physique entre les périmètres irrigués et le fleuve;
- vii) imposer de strictes mesures de protection de l'environnement autour des mines;
- viii) placer de nouvelles routes et nouveaux villages à distance du fleuve;
- ix) créer une bande de culture d'un kilomètre de large de part et d'autre du fleuve.

Ce plan de gestion assurera une protection considérable pour la qualité de l'environnement et des ressources aquatiques. Mais sa mise en oeuvre ne doit avoir lieu qu'après avoir pris en compte tous les aspects du programme de mise en valeur du bassin fluvial; une partie des volets de gestion ne seront peut-être pas économiquement réalisables (mélange artificiel des réservoirs) ni socialement acceptables (éloigner les villages du fleuve).

On a considéré les aspects économiques du programme de développement proposé pour le Bassin du fleuve Gambie par rapport aux ressources aquatiques. La pêche a servi de base à l'analyse économique. La raison de cette approche est que la pêche est le seul aspect des ressources aquatiques susceptible d'être analysé sur le plan économique. L'essentiel des pêcheries actuelles du fleuve Gambie est concentré dans l'estuaire et sur les eaux côtières contiguës. Les pêcheries de poisson sont un volet important de l'économie nationale gambienne tandis que la pêche aux crustacés génère un important volume de devises pour la Gambie.

Le programme de mise en valeur proposé affectera l'économie de la pêche à deux égards: il augmentera les rendements de poisson dans les segments du fleuve à eau douce, et entraînera probablement des pertes pour les pêcheries de l'estuaire. Les pêcheries d'eau douce actuelles sont peu développées; l'expansion de ces pêcheries par les réservoirs augmentera sensiblement la valeur des pêcheries fluviales. En revanche, les changements de l'environnement estuarien, en particulier l'élimination de nombreux hectares de forêts de palétuviers, marqueront

Le coup d'arrêt des pêcheries estuariennes et peut-être côtières. La perte d'une portion, aussi modeste fût-elle, de la pêche estuarienne et/ou côtière fera plus que compenser tout gain éventuel dans la pêche en eau douce tiré du réservoir derrière le barrage anti-sel. Une hypothèse fondamentale de la production de revenus économiques par les pêcheries est qu'il existe une main-d'oeuvre pour pêcher et que l'environnement aquatique soit protégé contre la dégradation. Celle-ci pourrait facilement rendre toutes les ressources aquatiques, y compris le produit de la pêche, inutilisables par l'homme.

La gestion du fleuve Gambie ne portera de fruits que si tous les pays du bassin coopèrent et si une organisation comme l'Organisation de la mise en valeur du Bassin du fleuve Gambie est reconnue comme l'autorité supérieure responsable de cette mise en valeur. Il importe de lancer un programme de suivi dans les plus brefs délais en vue de soutenir et élargir la base de données créée par l'étude du bassin. Cette base de données servira de principale source d'informations au regard desquelles on pourra évaluer les modifications du fleuve après le début de la mise en valeur. Pareillement, on aura besoin d'évaluer et gérer la pêche fluviale et estuarienne afin de développer ces ressources dans toute la mesure du possible.

En bref, les programmes de mise en valeur proposés offrent des possibilités énormes à la population du Bassin du fleuve Gambie. L'offre alimentaire domestique peut être augmentée par la hausse de la production agricole et halieutique. Les ressources en eau seront conservées et mieux gérées. Mais, parallèlement à ces avantages, les risques de dégradation humaine de l'environnement aquatique sont nombreux. Une planification et une gestion avisées sont le meilleur moyen de résoudre ces conflits.

2. OBJECTIFS DE LA MISE EN VALEUR DU BASSIN ET OBJECTIF DE L'ETUDE

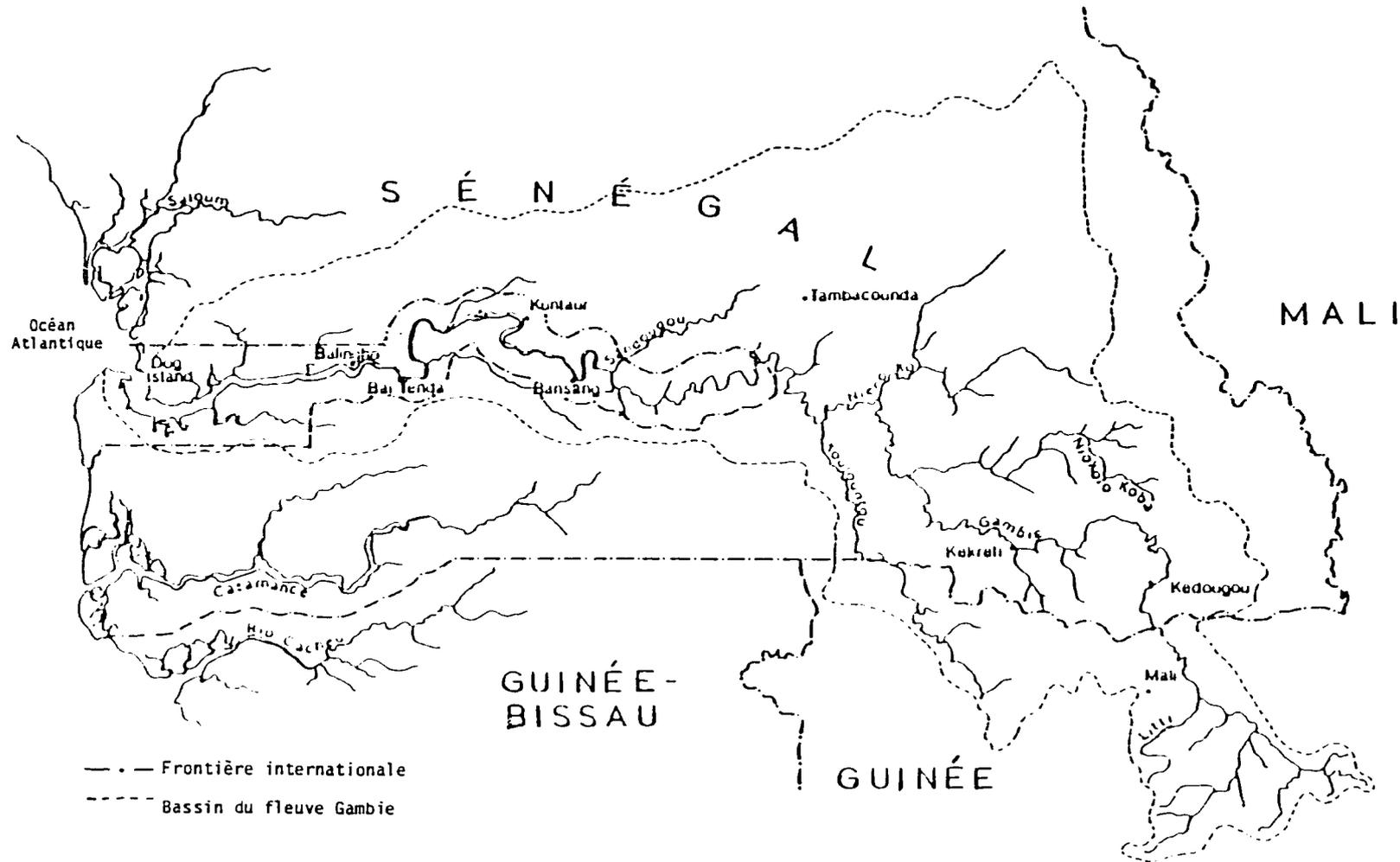
2.1. Objectifs de la mise en valeur

Le fleuve Gambie s'écoule sur plus de 1.100 km des plateaux guinéens à l'océan Atlantique sur la côte occidentale de l'Afrique (voir Figure 2.1.). Une grande partie des terres parcourues par le fleuve sont arides et ne permettent qu'une agriculture limitée. La production agricole n'a pas augmenté au cours des dix dernières années en dépit des efforts vigoureux déployés en vue de parvenir à l'auto-suffisance alimentaire en Afrique de l'Ouest. Cette productivité stagnante est largement liée à la baisse régulière des précipitations annuelles depuis dix ans.

Les pays les plus développés ont soutenu divers programmes en vue de développer la production agricole en Afrique de l'Ouest. La plupart de ces programmes sont axés sur une utilisation plus rationnelle de l'eau douce et ce, pour deux raisons. Premièrement, les programmes de développement dans les autres régions de l'Afrique ont également cherché à mettre en valeur la production agricole par une bonne gestion des ressources en eau. Deuxièmement, l'eau est le facteur le plus limitatif.

Les pays africains comme la Gambie, la Guinée, la Guinée-Bissau et le Sénégal ont reconnu que le problème de la gestion du fleuve Gambie exigera un effort multinational. En réponse à ce problème, on a créé l'Organisation de mise en valeur du Bassin du fleuve Gambie (OMVG) avec l'objectif général de poursuivre la mise en valeur des ressources du fleuve Gambie. L'OMVG a créé à son tour un programme de mise en valeur basé sur la construction de barrages, jusqu'à cinq, le long du fleuve Gambie. Ces barrages constitueraient un système de réservoirs capables de stocker la plus grande partie possible du débit du fleuve. L'eau pourrait ensuite être déversée dans le courant de l'année pour l'irrigation, la production d'électricité, des application industrielles et l'extraction minière. Le bassin étant caractérisé par deux saisons (une saison sèche de neuf mois et un hivernage de trois mois), une grande partie du débit annuel du fleuve revêt la forme de crues annuelles inutilisées lorsque les eaux atteignent l'océan. Les barrages et leur réservoirs régulariseront ce débit à l'usage de l'homme pendant l'année.

FIGURE 2.1. BASSIN DU FLEUVE GAMBIE



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

Un autre avantage des réservoirs est la possibilité de mettre en valeur une industrie de la pêche extensive dans chacune des retenues nouvellement formées. Le fleuve Gambie alimente actuellement une pêche côtière et estuarienne relativement prospère, tandis que la pêche en eau douce est plutôt pauvre, avec une exploitation excessive et des rendements en déclin depuis dix ans. La baisse des prises peut également provenir de la baisse du débit du fleuve provoquée par la sécheresse. D'après les prévisions pour le fleuve Gambie, les rendements de la pêche en réservoir devraient sensiblement augmenter la prise annuelle dans les segments du fleuve constitués d'eau douce.

On prévoit que la mise en valeur du fleuve Gambie devrait améliorer la qualité de la vie dans le bassin, grâce à une combinaison de facteurs: hausse de la production agricole domestique, hausse de l'emploi local, amélioration des transports régionaux et élargissement des réserves en devises pour l'achat de produits étrangers. Avec ces améliorations de la qualité de la vie, les pays du Bassin du fleuve Gambie devraient ensuite pouvoir développer leur économie par une diversification de leur base de production et une hausse de la production de biens et services.

Tous ces avantages n'iront pas sans certains coûts pour la société locale et l'environnement naturel. L'expérience passée a montré que les résultats escomptés ont rarement été atteints par nombre de projets de mise en valeur de bassins fluviaux entrepris en Afrique (Freeman, 1974). Dans certains cas, la population s'est trouvée plus mal lotie après la réalisation des projets qu'avant. La perte économique des ressources naturelles peut souvent dépasser les avantages produits par des projets d'irrigation mal gérés. Partant, les avantages potentiels du programme de mise en valeur du Bassin du fleuve Gambie ne seront vraisemblablement pas atteints en se contentant de construire des barrages. Une gestion prudente sera nécessaire afin d'utiliser au mieux les nouvelles ressources. Dans certains cas, le programme de mise en valeur devrait être modifié afin de protéger les ressources naturelles existantes contre leur remplacement par des ressources moins riches.

2.2. Objectif de l'étude

L'échec des précédents programmes de mise en valeur de bassins fluviaux plus que justifie un examen approfondi du programme proposé pour le Bassin du fleuve Gambie. L'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID) qui collabore avec l'OMVG a demandé une importante étude du Bassin du fleuve Gambie en vue d'éviter certaines erreurs faites par d'autres projets de développement. Les Etudes de l'Université du Michigan sur le Bassin du fleuve Gambie ont été réparties entre quatre volets couvrant les différents aspects du bassin qui seront affectés par le programme de mise en valeur: santé publique, faune et flore, ressources aquatiques et ressources économiques et sociales. Le présent rapport présente les conclusions de l'étude des ressources en eau et des ressources vivantes aquatiques (ou fluviales). La structure globale de l'étude a imposé la répartition des nombreux objectifs communs entre les quatre disciplines. Des exemples de ces objectifs communs comprennent la compréhension des conditions actuelles dans le Bassin du fleuve Gambie, la prévision des changements suscités dans le bassin par le programme de mise en valeur et des suggestions sur la manière d'atténuer les incidences négatives de la mise en valeur. Mais les objectifs de chacune des quatre disciplines ont été adaptés aux besoins de chaque programme. Les objectifs de l'étude sur les ressources fluviales sont présentés ci-après.

Le premier objectif abordé dans le cadre de l'étude sur les ressources fluviales était d'évaluer les connaissances actuelles sur les ressources aquatiques du fleuve Gambie. Avant de procéder à l'échantillonnage sur le terrain, on a réalisé une analyse des études précédentes sur le fleuve Gambie. Cette analyse a servi à réduire la probabilité de réaliser des études répétitives sur le fleuve Gambie. Du fait que l'étude sur le terrain du fleuve Gambie ne durerait qu'une année, le programme ne pouvait se permettre de reproduire les recherches passées. La forme principale de l'analyse était un examen de la documentation existante culminant avec une bibliographie complète des recherches menées soit sur le fleuve Gambie soit en rapport avec le fleuve.

Après avoir passé en revue la documentation existante, le second objectif, le plus important, était le suivant: comprendre les conditions écologiques actuelles du fleuve Gambie. L'examen de la documentation a

indiqué que de nombreux aspects de l'écologie aquatique n'avaient jamais été étudiés ou étaient mal compris. Par conséquent, cette étude a tenté de combler les lacunes dans la connaissance de l'écologie générale du fleuve afin d'avoir une image complète du système aquatique. Il n'a pas été possible de réaliser une étude détaillée exhaustive de l'écologie aquatique du fleuve. On s'est plutôt efforcé de mettre en évidence les principaux processus de production biologique dans l'écosystème fluvial, en incluant tous les segments du fleuve depuis l'estuaire à forte salinité à l'embouchure du fleuve jusqu'aux petits cours d'eau du bassin de réception dans les plateaux guinéens.

Le but ultime de la mise en valeur du bassin fluvial est d'améliorer les conditions de vie. Comme on l'a mentionné plus haut, cet objectif est principalement atteint en termes économiques - hausse de la production agricole, élargissement des réserves de devises et augmentation des rendements de la pêche. L'analyse de la hausse potentielle des rendements de la pêche associés à la mise en valeur du fleuve Gambie était l'un des principaux aspects de l'étude des ressources fluviales. Le troisième objectif consistait donc à déterminer la valeur actuelle de la pêche associée avec le fleuve Gambie. Cette valeur a été estimée de plusieurs façons: recettes de la pêche en devises, denrées alimentaires pour la consommation locale et emploi local. On a procédé au recoupement des objectifs halieutiques et écologiques en axant l'étude de la pêche estuarienne et fluviale sur les espèces ayant la plus grande valeur économique. Dans la plupart des cas, les espèces de poisson économiquement importantes étaient également importantes au plan écologique.

La compréhension du système écologique du fleuve Gambie ainsi que la valeur économique de la pêche ont fourni la base d'information nécessaire pour atteindre l'objectif suivant, prévoir les principales incidences associées à la mise en valeur du bassin. Le programme de mise en valeur modifiera considérablement le régime physique du fleuve Gambie dans certains endroits. Par exemple, le segment estuarien du fleuve en amont de Balingho sera éliminé après la construction du barrage de salinité. La modification du régime physique s'accompagnera de changements biologiques dans l'écosystème fluvial. La prévision de ces modifications permettra d'évaluer les conséquences de la mise en valeur du bassin fluvial. Ces informations réunies, les décideurs pourront déterminer si les avantages l'emportent sur

les coûts. Les incidences sont présentées en termes écologiques ou économiques.

L'objectif final de cette étude était de déterminer la portée des incidences de la mise en valeur du bassin fluvial et de suggérer les mesures d'atténuation possibles ou nécessaires. Les stratégies de fonctionnement des barrages sont le plus souvent déterminées par des facteurs techniques et/ou hydrologiques. Aussi les incidences sur les organismes aquatiques doivent-elles être acceptées comme faisant partie des coûts de la mise en valeur. On a identifié les incidences impossibles à atténuer. Les autres incidences n'exigeant pas de mesure d'atténuation figurent parmi les aspects favorables de la mise en valeur du bassin. Enfin, on a identifié une série d'incidences qui peuvent être atténuées par des modifications dans la politique de fonctionnement ainsi que par une politique de gestion visant à prendre ces mesures d'atténuation. On a également suggéré des programmes de contrôle des incidences et de leur atténuation.

3. ETAT ACTUEL DES RESSOURCES AQUATIQUES DU FLEUVE GAMBIE

3.1. Synopsis hydrologique du bassin du fleuve Gambie

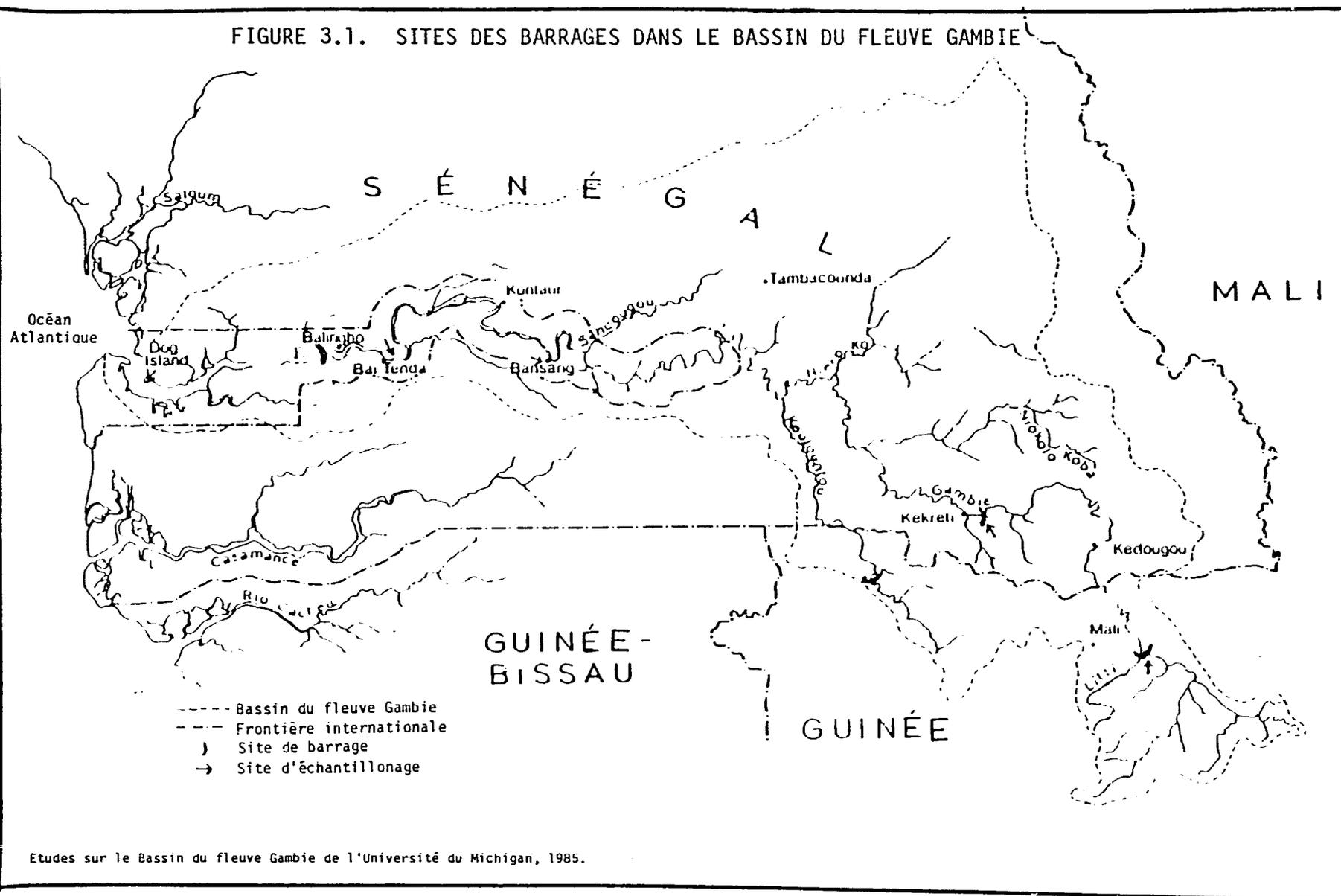
La planification et la conception des barrages pour le fleuve Gambie ont nécessité une connaissance approfondie de l'hydrologie du bassin. Les études menées par divers consultants européens ont commencé dès 1975 et se poursuivront à l'avenir à mesure que la planification avance. En raison des nombreux rapports hydrologiques, l'Etude du bassin du fleuve Gambie n'a pas mis l'accent sur la collecte de données hydrologiques originales. Un hydrologue du projet s'est contenté de résumer les principales conclusions, qu'il a présentées dans un rapport (Harza, 1985). Ces conclusions ont été combinées avec les conclusions biologiques établies sur le terrain afin de dresser un bilan écologique du fleuve Gambie (section 3.2.). La synopsis des données hydrologiques présentée ci-après indique les caractéristiques hydrologiques principales du bassin.

3.1.1. Description générale du climat

Le bassin du fleuve Gambie est une région semi-tropicale qui s'étend des latitudes nord 11°30 à 15° et des longitudes ouest 11° à 16°30. Le bassin couvre 77.380 km², dont respectivement 13%, 72% et 15% en Gambie, au Sénégal et en Guinée (Figure 3.1). Le bassin a trois zones géographiques distinctes: un bassin hydrographique montagneux en Guinée, un bassin continental vallonné au Sénégal et dans la moitié orientale de la Gambie, et une plaine côtière très plate dans la moitié occidentale de la Gambie. La principale source d'eau du bassin du fleuve Gambie est constituée par les précipitations dans le bassin hydrographique et au sud-est du bassin continental.

Les données climatologiques du bassin sont enregistrées en plusieurs points, mais huit stations fournissent l'essentiel des données dans le bassin. Ces enregistrements présentent une régularité des plus variables. Ils remontent à 1919 pour les précipitations mais datent de 1975 en ce qui concerne les données d'évaporation (Harza, 1985). Le climat du bassin se caractérise par un hivernage et une saison sèche très distinctes qui en font un climat semi-tropical. L'hivernage commence en mars ou avril dans le bassin hydrographique et avance lentement vers le nord à partir de juin ou juillet dans le nord du bassin continental. L'hivernage cesse en septembre dans le

FIGURE 3.1. SITES DES BARRAGES DANS LE BASSIN DU FLEUVE GAMBIE



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

Nord et en octobre ou novembre dans le Sud. L'hivernage s'accompagne de vents du sud-ouest lourdement chargés d'humidité en provenance de l'océan Atlantique. La saison sèche caractérise le reste de l'année, avec une pluviosité quasi nulle. Le vent souffle d'est au nord/nord-est pendant la saison sèche et transporte de grandes quantités de poussière et de limon des déserts nord-africains; on appelle ce vent l'harmattan. Le cycle annuel hivernage/saison sèche dépend de la formation et du mouvement d'une zone de basse pression appelée Zone de convergence intertropicale.

Les températures atmosphériques du bassin suivent un cycle saisonnier, avec le minimum annuel en décembre et janvier et le maximum en avril ou mai. Le minimum moyen diurne se situe autour de 15 à 17°C, le maximum approchant 40°C. Les températures des hauts plateaux du bassin hydrographique sont légèrement plus basses (3-5°C de moins). La durée moyenne d'ensoleillement avoisine 5 à 6 heures pendant l'hivernage et dépasse 9 heures en mars. L'humidité moyenne relative dans le bassin continental varie entre 30 pour cent en janvier et plus de 80 pour cent en juin. L'humidité tombe rarement en dessous de 50 pour cent le long de la côte. Les vents sont généralement légers et variables au début de la saison sèche (0,8 m/s en novembre) à modérés avant les pluies annuelles (2,4 m/s en mai); les vents sont plus calmes à l'intérieur des terres que sur la côte. Les taux d'évaporation sont élevés dans le bassin (environ 2.500 mm/an), mais ils varient considérablement entre décembre (environ 4,5 mm/jour) et mai (environ 9,5 mm/jour). L'évapotranspiration, estimée par Coode and Partners et al. (1979) et Agrar-und Hydrotechnik et Howard Humphreys Ltd. (AHT/HHL)(1983), était également élevée et généralement égale ou légèrement supérieure à l'évaporation.

Comme susmentionné, les précipitations sont nettement saisonnières dans le bassin, avec un gradient sud-nord. Pour la moyenne 1928-1981, les précipitations varient de 1.600 mm/an dans la partie méridionale du bassin hydrographique à moins de 600mm/an dans les zones septentrionales (Harza, 1985). Février ou mars sont traditionnellement les mois les plus secs de l'année et août le mois le plus humide. Les précipitations mensuelles moyennes oscillent entre 0,0 mm en février ou mars et plus de 500 mm en août. L'année des études sur le bassin du fleuve Gambie, 1983, a été l'une des années les plus sèches de l'histoire. Les précipitations ont varié entre 20 et 70 pour cent de la moyenne à long terme, ce qui correspond à un

record centenaire de sécheresse. Le centre de la Gambie près de Kuntaur a été la région la plus sèche du bassin en 1983.

3.1.2. Débit

Les données sur le débit du fleuve Gambie sont extrêmement rares. En Gambie, tous les indicateurs de niveau sont affectés par les marées; du fait qu'on ne mesure pas le refoulement, il n'est pas possible d'estimer le débit. La station de Goloumbou fournit les données de débit correspondant au point le plus aval, à environ 525 km de l'embouchure, soit à mi-parcours du fleuve. Les enregistrements du débit effectués à Goloumbou remontent à 1952. Huit indicateurs de niveau d'eau et 16 points de relevé manuel ont été installés au Sénégal le long du fleuve Gambie et de ses affluents entre 1972 et 1978. Sept indicateurs de niveau sont en place en Guinée, deux enregistreurs automatiques et cinq appareils manuels, tous installés en 1975-76. La base de données de débit présente d'énormes lacunes malgré l'installation de matériel nouveau. Par exemple, il n'existe toujours pas de courbe de mesure du débit maximum. Les courbes de durée d'écoulement ont été établies à Kédougou et Goloumbou à partir des données de l'indicateur de niveau, et simulées pour Sandougou et Koulountou (AHT/HHL 1983).

Le débit du fleuve Gambie et de ses affluents est directement lié au rythme des précipitations, mais avec de nettes différences régionales. Dans le bassin hydrographique supérieur, les eaux de ruissellement représentent 25 pour cent des précipitations annuelles, pour tomber à 10 pour cent dans le bassin continental et 1 à 2 pour cent dans la plaine côtière.

Malgré l'irrégularité des données concernant le débit, 11 points d'enregistrement situés sur 9 affluents ont fourni suffisamment d'informations pour calculer le débit moyen pendant la période 1970-1982. Les valeurs du débit sont présentées au Tableau 3.1 par moyenne mensuelle. Les résultats indiquent que les fleuves Gambie, Koulountou et Sandougou ont un débit ininterrompu pendant l'année. La sécheresse récente a interrompu le débit de tous les fleuves à l'exception du fleuve Gambie à la fin de la saison sèche. Le Tableau 3.2 indique le débit en 1983 et le pourcentage par rapport à la moyenne à long terme. L'effet de la sécheresse de 1983 ressort clairement sur ces tableaux; d'après certains témoignages, la période 1970-72 était sèche par rapport à la première moitié du 20ème siècle, ce qui met en évidence la gravité des conséquences à long terme de la sécheresse de

TABLEAU 3.1.

DEBIT MENSUEL MOYEN BASSIN DU FLEUVE GAMBIE

Station	Fleuve	Aire de Drainage (km ²)	M	J	J	A	S	O	Debit Moyen en m ³ /s			F	M	A	Annuel	Periode	Source
									N	D	J						
Kedougou	Gambie	7550	0,4	12,4	74,3	315,3	323,2	138,2	42,4	19,5	10,5	5,3	2,2	0,6	79,1	1970-1982	b
PNNK	Niokolo Koba	3000	0,2	1,7	9,2	22,1	31,3	10,4	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	1970-1982	a, b
Pont	Thiokoye	950	0,0	1,5	9,7	29,3	39,3	16,8	3,8	1,1	0,4	0,1	0,0	0,0	8,5	1970-1982	a, b
Pont	Diarha	760	0,0	1,2	9,1	25,4	29,7	14,5	2,1	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	6,9	1970-1982	a, b
Pont	Sima	495	0,0	0,1	0,4	0,5	1,0	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	1970-1982	a, b
Wassadou U/S	Gambie	21200	0,5	7,6	97,1	429,1	582,4	269,4	70,1	25,2	10,7	4,7	1,7	0,6	124,9	1970-1982	a, b
Confluence	Nieriko	11950	0,2	5,6	21,2	40,8	56,9	19,4	2,7	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	12,3	1970-1980	a
-	Koulountou	1900	0,1	0,6	2,2	17,3	21,8	6,9	5,2	1,0	0,5	0,2	0,1	0,1	4,2	1970-1980	a, b
Niaoule-Tanou	Niaouie	1230	0,0	0,4	0,9	0,8	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	1970-1982	a, b
Gouloumbou	Gambie	4200	3,1	14,1	115,4	510,8	720,9	402,5	118,9	40,4	15,0	7,9	4,5	3,6	163,7	1970-1982	a, b
-	Sandougou	12000	0,4	3,9	14,0	9,6	9,7	2,0	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	3,6	1970-1982	b

SOURCE: Harza, 1985.

NOTES: a) Source: Kekreti Reservoir Project, Project Definition Report.
Annex C, Hydrology and Reservoir Operation Studies August, 1983.

b) Direction des Etudes, Hydrauliques, Tambacounda.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

TABLEAU 3.2.

DEBIT MENSUEL MOYEN EN 1983
ET POURCENTAGE DE LA MOYENNE A LONG TERME

Station	Fleuve	Aire de Drainage (km ²)	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Annuel
Kedougou	Gambie	7550	n.a.	4,7	34,3	118,0	183,7	81,7	20,0	10,7	4,7	1,9	n.a.	n.a.	39,0 ^a
Pourcentage par rapport à long terme		la moyenne	-	38	46	37	57	59	47	55	45	36	-	-	49
Wassadou	Gambie	21200	0,2	5,7	55,3	120,0	255,0	99,2	24,4	9,0	3,4	1,3	0,4	n.a.	47,9 ^b
Pourcentage par rapport à long terme		la moyenne	40	66	62	24	41	39	36	34	31	27	24	-	37
Gouloubou	Gambie	42000	0,3	14,8	64,2	126,0	295,0	134,0	46,1	20,3	13,4	5,0	1,3	0,4	59,1 ^c
Pourcentage par rapport à long terme		la moyenne	10	95	56	25	41	33	39	5,0	39	63	29	11	36

SOURCE: Harza, 1985.

NOTES: a) Source: Direction des Etudes Hydrauliques, Tambacounda.
Statistiques non-publiées.b) Certains débits de saison sèche aux environs de 0,0 m³/s non inclus.

c) Y compris l'estimation de certains débits de saison sèche influencés par la marée.

Etudes sur le bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

1983. Les Tableaux 3.1 et 3.2 indiquent également la nature saisonnière du débit, la crue annuelle culminant en septembre.

La crue annuelle du fleuve Gambie apporte un volume d'eau considérable qui inonde un vaste territoire. Entre 1953 et 1983, le niveau de l'eau est monté de 9,1 mètres en moyenne par rapport au niveau en saison sèche à Goloumbou, avec une amplitude de 2,8 à 13,8 mètres. Malgré l'escarpement des rives, les débordements sont fréquents pendant les crues, en particulier dans la plaine côtière. La petite crue de 1983 n'a pas apporté suffisamment d'eau pour déborder au-dessus des rives en amont.

3.1.3. Marées

La plaine côtière et la bordure occidentale du bassin continental traversées par le fleuve Gambie sont extrêmement plates avec une déclivité moyenne de 0,02 mètre/km. Le fleuve est large dans cette zone, présentant une forme d'entonnoir entre son embouchure à Banjul et Balingho, à environ 135 kilomètres en amont. Le fleuve a 10 km de large en moyenne près de Banjul et se rétrécit très rapidement, réduit à 2 km de large à Balingho. En amont de Balingho, il suit un cours sinueux sur les 199 kilomètres suivants puis emprunte un chenal plus étroit jusqu'au bassin hydrographique. Le fleuve Gambie passe de 2 km de large à Balingho à 100-150 mètres de large au-dessus de Bansang. La diminution de largeur est relativement linéaire par rapport à la distance.

La présence d'un fleuve large dans un terrain plat facilite la propagation des marées jusqu'à 530 kilomètres en amont, juste au-dessus de Goloumbou. Le marnage va des pleines marées côtières à Banjul (moyenne de 1,68 m) à 60 cm à Goloumbou pendant la saison sèche. La dynamique des marées le long du fleuve a été décrite et modélisée par la Station de recherche hydraulique (1977) et Rhein-Ruhr Ingenieur-Gesellschaft (RRI) (1984). Dix-neuf enregistreurs de niveau d'eau situés sur le cours du fleuve en Gambie fournissent depuis le début des années 70 une vaste base de données qui permet d'analyser la dynamique des marées.

La dynamique des marées le long du fleuve est assez complexe pour plusieurs raisons. Premièrement, la longueur appréciable sur laquelle les marées se font sentir dans le fleuve et la période semi-diurne permettent à deux marées de se propager en même temps le long du fleuve. Deuxièmement, les marées ne semblent pas être réfléchies à partie des rives plates du fleuve; leur énergie est au contraire progressivement dissipée dans le

fleuve à l'exception de quelques zones d'amplification (HRS, 1977). Troisièmement, le marnage diminue dans le tronçon allant de Georgetown à Goloumbou pendant la crue annuelle. Malgré ces facteurs complexes, la dynamique des marées a été modélisée et les résultats figurent au Tableau 3.3. Ce tableau indique qu'il faut presque une journée (22 heures 20 mn) aux marées pour se propager de Banjul à Goloumbou, à la vitesse moyenne de 563,5 km/jour. Le marnage reste important dans la majeure partie du fleuve affectée par les marées, dépassant un mètre jusqu'à Bansang, à peine 300 km en amont.

L'harmonique des marées (période d'oscillation de la marée) produit de forts courants inverses dans le fleuve Gambie. Ces courants sont de force asymétrique, les courants de marée descendante dépassant ceux de la marée montante. L'Institut hydraulique danois (1982) a estimé que le courant pouvait atteindre 0,9 m/s pendant la marée descendante et 0,7 m/s pendant la marée montante; ces estimations sont appuyées par des observations effectuées lors de l'Etude sur le bassin du fleuve Gambie. L'harmonique des marées fait osciller l'eau du fleuve d'amont en aval. Mais la supériorité des courants de marée descendante sur ceux de marée montante provoque un écoulement net vers l'aval qui correspond au débit de Goloumbou (HHL, 1974). Un autre aspect de l'harmonique des marées est la présence d'une marée exceptionnelle de deux semaines dans les environs de Bansang. Les études réalisées sur le terrain par la Station de recherche hydraulique (1977) indiquent que l'écoulement aval cesse quasiment pendant les marées de mortes-eaux mais reprend tous les quinze jours avec les marées de vives-eaux. La marée contribue également à l'inondation saisonnière des basses plaines baignées par le fleuve Gambie.

3.1.4. Salinité

La propagation des marées sur plus de 500 km en amont du fleuve Gambie et le faible débit en saison sèche permettent à l'eau de mer de remonter le fleuve sur près de 250 km. L'intrusion d'eau de mer est un aspect fondamental de l'écologie du fleuve. L'ampleur et la durée de l'intrusion déterminent la nature de la faune et de la flore aquatiques ainsi que l'importance des cultures pratiquées le long du fleuve.

Etant donné l'importance de la salinité de l'estuaire, HHL a réalisé une étude approfondie sur les mouvements de l'eau salée de 1972 à 1974. Ses résultats (HHL, 1974) ont été corroborés par des modèles (HHL, 1984) et des

TABLEAU 3.3.
CARACTERISTIQUES DE LA MAREE

Station	Distance de Banjul en km	Temps moyen de Propagation en		Gamme Moyenne en m
		h	min	
Banjul	-	0	00	1,68
Tendaba	103	4	32	1,52
Balingho	130	5	36	1,33
Pont de Brumen	132	5	40	1,70
Bac de Pakaliba	184	7	54	0,90
Kaur	199	8	24	1,30
Bac de Chamen	228	9	39	0,93
Kuntaur	254	10	36	1,44
Jahally	270	11	30	1,33
Patchar	282	11	54	1,25
Georgetown	295	12	30	1,19
Bansang	312	13	24	1,08
Sami Tenda	362	15	24	0,89
Basse	404	17	10	0,82
Fatoto	478	20	18	0,65
Gouloumbou	525	22	20	0,10

SOURCE: Harza, 1985.

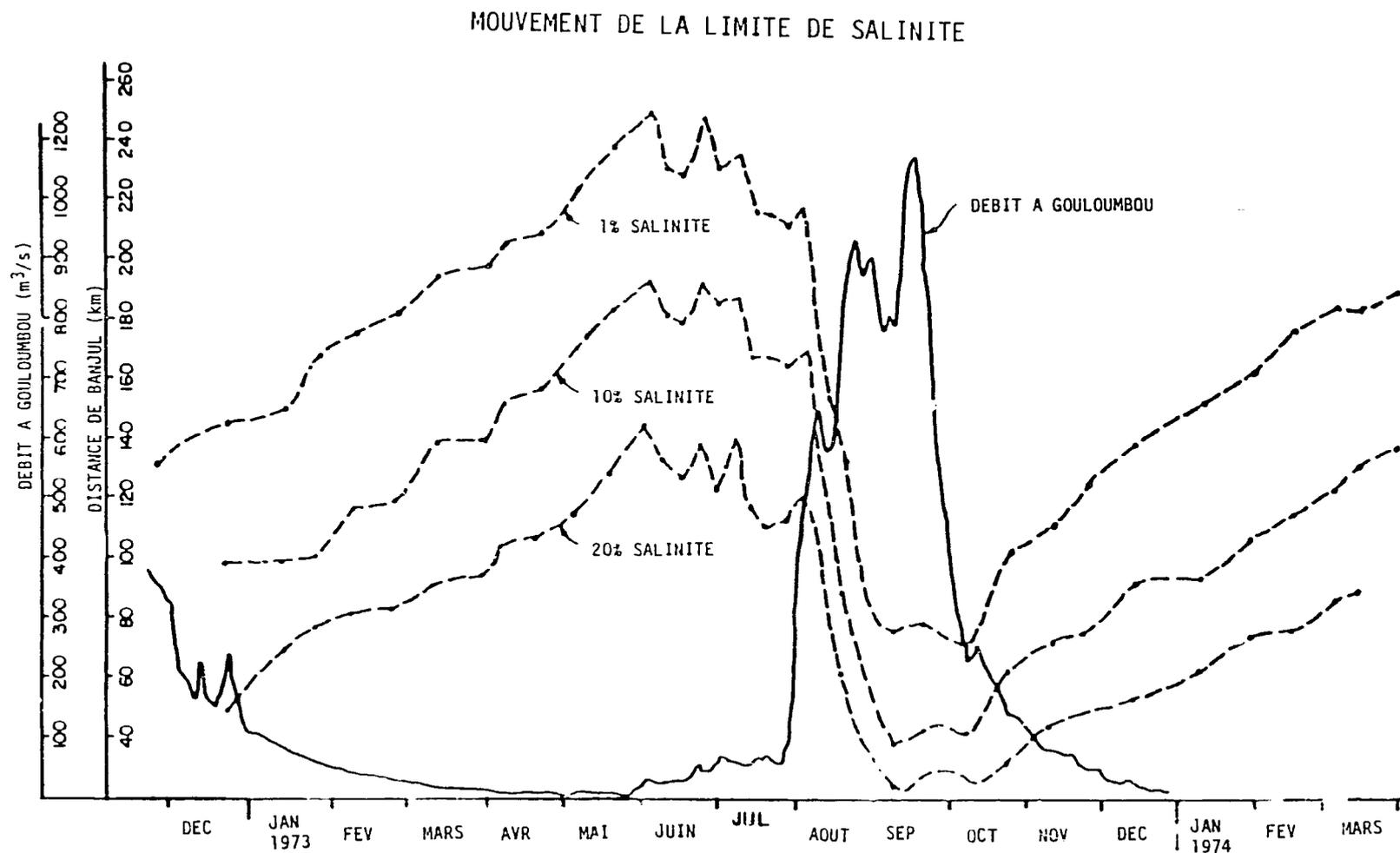
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

données enregistrées sur le terrain (Berry et al., 1985). Les détails varient selon les années en raison de l'amplitude de la crue annuelle, mais on peut dégager une tendance générale. Longitudinalement, l'eau de mer avance en amont chaque année pendant la saison sèche, avec une pénétration maximale de quelque 250 km. La limite de salinité (limite entre l'eau douce et l'eau de mer) atteint sa pénétration maximum au début du mois de juin et reste plus ou moins stationnaire jusqu'à mi-août. La crue annuelle repousse rapidement la limite de salinité en aval pour atteindre sa pénétration minimale en septembre. Cet emplacement dépend largement de l'amplitude de la crue, mais elle se situait ces dernières années entre 70 et 130 km en amont de l'embouchure du fleuve (respectivement 1973 et 1984). D'après des témoignages, la limite de salinité est descendue jusqu'à l'embouchure pendant les grandes crues de la première moitié du siècle. Au passage de la crue, l'eau de mer commence à remonter en amont fin octobre. Entre octobre et juin, la limite de salinité avance à la vitesse de 15 km/mois, puis à 20 km/mois à la fin de la saison sèche. La crue repousse la frontière sur 125 km en aval en l'espace de quelque cinq semaines. Les gradients de salinité longitudinale varient entre respectivement 0,40 et 0,17 parties/mille/km de septembre à mai (HHL, 1974). La Figure 3.2 indique le déplacement de la limite de salinité pendant l'étude de HHL.

De nombreux estuaires voient apparaître une cale de sel à l'endroit où l'eau douce recouvre l'eau de mer plus douce (McLusky, 1971). En raison de son faible débit en saison sèche, le fleuve Gambie ne présente pas ce phénomène entre octobre et août. Mais, au point culminant de la crue annuelle, on a nettement observé une cale de sel pendant l'étude de HHL. On a observé des cales verticales et longitudinales de sel entre 50 et 90 km en amont. Les Figures 3.3 et 3.4 présentent une coupe transversale de salinité en saison sèche et en période de crue, la cale de sel apparaissant clairement à la Figure 3.4. Par ailleurs, la force de Coriolis provoque une accumulation supplémentaire d'eau de mer sur la rive gauche ou sud. Les observations réalisées pendant l'Etude du bassin du fleuve Gambie indiquent que les marées ont tendance à se propager en amont le long de la rive gauche.

Dans l'estuaire, la marée crée des mouvements d'oscillation dans l'eau du fleuve. En conséquence, on a observé un cycle de salinité sur les rives

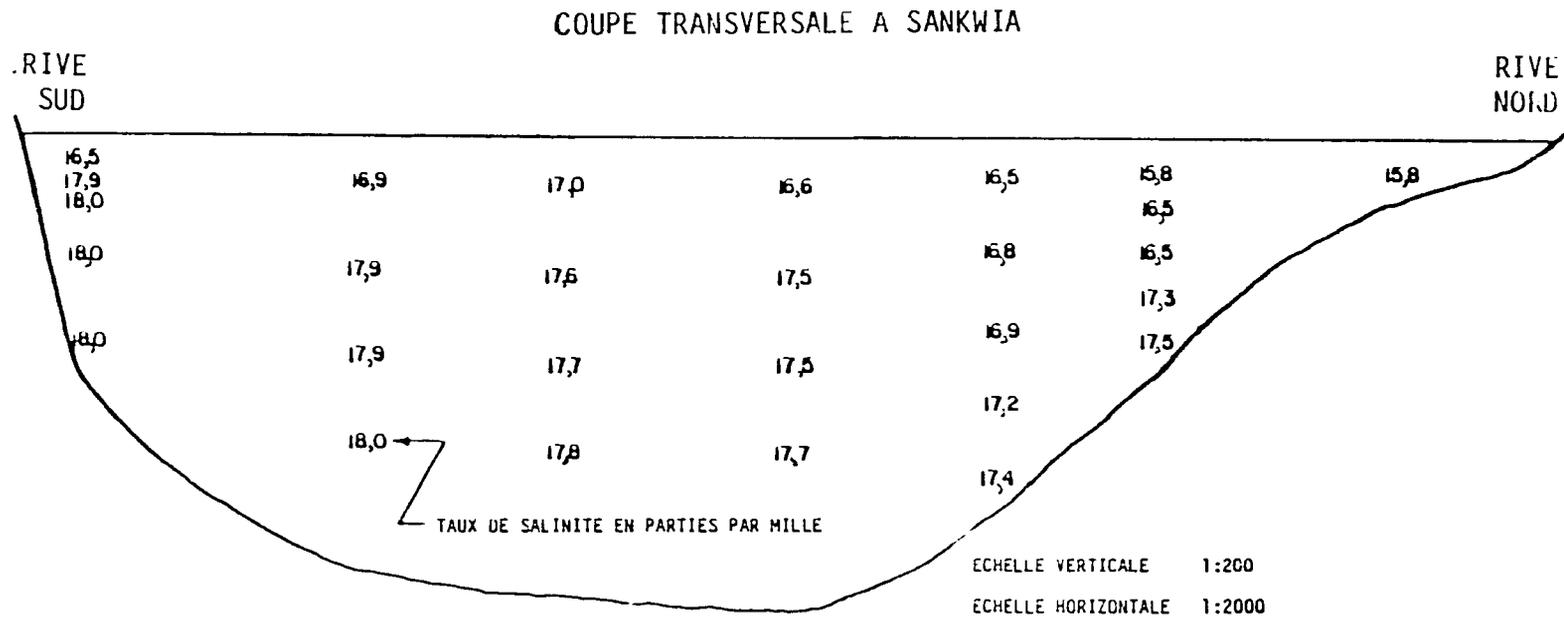
FIGURE 3.2. MOUVEMENT LONGITUDINAL DE LA LIMITE DE SALINITE
PENDANT L'ANNEE DANS LE BASSIN DU FLEUVE GAMBIE ET DEBIT A GOULOUMBOU



SOURCE: HHL, 1974.

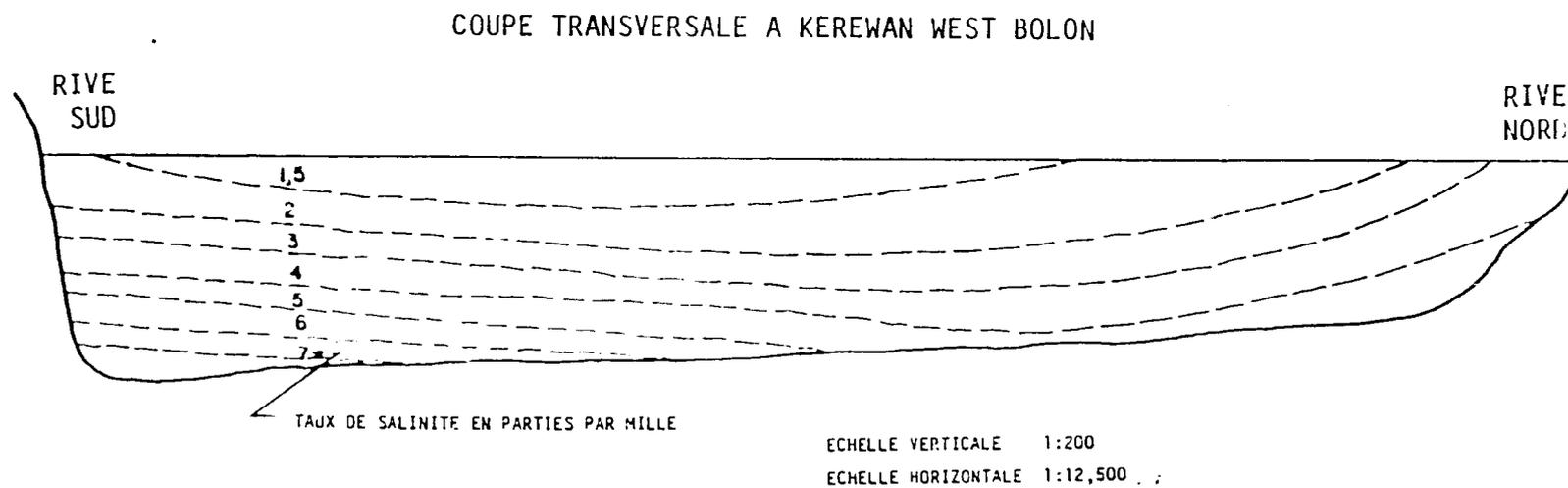
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

FIGURE 3.3. SALINITE DU FLEUVE GAMBIE - COUPE TRANSVERSALE FIN JUILLET 1973
(Coupe à 142 km en amont de Banjul)



SOURCE: HHL, 1974.

FIGURE 3.4. SALINITE DU FLEUVE GAMBIE - COUPE TRANSVERSALE DEBUT OCTOBRE 1973
(Coupe à 72 km en amont de Banjul)



SOURCE: HHL, 1974.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

du fleuve . La salinité semble augmenter pendant la marée montante et diminuer pendant la marée descendante.

3.1.5. Sédiments

Le fleuve Gambie charrie une charge de sédiments relativement faible car son fond est dur et son débit peu important pendant la saison sèche (Harza, 1985). La meilleure base de données sur la sédimentation à long terme provient des observations réalisées par ORSTOM (1978) à compter de 1974. La meilleure base de données a été réunie par notre Etude du bassin du fleuve Gambie qui comportait plus de 20 sites le long du fleuve. Les résultats de ces deux bases de données concordent parfaitement.

Les charges de sédiments en suspension dans le fleuve Gambie sont extrêmement faibles pendant la saison sèche, ne dépassant jamais 50 mg/l dans la partie constituée d'eau douce. La crue annuelle provoque une hausse du volume des eaux de ruissellement et la charge de sédimentation atteint 100 mg/l en moyenne. AHT/HHL (1984) a calculé que la charge de sédiments totale atteignant le réservoir de Kékéréti se chiffre à 265.000 tonnes par an. Ils estiment que 0,3 pour cent seulement de la réserve vivante du réservoir serait détruite par la sédimentation sur une période de 50 ans et pas plus de 0,5 pour cent sur 100 ans. Les concentrations de sédiments en suspension en Guinée étaient extrêmement faibles, généralement moins de 20 mg/l. La perte de volume des réservoirs de Kouya, Kankakouré et Kogou Foulbé a été estimée à respectivement 0,2, 2,1 et 0,8 pour cent sur 100 ans (Harza, 1985).

Les charges de sédiments en suspension sont plus élevées dans l'estuaire, dépassant généralement 100 mg/l (Berry et al., 1985). Ces charges de sédimentation supérieures ont été attribuées aux courants de marée qui balayent les sédiments sur le fond meuble du lit fluvial. Les concentrations de sédiments en suspension étaient particulièrement élevées pendant les marées de vives-eaux. Bien que les charges de sédiments en suspension fussent élevées dans l'estuaire, le mouvement aval net était modéré. Le fond du fleuve et des bolons était couvert d'une épaisse couche de matériaux meubles atteignant 25 m à Balingho. RRI (1984) estime que le réservoir de Balingho ne se remplirait qu'à - 9 m du point de référence gambien au bout de 100 ans, soit environ 10 m en dessous du niveau de basses-eaux de la réserve vivante du réservoir.

3.1.6. Eau souterraine

Bien qu'on n'ait pas réalisé d'étude approfondie sur l'eau souterraine dans le bassin du fleuve Gambie, la structure de base des couches aquifères est connue (Harza, 1985). Les quatre principales couches aquifères sont la couche peu profonde, la couche de sable éocène, la couche de sable maëstrichtien et la couche de roche dure. La couche peu profonde couvre toute la superficie de la Gambie et une partie du Sénégal oriental. La profondeur de l'eau varie entre 0 et 50 mètres. La couche de sable éocène apparaît au sud du bassin et se prolonge dans la région de la Casamance au Sénégal. La profondeur de l'eau varie entre 50 et 100 m. La couche de sable maëstrichtien se rencontre sous tout le bassin, la profondeur de l'eau allant de 0 m dans le Sénégal oriental à plus de 500 m sur la côte. Les couches de roche dure se rencontrent à travers le bassin, mais leur superficie est variable et mal connue. La couche de sable maëstrichtien est la principale source d'eau souterraine. Sa transmissivité varie de 2×10^{-4} à $4 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (Harza, 1985).

3.2. Conditions écologiques actuelles du fleuve Gambie

La prévision des incidences sur le fleuve Gambie de la mise en valeur du bassin doit commencer par une bonne compréhension du système existant. Bien qu'on ait réalisé plusieurs études sur la pêche (Johnels, 1954; Scheffers et Conand, 1976), les forêts de palétuviers (Giglioli et Thornton, 1965), et les matériaux en solution (Leesack et al., 1984), aucune étude écologique détaillée n'a encore été entreprise. Des segments entiers de la faune et de la flore n'avaient jamais été décrits avant juin 1983 lorsque ce projet a lancé son programme sur le terrain. Ces segments comprenaient le plancton, les larves de poisson et les invertébrés. L'un des principaux objectifs des Etudes du Bassin du fleuve Gambie était d'achever la description écologique manquante afin d'identifier les incidences potentielles. La présente section résume ces études écologiques.

Les études écologiques ont été organisées en vue de recueillir une vaste quantité de données de terrain originales. Cette approche a été adoptée pour deux raisons:

- Le peu d'informations obtenues à partir des enquêtes précédentes imposait de recueillir un minimum de données afin de combler les lacunes;
- La stratégie d'échantillonnage employée était fondée sur la technique de l'échantillonnage multidisciplinaire coordonné, c'est-à-dire qu'on a recueilli de nombreux types d'échantillons en même temps afin de mieux comprendre l'écologie fluviale.

Les objectifs globaux du programme sur le terrain comportaient la possibilité de faire des déductions et non des suppositions sur le fleuve Gambie. La différence est que les déductions proviennent des données recueillies dans la zone étudiée. En revanche, les suppositions consistent à appliquer à la zone étudiée les résultats obtenus à partir d'études réalisées à l'extérieur de la zone en question. Les résultats obtenus par déduction exigent beaucoup plus de données originales que ceux obtenus par supposition, mais la première méthode donne des résultats beaucoup plus percutants et plus pertinents que la deuxième.

Les descriptions écologiques fournies ci-après sont brèves et simplifiées. L'objet de cette présentation est de fournir une synthèse des résultats sans entrer dans des détails excessifs (par exemple, on évite généralement les listes d'espèces détaillées). Les détails se trouvent dans plusieurs documents techniques, parmi lesquels:

- études halieutiques (Dorr et al., 1985);
- études des invertébrés (van Maren, 1985);
- études planctoniques (Healey, et al., 1985);
- études physico-chimiques (Berry et al., 1985);
- études des forêts de palétuviers (Twilley, 1985);
- études économiques de la pêche (Josserand, 1985);
- Sols acides et sulfatés (Colley, 1985);
- études hydrologiques (Harza, 1985).

Du fait que le fleuve Gambie recouvre toute une série d'environnements depuis la zone côtière jusqu'aux petits cours d'eau du bassin de réception, on a employé une méthode d'échantillonnage stratifié pour les études écologiques. A partir des travaux précédemment réalisés sur le terrain

(voir Monteillet et Plaziat, 1979), on a divisé le fleuve en cinq zones écologiques:

- bas estuaire,
- haut estuaire,
- eaux douces du cours inférieur,
- eaux douces du cours supérieur,
- bassin de réception.

On a ultérieurement ajouté une enquête supplémentaire des bolons bordés de forêts de palétuviers au programme d'échantillonnage afin de tenir compte du rôle extrêmement important des forêts de palétuviers dans la fonction globale du fleuve Gambie. On a utilisé des caractéristiques physiques et chimiques pour définir chaque zone, puis on a défini des limites géographiques approximatives entre les zones (Figure 3.1). Ces caractéristiques sont indiquées au Tableau 3.4. La présentation des résultats écologiques suit la même approche par zone.

Au sein de chaque zone, on appliqué une stratification supplémentaire pour le programme d'échantillonnage. On a sélectionné dans chaque zone un

TABLEAU 3.4

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET LIMITES SUPERIEURES
DES CINQ ZONES ECOLOGIQUES DU FLEUVE GAMBIE

Zone	Limite supérieure	Caractéristiques Physiques
Bas estuaire	Mootah Point	Forte salinité (au dessus de 30 ppm), influence marémotrice importante
Haut estuaire	Kuntaur	Présence de salinité (1-30 ppm), influence marémotrice
Eaux douces du cours inférieur	Gouloumbou	Eau douce toute l'année, influence marémotrice
Eaux douces du cours supérieur	Frontière Sénégal-Guinéene	Eau douce, pas l'influence marémotrice
Bassin de réception	Source près de Labé	Petits cours d'eau et rivières en terrain montagneux

site d'échantillonnage primaire qui a servi de zone de collecte de la plupart des échantillons. On a effectué quatre visites sur le terrain dans toutes les zones à l'exception du bassin de réception où on a effectué seulement trois visites. Ces visites couvraient les quatre saisons hydrologiques qui sont: montée des eaux (juillet); crue (octobre), décrue (décembre) et basses eaux (mars). La visite en période de crue a été omise dans la zone du bassin de réception. Les quatre visites sur le terrain ont également correspondu à quatre des cinq saisons définies par les habitants Mandinka de la région: Sama (juillet à août), Kountchamaro (septembre à octobre), Sanyano (octobre à décembre) et Tilikando (décembre à mai).

Dans chaque zone pendant chaque visite, l'échantillonnage a été stratifié davantage afin d'étudier les effets des variations temporelles et spatiales à court terme. Les variations temporelles à court terme ont été échantillonnées selon le moment de la journée (jour ou nuit) et de la marée (basse ou haute) dans les zones estuarienne et du cours inférieur. Dans les zones du cours supérieur et du bassin de réception, on a étudié la variation temporelle à court terme en prélevant un échantillon à quatre différents moments de la journée: jour, soir, nuit et aube. On a abordé la variation spatiale à petite échelle en termes de variation longitudinale (le long du fleuve), latitudinale (à travers le fleuve) et verticale. On a employé la méthode des carrés latins (Winer, 1976; Netter et Wasserman, 1974). Le lecteur est prié de se référer à Berry et al. (1985) pour de plus amples renseignements sur ce programme d'échantillonnage.

3.2.1. Zone du bas estuaire

Le bas estuaire est essentiellement un prolongement des eaux marines côtières en un cours d'eau large et lent. L'embouchure large du fleuve Gambie permet aux marées de pénétrer dans les biefs inférieurs du fleuve. Le balayage biquotidien du fleuve assure un renouvellement constant des eaux côtières marines dans la zone du bas estuaire. Partant, même pendant l'hivernage où le débit d'eau douce est fort, les caractéristiques chimiques du bas estuaire étaient très voisines de celles de l'environnement côtier.

Les caractéristiques chimiques de la zone du bas estuaire sont typiques des estuaires en Afrique de l'Ouest. Le cours inférieur du fleuve Gambie est large (jusqu'à 15 km) et relativement peu profond, avec un chenal principal qui s'écoule au milieu du lit. Le site d'échantillonnage principal de cette zone se trouvait près de Dog Island Point (à environ 15

km en amont de Banjul). Dans cette zone, le fleuve avait légèrement plus de 6 km de large. Une large bande de boue s'étendait sur 2 km de la rive méridionale du fleuve et une bande moins large sur environ 500 m de la rive septentrionale. La bande méridionale était recouverte de seulement 50 cm d'eau à marée basse. Le chenal principal avait environ 3,5 km de large et 12 mètres de profondeur. Le fond du lit dans le bas estuaire était recouvert de vase.

Les rives du fleuve sont interrompues par de nombreux cours d'eau sinueux ou "bolons" comme on les appelle localement. On a découvert de nombreuses vasières intertidales couvertes de forêts de palétuviers Rhizophora et Avicenia des deux côtés du fleuve. Dans certains endroits, ces forêts s'étendaient sur 10 km à partir des rives du fleuve. Le mouvement des marées était très prononcé, la marée atteignant Dog Island Point une quarantaine de minutes après avoir passé Banjul. Les hauteurs de marée étaient les mêmes qu'à Banjul, soit entre 1,5 et 2 mètres.

Les eaux du bas estuaire étaient très salées, la salinité ne tombant jamais en dessous de 28,5 parties pour mille (ppm), et rarement en dessous de 31 ppm (Figure 3.5). Les effets de la dilution de l'eau douce dans cette zone étaient minimes et essentiellement limités en bordure du fleuve pendant l'hivernage. Les autres caractéristiques chimiques étaient également dominées par les eaux marines côtières. Les niveaux de silice réactifs soluble étaient faibles par rapport au reste du fleuve, alors que les concentrations de phosphore réactif soluble étaient élevées (Figure 3.6). Les concentrations d'azote soluble étaient extrêmement variables en raison de l'influence des écosystèmes des forêts de palétuviers qui avaient tendance à absorber l'azote contenu dans l'eau.

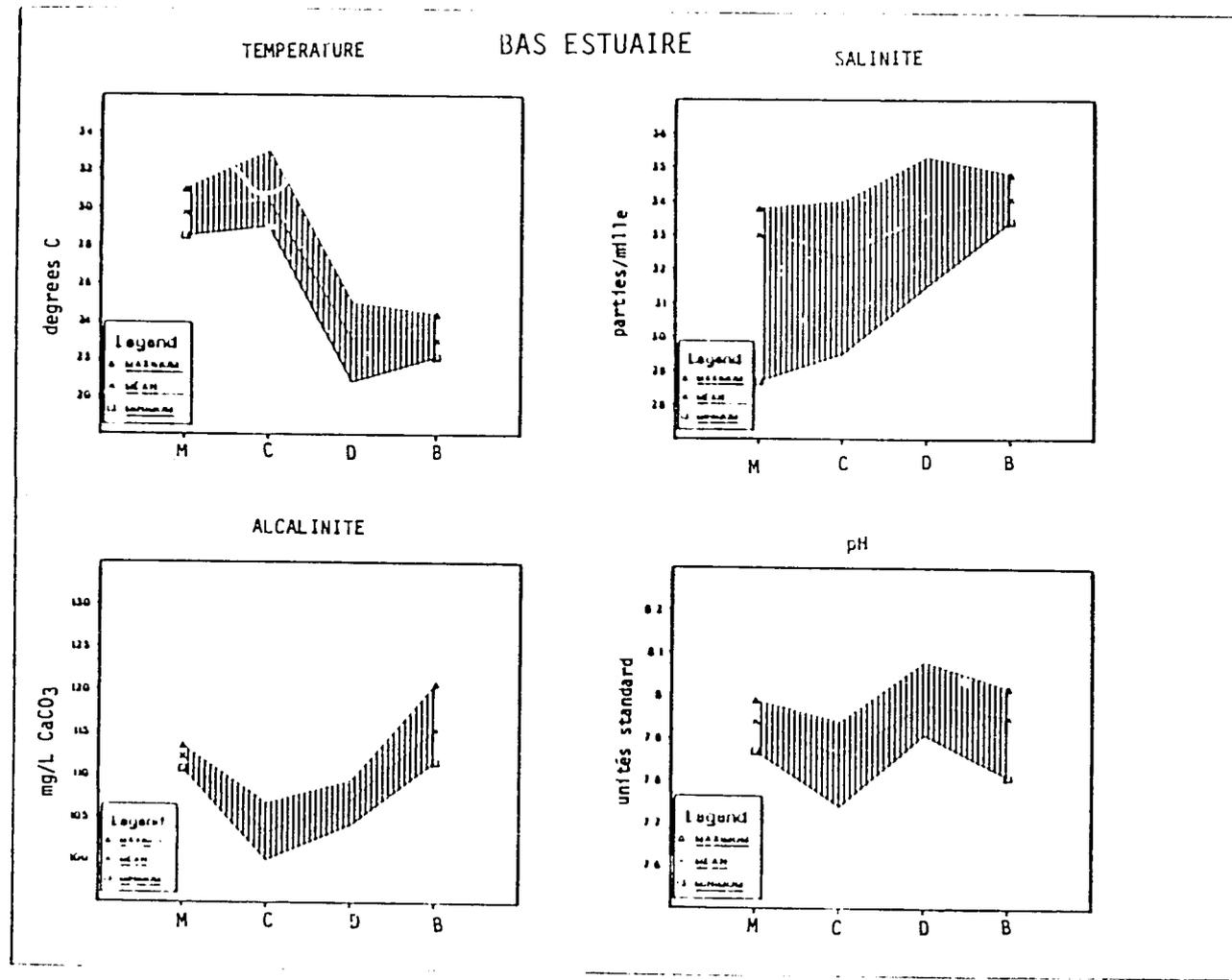
Le bas estuaire se caractérise également par la forte agitation des eaux marines. Les alcalinités et le pH étaient extrêmement stables pendant toute l'année (Figure 3.5). Le pH variait rarement de plus de 0,1 unités standard lors d'une visite sur le terrain, et l'amplitude des médianes pour chacune des quatre visites n'atteignait que 0,09 unités.

On a observé un certain degré de saisonnalité du fait de la présence de deux régimes thermiques distincts. Une saison chaude avec des températures hydriques avoisinant 30°C persistait de juin à novembre (Figure 3.5). La saison fraîche durait de novembre à mi-mai avec des températures de quelque

LEGEND FOR FIGURES 3.5. and 3.6.

Les unités sur l'axe X indiquent les quatre saisons hydrologiques du fleuve Gambie: M - montée des eaux; C - crue annuelle; D - baisse des eaux et B - basses eaux. La ligne supérieure de chaque graphique représente le maximum, la ligne au milieu, la moyenne et la ligne inférieure, le minimum.

FIGURE 3.5. FLUCTUATION SAISONNIERES DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES DANS LE ZONE DU BAS ESTUAIRE



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

FIGURE 3.6. FLUCTUATION SAISONNIERES DES VARIABLES CHIMIQUES DANS LE ZONE DU BAS ESTUAIRE

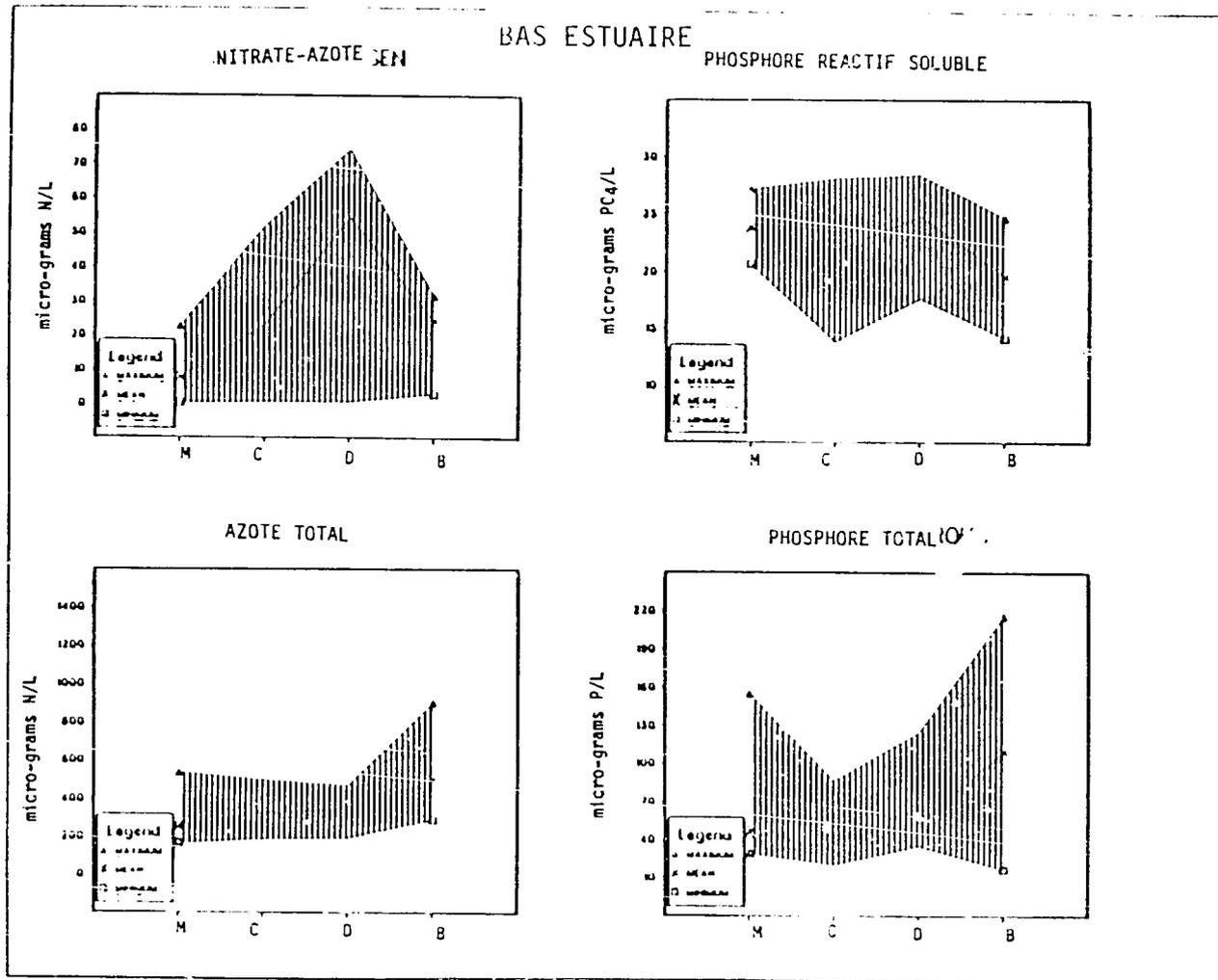
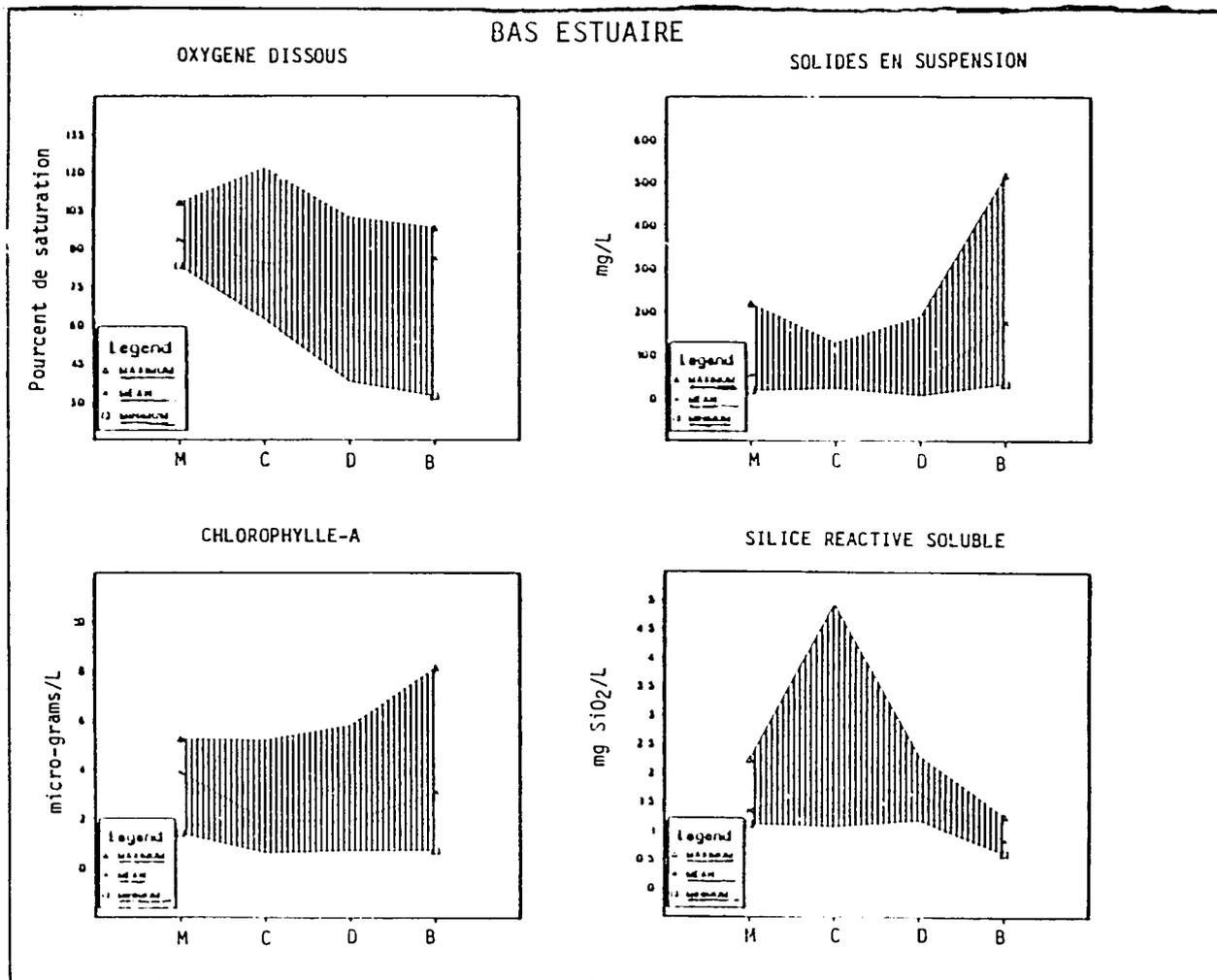


FIGURE 3.6. (suite)



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

23°C. Le régime thermique du bas estuaire, similaire au régime océanique côtier, était principalement contrôlé par l'influence du courant nord-équatorial (Sverdrup et al., 1942). En conséquence, les températures du bas estuaire divergeaient généralement des températures enregistrées sur le reste du fleuve, avec environ 2°C de moins.

L'analyse réalisée par analyse de variance (ANOVA) des données obtenues par la méthode des carrés latins a indiqué que les variations temporelles et latitudinales à court terme étaient des facteurs importants affectant la distribution et la concentration des matériaux dissous et en suspension. La marée et le moment de la journée avaient un effet sur de nombreuses variables en raison du mélange opéré par les marées. La marée montante apportait des eaux marines côtières dans les portions inférieures du fleuve où elles se mêlaient à l'eau de l'estuaire. Ces eaux marines côtières avaient plusieurs propriétés légèrement différentes de l'eau du fleuve. Par exemple, les marées montantes peuvent avoir une eau plus fraîche et plus salée que les marées descendantes. En conséquence, le mélange des eaux provoqué par les marées est considéré comme un facteur essentiel pour préserver les caractéristiques marines du bas estuaire.

Les variations latitudinales étaient également considérées comme un élément important de la dynamique du bas estuaire. On a observé de grandes différences entre les échantillons recueillis en quatre points du fleuve. Les concentrations en azote nitrique tombaient parfois presque à zéro le long des rives du fleuve. On a attribué cet appauvrissement de l'eau en azote à l'activité des écosystèmes des forêts de palétuviers. A marée descendante, l'eau s'écoulait des bolons à palétuviers en longeant les rives du fleuve. La comparaison des échantillons entre le milieu du lit et les rives a indiqué une nette différence. Ces facteurs se combinent pour conférer au bas estuaire un certain degré d'hétérogénéité spatiale.

Les caractéristiques marines et l'hétérogénéité de la zone du bas estuaire fournissaient un habitat très approprié pour les espèces marines côtières. A de nombreux égards, on peut considérer le bas estuaire comme une baie océanique qui pénètre à 50 km à l'intérieur des terres. Cependant, le bas estuaire est sensiblement plus productif que de nombreuses zones côtières en raison de l'apport de détritiques organiques de la forêt de palétuviers. La faune de cette région était généralement marine pendant

toute l'année. Le plancton, les invertébrés et les espèces de poissons étaient celles qu'on rencontre couramment le long des côtes. Le phytoplancton et le zooplancton marins abondaient à toute époque de l'année. Les invertébrés tels que les oursins, les seiches, les crevettes, les crabes et les étoiles de mer étaient courants dans le bas estuaire (van Maren, 1985). Les poissons jeunes et adultes présents dans l'estuaire étaient également représentatifs des espèces qu'on rencontre habituellement le long des côtes. Le nombre d'espèces et la biomasse globale de poissons capturés dans le bas estuaire étaient plus importants que dans toute autre zone du fleuve. Les espèces de divers habitats et niveaux trophiques étaient très répandues. Les planctivores pélagiques étaient principalement représentés par les sardines (Sardinella maderensis), le bongu (Ethmalosa fimbriata), et le lefflefo (Ilisha africana). Les piscivores/omnivores d'eaux médianes comprenaient: le tambour (Fonticulus elongatus, Pseudotolithus senegalensis, et P. brachygnathus), le borama (Pentanemus quinquarius) et le kujalo (Polydactylus quadrifilis). Parmi les poissons considérés comme des détritivores/omnivores benthiques, plusieurs espèces de poissons chats (Arius latiscutatus, A. houdeloti, A. mercatoris et Galeichthys feliceps), et le Galeoides decadactylus étaient les plus courants.

Les prises de poissons dans le bas estuaire étaient de loin les plus importantes des cinq zones du fleuve Gambie (voir sections 3.2 et 3.3). Il en allait de même pour les prises de crevettes pénaéides. Les niveaux de biomasse de phytoplancton et les taux de production primaire n'étaient pas particulièrement élevés, ce qui indique une base alimentaire à base de détritus (Twilley, 1985). Le grand nombre d'espèces détritivores et nécrophages (comme le crabe et les poissons se nourrissant au fond de l'eau) corroborent cette hypothèse. Une source riche et abondante de matière organique nécessaire pour maintenir cette base alimentaire pénètre dans le fleuve lors du balayage biquotidien des bolons à palétuviers et des rives.

3.2.2. Zone du haut estuaire

Les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de la zone du haut estuaire contrastent avec celles du bas estuaire. Alors que les deux sections du fleuve contenaient des eaux saumâtres pendant l'année et étaient entourées de forêts de palétuviers, les similarités entre les zones se limitaient à ces deux points. Les principales distinctions entre les deux zones comprenaient une morphométrie fluviale assez différente, la dynamique hautement saisonnière du haut estuaire et une faune et une flore différentes.

Le site d'échantillonnage primaire pour la zone du haut estuaire se situait juste en aval d'Elephant Island, à environ 155 km en amont de Banjul (voir Figure 3.1). Le fleuve occupait à cet endroit un chenal relativement profond entouré de forêts de palétuviers luxuriantes. Les rives du chenal étaient abruptes, avec un dénivelé de 8 à 10 m, à moins de 10 m des palétuviers. La profondeur du chenal augmentait progressivement jusqu'à un maximum de 18 m. Le chenal principal avait environ 500 m de large juste en dessous d'Elephant Island. La morphométrie sur le site d'échantillonnage semblait représentative de l'ensemble de la zone du haut estuaire. On apercevait ici et là des bandes de boue le long des rives à l'extérieur des méandres du fleuve.

Le fleuve avait un très grand nombre de cours d'eau tortueux bordés de palétuviers. Ces cours d'eau, ou bolons, avaient 2 à 15 km de long. Le terrain extrêmement plat qui longe le fleuve permet aux forêts de palétuviers de s'étendre sur 3 km à partir des rives. L'échange de matériaux, en particulier des détritiques, entre les bolons et le fleuve était extrêmement important (Twilley, 1985). Derrière les palétuviers, une vaste plaine inondable s'étendait sur un autre kilomètre de large. Pendant l'hivernage, cette plaine était recouverte de 25 à 50 cm d'eau.

La force physique dominante dans le haut estuaire était le remous provoqué par la marée. Le fleuve avait le même schéma biquotidien de marées qu'à Banjul, mais avec plus de 7 heures de retard entre Elephant Island et Banjul. Les hauteurs de marée atteignaient environ 1,2 m à Bai Tenda, soit 50 cm de moins qu'à Banjul. Le remous provoqué par les marées était sensible et on observait un brassage sur toute la longueur des bolons et jusqu'aux plaines inondables derrière les bolons. Les courants de marée et fluviaux dans le principal chenal produisaient un remous suffisant pour

maintenir les concentrations de substances en solution et la température uniformes dans la colonne d'eau. Pendant les grandes marées, les courants dépassaient souvent 3 km/h. Ces courants servaient à mélanger une grande quantité de sédiments mous dans la colonne d'eau observés sous forme de forte concentration de solides en suspension. Les courants brassaient également les rives et le fond meuble et vaseux des bolons dont ils agitaient la boue.

Les aspects saisonniers du haut estuaire se composaient de deux facteurs, le cycle thermique annuel et la structure d'écoulement laminaire. Le cycle thermique était principalement lié aux températures atmosphériques. La zone du haut estuaire se trouvait manifestement assez loin de l'océan pour ne pas subir les effets du courant nord-équatorial. Les températures ont décliné régulièrement entre la visite sur le terrain en période de montée des eaux (juillet) et celle réalisée en période de basses eaux (mars), entre respectivement 30,2°C et 24,6°C en moyenne.

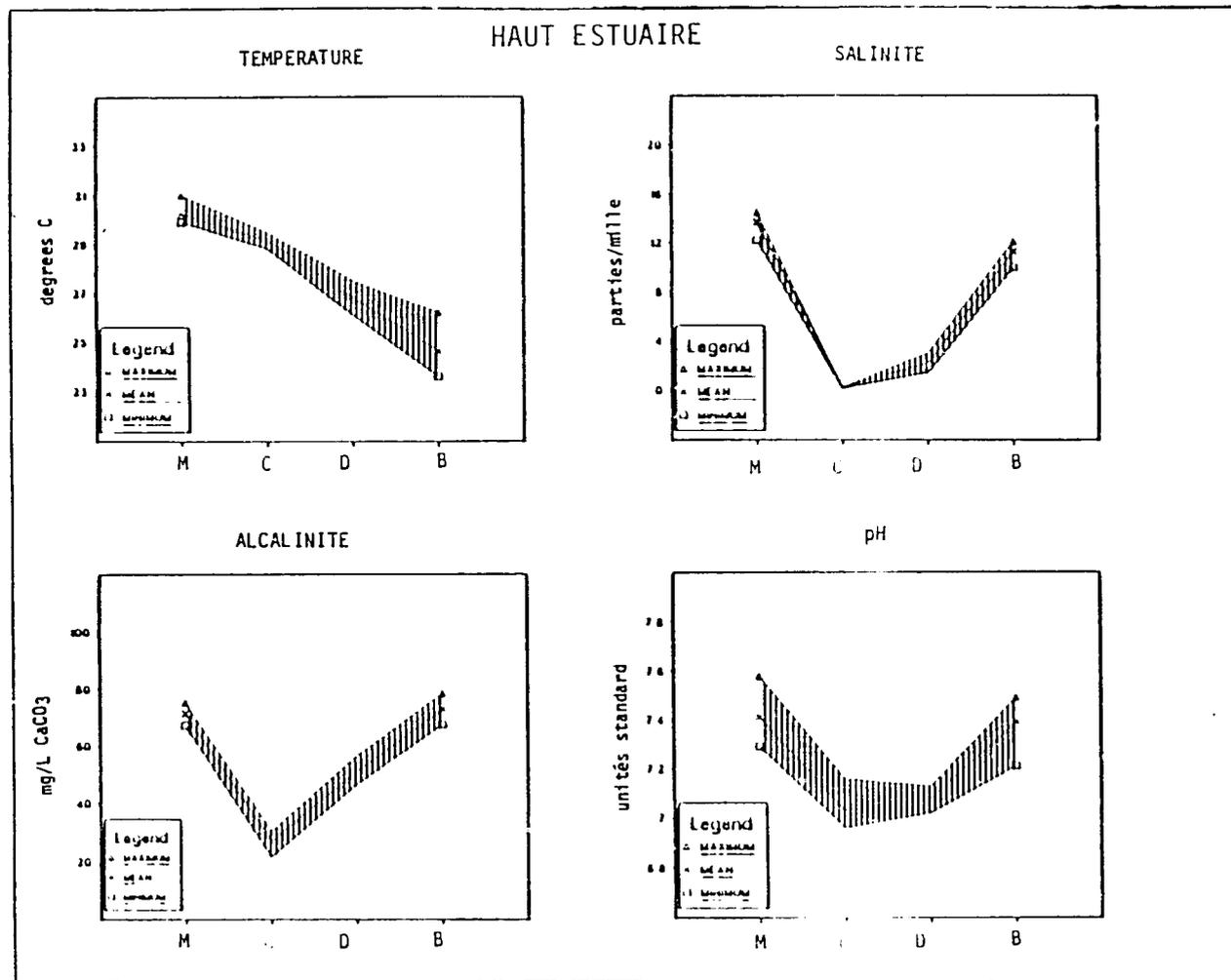
Alors que le cycle thermique dans le haut estuaire influençait les divers mécanismes comme les rythmes de respiration, le cycle annuel le plus important était le débit laminaire. La hausse du débit du fleuve Gambie pendant la crue annuelle réduisait la salinité dans le haut estuaire de 13,7 pp en juillet à 0,2 ppm en octobre (Figure 3.7). La salinité passait ensuite à 2,2 ppm avant décembre et à 11,2 ppm avant mars. Ces variations du niveau de salinité exerçaient une forte pression sur la faune et la flore aquatique du haut estuaire. Des salinités faibles mais mesurables, entre 0,5 ppm et 12 ppm, sont très difficiles à supporter pour de nombreuses espèces; ces espèces se caractérisent souvent par une faible diversité (McLusky, 1971). Le cycle annuel de la salinité est suivi d'un cycle annuel du pH et de l'alcalinité (Figure 3.7). L'eau de mer est bien brassée, avec un pH et une alcalinité plus élevée que l'eau douce (Strickland et Parsons, 1972). La variation saisonnière du taux de salinité de 13,7 ppm à 0,2 ppm s'accompagnait d'une baisse du pH et de l'alcalinité totale.

L'évolution saisonnière dans la zone du haut estuaire n'était pas limitée aux effets de salinité et thermiques. Les forts débits d'eau douce pendant la crue annuelle semblait produire une suite d'effets chimiques (Figures 3.8 et 3.9). Les concentrations de solides en suspension étaient fortes pendant la crue, de même que les concentrations totales d'azote et de phosphore. Les niveaux d'oxygène et de chlorophylle dissous avaient une

LEGEND FOR FIGURE 3.7.

Les unités sur l'axe X indiquent les quatre saisons hydrologiques du fleuve Gambie: M - montée des eaux; C - crue annuelle; D - baisse des eaux et B - basses eaux. La ligne supérieure de chaque graphique représente le maximum, la ligne au milieu, la moyenne et la ligne inférieure, le minimum.

FIGURE 3.7. FLUCTUATION SAISONNIERES DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES DANS LE ZONE DU HAUT ESTUAIRE



variation saisonnière inverse; ils déclinaient pendant la saison des crues. Les eaux saumâtres de la saison des crues n'alimentaient qu'une maigre population de phytoplancton et permettaient un très faible niveau de productivité (Healey et al., 1985).

Les concentrations des nutriments solubles indiquaient une nette tendance annuelle. Les concentrations de silice réactive soluble, de phosphore réactif soluble et d'azote nitrique soluble suivaient toutes les mêmes tendances saisonnières. Les concentrations augmentaient dramatiquement entre la première (juillet) et la seconde (octobre) visite, suivi d'une hausse supplémentaire (avec une légère baisse pour le nitrate) jusqu'à la troisième visite (décembre) et d'un important déclin jusqu'à la quatrième visite (mars) (voir Figure 3.8). Les explications de ces tendances varient, mais on les attribue généralement à la hausse des concentrations de nutriments dans les eaux de ruissellement qui accompagnent la crue annuelle. Dans la zone du bas estuaire, la variation temporelle à court terme des nutriments solubles était généralement aussi importante que la variation annuelle, reflétant l'absence de saisonnalité. En revanche, le haut estuaire avait une variation temporelle à court terme relativement faible par rapport à une forte variabilité saisonnière.

Les résultats de l'analyse ANOVA mettaient l'accent sur le fort degré de brassage provoqué par la marée dans la zone du haut estuaire. Les échantillons recueillis à diverses profondeurs de la colonne d'eau, dans diverses stations le long du fleuve, ou dans des coupes transversales du fleuve n'étaient généralement pas statistiquement distincts. En d'autres termes, le fort degré de brassage par la marée a obscurci toute structure liée à une variabilité spatiale à petite échelle. La variabilité temporelle à court terme était un important facteur affectant la distribution et la concentration de nombreuses variables. A mesure que la marée changeait, l'eau avançait et reculait dans le fleuve et les bolons. Du fait que la zone du haut estuaire était une région de forts gradients sur de courtes distances (Berry et al., 1985), le mouvement de l'eau le long du fleuve produisait des changements sensibles dans les conditions physiques et chimiques. Qui plus est, les écosystèmes des forêts de palétuviers avaient un effet dramatique sur les conditions chimiques de l'eau. A marée descendante, l'eau des bolons bordés de palétuviers pénétrait dans les

chenaux du fleuve et se mélangeait avec l'eau du fleuve, modifiant les conditions chimiques.

Dans les biefs du haut estuaire, une zone de fortes fluctuations de salinité, un nombre restreint d'animaux marins peuvent subsister. Ces animaux tolèrent de forts écarts de salinité ou emploient des stratégies leur permettant d'échapper aux conditions de faible salinité. Des exemples respectifs en sont les jeunes crustacés pénaéides et les polychètes. Les invertébrés d'eau douce, principalement représentés par des larves de mouches (Nematocera et Chaoborida), n'apparaissent que pendant la crue annuelle. Le gros du benthos invertébré de la zone du haut estuaire se composait des espèces vivant en eaux saumâtres qui se développent le mieux entre l'eau douce et l'eau de mer, telles que le bigorneau Tympanotonus fuscata, la crevette Crangon et Palaemonetes et le crabe Sesarma.

Le plancton et le necton (petits animaux et plantes flottants et animaux nageants) avançaient et reculaient dans le haut estuaire en fonction de la salinité. Pendant les mois de forte salinité (février à juillet), on observait une riche communauté estuarienne, composée de:

- phytoplancton et zooplancton marins
- crevettes
- crabes
- méduses
- espèces de poissons côtières.

Les pêcheurs artisanaux se déplaçaient également dans la région en suivant les mouvements migrateurs des crevettes.

Le bongga planctonivore (Ethmalosa fimbriata) et le lefflefo (Ilisha africana) étaient répandus mais pas aussi fréquents dans le haut estuaire que dans le bas estuaire. Une espèce de tambour (Fonticulus elongatus) était relativement courante dans la colonne d'eau. L'Elops senegalensis et le kujalo (Polydactylus quadrifilis) étaient d'autres omnivores répandus. Dans l'habitat benthique, quatre espèces de poisson chat (Arius, Chrysichthys, Synodontis et Schilbe) et une espèce de sole (Cynoglossus senegalensis) étaient relativement répandues. Dans l'ensemble, la diversité des espèces dans la zone du haut estuaire était moins importante que dans le bas estuaire.

Nombre des espèces marines côtières semblaient utiliser le haut estuaire pour frayer et/ou élever leur progéniture. Les formes larvaires et

FIGURE 3.8. FLUCTUATION SAISONNIERES DES VARIABLES CHIMIQUES DANS LE ZONE DU HAUT ESTUAIRE

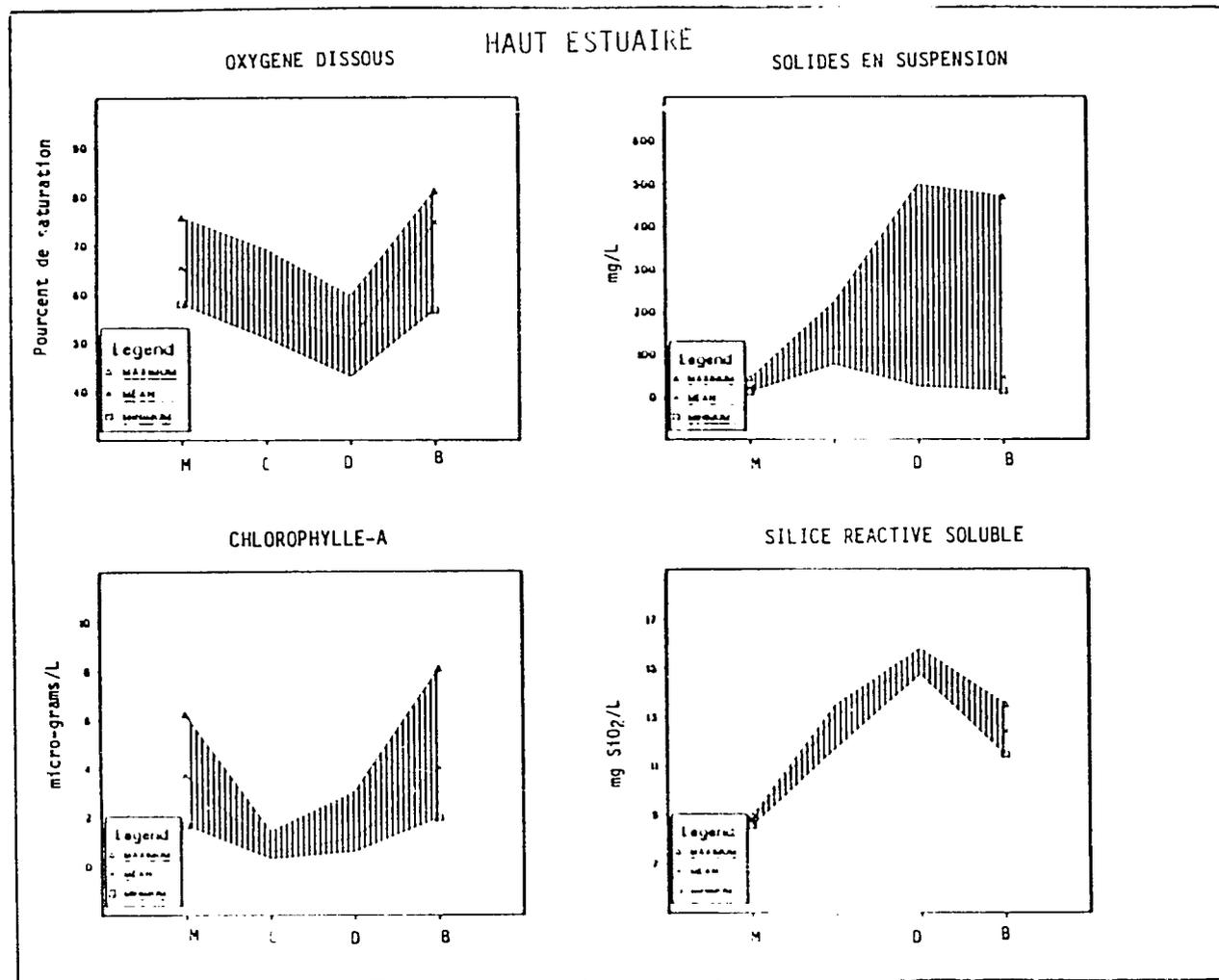
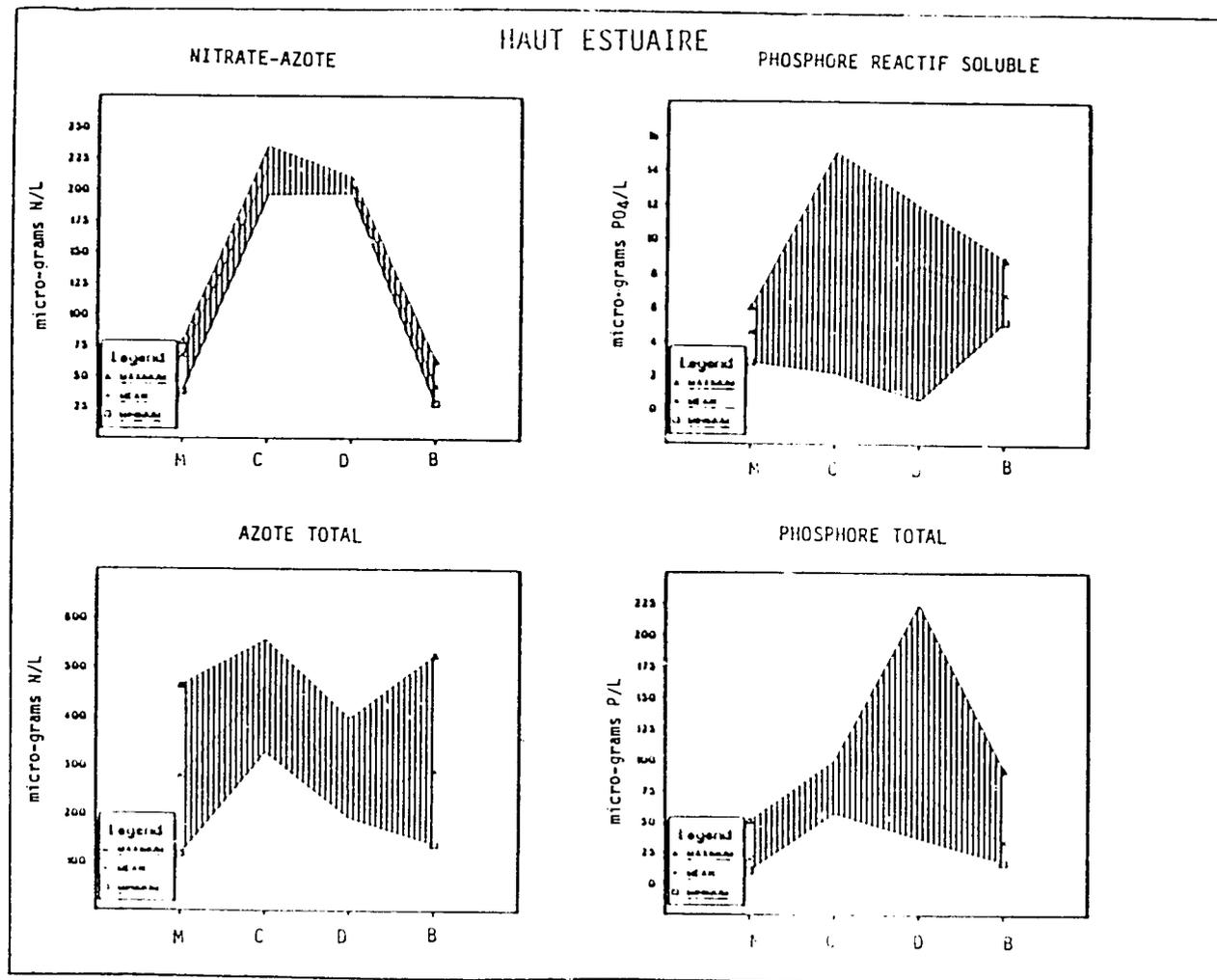


FIGURE 3.8. (suite)



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

LEGEND FOR FIGURE 3.8.

Les unités sur l'axe X indiquent les quatre saisons hydrologiques du fleuve Gambie: M - montée des eaux; C - crue annuelle; D - baisse des eaux et B - basses eaux. La ligne supérieure de chaque graphique représente le maximum, la ligne au milieu, la moyenne et la ligne inférieure, le minimum.

juvéniles étaient abondantes dans de nombreux bolons (Dorr et al., 1985; van Maren, 1985). Les plaines inondables font probablement l'objet d'une importante activité de frai (Welcome, 1979). Mais les faibles précipitations de l'hivernage de 1983 ont empêché la submersion continue des plaines inondables et l'utilisation subséquente de la zone pour le frai.

La zone du haut estuaire était similaire à celle du haut estuaire en ce sens que la chaîne alimentaire était apparemment basée sur les détritiques. Les taux de production primaire étaient faibles et la zone euphotique (portion de la colonne d'eau ayant une intensité lumineuse suffisante pour permettre une photosynthèse par les algues) était relativement peu étendue à 1 m ou 1,5 m de la surface de l'eau. Les taux de métabolisme bactérien étaient extrêmement élevés, en particulier près du fond du fleuve (Healey et al., 1985). L'important apport de détritiques de palétuviers constituait une source riche et constante de matière organique pour les bactéries (Twilley, 1985). De nombreux invertébrés et des poissons du haut estuaire sont des nécrophages et des détritivores.

3.2.2.1. Ecosystèmes de palétuviers. L'importance des écosystèmes de palétuviers pour l'écologie du haut estuaire est apparue dès le début de l'étude. La découverte de cette importance a incité à mener une étude sur les écosystèmes de palétuviers. L'objectif principal de l'étude des palétuviers était de déterminer l'échange de matériaux entre le fleuve et les bolons dans le haut estuaire, ainsi que caractériser en partie la dynamique s'opérant dans les bolons.

Les écosystèmes de palétuviers du fleuve Gambie s'étendent de l'embouchure du fleuve à l'extrémité de la zone de pénétration de l'eau de mer, à environ 250 km en amont, près de Kuntaur. Les forêts de palétuviers le long du fleuve Gambie comprennent jusqu'à sept espèces d'arbres de trois genres différents. Chaque genre de palétuvier a son propre seuil de tolérance au sel, aussi la composition des espèces varie-t-elle à mesure qu'on progresse en amont. Les espèces situées près de l'océan sont chétives et clairsemées en raison de la salinité excessive des replats boueux (l'hypersalinité est une condition dans laquelle la teneur de l'eau en sel dépasse largement celle de l'eau de mer en raison de la forte évaporation). Les palétuviers près de la ligne de pénétration supérieure de l'eau de mer ne poussaient qu'en petits bosquets isolés au bord du fleuve. Les palétuviers près de Bai Tenda étaient de loin la végétation la plus

luxuriante avec des spécimens de plus de 30 m de haut; le site d'échantillonnage primaire pour l'étude des palétuviers figurait parmi ces îlots luxuriants. Il y avait deux raisons principales au choix de Bai Tenda comme lieu d'étude. Premièrement, cela permettait de combiner l'étude sur les palétuviers à l'étude écologique de la zone du haut estuaire. Deuxièmement, cette section des palétuviers le long du fleuve Gambie sera éliminée par la construction du barrage de salinité.

Le long du fleuve Gambie près de Bai Tenda, les palétuviers bordent généralement les bolons et le chenal fluvial principal. Les bolons sont extrêmement sinueux et ont jusqu'à 15 km de long. L'affouillement des marées confère une assez grande largeur aux bolons avec des profondeurs de chenal de 1 à 5 m et des largeurs de 5 à 30 m. Les bolons les plus étroits sont souvent entièrement recouverts de treillis de branchages de Rhizophora racemosa.

Les bolons de la zone de Bai Tenda étaient balayés deux fois par jour par la marée qui est si prononcée qu'on peut apercevoir les impulsions à l'œil nu. Lorsque le niveau des eaux atteignait les trois-quarts du niveau de la marée haute ou davantage, les replats boueux où poussent les palétuviers étaient recouverts d'eau. Les îlots de palétuviers s'étendent parfois sur plusieurs centaines de mètres à partir des rives des bolons. Les bolons près de Bai Tenda étaient si nombreux qu'ils produisaient une forêt continue remontant parfois à 3 km du fleuve. Plus en aval, les forêts s'étendaient à 10 km du fleuve. Les forêts de palétuviers n'étaient pas continues dans le bas estuaire parce que les marais salants ou les replats boueux couverts d'eau hypersalée provoquaient de nombreuses ouvertures entre les forêts.

Les écosystèmes de palétuviers étaient biologiquement très actifs et, partant, ils avaient un effet sensible sur la plupart des paramètres de qualité de l'eau. Ces effets ont été étudiés grâce aux expériences suivantes:

- à différentes périodes de la marée (marée haute, marée descendante, marée basse, marée montante);
- différentes heures de la journée (jour, crépuscule, nuit, aube).

Les échantillons ont été prélevés au milieu du chenal principal du fleuve Gambie et jusqu'à cinq emplacements différents dans un bolon de palétuviers. On a comparé ensuite les échantillons d'un emplacement

prélevés à plusieurs moments et de plusieurs emplacements au même moment. Ces comparaisons ont mis en évidence des changements nets dans la valeur de chaque paramètre de qualité de l'eau.

Dans le principal chenal fluvial et à l'embouchure des bolons, les changements apparaissant dans la plupart des variables pendant un cycle de marée étaient faibles (Figures 3.9 et 3.10). En revanche, les changements à un moment donné sur plusieurs kilomètres en remontant les bolons étaient sensibles. Par exemple, l'alcalinité augmentait de plus 70 pour cent entre une marée haute diurne et la marée basse nocturne suivante. Les changements d'alcalinité à l'embouchure des bolons étaient négligeables. Une structure similaire s'est dégagée pour la conductivité et le pH (Figure 3.9). Les conductivités dans les biefs supérieurs du bolon augmentaient de quelque 30 pour cent entre la marée haute diurne et la marée basse nocturne, tandis que le pH variait de 0,2 unités. Ces deux variables ne changeaient pas de manière appréciable au milieu du lit du fleuve Gambie ni à l'embouchure du bolon se jetant dans le fleuve principal.

L'azote nitrique subissait des variations considérables entre la marée haute et la marée basse dans le réseau de bolons. Dans les biefs supérieurs, les concentrations de nitrate sont tombées de 200 ug/l à marée haute à 20 ug/l à marée basse (Figure 3.10). Les niveaux d'azote restaient inchangés, tant au milieu du lit qu'à l'embouchure du bolon. Les concentrations de silice dans les biefs supérieurs du bolon indiquaient une hausse sensible entre la marée haute et la marée basse (Figure 3.10). Ces changements sensibles et brutaux dans les concentrations de nutriments dans les biefs supérieurs des bolons à palétuviers indiquaient la présence d'une communauté biologique extrêmement active. L'absorption et le dégagement des éléments essentiels à la croissance sont attribués aux palétuviers eux-mêmes et/ou à l'association de la faune et de la flore de l'écosystème de palétuviers.

Les échantillons biologiques indiquaient une communauté riche et active dans l'écosystème de palétuviers. Les algues étaient très développées; les niveaux les plus élevés de chlorophylle enregistrés au cours de l'étude d'un an ont été observés dans les bolons à palétuviers. Les taux les plus élevés de production primaire de phytoplancton étaient mesurés en association avec les fortes concentrations de chlorophylle. On a observé une forte population bactérienne métaboliquement active dans plusieurs bolons. La

FIGURE 3.9. MODIFICATIONS DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES EN FONCTION DE LA DISTANCE ET DU TEMPS DANS UN BOLON DE PALETUVIERS PRES DE BALINGHO

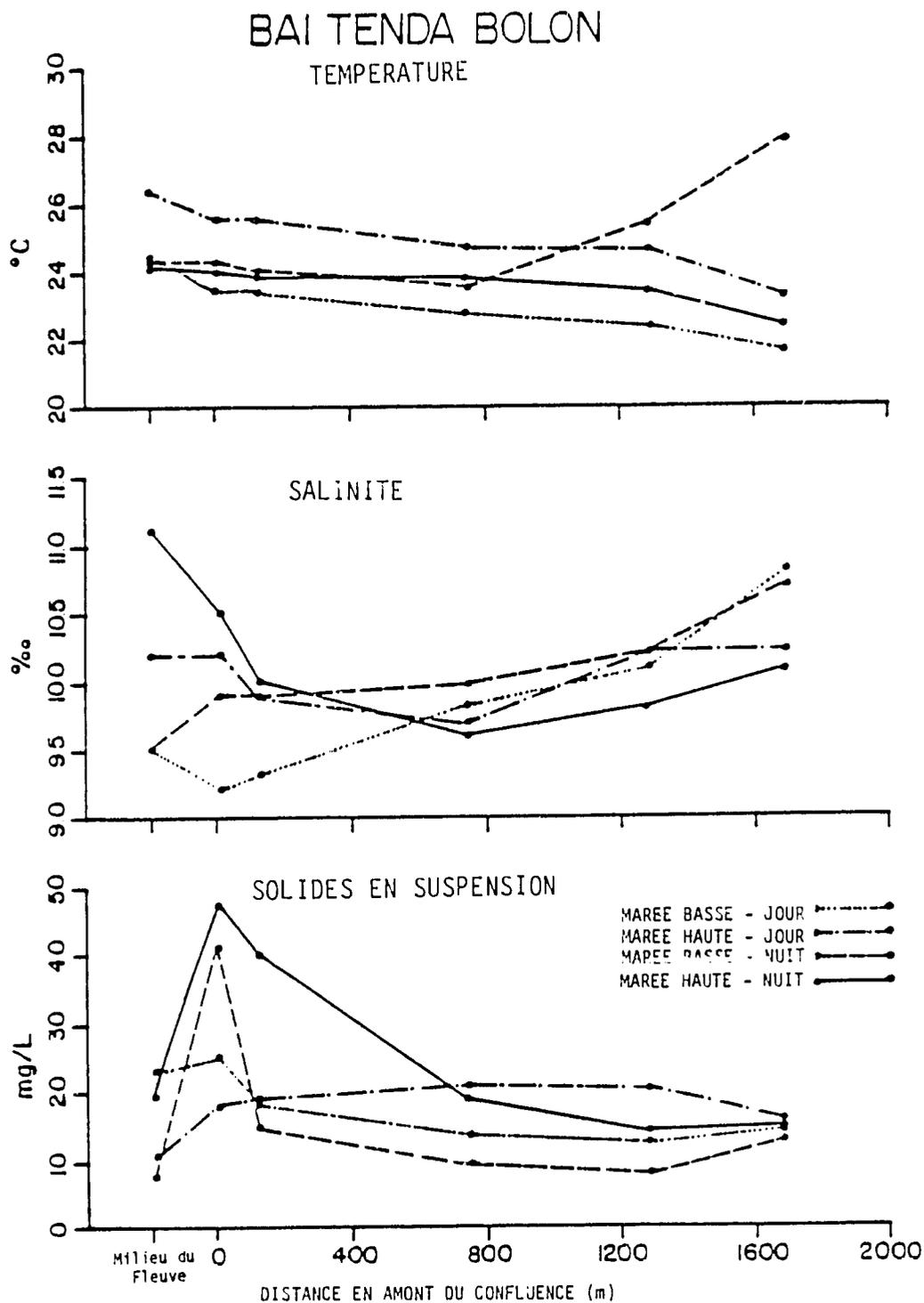
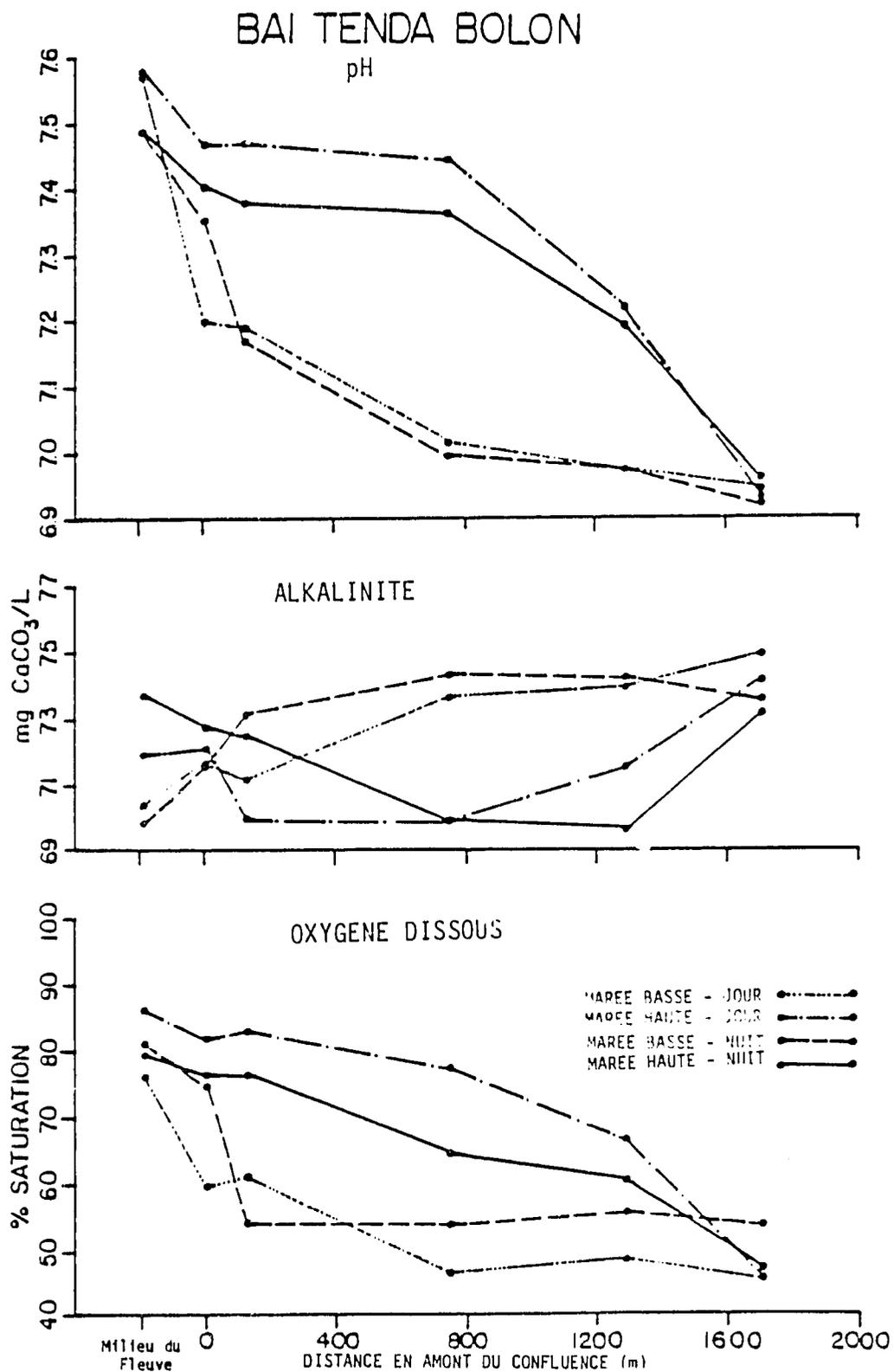


FIGURE 3.9. (suite)



LEGEND FOR FIGURES 3.9. et 3.10.

Les unités sur l'axe X indiquent la distance en amont du confluence du bolon et du fleuve. Tous les échantillons ont été pris dans une période de 24 heures.

FIGURE 3.10. MODIFICATIONS DES VARIABLES CHIMIQUES
EN FONCTION DE LA DISTANCE ET DU TEMPS DANS UN
BOLON DE PALETUVIERS PRES DE SALINGHO

BAI TENDA BOLON

(NO₂ + NO₃) - N

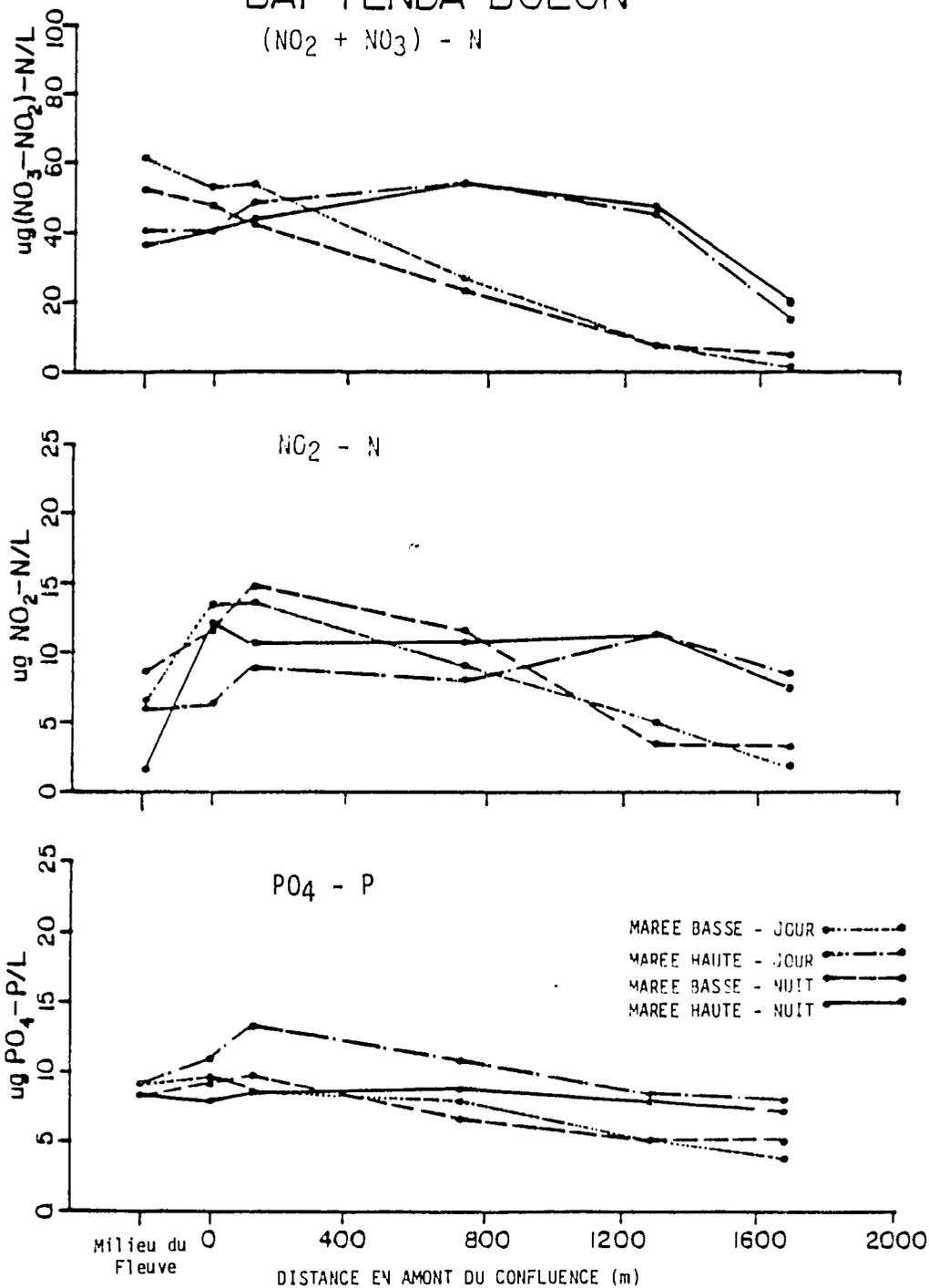
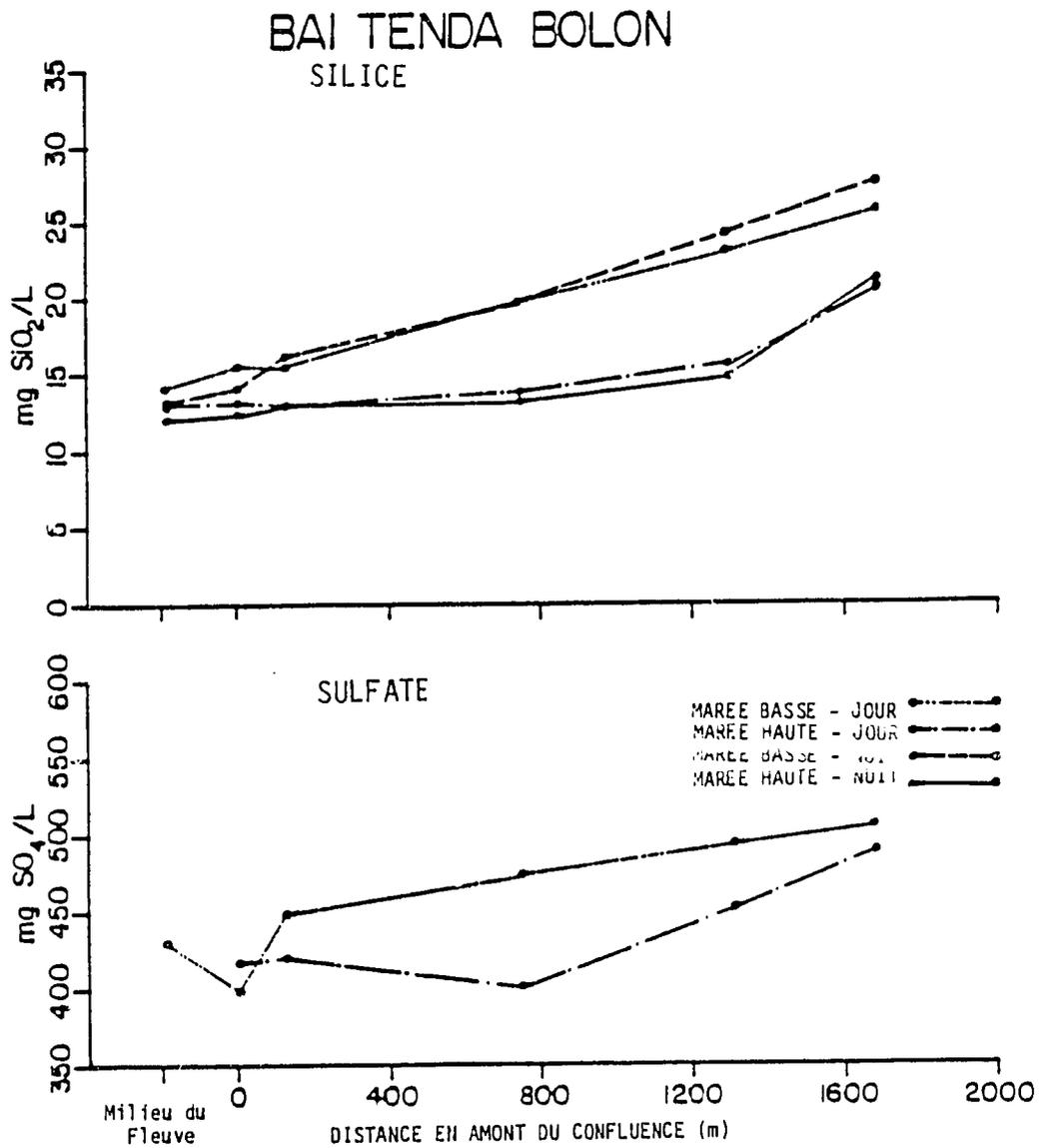


FIGURE 3.10. (suite)



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

crevette Palaemonetes, le crabe de marais et les mollusques figurent parmi les habitants permanents les plus abondants des forêts de palétuviers. Les animaux qui passent une partie de leur vie dans cet environnement sont le crabe (du genre Callinectes) et la crevette rose (Panaeus duorarum).

Les bolons à palétuviers jouent un rôle très important pendant la croissance de la crevette. Alors qu'une faible salinité ne semble pas être indispensable à la croissance de la jeune crevette rose, la nourriture et la protection contre les prédateurs offertes par les forêts de palétuviers sont des facteurs clés pour leur croissance et leur survie. La jeune crevette vit de détritits (feuilles de palétuviers tombées) enrichis par les bactéries et les champignons poussant sur ces détritits. Les racines enchevêtrées des palétuviers poussant dans l'eau fournissent un abri naturel. Le revêtement des micro-organismes en décomposition sur les particules de feuilles des palétuviers fournit à ces particules un ratio élevé de protéines et hydrates de carbone d'excellente valeur nutritive. Les feuilles de palétuviers forment la base d'un tissu alimentaire composé de détritits comportant, à divers niveaux trophiques, la majorité des poissons et invertébrés de l'estuaire. Partant, les rendements de crevette et la surface locale couverte de forêts de palétuviers sont positivement corrélés (Snedaker, 1978).

L'abondance de l'huître Crassostrea gasar qui vit dans les racines des palétuviers est directement liée à la superficie des forêts de palétuviers. Il n'y a aucune raison de penser que la forte salinité permanente des bolons à palétuviers freîne la croissance des huîtres. Mais en milieu à forte salinité, les huîtres font l'objet d'une prédation et d'un parasitisme plus prononcés de la part des animaux qui sont normalement éliminés par une moindre salinité. Gunter (1955) a trouvé que la forte mortalité des huîtres provoquée par le térébrant à huîtres Thais et le crabe de rocher Menippe dans une zone de l'estuaire où la salinité augmente en raison de la sécheresse prolongée. Le térébrant à huîtres et le crabe de rocher se rencontrent dans les biefs inférieurs de l'estuaire du fleuve Gambie. Qui plus est, le crabe Callinectes est réputé pour se nourrir essentiellement d'huîtres (Lunz, 1947).

Les poissons d'eau stagnante étaient abondants. Quelques espèces semblaient vivre dans les bolons à palétuviers et avançaient rarement dans le lit principal. Une communauté de poissons variés vivait dans les

bolons. Les espèces capturées les plus nombreuses étaient le poisson chat Chrysichthys nigrodigitatus, omnivore vorace qui envahit probablement les bolons en quête de nourriture. Une aiguille de mer (Porogobius schlegeli) et un clupéidé (Pellonula voraz) étaient également fort répandus. Un cyprinodontes (Aplocheilichthys normani) était très répandu et un mullet (Liza falcipinnis) était courant.

Les résultats de l'échantillonnage sur le terrain, combinés avec les données hydrologiques, fournissent une séquence généralisée d'événements concernant les palétuviers dans l'estuaire du fleuve Gambie. La production nette primaire des palétuviers, en particulier l'espèce Rhizophora est pratiquement dix fois supérieure à la production algale in situ. Cette production est balayée par les marées depuis le tapis végétal des forêts de palétuviers vers les petits bolons de palétuviers puis vers le chenal principal du fleuve. Une fois immergés dans l'eau tiède, les détritiques de palétuviers entament une dégradation rapide, enrichissant les eaux estuariennes de nutriments organiques et inorganiques. Ces matériaux sont recouverts d'une couche de micro-organismes qui reminéralisent constamment les nutriments présents dans les détritiques. Si l'action de la marée maintient les détritiques en suspension dans la colonne d'eau et les agite dans un mouvement de balancier le long du chenal fluvial, le débit du fleuve provoque un mouvement net vers l'aval. A mesure que les détritiques et les nutriments avancent lentement en aval, d'autres forêts de palétuviers continuent d'enrichir les eaux estuariennes de leurs détritiques.

La source riche et constante de détritiques de palétuviers constitue la principale source d'énergie de la faune estuarienne. L'apport de matériaux stimule la constitution d'une réserve alimentaire qui se nourrit de ces organismes. Cette faune abondante est la principale distinction entre les eaux océaniques côtières et les eaux estuariennes. Par ailleurs, les chercheurs ouest-africains pensent que le flux de matériaux organiques venant des estuaires bordés de palétuviers alimente également la pêche côtière. En conséquence, les écosystèmes de palétuviers ont été caractérisés comme étant l'un des habitats aquatiques actuellement les plus productifs (Snedaker, 1978). Cette production semble dépasser les limites géographiques des estuaires bordés de palétuviers proprement dits.

3.2.3. Zone du cours inférieur contenant de l'eau douce

La portion inférieure du fleuve Gambie contenant de l'eau douce se caractérise par un lit large et un faible débit, à quoi s'ajoute un brassage différent par la marée. Cette zone était presque aussi longue que les deux zones estuariennes combinées, allant de Kuntaur, à 250 km en amont, à Gouloumbou à 510 km en amont. Le principal site d'échantillonnage sélectionné pour cette zone se trouvait à environ 3 km en aval de Bansang, soit à 310 km en amont de Banjul (Figure 3.1).

Dans le site principal d'échantillonnage, le fleuve avait 100 à 150 m de large. Les rives étaient relativement abruptes, commençant à 2 m de l'eau à marée haute et plongeant à 3,5 ou 4 m en dessous de la surface de l'eau. Le fond du lit était relativement plat avec des profondeurs variant de 3,5 à 5 m. Le fond se composait d'un mélange de sable fin et de boue tassée.

Les forces de la marée se faisaient sentir dans le site d'échantillonnage de Bansang, les mêmes schémas semidiurnes de marées étant observés à Banjul. Les marées prenaient environ 14 heures pour remonter le cours du fleuve entre Banjul et Bansang. La hauteur de marée était réduite à environ un mètre, soit la moitié de la hauteur à Banjul. Les marées étaient beaucoup moins fortes que dans l'estuaire. La vitesse maximale enregistrée ne dépassait guère 1 km/h. On a noté une asymétrie dans les courants de marée pendant les visites sur le terrain pendant l'hivernage. La marée descendante produisait un courant deux fois plus rapide que celui de la marée montante; le débit du fleuve en période de crue s'ajoutait au courant de la marée descendante.

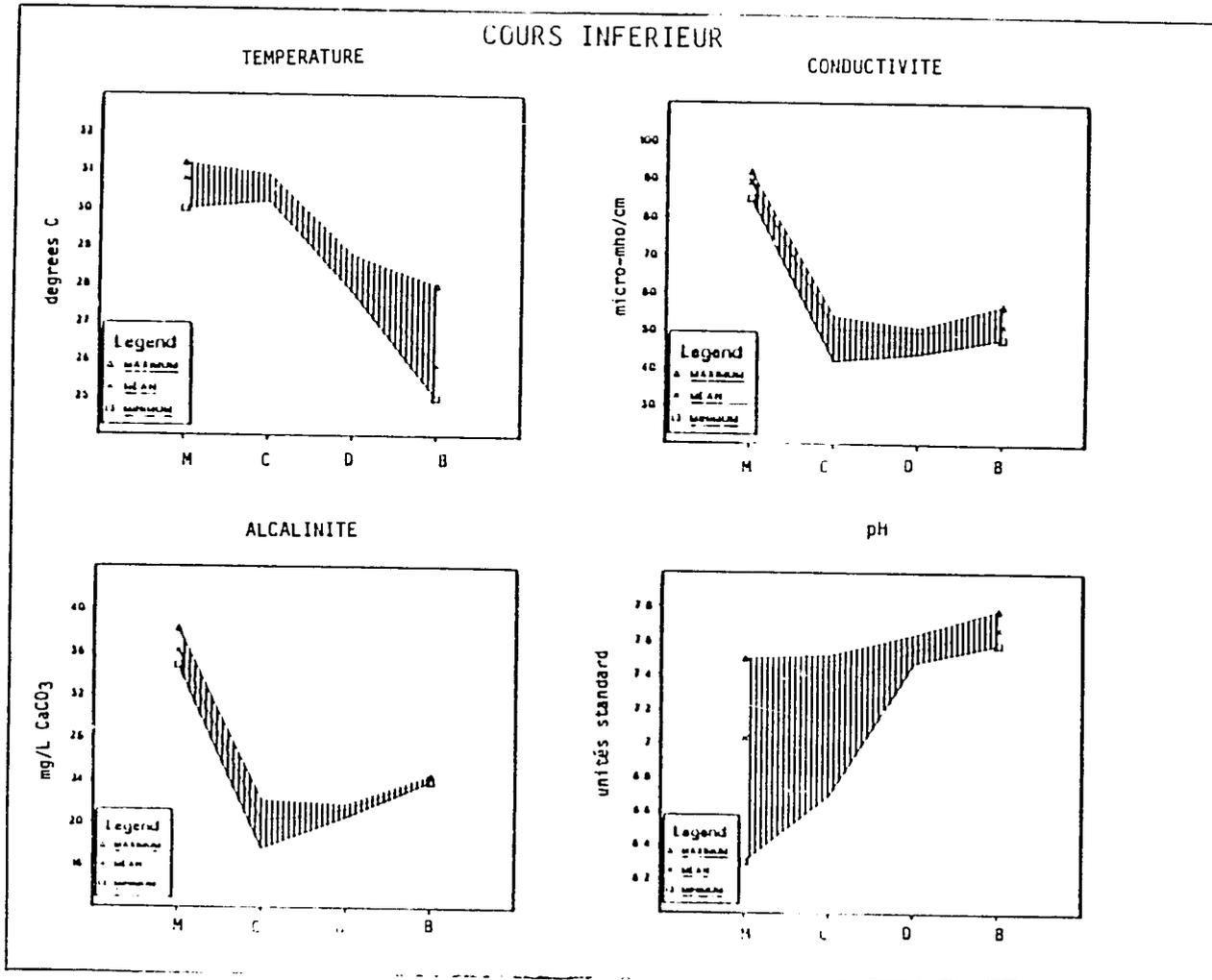
Une nette saisonnalité s'observait dans le cours inférieur presque entièrement contrôlé par la crue annuelle. Le seul cycle saisonnier qui n'était pas sous l'influence directe de la crue était le cycle thermique. Les températures de l'eau suivaient celles de l'air, diminuant graduellement d'un maximum annuel proche de 31°C en juillet à un minimum de 26°C en mars (Figure 3.11).

Toutes les autres variables indiquaient une saisonnalité liée aux crues annuelles. Du fait que l'eau de mer ne remontait pas dans le cours inférieur du fleuve, la saisonnalité associée à la crue annuelle était liée soit à des variations des conditions chimiques des eaux de ruissellement pendant l'hivernage soit à la concentration des matériaux dissous par évaporation pendant la saison sèche. La conductivité et l'alcalinité

LEGEND FOR FIGURE 3.11.

Les unités sur l'axe X indiquent les quatre saisons hydrologiques du fleuve Gambie: M - montée des eaux; C - crue annuelle; D - baisse des eaux et B - basses eaux. La ligne supérieure de chaque graphique représente le maximum, la ligne au milieu, la moyenne et la ligne inférieure, le minimum.

FIGURE 3.11. FLUCTUATION SAISONNIERES DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES DANS LE ZONE DU COURS INFERIEUR



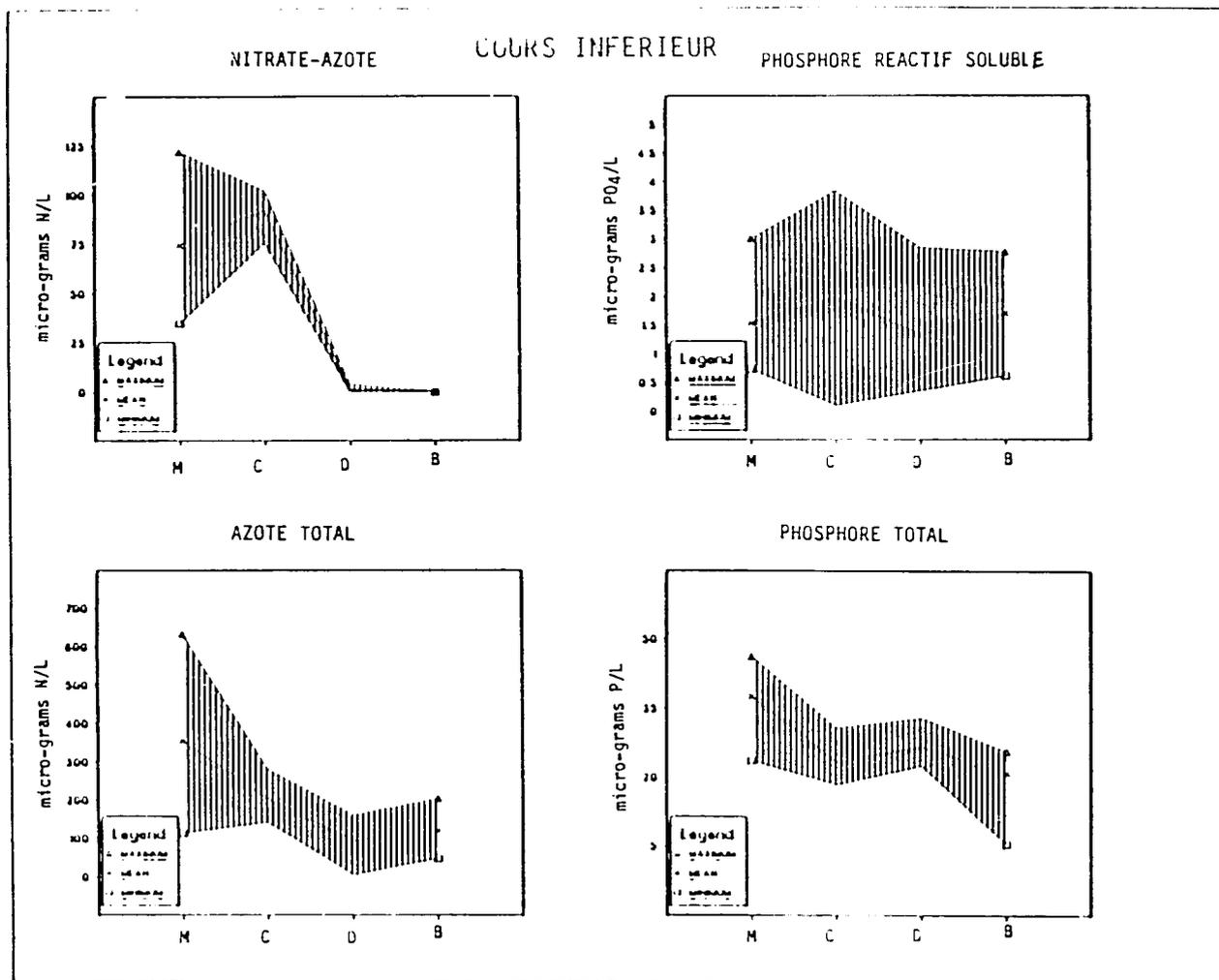
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

étaient particulièrement liées au cycle hydrologique du fleuve. Les eaux de crue du fleuve Gambie avaient une conductivité et une alcalinité très faibles. Une chute brutale s'est produite dans le taux d'alcalinité du cours inférieur entre les visites de juillet et d'octobre (Figure 3.12). Une fois passé le point le plus fort de la crue, les alcalinités augmentaient progressivement jusqu'à leur maximum qu'elles atteignaient au milieu de l'été. La conductivité suivait la tendance saisonnière (voir Figure 3.11).

La tendance du pH était pratiquement inverse, les valeurs augmentant rapidement entre la moyenne basse de 7,0 observée en juillet à la moyenne haute de 7,7 observée en mars. La Figure 3.11 indique que le pH et l'alcalinité n'étaient pas entièrement parallèles, les courbes ne se superposant pas tout à fait. Cela indiquait que l'alcalinité n'était pas uniquement déterminée par le gaz carbonique dissous dans l'eau. Il est possible que l'effet de l'évaporation et le très faible débit enregistré pendant les mois de sécheresse concentraient certains matériaux dissous qui affectaient à leur tour le pH. Les pourcentages d'oxygène dissous augmentaient aussi de manière monotone entre juillet et mars; cela risquait également d'avoir un effet très léger sur les valeurs de pH.

Les concentrations de nutriments solubles, en particulier la silice et l'azote nitrique, présentaient des cycles saisonniers étroitement liés à la crue annuelle. Le ruissellement pendant l'hivernage était enrichi d'azote et on a observé une élévation du taux d'azote dans les eaux de ruissellement le long du fleuve Gambie à partir de Kédougou en juin (Berry et al., 1985). Au moment de la première visite sur le terrain sur le site d'échantillonnage du cours inférieur, les concentrations d'azote étaient quelque peu supérieures aux niveaux de saison sèche (Figure 3.12). Les concentrations ont continué d'augmenter jusqu'à ce qu'elles atteignent un maximum qui coïncidait avec les débits maximum. Après la période de crue, les niveaux d'azote sont tombés à la limite de la détection analytique et se sont maintenus à ce niveau pendant la saison sèche. Les concentrations de silice réactive soluble ont indiqué une tendance quasi inverse, avec une faible concentration en juillet qui augmentait jusqu'à la visite d'octobre sur le terrain pour plafonner ensuite pendant la saison sèche (Figure 3.12). A partir des résultats observés sur la silice, on pourrait conclure que les eaux de crue n'étaient pas parvenues dans le cours inférieur en juillet

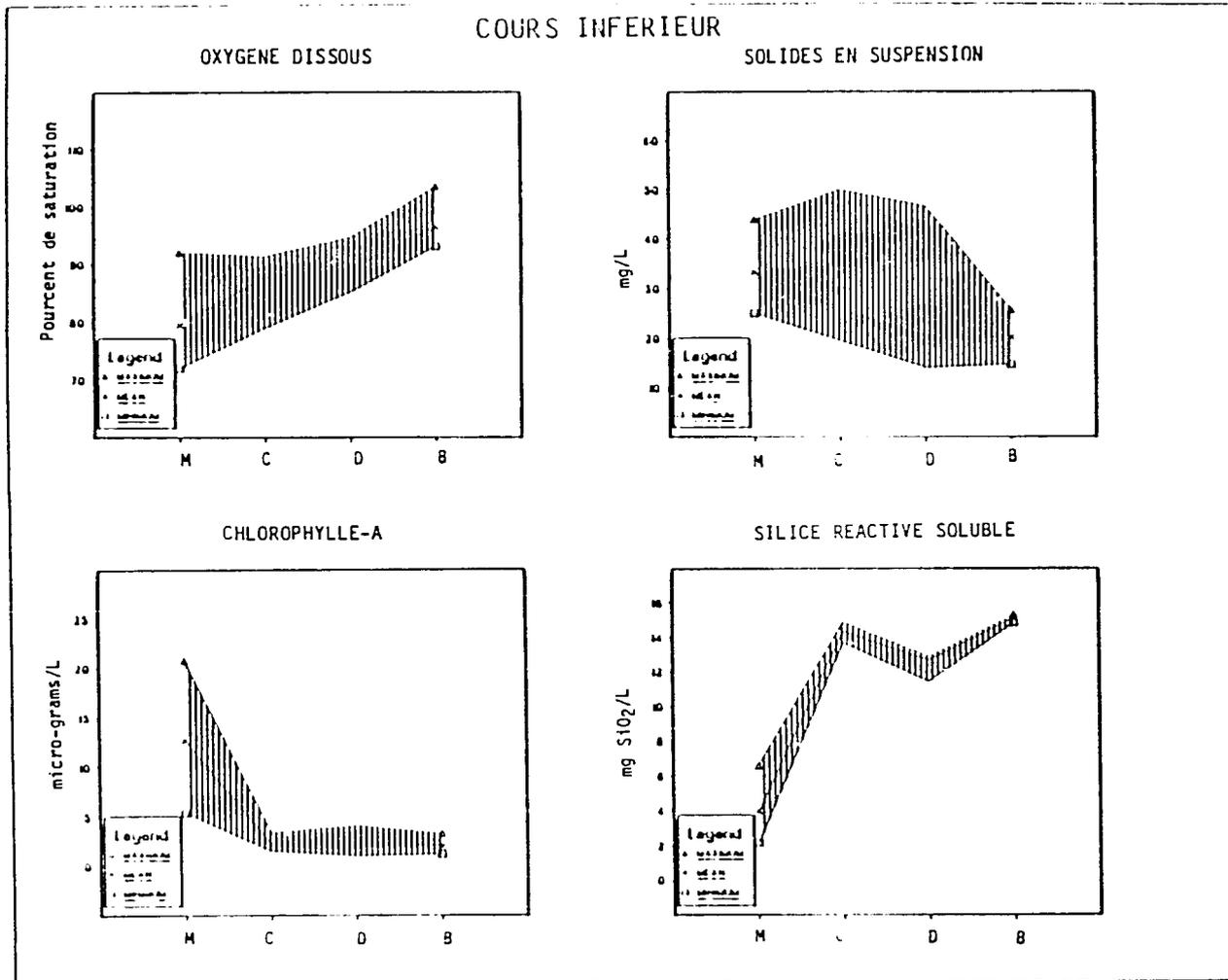
FIGURE 3.12. FLUCTUATION SAISONNIERES DES VARIABLES CHIMIQUES DANS LE ZONE DU COURS INFERIEUR



LEGEND FOR FIGURE 3.12

Les unités sur l'axe X indiquent les quatre saisons hydrologiques du fleuve Gambie: M - montée des eaux; C - crue annuelle; D - baisse des eaux et B - basses eaux. La ligne supérieure de chaque graphique représente le maximum, la ligne au milieu, la moyenne et la ligne inférieure, le minimum.

FIGURE 3.12. (suite)



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

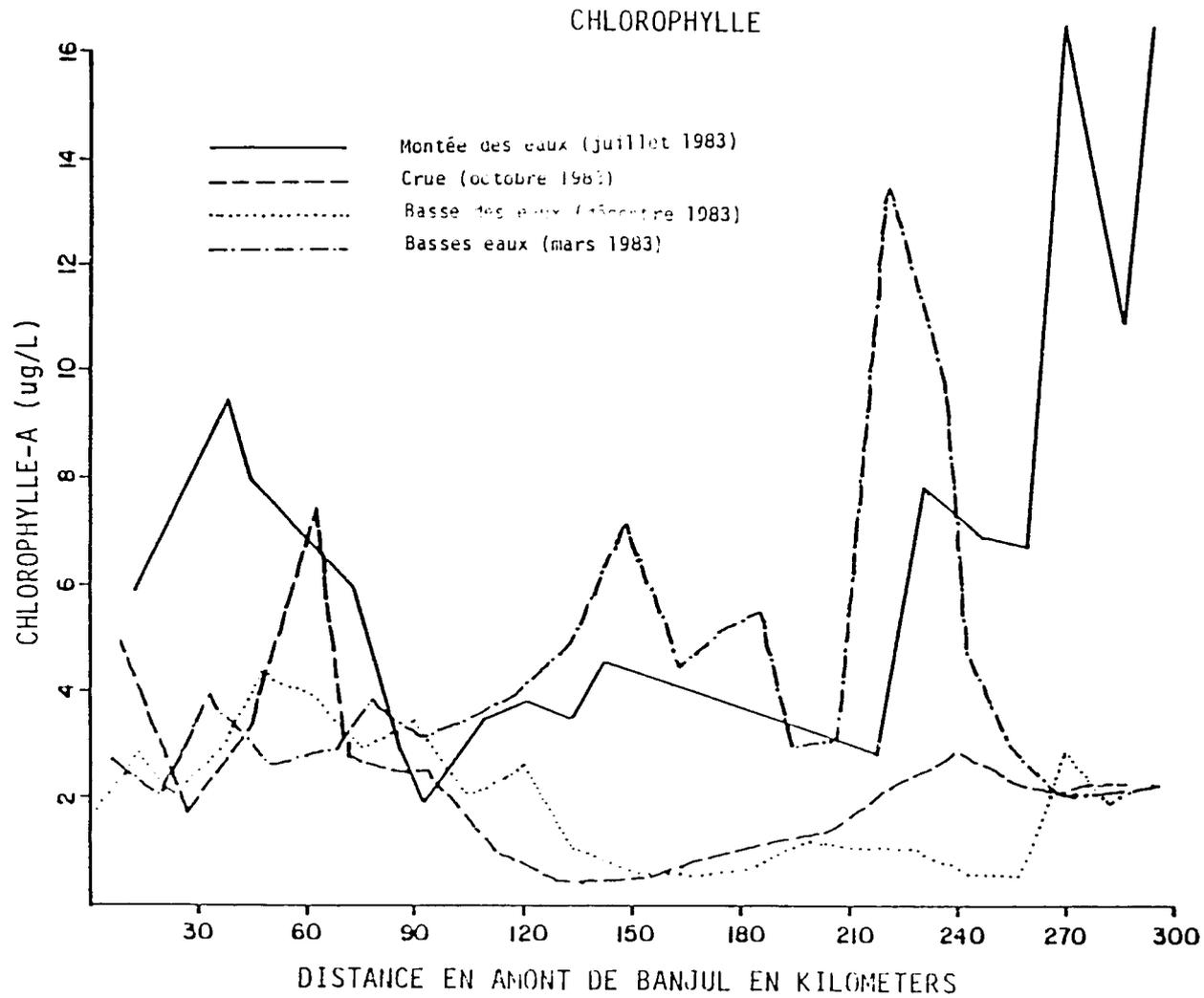
puisque les niveaux de silice restaient bas jusqu'en juillet. En revanche, les résultats concernant le nitrate indiquaient que les eaux de crue enrichies d'azote avaient déjà atteint Bansang en juillet. A l'évidence, il est possible que l'enrichissement en nitrate observé en juillet soit lié au ruissellement local et non à la crue annuelle. Les concentrations de phosphore réactif soluble déclinaient de juillet à mars mais étaient très variables au cours d'une même visite sur le terrain (Figure 3.12).

La zone du cours inférieur présentait une caractéristique unique par rapport aux autres zones. Une population vaste et relativement productive de phytoplancton a été observée pendant la visite du mois de juillet. Les concentrations moyennes de chlorophylle étaient de 12,7 ug/l, soit quatre à cinq fois plus que toute autre valeur moyenne. Les concentrations moyennes de chlorophylle tombaient à un niveau moyen de 2,3 ug/l avant la visite d'octobre sur le terrain, niveau courant dans le reste du fleuve. Cette importante population de plancton était également très productive avec les plus forts taux de photosynthèse enregistrés dans le fleuve pendant l'année de l'étude. D'une manière générale, même en présence de cette vaste population de phytoplancton, on considère que le fleuve était caractérisé par la respiration et non la photosynthèse. Les comptes cellulaires de plancton indiquaient que cette population de phytoplancton était principalement composée de la diatomée du genre Melosira.

Il se peut que l'enrichissement de l'eau du fleuve au nitrate ait encouragé la formation d'algues au début de l'hivernage. La zone de forte concentration de chlorophylle s'étendait à 50 km en aval de Bansang. On a observé une seconde zone d'importante biomasse d'algues dans la partie supérieure du bas estuaire (Figure 3.13). Une zone similaire mais moins étendue de forte concentration d'algues a été observée pendant la visite du mois de mars près de Kuntaur.

Les déductions tirées des analyses ANOVA ont indiqué l'importance du mélange par les marées, même si le site d'échantillonnage se trouvait à plus de 300 km de l'océan. L'analyse des résultats de la visite sur le terrain de juillet a indiqué que l'heure de la journée et la phase de la marée affectaient sensiblement toutes les variables physiques et chimiques (Berry et al., 1985). En d'autres termes, la valeur moyenne de chacune des 14 variables était différente selon la phase de la marée (montante ou descendante) et/ou l'heure de la journée (jour ou nuit) au moment du

FIGURE 3.13. DISTRIBUTION DE CHLOROPHYLLE-A DANS LE FLEUVE
GAMBIE ENTRE BANJUL ET KM 300
(Echantillons pris à 1 m)



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

prélèvement des échantillons. L'importance de ce facteur a diminué dans les quatre visites sur le terrain jusqu'à mars lorsque huit seulement des quatorze variables étaient sensiblement affectées par l'heure et la marée.

Le seul autre facteur ayant un effet important sur les variables physiques et chimiques était la profondeur de l'échantillon. Pendant les deux dernières visites sur le terrain, lorsque le débit était faible, la stratification verticale s'est accrue dans le site d'échantillonnage du cours inférieur. Les résultats de mars indiquaient un degré modéré de stratification thermique (environ 0,5°C) de haut en bas et une certaine stratification et conductivité verticales connexes, des solides en suspension et de la silice réactive soluble.

La faune benthique invertébrée du cours inférieur ressemble à celle des lacs (van Maren, 1985). Cette faune comprenait des éphéméridés et des néréides odonates, des larves de mouches et des mollusques courants dans les lacs africains. Mais la présence de polychètes marins dans la boue déposée au fond indiquait que l'influence de l'eau de mer subsistait dans l'eau interstitielle du cours inférieur.

Les autres portions de la communauté biologique du cours inférieur étaient relativement clairsemées. La communauté de plancton était une faune et une flore d'eau douce avec une biomasse relativement faible sauf pendant la première visite sur le terrain. Les stocks de poisson d'eau stagnante étaient relativement faibles. Le poisson-chat de fond (essentiellement Schilbe mystus, Chrysichthys nigrodigitatus, Synodontis gambiensis, et S. batensoda) était la principale prise dans la zone. Pellunolla vorax, un clupéidé, a été capturé dans les eaux pélagiques tandis qu'un tambour (Fonticulus elongatus) et un Brycinus nurse étaient présents dans la colonne d'eau. Ces espèces consommaient une grande variété d'aliments. Les poissons planctonivores étaient visiblement absents du cours inférieur.

Les études passées (et la présente étude) indiquaient que le chenal principal est une partie relativement peu productive du fleuve. Le chenal sert seulement d'axe d'écoulement de l'eau de la source en Guinée jusqu'au riche estuaire. L'estuaire, les bolons, les chenaux latéraux et les plaines inondables semblent être la partie la plus productive du fleuve. Les plaines inondables n'étant inondées qu'à certains moments de l'année, leur production est limitée à un court segment de l'année.

3.2.4. Eaux douces du cours supérieur

La principale distinction entre le cours inférieur et le cours supérieur est l'absence de marées dans ce dernier. A partir de Gouloumbou, le cours supérieur remonte jusqu'à la frontière entre le Sénégal et la Guinée (voir Figure 3.1), sur plus de 460 km, de 510 à 970 km en amont de Banjul.

Le cours supérieur est entièrement contenu dans le Sénégal oriental et le fleuve revêt des caractéristiques physiques diverses. Le principal site d'échantillonnage se trouvait à Kédougou, à 910 kilomètres en amont de Banjul. Près de Kédougou, la Gambie est un fleuve lent de 20 à 75 m de large. Dans la plupart des endroits, les rives plongeaient à l'abrupt dans le fleuve sur une hauteur de 3 à 20 m. Le fleuve était une alternance de rapides peu profonds (25 cm) et de trous d'eau de 5 m de profondeurs. Le fond était recouvert de sable et de boue dans les trous d'eau et de pierres et graviers dans les rapides. Pendant la saison sèche, le fleuve Gambie n'avait souvent aucun débit, c'est-à-dire qu'il était réduit aux trous d'eau. Pendant la saison sèche, il se transformait en un cours d'eau rapide de 3 à 4 mètres de profondeur. Les nombreuses petites plaines inondables étaient inondées pendant l'hivernage.

De même que le cours inférieur, le cours supérieur avait une saisonnalité distincte dans les conditions chimiques et physiques. Cette saisonnalité était entièrement due à la crue annuelle et au cycle sec. La température de l'eau était la seule variable qui fût quelque peu déphasée par rapport aux autres. Les températures de l'eau déclinaient d'un maximum annuel moyen de 32,2°C en juillet à un minimum de 23,5°C en décembre (voir Figure 3.14), subissant la plus grande amplitude annuelle des cinq zones.

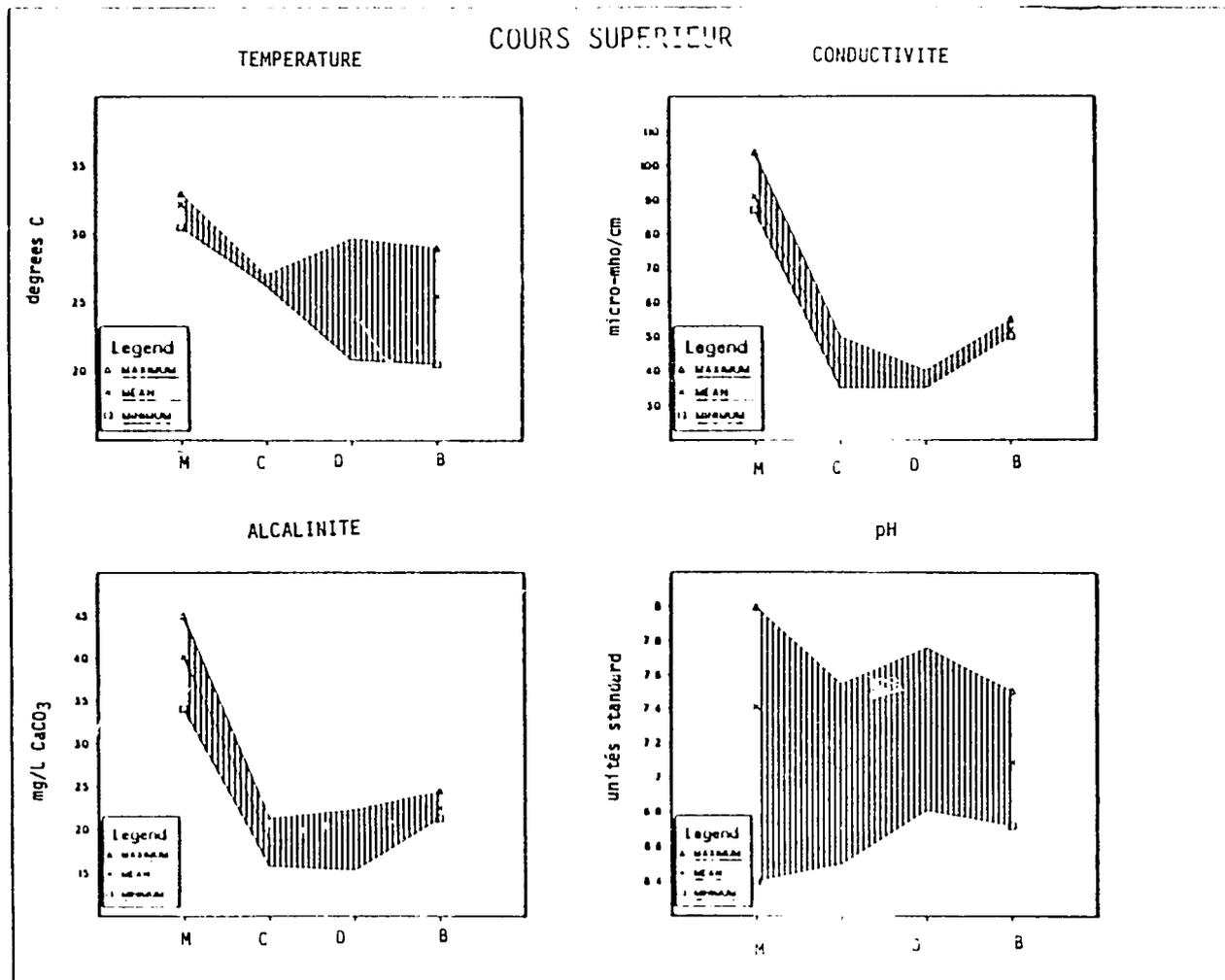
La saisonnalité dans toutes les autres variables était liée au cycle hydrologique. La conductivité, l'alcalinité et la silice réactive soluble suivaient la même tendance que dans le cours inférieur. La conductivité et l'alcalinité passaient d'un maximum annuel en juin à un minimum annuel en octobre (Figure 3.14). Les concentrations augmentaient ensuite à mesure que la crue diminuait. La séparation de l'alcalinité et du pH était évidente car les deux courbes ne se superposaient pas. La variabilité du pH était prononcée et masquait donc les tendances saisonnières.

Les concentrations de matériaux particuliers étaient particulièrement liées au cycle des crues. Les concentrations de solides en suspension

LEGEND FOR FIGURE 3.14.

Les unités sur l'axe X indiquent les quatre saisons hydrologiques du fleuve Gambie: M - montée des eaux; C - crue annuelle; D - baisse des eaux et B - basses eaux. La ligne supérieure de chaque graphique représente le maximum, la ligne au milieu, la moyenne et la ligne inférieure, le minimum.

FIGURE 3.14. FLUCTUATION SAISONNIERES DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES DANS LE ZONE DU COURS SUPERIEUR



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

étaient élevées et variables pendant la crue, mais tombaient à près de zéro en décembre (Figure 3.14). Les concentrations de chlorophylle étaient inverses de celles des solides en suspension, augmentant à mesure que les particules disparaissaient de la colonne d'eau.

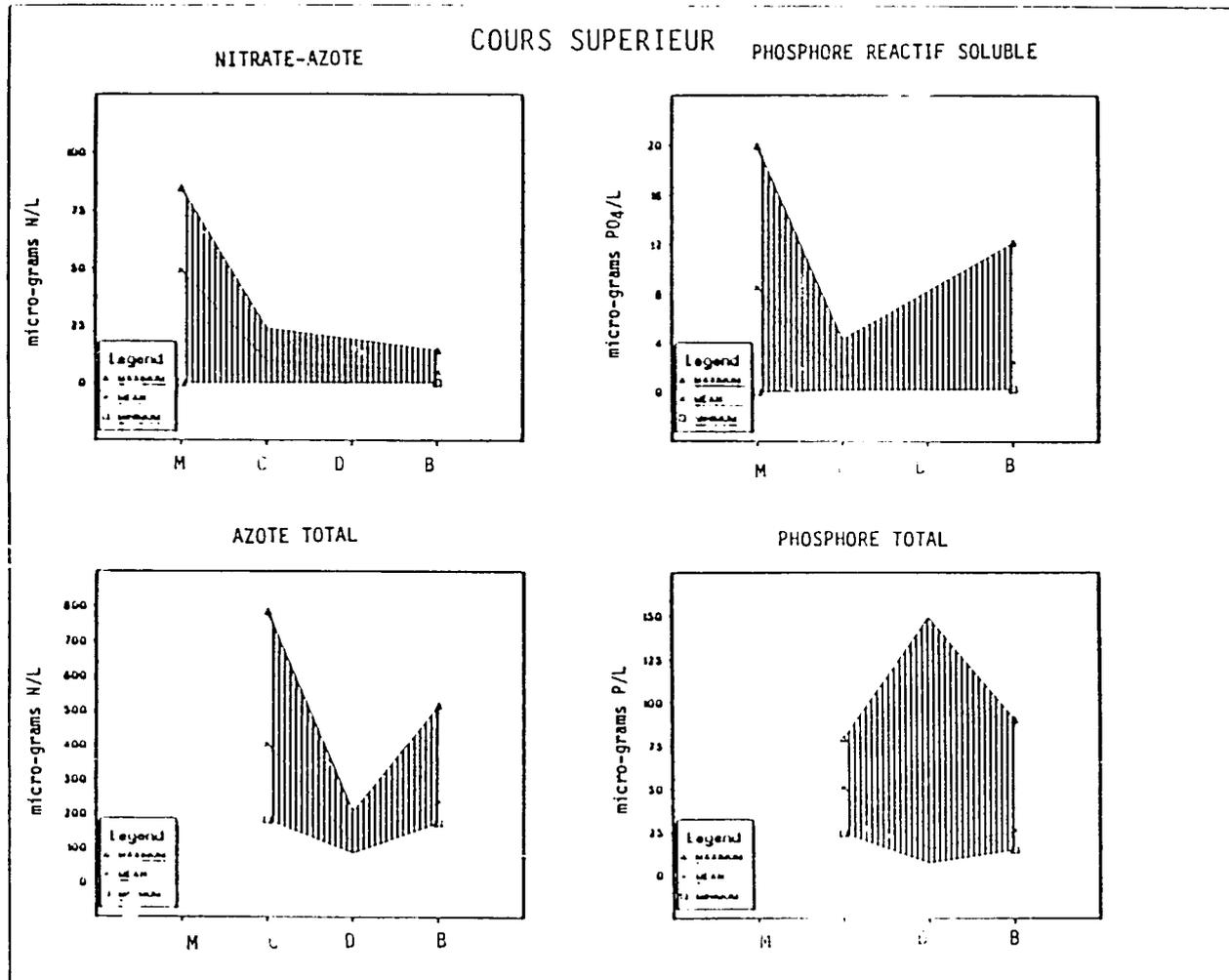
L'azote nitrique dissous et la silice réactive soluble suivaient la même tendance d'enrichissement saisonnier par les marées que dans le cours inférieur. Les concentrations de nitrate atteignaient leur maximum pendant la crue, corroborant l'hypothèse selon laquelle l'enrichissement au nitrate provenait du ruissellement initial des premières pluies. La silice, en revanche, avait de faibles concentrations pendant le début de l'hivernage mais augmentait rapidement pendant l'année (Figure 3.15).

Le moment de la journée avait un effet sensible sur les concentrations observées dans la plupart des variables par les ANOVAS des carrés latins. L'absence de marées semblerait reléguer l'effet du moment de la journée à la seule variabilité diurne. Mais le facteur horaire avait en fait deux sources de variation temporelle à court terme: variations diurnes et des périodes de plusieurs jours. Cette dernière source était dominante pendant les deux visites sur le terrain pendant l'hivernage. Un gros orage a eu lieu à Kédougou lors de la première visite entre le prélèvement réalisé dans la journée du 25 juin et celui effectué à l'aube du 26 juin. Les niveaux d'eau dans le fleuve ont augmenté rapidement d'une vingtaine de centimètres après l'orage. Lors de la deuxième visite en octobre, un orage avait eu lieu juste avant le prélèvement, après quoi les niveaux d'eau ont baissé de plus d'un mètre pendant les deux jours et demi d'échantillonnage qui ont suivi.

De nombreuses variables ont indiqué d'importants changements après un orage ou immédiatement après la pluie, par opposition à plusieurs jours après un orage (Tableaux 3.5 et 3.6). Pendant la première visite sur le terrain, le pH est tombé de 0,8 unités après la pluie alors que la saturation d'oxygène dissous a baissé de plus de 30 pour cent. Les concentrations de silice réactive soluble ont augmenté de quelque 15 pour cent. Le nitrate dissous est passé d'un niveau inférieur à la limite de détection à près de 80 ug/l.

On a observé une tendance similaire lors de la deuxième visite sur le terrain. Le débit a rapidement baissé entre le premier (milieu de journée) et le dernier jour (crépuscule) d'échantillonnage (Tableau 3.6). Le

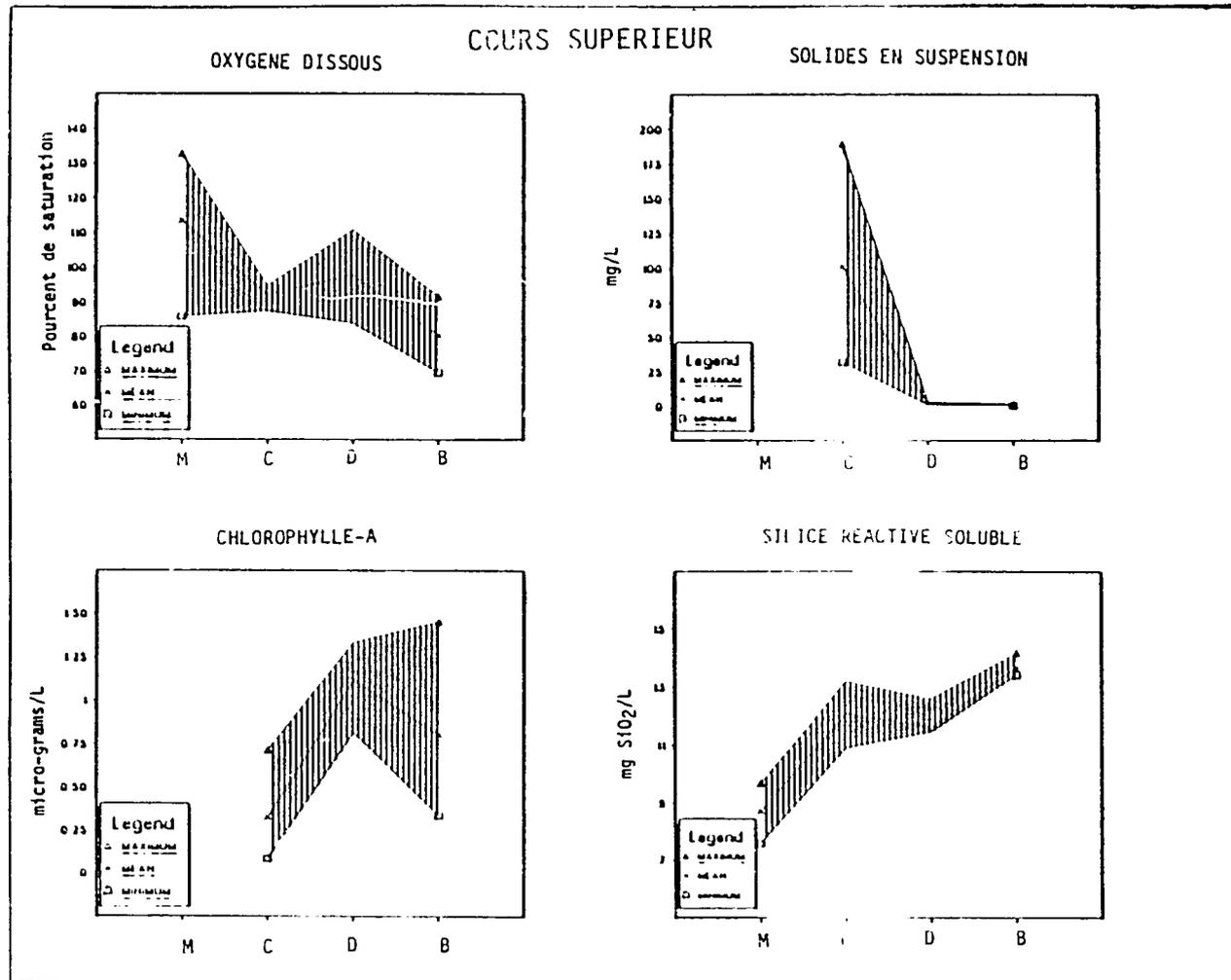
FIGURE 3.15. FLUCTUATION SAISONNIÈRES DES VARIABLES CHIMIQUES DANS LE ZONE DU COURS SUPERIEUR



LEGEND FOR FIGURE 3.15.

Les unités sur l'axe X indiquent les quatre saisons hydrologiques du fleuve Gambie: M - montée des eaux; C - crue annuelle; D - baisse des eaux et B - basses eaux. La ligne supérieure de chaque graphique représente le maximum, la ligne au milieu, la moyenne et la ligne inférieure, le minimum.

FIGURE 3.15. (suite)



Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

TABLEAU 3.5			
VALEURS MOYENNES DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES RECUEILLIES A KEDOUGOU PENDANT LA MONTEE DES EAUX (juin 1983) ^a			
Variables	25 juin (journée)	26 juin (aube)	26 juin (soirée)
Température (C)	32,5	31,6	31,9
Conductivité	89,1	89,3	101,0
Oxygène dissous (mg/L)	8,73	6,68	8,10
Oxygène dissous (% sat)	120,7	90,0	111,3
pH	7,75	6,50	6,95
Alcalinité (mg/L)	40,0	39,3	42,8
Silice (mg/L)	8,2	8,4	9,6
Azote (ugN/L)	< LOD	77,8	69,0
NOTE: (a) Un gros orage a eu lieu entre les échantillonnages du 25 juin (journée) et du 26 juin (aube).			
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.			

TABLEAU 3.6				
VALEURS MOYENNES DES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES RECUEILLIES A KEDOUGOU PENDANT LA PERIODE DE CRUE (septembre 1983) ^a				
Variabes	29 sept. (journée)	29 sept. (soirée)	30 sept. (aube)	30 sept. (crep.)
Température (C)	26,60	26,50	26,25	27,00
Conductivité	35,5	48,0	40,3	36,0
Oxygène dissous (mg/L)	7,62	7,41	7,44	7,12
Oxygène dissous (% sat)	94,8	92,3	93,3	88,9
Chlorophylle (ug/L)	0,54	0,30	0,27	0,21
Phaeo-pigments (ug/L)	0,97	0,76	0,51	0,49
Phaeo-fraction (%)	64,	72,	65,	70,
pH	6,91	6,96	7,33	6,94
Alcalinité (mg/L)	18,1	17,0	19,9	19,8
Solides en suspension (mg/L)	143,9	171,8	52,2	38,5
Silice (mg/L)	11,1	11,5	13,2	12,6
Phosphate (ugN/L)	1,2	2,0	1,2	1,1
Azote (ugN/L)	12,0	9,0	1,6	7,9
Total phosphore (ugP/L)	66,4	72,1	35,3	30,8
Phosphore organique (ugP/L)	65,2	70,1	34,1	29,7
Total azote (ugN/L)	534,	551,	262,	267,
Azote organique (ugN/L)	522,	542,	260,	259,

NOTE: (a) Le débit du fleuve Gambie a décliné sensiblement, entre les échantillonnages réalisés pendant la journée et le soir.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

nitrate soluble et total, ainsi que le phosphore soluble et total, ont baissé de quelque 50 pour cent au cours des deux jours et demi d'échantillonnage. La silice réactive soluble a augmenté d'environ 15 pour cent dans le même intervalle. Les solides en suspension ont baissé de plus de 75 pour cent pendant les deux jours et demi. Ces résultats font ressortir l'extrême importance des orages sur les caractéristiques chimiques du cours supérieur. Non seulement les concentrations de nombreuses substances augmentent immédiatement après la pluie, mais le débit étant élevé, la charge totale (quantité de matériaux ajoutés au fleuve) se trouve considérablement accrue.

La variation diurne a persisté pendant les deux visites sur le terrain, mais elle était principalement associée à la photosynthèse et la respiration. Les variations diurnes observées dans la température de l'eau étaient dues à l'insolation. On a également observé des fluctuations du pH et de l'oxygène dissous, probablement à la suite de la photosynthèse diurne et de la respiration nocturne.

La communauté biologique du cours supérieur était typique des fleuves et petits cours d'eau. Le fleuve Gambie près de Kédougou offre une variété de micro-environnements qui se reflètent dans la présence d'une faune benthique variée. Les groupes invertébrés prédominants sont les espèces typiques des eaux de débit rapide à modéré. La Neoperla spio était particulièrement fréquente dans les rapides. On a observé des larves de mouches noires dans le même habitat, principalement sur les feuilles mortes emprisonnées sous des pierres. La faune vivant au fond des eaux stagnantes et à faible débit du cours supérieur se composait essentiellement de nymphes de mouches de mai.

Dans le cours supérieur, la diversité des espèces de poisson était élevée par rapport aux autres zones, mais les espèces d'eau stagnante étaient peu nombreuses en proportion de la biomasse. L'espèce la plus répandue dans le cours supérieur était les petits généralistes. Dans les eaux troubles du fleuve, l'Hemigrammopetersius septentrionalis et le Brycinus longipinnis étaient très répandus. Dans les eaux plus lentes, la Pellonula vorax et le Brycinus nurse étaient nombreux. Dans les trous d'eau profonds et les eaux de remous, on a capturé plusieurs espèces de poissons chats dont le Synodontis gambiensis, le Chrysichthys nigrodigitatus et le Schilbe mystus. Les cichlidés (essentiellement la Tilapia occidentalis)

étaient également un volet écologique important de la zone du cours supérieur.

3.2.5. Bassin de réception

Le bassin de réception est le réseau arborescent de petits cours d'eau et rivières qui composent la source du fleuve Gambie. Cette zone se trouve entièrement dans les monts Fouta Djallon au nord de la Guinée (voir Figure 3.1). Le bassin de réception du fleuve Gambie se termine dans un escarpement qui se trouve près de la frontière entre la Guinée et le Sénégal, à environ 970 km en amont de Banjul.

Les deux caractéristiques de la partie supérieure du fleuve Gambie sont la taille relativement peu importante des cours d'eau et la forte déclivité à travers les montagnes. Le site d'échantillonnage primaire pour la zone du bassin de réception se trouvait à une quinzaine de kilomètres de Balaki. Dans ce site, le fleuve avait environ 30 m de large et 0,50 à 3 m de profondeur. Le cours principal se composait d'une série de rapides et trous d'eau de 20 à 3.000 m de long. Pendant la fin de la saison sèche (avril à début juin), l'eau déborde rarement par dessus les rapides pour se déverser dans les trous d'eau. Dans le site d'échantillonnage primaire, le fleuve traverse une gorge aux rives de 5 à 10 m de haut. Le fond du lit et la partie inférieure des parois de la gorge sont affouillés en roche de fond, du schiste. Au dessus du schiste, les parois sont essentiellement des roches meubles et du gravier latéritique. Le fond du lit en schiste est fortement fragmenté.

Dans le bassin de réception, le fleuve Gambie descend assez rapidement en altitude, avec un dénivelé moyen de 4,2 m/km (Humphreys, 1974). A Kédougou, en amont du bassin de réception, le dénivelé est de 1,1 m/km, alors que dans la région de Gouloumbou il n'est que de 0,02 m/km.

Le fleuve Gambie se caractérisait par le même cycle hydrologique que dans les zones du cours supérieur et inférieur. De même que dans les deux autres zones d'eau douce, le cycle thermique n'était pas entièrement dominé par l'alternance annuelle d'un hivernage/saison sèche et d'une saison des pluies. Le cycle thermique était comparable à la zone du cours supérieur avec des températures hydriques moyennes allant de 30°C en juin à 22°C en décembre.

On a observé un cycle saisonnier dans les caractéristiques chimiques de l'eau, mais la variation annuelle était beaucoup moins importante que dans

les autres zones. Les caractéristiques primaires du fleuve dans le bassin de réception consistaient en un milieu aquatique dilué et relativement stable. L'alcalinité et le pH variaient très peu au cours de l'année. Le pH était en général légèrement basique, entre 7,20 et 7,84. Les tendances diurnes du pH étaient minimales, avec une variation de seulement 0,1 à 0,2 unités entre l'aube et le soir. Les conductivités indiquaient une saisonnalité en augmentant de 30 à 100 $\mu\text{mho/cm}$ de décembre à juin. Pendant la visite de juin sur le terrain, un orage en amont du site d'échantillonnage a fait passer le débit de 0 (débit nul) à environ 40 mètres cubes par seconde en moins de quatre heures. Les conductivités sont tombées de 108 à 72 $\mu\text{mho/cm}$ en une nuit, entre l'eau morte et l'eau courante, respectivement.

Les concentrations de nutriments dissous étaient relativement constantes, bien qu'on ait observé un petit cycle hivernage, saison sèche. Les concentrations d'azote nitrique dissous étaient très faibles, souvent à la limite de la détection analytique ou en dessous. En décembre les concentrations de nitrate étaient faibles mais mesurables, à environ 0,05 mg/l. En juin, les concentrations étaient inférieures à 0,01 mg/l mais augmentaient à 0,05 mg/l lorsque le fleuve se remettait à couler.

Le phosphore et la silice réactifs solubles suivaient la même tendance. Les concentrations atteignaient leur maximum en décembre (environ 15 $\mu\text{g/l}$ pour le phosphore et 10 mg/l pour la silice). Les concentrations de ces deux variables ont atteint leur minimum annuel avant l'orage de juin (environ 4 $\mu\text{g/l}$ pour le phosphore et 7 mg/l pour la silice).

L'eau du bassin de réception était transparente avec des profondeurs par disque de Secchi de plus de 2 mètres. En dépit de cette limpidité, le fleuve a semblé improductif. La photosynthèse par les algues était extrêmement faible d'après les mesures obtenues par la méthode de l'incubation in situ et la technique de la courbe diurne d'oxygène. Il est possible que les concentrations extrêmement faibles de nitrate dissous aient limité la production d'algues. La limpidité de l'eau était très bonne, aussi le plancton n'était-il pas limité par la lumière. La production benthique primaire était peut-être supérieure à la productivité planctonique. Toutes les pierres au fond du lit étaient recouvertes de mousse, la Tristicha trifaria (Podostemacidae), plante caractéristique des rapides et des chutes d'eau dans les fleuves tropicaux. Mais ces plantes

disparaissaient dans les rapides lorsque le fleuve se réduisait aux trous d'eau et que les rapides disparaissaient.

En ce qui concerne le nombre total d'invertébrés recueillis dans le site d'échantillonnage guinéen, les larves de mouche noire étaient de loin les plus abondantes, suivies des nymphes d'éphémère vulgaire Tricorythus et Caenidae. La faune benthique permanente (qui était très peu répandue) comprenait le crabe Potamonautes ecorseii, des oligochètes et les palourdes Aspatharia senegalensis et Eupera parasitica. Dans les eaux stagnantes ou à faible débit du bassin de réception, outre les éphémères vulgaires adaptés à cet environnement, les moucheron aquatiques et les nymphes de libellules étaient très courants. Comme l'a indiqué Petr (1970), on peut considérer la faune vivant au fond des trous d'eau près des rives et dans les bras de décharge comme la principale source d'invertébrés aquatiques pour les lacs nouvellement créés par l'endiguement du fleuve; nombre des espèces rencontrées dans ces habitats fluviaux sont préadaptées à la vie lacustre.

Plusieurs petites espèces de poisson non spécialisées qui étaient abondantes dans la zone du cours supérieur étaient également courantes dans le bassin de réception, notamment Pellonula vorax, Brycinus nurse, B. longipinnis, et Hemigrammopetersius septentrionalis. Le poisson-chat (y compris certains énormes poissons chats du genre Heterobranchus) et des cyprinides (Barilius senegalensis et Labeo toboensis) constituaient l'essentiel de la communauté des poissons benthiques. Plusieurs espèces de cichlidés étaient également présentes dans le bassin de réception, de même que des représentants de l'ancienne espèce du genre Polypterus et Papyl. cranus.

3.3. Situation actuelle de la pêche

La présente section résume les principaux faits concernant la pêche artisanale dans le Bassin du fleuve Gambie et le long des côtes gambiennes. On n'a pas obtenu d'estimation plausible en raison de l'insuffisance des données à long terme sur les prises. La valeur économique réelle de la pêche artisanale a été difficile à évaluer car le produit de la pêche est utilisé soit comme moyen de troc soit écoulé sur le marché sans contrôle par les pouvoirs publics. Ceci étant, on a effectué une estimation des valeurs économiques à partir des données disponibles présentées au Chapitre 6. La

valeur de la pêche artisanale a été également exprimée en termes d'emploi dans le bassin.

TABLEAU 3.7 PRISES ARTISANALES MARINES ENREGISTREES PAR ESPECE POUR LA COTE ATLANTIQUE GAMBIENNE, JUIN 1982 A JUILLET 1983 (en tonnes métriques)	
Bonga	5.270,5
Poisson-chat	717,8
Requin/raie	390,0
Loup de mer	338,5
Cassava	317,7
Sompat	153,7
Barracuda	147,0
Jotor	116,6
Kujeli	112,6
Mullet	109,8
Sole	65,3
Maquereau	49,6
Sacca	46,7
Sardinelle	38,5
Banda	35,8
Tapandarr	34,4
Shine nose	31,7
Mérou	23,7
Tilapia	19,5
Fotta	16,2
Lutjanide	5,3
Homard	0,3
Autre	74,7
Total	8.115,9
SOURCE: Données fournies par le Ministère des ressources en eau et de l'environnement, Département de la pêche. Tableau extrait de Josserand (1985).	
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.	

Une grande part des informations présentées ci-dessous a été résumée à partir des six rapports rédigés dans le cadre des Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie. La principale source d'informations a été fournie par le rapport de Josserand (1985), qui comportait une étude de trois semaines sur la pêche artisanale en Gambie et au Sénégal. Les documents d'appui ont été tirés de rapports de Josserand et al. (1984), Saidykhan (1984), Dorr et al. (1985), Moll et al. (1984), et van Maren (1985). Les auteurs de ces documents se sont lourdement inspirés des statistiques sur les prises de poisson fournies par le Département de la pêche au Ministère gambien des ressources en eau et par le Service de l'élevage au Sénégal.

3.3.1. Pêche artisanale

3.3.1.1. Côte atlantique gambienne. Il existe une communauté artisanale de la pêche très active le long de la côte gambienne. Toute la côte est longée de nombreuses petites flottes de pêche composées de barques à moteur de 7 à 10 mètres. La communauté la plus importante et la plus active se situe près de Brufut. Plus de 600 barques sillonnent la côte, employant jusqu'à 3.000 pêcheurs et employés (Josserand, 1985). Les pêcheurs artisanaux ont pris légèrement plus de poisson entre juin 1982 et juillet 1983 que les entreprises de pêche commerciale, avec 8.116 tonnes métriques contre 7.275 tonnes métriques (Josserand, 1985). La prise était variée (Tableau 3.7), composée d'espèces pélagiques, benthiques et de crustacés. La prise dominante était de loin le bonga (Ethmalosa fimbriata), avec 5.271 tonnes métriques sur les 8.116 tonnes métriques prises au total (Josserand, 1985).

Environ les deux-tiers des pêcheurs artisanaux de la côte gambienne étaient des étrangers. Il s'agissait principalement de résidents permanents qui pouvaient à de nombreux égards être considérés comme des Gambiens. Une partie de la pêche était saisonnière, les Sénégalais pêchant le long de la côte pendant la saison sèche après la récolte. On pêchait surtout à l'araignée et à l'épervier.

L'obstacle principal à la réussite de la pêche artisanale côtière se situe au niveau de la commercialisation. Une fois que les poissons périssables sont apportés à terre et nettoyés, il n'existe aucun mécanisme de transport des produits vers le marché. La transformation des produits de la pêche est insuffisante, souvent basée sur la technique peu économique du séchage au soleil. Jusqu'à récemment, le réseau routier desservant les

plages était pauvre, mais il a été largement amélioré. Il n'en subsiste pas moins un manque de coordination dans le transport des produits de la pêche vers les marchés au début de 1984. L'expérience au Sénégal a indiqué que la demande de produits de la pêche dans les villages de l'intérieur était très élevée, dans la mesure où il est possible de les acheminer sur les lieux de consommation.

3.3.1.2. Pêche estuarienne et fluviale en Gambie. Cette forme de pêche est beaucoup moins développée que la pêche artisanale côtière. La prise officielle enregistrée entre juin 1982 et juillet 1983 s'est chiffrée à 1.242 tonnes métriques (Josserand, 1985). On a divisé le fleuve en deux régions pour l'enquête du Département de la pêche: le cours inférieur en aval de Yélitenda et le reste du fleuve appelé cours supérieur. La prise de 1.242 tonnes métriques était également répartie entre les deux régions, le cours inférieur ayant pris 604 tonnes métriques (Josserand, 1985). Cette prise était assez variée et comprenait des espèces marines et d'eau douce (Tableau 3.8). Les espèces de poisson prises à un point donné variaient selon la saison (Tableau 3.9), la température et la salinité affectant l'emplacement de chaque espèce.

Le Département gambien de la pêche a estimé le nombre de pêcheurs indépendants travaillant dans l'estuaire et le fleuve à 1.800: 300 dans le cours supérieur et 1.500 dans le cours inférieur. Josserand (1985) a évalué le total à 3.000 à la suite de son enquête sur la communauté de la pêche artisanale. Les deux estimations comprenaient les 300 pêcheurs de crevettes associés à National Partnership Enterprises, Ltd. (NPE). L'écart entre les deux estimations tient probablement à la nature saisonnière de cette occupation. Nombre des pêcheurs indépendants se tournent vers l'agriculture pendant l'hivernage et reprennent la pêche après la récolte.

Dans le cours inférieur, la plupart des pêcheurs étaient gambiens (90%), tandis qu'ils étaient surtout étrangers (70%) dans le cours supérieur (voir Josserand, 1985). Ces pêcheurs étrangers étaient essentiellement sénégalais et maliens, avec des représentants de la Guinée-Bissau. Tous les pêcheurs indépendants avaient tendance à utiliser des techniques semblables quelle que soit leur origine. Ces techniques comprenaient le passage de la pêche dans le chenal principal aux plaines inondables et aux bolons, suivi d'un retour au chenal principal selon la saison. Un segment de la pêche artisanale entièrement inconnu est la pêche

aux crustacés. On a observé une importante population de bivalves aux pieds des palétuviers Rhizophora. Cette forme de pêche fournit une partie non négligeable de l'alimentation locale aux communautés du cours inférieur. Mais elle n'apparaît pas dans les enquêtes sur la pêche. Cette lacune provient peut-être du fait que ce sont les femmes travaillant seules qui pêchent l'huître et les autres crustacés. Ces femmes pêchent souvent les pieds dans l'eau, ramassent les crustacés dans l'estuaire et les vendent ou les échangent localement.

TABLEAU 3.8			
PRISES DE LA PECHE ARTISANALE ESTUARIEENNE ET FLUVIALE ENTRE JUIN 1982 ET JUILLET 1983 (en tonnes métriques)			
Cours inférieur		Cours supérieur	
Bonga	161,5	Tilapia	192,1
Kujeli	146,2	Sesseh	85,5
Poisson-chat	118,1	Tambajang	44,3
Jotor	46,0	Konokono	30,5
Barracuda	39,7	Fantang	27,3
Loup de mer	37,7	Feta	23,4
Requin/raie	21,5	Tarra	16,7
Cassava	17,3	Nginyan	10,9
Sole	1,0	Balantang	6,3
Mullet	0,4	Sokoro	2,8
Sompat	0,2	Kossoh	0,8
Autre	15,0	Autre	196,6
Total partiel	604,6	Total partiel	637,2
SOURCE: Données fournies par le Ministère des ressources en eau et de l'environnement, Département de la pêche. Tableau extrait de Josserand (1985).			
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.			

La pêche artisanale estuarienne et fluviale souffre des mêmes problèmes de commercialisation et de transformation que la pêche côtière. Les routes gambiennes s'améliorent rapidement, essentiellement sous la poussée de

TABLEAU 3.9
PRISE SAISONNIERE DE POISSON PAR LES PECHEURS INDEPENDANTS
DANS LE COURS INFERIEUR DU FLEUVE GAMBIE^a

Ale	Sandji Follo (mai-juin)	Sama (juillet-août)	Kountchamaro (septembre)	Sanyano (octobre-novembre)
Dog Island Area	Poisson-chat Loup de mer Autre poisson à chais blanche	Crevette Poisson à chais blanche	Par de poisson-chat Crevette Poisson à chais blanche	Crevette Poisson à chais blanche
Albreda Area	Poisson-chat Chalo Djotto Furro Kudjalo Mbossoro Tabasse Wankango	Par de poisson-chat Mbossoro Nakako Patano Tambadjan	Voir Sama	
Kerewan	Poisson-chat Chalo Fetta Furro Kudjalo Kunkelengo Lambacisseo Mbossoro Crevette Tambadjan Wankang	Par de poisson-chat Fetta Kudjalo Lambacisseo Mbossoro Tabasse Wankango		
Balingho	Poisson-chat Chalo Crabs Djotto Fetta Furro Kossoh Kotoro Lambacisseo Mbossoro Patano Tabasse Wakalo Wankang	Par de poisson-chat Chalo Crabs Djotto Fetta Furro Kossoh Kotoro Lambacisseo Mbossoro Patano Tabasse Wakalo Wankang		
Jenoi Area	Poisson-chat Chalo Fetta Furro Kossoh Kudjalo Patano Taroro Wankango	Furro (très peu) Kockricka Kudjalo (peu) Lambacisseo Wankango (peu)	Furro Kockricko Kudjalo Lambacisseo Tambadjan Wankango	Poisson-chat (peu) Furro Kockricko Kudjalo Lambacisseo (assez peu) Patano (peu) Tambadjan Wankango

NOTE: a) Tiré de Josserand, 1985.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

l'industrie de l'arachide. Les routes qui relient la route principale au fleuve sont généralement en mauvais état et se détériorent rapidement pendant l'hivernage. Les routes du cours inférieur à travers les forêts de palétuviers sont très rares. Les pêcheurs savent que les prises ont baissé au cours des dix à quinze dernières années, mais ils estiment que la commercialisation reste le principal obstacle au développement de la pêche artisanale (Josserand, 1985).

3.3.1.3. Sénégal. Les activités de pêche le long du fleuve Gambie et des affluents au Sénégal étaient essentiellement menées par une série de petits villages sur le fleuve. Josserand (1985) fournit une liste complète de ces villages avec une ventilation par affluent. On ne pratiquait pas la pêche dans la section principale du fleuve Gambie qui traverse le parc national de Niokolo Koba.

Bien que la pêche artisanale soit considérée comme une occupation plutôt prestigieuse au Sénégal, les efforts déployés dans le domaine de la pêche sont beaucoup moins intenses qu'en Gambie. Il était évident que l'on consommait généralement les prises peu importantes dans le village d'origine. Les problèmes de commercialisation étaient très nombreux et empêchaient toute expédition de poisson à grande échelle d'un village à l'autre. De même que pour la Gambie, la demande l'emporte largement sur l'offre. La Gambie et le Sénégal se distinguent surtout par le fait que le Sénégal possède un réseau routier de meilleure qualité qui a permis la commercialisation poussée des produits de la pêche maritime à l'intérieur des terres. Partant, une grande partie du poisson commercialisé dans les deux principaux centres de population à l'est du Sénégal (Tambacounda et Vélingara) était du poisson de mer qui se vendait rapidement à des prix compétitifs par rapport à la viande de bœuf (Josserand, 1985).

La série la plus complète d'informations sur les rendements de la pêche fluviale artisanale provient d'une étude de marché réalisée à Kédougou par les Services de l'élevage. En 1982, environ 69 tonnes métriques de poisson ont été vendues à Kédougou: 45 tonnes de poisson séché, 18 tonnes de poisson fumé et seulement 6 tonnes de poisson frais.

La plupart des pêcheurs indépendants interrogés par Josserand (1985) ont indiqué qu'il y avait plus de poisson il y a dix ou quinze ans. Ces pêcheurs attribuaient le déclin des prises à la sécheresse et au manque de plaines inondables propices au frai. La combinaison de maigres prises, de

techniques de conservation inadéquates et de méthodes de commercialisation tout à fait insuffisantes dans le Sénégal oriental a contribué au recul de la pêche fluviale dans les gros marchés régionaux.

3.3.1.4. Guinée. La pêche artisanale guinéenne n'est pas examinée en détail ci-après, mais elle est abordée sous l'angle de l'offre alimentaire locale étudiée dans le cadre d'études socio-économiques (voir Développement rural dans le Bassin du fleuve Gambie). La pêche guinéenne n'a pas été étudiée en détail pour deux raisons. Premièrement, la pêche semblait très peu développée, n'apportant donc qu'une fraction minime de l'offre alimentaire locale, à la différence de la Gambie ou du Sénégal. Deuxièmement, la pêche était saisonnière, ne contribuant à l'alimentation locale que pendant une partie de l'année. La pêche artisanale guinéenne était considérée comme une ressource marginale que seule la mise en valeur du bassin fluvial pourrait développer.

3.3.2. Pêche industrielle

Le volume de la prise et l'économie de la pêche industrielle peuvent être ventilés en deux catégories, les poissons et les crustacés. Les données sur la prise de poisson en Gambie ont été compilées par le Département gambien de la pêche. Mais on possède peu d'informations au-delà de celles compilées par les Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie sur la prise de poisson dans les portions sénégalaise ou guinéenne du bassin, ou sur les caractéristiques de la pêche aux crustacés.

Le principal avantage économique tiré de la pêche industrielle par l'économie locale tient à la production de devises et d'emplois. La création d'emplois est essentiellement liée au travail temporaire des pêcheurs indépendants dans les sociétés de transformation et d'exportation des produits de la pêche. Les revenus économiques tirés de la pêche industrielle proviennent de trois sources générales: droits de pêche versés par les cargos étrangers, taxes d'exportation sur les produits de la pêche et restitution d'une partie de la valeur d'exportation de la prise à l'économie locale.

Les revenus récents de ces sources, résumés aux Tableaux 3.10 et 3.11, illustrent la portion relativement peu importante de la valeur franco à bord de la prise qui réapparaît dans l'économie locale. Qui plus est, la plupart des entreprises ont tendance à sous-évaluer leur prise, ce qui réduit la taxe d'exportation. Les valeurs présentées dans ces tableaux sont

TABLEAU 3.10

REDEVANCES POUR LES BATEAUX DE PECHE AGREES ET TAXES
D'EXPORTATION EN GAMBIE^a

Bateaux nationaux

Moins de 400 CV. - 30 Dalasis/tonne brute enregistrée/année

Plus de 400 CV. - 60 Dalasis/tonne brute enregistrée/année

Bateaux étrangers

Moins de 400 CV. - 200 Dalasis/tonne brute enregistrée/année

Plus de 400 CV. - 400 Dalasis/tonne brute enregistrée/année

Taxes d'exportation

Crevette et homard - 20% valeur FOB

Poissons benthiques frais - 15% valeur FOB

Poisson congelé et pélagique - 10% valeur FOB

Bonga fumé - 5% valeur FOB

SOURCE: Ministère des ressources en eau et de l'environnement,
Département de la pêche.

NOTE: a) D'après Josserand, 1984.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

TABLEAU 3.11
VALEUR ECONOMIQUE DES PRODUITS HALIEUTIQUES
(juillet 1982 à juin 1983)

Compagnie	Redevances des navires	Taxe d'exportation	Valeur francs à bord
Seagull	500.000 ^a	60.000 ^b	600.000 ^{c,e}
NPE-Shrimp	--	500.000 ^d	2.500.000 ^e
NPE-Demersal	--	150.000 ^f	1.000.000 ^e
Autres compagnies étrangères	250.000 ^a	150.000 ^f	1.000.000 ^{e,g}
Total	750.000	860.000	5.100.000

SOURCE: Adapté de Josserand (1985).

- NOTES:
- a) Basé sur les chiffres du Tableau 3.10.
 - b) Redevance égale à 10% valeur FOB.
 - c) Basé sur la valeur FOB de 0.1 dalasi/kg et sur une prise annuelle de 6.000 tonnes métriques.
 - d) Redevance égale à 20% valeur FOB.
 - e) Tiré de Josserand (1984).
 - f) Redevance égale à 15% valeur FOB.
 - g) Estimé à 10% de la prise régionale.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

probablement des minimums qui pourraient bien être nettement inférieurs à la réalité.

Si la Gambie exporte une proportion des produits de la pêche issus de ses eaux territoriales, elle importe également une quantité considérable de poisson de grande valeur. Quelque 600 à 700 tonnes métriques soit environ 10 pour cent du volume total des exportations sont importées chaque année. Ces importations portent malheureusement sur des produits de prix élevé et représentent près de la moitié de la valeur des exportations. Ces importations comprennent du poisson en boîte, salé, fumé ou séché de grande valeur.

3.3.2.1. Entreprises domestiques. La compagnie gambienne la plus importante est National Partnership Enterprises, Ltd. (NPE) basée à Banjul. Cette entreprise utilise toute une série de techniques de pêche comme le recrutement de pêcheurs indépendants pour la pêche à la crevette rose (Penaeus duorarum) et des stocks de poissons benthiques de grande valeur (comme la sole). NPE a transformé une quinzaine de tonnes métriques de produits de la pêche entre juin 1982 et juillet 1983, dont environ 2,27 tonnes métriques de crevettes (van Maren, 1985). Entre juillet 1983 et juin 1984, la prise de crevettes transformées par NPE est passée à 412 tonnes métriques (van Maren, 1985). Plus de 300 barques de pêche utilisent des étentes et du matériel de pêche auxiliaire pour la pêche à la crevette de NPE. La pêche à la crevette et au poisson benthique organisée sous l'égide de NPE employait plus de 1.000 personnes en Gambie pendant les périodes de pêche les plus actives. Un nombre indéfini de personnes travaillaient également dans le secteur des fournitures, des services et de la transformation des produits de la pêche. Les prises de NPE sont des produits de haute valeur qui représentent 2 à 4 millions de dalasis à l'exportation par an. Les activités de pêche de NPE constituent une excellente source de devises pour la Gambie du fait que 95 pour cent de la production halieutique sont exportés.

L'autre principale compagnie gambienne de pêche industrielle également située à Banjul est la Fish Marketing Company (FMC). Il s'agit d'une entreprise publique créée en 1977 afin de s'installer dans les locaux d'une entreprise japonaise tombée en faillite (Josserand, 1985). La FMC a la responsabilité de délivrer des permis d'exportation pour les produits de la pêche provenant des eaux gambiennes. La compagnie transforme également un petit volume de produits de la pêche achetés aux pêcheurs indépendants pour

l'exportation. Le volume de ce produit a varié de 400 tonnes métriques à 102 tonnes par an. La plupart des achats de la FMC provenaient de la pêche artisanale côtière. Si la FMC atteint les objectifs qu'elle s'est fixés, elle deviendra la première entreprise de pêche industrielle. Grâce à un accord de financement de 20 millions de dollars EU conclu avec la Banque africaine de développement et à une assistance technique européenne, la FMC obtiendra une importante flotte de chalutiers, une jetée et des installations de transformation. La FMC, qui doit être rebaptisée Conseil national de commercialisation de la pêche, prévoit de pêcher la sardine (Sardinella), le bongu (Ethmalosa fimbriata) et d'autres espèces côtières marines. En outre, la FMC prévoit d'acheter 30 pour cent de sa production totale à des pêcheurs indépendants afin de transformer cette production dans ses installations, ce qui représenterait une hausse appréciable des avantages économiques perçus par l'économie et la population gambiennes.

3.3.2.2. Compagnies étrangères. La principale compagnie étrangère pêchant dans les eaux gambiennes et basée à Banjul est la compagnie ghanéenne Seagull Cold Stores, Ltd. Cette entreprise a acquitté près de 78 pour cent de ses droits et taxes de pêche levés par le gouvernement gambien grâce à ses activités de pêche à l'étranger. Les prises de Seagull ont également représenté plus de 80 pour cent de la prise industrielle totale réalisée dans les eaux gambiennes en 1983 (Josserand, 1984). Entre juillet 1982 et juin 1983, Seagull a transformé 5.944 tonnes métriques sur les 7.275 tonnes métriques de pêche industrielle. La quasi-totalité des produits consistait en sardines exportées vers le Ghana car le marché domestique pour ce produit est limité. Seagull est une entreprise à financement et exploitation entièrement étrangers qui emploie une énorme main-d'oeuvre étrangère. En conséquence, la plupart des avantages tirés par la Gambie des activités de cette entreprise viennent des devises recueillies au titre des droits et taxes de pêche.

Jusqu'à huit entreprises étrangères de pêche pêchent dans les eaux gambiennes depuis le début des années 70. Entre juillet 1982 et juin 1983, la flotte totale comprenait onze chalutiers prenant quelque 800 tonnes métriques de poisson. Ce total représente environ 11 pour cent de la prise industrielle totale réalisée dans les eaux gambiennes. Josserand (1985) a estimé la valeur annuelle de la prise totale dans les eaux côtières trinationales du Sénégal, de la Gambie et de la Guinée à plus de 10 millions

de dalasis. Mais la valeur réelle du volume de poisson pris dans les eaux gambiennes par ces compagnies a été estimée à moins d'un dixième de la prise totale dans les eaux ouest-africaines.

4. INCIDENCES

L'étude écologique du fleuve Gambie a été combinée avec les résultats des programmes de développement fluvial dans d'autres fleuves africains afin de produire une série d'incidences probables pour le fleuve Gambie. Ces incidences couvrent un large éventail d'effets, depuis les incidences strictement écologiques jusqu'à celles qui découlent de l'activité de l'homme le long des rives des réservoirs nouvellement formés. Les incidences de la mise en valeur du fleuve Gambie sont présentées ci-dessous par zone. On a retenu cette approche car elle correspond aux autres parties de l'étude qui ont également adopté une approche par zone. Les incidences sont présentées pour cinq zones, à savoir:

- bas estuaire
- haut estuaire
- eaux douces du cours inférieur
- eaux douces du cours supérieur
- zone des eaux d'amont

On a procédé à une analyse des incidences par zone non seulement parce cela correspond à l'organisation du reste de l'étude, mais aussi parce que les cinq barrages proposés affectent différemment les cinq zones.

L'une des principales conclusions de l'étude écologique est que l'environnement physique et chimique du fleuve Gambie est le principal facteur déterminant la flore et la faune aquatiques. Cette conclusion quelque peu évidente a un rôle déterminant sur la nature des incidences de la mise en valeur du bassin fluvial. Les modifications de l'environnement physique et chimique affecteront ultimement toute la composition du biote du fleuve et des environs. Ceci étant posé, les incidences anticipées sur le fleuve Gambie ont été classées en incidences primaires, secondaire et tertiaires. Les incidences primaires sont celles qui affectent l'environnement physique et/ou chimique, comme une modification du régime de salinité de l'estuaire du fait du barrage de salinité. Les incidences primaires produisent des incidences secondaires qui sont des modifications du biote fluvial, comme l'élimination des crevettes estuariennes en amont du barrage de salinité. Les incidences tertiaires sont celles qui peuvent être considérées comme anthropogéniques, comme la réimplantation de la population le long des rives de la nouvelle retenue d'eau douce créée par le barrage de

salinité. On commencera l'examen des incidences au sein de chaque zone par les incidences primaires.

L'étude des incidences sur les ressources du fleuve Gambie présente un autre niveau de ventilation en raison de la prise en compte de cinq scénarios de mise en valeur. Le programme de mise en valeur proposé pour le Bassin du fleuve Gambie repose sur la construction de jusqu'à cinq barrages. Mais la combinaison de ces cinq barrages n'a jamais été exactement précisée. Devant cette incertitude, il est impossible d'envisager les 32 combinaisons de barrages (y compris l'option d'aucun barrage). Partant, on a envisagé les cinq scénarios de mise en valeur les plus probables:

- aucun développement
- Kékréti seulement
- Kékréti et trois barrages guinéens
- Kékréti et Balingho
- les cinq barrages

Outre les cinq combinaisons de barrages examinées ci-après, on a également envisagé plusieurs schémas d'irrigation dans le cadre du programme de mise en valeur. Ici encore, les schémas d'irrigation n'ont pas été définis avec précision, créant une certaine ambiguïté sur l'incidence du programme d'irrigation sur l'environnement aquatique. L'examen qui suit repose sur plusieurs hypothèses quant au programme d'irrigation. Premièrement, l'incorporation de terrains dans le réseau d'irrigation serait un processus lent, qui n'excéderait pas 2.500 ha par an. Deuxièmement, un maximum de 85.000 hectares seraient irrigués. Troisièmement, toute l'eau douce disponible sera employée soit pour l'irrigation soit pour le contrôle de la salinité et la production d'électricité. La mise en place du réseau d'irrigation implique une agriculture intensive.

L'approche indiquée dans l'examen des incidences met l'accent sur l'étroite relation entre les divers processus qui déterminent les écosystèmes aquatiques du fleuve Gambie. Cette approche a été adoptée dans le cadre de la stratégie globale d'échantillonnage et conservée pour l'étude des incidences ci-dessous.

L'examen des incidences a été rédigé pour une vaste audience, comme le reste du présent rapport. Cependant, l'étude de l'écologie aquatique présente un certain degré de complexité qui risque de dérouter le lecteur

non averti. En particulier, certains termes comme épilimnion, anoxie, stratification thermique, etc. ne sont pas des termes du vocabulaire courant en dehors de la science des ressources aquatiques. Ces termes recouvrent en fait des concepts plus que de simples définitions. Afin de permettre au lecteur plus familiarisé avec les questions écologiques de suivre le texte sans des explications terminologiques excessives, les incidences sont présentées de deux façons. La partie qui suit examine les incidences par zone. Elle contient certains termes techniques sans définition. L'Annexe I présente les incidences par type, c'est-à-dire primaires, secondaires et tertiaires. Dans cette partie, certaines notions d'écologie aquatique abordées ci-après sont expliquées plus en détail.

4.1 Résumé

Les incidences prévues pour le fleuve Gambie à la suite de divers programmes de mise en valeur du bassin du fleuve sont présentées ci-après zone par zone. Toutefois, il est probable que toutes les incidences sauf une auront lieu dans au moins deux ou plus des zones dans le cadre des différentes options de mise en valeur. Quarante-et-une incidences sont citées pour l'ensemble des cinq zones. Ces incidences sont citées par type dans le Tableau 4.1: primaires, secondaires et tertiaires. Ces incidences sont ensuite citées par zone dans le Tableau 4.2, c'est-à-dire comme elles sont présentées dans le texte. Une explication de chaque incidence par sujet (analogue au Tableau 4.1) est donnée dans l'Annexe I. La présentation de l'Annexe I sert également à donner des détails sur plusieurs termes techniques aux lecteurs qui ne sont pas familiers avec les principes de l'écologie aquatique.

L'exposé qui suit et l'Annexe I ne précisent pas le degré de risque associé à chaque incidence dans chaque zone. Le Tableau 4.3 tente d'évaluer ces risques, le risque associé à chaque incidence étant classé comme élevé, modéré, faible ou nul. Cette classification grossière varie souvent selon l'interlocuteur concerné. Partant, le Tableau 4.3 aura une valeur essentiellement indicative pour les autres parties cherchant à déterminer leur propre risque. Après avoir lu le chapitre 4, le lecteur devrait être en mesure d'établir sa propre version du Tableau 4.3 au moyen des Tableaux 4.1 et 4.2.

TABLEAU 4.1

INCIDENCES ANTICIPEES DU PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT PROPOSE
SUR L'ENVIRONNEMENT AQUATIQUE, LA FLORE ET LA FAUNE
DU BASSIN DU FLEUVE GAMBIE

Incidence	No. ^a
<u>Incidences physico-chimiques</u>	
Modification des schémas de flux saisonniers dans le fleuve Gambie	1
Modification du courant dans le fleuve	2
Changement du régime thermal dans les réservoirs	3
Conditions d'anoxie au fond des réservoirs	4
Modification des teneurs en nutriments du fleuve Gambie	5
Modification des charges de sédiments en suspension	6
Pénétration accrue de la lumière sous l'eau	7
Augmentation des charges de sédiments en suspension pendant les travaux	8
Modification des rives du fleuve par érosion du sol et absence	9
d'inondation saisonnière	9
Perte définitive des plaines inondées saisonnièrement	10
Développement d'une zone de soutirage dans chaque réservoir	11
Accroissement de l'évaporation due aux réservoirs et aux plaines	12
inondables	12
Absence d'influence de la marée en amont du barrage	13
Augmentation de l'amplitude de la marée en aval du barrage	14
Exclusion de l'eau salée en amont du barrage	15
Baisse du gradient de salinité dans l'estuaire du fleuve Gambie	16
Formation de sols sulfaté-acides	17
Accumulation de sédiments dans les bôlons des mangroves	18
Formation d'eau hypersaline	19
<u>Incidences biologiques</u>	
Modification de la composition des espèces aquatiques au profit d'organismes limnétiques	20
Favorisation de la production d'algues dans les réservoirs	21
Changements dans la composition des réservoirs en espèces benthiques invertébrées	22
Accroissement de la production et de la récolte de poisson dans les réservoirs	23
Croissance explosive des mauvaises herbes aquatiques	24
Elévation des taux d'évapotranspiration	25
Elimination des mangroves en amont du barrage et modification de la structure des écosystèmes de mangroves en aval	26
Perturbation des itinéraires de migration estuarienne	27
Elimination du plancton marine en amont du barrage	28
Favorisation de la production de poisson dans le cours inférieur du fleuve Gambie	29
Elimination des populations d'invertébrés en amont du barrage	30

TABLEAU 4.1 (suite)

Incidence	No. a
<u>Incidences anthropogéniques</u>	
Usage accru d'herbicides, de pesticides et d'engrais	31
Evolution des pêches traditionnelles vers les espèces lacustres	32
Modification du régime alimentaire au profit du poisson	33
Augmentation des surfaces de culture irriguée	34
Pollution due à l'exploitation des mines	35
Etablissements humains à proximité du fleuve et des réservoirs	36
Changement des vecteurs de maladie	37
Déboisement	38
Changements dans les occupations humaines	39
Modification des itinéraires de commerce et de transport	40
Modification de la répartition de la faune	41
NB: a) Les numéros représentent les numéros des incidences dans les	
Tableaux 4.2 et 4.3.	
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.	

TABLEAU 4.2

REPARTITION DES INCIDENCES ANTICIPEES PAR REGION DU FLEUVE GAMBIE^aZone du bas estuaire

- AD - aucune incidence
 K - 1, 2, 5 (mineure), 6 (mineure), 8
 KG - comme K
 KB - 1, 2, 5, 6, 7, 8, 14, 16, 19, 23, 26, 27, 29, 31, 40
 KGB - comme KB

Zone du haut estuaire

- AD - aucune incidence
 K - 1, 2, 5, 6, 8 (mineure), 10 (mineure), 30
 KG - comme K
 KB - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 38, 39, 40, 41
 KGB - comme KB

Zone d'eau douce du cours inférieur

- AD - 5, 10, 24, 25, 31, 34, 36 (mineure), 38, 41
 K - 1, 2, 3 (mineure), 5, 6, 8, 9, 10, 12, 24, 25, 31, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41
 KG - comme K
 KB - 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 18, 21, 24, 25, 27, 30, 31, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41
 KGB - comme KB

Zone d'eau douce du cours supérieur

- AD - 5, 10, 24, 25, 31, 36, 38, 40, 41
 K - 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27 (mineure), 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41
 KG - comme K
 KB - comme K
 KGB - comme K

Bassin de réception

- AD - 5, 24, 25, 31, 35 (mineure), 36, 38, 39, 40, 41
 K - comme AD
 KG - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41
 KB - comme K
 KGB - comme KG

TABLEAU 4.2 (suite)

<p>Code pour les scénarios de développement:</p> <p>AD = aucun développement autre que la croissance sans barrage; K = barrage de Kékréti seulement; KG = barrage de Kékréti et trois barrages de Guinée; KB = barrages de Kékréti et de Balingho; KGB = barrages de Kékréti, de Guinée et de Balingho</p>
<p>NB: a) Les incidences sont présentées pour cinq scénarios de développement différents dans chacune des cinq zones écologiques. Les numéros des incidences renvoient aux types d'incidences présentés au Tableau 4.1.</p>
<p>Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.</p>

TABLEAU 4.3.					
DEGRE DE RISQUE OU NIVEAU DE L'IMPACT ASSOCIE A CHAQUE OPTION DE DEVELOPPEMENT					
Impact No.	AD	K	KG	KB	KGB
<u>Primaire</u>					
1		M	M	H	H
2		M	M	H	H
3					
4					
5		F	F	H	H
6		F	F	M	M
7				M	M
8		F	F	H	H
9					
10					
11					
12					
13					
14				H	H
15					
16				H	H
17					
18					
19				H	H
<u>Secondaire</u>					
20					
21					
22					
23				H	H
24					
25					
26				H	H
27				H	H
28					
29				M	M
30					
<u>Tertiaire</u>					
31				M	M
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41				M	M

TABLEAU 4.3. (suite)

Impact No.	Haut Estuaire					Cours Inférieur				
	AD	K	KG	KB	KGB	AD	K	KG	KB	KGB
<u>Primaire</u>										
1		H	H	H	H		H	H	H	H
2		H	H	H	H		H	H	H	H
3					M		F	F	F	F
4					M					
5		M	M	H	H	F	H	H	H	H
6		M	M	H	H		F	F	M	M
7				M	M					
8		F	F	M	M		M	M	H	H
9				H	H		H	H	H	H
10		F	F	M	M	F	H	H	H	H
11				M	M					
12				M	M		M	M	M	M
13				H	H					
14										
15				H	H					
16				H	H					
17				H	H					
18				H	H					
19									H	H
<u>Secondaire</u>										
20				H	H					
21				M	M				F	F
22				M	M					
23				H	H					
24				M	M	F	M	M	M	M
25				M	M	F	M	M	M	M
26				H	H					
27									F	F
28				H	H					
29										
30				H	H				F	F
<u>Tertiaire</u>										
31				H	H	M	H	H	H	H
32				H	H					
33				M	M					
34				H	H	M	M	M	M	M
35										
36				H	H	F	H	H	H	H
37				F	F		F	F	F	F
38				M	M	F	M	M	M	M
39				M	M		M	M	M	M
40				M	M		F	F	F	F
41				M	M	F	F	F	F	F

TABLEAU 4.3. (suite)

Impact No.	Cours Supérieur					Bassin de Réception				
	AD	K	KG	KB	KGB	AD	K	KG	KB	KGB
<u>Primaire</u>										
1		H	H	H	H	F	F	H	F	H
2		H	H	H	H			H		H
3		M	M	M	M			M		M
4									M	
5	F	H	H	H	H			H		H
6		M	M	M	M			F		F
7		M	M	M	M			F		F
8		M	M	M	M			F		F
9		M	M	M	M			F		F
10	F	M	M	M	M			F		F
11		M	M	M	M			M		M
12				M	M		M	M	M	M
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
<u>Secondaire</u>										
20		H	H	H	H			H		H
21		H	H	H	H			H		H
22		M	M	M	M			M		M
23		H	H	H	H			H		H
24	F	H	H	H	H	F	F	M	F	M
25	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
26										
27		F	F	F	F					
28										
29										
30										
<u>Tertiaire</u>										
31	F	H	H	H	H	F	F	M	F	M
32		H	H	H	H			H		H
33		H	H	H	H			H		H
34		H	H	H	H			M		M
35		M	M	M	M	F	F	H	F	H
36	F	H	H	H	H	M	M	H	M	H
37		F	F	F	F			F		F
38	F	M	M	M	M	F	F	M	F	M
39		M	M	M	M	F	F	M	F	M
40	F	H	H	H	H	F	F	H	F	H
41	F	F	F	F	F	F	F	H	F	H

NOTE: Le degré de risque est exprimé selon un ordre de grandeur arbitraire: haut (H), moyen (M), faible (F) ou inexistant (blanc).

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

Comme il a été prouvé dans l'étude de l'écologie aquatique (Chapitre 3), les relations entre les facteurs physiques, chimiques et biologiques de l'environnement aquatique sont fort complexes. C'est pourquoi il n'est pas possible de résumer a priori la totalité des incidences provenant du bouleversement du système. Cette section vise à souligner les incidences qui ont le plus de chances de résulter du programme de mise en valeur proposé pour le bassin du fleuve. Cependant, une fois que le programme de mise en valeur aura été entamé, des incidences imprévisibles surgiront qui devraient être identifiées et incluses dans le catalogue général sur les incidences de la mise en valeur du fleuve Gambie.

4.2. Hydrologie de l'exploitation du réservoir

Avant d'examiner les incidences spécifiques associées à chaque scénario de développement, les principes d'exploitation de chaque barrage sont présentés ci-dessous. Le degré de précision de ces principes varie de relativement bien défini (Barrage de salinité de Balingho) à purement indicatif (barrages guinéens). Le lecteur est renvoyé à toute une série d'informations qui existent sur le sujet dans les nombreux rapports rédigés par des experts européens. Ces études comprennent des simulations de marée (HRS, 1975, 1977; RRI, 1984), des analyses statistiques de débit (HHL, 1974; RRI, 1984; AHT/HHL, 1983; Polytechna, 1981), l'estimation de la dynamique des réservoirs (RRI, 1984, AHT/HHL, 1984; HHL, 1984). Les modèles de simulation ont été particulièrement utiles pour prévoir les conséquences des politiques d'exploitation au moment de la rédaction du présent rapport. Ces politiques sont présentées à titre de cadre général dans lequel s'inscrit l'examen ci-dessous des incidences.

4.2.1. Barrage de salinité de Balingho

L'objectif principal du barrage de salinité est d'empêcher l'eau de mer de remonter au-delà de Balingho afin de permettre la mise en valeur de la riziculture irriguée dans ce qui constitue actuellement le haut estuaire. Le barrage retiendra un important volume d'eau douce, mais son objectif principal est de servir de barrière de salinité, non de retenue.

La politique d'exploitation impose l'entretien du réservoir dans certaines limites, les niveaux de surface fluctuant de 0,4 m par an au maximum, de -1,3 à +1,7 du niveau de référence gambienne. Le volume d'eau

douce passera de $1,131 \times 10^9$ à $1,338 \times 10^9$ entre les volumes minimum et maximum, produisant un faible volume utile. Malgré cette faible variation verticale, la superficie du réservoir passera de 294 à 716 km². Partant, le réservoir du barrage de salinité de Balingho sera caractérisé par des profondeurs extrêmement faibles, en particulier lorsqu'il sera plein. La profondeur totale moyenne n'atteint que 2,1 m.

Le réservoir se remplira rapidement pendant la crue annuelle et il est possible que l'eau déborde par-dessus les vannes de quelques jours à deux mois par an. L'analyse des récents enregistrements de débit indique que la période minimale de débordement si le barrage est en place varie de 0 jour en 1978 à un maximum de 70 jours en 1974. La moyenne de la période de 14 ans entre 1970 et 1984 a été de 25 jours de débordement par an. Pendant le reste de l'année, les vannes resteront fermées.

Le maintien du niveau de l'eau du réservoir de Balingho dans de strictes limites répond à toute une série d'impératifs, notamment la nécessité d'empêcher la formation de sols acides sulphatés (voir plus bas pour plus de détails sur cette incidence). Les simulations ont indiqué que l'évaporation pendant la saison sèche suffit à faire tomber le niveau du réservoir en-dessous de +1,3 du point de référence gambien. L'eau pompée en amont pour l'irrigation fera baisser encore davantage le niveau du réservoir. (En raison de ces limitations, RRI a estimé qu'il serait possible de mettre en valeur un maximum de 5.000 hectares au lieu des 30.000 hectares initialement prévus afin de développer les cultures doubles irriguées à partir du réservoir de Balingho.) C'est pourquoi on a proposé deux plans d'exploitation en vue de maintenir le niveau de l'eau à un minimum de +1,3 point de référence gambien. Le premier plan consiste à laisser l'eau de mer se déposer au fond du réservoir et de faire ainsi "flotter" une lentille d'eau douce sur la couche de sel plus dense. Cependant, les simulations réalisées par RRI (1984) ont indiqué que les courants de densité et les mélanges d'origine éolienne perturberaient probablement la stratification verticale et que le réservoir deviendrait uniformément salé, à raison de quelque 3 parties par mille. La seule autre solution est de construire un barrage de retenue afin de maintenir le niveau du réservoir de Balingho à +1,3 point de référence gambien ou davantage.

Pour la discussion des incidences qui suit, on a uniquement envisagé la politique d'exploitation du barrage de salinité de Balingho en association

avec un barrage en amont (barrage de retenue de Kékréti). On a considéré que les vannes du barrage étaient fermées onze mois de l'année. Du fait que le réservoir en amont se remplit pendant l'hivernage, le maintien de son volume d'eau consommera près de 60 pour cent de l'eau douce qui pourrait déborder par-dessus le barrage pendant la crue annuelle. Une fois que le réservoir en amont est plein, une brève période de déversement par-dessus le barrage pourrait être observée chaque année après la crue annuelle. Partant, il se formera un lac permanent d'eau douce en amont du barrage de salinité de Balingho, l'estuaire ayant un écoulement minimal d'eau douce en aval.

4.2.2. Barrage de retenue de Kékréti

Comme susmentionné, le principal objectif d'un barrage en amont du barrage de salinité de Balingho est, premièrement, de constituer une réserve d'eau et, deuxièmement, de produire de l'hydroélectricité. L'idée de départ était de construire un barrage à Kékréti au Sénégal, à environ 790 km en amont. Le barrage de Kékréti fournira de l'eau toute l'année afin d'irriguer jusqu'à 70.000 hectares et de maintenir le niveau de l'eau dans le réservoir de Balingho. Des simulations ont toutefois été réalisées récemment (HHL 1984) pour étudier les possibilités d'exploiter le barrage de Kékréti sans le barrage de salinité.

Le réservoir potentiel qui se trouve derrière le barrage de Kékréti a servi de base pour les simulations effectuées au moyen de deux modèles, RESIZE et ROSS, mis au point par HHL. Ces simulations ont indiqué qu'un réservoir capable de contenir $3,5 \times 10^9 \text{ m}^3$ d'eau est la taille optimale. Au volume maximal, le réservoir aurait une profondeur moyenne de 10,3 m et une superficie de 338 km². Chaque année, le réservoir serait ramené à un volume de $1,28 \times 10^8 \text{ m}^3$ et à une superficie de 34 km², avec une profondeur moyenne de 3,7 m. Cela produirait une zone de soutirage légèrement supérieure à 300 km².

L'eau dans le réservoir de Kékréti a trois utilisations potentielles, l'irrigation, la production d'hydroélectricité et le contrôle de la salinité. Ces trois utilisations sont relativement compatibles en ce sens que l'eau consommée pour la production d'hydroélectricité peut être utilisée en aval pour l'irrigation et/ou le contrôle de la salinité. Par exemple, sans irrigation, la décharge de 104 m³ d'eau par seconde pour l'hydroélectricité limitera la pénétration annuelle de l'eau à 135 km en

amont de Balingho. Si on ajoute 30.000 ha d'irrigation au système, la décharge d'eau pour la production d'hydroélectricité serait réduite à quelque 95 m³/s, mais seulement 45 m³/s de ce volume serait disponible pour le contrôle de salinité; les 45 m³/s serviraient à maintenir la limite de salinité à 179 km en amont (6 km en aval de l'île Dankutu). Lorsque la mise en valeur des 70.000 ha sera achevée, le réservoir sera essentiellement consacré à l'irrigation. Cependant, il serait possible d'assurer 97 pour cent de la production d'hydroélectricité en installant une troisième turbine optionnelle dans le barrage de Kékréti. Il serait également possible d'utiliser environ 25 m³/s de débit pour le contrôle de la salinité de manière à maintenir le seuil de 1 ppm à 197 km en amont (23 km en aval de Carrols Wharf). Ces résultats sont fortement influencés par la consommation d'eau pour la riziculture irriguée. Les valeurs utilisées dans le modèle ROSS ont été obtenues par AHT/HHL à légèrement plus de 50.000 m³/ha/an. En utilisant l'estimation inférieure de LRDC, seulement 25.000 m³/ha/an, on pourrait irriguer le même périmètre de 70.000 ha avec quelque 50 m³/s pour maintenir la limite de salinité à 175 km en amont (10 km en aval de l'île Dankutu). Le Tableau 4.4 indique les divers scénarios d'irrigation et de contrôle de salinité.

L'exploitation autonome du barrage de salinité ne va pas sans quelques compromis. Pendant l'hivernage, la majeure partie des eaux du fleuve Gambie en amont de Kékréti seront détournées afin de remplir le réservoir. En conséquence, le riz aquatique ou de marée sera affecté par la politique d'exploitation. Mais les planificateurs du bassin fluvial devraient obtenir une plus grande marge de manoeuvre s'ils utilisent leurs ressources en eau. En outre, le volume d'irrigation sera faible au début de la mise en valeur du bassin. Cela permet d'utiliser une énorme quantité d'eau pour le contrôle de la salinité.

Pour assurer une bonne exploitation du barrage et du réservoir de Kékréti, il convient de remplir le réservoir d'au moins 3×10^9 m³ d'eau chaque hivernage. Les simulations réalisées avec le modèle ROSS ont indiqué que le réservoir ne serait pas rempli à deux reprises entre 1971 et 1980 et que l'eau viendrait donc à manquer à la fin de la saison sèche. L'exploitation autonome du barrage exigera une utilisation très prudente de l'eau qui tienne compte des précipitations l'année en question.

TABLEAU 4.4. EXPLOITATION AUTONOME DU BARRAGE DE KEKRETI: SURFACE MAXIMALE IRRIGABLE ET LIMITE DE PENETRATION SALINE		
Débit regulateur de salinité (m ³ /s)	Surface maximale irrigable ^a (ha)	Position du seuil de pénétration saline de 1 p.p.m. (km)
25	70 000	197
45	50 000	179
64	30 000	162
80	20 000	150
92	10 000	142
104	0	135
NB: a) Fondé sur les estimations d'AHT/HHL (1984), soit 50.000 m ³ /ha/an pour le riz irrigué.		

Débit regulateur de salinité (m ³ /s)	Surface maximale irrigable ^b (ha)	Position du seuil de pénétration saline de 1 p.p.m. (km)
50	70 000	175
66	50 000	161
81	30 000	149
89	20 000	144
97	10 000	139
104	0	135
NB: b) Fondé sur les estimations d'LRDC (1984), soit 25.000 m ³ /ha/an pour l'irrigation du riz.		
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.		

Dans l'examen des incidences ci-après, on suppose que le réservoir de Kékréti se remplira chaque année au maximum de sa capacité, que 70.000 ha d'irrigation sont en place et que la limite de salinité se maintient à environ 180 km en amont toute l'année. On suppose également que le soutirage du réservoir est maximal.

4.2.3. Exploitation conjointe des barrages de Kékréti et de Balingho

L'exploitation autonome du barrage de Kékréti ne permettrait pas de maintenir la limite de salinité à Balingho pendant toute l'année une fois que le périmètre d'irrigation dépasserait 10.000 ha. Afin de remplir le réservoir de Kékréti pendant l'hivernage, la majeure partie de la crue annuelle doit être détournée du cours inférieur. Dans ces circonstances, la limite de salinité se déplacera en amont de Balingho. La culture du riz aquatique entre Balingho et l'emplacement de la limite de salinité seront perdus.

Afin de préserver la riziculture, on a proposé d'exploiter conjointement le barrage de salinité de Balingho et le barrage de retenue de Kékréti. Le barrage de salinité maintiendra la limite de salinité à Balingho pendant la saison sèche. Pendant l'hivernage, les eaux de crue produites par les affluents en aval de Kékréti permettront l'ouverture des vannes à Balingho pendant en moyenne un mois par an, laissant les marées se propager en amont pour la riziculture aquatique.

L'exploitation conjointe des deux barrages présente certains inconvénients hydrologiques. Premièrement, afin de maintenir le niveau de l'eau dans le réservoir de Balingho à +1,3 point de référence gambien, un certain volume d'eau ($2,20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{an}$) doit être consommé afin de compenser les pertes dues à l'évaporation. Deuxièmement, il est peu probable que les vannes du barrage de Balingho puissent rester ouvertes pendant toute la période de culture du riz aquatique sans intrusion d'eau de mer en amont de Balingho. Il importe donc de déverser une partie de l'eau servant à remplir le réservoir de Kékréti afin de préserver la récolte de riz aquatique.

Dans le contexte de cette politique d'exploitation, l'examen ci-après des incidences est fondé sur le régime hydrologique suivant du fleuve Gambie avec les deux barrages employés: les vannes du barrage de salinité resteront fermées toute l'année sauf pour déverser l'excédent des eaux de crue (ouverture 20 à 30 jours par an). Le volume de décharge du réservoir

de Kékréti sera réparti selon les besoins d'irrigation, d'entretien du réservoir de Balingho et de production d'hydroélectricité.

4.2.4. Barrages guinéens

On a proposé trois barrages pour le fleuve Gambie et ses affluents. Le barrage de Kouya est le plus gros ouvrage proposé dans le bassin du fleuve Gambie. Le site proposé se trouve sur le fleuve Gambie, à six kilomètres en amont du confluent avec le Litti, soit à environ 1.034 km en amont de l'embouchure du fleuve. Le barrage de Kouya formerait le plus grand réservoir existant sur le fleuve Gambie, avec un volume total de $4,17 \times 10^9$ m³. Le réservoir aurait une superficie maximale de 116 km² et une superficie minimale de 80 km², créant une zone de soutirage de 36 km². La profondeur moyenne du réservoir plein serait de 42 m. Le seul objectif de ce barrage est de produire de l'hydroélectricité (bien qu'on estime pouvoir irriguer 3.000 ha).

Le site du barrage de Kankakouré se trouve sur l'affluent Litti, à 10 km au-dessus du confluent avec le fleuve Gambie. Ce barrage créerait un réservoir relativement petit, avec un volume maximal de $1,30 \times 10^8$ m³ et une superficie de 16 km². En raison de l'importance du volume utile ($1,27 \times 10^8$ m³), la majorité des 16 km² ferait partie de la zone de soutirage. Le réservoir de Kankakouré aurait une profondeur moyenne de 16 m à plein. De même que le barrage de Kouya, le seul objectif du barrage de Kankakouré est la production d'hydroélectricité.

Le barrage de Kogou Foulbé serait un ouvrage de petite taille situé sur l'affluent Koulountou à environ 150 km en amont du confluent avec le fleuve Gambie; ce confluent se trouve à quelque 576 km en amont. Le réservoir constitué par ce barrage contiendrait $4,50 \times 10^8$ m³ à plein et aurait une superficie de 38 km². La taille de la zone de soutirage est incertaine, mais elle ne dépasserait probablement pas 30 km². La profondeur moyenne du réservoir à plein serait de 12 m. Ce barrage servirait à produire de l'hydroélectricité et à irriguer jusqu'à 12.000 ha.

Ces barrages en sont au stade de la préfaisabilité; leur politique d'exploitation n'est donc pas encore définie. On peut cependant faire quelques hypothèses hydrologiques de base quant à leur exploitation. Les barrages de Kouya et Kankakouré capteront respectivement toutes les eaux d'hivernage des fleuves Gambie et Litti. Cette eau serait ensuite déchargée assez uniformément pendant l'année. Le débit moyen serait de 50 m³/ pour

Kouya et $16 \text{ m}^3/\text{s}$ pour Kankakouré. Il est quasi certain que le débit doublerait pendant au moins 12 heures par jour au moment où la consommation d'électricité est maximale, et cesserait la nuit. On a exprimé une grande inquiétude au sujet du remplissage du réservoir de Kouya car le volume utile proposé dépasse de 20 pour cent le débit annuel moyen du fleuve Gambie.

On a employé le modèle Ross pour simuler l'effet d'un barrage de Kouya sur l'exploitation du barrage de Kékréti. Les résultats préliminaires suggèrent que la politique d'exploitation du barrage de Kékréti ne serait pratiquement pas influencée par la construction du barrage de Kouya. Tout au plus pourrait-on augmenter la production d'hydroélectricité de 4 pour cent à Kékréti si le barrage de Kouya est construit. Mais la régulation de la décharge de Kouya permettrait de réduire la taille du réservoir de Kékréti de plus d'un tiers. Cette réduction est possible moyennant l'alimentation continue des turbines de Kékréti sans devoir emmagasiner la majeure partie des eaux de crue derrière le barrage de Kékréti. Afin de permettre cette réduction de volume, il convient de déterminer que le barrage de Kouya est hydrologiquement réalisable et de le construire en même temps que celui de Kékréti.

Le barrage de Kogou Foulbé ne collectera pas plus de 25 pour cent du débit annuel de la rivière Koulountou. Cette eau captée serait déchargée au rythme de quelque $11 \text{ m}^3/\text{s}$. Du fait qu'on envisage d'utiliser une partie de l'eau pour l'irrigation, elle serait déversée nuit et jour. L'effet général de ce barrage serait relativement faible par rapport aux schémas d'écoulement actuel. La crue annuelle serait légèrement inférieure et le débit en saison sèche passerait de quasi nul à quelques m^3/s .

La politique d'exploitation des trois barrages guinéens employée pour l'examen des incidences ci-après est la suivante: l'effet combiné des barrages de Kouya et de Kankakouré régularisera entièrement le débit annuel en aval des ces barrages. Le barrage de Kogou Foulbé n'aurait qu'un effet limité sur le schéma d'écoulement actuel de la rivière Koulountou.

4.2.5. Réseau d'irrigation

Il existe de nombreux scénarios d'irrigation le long du fleuve Gambie. L'examen des incidences qui suit suppose en général que le réseau de 85.000 ha sera entièrement mis en valeur (12.000 sur la rivière Koulountou). Cependant, dans de nombreux cas, les incidences seront moins sévères dans

les premières années de la mise en valeur lorsque le réseau sera considérablement inférieur à 85.000 ha. Du fait que la plupart des incidences envisagées sont d'ordre qualitatif, on n'aborde pas la possibilité d'atténuer leur gravité en réduisant le périmètre d'irrigation. Le facteur principal affectant les incidences est la politique d'exploitation, laquelle n'est pas encore définie pour des réseaux d'irrigation de taille variable.

4.3 Bas estuaire

La zone du bas estuaire est relativement peu affectée par le programme de mise en valeur envisagé pour le fleuve Gambie. Cette immunité partielle tient au niveau élevé d'échanges entre les parties inférieures du fleuve Gambie et l'environnement océanique côtier. Les eaux du bas estuaire ont une salinité de quelque 34 ppm soit à peu près celle de l'océan. Ces eaux sont bien brassées par les marées semi-diurnes (deux marées égales par jour). Les caractéristiques marines de la zone du bas estuaire se reflètent dans la faune et la flore aquatiques. La végétation est essentiellement dominée par des forêts de palétuviers qui longent les rives du fleuve sur une dizaine de kilomètres. Le plancton, les invertébrés et le poisson sont également considérés comme océaniques côtiers ou marins.

La limite supérieure du bas estuaire est essentiellement fixée à l'endroit où l'influence de l'eau douce ne se fait plus sentir; en pratique, cette limite se déplace selon les saisons, mais elle est approximativement située à Mootah Point, à une soixantaine de kilomètres en amont (voir Figure 3.1). Les incidences de la mise en valeur du fleuve Gambie seront donc limitées dans le bas estuaire puisque cette zone est influencée par l'océan et non par le fleuve. Les principales incidences pour le bas estuaire seront:

- modification de la taille du bas estuaire
- modification de la hauteur des marées
- Restructuration de certaines forêts de palétuviers
- apparition éventuelle d'une hypersalinité (hausse de la salinité au-delà de la salinité marine)

Chacune de ces quatre incidences produira à son tour des incidences secondaires ou tertiaires.

4.3.1. Aucune mise en valeur ou statu quo

Sans programme énergétique de mise en valeur du fleuve Gambie, la zone du bas estuaire ne subira pratiquement aucune modification. La plupart des incidences sur cette zone proviendront de l'apport de nutriments anthropogéniques, de la pêche et de la destruction de l'habitat naturel. Toutes ces incidences découlent des activités humaines le long du fleuve. Bien que les schémas migratoires indiquent que beaucoup de gens descendent vers Banjul, leur incidence sur le bas estuaire est relativement négligeable.

En amont de Banjul, l'implantation humaine restera probablement minime en raison des forêts de palétuviers qui ne constituent guère un environnement favorable pour l'homme. Les seuls groupes qui semblent prêts à accepter de vivre dans ce milieu sont les pêcheurs souhaitant avoir accès au fleuve. Sans expansion de l'industrie de la pêche, les communautés de pêcheurs ne vont guère se développer à l'avenir. Seule une augmentation sensible des efforts de pêche et la mise en place de meilleures installations permettront à l'industrie de la pêche de se développer. Avec une présence humaine minimale le long du fleuve dans le bas estuaire, les incidences sur le fleuve seront négligeables.

4.3.2. Barrage de retenue de Kékréti

Les incidences de la construction de la retenue de Kékréti sur la zone du bas estuaire seront relativement faibles et plus ou moins bénéfiques moyennant une gestion adéquate. Les incidences les plus sensibles causées par le barrage de Kékréti sont la régularisation et la modification saisonnière du débit. Le barrage permettra également de contrôler la décharge d'eau douce afin de poursuivre les activités agricoles pendant la saison sèche. Partant, le débit diminuera pendant l'hivernage tandis qu'il augmentera en saison sèche. La production d'électricité régularisera en outre le débit jusqu'à ce qu'on atteigne un débit uniforme de 60 à 100 m³/s (Harza, 1985).

La principale conséquence de la régularisation du débit sur le fonctionnement du barrage de Kékréti est la réduction éventuelle de la taille de la zone estuarienne. Le contrôle de la décharge d'eau douce par le barrage risque de fournir une charge hydraulique suffisante pour réduire la pénétration d'eau salée dans le fleuve Gambie pendant toute l'année. La pénétration réduite de l'eau salée diminuera à son tour la taille des zones

estuariennes, bien que l'effet principal de ce processus soit la réduction de la taille de la zone du haut estuaire. Cependant, le volume d'eau tiré du fleuve par l'irrigation déterminera si la charge hydraulique est suffisante pour réduire la pénétration d'eau salée au-delà du niveau actuel. Les prévisions réalisées par HHL indiquent qu'une irrigation moyenne (30.000 à 40.000 ha) permettra d'arrêter la pénétration d'eau salée à Bia Tenda.

La construction du barrage de Kékréti risque d'avoir un léger effet sur les sédiments en suspension qui atteignent le bas estuaire. Pendant la construction, une grande quantité de sédiments pénétreront dans le fleuve. Sauf pendant la crue, tous les sédiments devraient se déposer à l'extérieur de l'eau bien au-dessus de la zone du bas estuaire. Pendant la crue, l'augmentation du débit risque de transporter des sédiments sur de grandes distances en aval, mais le fleuve charrie normalement un grand volume de sédiments à cette époque de l'année; la hausse du volume de solides en suspension provoquée par les travaux ne serait probablement pas perceptible au-delà du niveau déjà élevé de solides en suspension. L'effet opposé se fera sentir après la construction du barrage. Le vaste réservoir jouera le rôle de bassin de décantation très efficace pour éliminer les sédiments en suspension. Partant, l'eau tirée du réservoir aura de moindres charges de sédiments. Mais les effets de la décantation des sédiments seront probablement masqués par l'apparition de nouveaux sédiments dans le fleuve entre Kékréti et le bas estuaire.

Alors que la construction du barrage de Kékréti aura un effet minime sur les quantités de solides en suspension dans le bas estuaire, il n'en ira pas de même pour la construction des réseaux d'irrigation. Une fois que le barrage de Kékréti sera opérationnel, une longue période de construction de canaux d'irrigation et de digues s'ouvrira dans la portion inférieure du Bassin du fleuve Gambie. La forte érosion et les techniques de construction devraient localiser les sédiments et les empêcher de pénétrer dans le fleuve, mais ces techniques ne sont généralement pas respectées.

L'agriculture irriguée risque de causer une forte augmentation des charges de nutriments dans le fleuve si l'on procède à un lourd épandage d'engrais dans le cadre des pratiques culturales. L'excès d'engrais est à ce jour l'une des principales causes de la pollution de l'eau des lacs et rivières dans de nombreux pays plus développés. De même, les substances

toxiques sous forme d'herbicides et de pesticides peuvent créer de graves problèmes de pollution. L'ampleur du problème dépendra de la nature et du volume d'application, ainsi que des mesures de contrôle de ces produits chimiques. Cette incidence sera examinée plus en détail à la section 4.5. La construction du barrage de Kékréti devrait avoir une incidence négligeable sur la pêche de poisson et de crustacés dans le bas estuaire. Les études halieutiques ont indiqué l'absence quasi totale de chevauchement ou de migration des espèces entre Kékréti et le bas estuaire.

4.3.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages guinéens

La construction de nouveaux barrages guinéens en amont du barrage de retenue de Kékréti n'aura pratiquement aucune incidence sur le bas estuaire. Toute modification de débit ou dans les sédiments en suspension provoquée par les barrages guinéens sera arrêtée par le barrage de Kékréti bien avant que ces incidences ne se fassent sentir dans le bas estuaire. Le barrage de Kogou Foulbé se trouve sur la rivière Koulountou et n'aura guère d'effet sur le fleuve Gambie. La majeure partie de l'eau emmagasinée par ce barrage servira à l'irrigation en Guinée et n'atteindra jamais le fleuve Gambie. Mais ce barrage ne retiendrait pas plus de 25 pour cent des eaux de la crue annuelle de la rivière Koulountou et n'aurait donc qu'un effet secondaire sur le débit naturel.

4.3.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho

Le barrage de salinité de Balingho aura la plus forte incidence sur le bas estuaire. L'objectif de ce barrage est de bloquer la pénétration de l'eau salée en amont du fleuve Gambie; de même, le barrage bloquera le mouvement en aval de l'eau douce et éliminera donc le gradient de salinité naturelle normalement présent dans l'estuaire. L'estuaire naturel (avec un gradient de salinité progressif de l'eau douce à l'eau salée) disparaîtra. Le bas estuaire subira toute une série d'incidences car l'environnement chimique sera sensiblement modifié. Ces incidences créeront une suite d'incidences secondaires et tertiaires.

La plupart des incidences primaires de la construction et de l'exploitation du barrage de salinité de Balingho résulteront de l'élimination du gradient de salinité dans l'estuaire. Le résultat net est que le fleuve Gambie perdra l'une des cinq zones écologiques - le haut estuaire. Les caractéristiques physiques et chimiques du bas estuaire se propageront en amont jusqu'à la base du barrage de salinité et présenteront

des salinités côtières entre l'embouchure du fleuve et le barrage. Si l'eau douce ne peut franchir le barrage pendant la saison sèche, il risque d'apparaître une situation d'hypersalinité dans les biefs supérieurs de l'estuaire (l'hypersalinité est une condition où les salinités dépassent celle de l'eau de mer normale). L'hypersalinité aura une incidence adverse sur la faune et la flore aquatiques, en ce sens qu'elle ne peuvent tolérer des salinités extrêmement élevées pour des raisons osmotiques (McLusky, 1971).

Le barrage de salinité affectera également le régime des marées dans le fleuve. Le mélange des marées sera éliminé au-delà du barrage tandis que la hauteur de marée augmentera de 10 à 20 pour cent en aval du barrage. L'augmentation de la hauteur de marée provient de la réflexion des vagues de la marée contre le barrage (Harza, 1985).

La création d'un réservoir derrière le barrage de salinité produira des incidences dans la zone du bas estuaire. Le débit dans le bas estuaire sera modifié par rapport aux conditions actuelles et artificiellement régularisé. Le volume d'eau s'écoulant dans le bas estuaire variera sous l'effet de divers facteurs tels que le volume des précipitations, l'évaporation et le volume d'eau tiré du réservoir pour l'irrigation (Harza, 1985). Dans le cadre de la plupart des programmes d'irrigation, aucune eau ne franchira le barrage de salinité sauf brièvement à la fin de l'hivernage.

Le réservoir affectera également la qualité de l'eau du fait que la décantation de certains matériaux réduira le volume de solides en suspension dans le bas estuaire. Mais la majeure partie des sédiments en suspension dans la zone continueront de se former sous l'effet du balayage du fond meuble par la marée. Pendant la phase de construction, les charges de solides en suspension dans les parties estuariennes du fleuve Gambie seront nettement augmentées. Le barrage bloquera également en grande partie l'écoulement des nutriments vers l'aval. L'eau libérée dans le bas estuaire par le barrage de salinité de Balingho représentera une portion infime du volume total de l'estuaire. Les incidences secondaires produites par le barrage de salinité de Balingho viendront principalement de l'élimination du gradient de salinité. L'eau de mer à forte teneur en sel remontera en amont de Mootah Point jusqu'à la base du barrage. La remontée des eaux salées entre Mootah et Balingho provoquera une modification appréciable de la composition des espèces de palétuviers (Twilley, 1985). Le Rhizophora

racosoma plus sensible au sel sera remplacé par des arbres plus petits du même genre et d'autres genres. Snedaker (1984) estime que les forêts de palétuviers entre Balingho et Banjul (l'ensemble de l'estuaire) pourraient enregistrer à longue échéance d'importantes modifications dans leurs espèces. La modification des espèces de palétuviers risque de provoquer une incidence appréciable sur la pêche côtière. Twilley (1985) a montré que les forêts de palétuviers produisent l'essentiel (85 pour cent) de la matière organique dans l'environnement estuarien et côtier. Une réduction de la productivité globale des palétuviers pourrait à son tour atténuer sensiblement la production de poissons et crustacés.

On a trouvé que la zone du bas estuaire est une région de forte production halieutique et de crustacés (Dorr et al., 1985; van Maren, 1985). Une grande partie de la production halieutique reposait sur l'existence d'une couche alimentaire composée de détritits provenant essentiellement des palétuviers. Si la productivité des palétuviers ne décline pas, la même couche alimentaire devrait subsister après la construction du barrage, mais elle remontera sur 80 km en amont; mais si les biefs supérieurs du bas estuaire deviennent hypersalins et/ou subissent d'importants changements dans la structure de la forêt de palétuviers, la production et le rendement de poisson déclineraient sensiblement dans les eaux hautement salines.

Le barrage de salinité de Balingho constituera un obstacle important aux schémas de migration de plusieurs espèces de poisson. Trois espèces de crevettes, une espèce de crabe et plusieurs espèces de poisson ont des cycles migratoires qui impliquent le segment du fleuve Gambie situé près de Balingho. Pour la crevette rose, le cycle de vie comprend une période de croissance post-larvaire dans les bolons bordés de palétuviers. La crevette passe du stade post-larvaire au stade de jeune crevette qui est récoltée dans le segment de Balingho du fleuve. Le blocage des migrations présente une grave menace pour la pêche côtière et estuarienne de la Gambie. L'élimination des zones de frai constitue une sérieuse incidence. Si les cycles de vie sont rompus, la pêche périclitera.

Les incidences tertiaires du barrage de salinité sur la zone du bas estuaire viendront principalement des activités humaines le long des rives du réservoir. Comme susmentionné, l'irrigation reposera probablement sur des pratiques de culture intensive. L'application d'engrais et de

substances toxiques dans les champs finira par contaminer l'eau du fleuve. Ces substances remonteront jusqu'au barrage de salinité et affecteront le bas estuaire. Les petites quantités de nutriments pollués ne présentent pas de problème majeur. Cependant, la pollution par les pesticides, aussi faible soit-elle, risque de rendre le poisson du fleuve Gambie inutilisable par l'homme si les concentrations tissulaires deviennent élevées (environ entre de 0,1 à 1 partie par million, selon l'engrais).

Le barrage de salinité de Balingho servira de couloir de transport ainsi que de barrage. La circulation des véhicules motorisés entre la région de la Casamance au Sénégal et les marchés du nord empruntera un axe qui traverse le fleuve. Cette hausse du trafic introduira les formes de pollution habituelles des routes à grande circulation. Cette pollution comprend le déversement d'essence, d'huile et de graisse dans l'eau, ainsi que des déchets automobiles tels que vieilles batteries, pneus et débris métalliques. Tous ces matériaux provoqueront une certaine pollution des eaux du bas estuaire. Le déversement de vastes quantités de pétrole ou d'huile, qui sont toxiques pour la plupart des organismes, peut provoquer d'importants dommages écologiques, mais c'est peu probable.

4.3.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages guinéens et barrage de salinité de Balingho

La construction de trois barrages en Guinée en amont de Kékréti n'aura aucun effet sur les incidences dans le bas estuaire après la construction du barrage de salinité. La gestion de l'eau dans le système du fleuve Gambie devrait être plus précise avec cinq barrages qu'avec seulement deux. Mais l'effet de la gestion de l'eau sur le bas estuaire dépendra principalement de la décharge d'eau, le cas échéant, de l'autre côté du barrage de salinité de Balingho.

4.4 Haut estuaire

La zone du haut estuaire a été définie comme étant le segment du fleuve Gambie situé entre Mootah Point et la limite actuelle supérieure de la pénétration de l'eau salée. La ligne de démarcation de la jonction entre l'eau douce et l'eau salée varie selon les saisons sous l'effet des crues annuelles. A la fin de l'hivernage, l'eau douce descend près du barrage de salinité envisagé à Balingho. A la fin de la saison sèche en 1983-1984,

l'eau salée est remontée jusqu'à Kuntaur (Berry et al., 1985). La durée des pluies annuelles et le volume des précipitations déterminent le débit du fleuve; la hausse du débit repousse à son tour l'eau salée vers l'aval. Cette étude a utilisé Bird Island juste en aval de Kuntaur (voir Figure 3.1), comme limite approximative de la zone du haut estuaire.

Les fortes variations annuelles de la salinité dans le haut estuaire produisent des caractéristiques hautement saisonnières dans cette zone. La composition spéciale et l'abondance de la quasi-totalité des animaux et du plancton sont essentiellement déterminées par la salinité de l'eau ambiante. Une flore et une faune marines étaient présentes pendant la saison sèche, tandis qu'une flore et une faune d'eau douce prédominaient pendant l'hivernage. La variation des caractéristiques de la faune et de la flore est liée au fait que relativement peu d'organismes peuvent tolérer de telles fluctuations du régime de salinité (McLusky, 1971).

Les forêts de palétuviers dominent l'ensemble de l'écosystème du fleuve Gambie dans la majeure partie de la zone du haut estuaire. Les détritiques de palétuviers étaient apparemment la principale source de matière organique du fleuve (Twilley, 1985), dépassant de loin la production des autres sources. La dynamique dans les petits bolons qui baignent les forêts de palétuviers a tendance à contrôler les caractéristiques chimiques de l'eau ainsi que la faune et la flore du chenal principal. L'évaluation générale de cette zone est que le chenal principal ne fait que relier entre eux les écosystèmes très dynamiques des palétuviers. Sans les forêts de palétuviers, la zone du haut estuaire cesserait d'exister sous sa forme actuelle.

Toute une série de processus physiques, chimiques et biologiques affectent la zone très dynamique du haut estuaire. Outre les fluctuations saisonnières de salinité, le processus le plus important semble être le mélange opéré par les marées tandis qu'elles se déplacent le long du fleuve. Chaque modification de la marée transportait une eau nouvelle le long du fleuve et dans les bolons bordés de palétuviers. Le brassage suscité par les marées est essentiel pour apporter de l'eau oxygénée au fond des bolons. Les changements de marée introduisent également toute une série de conditions chimiques dans une grande partie du fleuve (Berry et al., 1985).

4.4.1. Aucune mise en valeur ou statu quo

La zone du haut estuaire du fleuve Gambie est l'une des parties les moins peuplées du bassin. Les forêts de palétuviers inhospitalières se sont avérées totalement inadaptées à la vie humaine. Seuls les pêcheurs utilisent régulièrement ce tronçon du fleuve. Ces pêcheurs accèdent au fleuve par des routes de 1 ou 2 km de long construites au sommet de digues. Les pêcheurs ne vivent pas près du fleuve, mais généralement à 5 km à l'intérieur des terres. La riziculture aquatique se pratique sur une base saisonnière au fond de nombreux bolons. Les pêcheurs et les exploitants agricoles ne forment pas un groupe particulièrement nombreux. En outre, ils ont exploité leurs ressources quasiment à la limite des possibilités actuelles. Partant, on n'envisage pas de croissance dans la zone du haut estuaire du fleuve Gambie si les programmes de mise en valeur du bassin fluvial ne sont pas mis en oeuvre. Sans croissance supplémentaire, on n'enregistrera aucune incidence sur le fleuve.

4.4.2. Barrage de retenue de Kékréti

Le site de construction du barrage de retenue de Kékréti est à environ 550 km en amont de la zone du haut estuaire. Cette grande distance diminue les effets de la plupart des incidences provoquées par le barrage. Mais il y a plusieurs incidences dues au barrage qui s'étendront à tout le fleuve en aval du barrage. La plupart de ces incidences portent sur le débit. Le principal objectif de la construction du barrage est de retenir de l'eau pour un écoulement contrôlé permettant de promouvoir l'agriculture irriguée et la production d'hydroélectricité. La décharge systématique d'eau du barrage modifiera et régularisera le débit du fleuve Gambie. Les changements dans le débit modifieront l'emplacement de l'interface eau douce - eau salée et réduiront l'étendue du déplacement annuel de cette interface. Le fonctionnement du barrage de retenue de Kékréti déterminera donc directement la taille de la zone du haut estuaire. Un autre facteur qui modifiera la taille de cette zone est la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation. La plupart des estimations indiquent que les structures d'irrigation portant sur une surface de 70.000 hectares consommeront presque toute l'eau douce disponible. La consommation de l'eau douce permettra à suffisamment d'eau salée de pénétrer de sorte que l'interface eau douce - eau salée restera près de Dankunku Island et la zone du haut estuaire sera environ un tiers plus petite que sa taille actuelle (HHL, 1984). Les

programmes d'irrigation plus petits devraient pousser l'interface eau douce - eau salée plus en aval grâce à des décharges d'eau contrôlées à partir du barrage (Tableau 4.4). Ce mode de fonctionnement du barrage de retenue de Kékéréti aura donc un effet important sur la zone du haut estuaire.

L'emplacement de l'interface eau douce - eau salée dans le fleuve Gambie pourrait avoir de grandes conséquences sur les forêts de palétuviers. Avec la construction du barrage de retenue de Kékéréti et un programme d'irrigation à très petite échelle, l'interface pourrait être maintenue en gros près de Yelitenda (HHL, 1982). Ceci permettra à environ 12 pour cent des forêts de palétuviers existantes d'être en permanence dans un environnement d'eau douce et de marée. Les hypothèses actuelles indiquent qu'une fois établis, les palétuviers peuvent supporter l'eau douce tout au long de l'année pourvu qu'une action de la marée soit présente pour empêcher les arbres de mourir (Twilley, 1985). Mais l'incidence exacte sur les palétuviers en amont de l'interface eau douce - eau salée n'est pas connue.

Une partie de la zone du haut estuaire peut servir de terre irriguée après la construction du barrage de retenue de Kékéréti. Ceci réduira au minimum la perte des terres inondées dans cette zone. Mais la plupart des sols de la zone du haut estuaire ne conviendront pas à l'agriculture à cause de l'accumulation éventuelle de sulfates acides (Colley, 1985).

Pendant la construction du barrage, l'on s'attend à une augmentation des charges de sédiments en suspension dans le fleuve. Une partie de ces sédiments risquent d'atteindre la zone du haut estuaire, mais ceci n'est probablement qu'une préoccupation tout à fait secondaire. Après l'achèvement du barrage, la plupart des sédiments en suspension se déposeront dans le réservoir. Le débit du fleuve à l'entrée de la zone du haut estuaire pourrait donc être légèrement moins trouble que sans le barrage. Une fois de plus, la plupart des sédiments résultent de l'affouillement du fond par les courants de la marée. De même, des nutriments solubles peuvent s'être déposés dans le réservoir; l'eau déchargée au-dessus ou à travers le barrage peut alors avoir légèrement réduit les concentrations de nutriments. Ces incidences n'auront que des effets très faibles dans la zone du haut estuaire.

Ce qui est considérablement plus important pour la zone du haut estuaire est la décharge de matériaux en provenance des champs irrigués

immédiatement en amont de l'estuaire. L'on peut s'attendre à ce que des pratiques agricoles inappropriées entraînent le déversement dans le fleuve de sédiments, d'engrais et de substances toxiques. Tous ces matériaux dégraderont la qualité de l'eau du fleuve. L'augmentation de sédiments peut détériorer le fleuve en recouvrant beaucoup d'organismes benthiques et leurs habitats préférés d'une couche de boue. L'augmentation de nutriments peut stimuler une prolifération algale excessive; à mesure que les algues meurent et pourrissent, elles consomment une quantité considérable d'oxygène, provoquant finalement l'anoxie. La plupart des organismes meurent dans des conditions anoxiques. Les substances toxiques sous forme d'herbicides ou de pesticides peuvent facilement contaminer les populations de poissons et de crustacés, les rendant dangereux pour la consommation humaine. Etant donné que la pollution provenant de substances toxiques est dangereuse, même de l'ordre d'une partie par million, presque toute décharge de ces substances constitue une incidence sérieuse. L'étendue de la pollution provenant de pratiques agricoles dépendra considérablement du soin et des méthodes agricoles employés.

4.4.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages guinéens

La construction d'une totalité de trois barrages en Guinée (en amont de Kékréti) n'aura fondamentalement pas d'incidence sur la zone du haut estuaire en plus de celles déjà entraînées par le barrage de retenue de Kékréti. Les incidences les plus importantes du barrage de retenue de Kékréti proviennent de la régularisation du débit et des décharges des terres irriguées. Ces incidences ne changeront pas avec l'addition de barrages en amont de Kékréti à moins que les barrages en amont ne modifient considérablement le débit en-dessous du barrage de retenue de Kékréti; deux des trois barrages guinéens proposés pourraient réduire la qualité et la quantité de l'eau parvenant dans le réservoir de Kékréti.

4.4.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho

La construction du barrage de salinité de Balingho aura un effet énorme sur le haut estuaire. Dans l'essentiel, la zone du haut estuaire sera éliminée par le barrage. L'eau douce remplira le réservoir immédiatement en amont du barrage, alors que l'eau salée avec une salinité égale à celle de l'eau de l'océan côtier arrivera juste en aval du barrage. A cause de ce grand changement pour la zone du haut estuaire, le nombre d'incidences primaires sur le réseau du fleuve créées par le barrage dépassera

considérablement le nombre des incidences provoquées par l'un des quatre autres barrages. Ce grand nombre d'incidences primaires entraîneront à leur tour beaucoup d'incidences secondaires et tertiaires.

Les incidences primaires créées par le barrage de salinité de Balingho se classent en trois catégories générales:

- incidences créées par la régularisation du débit
- incidences liées au réservoir
- incidences causées par la barrière physique traversant le fleuve

Les incidences créées par la régularisation du débit sont fondamentalement les mêmes que celles liées au barrage de retenue de Kékréti. Le débit sera régularisé à la fois par les décharges d'eau du bassin de retenue de Kékréti et le barrage. L'amplitude du débit dépendra des besoins en eau pour l'irrigation et l'hydroélectricité.

La création d'un réservoir derrière le barrage entraînera le plus grand nombre d'incidences primaires. La raison de ce fort grand nombre d'incidences est que le fleuve Gambie actuel passera d'un système fluvial à un système lacustre. Les eaux calmes des systèmes lacustres permettent le déroulement de certains processus qui ne sont pas habituellement observés dans un fleuve. Ces processus comprennent:

- l'accumulation de sédiments
- une augmentation de la pénétration sous l'eau à cause de la réduction des charges de sédiments en suspension
- le développement de la stratification thermique verticale
- l'augmentation de l'évaporation de la surface du réservoir
- la formation d'eaux anoxiques au fond du réservoir
- la réduction de concentrations de nutriments dans les eaux à la surface du réservoir

Cette série d'incidences modifiera la qualité de l'eau du réservoir par rapport à celle normalement trouvée dans l'eau. A l'exception de l'anoxie, la plupart de ces incidences serviront à améliorer la qualité de l'eau par rapport aux conditions ambiantes du fleuve. Cependant, cette amélioration sera d'une importance modérée parce que l'eau douce du réservoir sera limitée seulement à une petite section de l'ancien fleuve.

La création d'un réservoir derrière le barrage de salinité de Balingho aura un effet sensible sur les rives du fleuve et les plaines inondées de la zone du haut estuaire. Ces sections du fleuve sont extrêmement importantes

sur le plan écologique dans la mesure où elles fournissent des zones exceptionnelles de frai et/ou d'alimentation pour diverses phases de vie des poissons (Dorr et al., 1985) et des crustacés (van Maren, 1985). Le réservoir débordera en permanence jusqu'à 150 km de la rive du fleuve au point que le lac créé par le barrage s'étendra jusqu'à 75 km en amont de Balingho. En outre, parce que le débit du fleuve Gambie sera régularisé par au moins deux barrages, la crue saisonnière traditionnelle recouvrant les plaines inondées pendant la saison des pluies cessera.

Une incidence supplémentaire pour l'environnement des rives du fleuve et des plaines inondées sera la création d'une zone de rabattement. C'est la partie de la rive du fleuve qui est exposée à l'air à mesure que l'eau se retire du réservoir. La plupart des organismes aquatiques ne peuvent pas vivre dans les zones de rabattement parce qu'ils ne supportent pas la déshydratation saisonnière. Même si le niveau de l'eau du réservoir derrière le barrage tombera seulement de 1,7 GD à 1,3 GD, ceci représentera une vaste étendue (400 km²). Les rives du fleuve de la zone du haut estuaire sont extrêmement plates, donc même un rabattement de 40 cm entraînera un vaste recul de l'eau, découvrant donc une vaste étendue de chaque côté du réservoir.

Une incidence temporaire mais plutôt grave sera l'augmentation de charges de sédiments en suspension dans le fleuve pendant les travaux. Les prévisions des vitesses du courant pendant la construction du barrage indiquent des courants fort élevés pendant les dernières phases des travaux (Harza, 1985). Les marées à contre courant lessiveront et laisseront en suspension de grandes quantités de sédiments meubles du fond du fleuve, entraînant ainsi une grande détérioration de la qualité de l'eau. Etant donné que les travaux risquent de prendre deux à trois ans, la qualité de l'eau sera réduite au point que la vie aquatique risque de disparaître en permanence aux alentours du site du barrage, en particulier les organismes sessiles ou trouvant leur nourriture dans les filtres, tels que les poissons, les crabes, les crevettes et les huîtres se nourrissant de plancton.

La barrière physique que constituera le barrage de salinité de Balingho sur le fleuve Gambie aura au moins quatre incidences primaires sur la zone du haut estuaire. Le barrage empêchera le mouvement des vagues de la marée en amont de Balingho. Sans les vagues de la marée, une bonne part de l'eau

du fleuve Gambie au-dessus du barrage ne se mélangera pas et deviendra donc stagnante. Ces eaux stagnantes favoriseront une sédimentation importantes dans beaucoup de petits bolons. En outre, à mesure que les palétuviers disparaissent, leurs racines n'empêcheront pas les rives de s'effondrer dans les chenaux des bolons. Ces petits bolons finiront par se remplir de sédiments, bloquant la circulation de l'eau vers les champs d'agriculture traditionnelle derrière les rives du fleuve. La configuration du barrage renverra également les vagues de la marée en aval, causant ainsi une augmentation de la portée de la marée en-dessous du barrage. Les effets d'une telle amplification englobent: une augmentation du lessivage de la boue meuble du fond, une réduction des palétuviers à cause de la modification du bilan hydrographique et une plus grande immersion des rives du fleuve à cause des vagues de la marée.

L'incidence primaire la plus importante provoquée par le barrage de salinité de Balingho est peut-être la modification du régime de salinité de l'estuaire. Les prévisions soutiennent qu'il n'y aura plus d'eau qui circulera au-dessus du barrage sauf à la fin de la crue annuelle (Harza, 1985). Sans les décharges d'eau douce, l'eau à forte salinité remontera jusqu'au barrage de Balingho. La zone du haut estuaire sera éliminée et remplacée par un lac d'eau douce; le gradient de salinité naturel existant disparaîtra.

Une incidence primaire définitive est la formation éventuelle de sols de sulfates acides le long du fleuve au-dessus du barrage proposé. Ce sujet controversé a fait l'objet de nombreuses études et examens techniques (voir Colley, 1985, pour un examen des documents). Cette incidence peut provoquer un important désastre écologique, mais l'amplitude du problème est difficile à prévoir à priori. La capacité naturelle de l'eau du fleuve à neutraliser l'acide devrait empêcher de vastes dégâts. Mais les dégâts localisés sur les rives du fleuve et les terres agricoles adjacentes pourraient être graves à cause de l'accumulation d'acide. Donc même si tout le réservoir de Balingho ne risque pas de devenir un lac acide, une bonne part des rives sera contaminée pendant une période pouvant s'étendre sur 20 ans.

Les incidences primaires abordées ci-dessus entraîneront plusieurs incidences secondaires dans la zone du haut estuaire. De même que les incidences primaires, les incidences secondaires forment deux catégories: celles créées par la présence du réservoir, et celles entraînées par

l'élimination du gradient de salinité. Les incidences créées par la présence du réservoir proviennent principalement du changement de l'environnement aquatique, n'étant plus fluvial mais lacustre. Les incidences provenant de l'absence du gradient de salinité sont celles qui sont dues à l'élimination de toute la zone du haut estuaire.

Les incidences secondaires créées par la formation du réservoir en amont du barrage comprennent généralement des modifications dans les espèces, les espèces estuariennes devenant lacustres. Les espèces algales de diatomées marines communes seront remplacées par des espèces d'eau douce (Healey et al., 1985). De même, l'espèce marine de zooplancton deviendra une espèce d'eau douce (Healey et al., 1985). Ces modifications de la base alimentaire entraînera des modifications dans la présence et l'abondance des espèces de poissons. Les espèces algales lacustres devraient aussi être plus productives que la communauté estuarienne existante (Beadle, 1985). Finalement, le réservoir produira plus de poissons que le système fluvial existant. Les estimations sur la production du réservoir derrière le barrage de salinité de Balingho se situent entre 68 et 6.300 tonnes par an (voir Chapitre 6). Cette production consistera en poissons d'eau douce. Mais cette hausse de la production de poissons s'accompagne nécessairement de coûts considérables pour la production de poissons et de crustacés de l'environnement estuarien.

Parallèlement à l'augmentation de la production halieutique, on assistera également à l'élimination d'au moins 10 pour cent de la prise actuelle en crevettes de l'estuaire (van Maren, 1985). Le réservoir d'eau douce qui déplacera la zone du haut estuaire éliminera aussi beaucoup d'invertébrés benthiques attachés ou relativement sessiles (van Maren, 1985). L'incidence secondaire la plus importante sera l'élimination de la majeure partie de l'habitat de frai utilisé par les reproducteurs estuariens. Ceci pourrait avoir une grande incidence sur l'industrie de la pêche des crevettes côtière ou océanique.

Le réservoir modifiera aussi la végétation aquatique à racines de la zone du haut estuaire. L'effet de cette grande incidence sera l'élimination de toutes les forêts de palétuviers au-dessus de Balingho, environ 7.930 hectares, soit 12 pour cent de la totalité des forêts de palétuviers dans le bassin du fleuve Gambie (Twilley, 1985). Les palétuviers ne supportent pas de haïgner en permanence dans l'eau douce; les arbres mourront peu après

l'élimination des vagues de la marée au-dessus de Balingho (Twilley, 1985). La perte de palétuviers ne se limite pas à la simple destruction de 12 pour cent des forêts. Certains des palétuviers qui poussent au bord des bolons au-dessus de Balingho sont les plus grands et les plus luxuriants de tout le fleuve. Ces arbres ont souvent plus de 30 m de haut et sont une source importante de matière organique pour les sections estuariennes du fleuve (Twilley, 1985). L'élimination de l'apport de détritits de palétuviers en provenance de la zone du haut estuaire dans le fleuve Gambie pourrait entraîner une forte diminution de l'ensemble de la production de l'estuaire et de l'environnement adjacent côtier ou océanique. Le changement du régime de salinité en aval du barrage entraînera aussi un grand changement des espèces dans les forêts de palétuviers le long du fleuve de 30 km à 130 km en aval du barrage (Snedaker, 1984).

Les forêts de palétuviers le long du réservoir seront probablement remplacées par des mauvaises herbes aquatiques nuisibles. Actuellement, il y a très peu de mauvaises herbes aquatiques dans le fleuve Gambie (van Maren, 1985). Bien qu'il y ait des mauvaises herbes dans certains petits bolons, leur extension est limitée soit à cause de la présence d'eau salée soit à cause des courants d'affouillement pendant la saison des crues. La conversion du fleuve en réservoirs devrait procurer un environnement propice à la prolifération de mauvaises herbes aquatiques, comme ceci a été le cas dans d'autres réservoirs africains (Freeman, 1974). La formation de grands lits de mauvaises herbes aquatiques émergentes augmentera considérablement la perte d'eau par évaporation du réservoir à cause de l'évapotranspiration.

La barrière physique créée par le barrage de salinité causera une grande incidence à cause du bouleversement des voies migratrices et de la perte des zones de frai. L'espèce principalement concernée par cette incidence est la crevette rose. Cette espèce passe par une phase postlarvaire et juvénile qui consiste en une croissance rapide dans les bolons bordés de palétuviers (van Maren, 1985). Une incidence quantitative du barrage est l'élimination directe des frayères de crevettes en amont de Balingho qui représentent 10 pour cent du total. Une autre incidence est qu'une bonne part des zones de frai restantes pourraient ne plus convenir à la crevette, à cause à la fois de la réduction générale des détritits de palétuviers et de la formation possible d'hypersalinité. Des études sur le fleuve Casamance indiquent que tant que les salinités ne dépassent pas 50

parties pour mille, le cycle de vie de la crevette ne devrait pas être affectée (LeReste, 1983). Une fois qu'une hypersalinité extrême se développe, le cycle d'évolution de toute l'industrie de la pêche de la crevette pourrait être bouleversé. Des problèmes semblables seront rencontrés par les crabes (van Maren, 1985) et plusieurs espèces de poissons dont le bongue qui représente une part fort importante de la pêche (Dorr et al., 1985).

La construction du barrage de salinité de Balingho et la création du réservoir derrière le barrage qui en résultera entraîneront plusieurs incidences tertiaires, c'est-à-dire des incidences associées aux activités de l'homme. La plupart de ces incidences sont abordées dans les conclusions finales de l'étude socio-économique (voir le rapport intitulé Développement Rural). Ces incidences humaines qui affecteront le plus directement le fleuve sont examinées brièvement ci-dessous. La pénétration de polluants provenant des pratiques agricoles observées pour la culture des terres irriguées seront l'incidence tertiaire la plus importante. Comme il a été examiné plus haut, ces polluants comprennent des sédiments en suspension, des nutriments excessifs et des substances toxiques. Le danger de ces formes de pollution est très grave pour l'estuaire puisque la plupart des terres irriguées se trouveront juste en amont du réservoir ou adjacentes au réservoir. Toutes les nations du monde ont souffert de ces polluants malgré les efforts considérables déployés pour essayer de les contrôler. Une grave pollution, provenant en particulier de substances toxiques, peut rendre le biote dangereux à consommer, et causer ainsi une perte considérable des réserves alimentaires et des exportations précieuses provenant de l'industrie de la pêche. Le risque de cette incidence augmente en proportion directe avec le nombre d'hectares de terre irriguée. Ceci sera donc une incidence à long terme qui augmentera en gravité tout au long du programme de mise en valeur de tout le bassin du fleuve.

Une autre incidence tertiaire importante est la réinstallation d'individus sur les rives du nouveau réservoir. Les réserves d'eau douce attireront sans aucun doute grand nombre d'individus. Ces individus profiteront des ressources en eau pour bien des raisons, en particulier la nourriture produite par la pêche dans les réservoirs. De nouvelles petites communautés se constitueront avec les pêcheurs, les agriculteurs, les navigateurs et les services auxiliaires de l'industrie de la pêche et de

l'aquaculture. Ces nouvelles communautés contribueront considérablement à polluer le fleuve. Etant donné que cet afflux d'individus au bord du fleuve a lieu dans une région auparavant inhabitée, toute la pollution liée à leur arrivée sera totalement nouvelle pour le fleuve. A mesure que les communautés au bord du lac se développeront, les effets habituels des activités humaines dans le bassin hydrographique se produiront, tels que le déboisement, la disparition de la faune, la modification des axes de transport, la production de substances toxiques etc. Toutes ces activités entraîneront des incidences sur le fleuve. La principale incidence sera l'apport de matériaux étrangers dans le fleuve. Ces matériaux étrangers peuvent varier de substances relativement inoffensives telles que des matériaux de construction à des substances extrêmement dangereuses telles que les pesticides.

Toutes ces incidences négatives (liées à l'habitat de l'homme au bord du réservoir) s'accompagneront d'une incidence fort positive qui est l'augmentation de produits alimentaires disponibles grâce à la pêche et à l'agriculture irriguée. Même si la principale direction de cette incidence est dans le sens fleuve - population, il y a un mécanisme d'interaction qui contrôle l'abondance du poisson dans le fleuve. En même temps que l'industrie de la pêche dans le réservoir se développera, une production soutenable maximale sera atteinte et l'abondance de poisson dans le fleuve sera donc limitée par le niveau des efforts de pêche. Les ressources disponibles en poisson modifieront donc le régime alimentaire et les taux de consommation locaux, entraînant ainsi des changements dans les efforts de pêche, la prise et l'abondance des stocks. Cette interaction dicte la nécessité de procéder à une évaluation et un contrôle continu de l'industrie de la pêche dans les réservoirs.

4.4.5. Barrage de retenue de Kékéréti, barrages guinéens et barrage de salinité de Balingho

La construction des trois barrages en amont de Kékéréti n'auront essentiellement pas d'effet supplémentaire sur la zone du haut estuaire en plus de ceux déjà entraînés par le barrage de retenue de Kékéréti et le barrage de salinité de Balingho. Toutes les incidences décrites dans la section 4.4.4. se produiront avec ou sans la présence des barrages guinéens. Les barrages guinéens peuvent servir à améliorer la régularisation du débit du fleuve Gambie, mais l'effet de cette meilleure

régularisation sera minime comparé aux incidences déjà imposées par les deux autres barrages.

4.5. Zone d'eau douce du fleuve inférieur

La zone d'eau douce du fleuve Gambie inférieur a été considérée comme la section du fleuve de la partie en amont d'apport d'eau salée à la partie en amont de fluctuations de marée. Géographiquement, cette zone commençait en gros près de Kuntaur environ 250 km en amont, et s'étendait jusqu'aux environs de Gouloumbou, à près de 510 km de l'océan (voir Figure 3.1.). Les principales caractéristiques de la zone du fleuve inférieur ont été la présence de vagues de marée diurnes et l'absence d'eau salée. Les vagues de marée ont créé des inversions fort distinctes du courant du fleuve Gambie quatre fois par jour. Le mélange créé par ces inversions de courant a contribué considérablement à empêcher l'eau du fleuve de devenir stagnante. Les inversions de courant ont également remué le plancton dans différentes sections du fleuve, en particulier dans grand nombre des petits bolons qui sont rattachés au chenal principal.

La zone d'eau douce inférieure avait une nature saisonnière fort distincte à cause de la crue annuelle. Pendant la crue, le débit était considérablement plus élevé que pendant la saison sèche. Les eaux de la crue transportaient plus de sédiments que pendant la saison sèche et avaient aussi une composition chimique différente que pendant le reste de l'année. Par exemple, l'on a observé que les eaux des crues transportaient des concentrations élevées en azote de nitrate par rapport aux eaux du fleuve pendant la saison sèche (Berry et al., 1985). La conductivité et l'alkalinité étaient aussi modifiées pendant la saison de la crue. Ces changements chimiques de la composition de l'eau du fleuve s'accompagnaient d'un changement dans le plancton de la zone du cours inférieur (Healey et al., 1985).

La dynamique de la zone du cours inférieur était considérablement différente de celle des zones estuariennes. L'absence de forêts de palétuviers dans la zone du cours inférieur semble avoir réduit l'ensemble de la production du fleuve. La production élevée de matière organique n'était plus présente pour alimenter une flore et une faune aquatiques riches et variées. La production de matière organique provenant de la

croissance des plantes le long du fleuve était toujours évidente, mais il a été remarqué que les niveaux de la totalité de phosphore et d'azote trouvés dans la zone du cours inférieur étaient nettement inférieurs à ceux de la zone estuarienne (Berry et al., 1985). En outre, de fortes concentrations de nutriments complets n'ont été observés que pendant la saison des crues pendant une période relativement courte de l'année. Le taux de productivité primaire due aux algues était élevé pendant les premières phases de la crue annuelle (Healey et al., 1985). Le niveau élevé de prolifération algale s'accompagnait de grande production de zooplancton (Healey et al., 1985). Cette prolifération annuelle de plancton a été un aspect saisonnier important de la productivité totale de cette zone. L'action de la marée a contribué à mélanger le plancton dans toute la colonne d'eau, et donc à stimuler l'ensemble de la production aquatique dans une grande partie du fleuve.

4.5.1. Aucune mise en valeur ou statu quo

La zone du cours inférieur du fleuve Gambie aura probablement une production modérée même si les programmes de mise en valeur du bassin du fleuve ne sont pas exécutés. Cette zone est l'une des rares régions qui peut permettre une agriculture supplémentaire, à condition qu'il y ait des réserves d'eau douce disponibles. La plupart de cette agriculture sera sous forme de cultures irriguées près du fleuve. Ce développement de l'agriculture aura des incidences sur le fleuve. Les deux incidences primaires liées à l'augmentation de l'activité agricole sont la disparition des plaines inondées et la modification des régimes de nutriments dans le fleuve. Les plaines irriguées seront perdues parce que les sols fertiles de ces régions seront l'endroit choisi tout d'abord pour de nouvelles cultures. Les régimes de nutriments seront modifiés à cause du détour de l'eau du fleuve dans les champs agricoles. Les nutriments seront supprimés et aussi ajoutés de façon sélective aux eaux servant à l'irrigation. Une partie de l'eau du fleuve sera aussi perdue à cause de son utilisation pour l'irrigation.

Des incidences secondaires résulteront de l'augmentation de l'activité agricole. Un nouvel environnement aquatique sera créé dans les nombreux canaux à mesure que le réseau d'irrigation se développera. Ce nouvel environnement favorisera certaines espèces aquatiques, en particulier les mauvaises herbes aquatiques. La prolifération des mauvaises herbes causera

finalement de sérieux problèmes pour le fonctionnement du réseau d'irrigation en obstruant les canaux et en consommant une grande quantité d'eau normalement disponible pour les cultures. Les mauvaises herbes entraîneront encore une plus grosse perte d'eau du fleuve à cause de l'évapotranspiration.

Le plus grand nombre d'incidences liées à l'augmentation de la production agricole résultera des activités humaines dans les champs. La plus sérieuse incidence résultant de l'agriculture est la contamination de l'eau du fleuve par des nutriments provenant d'engrais excessifs et de substances toxiques. Les conséquences de ces polluants ont été étudiées plus haut. La portée véritable de ces incidences sur la zone du cours inférieur sera déterminée à la fois par la quantité de cultures supplémentaires et par l'étendue des installations humaines le long du fleuve. Ces deux processus détermineront donc la gravité générale de ces incidences sur la zone du cours inférieur. Ces processus entraîneront également les deux incidences tertiaires supplémentaires de déboisement le long du fleuve et du déplacement de la faune vivant dans le fleuve ou le long du fleuve. Même si les activités de l'homme seront orientées principalement sur l'agriculture, l'on pourra s'attendre à une augmentation de la pêche à cause du plus grand nombre d'habitants. En particulier, les terres inondées non cultivées risquent de servir davantage à la pêche pendant la saison des pluies parce qu'une pirogue n'est pas nécessaire pour y avoir accès. L'activité de la pêche dans le chenal principal n'augmentera probablement pas beaucoup par rapport au niveau actuel.

4.5.2. Barrage de retenue de Kékéréti

Le barrage de retenue de Kékéréti entraînera beaucoup d'incidences sur la zone du cours inférieur, malgré le fait qu'il soit situé à plus de 20 km en amont de l'extrémité de cette zone. La plupart des incidences en aval provoquées par le barrage proviendront du réseau d'irrigation lié au programme de mise en valeur plutôt que de la présence-même du barrage. L'étendue de l'irrigation dans le fleuve Gambie influencera donc considérablement le degré auquel les diverses incidences affecteront le fleuve. Alors que les différents types d'incidences resteront les mêmes, quelle que soit la taille du réseau d'irrigation, l'intensité de toutes les incidences sera considérablement affectée par la taille du réseau.

Les principales incidences primaires liées au barrage de retenue de Kékréti seront celles portant sur la modification du débit et des crues annuelles. La modification et la régularisation des schémas de débit naturel du fleuve réduira considérablement la nature saisonnière de la zone du cours inférieur. La crue annuelle traditionnelle sera réduite de plus de 50 pour cent en volume de même que l'inondation de nombreuses petites plaines. La crue annuelle est le principal mécanisme qui permet aux nutriments de pénétrer dans la zone du cours inférieur; Ce flot de nutriments sera réduit et s'étendra sur toute l'année.

La décharge d'eau au-dessus du barrage aura aussi un régime thermique et de nutriments différent comparé aux conditions naturelles actuelles. Les nutriments seront éliminés de l'eau du fleuve à mesure qu'elle s'accumulera dans le réservoir; les eaux passant par dessus le barrage auront généralement de plus faibles concentrations en nutriments qu'actuellement. Pareillement, les sédiments en suspension se décanteront au fond du réservoir, et une eau plus limpide devrait donc parvenir dans la zone du cours inférieur après la construction du barrage. En revanche, pendant la phase de construction du barrage, les charges de solides en suspension dans le fleuve seront considérablement augmentées près de Kékréti à cause des travaux dans le fleuve.

Le réseau d'irrigation au-delà de Kékréti dans la zone du cours inférieur constituera la zone la plus étendue du fleuve. Sur les 85.000 ha qui pourront être irrigués, environ 65.000 ha, soit 75 pour cent de la totalité, sont prévus dans la zone du cours inférieur (Harza, 1985). Ce réseau étendu entraînera de grands changements pour le fleuve et l'environnement des rives du fleuve le long du fleuve Gambie. Les rives du fleuve seront physiquement modifiées et ceci aura pour résultat qu'une grande part des plaines inondées seront supprimées. La modification de l'environnement du fleuve causera à son tour un changement dans le régime physique et chimique du fleuve. L'eau servant à l'irrigation échangera des nutriments avec le sol en contact avec l'air des champs agricoles. L'eau servant à l'irrigation deviendra aussi plus chaude puisqu'elle circulera dans des canaux d'irrigation peu profonds.

La modification du cycle saisonnier des nutriments à cause du barrage de retenue causera des incidences secondaires sur le biote du fleuve. La vague annuelle de production algale observée au début de la crue ne se

produira probablement pas sous le nouveau régime d'écoulement. Les canaux d'irrigation peuvent à leur tour devenir le site de l'essentiel de la productivité primaire aquatique, comme les mauvaises herbes aquatiques se développent dans un environnement convenant mieux à leurs besoins que le lit du fleuve actuel. (Avec ce changement de la flore du fleuve, la composition fondamentale de la couche alimentaire du fleuve ne dépendra plus de la production de plancton mais la production de détritus.) Ceci favorisera les animaux se nourrissant de détritus au dépens des organismes se nourrissant de plancton.

Les incidences tertiaires entraînées par le barrage de retenue de Kékréti sur la zone du cours inférieur seront semblables à celles associées au développement de l'irrigation. Les mêmes incidences se développeront donc qu'avec un scénario de non mise en valeur, mais l'amplitude de ces incidences sera beaucoup plus grande à cause du programme d'irrigation plus vaste. Ces incidences sont:

- La pollution de l'eau du fleuve due aux engrais et aux substances toxiques
- l'installation de l'homme le long des rives du fleuve
- le déboisement des terres près du fleuve
- le déplacement de la vie sauvage du fleuve et des rives du fleuve
- Le développement du commerce et des activités de transports le long du fleuve

L'on peut s'attendre à ce que toutes ces incidences augmentent en proportion directe avec la quantité des terres irriguées dans la zone du cours inférieur.

4.5.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages guinéens

Les incidences sur la zone du cours inférieur résultant de l'association du barrage de retenue de Kékréti et des barrages guinéens seront les mêmes que celles résultant seulement du barrage de retenue de Kékréti. L'objet du barrage de retenue de Kékréti est de procurer des réserves d'eau douce à la fois pour l'irrigation et l'hydroélectricité. Les barrages guinéens serviront seulement à augmenter ces réserves et non pas à changer la régularisation de base du débit du fleuve Gambie. Les mêmes schémas de débit en aval de Kékréti seront légèrement modifiés par la construction du barrage de Kogou Folbé et ne seront pas modifiés par les deux autres barrages.

4.5.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho

L'addition du barrage de salinité de Balingho au barrage de retenue de Kékréti entraînera un grand nombre d'incidences sur la zone du cours inférieur. Comme il a été mentionné plus haut, la plus grande incidence du barrage de Kékréti est le réseau d'irrigation qui sera construit dans la zone du cours inférieur. Le barrage de salinité de Balingho permettra d'accroître ce réseau d'irrigation parce que la pénétration d'eau salée dans les champs agricoles sera empêchée par le barrage. Le réseau d'irrigation pourra donc opérer au maximum avec l'addition du barrage de salinité. Cependant, la construction de ce barrage s'accompagnera de coûts pour l'environnement même dans la zone du cours inférieur, qui commence presque 80 km en amont du site du barrage. La plupart des incidences primaires liées à ce scénario de mise en valeur sont les mêmes que celles pour le scénario du barrage de retenue de Kékréti uniquement. Ces incidences, qui ont été examinées dans la section 4.5.2., sont les suivantes:

- la régularisation du débit
- la modification des schémas annuels de débit
- la modification du régime des sédiments en suspension
- la modification du régime de nutriments
- la disparition des plaines inondées
- La modification des rives du fleuve
- l'augmentation de l'évaporation du fleuve
- l'augmentation des charges de sédiments en suspension pendant la construction

Le barrage de salinité de Balingho entraînera quatre autres incidences primaires en plus de celles entraînées par le barrage de Kékréti. Ces incidences sont:

- l'absence de mélange de marée au-dessus du barrage
- le développement saisonnier d'anoxie
- la sédimentation dans les bolons
- la stratification thermique verticale

Etant donné que le barrage ne permettra pas aux vagues de la marée d'aller en amont, le mélange de la marée (un important processus du système existant) cessera au-delà de Balingho. Sans le mélange de la marée, les eaux du fleuve deviendront relativement stagnantes, entraînant un développement d'anoxie dans les sections les plus profondes du lit du fleuve pendant les mois chauds de la saison sèche. Les sédiments s'accumuleront

dans tous les petits bolons et empêcheront donc un mélange d'eau entre les bolons et le principal chenal du fleuve. Finalement, sans mélange, les sections profondes du chenal du fleuve (entre 15 et 30 m de profondeur) seront probablement soumises à une stratification thermique verticale, favorisant davantage le développement d'anoxie dans les eaux profondes. La sortie d'eau pour l'irrigation encouragera également un taux plus élevé d'évaporation et d'évapotranspiration que dans les conditions actuelles.

Les incidences primaires sur la zone du cours inférieur auront deux grandes conséquences pour le biote aquatique. En premier lieu, la zone s'étendra en aval jusqu'à Balingho. En second lieu, les eaux de cette zone deviendront stagnantes sans mélange de la marée. Il en résultera qu'une faune et une flore différentes habiteront dans cette zone du fleuve. Les mauvaises herbes aquatiques, qui ne sont qu'un élément minime de la flore actuelle, risquent de devenir un grand problème dans les eaux calmes. Le plancton et les invertébrés benthiques (vivant au fond) qui ont besoin d'une eau bien mélangée, disparaîtront dans cette section du fleuve. Les organismes qui migrent annuellement de l'estuaire dans la zone du cours inférieur ne seront plus en mesure d'effectuer leur cycle de vie. Le barrage de salinité de Balingho deviendra un obstacle infranchissable pour la migration; cette incidence sera relativement minime dans la zone du cours inférieur parce que l'on n'a pas identifié d'espèce migrant de l'estuaire dans les sections douces du fleuve (Dorr et al., 1985; van Maren 1985).

Toutes les incidences tertiaires liées à la mise en valeur du bassin du fleuve dans la zone du cours inférieur seront le résultat de la mise en place du réseau d'irrigation et de l'exode d'individus vers le bassin du fleuve. L'addition du barrage de salinité de Balingho dans le programme de mise en valeur du barrage de retenue de Kékreti n'entraînera pas de nouvelles incidences tertiaires en plus de celles abordées dans la section

4.5.2. Ces incidences sont:

- la pollution due aux engrais et aux substances toxiques
- l'implantation de l'homme le long du fleuve
- le déboisement le long du fleuve
- le déplacement de la faune aquatique
- le développement du commerce le long du fleuve
- le développement des activités agricoles près du fleuve
- l'augmentation des problèmes de santé publique liés aux vecteurs de maladie d'origine hydrique

L'addition du barrage de salinité risque d'augmenter les effets de ces incidences à cause de l'extension du réseau d'irrigation une fois que le barrage sera en place. Mais les types d'incidences seront les mêmes que ceux créés uniquement par le barrage de Kékréti.

4.5.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages guinéens et barrage de salinité de Balingho

L'addition des trois barrages guinéens en amont du barrage de retenue de Kékréti aura peu d'effet sur la zone du cours inférieur en plus de ceux déjà entraînés par le barrage de Kékréti et le barrage de salinité. L'addition des barrages guinéens peut permettre une extension des terres irriguées, mais les types d'incidence ne changeront pas.

4.6. Zone d'eau douce du cours supérieur

La zone du cours supérieur est la section du fleuve Gambie qui a un courant relativement lent sans mélange de marée. Cette section du fleuve se compose d'eau douce tout au long de l'année. Les limites géographiques approximatives de la zone du cours supérieur sont Gouloumbou, à environ 525 km en amont, et la frontière entre le Sénégal et la Guinée, à environ 965 km en amont (voir figure 3.1.). Le fleuve est relativement peu profond dans la plus grande partie de cette zone avec quelques cuvettes qui peuvent atteindre 15 m de profondeur; il n'y a pas de plaine inondée étendue.

La zone du cours supérieur est d'une nature extrêmement saisonnière, étant donné la crue annuelle. Durant l'hivernage, le niveau du fleuve peut monter de 13 mètres par rapport à son niveau en saison sèche. Pendant l'hivernage, non seulement le débit du fleuve est fort élevé, mais ses caractéristiques chimiques sont également modifiées par rapport à la saison sèche (Barry et al, 1985). Le débit élevé de l'hivernage transporte des charges élevées en sédiments. Lors de l'hivernage, le fleuve a également des concentrations assez élevées en nutriments, en particulier de l'azote nitrique dissout (Barry et al, 1985). Le débit du fleuve peut augmenter considérablement après un gros orage dans le bassin hydrographique. Pendant la saison sèche, l'on a observé que le fleuve Gambie peut se réduire à quelques cuvettes d'eau (pas de circulation nette).

Le fleuve Gambie dans la zone du cours supérieur est relativement peu productif en comparaison du riche estuaire. La production algale du fleuve

est relativement faible, en particulier pendant les mois de charges élevées de sédiments en suspension (Healey et al, 1985). Parce que le fleuve est peu profond, il y a peu d'eau disponible pour la production algale, et l'ensemble de la production est faible. Le transfert de matière organique de la terre dans le fleuve semble relativement petit car la terre est pratiquement dénudée. En conséquence, le fleuve alimente une pêche relativement maigre, bien que les activités halieutiques puissent être importantes dans les régions proches de villages (Josserand, 1985).

4.6.1. Aucune mise en valeur ou statu quo

La section orientale du Sénégal, connue sous le nom de Sénégal Oriental, a une population relativement clairsemée, la plupart habitant dans le bassin du fleuve Gambie. Cette population a exploité au maximum la plupart des ressources existantes, dont les réserves en eau douce. Les ressources minières sont peut-être la principale ressource encore non exploitée de la région (Moran, 1984). L'augmentation de la population dans la section du Sénégal Oriental du bassin sera probablement seulement modérée, malgré l'exploitation minière, à cause des ressources limitées en eau douce. L'on peut s'attendre à un développement de l'agriculture et du commerce, mais à un rythme relativement lent. Ce développement s'accompagnera de quelques incidences, mais leurs effets seront relativement restreints à cause de la portée limitée du développement. La plupart de ces incidences sont tertiaires, une conséquence de l'augmentation des activités humaines. La seule incidence primaire sur le fleuve que l'on puisse noter est une petite augmentation des concentrations de nutriments dans l'eau du fleuve, provenant de l'écoulement des terres irriguées. Cette légère augmentation peut à son tour stimuler un relèvement de la productivité primaire aquatique. L'utilisation de l'eau pour l'agriculture entraînera aussi une perte d'eau due à l'évaporation des champs et à l'évapotranspiration des plantes.

Les incidences tertiaires liées à un scénario de non-mise en valeur incluent:

- une augmentation de la pollution due aux engrais et aux substances toxiques
- une augmentation de la pollution due aux activités minières
- l'implantation de l'homme le long des rives du fleuve
- une augmentation du déboisement le long des rives du fleuve
- le déplacement de la faune aquatique

- la pêche en permanence
- le développement du commerce le long du fleuve

L'amplitude de la plupart de ces incidences tertiaires dépendra du niveau de l'activité humaine le long du fleuve. Comme il a été mentionné plus haut, étant donné que les réserves en eau douce sont déjà exploitées au maximum, la possibilité d'une augmentation de la population supplémentaire le long du fleuve est minime.

4.6.2. Barrage de retenue de Kékréti

Le site envisagé pour le barrage de retenue de Kékréti se situe à quelque 790 km en amont de l'embouchure du fleuve à Banjul. Le réservoir créé par le barrage s'étendra sur 70 km en amont du site du barrage et se trouvera presque en plein milieu de la zone du cours supérieur. Plus de 15 pour cent de cette zone passeront d'un environnement fluvial à un environnement lacustre. La plus grande part de l'eau du fleuve finira dans le réservoir. Les incidences primaires pour la zone du cours supérieur du fleuve Gambie seront nombreuses et d'une grande amplitude. La plupart de ces incidences résulteront de la modification du fleuve avec la construction d'un réservoir, et pas tellement de la mise en place du réseau d'irrigation. La plus grande partie du réseau d'irrigation se situera dans la zone du cours inférieur en Gambie.

Le barrage de retenue de Kékréti modifiera totalement le schéma du débit annuel. La crue saisonnière et la saison sèche seront éliminées et remplacées par un débit régulier tout au long de l'année (Harza, 1985). La grande quantité d'eau du réservoir sera relativement stagnante. Cette masse d'eau stagnante entraînera des changements pour l'ensemble de la qualité de l'eau du fleuve. Le réservoir sera un endroit propice à la décantation des sédiments en suspension, rendant l'eau plus limpide. Néanmoins, pendant les travaux, une quantité énorme de sédiments pénétreront dans le fleuve et seront emportés à des kilomètres en aval. Cette augmentation de sédiments provenant des travaux persistera probablement tout au long de la phase de construction. L'effet ultime risque d'être la disparition permanente de la vie aquatique de certaines sections du fleuve.

Les eaux stagnantes du grand réservoir deviendront verticalement stratifiées pendant une partie de l'année et ne se mélangeront donc pas facilement de haut en bas. L'absence de mélange procurera un environnement propice à la formation d'anoxie dans la couche inférieure. La

stratification et l'anoxie modifieront aussi le régime de nutriments dans le réservoir. Des particules se décanteront au fond, tout en comportant des nutriments. Ces nutriments ne peuvent pas se mélanger de nouveau facilement dans l'eau à cause de la stratification. L'absence de sédiments en suspension et de nutriments dans les eaux de surface du réservoir produiront des eaux plus limpides que les eaux boueuses actuelles du fleuve. Ce grand réservoir aura aussi un taux extrêmement élevé d'évaporation pendant la saison sèche (AHT/HHL, 1984).

La création d'un réservoir exercera une incidence très sensible sur l'environnement des rives du fleuve. Les rives du fleuve dans le voisinage du réservoir seront inondées en permanence. Le réservoir connaîtra un rabatement annuel, c'est-à-dire une baisse du niveau de l'eau du réservoir exposant les rives à l'air. En aval du barrage, le débit régularisé empêchera l'inondation annuelle des rives du fleuve et des plaines pendant la saison des crues. Ceci éliminera l'échange annuel de nutriments et de sédiments entre le fleuve et les régions inondées. L'absence de crue annuelle entraînera aussi la perte de beaucoup d'hectares de plaines inondées saisonnièrement. Le niveau constamment modéré du débit déchargé du réservoir provoquera une érosion sensible des rives du fleuve; le fond du fleuve semble suffisamment blindé juste en aval de Kékreti pour empêcher une érosion marquée (Jasinski, communication personnelle).

La modification fondamentale de la plupart de l'environnement physique de la zone du cours supérieur (ensemble, le réservoir et la région en aval du barrage constituent presque 80 pour cent de la longueur de la zone) entraînera un grand nombre d'incidences secondaires. Le réservoir-même favorisera un changement complet de la faune et de la flore aquatiques par la disparition de l'environnement fluvial. Le phytoplancton trouvera un habitat propice à la surface des eaux du réservoir. L'augmentation de la productivité primaire dans le réservoir encouragera la formation d'une couche alimentaire autour de la communauté de plancton. Cette nouvelle couche alimentaire lacustre sera finalement considérablement plus productive que la couche alimentaire fluviale existante. La production de poisson sera plus élevée (voir Chapitre 6.) rendant la pêche productive. La couche alimentaire pélagique ne sera pas la seule partie du biote affectée par la présence du réservoir. La communauté benthique subira des effets adverses, si l'on tient compte du développement d'une anoxie dans les eaux du fond du

réservoir (van Maren, 1985). Ni les poissons ni les invertébrés ne peuvent survivre dans un environnement anoxique. La production biologique utile sera donc limitée aux eaux oxygénées du haut du réservoir et à la couche immédiatement en-dessous. De plus, l'eau provenant de la section anoxique du réservoir et déchargée à travers le barrage pourrait contenir un fort pourcentage d'hydrogène sulfuré et nuire donc à la flore et à la faune aquatiques en aval du réservoir. Les sections peu profondes des réservoirs tropicaux sont aussi un environnement particulièrement propice à la prolifération de mauvaises herbes aquatiques. Finalement, ces mauvaises herbes peuvent envahir le réservoir si rien n'est fait pour s'en débarrasser.¹ Les mauvaises herbes nuisent au fonctionnement mécanique du barrage et suppriment aussi la production primaire de la colonne d'eau. Elles facilitent aussi une perte de l'eau du réservoir à cause d'une forte évapotranspiration.

L'on peut s'attendre aussi à plusieurs incidences secondaires en aval du barrage. La modification des schémas de débit annuel provoquera un changement dans beaucoup d'espèces aquatiques trouvées dans le fleuve. Par exemple, les poissons qui ont recours aux plaines saisonnièrement inondées pour leur frai seront plus en mesure d'achever leur cycle de vie et finiront par disparaître de la région. Les organismes qui dépendent de l'enrichissement annuel des eaux du fleuve pendant la saison des crues, ne seront pas non plus en mesure de survivre quand la crue sera éliminée.

Les incidences tertiaires liées au barrage de retenue de Kékédi sont principalement associées à la construction d'un grand réservoir au milieu de la zone du cours supérieur. La plus grande partie du réseau d'irrigation mis en oeuvre dans le cadre du programme du bassin du fleuve sera en Gambie (80 pour cent de la totalité des hectares irrigués seront en Gambie). Mais il y aura une extension des terres de culture au Sénégal Oriental, et les incidences liées à l'augmentation de l'agriculture seront donc observées dans la zone du cours supérieur. Les incidences dues à l'augmentation de

¹Le fleuve Gambie est fortement menacé par l'apparition de nénuphars, Eichornia crassipes. Cette plante flottante a constitué un problème important dans grand nombre de réservoirs parce qu'elle n'a pas besoin d'un substrat solide pour pousser. Les amas flottants d' Eichornia peuvent obstruer les réservoirs et servir d'habitat aux vecteurs de maladie. L'utilisation décorative de cette plante a été remarquée dans les bassins près de Banjul.

l'agriculture comprennent la pollution de l'eau du fleuve à cause des engrais et des substances toxiques, le déboisement des rives du fleuve, le déplacement de la faune aquatique, à quoi s'ajoute une orientation des activités vers l'agriculture.

Le réservoir attirera aussi un grand nombre de personnes vers les rives du fleuve pour profiter des réserves en eau douce. L'implantation de l'homme aura finalement une incidence sur les eaux du fleuve Gambie puisque des déchets et des débris provenant des activités humaines pollueront le fleuve. Pareillement, l'augmentation de la population le long du fleuve et des rives du réservoir développera le commerce dans ces régions et contribuera à polluer l'eau davantage. La grande quantité d'eau stagnante aux abords d'habitations procurera un environnement propice au développement de vecteurs de maladies d'origine hydrique.

La présence d'un grand réservoir dans la zone du cours supérieur aura aussi un effet extrêmement bénéfique. Le réservoir sera considérablement plus productif que l'environnement fluvial existant (voir Chapitre 6.). Le taux plus élevé de production peut alimenter une industrie de la pêche qui procurera une nouvelle source d'alimentation à la région. Finalement, la pêche du réservoir sera une source supplémentaire d'alimentation, d'emploi et de revenu pour beaucoup d'habitants du Sénégal Oriental.

Les réserves d'eau douce et l'hydroélectricité procurées par le barrage de retenue et le réservoir de Kékréti procureront suffisamment d'eau et d'électricité pour faciliter le développement des activités minières dans l'est du Sénégal. L'ensemble des incidences résultant d'activités minières inappropriées peut causer des dégâts étendus sur l'environnement du fleuve Gambie. L'incidence la plus commune résultant des activités minières est la pollution de l'eau par l'écoulement acide et la contamination des métaux lourds. Etant donné que les eaux du Gambie supérieur ont une capacité de tampon extrêmement faible, l'environnement aquatique est extrêmement vulnérable aux effets de la pollution acide. La pollution acide de l'eau peut détruire presque complètement toute valeur intrinsèque de cette ressource. Les eaux fortement acides (pH en-dessous de 4,5) n'alimenteront pas la plupart des types de la vie aquatique et sont aussi dangereuses pour la consommation humaine et du bétail. En outre, un écoulement acide mobilise habituellement les métaux lourds, qui à leur tour empoisonnent l'eau, la rendant encore plus dangereuse pour la faune et la consommation

humaine. Le nord-est des Etats-Unis et du Canada ont connu une perte importante ou totale du poisson dans les eaux fortement acides des lacs et des cours d'eau intérieurs. Bien que le mécanisme d'acidification diffère, (par le dépôt atmosphérique d'acides sulfuriques et nitriques) de celui des activités minières, le résultat final pour la population de poissons est le même.

L'étendue de la pollution dépend en grande partie de l'importance des activités minières ainsi que des efforts pour contrôler les déchets. Cependant, une fois qu'il aura été détérioré, il sera très difficile de rétablir l'environnement dans sa condition originale. Etant donné que toutes les ressources en eau douce peuvent être détruites par cette seule forme de pollution, un soin extrême devrait être apporté à contrôler les effets des activités minières sur l'environnement.

4.6.3. Barrage de retenue de Kékréti et barrages guinéens

L'addition des barrages guinéens en amont du barrage de Kékréti n'ajoutera pas de nouvelle incidence à celles déjà abordées dans la section précédente. Mais ces barrages augmenteront la portée de ces incidences sur la zone du cours supérieur; avec le barrage de retenue de Kékréti uniquement, les 100 km en amont de la zone du cours supérieur seront plus ou moins privés des incidences résultant de la mise en valeur du bassin du fleuve. Les barrages guinéens étendront la portée des effets bien au-delà de l'extrémité en amont de la zone du cours supérieur et sur une bonne part de la rivière Koulouatou.

4.6.4. Barrage de retenue de Kékréti et barrage de salinité de Balingho

L'addition du barrage de salinité de Balingho au fleuve Gambie n'amplifierait pas la nature ou la portée des incidences de la zone du cours supérieur engendrées par le barrage de Kékréti. Le barrage est suffisamment en aval pour que ses effets ne soient pas remarqués dans la section de la zone du cours supérieur.

4.6.5. Barrage de retenue de Kékréti, barrages guinéens et barrage de salinité de Balingho

Les incidences créées par la construction des cinq barrages sur le fleuve Gambie seront les mêmes que celles dans la section 4.6.3.

4.7. Zone des eaux d'amont

Les eaux d'amont du fleuve Gambie sont considérées comme la section du fleuve qui s'étend de la frontière entre la Guinée et le Sénégal à la source du fleuve près de Labé (Voir Figure 3.1.). La zone des eaux d'amont s'étend sur une région relativement montagneuse commençant à environ 965 km en amont et finissant à un peu plus de 1100 km en amont. Cette zone se caractérise par un schéma extrêmement dendritique de rivières et de petits ruisseaux se dirigeant vers le nord dans le Sénégal Oriental. Grand nombre de ces rivières et ruisseaux sont intermittents, étant à sec ou ne comprenant que quelques cuvettes d'eau pendant une grande partie de l'année. Une caractéristique des lits de ces rivières est d'être totalement affouillés.

Comme la zone du cours supérieur, la zone des eaux d'amont se caractérise par un schémas de débit fort saisonnier. Pendant la saison sèche, la majorité des lits de rivières sont soit complètement à sec soit réduits à quelques cuvettes (3 km ou moins de longueur). L'hivernage provoque la crue annuelle qui élève le niveau de l'eau d'au moins 15 m au-dessus du lit des rivières. La composition chimique de l'eau du fleuve Gambie est aussi considérablement modifiée pendant la crue annuelle; les eaux de crue se caractérisent par une augmentation des charges de sédiments en suspension et des concentrations élevées en nutriments. Les rivières des hauts plateaux guinéens sont fortement soumises à l'influence des pluies. L'on a observé que les niveaux d'eau du fleuve pouvaient monter d'un mètre à cause d'un seul gros orage dans le bassin (Berry et al., 1985). L'écoulement dû à un orage peut aussi changer la composition chimique du fleuve pendant plusieurs jours après l'orage.

Dans la zone des eaux d'amont, le fleuve Gambie est relativement improductif. L'eau est limpide, ce qui permet une pénétration suffisante de la lumière pour la photosynthèse, mais les niveaux de nutriments sont faibles et limitent donc probablement la production (Healey et al., 1985). En outre, le volume d'eau du fleuve est petit sauf pendant la crue, où la transparence optique devient faible. A la fin de la saison sèche, quand le fleuve se limite à quelques cuvettes, ces cuvettes non reliées s'appauvrissent rapidement.

Les poissons se concentrent souvent dans ces cuvettes à mesure que l'eau se retire, ce qui entraîne une forte densité locale (prises en eau

stagnante). A mesure que la saison sèche se poursuit, le nombre de poissons diminue à cause de la pêche et de la mortalité naturelle, à quoi s'ajoute la destruction des poissons par des animaux de proie, et la quantité des stocks devient très faible. La population qui arrive à survivre se reproduit généralement pendant la saison des crues qui suit. Quelques espèces peuvent perdre la plus grande partie de leur reproduction pendant la saison sèche, seulement des oeufs ou quelques jeunes poissons arrivant à survivre dans les cuvettes ou dans la vase. Ceci a pour effet net que pendant la plus grande partie de l'année, la densité de population est considérablement plus faible que celle des cuvettes au début de la saison sèche. Par conséquent, la zone des eaux d'amont a actuellement une production de poissons faible en comparaison d'autres sections du fleuve.

4.7.1. Aucune mise en valeur ou statu quo

Même sans l'application du programme de mise en valeur du bassin du fleuve, un développement modéré peut malgré tout se dérouler dans la zone des eaux d'amont. Ce développement portera sur une petite augmentation des cultures et des activités minières. Etant donné que les précipitations sur les hauts plateaux guinéens sont plus abondantes que sur le reste du bassin du fleuve Gambie (1 à 2 m par an), il y a des chances d'une mise en valeur agricole plus importante. L'obstacle actuel au développement de la zone des eaux d'amont semble provenir plus de l'absence d'un réseau de transport ou de communications que de tout autre facteur. Si cet obstacle était surmonté, l'on pourrait s'attendre à un niveau modéré de mise en valeur sans la construction d'aucun barrage. Il serait probable que cette mise en valeur modérée entraînerait quelques incidences pour le fleuve Gambie.

Ces incidences liées à l'agriculture comprennent deux incidences primaires, deux incidences secondaires et cinq incidences tertiaires. Les incidences primaires résultant de l'agriculture sont la modification possible des régimes de nutriments du fleuve et l'augmentation des charges en sédiments. L'eau qui s'écoule des champs agricoles transporte une charge en nutriments différente de l'écoulement d'un sol auquel l'on n'a pas touché. L'écoulement de terres agricoles a habituellement des concentrations d'azote et de phosphore plus élevées. Les concentrations élevées en nutriments pourraient à leur tour stimuler la prolifération de mauvaises herbes aquatiques et donc entraîner une incidence secondaire. La prolifération excessive de mauvaises herbes pourrait causer une autre

incidence secondaire: le taux élevé de la réduction d'eau du fleuve due à l'évapotranspiration. Les incidences tertiaires résultant de l'activité agricole seraient:

- la pollution due à l'utilisation d'engrais et de substances toxiques dans les champs
- le déboisement près du fleuve
- un niveau de commerce plus élevé aux alentours du fleuve
- le déplacement de la faune aquatique
- l'implantation de l'homme le long du fleuve

Comme il a été mentionné plus haut, toutes ces incidences entraînent une détérioration de la qualité de l'eau du fleuve Gambie à cause de l'apport de nombreux polluants dans l'eau résultant des activités humaines.

Les activités minières de la zone des eaux d'amont représentent le plus grand danger pour la qualité de l'eau du fleuve Gambie. L'incidence de la pollution provenant des déchets miniers pourraient finalement détruire la qualité de l'eau dans une bonne partie du fleuve. L'incidence primaire résultant des activités minières est le traitement incorrect des déchets, qui à son tour provoque de grandes quantités d'écoulement d'eau acide. Cet écoulement acide mobilisera des métaux lourds et polluera donc les eaux du fleuve de deux façons: l'acidification et la contamination de métaux lourds. L'association de ces deux formes de pollution pourrait rendre l'eau pratiquement inutilisable. L'eau du fleuve Gambie dans la zone des eaux d'amont a un effet tampon extrêmement faible, semblable à celui de la zone du cours supérieur. Cette eau pauvrement tamponnée est extrêmement vulnérable aux effets de la pollution acide. Ceci rendrait les effets de la pollution due aux activités minières à la fois sévères et étendus sur toute la zone des eaux d'amont. Les conséquences de la pollution acide sur le fleuve Gambie engloberaient la destruction de la plupart des formes de la vie aquatique du fleuve, et rendrait l'eau dangereuse pour la consommation humaine et du bétail. Il n'est pas possible non plus d'utiliser des eaux fortement acides pour la plupart des formes d'agriculture. La contamination des métaux lourds - en particulier l'aluminium qui est abondant, de même que la bauxite, dans les hauts plateaux guinéens (Moran, 1984) - et la pollution acide contribuent à empoisonner l'eau et à aggraver les effets de la pollution acide.

4.7.2. Barrage de retenue de Kékéréti

La construction du barrage de retenue d'eau de Kékéréti n'aurait pas d'effet sur la zone des eaux d'amont du fleuve Gambie, étant donné que le barrage serait en aval de cette zone. La seule incidence possible provoquée par ce barrage dans la zone des eaux d'amont serait l'augmentation des activités minières si les Sénégalais acceptaient de partager l'hydroélectricité produite par le barrage de retenue de Kékéréti avec les Guinéens. Le développement des activités minières augmenterait l'amplitude des incidences associées aux activités minières étudiées plus haut, mais n'ajouterait pas de nouvelle incidence.

4.7.3. Barrage de retenue de Kékéréti et barrages guinéens

Toutes les incidences sur le fleuve Gambie dans la zone des eaux d'amont résultant du programme de mise en valeur du bassin du fleuve proviendront de la construction des trois barrages sur les hauts plateaux guinéens. Chaque barrage est prévu respectivement pour le fleuve Gambie et les rivières Liti et Koulountou. Les barrages du fleuve Gambie et de la rivière Liti doivent se trouver à environ 1.050 km en amont de l'embouchure de fleuve à Banjul. Les incidences sur le fleuve Gambie dues à ces trois barrages seront fort semblables à celles créées par le barrage de retenue de Kékéréti sur la zone du cours supérieur (voir section 4.4.2.). Les incidences primaires résultant de chaque barrage comprennent la modification et la régularisation du débit des courant d'eau. Ces schémas de débit modifié élimineront les caractéristiques saisonnières du fleuve Gambie en aval des barrages (environ les deux tiers de la zone des eaux d'amont). L'élimination de la crue annuelle supprimera également les plaines inondées saisonnièrement de l'environnement du fleuve. L'absence de crue supprimera l'affouillement annuel des rives du fleuve à cause du gros débit, entraînant finalement l'accumulation de sédiments meubles sur une grande partie des rives du fleuve. Ce changement de la composition du fond du lit, non plus rocheuse mais boueuse, modifiera la communauté benthique, attirant les organismes qui préfèrent des sédiments meubles.

La mise en place des réservoirs derrière chaque barrage aura aussi un effet sur la qualité de l'eau du fleuve Gambie. Les eaux calmes et profondes des réservoirs permettront la décantation d'une bonne partie des charges de sédiments en suspension dans l'eau du fleuve. L'eau du fleuve déchargée au-dessus des barrages sera donc plus limpide que l'eau du fleuve

s'écoulant actuellement dans la zone d'amont, malgré les faibles concentrations actuelles de sédiments en suspension. La perte des sédiments en suspension de la colonne d'eau dans les réservoirs favorisera une augmentation de la transparence optique de l'eau. Cette incidence bénéfique sera la plus importante pendant l'hivernage quand les eaux des crues du fleuve transportent normalement une grande charge de sédiments et sont optiquement très opaques. Les eaux calmes des réservoirs favoriseront aussi le développement d'une stratification thermique verticale. La présence d'une stratification thermique verticale empêchera le mélange des eaux jusqu'au fond du réservoir. L'absence d'un mélange vertical entraînera deux incidences primaires supplémentaires: le développement d'anoxie saisonnière dans les eaux du fond du réservoir, et un changement dans le régime de nutriments de la colonne d'eau. Le régime de nutriments sera modifié parce que, à mesure que des particules tombent au fond du réservoir, elles transportent avec elles des nutriments. L'absence de mélange empêchera ces nutriments de retourner dans la colonne d'eau.

Pendant la construction de chacun des barrages guinéens, une grande quantité de sédiments en suspension pénétrera dans le fleuve. Les niveaux de sédiments seront acrus pendant toute la période de construction, qui peut s'étendre sur dix ans si les barrages sont construits successivement. Comme il a été examiné plus haut, un niveau élevé de sédiments peut étouffer beaucoup d'organismes et finalement les faire mourir. Une telle incidence sur une période de dix ans pourrait finalement faire disparaître la plupart de la faune aquatique benthique sur de longues sections du fleuve.

Pendant le fonctionnement des barrages, il y aura un rabattement de l'eau des réservoirs entre la fin de l'hivernage et le commencement de la suivante. Ces zones de rabattement n'alimentent pratiquement pas de flore ni de faune aquatiques. En particulier, les zones de rabattement détruisent la plupart des organismes benthiques aquatiques. Etant donné que les eaux anoxiques sont aussi toxiques pour les organismes benthiques, les réservoirs pourraient avoir une population benthique relativement faible. Pareillement, si l'eau anoxique est déchargée en aval, elle aura un effet préjudiciable à la qualité de l'eau de même qu'à la flore et à la faune aquatiques de cette région.

Le passage de l'environnement fluvial à un environnement lacustre causera une modification de l'ensemble de la couche alimentaire aquatique.

Les réservoirs favoriseront la prolifération de phytoplancton à la base de la couche alimentaire. L'augmentation de la croissance algale entraînera à son tour un changement dans la totalité de la composition des espèces du réservoir. Les espèces lacustres seront favorisées, entraînant finalement une augmentation considérable de l'ensemble de la production du réservoir en comparaison de l'environnement fluvial antérieur. Cette augmentation de la production entraînera une augmentation des activités halieutiques avec une production de la pêche accrue. Cette augmentation de la production ne sera malheureusement pas bénéfique sur tous les plans. Les eaux stagnantes du réservoir seront un habitat propice à la prolifération des mauvaises herbes aquatiques. L'énorme prolifération des mauvaises herbes a détruit l'utilité d'autres réservoirs tropicaux. L'énorme quantité de mauvaises herbes aquatiques en eau stagnante s'accompagnera d'une perte d'eau accrue due à l'évapotranspiration.

Dans la zone des eaux d'amont, l'on peut s'attendre à neuf incidences tertiaires qui résulteront de la construction des trois barrages sur les trois cours d'eau. Six de ces incidences tertiaires seront les mêmes que pour le programme de non mise en valeur, auxquelles s'ajouteront trois autres incidences. Ces incidences sont:

- la pollution due aux engrais et aux substances toxiques employées dans les méthodes agricoles
- la pollution due aux activités minières
- le déboisement dû au développement des activités agricoles et minières
- l'implantation de l'homme le long du fleuve
- l'augmentation des activités commerciales près du fleuve
- le déplacement ou la disparition de la faune aquatique

Alors que l'on observera ces mêmes incidences avec ou sans l'exécution du programme de mise en valeur proposé, l'amplitude et la gravité de ces incidences seront beaucoup plus grandes après la mise en valeur. La pollution résultant des activités agricoles et minières sera beaucoup plus étendue une fois que le programme de mise en valeur sera appliqué.

Les trois incidences tertiaires supplémentaires qui seront créées par la présence des barrages guinéens seront des incidences bénéfiques liées à la présence des trois réservoirs. Comme il a été mentionné plus haut, les réservoirs seront plus productifs que l'environnement fluvial existant et fourniront plus de poissons. Ces poissons seront une source locale

supplémentaire d'alimentation pour les habitants du bassin du fleuve Gambie dans la zone des eaux d'amont. Le développement de l'industrie de la pêche alimentera des secteurs annexes de services et d'approvisionnement, et sera une source d'emploi directe pour de nouveaux pêcheurs. De plus, les réservoirs fourniront de plus grandes réserves en eau douce, permettant l'extension du réseau agricole, ce qui fournira encore des sources locales d'alimentation. Avec l'augmentation des ressources alimentaires locales, il est probable que la population se rapprochera du fleuve et des réservoirs pour tirer profit des ressources alimentaires et en eau douce. Malheureusement, cet exode de la population vers le fleuve augmentera probablement l'ensemble de la pollution du fleuve de même que les chances de contracter des maladies d'origine hydrique.

4.7.4. Barrage de retenue de Kékéréti et barrage de salinité de Balingho

La construction à la fois du barrage de retenue et du barrage de salinité n'aura pas d'effet sur le fleuve Gambie dans la zone des eaux d'amont. L'Effet le plus en amont des deux barrages ne s'étendra pas plus loin que 850 km en amont de l'embouchure du fleuve à Banjul, c'est-à-dire à plus de 100 km en aval de la zone des eaux d'amont.

4.7.5. Barrage de retenue de Kékéréti, barrages guinéens et barrage de salinité de Balingho

Les incidences sur la zone des eaux d'amont du fleuve Gambie dues aux trois barrages proposés en Guinée ne changeront pas avec l'addition des deux barrages en aval. Par conséquent, les incidences résultant des cinq barrages seront les mêmes que celles résultant du scénario de quatre barrages. Ces incidences sont citées dans la section 4.7.3. et sont les mêmes pour cette section.

5. STRATEGIES D'ATTENUATION ET DE CONTROLE DES INCIDENCES

5.1. Atténuation des incidences

La présentation des incidences du chapitre 4 a été adoptée afin d'expliquer les conséquences du programme de projet de mise en valeur du bassin du fleuve pour chacun des scénarios de mise en valeur de chacune des cinq zones. Néanmoins, le Tableau 4.2 et l'Annexe I montrent que toutes les incidences prévues sauf une se produiront au moins dans deux des cinq zones. L'on peut s'attendre à ce que plusieurs incidences se produisent dans les cinq zones dans un ou plusieurs scénarios de mise en valeur. Ces incidences se produiront dans plus d'une zone du fleuve parce qu'elles découlent de causes communes. C'est pourquoi l'on peut s'attendre à ce que ces incidences aient des solutions semblables dans les zones. Par conséquent, la présentation de mesures d'atténuation de ces incidences sera faite par incidence, et non pas par zone (Tableau 5.1.). Les trois types d'incidences (primaire, secondaire et tertiaire) utilisés au cours du chapitre 4 sont les principales catégories utilisées dans ce chapitre.

Quarante-et-une incidences différentes sur le fleuve Gambie découlant du projet de programmes de mise en valeur ont été présentées. Vingt-et-une d'entre elles n'offrent apparemment pas de méthode d'atténuation. Neuf d'entre elles ont été considérées comme des incidences favorables qui n'exigent pas d'être atténuées. Un exemple de ce type d'incidences est l'augmentation du produit de la pêche tiré des réservoirs nouvellement créés. Les douze autres semblent être des conséquences inévitables de la mise en valeur du bassin mais qui ne présentent pas de méthode évidente d'atténuation. Un exemple de ce type est la perte d'eau de la surface des réservoirs par évaporation. Ces 21 incidences sans atténuation sont examinées ci-dessous avec les 20 autres incidences. Les raisons de l'absence d'atténuation sont examinées pour chacune des 21 incidences.

5.1.1. Incidences primaires (physico-chimiques)

Les incidences primaires sont celles qui ont un effet sur l'environnement physique ou chimique du fleuve ou de l'estuaire. Ces incidences sont considérées comme primaires parce que chaque incidence provoque à son tour une incidence sur la flore ou la faune du fleuve. La modification de l'environnement du fleuve est donc un changement primaire

TABLEAU 5.1

MESURES SUGGEREES POUR ATTENUER LES INCIDENCES DU PROGRAMME
DE DEVELOPPEMENT PROPOSE SUR LE FLEUVE GAMBIE

<u>Incidences physico-chimiques</u>	<u>Mesures d'atténuation</u>
Régulation du flux annuel	Emission d'eau des réservoirs avec crue annuelle contrôlée
Modification des courants	Emission d'eau contrôlée hors des réservoirs
Modification du régime thermal	Mélange de l'eau des réservoirs pour empêcher la stagnation
Anoxie des eaux du fond	Mélange de l'eau des réservoirs pour empêcher la stagnation
Changements dans les teneurs en nutriments	Aucune atténuation possible ^a
Multiplication des solides en suspension en aval des barrages	Réduction des courants sur les berges
Augmentation de la lumière sous l'eau	Aucune atténuation nécessaire ^b
Augmentation des solides en suspension pendant la construction des barrages	Méthodes de construction prudentes et isolation des sédiments du fleuve
Modification des rives du fleuve	Prudence dans la construction le long des rives et contrôle des crues annuelles
Perte des plaines inondables	Contrôle des crues annuelles
Création d'une zone d'abaissement du niveau	Limitation de l'émission d'eau des réservoirs
Accroissement de l'évaporation	Aucune atténuation possible
Absence d'influence de la marée en amont du barrage	Aucune atténuation possible
Augmentation de l'amplitude de la marée	Aucune atténuation possible
Manque de salinité en amont du barrage	Aucune atténuation possible

TABLEAU 5.1 (suite)

Manque de gradient de salinité dans l'estuaire	Aucune atténuation possible
Formation de sols acido-sulfateux	Prudence dans la gestion de l'eau
Accumulation de sédiments dans les bûlons	Aucune atténuation possible
Formation d'eau hypersaline	Emission limitée d'eau douce au-delà du barrage
<u>Incidences biologiques</u>	
Modification de la composition des espèces des réservoirs	Aucune atténuation nécessaire
Augmentation de la production d'algues	Aucune atténuation nécessaire
Changements dans les espèces benthiques	Aucune atténuation nécessaire
Accroissement de la production de poisson dans les réservoirs	Aucune atténuation nécessaire
Croissance de mauvaises herbes aquatiques	Mesures de contrôle mécanique
Forts taux d'évapotranspiration	Aucune atténuation possible
Élimination et restructuration des mangroves	Aucune atténuation possible
Interruption des migrations	Aucune atténuation possible
Élimination du plancton marin en amont du barrage	Aucune atténuation possible
Accroissement de la production de poisson estuarien	Aucune atténuation nécessaire
Élimination des invertébrés marins en amont du barrage	Aucune atténuation possible
<u>Incidences anthropogéniques</u>	
Usage accru d'engrais, pesticides et herbicides	Application limitée et prudente
Augmentation des récoltes de poisson dans les réservoirs	Aucune atténuation nécessaire

TABLEAU 5.1 (suite)

Consommation accrue de poisson	Aucune atténuation nécessaire
Expansion des cultures irriguées	Aucune atténuation possible
Exploitation minière dans le bassin	Protection stricte de l'environnement
Etablissements humains près des réservoirs et du fleuve	Contrôle de la pollution provoquée par les nouveaux villages
Modification des vecteurs de maladie	programmes de lutte modérés
Déboisement près des nouveaux villages	Limitation de l'abattage
Changement des occupations au profit de la pêche	Aucune atténuation nécessaire
Modification des itinéraires de commerce et de transport	Eloigner les routes du fleuve et des réservoirs
Déplacement de la faune	Restriction de la chasse
<p>NB: a) L'expression "Aucune atténuation possible" est utilisée pour indiquer qu'une incidence n'est assortie d'aucune forme logique d'atténuation et doit être acceptée comme une conséquence inévitable du programme de développement.</p> <p>b) L'expression "Aucune atténuation nécessaire" indique une incidence favorable.</p>	
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.	

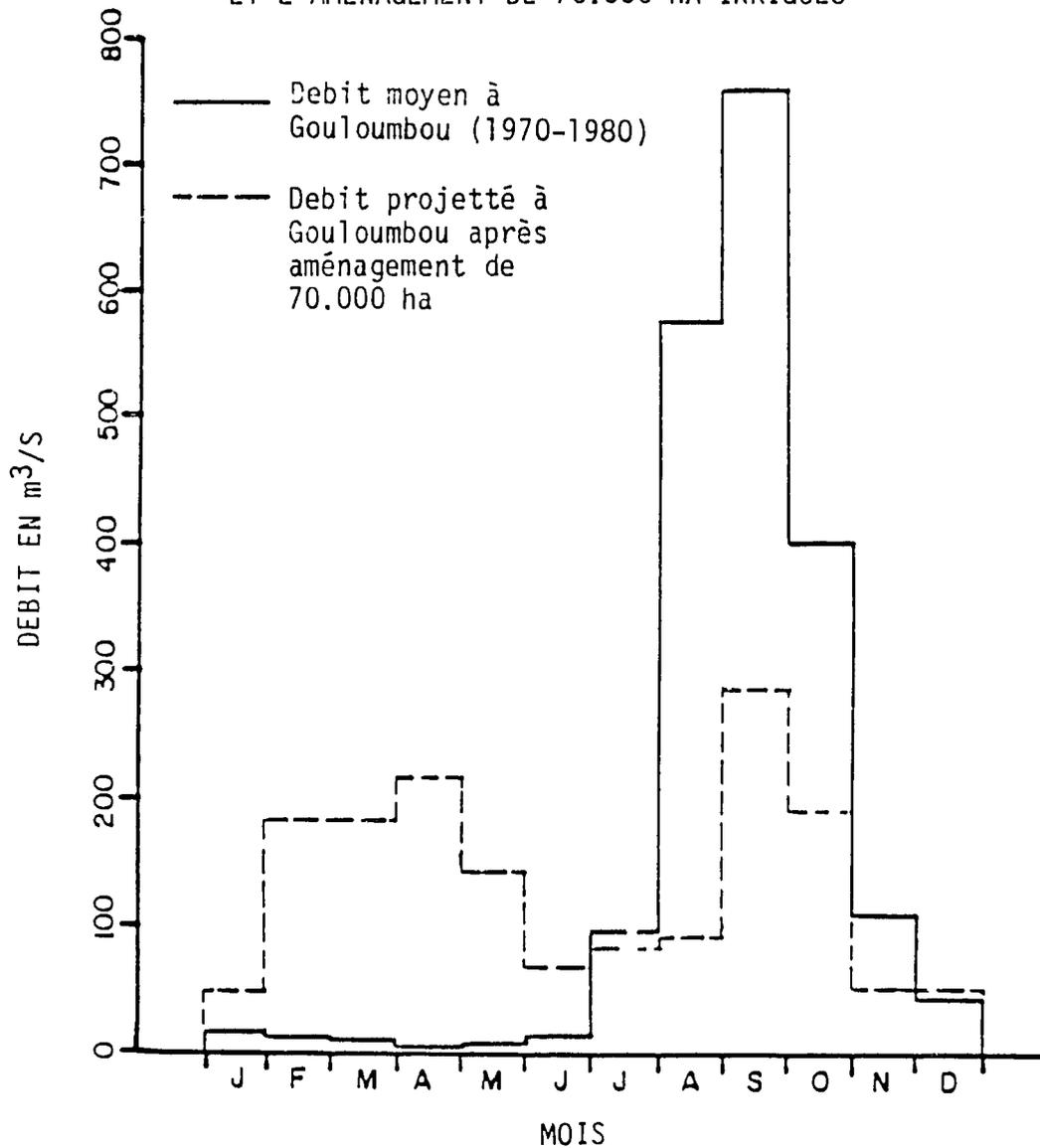
pour l'environnement. La construction des barrages et les réseaux d'irrigation le long du fleuve amènent des incidences primaires.

5.1.1.1. Régularisation du débit annuel. Un objectif important du programme de mise en valeur est de procurer un débit annuel pratiquement uniforme pour la production d'hydroélectricité et d'eau pour l'irrigation. Cette régularisation du débit réduira considérablement la crue annuelle du fleuve Gambie. La crue annuelle habituelle était cruciale pour permettre à de nombreux organismes aquatiques de maintenir leur cycle de vie. Une méthode pour atténuer cette incidence est de régulariser le débit à travers et au-dessus des barrages afin qu'une crue annuelle modérée puisse toujours se produire. L'époque logique pour assurer une inondation contrôlée est vers la fin de l'hivernage quand le niveau du réservoir serait élevé, débordant même parfois. Une telle inondation se produirait en gros à la même époque que la crue naturelle. L'emploi de réserves d'eau douce pour contrôler l'inondation peut nécessiter un accommodement dans l'utilisation de l'eau douce pour l'irrigation et pour l'hydroélectricité, par exemple quand les réserves d'eau douce sont insuffisantes.

5.1.1.2. Modification du débit. La régularisation du fleuve Gambie modifiera le débit, fort élevé pendant l'hivernage et faible pendant la saison sèche, lui faisant adopter des caractéristiques annuelles plus uniformes (Figure 5.1). Beaucoup d'organismes ne peuvent pas supporter un débit très élevé ou très faible et adaptent donc leur cycle de vie afin d'éviter ces périodes. Les larves d'insecte émergent par exemple du fleuve pour aller pondre leurs oeufs avant l'hivernage (van Maren, 1985). Les oeufs supportent beaucoup mieux le débit élevé que les larves. La régularisation du débit favorisera donc certains organismes aquatiques aux dépens d'autres. Pour atténuer cette incidence, la décharge d'eau des réservoirs devrait correspondre le plus possible aux caractéristiques existantes du débit annuel. Comme pour l'incidence précédente, cette forme d'atténuation nécessitera des accommodements entre les nombreux emplois de l'eau douce.

5.1.1.3 Modification des régimes thermiques. Les eaux calmes des réservoirs entraîneront la formation, en certaines saisons, d'une couche d'eau plus chaude au-dessus des eaux profondes plus froides. Cette stratification thermique verticale empêchera à son tour le mélange d'éléments essentiels à travers tout le réservoir. Ce mélange incomplet

FIGURE 5.1. DEBIT MOYEN A GOULOUMBOU DE 1970 A 1980
ET DEBIT PROJETTE APRES LA CONSTRUCTION DU BARRAGE DE KEKRETI
ET L'AMENAGEMENT DE 70.000 HA IRRIGUES



provoquera des problèmes tels que l'anoxie, qui est l'absence d'oxygène dissous au fond de l'eau. Pour atténuer cette incidence, il faut que les eaux du réservoir se mélangent de la surface jusqu'au fond. Ce processus peut être réalisé par des barboteurs ou une autre méthode mécanique. Un mélange par le vent peut aussi atténuer la stagnation dans les réservoirs, mais les vents sont rarement suffisamment forts pendant une longue période pour permettre un mélange complet. En pratique, l'on a rarement recours à un mélange mécanique sur une grande échelle à cause du coût. En outre, l'amplitude du mélange nécessaire pour neutraliser les conditions adverses liées à la stagnation est difficile à prédire à l'avance. On devrait donc peut-être recourir au mélange mécanique "en fonction des besoins."

5.1.1.4. Anoxie dans les eaux du fond des réservoirs. Une grande incidence négative provenant de la création des réservoirs est le développement d'eau anoxique au fond des réservoirs. Cette incidence, prévisible dans tous les réservoirs pendant presque toute la saison sèche, a un effet extrêmement adverse sur la flore et la faune aquatiques. L'atténuation de cette incidence est la même que pour la précédente: mélange des réservoirs de la surface au fond. Les eaux de réservoirs bien mélangés transportent suffisamment d'oxygène dissous pour empêcher la formation d'anoxie. Encore une fois, le mélange mécanique est une méthode coûteuse et donc peu utilisée. Le développement d'anoxie au fond des réservoirs peut également causer des incidences adverses en aval des barrages. Si l'eau est libérée au fond des réservoirs par le barrage, les conditions anoxiques risquent de régner encore à plusieurs kilomètres en-dessous du barrage. Ces eaux anoxiques détruiront également les organismes aquatiques comme c'est le cas au fond des réservoirs. L'anoxie en aval peut être contrôlée soit en évacuant l'eau par le haut du réservoir, soit en aérant l'eau évacuée par le fond du réservoir.

5.1.1.5. Modification des régimes de nutriments dans les réservoirs. Les eaux calmes et stratifiées des réservoirs supprimeront les nutriments de la colonne d'eau par décantation après leur absorption avec les particules. Inversement, le réseau d'irrigation ajoutera des nutriments à l'eau du fleuve à cause de l'emploi d'engrais. Ceci aura pour résultat net un changement des régimes de nutriments dans la plus grande partie du fleuve Gambie. La diminution ou l'augmentation en quantités modérées aura peu d'effet sur la faune et la flore aquatiques, mais une augmentation

considérable aura une grande incidence. L'atténuation de l'élimination des nutriments n'est probablement pas nécessaire et sera réalisée avec le procédé de mélange proposé ci-dessus. Le processus de mélange permet aux nutriments normalement pris au fond de l'eau de retourner à la surface et de servir à la photosynthèse algale. L'atténuation de l'augmentation de nutriments dans le fleuve peut être effectuée grâce à l'emploi et au contrôle avec soin d'engrais pour les cultures irriguées. Cette idée est examinée en détail dans la section 5.1.3.1.

5.1.1.6. Modification des charges de solides en suspension. Les barrages et les réservoirs le long du fleuve Gambie serviront à permettre à une grande partie des sédiments en suspension de se déposer hors de l'eau du fleuve. Les réseaux d'irrigation, par contre, ajouteront des sédiments à cause de certaines pratiques agricoles. En conséquence, les charges de solides en suspension du fleuve Gambie seront considérablement modifiées par rapport aux conditions existantes. La principale prévision est que les solides en suspension diminueront dans la plus grande partie du réseau, ce qui n'exige pas d'atténuation dans la mesure où c'est une incidence favorable. Mais, dans certains endroits (en particulier juste en aval des barrages), l'eau déchargée à grand débit par-dessus les barrages transportera de grands volumes de solides en suspension. Une façon d'atténuer cette incidence est de réduire l'écoulement des barrages. Une autre méthode est de créer des cuvettes juste en aval des barrages pour permettre aux sédiments de se déposer en dehors de la colonne d'eau; ces méthodes pourraient exiger une forme de dragage annuelle. La réduction de l'apport de sédiments dans le fleuve en provenance des champs irrigués peut être réalisée en isolant les champs du principal chenal grâce à des digues ou des petites levées et à des pratiques de conservation du sol efficaces. Des pratiques agricoles contrôlées avec soin seront la méthode la plus efficace pour atténuer l'incidence de la libération de sédiments en provenance des cultures irriguées.

5.1.1.7. Augmentation de la pénétration de la lumière sous l'eau. La réduction des charges de solides en suspension examinée ci-dessus aura un effet fort bénéfique puisqu'elle rendra l'eau plus claire. La suppression de sédiment par décantation augmentera la limpidité de l'eau et entraînera donc une amélioration générale de la qualité de l'eau du fleuve, stimulant

aussi la production primaire. Cette incidence bénéfique n'exigera aucune atténuation.

5.1.1.8. Augmentation des solides en suspension à cause de la construction du barrage et du réseau d'irrigation. Une grande quantité de sédiments pénétrera dans le fleuve Gambie pendant toutes les phases de construction des barrages. Ces sédiments peuvent être désastreux pour une grande partie de la flore et de la faune aquatiques, en particulier les organismes attachés ou enracinés. L'atténuation de cette incidence est fort simple sur le plan conceptuel: le contrôle strict de la décharge ou de la circulation de sédiments dans la rivière. Mais en pratique, il est souvent difficile d'obtenir des équipes de construction qui tiennent compte du besoin de contrôler les décharges de sédiments. La circulation de sédiments peut être contrôlée par des barrières contre l'érosion le long des rives du fleuve et des routes et en isolant les chantiers de construction des eaux courantes du fleuve. Le déroulement des activités de construction entraînant une forte érosion au moment où le débit du fleuve est minimal, la circulation générale de sédiments dans le fleuve se trouvera également réduite.

5.1.1.9. Modification des rives du fleuve. La construction du réseau d'irrigation et des barrages, le remplissage des réservoirs et la régularisation du débit changeront la nature de l'environnement des rives du fleuve. Ces changements proviendront à la fois des modifications physiques des rives du fleuve et de l'absence de crue saisonnière et de l'assèchement. Les modifications des rives auront des effets sur la plus grande partie de la flore et de la faune qui se servent des rives pour établir leur habitat. La principale méthode d'atténuation de cette incidence sera de maintenir l'environnement des rives dans des conditions aussi naturelles que possible. Ceci exige de limiter la construction et les autres activités de mise en valeur le long des rives du fleuve. L'inondation annuelle simulée décrite dans la section 5.1.1.1. inondera dans une certaine mesure les rives du fleuve et atténuera aussi cette incidence.

5.1.1.10. Élimination de l'inondation saisonnière des plaines. La régularisation du débit du fleuve Gambie éliminera la crue annuelle qui à son tour éliminera l'inondation saisonnière des plaines. Ces plaines inondées ont été reconnues comme des régions vitales pour le frai des poissons ainsi que pour l'apport de nutriments au fleuve (Welcome, 1979).

La régularisation du fleuve décrite dans la section 5.1.1.1. devrait permettre aux réserves d'eau douce d'inonder les plaines d'inondation pendant un à deux mois. Une autre mesure pour atténuer cette incidence est de limiter la mise en valeur du réseau d'irrigation afin que certaines plaines d'inondation conservent leur état naturel dans toutes les zones du fleuve. Dans certains endroits, les plaines d'inondation pourraient servir successivement de zones de frai quand elles sont inondées, puis de zones de culture pour une agriculture de décrue, comme c'est le cas maintenant.

5.1.1.11. Mise en valeur des zones d'assèchement. Le départ de l'eau des réservoirs mettra certaines parties du fond des réservoirs en contact avec l'air. Ces zones ne conviennent pas aux organismes aquatiques, qui ne peuvent pas tolérer le contact de l'air pendant une longue période, parce qu'ils se désydratent. Néanmoins, les zones d'assèchement peuvent avoir une utilité, soit quand elles sont inondées (sites de frai), soit pour servir de pâturage au bétail. La seule méthode disponible pour atténuer cette incidence est de limiter le départ de l'eau du réservoir. Mais cette méthode ne peut pas s'appliquer facilement parce que les besoins en eau douce exigent de libérer l'eau des réservoirs.

5.1.1.12. Augmentation de l'évaporation à la surface des réservoirs. L'endiguement de l'eau dans de grands réservoirs entraîne des pertes d'eau dues à l'évaporation. Aucune atténuation pratique de cette incidence n'est envisagée pour les réservoirs du fleuve Gambie. Une augmentation de l'évaporation est une conséquence naturelle et inévitable de la mise en valeur du bassin du fleuve.

5.1.1.13. Absence de mélange de la marée au-dessus du barrage de salinité. Le barrage de salinité de Balingho deviendra une barrière infranchissable pour les vagues de la marée remontant le fleuve Gambie. Ces vagues de la marée et les courants du fleuve associés entraînent un mélange à l'intérieur du fleuve qui est vital pour la stimulation de l'ensemble de la production (Twilley, 1985; Healey et al., 1985). Cette incidence importante ne peut être atténuée que si les vannes du barrage sont ouvertes pour permettre aux vagues de la marée de remonter au-delà de Balingho.

5.1.1.14. Augmentation de l'amplitude de la marée en aval du barrage. L'étendue de la marée, une fois que les vagues seront renvoyées du barrage, sera accrue de 10 à 20 pour cent immédiatement en aval du barrage. L'augmentation de l'étendue de la marée aura un effet de destruction sur les

forêts de palétuviers. Les seules méthodes disponibles pour atténuer cet effet sont les mêmes que celles citées dans la section 5.1.1.13., soit laisser les vannes du barrage ouvertes, soit éliminer le barrage du programme de mise en valeur proposé.

5.1.1.15. Suppression de l'eau salée en amont de Balingho. Le barrage de salinité empêchera la pénétration de l'eau salée en amont de Balingho. Par conséquent, un segment de 80 km du fleuve qui est actuellement estuarien pendant une partie de l'année ne contiendra en permanence que de l'eau douce. Ceci entraînera une grande modification de la composition des espèces, y compris des poissons associés, et l'élimination d'au moins 12 pour cent des forêts de palétuviers. Cette incidence importante ne peut être atténuée qu'en laissant les vannes du barrage ouvertes ou en éliminant le barrage du programme de mise en valeur proposé.

5.1.1.16. Absence d'un gradient de salinité dans le fleuve. Un élément fondamental de tout estuaire est le gradient de salinité entre l'eau douce et l'eau salée. Ce gradient procure la multitude d'environnements et de stimuli nécessaires à beaucoup d'organismes pour survivre ou pour préserver leur cycle de vie. Ce gradient fournit un tampon naturel entre les espèces entièrement marines et les espèces d'eau douce. Sauf si l'eau douce peut circuler en aval, le barrage de salinité éliminera ce gradient naturel. L'atténuation de cette incidence est possible soit en permettant l'écoulement d'eau douce après le barrage tout au long de l'année, soit en supprimant le barrage du programme de mise en valeur proposé.

5.1.1.17. Formation de sols sulfaté-acides. Les chances de formation de sols acides au-dessus de Balingho après la construction du barrage sont énormes. Bien que ce soit difficile, il est possible d'empêcher la formation de sols contenant des sulfates acides grâce à des procédés de contrôle de l'eau extrêmement soigneux; en empêchant les sols de se dessécher totalement, on éliminera la formation d'acide. Ce procédé de contrôle risque de ne pas être possible si l'eau douce des réservoirs sert à une vaste irrigation. Une méthode plus réaliste est de laisser la formation d'acide sur une certaine partie des terres, comme étant une conséquence inévitable de la mise en valeur du bassin. Néanmoins, les possibilités d'irrigation du barrage seront considérablement réduites par les sols acides. Dans beaucoup d'endroits, l'acide sera éliminé du sol après

plusieurs années (20) et la terre deviendra utilisable pour l'agriculture.

5.1.1.18. Accumulation de sédiments dans les bolons.

L'absence de mélange de la marée et des courants d'affouillement dans les bolons de palétuviers au-dessus de Balingho entraînera une accumulation rapide de sédiments. Finalement, ces rigoles étroites deviendront complètement stagnantes et non productives. Leur incapacité à faire circuler l'eau entre le fleuve et les rizières inondées derrière le bolons nuira à ces dernières. Les eaux stagnantes ne seront plus productives et serviront aussi de lieu de reproduction à de nombreux vecteurs de maladies humaines. La seule méthode d'atténuation de cette incidence est de permettre aux vagues de la marée de continuer à remonter le fleuve.

5.1.1.19. Formation d'hypersalinité en aval du barrage. Une fois que tout le réseau d'irrigation aura été construit, l'eau douce ne s'écoulera que quelques jours par an en aval de Balingho. Pendant les années sèches, la durée de la circulation d'eau douce peut se réduire à moins de dix jours. L'absence de circulation d'eau douce et le taux élevé d'évaporation peuvent contribuer à rendre la salinité de l'eau juste en aval du barrage bien supérieure à celle de l'eau de mer. Une salinité extrêmement élevée entraînera la perte de la flore et de la faune aquatiques du fleuve Gambie, ayant finalement pour résultat une production de l'estuaire considérablement plus faible. L'hypersalinité a aussi été la cause de la destruction des populations de crevettes dans d'autres cours d'eau d'Afrique de l'Ouest (LeReste et Odinetz, 1984). L'atténuation de cette incidence est possible en libérant de l'eau douce pour empêcher l'accumulation d'eau trop salée immédiatement en aval du barrage.

5.1.2. Incidences secondaires (biologiques)

Les incidences primaires examinées ci-dessus entraîneront collectivement 11 incidences secondaires. Ces incidences secondaires sont les changements sur la flore et la faune en réaction aux incidences primaires. A bien des égards, les incidences secondaires sont celles qui seront observées le plus facilement par les habitants du bassin du fleuve. L'atténuation de toutes ces incidences secondaires sauf une découle de l'identification de l'incidence ou des incidences primaire(s) causant l'incidence secondaire, et de l'atténuation de cette incidence ou de ces incidences primaire(s).

5.1.2.1. Modifications des espèces dans les réservoirs. Le passage de certaines zones du fleuve Gambie d'un environnement fluvial à un environnement lacustre entraînera un changement complet de la communauté aquatique. Les eaux calmes des réservoirs favoriseront la prolifération de nombreuses espèces que l'on ne trouve actuellement qu'en petites communautés dans le fleuve. Dans certains cas, les modifications des espèces aquatiques entraîneront des conséquences souhaitables comme une prolifération des poissons. Dans d'autres cas, les conséquences ne seront pas très souhaitables, telles que la prolifération de mauvaises herbes aquatiques. Toutefois, ces changements devraient en général entraîner la formation d'une base alimentaire qui est plus productive que la base alimentaire fluviale existante (voir Chapitres 4 et 6). Cette incidence favorable n'a pas besoin d'être atténuée.

5.1.2.2. Prolifération des algues dans les réservoirs. Les eaux claires et calmes des réservoirs fourniront un habitat beaucoup plus favorable aux petites algues flottantes (phytoplancton) que les eaux courantes et troubles du fleuve. Comme il a été mentionné ci-dessus, ces algues serviront de base à la formation d'une couche alimentaire pélagique qui à son tour stimulera la production secondaire (zooplancton) et la production tertiaire (poisson) dans les réservoirs. Cette incidence favorable n'a pas besoin d'être atténuée.

5.1.2.3. Changements des espèces benthiques. Tout comme le changement d'un environnement fluvial à un environnement lacustre favorise la prolifération de certaines espèces pélagiques, ce changement favorise également certaines espèces benthiques (qui vivent au fond de l'eau). Par exemple, les eaux courantes des rapides sont favorables à beaucoup d'espèces de larves d'éphéméridés, alors que les eaux calmes sont favorables à d'autres animaux comme les mollusques (van Maren, 1985). Par conséquent, les eaux anoxiques du fond des réservoirs ne sont pas des habitats appropriés pour la plupart des organismes benthiques. Dans l'ensemble, cette incidence est considérée comme n'étant ni favorable ni nuisible, mais comme étant une conséquence inéluctable de la mise en valeur du bassin du fleuve. Il n'existe apparemment pas de procédé permettant d'atténuer cette incidence.

5.1.2.4. Prolifération des réserves de poisson dans les réservoirs.

L'augmentation du volume d'eau, de l'habitat disponible et la réorganisation de la base alimentaire dans les réservoirs auront pour résultat définitif une augmentation de la biomasse halieutique et de la production éventuelle de poisson grâce à la pêche dans les réservoirs. La prise de poisson par surface unitaire et la production soutenue de poisson dans les réservoirs seront bien plus élevées que dans la plupart des zones du fleuve existant. Une exception éventuelle est le réservoir de Balingho d'où partira la faune estuarienne. Cette incidence favorable n'a pas besoin d'être atténuée, mais il faut au contraire une politique d'exploitation pour capitaliser cette nouvelle ressource. Une étude détaillée de la gestion des barrages dans le but d'optimiser la production halieutique dans les réservoirs africains est présentée par Bernacsek (1964). Il serait bon de maîtriser totalement ces principes une fois qu'il aura été décidé de construire le barrage et qu'une politique opérationnelle aura été établie.

5.1.2.5. Prolifération de mauvaises herbes aquatiques dans les réservoirs et les canaux d'irrigation. Les eaux calmes des réservoirs et des canaux favoriseront la prolifération des mauvaises herbes aquatiques. Ces mauvaises herbes peuvent finalement rendre un réservoir inutile en couvrant l'eau d'épais amas d'herbes et en bouchant les canaux de navigation et les vannes du barrage. Les mauvaises herbes peuvent aussi servir d'habitat à des vecteurs de maladies humaines indésirables. Diverses méthodes de contrôle ont été essayées dans le monde, mais aucune ne s'est révélée particulièrement fructueuse (Freeman, 1974). La coupe mécanique et la suppression des mauvaises herbes est probablement la mesure la plus efficace et la moins destructive sur le plan écologique pour atténuer cette incidence mais elle n'est réalisable qu'à l'échelle locale. Une autre méthode pour se débarrasser des mauvaises herbes est l'application d'herbicides. Mais même si cette méthode est provisoirement fort efficace, elle a tendance à faire disparaître toutes les plantes aquatiques, y compris les espèces de phytoplancton souhaitables. L'application d'herbicides stimule également une nouvelle prolifération extrêmement rapide des mauvaises herbes aquatiques. Le soutirage des réservoirs contribuera à réduire considérablement les mauvaises herbes aquatiques. L'assèchement annuel des rives des réservoirs affectera une grande quantité des mauvaises herbes.

5.1.2.6. Evapotranspiration. La prolifération des mauvaises herbes aquatiques s'accompagnera d'une réduction de la perte d'eau due à l'évapotranspiration. Cette perte d'eau provient de la consommation d'eau par les mauvaises herbes aquatiques et la décharge d'eau dans l'air provoquée par la respiration. Cette incidence ne peut être atténuée en contrôlant la prolifération des mauvaises herbes, ce qui est un processus plutôt difficile. Même si la coupe des mauvaises herbes peut au moins localement débarrasser un réservoir d'une accumulation excessive de mauvaises herbes, elle stimulera aussi la croissance de mauvaises herbes pour remplacer celles qui auront été coupées. Il est habituellement très difficile d'atténuer cette incidence, qui s'avère le plus souvent un échec; par conséquent, elle devient une conséquence pratiquement inévitable de la mise en valeur du bassin du fleuve.

5.1.2.7. Élimination ou réorganisation des forêts de palétuviers. Le barrage de salinité de Balingho éliminera toutes les forêts de palétuviers au dessus de Balingho (12 pour cent de la totalité), et entraînera des changements d'espèces dans la majorité des forêts en dessous de Balingho (Snedaker, 1985; Twilley, 1985). Ce sera la seule et la plus grande incidence secondaire. Les forêts de palétuviers ont été identifiées comme la principale source de matériaux organiques pour toute la zone estuarienne du fleuve. Les palétuviers fournissent également un habitat précieux à de nombreux organismes estuariens (huîtres, crabes, crevettes, poissons benthiques et jeunes poissons), pour le frai saisonnier ou tout au long de l'année. La disparition de ces forêts aura des effets adverses sur toutes les espèces estuariennes, entraînant éventuellement la disparition d'une grande partie de la pêche estuarienne et côtière. Malheureusement, il n'y a pas de mesure qui permette d'atténuer cette grande incidence si ce n'est de laisser les vannes du barrage ouvertes ou de supprimer le barrage de salinité du programme de mise en valeur envisagé.

5.1.2.8. Voies de migration bloquées. Les barrages construits sur le fleuve Gambie constitueront un obstacle aux voies de migration de plusieurs espèces. Le principal effet de cette incidence proviendra du barrage de salinité qui bouleversera la migration de beaucoup d'espèces estuariennes. En particulier les crevettes pénaéides, les crabes et certains poissons migrent soit entre la région du haut estuaire et l'océan côtier, soit entre la zone du haut estuaire et la zone du bas estuaire (van Maren, 1985; Dorr

et al., 1985). L'on n'a pas trouvé d'espèce migratrice dans les zones d'eau douce du fleuve.

A cause de la configuration du barrage de salinité, cette incidence ne peut pas être atténuée si ce n'est en laissant les vannes du barrage ouvertes ou en supprimant le barrage des plans de mise en valeur. Une échelle de poissons ne servirait à rien dans le cas du barrage parce qu'aucune espèce ne peut supporter le brusque changement d'une salinité de 34 parties pour mille à l'eau douce. Par conséquent, beaucoup d'espèces migratrices de l'estuaire se laisseront emporter par les courants de la marée et ne pourront donc pas utiliser une échelle de poissons. Une solution proposée pour atténuer cette incidence a été la construction d'un second estuaire reliant deux bolons, l'un au-dessus et l'un au-dessous du barrage, par un canal. Ce bolon artificiel réunirait alors tous les éléments essentiels d'un estuaire, y compris un gradient de salinité. Même si cette méthode peut fournir un petit habitat aux espèces migratrices, elle n'en vaut probablement pas la peine à cause des lourdes dépenses et des gros efforts qu'elle demande. La mise au point d'un mélange estuarien ou la construction d'une zone tampon (telle qu'un petit lac de retenue), ne sont pas pratiques non plus, étant donné la grande taille et le fonctionnement complexe d'un tel système. Un estuaire artificiel ne procurerait qu'une petite part de l'habitat estuarien et serait probablement insuffisant pour maintenir la taille actuelle des populations migratrices ou pour les maintenir à un niveau significatif sur les plans biologique et économique.

5.1.2.9. Elimination du plancton marin au-dessus de Balingho. Le barrage de salinité empêchera la circulation en amont de tous les organismes, y compris les espèces entraînées par le courant (comme le plancton) au-dessus de Balingho. L'absence de plancton marin au-dessus de Balingho entraînera la disparition de la base alimentaire estuarienne immédiatement après la fermeture du barrage. Il est impossible d'atténuer cette incidence si ce n'est en laissant les vannes du barrage ouvertes ou en éliminant le barrage du programme de mise en valeur envisagé.

5.1.2.10. Modification de la production halieutique. La zone du bas estuaire du fleuve de Gambie a été identifiée comme la zone la plus riche des cinq zones du fleuve existantes en production halieutique par surface unitaire (Dorr et al., 1985; Jossierand, 1985). Avec l'extension de la zone du bas estuaire de Mootah Point à Balingho (avec le barrage de salinité),

l'on peut s'attendre à une augmentation proportionnelle de la production halieutique dans cette partie du fleuve. Néanmoins, la disparition des palétuviers (Twilley, 1985) et l'élimination des voies migratrices auront un effet adverse sur la pêche estuarienne et côtière. Les stocks de poissons et de crustacés seront réduits par la disparition des palétuviers et la perte d'habitat. En conséquence, une partie de cette extension favorable de l'habitat salé de l'estuaire risque d'être neutralisée par des pertes d'habitat dans les zones en amont et des pertes du gradient eau salée-eau douce, à quoi s'ajoute la perte de voies de migration. Tout avantage net découlant de l'extension de l'habitat nécessitera de grands efforts d'exploitation pour réaliser ce potentiel net.

5.1.2.11. Élimination des invertébrés marins au-dessus de Balingho.

Le barrage de salinité empêchera la prolifération au-dessus de Balingho de toute espèce d'invertébrés attachés. La transformation de l'environnement aquatique d'eau salée en eau douce obligera tous les organismes à rester en aval du barrage. Cette incidence sera principalement observée avec la disparition des huîtres. Mais ce n'est pas une grosse incidence parce que la plupart des communautés d'huîtres existantes en amont de Balingho ont été victimes d'une mortalité massive au cours de ces dernières années. Cette incidence secondaire ne peut être atténuée qu'en éliminant le barrage de salinité du programme de mise en valeur envisagé.

5.1.3. Incidences tertiaires (anthropogéniques)

La cible bénéficiaire du programme de mise en valeur envisagé est la population humaine du bassin. Les habitudes de vie et de travail de la population seront modifiées à la suite des nouvelles ressources apportées par le programme de mise en valeur. Ces changements provoqueront toute une série d'incidences, en particulier des incidences sur l'environnement aquatique résultant des activités humaines, qui sont abordées ci-dessous.

5.1.3.1. Apport de substances toxiques et de nutriments dans le fleuve lié aux activités agricoles.

La mise en valeur du réseau d'irrigation s'accompagnera de pratiques agricoles actives. Ces pratiques comprendront l'utilisation de pesticides, d'herbicides et d'engrais pour les cultures. Finalement ces matériaux aboutiront dans l'eau du fleuve qu'ils pollueront. La pollution due aux engrais causera un problème en stimulant une prolifération excessive d'algues et en accélérant l'eutrophisation. La pollution due aux pesticides et aux herbicides contaminera les poissons et

l'eau, les rendant dangereux pour la consommation. La pollution due aux pesticides est de loin l'incidence la plus sérieuse car seule une petite fraction de substances toxiques appliquées aux cultures (beaucoup moins qu'un pour cent), si elle pénètre dans le fleuve, contaminera de vastes étendues de l'environnement aquatique. Il n'est possible d'atténuer cette incidence sérieuse qu'en contrôlant strictement l'utilisation de ces substances, l'application en étant limitée, sélective et fort surveillée, les substances les plus toxiques étant interdites et le retour de l'eau en provenance des cultures dans le fleuve étant limité. Habituellement ces formes de pollution résistent à toute atténuation, même dans les pays développés d'Europe et d'Amérique du Nord, et sont considérées comme des conséquences inéluctables des programmes de mise en valeur.

5.1.3.2. Augmentation de la production halieutique dans les réservoirs. Les réservoirs fourniront un habitat plus vaste aux poissons et seront une source accrue de production en comparaison de l'environnement fluvial existant. Cette production accrue développera à son tour la pêche et les sources d'alimentation pour les habitants locaux résidant le long du fleuve, en supposant une mise en valeur convenable de l'industrie de la pêche. En outre, la production augmentera dans des endroits où la production alimentaire locale est actuellement peu abondante. Cette incidence très favorable n'a pas besoin d'être atténuée.

5.1.3.3. Préférence pour la consommation de poisson. La production et la consommation accrues de poisson entraînent des changements dans les occupations ainsi que dans les habitudes diététiques de la population habitant près des réservoirs. Ces changements de comportement auront une incidence sur le fleuve dans la mesure où les ressources en poisson des réservoirs seront exploitées pour satisfaire la demande locale en poisson. Mais en même temps, les niveaux d'exploitation devront rester dans les limites d'une production soutenable afin d'assurer que cette ressource est continuellement disponible. Cette incidence très favorable n'a pas besoin d'être atténuée, mais nécessite que l'on détermine le niveau de production qui peut être soutenu par réservoir, et nécessite également une étude d'évaluation des prises approfondie ainsi que des programmes d'exploitation.

5.1.3.4. Extension des cultures. Un objectif important de la mise en valeur est d'étendre la surface des cultures irriguées dans le bassin du fleuve Gambie. Cette extension aura une très forte incidence sur le fleuve Gambie en passant par plusieurs processus dont:

- la destruction et la modification de l'habitat des rives du fleuve;
- la consommation et le détournement d'eau du fleuve dans les cultures;
- la pollution de l'eau due aux substances toxiques, aux engrais et aux sédiments;
- la modification des sections du fleuve.

L'atténuation de tous ces processus est possible en limitant l'étendue des cultures qui sont directement en contact avec le fleuve. En installant des digues ou autres barrières entre le fleuve et les champs irrigués, les échanges de matériaux entre le fleuve et les terres irriguées seront réduits. L'étendue de cette incidence est directement proportionnelle à la quantité de terres irriguées. En plus de l'isolement des terres irriguées du fleuve des pratiques agricoles extrêmement soigneuses atténueront aussi les incidences provenant de l'agriculture le long du fleuve.

5.1.3.5. Activités minières. Les incidences résultant des activités minières peuvent être extrêmement adverses et étendues. L'atténuation des incidences possibles de l'écoulement d'acides et de la contamination de métaux toxiques exige des mesures de sécurité rigoureuses. Les résidus des mines devraient en particulier être placés dans un endroit où ils ne pourraient pas entrer en contact avec l'eau de surface ou les eaux souterraines. Dans le bassin du fleuve Gambie, les résidus devraient être enterrés durant l'hivernage pour empêcher la pollution acide de cet écoulement. L'eau pompée des mines ne devrait jamais pénétrer dans le fleuve ou ses affluents. Au contraire, cette eau acide devrait être déversée dans des bassins de captage séparés. Des mesures spéciales devraient être prises afin d'empêcher les eaux usées acides des mines de pénétrer dans les réservoirs soit par la surface soit par des voies souterraines. La pollution provenant des activités minières s'est avéré un grand problème à la fois pour les pays développés et pour les pays sous-développés. La meilleure façon d'atténuer cette incidence est donc d'obtenir des garanties détaillées sur le contrôle de la pollution de la part des sociétés minières avant de délivrer des permis d'exploitation.

5.1.3.6. Réinstallation de l'homme le long du fleuve et des réservoirs. Les ressources d'eau douce dans les réservoirs attireront un grand nombre de personnes dans de nouvelles communautés le long des rives du fleuve et des réservoirs. Ces communautés contribueront également à la pollution du fleuve sous forme de débris, d'ordure ménagères, de déchets agricoles etc. Ces formes de pollution ne sont généralement pas trop sérieuses à moins que la communauté ne se développe. Plusieurs mesures peuvent être prises pour atténuer ces formes diverses de pollution. Des modes de vie sérieux tels que l'enlèvement des déchets solides et le contrôle du bétail peuvent empêcher une augmentation de débris non désirés et de déchets animaux dans le fleuve; actuellement, certains villages le long du fleuve Gambie semblent appliquer ces modes de vie. Au cas où cette politique ne contrôlerait pas la pollution, il pourrait alors être nécessaire de limiter les installations immédiatement le long du fleuve. Plus un grand nombre d'individus se rapprochent du fleuve et plus ils ont tendance à déverser leurs ordures dans le fleuve. Il peut être finalement nécessaire d'établir une ceinture verte le long du fleuve pour atténuer cette incidence.

5.1.3.7. Changements dans les vecteurs de maladie. Tout en étant un problème sérieux pour l'homme, ce n'est qu'une incidence relativement secondaire sur l'écologie du fleuve. A mesure que des populations viendront s'établir près du fleuve, les vecteurs associés à l'eau augmenteront. Ceci provoquera un léger changement dans la faune aquatique à mesure que les vecteurs de maladie augmenteront en rapport avec les autres espèces aquatiques. Cette incidence pourra probablement "s'atténuer d'elle-même" car à mesure que les vecteurs de maladie deviendront abondants, les gens s'éloigneront du fleuve pour échapper à des conditions de vie intolérables. Le contrôle des vecteurs de maladie grâce à des pesticides ou à des modifications de l'habitat aura une grande incidence sur l'environnement aquatique. Certains pesticides pourraient finalement rendre les ressources aquatiques inutiles. La méthode d'atténuation employée donc pour cette incidence aura un grand effet sur le succès du programme de mise en valeur.

5.1.3.8. Déboisement des rives du fleuve. Dans le bassin du fleuve Gambie, l'homme a utilisé de grandes quantités de bois pour la cuisine et la construction (Checchi, 1981). Il est probable que ce processus se poursuivra avec l'exode des populations vers les réservoirs nouvellement

formés, en particulier vers la Guinée. Le déboisement le long du fleuve peut avoir une incidence adverse sur la qualité de l'eau. L'érosion des sols dénudés permettra aux sédiments de pénétrer dans le fleuve et de mobiliser beaucoup de nutriments. L'atténuation de cette incidence est relativement facile en théorie, mais difficile en pratique. Une ceinture verte devrait être conservée le long des rives du fleuve et des réservoirs. Cette ceinture de forêts stabilisera les rives et contribuera à protéger le fleuve contre les incidences adverses du déboisement, ainsi qu'à fournir un habitat précieux à la vie sauvage. Cette ceinture verte devrait avoir au moins 500 m de large.

5.1.3.9. Orientation des occupations vers la pêche et les activités connexes. L'augmentation de la production halieutique des réservoirs apportera de nouveaux emplois dans l'industrie de la pêche artisanale. L'incidence nette pour le fleuve sera une industrie de la pêche active qui pourrait dépasser en fin de compte la production soutenable des réservoirs. Une surexploitation de l'industrie de la pêche est possible, mais pourrait être atténuée grâce à des techniques de contrôle et d'exploitation appropriées. La plupart de ces techniques sont expliquées dans une étude effectuée par Bernacsek (1984).

5.1.3.10. Nouvelles voies de commerce. La création des réservoirs ajoutera de nombreuses routes à l'intérieur du bassin. De nouvelles routes devront être construites pour remplacer les routes submergées et pour desservir les communautés le long du fleuve et des lacs. Les routes qui longeront le fleuve et les réservoirs seront une source de sédiment et de pollution pour l'eau. Cette pollution consistera en débris automobiles tels que des batteries et des pneus usagés, à quoi s'ajouteront des pertes d'essence et d'huile. L'atténuation de cette forme de pollution peut être réalisée en maintenant les routes éloignées du fleuve et des réservoirs. Les routes ne devraient pas se trouver à moins d'un km du fleuve sauf quand il est nécessaire de desservir des villages et des ports de pêche. Cette politique empêchera beaucoup de formes de pollution de pénétrer dans le fleuve car elle réduira l'accès de l'homme au fleuve.

5.1.3.11. Déplacement de la faune aquatique. Une incidence secondaire pour le fleuve sera le déplacement de grandes espèces de la faune aquatique (comme les hippopotames) avec la réalisation des programmes de mise en oeuvre. Ces grands animaux provoquent des effets locaux secondaires avec le

broutage important, la décharge de nutriments et la modification de l'habitat. Leur déplacement peut être partiellement atténué en empêchant la chasse locale et d'autres formes de harcèlement de la faune par l'homme.

5.2. Choix de mise en valeur

Tout au long de la discussion des incidences (Chapitre 4), cinq scénarios de mise en valeur ont été considérés pour chacune des cinq zones du fleuve. La raison de cette présentation est de fournir à ceux qui doivent faire des plans et prendre des décisions des explications approfondies des conséquences pour les différentes sections du fleuve chaque fois qu'un projet de mise en valeur est évoqué. Mais si l'on considère les ressources aquatiques, un plan de mise en valeur semble avoir un sens parce qu'il permet une mise en valeur maximale tout en préservant la plus grande part de l'environnement aquatique du fleuve. Ce plan consiste à mettre en oeuvre uniquement le projet de Kékréti et évaluer ensuite son succès avant d'entamer les travaux concernant d'autres projets. La construction du barrage de salinité devrait être reportée parce qu'elle entraîne de nombreuses incidences qui ne peuvent pas être atténuées. Ces incidences contribueront considérablement à réduire la qualité de l'environnement estuarien du fleuve Gambie. Finalement, la pêche estuarienne et la pêche côtière pourraient souffrir considérablement de la réorganisation provoquée par le barrage de salinité. Toutefois, les raisons de construire un barrage ne peuvent guère porter uniquement sur les questions d'environnement. En général, les barrages sont construits pour profiter à l'homme au dépens de l'environnement. De nombreux facteurs pourraient compenser fort sérieusement ces points de vue qui découlent uniquement de la prise en considération des ressources aquatiques seules. En fait, ce choix de mise en valeur n'est offert que comme un moyen à grande échelle d'atténuer plusieurs incidences et non pas comme une politique de planification.

Le barrage de Kékréti, en revanche, devrait procurer plus de ressources en eau douce que le barrage de salinité avec considérablement moins d'incidences sur l'environnement. La stratégie logique semble donc être de construire le barrage de Kékréti et de mettre en valeur au maximum ces nouvelles ressources. Si ce projet se révèle une grande réussite, la construction de barrages supplémentaires pourra alors être envisagée. L'on

pourra trouver des réponses à de nombreuses questions sur la faisibilité de la mise en valeur du fleuve Gambie lors du fonctionnement du barrage de Kékréti. L'on devrait trouver une réponse à ces questions avant le bouleversement complet du fleuve de Mako à Banjul, ce qui serait le cas si les barrages de Kékréti et de Balingho étaient construits ensemble. Si l'on élimine le barrage de salinité du programme de mise en valeur immédiate, la suggestion d'un pont sur le fleuve Gambie à Yelitenda devrait être prise sérieusement en considération. Un pont aura des incidences minimales sur l'environnement aquatique.

5.3. Stratégie de contrôle

L'examen de l'atténuation des incidences sur le fleuve présentée ci-dessus a montré que grand nombre des conséquences de la mise en valeur du bassin du fleuve sont soit inévitables soit bénéfiques, et n'ont donc pas besoin d'être atténuées. Mais une politique de croissance contrôlée, judicieusement planifiée, en rapport avec la réalisation du programme de mise en valeur du bassin du fleuve, contribuera considérablement à protéger l'environnement et les ressources aquatiques. L'on estime que l'OMVG devrait insister sur la protection de ces ressources en coordonnant et en contrôlant strictement tout le processus de mise en valeur. Pour atteindre cet objectif, deux tâches doivent être accomplies. En premier lieu, elle doit donner l'approbation, en tant qu'autorité ultime, à la planification du bassin. En second lieu, l'exploitation à outrance des ressources doit être réprimée. Les dirigeants et les citoyens du bassin doivent être informés qu'un développement planifié servira le mieux leurs intérêts. Il faut convaincre des membres influents du gouvernement et des milieux d'affaires que seul un développement planifié est sage et acceptable. Une fois que ces objectifs difficiles seront atteints, des mesures spécifiques pour le contrôle des ressources aquatiques du fleuve Gambie peuvent être prises comme suit.

5.3.1. Politiques de contrôle spécifiques

5.3.1.1. Contrôle de la crue annuelle. De nombreux organismes aquatiques reposent sur la crue annuelle pour réaliser leur cycle de vie. Cette crue procure également un stimulant à la migration de nombreuses espèces. Une crue contrôlée devrait aussi être effectuée chaque année en

permettant un écoulement de 200 à 300 m³/s à Gouloumbou dans le fleuve pendant un ou deux mois. En échange, cette décharge exigera une planification et un contrôle prudents des ressources en eau.

5.3.1.2. Réservoirs de mélange. La stagnation de l'eau au fond des réservoirs entraînera la détérioration de la qualité de l'eau. Si c'est économiquement réalisable, les réservoirs devraient être mélangés pour conserver une eau de grande qualité. Un réservoir entièrement mélangé procure également un beaucoup plus grand volume d'eau pour la prolifération des poissons, et augmente donc la capacité de transport pour les réserves stagnantes. Alors que cette mesure d'atténuation contribue à améliorer considérablement la qualité de l'eau du réservoir, en pratique on y fait rarement appel car le mélange artificiel est d'un coût prohibitif.

5.3.1.3. Contrôle de la sédimentation pendant la construction. Même si des sédiments pénétreront sans aucun doute dans le fleuve pendant la construction, l'on peut éviter une bonne part de sédimentation en appliquant des mesures de confinement efficaces. L'OMVG devrait exiger des compagnies de construction qu'elles prennent toutes les mesures possibles pour contrôler la sédimentation. Il conviendrait que ces garanties fassent parties des contrats pour ce qui concerne le processus de base de construction; un contrôle de l'environnement sera nécessaire pour assurer que ces garanties sont respectées.

5.3.1.4. Contrôle de la prolifération des mauvaises herbes aquatiques. Il est probable que la prolifération des mauvaises herbes aquatiques sera un grand problème même avant que les réservoirs soient pleins. Il importe de faire appel à des consultants pour évaluer ce problème et proposer des méthodes qui pourraient contrôler la prolifération des mauvaises herbes pendant toutes les phases de construction et de fonctionnement. Diverses mesures de contrôle devraient être planifiées. Des techniques de contrôle efficaces devraient être appliquées continuellement une fois que les réservoirs seront pleins.

5.3.1.5. Contrôle des pratiques agricoles. Tous les exploitants des terres irriguées devraient être informés des effets adverses et des dangers éventuels de pratiques agricoles inappropriées. La décharge de substances et d'engrais toxiques doit en particulier être évitée. Les exploitants agricoles qui refusent de protéger l'environnement doivent être remplacés par de nouveaux exploitants.

5.3.1.6. Séparation des terres irriguées du fleuve. Il ne faudrait pas construire de champ irrigué dont les eaux d'évacuation pourraient avoir directement accès au fleuve. Des digues ou des chaussées devraient être construites entre les champs et le fleuve. Ces barrières devraient être destinées à réduire l'apport de sédiments, de matériaux organiques et inorganiques dans le fleuve en provenance des terres irriguées. Des substances telles que des matériaux toxiques continueront à s'échapper des régions irriguées en pénétrant sous terre, mais l'écoulement de surface sera au moins réduit par la barrière physique.

5.3.1.7. Garanties minières. Toutes les activités minières devraient s'accompagner des garanties les plus strictes sur l'environnement. Les activités des sociétés minières devraient être constamment surveillées. Les contrats pour la production minière devraient inclure des normes spécifiques pour la protection de l'environnement. Les compagnies qui refuseraient de se conformer à ces normes devraient être priées de cesser toute activité jusqu'à ce que ces normes soient respectées.

5.3.1.8. Routes et installations maintenues loin du fleuve. La pollution de l'environnement aquatique sera considérablement réduite si l'interaction entre l'homme et l'environnement aquatique est minimisée. La population devrait être découragée de s'installer directement sur les rives du fleuve ou des réservoirs. Par contre, des installations devraient se trouver à quelques kilomètres du fleuve tout en permettant l'accès aux ressources en eau douce. De même, les routes ne devraient pas se trouver au bord de l'eau mais se situer à quelque distance du fleuve.

5.3.1.9. Ceinture verte le long du fleuve. La protection du fleuve et de la faune qui y vit sera considérablement augmentée par une ceinture verte pouvant atteindre un km de large le long des rives du fleuve. Cette ceinture verte serait interrompue à certains endroits spécifiques pour l'irrigation des champs et les ports de pêche. Mais pour la plus grande partie la ceinture verte servirait de tampon entre la pollution engendrée par l'homme et l'environnement aquatique. Elle servirait aussi d'habitat à beaucoup d'espèces de la faune et de la flore.

6. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES

6.1. Résumé

L'évaluation économique de la situation actuelle des ressources aquatiques du fleuve Gambie et des eaux côtières contiguës, ainsi que les perspectives d'avenir, sont abordées sous l'angle de la pêche. On a adopté cette approche car la pêche est le seul aspect de l'environnement aquatique auquel on peut directement attribuer une valeur économique et/ou que l'on peut considérer comme une source d'emploi pour les habitants du bassin. La valeur des pêcheries actuelles est un sujet de préoccupation car ce sont ces pêcheries qui seront les premières touchées par les programmes de mise en valeur envisagés.

La pêche industrielle est une source de revenu uniquement pour la Gambie car elle est inexistante ailleurs dans le Bassin. Le principal intérêt de la pêche est de rapporter des revenus sous forme de droits d'exportation et de redevances sur les prises. La plupart des pêcheries appartiennent à des sociétés étrangères et exportent leur prise vers d'autres pays africains. En 1978, ces redevances ont rapporté plus d'un million de dalasis à l'économie gambienne. Le déclin des prises a fait tomber ce chiffre à 300.000 dalasis en 1982. Les crustacés, par opposition au poisson, sont exportés directement afin de rapporter des devises. La valeur de la prise de crustacés a augmenté au cours des dernières années, passant à plus de 5 millions de dalasis en 1984.

Parallèlement à la pêche industrielle, la pêche artisanale est un facteur essentiel de l'économie locale. La prise artisanale n'a guère de valeur en tant que source de devises car la majeure partie de la prise est consommée localement dans le bassin. Mais les enquêtes menées sur le terrain et les statistiques concernant les prises ont indiqué qu'elle a une grande valeur en tant que source d'emploi et d'alimentation locale. La plupart des prises artisanales proviennent des pêcheries côtières. En 1978, la pêche artisanale côtière représentait plus de 22 millions de dalasis, mais en 1982, elle atteignait à peine plus de 12 millions de dalasis. Le déclin de ces pêcheries n'est pas évident, mais le problème est dû en grande partie aux lacunes du réseau de commercialisation du poisson. Il existe une pêche artisanale dans le bassin du fleuve Gambie, tant en Gambie qu'au

Sénégal. Il a été difficile de déterminer la valeur de cette pêche fluviale car une grande partie de la prise est commercialisée sous forme de troc. On a estimé la valeur de la prise de la pêche artisanale (y compris la pêche estuarienne) à quelque 3 million de dalasis. La pêche artisanale en Gambie et au Sénégal emploie jusqu'à 17.000 personnes, dont certaines ne travaillent que sur une base saisonnière. On n'a pas observé un volume appréciable de pêche artisanale en Guinée.

On ignore à quel niveau les programmes de mise en valeur envisagés pour le fleuve Gambie affecteraient les pêcheries existantes. Sans la construction de barrage sur le fleuve, on peut s'attendre à voir se poursuivre le déclin des prises, pour des raisons différentes selon qu'il s'agit de la pêche côtière ou fluviale. Les pêcheries côtières semblent souffrir de la dégradation progressive du matériel et de l'inefficacité du système de commercialisation. Le transport du poisson frais jusqu'aux marchés a toujours été un problème. Il ne semble pas que le stock de poisson souffre d'une pêche excessive, mais il est impossible de répondre à cette question en l'absence de données valables. Le déclin de la pêche fluviale semble être une conséquence de l'épuisement du stock de poisson provoqué par les prises excessives. La sécheresse récente a inondé un nombre très restreint de plaines inondables, réduisant d'autant le nombre de sites naturels de reproduction. La pression constante exercée sur le poisson du fleuve ne fait qu'accélérer la disparition des espèces fluviales. Mais il est impossible de déterminer le niveau de rendement susceptible d'être atteint sans posséder de données sur le niveau du stock de poisson.

La construction de barrages dans le bassin du fleuve Gambie renforcera d'une manière générale la pêche fluviale. Les réservoirs constitueront un habitat convenable pour le produit de la pêche, qui pourrait être appréciable. Le réservoir de kékréti pourrait produire plus de 1.000 tonnes métriques de poisson par an. Il est très difficile d'estimer les rendements futurs, mais l'indice de prévision le plus accepté, l'indice morphoédaphique (Bernacsek, 1984), prévoit que ce réservoir produira quelque 1.400 tonnes métriques de poisson par an. Les trois réservoirs guinéens ne seront probablement pas aussi productifs que celui de Kékréti en raison du niveau relativement faible de nutriments dissous. L'estimation morphoédaphique pour les trois réservoirs combinés donne 475 tonnes métriques par an. Dans le cas des réservoirs guinéens et de Kékréti, le niveau de production

constituera une augmentation nette par rapport aux maigres prises des pêcheries fluviales actuelles. Il convient de soustraire cependant de ce volume potentiel de pêche le coût de mise en valeur et de gestion des nouvelles ressources. Partant, les estimations économiques des nouvelles pêcheries couvrent un très large éventail puisqu'on ignore pratiquement les coûts de gestion et de mise en valeur. En outre, les estimations de rendement sont directement influencées par le volume d'eau et le rythme de soutirage dans chaque réservoir, lequel pourrait varier de plus de 30 pour cent d'une année à l'autre.

Les estimations concernant le rendement du réservoir de Balingho sont moins précises que les quatre autres réservoirs. Dans ce cas, il convient d'intégrer dans les calculs économiques un certain volume de perte pour la pêche estuarienne. Ces pertes seront extrêmement difficiles à prévoir car la perturbation introduite par le barrage de salinité dans l'environnement estuarien fait l'objet de discussions. La production halieutique du réservoir de Balingho devrait se chiffrer à 5.600 tonnes métriques en se fondant sur l'indice morphoédaphique. La valeur de ce poisson pourrait atteindre 8,5 millions de dalasis. Mais il importe de déduire de ce chiffre des pertes de 5,5 à 8,5 millions de dalasis entraînées par la dégradation éventuelle de la réserve de poisson côtière et estuarienne. La production nette du réservoir de Balingho pourrait donc être ramenée à zéro si les pertes sont élevées. Dans ce cas, et si la production n'est pas aussi abondante que prévu, le barrage de salinité de Balingho pourrait grever l'économie de la pêche dans le bassin. En revanche, si la production est importante et les pertes légères, le réservoir de Balingho constituerait un atout. La première conclusion qui s'impose est que ce barrage présente un haut degré d'incertitude quant à l'avenir de la pêche dans le bassin du fleuve Gambie.

6.2. Situation économique actuelle des pêches

Le présent chapitre résume les informations disponibles sur la valeur économique actuelle des pêches dans le fleuve Gambie et propose des prévisions quant au rendement économique des projets de développement sur le fleuve. On n'a pas réalisé d'aperçu général de l'économie des pêcheries existantes dans la région. Cette réalisation était en effet rendue

difficile par le fait que les données sur les prises, l'effort de pêche et la valeur des pêches tant artisanales qu'industrielles sont incomplètes. Bien que les données soient enregistrées depuis le milieu des années 70, les résultats ne sont cohérents pour aucun secteur de la pêche et aucune année. Un problème majeur est le caractère limité des ressources dont disposent les Etats pour mener des enquêtes sur les pêches et analyser les données. Certaines de ces limites sont d'ordre technique, mais la plupart d'entre elles relèvent de l'insuffisance des ressources financières et de main-d'œuvre.

Ce chapitre contient des renseignements sur la pêche industrielle existante, avec un état récapitulatif de ses prises récentes et de leur valeur pour l'économie locale, ainsi qu'un examen de ses perspectives d'expansion. On n'a pas tenté de prévoir les rendements soutenus, parce que les données à long terme nécessaires n'étaient pas disponibles. Cette discussion ne traite pas du Sénégal ni de la Guinée parce qu'il n'existe pas de pêcheries industrielles sur le fleuve Gambie dans ces pays.

Les informations utilisées dans ce chapitre ont été tirées de trois sources générales: Etude de l'Université du Michigan sur la mise en valeur du bassin du fleuve Gambie (EMVBFG); données tirées des publications du Département des pêches (Gambie); et Josserand (1985). Cette section comporte deux parties principales: une analyse des pêches existantes et de leur fonctionnement économique, et une prévision des effets qu'auront les activités de développement sur ces pêches. Dans les deux cas, les profits qu'en tire l'économie locale proviennent soit (i) directement par la vente des produits de la pêche et les taxes sur la pêche (droits), les prises et le revenu; soit (ii) indirectement par les emplois dans le secteur de la pêche et les secteurs connexes. Dans les parties en amont du bassin (amont du cours d'eau douce et zones proches de la source), les produits de la pêche sont presque toujours consommés directement par les pêcheurs et leur famille, ou échangés contre d'autres biens et services.

6.2.1. Secteur industriel

6.2.1.1. Pêche au poisson. Les données obtenues auprès du Département des pêches de Gambie et l'évaluation des pêches faite par Josserand (1985)

montrent que le tonnage total de poisson débarqué en Gambie était le suivant (en tonnes) (tiré du Tableau 3.10.):

<u>Année</u>	<u>Tonnage total débarqué</u>
1978	32.085
1979	21.374
1980	24.496
1981	22.102
1982	17.081

Sur ces totaux, les prises de la pêche industrielle représentaient chaque année respectivement 62%, 48%, 44%, 4% et 44%.

Les données de 1981 et 1982 concernant les prises et leur valeur économique sont considérées comme assez représentatives de l'activité halieutique du secteur industriel, mais ce sont les seules années pour lesquelles les données sur les prises sont relativement complètes. Le volume total des prises industrielles était de 9.624 tonnes en 1981, et est passé à 7.377 tonnes en 1982 (Tableau 6.1.). En 1981, l'Etat de Gambie a reçu un total de 448.732 dalasis en droits de pêche, et 60.000 dalasis en taxes à l'exportation (Josserand, 1985). Les recettes totales fournies à la Gambie en 1981 par les droits de pêche et les taxes approchaient 500.000 dalasis. On ne connaît pas la valeur à l'exportation des prises industrielles de 1981 mais Josserand (1985) estime cette valeur pour l'année 1982 à plus de 3 millions de dalasis. En extrapolant cette estimation, la valeur à l'exportation des prises de 1981 serait de 4 millions de dalasis. Etant donné que ces prises ont été vendues par des compagnies étrangères sur des marchés extérieurs à la Gambie, seule une petite partie de leur valeur est revenue à l'économie locale au-delà des droits de pêche et des taxes à l'exportation, versés pour pouvoir pêcher et exporter ce poisson. Si la valeur à l'exportation des prises de poisson de 1981 était d'environ 4 millions de dalasis, et que l'Etat de Gambie a reçu 500.000 dalasis en droits et taxes, cela signifie que la Gambie a reçu environ 12% de la valeur du poisson pêché dans ses eaux cette année-là par le secteur industriel.

Si l'on utilise le rapport de 1981 de 52 dalasis de droits et taxes reçus par tonne de poisson pêché, la valeur des prises industrielles pour l'économie locale peut être estimée approximativement de la façon suivante:

TABLEAU 6.1						
PRISES ARTISANALES ET INDUSTRIELLES DE POISSON (en tonnes) ENREGISTREES EN GAMBIE DE 1978 A 1983						
Secteur de pêche	Année					
	1978	1979	1980	1981	1982	1983 ^a
Artisanal						
Maritime	11.199	8.284	10.255	11.055	6.196	2.001
Continental	n.d.	2.795	3.489	1.423	3.508	386
Industriel ^b	20.086	10.295	10.752	9.624	7.377	3.734
Total	32.085	21.374	24.496	22.102	17.081	6.501
<p>SOURCE: Données fournies par le Département des pêches, Ministère des ressources hydrauliques et de l'environnement, Gambie, et résumées par Josserand, 1985.</p> <p>NB: a) Pour janvier-juin 1983 seulement.</p> <p>b) Les données sur les prises industrielles sont incomplètes pour 1980, 1981 et 1983; les prises annuelles sont donc sous-estimées par rapport aux autres années.</p>						
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.						

<u>Année</u>	<u>Valeur estimée</u>
1978	1.044.472 dalasis
1979	535.340 dalasis
1980	559.104 dalasis
1981	500.448 dalasis
1982	383.604 dalasis
1983 (projection)	388.336 dalasis

Bien que ce ne soit que des estimations, la fourchette de 0,3 à 1,0 million de dalasis par an est probablement juste; on n'attend pas de hausses ou de baisses de l'ordre de 1 à 10. Ces chiffres montrent que la valeur des prises industrielles (et les revenus que la Gambie tire des droits et taxes sur ces prises) a baissé en 1983 pour atteindre un tiers du rendement de la pêche en 1978. Ces estimations font apparaître que la diminution du volume de la pêche et de sa valeur entre 1978 et 1983 est un problème significatif dans le secteur industriel de la pêche. On pense que ce problème vient plus d'une baisse de l'effort de pêche résultant du manque de ressources économiques pour soutenir la pêche, que d'un épuisement des stocks de poisson.

On n'a pas pu obtenir d'estimations récentes sur les stocks côtiers de poissons marins ni sur les rendements soutenus. Toutefois, à la fin des années 70, le rendement soutenu maximal (Maximum Sustained Yield, MSY) dans les eaux côtières proches de la Gambie était estimé à 4-8.000 tonnes pour les espèces démersales et à 30-50.000 tonnes pour les espèces pélagiques (Scheffers et Conand, 1976; King, 1979). Même si ces estimations sont élevées et si les stocks ont baissé depuis cette date (aucune preuve biologique ne fait état d'une telle baisse), ces chiffres suggèrent que les stocks d'espèces démersales et pélagiques pourraient supporter une augmentation considérable de l'effort de pêche et des prises.

Préalablement à l'accroissement des investissements et de l'exploitation, il conviendrait d'effectuer une étude en vue d'établir le rendement soutenu maximal (MSY) pour les espèces de poissons côtiers exploitées, tant démersales que pélagiques. Cette étude devrait en outre évaluer le rapport entre investissement et rendement économiques, et établir le rendement économique maximal (Maximum Economic Yield, MEY) possible pour ces pêches. Connaissant les valeurs MSY et MEY, le secteur industriel de la pêche côtière serait guidé dans ses efforts pour développer les pêches et

accroître le rendement économique étant donné les contraintes biologiques et économiques du système.

S'il est possible d'accroître la pression halieutique et les prises annuelles dans les eaux côtières de Gambie et de ses environs, il est d'autre part nécessaire d'améliorer les engins et les méthodes de pêche, la manutention, les techniques de traitement et la commercialisation du poisson. Une grande partie des engins utilisés actuellement sont vieux ou ont besoin de réparations, ce qui réduit l'efficacité et le rendement par unité d'effort de pêche. Une partie significative des prises est perdue par endommagement, écrasement ou par des dégâts subis avant ou pendant le traitement du poisson. Les pertes de poisson subies par le secteur artisanal avant la commercialisation sont estimées à 30%. Actuellement, le plus gros problème du secteur halieutique tant artisanal qu'industriel, en Gambie, réside dans les pertes subies pendant le transport vers les lieux de traitement ou les marchés, dues aux déficiences des routes et des réseaux de commercialisation. Depuis 1978, le total des prises des pêches industrielles et artisanales est passé de 32.000 tonnes à 15.000 tonnes. Josserand (1985) attribue une grande partie de cette baisse aux problèmes de manutention, de distribution et de commercialisation des produits de la pêche.

6.2.1.2. Pêche aux mollusques et crustacés. Les produits pêchés dans le fleuve Gambie et dans les eaux côtières adjacentes comprennent des mollusques (huîtres, coques, le grand gastéropode marin de l'espèce Symbium, localement appelé "yeat" et seiches) et des crustacés (crabes, homards et crevettes). La majeure partie des huîtres, clams, yeats et seiches est récoltée par les pêcheurs artisanaux et consommée localement. L'exportation de ces produits est négligeable. Les homards et les crabes sont pêchés par des pêcheurs artisanaux, et une partie des homards est vendue à la National Partnership Enterprises (NPE) pour le traitement et l'exportation. Mais la taille et la valeur économique de la pêche industrielle au homard sont petites par rapport aux autres pêches d'exportation (poisson et crevettes). Les crevettes sont de loin les produits les plus importants pour le secteur de la pêche aux crustacés tant artisanal qu'industriel, parce qu'elles sont pêchées par des artisans travaillant sous contrat avec la NPE.

Les huîtres (Crassostrea gasar) et les coques (Anadara senilis) sont récoltées par les artisans-pêcheurs et ne sont vendues que sur les marchés

locaux, puisqu'il n'existe pas de pêche industrielle de ces produits. Les yeats sont parfois pris dans les chaluts des bateaux industriels pêchant des espèces démersales. Ils sont achetés par les artisans-pêcheurs qui rencontrent les chalutiers en mer, et rapportés dans les villages de pêche côtiers pour être distribués et vendus localement.

On trouve des jeunes seiches (*Sepia officinalis bierreda*) dans l'estuaire du fleuve Gambie, mais elles sont trop petites pour avoir une valeur commerciale. Les seiches adultes vivent dans les eaux profondes du large, mais migrent vers le littoral de décembre à mai pour frayer. Pendant leur présence sur le littoral, les seiches sont ramassées au chalut et vendues à une entreprise de traitement industriel (NPE) de Banjul. On ne dispose pas des chiffres exacts, mais le volume d'exportation annuel et la valeur des seiches sont très inférieurs à 60 tonnes et 123.322 dalasis (Josserand, 1985).

Une quantité d'environ 0,2 tonne de homards a été exportée par la NPE entre juillet 1982 et juin 1983, et elle a été évaluée à 1.320 dalasis. Ces crustacés sont pêchés par des artisans et vendus à la NPE. Josserand (1985) affirme que le rendement soutenu maximal de ces crustacés dans les eaux côtières proches du fleuve Gambie devrait s'élever à au moins 1.000 tonnes. Etant donné la valeur citée ci-dessus pour les prises, de 6.600 dalasis par tonne, des prises annuelles de 1.000 tonnes seraient évaluées à 6.600.000 dalasis. Indépendamment de l'imprécision de ces chiffres, il est évident qu'il existe un potentiel considérable pour développer la pêche au homard (et au crabe), moyennant des investissements en matériel, main-d'oeuvre et efforts de commercialisation.

Les seuls crabes de l'estuaire de la Gambie qui atteignent une taille suffisante pour avoir une valeur commerciale potentielle sont les crabes bleus (espèces *Callinectes*). Il y a aux Etats-Unis un secteur commercial important de pêche au crabe bleu, mais ce type de crabe est sous-exploité en Afrique de l'Ouest. Actuellement, seul le secteur artisanal exploite le crabe bleu dans les environs du fleuve Gambie, et la majeure partie des prises est consommée par les pêcheurs et leur famille. On ne dispose pas d'estimations sur la valeur de ces prises. Il serait utile d'explorer les possibilités de développement et d'exportation du crabe bleu dans le cadre de la pêche industrielle.

L'activité halieutique industrielle la plus importante pour ce type de pêche est la pêche à la crevette. Bien qu'il existe plusieurs espèces de crevettes pêchées dans l'océan, les prises du fleuve Gambie se limitent à l'estuaire et se composent presque exclusivement de crevettes roses Penaeus duorarum. Van Maren (1985) présente des informations sur la distribution et la biologie des crevettes roses dans le fleuve Gambie et les eaux côtières adjacentes. Des données sur les prises de crevettes et leur valeur sont présentées par Josserand (1985) et Van Maren (1985).

Les crevettes sont capturées dans l'estuaire du fleuve Gambie par les artisans-pêcheurs au moyen d'étentes. Les prises sont vendues à la NPF, qui traite et congèle les crevettes dans son usine de Banjul. La majeure partie des crevettes congelées est transportée par camions réfrigérants à Dakar, au Sénégal, pour être ensuite exportée vers l'Europe. Josserand (1985) indique qu'environ 227 tonnes de crevettes ont été traitées par la NPE entre juillet 1982 et juin 1983, et situe la valeur commerciale de ces prises à 2-3 millions de dalasis. Les prises annuelles sont passées à 412 tonnes pour la période allant de juillet 1983 à juin 1984 (Van Maren, 1985). En outre, une proportion non chiffrée mais restreinte de la production de crevettes de la NPE est vendue localement. On ne dispose pas d'estimations sur le rendement soutenu maximal des crevettes dans le fleuve Gambie lui-même, mais les stocks océaniques sont probablement sous-exploités à l'heure actuelle. Il conviendrait d'estimer les stocks de crevettes, tant océaniques que fluviaux, ainsi que les rendements soutenus, afin de pouvoir établir des quotas annuels de prises pour exploiter plus efficacement cette ressource de valeur. L'incidence potentiellement grave du développement du bassin sur la biologie, la distribution et l'abondance des stocks estuariens est examinée en détail par Van Maren (1985) et a été résumée au Chapitre 4. Les implications économiques de cette incidence sont étudiées plus loin dans cette section.

6.2.2. Secteur artisanal

Comme pour le secteur industriel, les pêches artisanales se répartissent en pêche au poisson et pêche aux crustacés et mollusques. Dans certains cas, la pêche artisanale est étroitement liée au secteur industriel, comme dans le cas de la pêche à la crevette.

6.2.2.1. Pêche au poisson. La pêche artisanale au poisson dans le fleuve Gambie peut se subdiviser en trois catégories: pêche marine côtière près de l'embouchure du fleuve; pêche dans l'estuaire; et pêche en eau douce. Le Département des pêches de Gambie recueille depuis la fin des années 70 des données sur l'évaluation des prises. Depuis 1980, le département effectue des enquêtes mensuelles sur les prises et une enquête globale annuelle, sur une base non régulière, pour évaluer les prises, les propriétaires des engins utilisés et la nationalité des pêcheurs opérant dans les eaux gambiennes. Il ne compile pas de données sur l'effort total de pêche ni sur les différents types d'engins. Au début de 1982, le Service des eaux et forêts (Dakar, Sénégal) a mis en place une petite enquête sur les prises dans le cours supérieur du fleuve au Sénégal, mais il aurait fallu plus de données à long terme pour les utiliser dans cette analyse. On n'a pas trouvé de données supplémentaires sur les prises, l'effort de pêche et la valeur économique du poisson pêché dans le fleuve Gambie. Une description détaillée des programmes d'évaluation des prises dans le bassin est présentée par Dorr et al. (1983). Jossierand (1985) a effectué une analyse économique des pêches dans le fleuve Gambie et a discuté les conséquences de l'aménagement du bassin sur les pêches, tant artisanales qu'industrielles.

La plus grande partie des prises et de la valeur économique des pêches artisanales du bassin du fleuve Gambie provient du secteur côtier marin. Les prises dans ce secteur ont varié entre 6 et 13.000 tonnes par an de 1978 à 1982 (Tableau 6.1.). Ces prises constituaient 64 à 89% du total des prises artisanales pendant ces années. En supposant un prix moyen sur le marché de 2,0 dalasis/kg en 1984, la valeur économique de ces prises a varié de 22 millions de dalasis en 1978 à 12 millions de dalasis en 1982. Le poisson pêché étant plutôt vendu sur les marchés locaux qu'exporté, le revenu économique fourni par le poisson pêché dans les eaux côtières par les artisans et vendu sur place est plus de dix fois supérieur à celui que fournissent les prises industrielles. En 1982, la valeur économique de la pêche côtière artisanale pour l'économie locale était 30 fois supérieure à celle de la pêche industrielle, et 5 à 6 fois supérieure à celle de la pêche fluviale artisanale. Etant donné la baisse récente des prises côtières, la valeur annuelle actuelle de ces prises est probablement d'une dizaine de millions de dalasis.

Certains signes indirects suggèrent que les stocks de poissons actuellement exploités par la pêche côtière artisanale pourraient supporter une augmentation considérable de la pression halieutique et du rendement annuel, bien que la valeur exacte de ces augmentations reste à déterminer. En outre, l'amélioration de la manutention, du traitement et des techniques de commercialisation du poisson pourrait accroître de façon significative les revenus économiques des prises et des investissements à leur niveau actuel. Ces améliorations consisteraient à réduire les dégâts subis par les poissons, à transporter les produits plus rapidement et plus efficacement sur les marchés existants et à développer de nouveaux marchés.

La plupart des stocks actuellement exploités par la pêche côtière artisanale seront relativement peu affectés par les barrages proposés, à l'exception possible de Ethmalosa fimbriata, localement appelé "bonga". C'est la réduction potentielle des stocks de Ethmalosa fimbriata qui poserait le problème le plus immédiat et le plus grave à la pêche côtière artisanale à la suite des activités de développement du bassin. Dorr et al. (1985) ont examiné la dépendance du bonga par rapport aux conditions estuariennes en ce qui concerne le frai, la croissance des jeunes poissons et la nourriture. Les implications économiques de leurs conclusions sont examinées plus loin dans cette section.

L'une des contributions importantes de la pêche côtière artisanale à l'économie locale s'effectue par l'intermédiaire de l'emploi. Josserand (1985) a estimé que 2.600 à 3.000 pêcheurs travaillaient dans ce secteur, et que 10 à 15.000 emplois auxiliaires supplémentaires étaient créés par les activités de pêche dans ce secteur.

Les pêches fluviales artisanales se répartissent en deux secteurs: pêche dans l'estuaire et pêche en eau douce. Les données sur l'évaluation des prises de ces secteurs en Gambie apparaissent dans les bases de données du Département des pêches pour les divisions Lower River (estuaire) et Upper River (eau douce). La comparaison des données sur les prises et le rendement de ces secteurs pour janvier-décembre 1980 et juillet 1982-juin 1983 (Tableau 6.2.) révèle que les prises estuariennes (division Lower River) sont passées de 2.406 tonnes à 605 tonnes pendant la période séparant ces deux séries de dates. Toutefois, les prises en eau douce (division Upper River) de la Gambie sont restées presque constantes à environ 630 tonnes par an. Si l'on attribue à ces prises une valeur moyenne de 2,0

TABLEAU 6.2

ESTIMATION DES PRISES ANNUELLES DE LA PECHE ARTISANALE
CONTINENTALE (en tonnes) ET DU RENDEMENT (kg/ha/an)
DANS LE COURS INFÉRIEUR ET SUPÉRIEUR DU FLEUVE GAMBIE,
AFRIQUE DE L'OUEST, EN 1980 ET 1982-83^a

Division	jan-dec 1980 ^b		juil 1982-juin 1983 ^c	
	Prises	Rendement	Prises	Rendement
Cours inférieur (de Banjul à Kau-ur)	2.406	37,59	605	9,45
Cours supérieur (de Kau-ur à Koina)	631	126,20	637	127,40
Total	3.037	42,77	1,242	17,49

NB: a) Les surfaces sont estimées comme suit: de Banjul à Deer Islands = 64.000 ha; de Deer Islands à Gouloumbou, au Sénégal = 5.000 ha; surface totale du fleuve en Gambie = 71.000 ha.

b) Estimation des prises d'après Lesack, 1982.

c) Estimation des prises d'après Josserand, 1984.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

dalasis/kg pour le poisson d'estuaire et de 1,5 dalasis/kg pour le poisson d'eau douce, on évalue le total des prises fluviales artisanales à 5.758.500 dalasis pour 1980 et 2.165.500 dalasis pour la période 1982-83.

Deux facteurs pourraient expliquer la stabilité de la pêche en eau douce face à la diminution des prises en estuaire. Premièrement, bien que les deux séries de données sur les prises (Tableau 6.2) aient été recueillies sur une période de douze mois, les périodes d'enregistrement commençaient et finissaient à des points différents du régime hydrologique annuel. Dorr et al. (1985) ont constaté que plusieurs espèces de poisson, dont certaines sont exploitées par la pêche artisanale (par exemple sardines, bongas et silures), semblent sortir de l'estuaire et y rentrer en fonction du cycle de crue annuel. Une partie de la différence entre les prises estuariennes artisanales de 1980 et 1982-83 peut être attribuée à des différences saisonnières dans l'abondance, la répartition et les prises de poisson, plutôt qu'à une baisse globale de l'abondance du poisson.

Le second facteur est le fait que depuis 1980, date à laquelle on a établi une frontière entre les divisions Cours supérieur et Cours inférieur à la limite entre l'eau douce et l'eau de l'estuaire près de Kau-ur, la sécheresse et la réduction du courant ont permis à l'eau salée d'avancer presque jusqu'à Kuntaur, à 61 km en amont de Kau-ur. L'estuaire supérieur est une région de forte productivité, par rapport à la partie du fleuve contenant de l'eau douce, et l'effet du transfert de cette région de forte productivité serait de rééquilibrer la distribution proportionnelle des prises entre les deux divisions. Le résultat serait une réduction apparente des prises dans la division estuarienne et le maintien des prises dans la division d'eau douce, comme cela a été observé. Il serait nécessaire de comparer de façon détaillée les données mensuelles sur les prises et l'effort de pêche pour expliquer la diminution apparente des prises artisanales dans l'estuaire, face au maintien des prises en eau douce. Quoiqu'il en soit, il est certain que les prises annuelles et le rendement économique de la pêche gambienne en eau douce ont diminué au cours des cinq dernières années.

Les données ci-dessus montrent que la valeur économique actuelle de la pêche estuarienne artisanale semble avoir baissé pour atteindre environ 1 million de dalasis par an. La valeur de la pêche gambienne en eau douce est aussi estimée à environ 1 million de dalasis par an. La valeur totale des

prises artisanales de poisson en 1982 pour l'économie gambienne s'élevait à environ 14,4 millions de dalasis. Sur ce total, la pêche côtière artisanale représentait environ 12 millions de dalasis, la pêche fluviale environ 2 millions, et la pêche industrielle environ 0,38 million de dalasis. En 1982, les prises de chaque secteur s'élevaient respectivement à 6.196 tonnes, 3.508 tonnes, et 7.377 tonnes (voir Tableau 6.1). Le rendement par kilogramme de poisson était respectivement de 2,0 dalasis, 1,6 dalasis et 0,05 dalasi/kg. Ces données montrent qu'en termes de biomasse de poisson retirée du système, le rendement économique pour l'économie locale est le plus élevé pour la pêche artisanale estuarienne, suivie de près par la pêche artisanale en eau douce, la pêche industrielle venant loin derrière. En revanche, l'investissement économique local dans les engins de pêche, les fournitures et les services du secteur industriel est minimal parce que la propriété et le fonctionnement des bateaux sont assurés par des compagnies étrangères. La somme approximative de 500.000 dalasis obtenue chaque année par l'économie locale à partir de droits de pêche et de taxes sur le secteur industriel est donc relativement exempte de coûts d'investissement et représente presque un bénéfice pur pour l'économie locale. Parallèlement, si le secteur artisanal doit consacrer des investissements économiques aux engins, aux fournitures et aux services, ces pêches sont techniquement simples et rudimentaires dans leur conception et leur taille. Le coût annuel par tonne de poisson pêchée par le secteur artisanal n'est pas connu mais est certainement faible; le rapport bénéfice/coût pourrait dépasser 10:1. Les investissements en matériel et fournitures qu'il faut faire pour s'établir dans la profession sont relativement élevés, et réduiraient plutôt le rapport bénéfice/coût, mais la majeure partie de la pêche artisanale est pratiquée par des familles bien établies ou des groupes structurés, et les débutants dans ce secteur sont peu nombreux, en particulier dans les conditions actuelles de dépression économique, de sécheresse et de réduction de la production fluviale de poisson. Les coûts actuels d'investissement entraînés par l'acquisition de matériel sont donc minimaux dans le secteur artisanal. En conséquence, le rapport bénéfice/coût dans ce secteur de la pêche est proche de son maximum.

Comme les pêches côtières, les pêches artisanales fluviales contribuent à l'emploi local. D'après des statistiques générales de 1983 (données non publiées, Département des pêches, Banjul, Gambie), environ 1.500 emplois sont

associés aux pêches de l'estuaire (division Lower River), et environ 300 aux pêches fluviales en eau douce (division Upper River).

La situation du Sénégal est très différente de celle de la Gambie. On ne dispose pas de statistiques sur les prises dans la partie sénégalaise du fleuve avant 1984. Mais lors d'études sur le terrain en février 1984, Jossierand (1985) a remarqué que presque tous les poissons que l'on trouvait sur les marchés de Tambacounda et Vélingara étaient d'origine marine. Ces observations suggèrent que la plupart des poissons pêchés dans la partie occidentale du fleuve sont vendus ou échangés et consommés localement. Les prises artisanales dans cette partie du fleuve semblent peu nombreuses et peu importantes économiquement à l'extérieur de la communauté de pêcheurs. Le fleuve pénètre dans le parc national au sud-est du Sénégal, et entre ce point et la frontière guinéenne, la pêche se concentre autour de Mako et Kédougou. Sur la base d'observations personnelles et de l'analyse de données limitées concernant les six premiers mois de 1984, Jossierand (1985) estime que la quantité quotidienne de poisson pêché localement et vendu sur le marché de Kédougou n'excède probablement pas 25 kg. L'extrapolation de cette vente quotidienne sur le marché pour obtenir les prises annuelles laisse penser qu'un maximum de 9 tonnes de poisson est pêché et vendu dans cette région. A supposer que les régions situées à l'extérieur de Kédougou ont un rendement légèrement inférieur, le rendement annuel total de la partie sénégalaise du fleuve comprise entre le parc national et la Guinée et en vente sur les marchés locaux était probablement inférieur à 15 tonnes. Sur la base de la valeur marchande de février 1984, de 300 à 400 FCFA/kg (Jossierand, 1985), la valeur de ces prises était comprise entre 2,7 et 3,7 millions de FCFA. Une partie non quantifiée mais certainement significative des prises totales est probablement consommée sans jamais passer par les marchés.

Bien que l'on ait observé des artisans-pêcheurs sur la partie guinéenne du fleuve, on n'a pas trouvé de données sur les prises ou la commercialisation du poisson. Il n'est actuellement pas possible d'estimer de façon précise les prises et la valeur économique du poisson pêché dans le fleuve Gambie en Guinée. Cependant, la valeur marchande totale du poisson capturé dans la partie guinéenne du fleuve (à l'exclusion des affluents) est probablement inférieure à celle du poisson pêché et commercialisé dans la

partie sénégalaise du fleuve, sachant que le fleuve est moins large et que les populations humaines ne sont pas plus grandes qu'à Kédougou, au Sénégal.

6.2.2.2. Pêche aux mollusques et crustacés. Les mollusques et crustacés pêchés par les artisans sont les huîtres, les coques, les yeats (espèces Symbium), les seiches, les homards, les crabes et les crevettes. La majeure partie des prises de homards, crevettes et seiches est vendue à des entreprises industrielles de traitement pour l'exportation. Les pêcheurs et l'économie locale bénéficient de l'emploi et de la vente de ces prises, et obtiennent ainsi une partie de la valeur totale des prises. Cependant, il est prudent d'estimer que les profits ainsi acquis par l'économie locale sont largement inférieurs à la moitié de la valeur à l'exportation. Josserand (1985) estimait l'exportation industrielle de crustacés, à l'exclusion des crevettes, à 60,7 tonnes pour la période allant de juillet 1982 à juin 1983, pour une valeur de 124.642 dalasis. Les données et estimations ci-dessus permettent de penser que 62.000 dalasis sont peut-être revenus à l'économie locale en 1982-83 grâce à la vente à l'exportation de crustacés et mollusques pêchés par les artisans. Une quantité supplémentaire mais inconnue de homards, crevettes et seiches est vendue sur les marchés locaux plutôt qu'exportée. Il est vraisemblable que le bénéfice qu'en tire l'économie locale est négligeable par rapport au total combiné des autres secteurs de la pêche artisanale (c'est-à-dire la valeur économique combinée des poissons et autres prises de crustacés et mollusques).

Les autres crustacés et mollusques pêchés et commercialisés localement par la pêche artisanale comprennent les huîtres, les homards, les coques, les yeats et les crabes. Parmi ces produits, ce sont probablement les huîtres et les yeats qui contribuent le plus à l'économie locale. Josserand (1985) suggère que 150 tonnes d'huîtres sont peut-être récoltées et commercialisées localement chaque année. La plupart de ces huîtres sont fumées, mais certaines sont vendues fraîches. En 1983-84, les marchands locaux vendaient les huîtres à environ 6 dalasis/kg. A ce taux, la valeur totale des huîtres récoltées approchait 900.000 dalasis par an. Avec près d'un million de dalasis par an, l'impact de la pêche aux huîtres sur l'économie locale doit être à la même échelle que celui de la pêche industrielle au poisson et de la pêche fluviale. Si les calculs précédents sur la pêche artisanale aux crevettes et ses caractéristiques économiques

sont exacts (2 millions de dalasis au maximum par an), la contribution à l'économie locale de la pêche artisanale aux huîtres est donc égale ou supérieure à 50% de celle de la pêche aux crevettes. Etant donné que les huîtres ont besoin d'eau salée et d'un substrat (racines de palétuviers) pour être économiquement viables, ce type de pêche serait éliminé de toutes les zones en amont du barrage de Balingho et de toutes les eaux très salines en aval. Bien que l'on manque de données pour appuyer cette affirmation, la majeure partie (>85%) de la récolte actuelle d'huîtres provient probablement des eaux situées en aval de Balingho. Si ces hypothèses sont correctes, la pêche aux huîtres subirait une réduction d'au moins 15% (150.000 dalasis) dans la production annuelle à la suite des pertes susmentionnées, avec un risque de perte encore plus importante en aval du fait de la construction du barrage de Balingho. Les pêcheries d'huîtres existant dans les parties non affectées de l'estuaire pourraient être développées pour compenser les pertes en amont.

Les coques et les seiches sont pêchées par les artisans-pêcheurs et vendues sur les marchés locaux. La valeur économique de ces prises n'est pas chiffrée, mais elle est probablement restreinte par rapport à la contribution à l'économie locale des autres crustacés, mollusques et poissons. On ne sait pas dans quelle mesure les pêches et les marchés de ces produits pourraient être développés pour compenser les pertes des autres secteurs artisanaux de la pêche, mais il conviendrait de l'évaluer.

Drammeh (1982) a noté, dans un résumé de statistiques sur les prises enregistrées par le Département des pêches de Gambie, qu'environ 96 tonnes de yeats (le gastéropode marin de l'espèce Symbium) ont été débarquées par les pêches artisanales côtières en 1981. Ces gastéropodes marins sont capturés dans les chaluts des bateaux pêchant des poissons démersaux, et vendus aux artisans-pêcheurs qui rencontrent les chalutiers en mer, et enfin vendus sur les marchés locaux. A supposer que le poids net de ces prises soit d'environ la moitié du poids total (soit environ 50 tonnes) et que le prix de vente soit 3 dalasis/kg, ces prises auraient une valeur de 50.000 dalasis. Ces animaux et ces pêches étant strictement marins, ils ne seraient pas directement touchés par des aménagements du fleuve.

Les crabes sont pêchés par les artisans-pêcheurs mais ils ne sont pas très commercialisés, étant plutôt consommés par les pêcheurs et leurs familles. Des crabes sont occasionnellement vendus sur les marchés locaux

mais les quantités disponibles sont limitées (pas plus de quelques crabes à la fois) et l'approvisionnement est tout-à-fait imprévisible. Etant donné l'ampleur de la pêche au crabe bleu aux Etats-Unis et ailleurs dans le monde, il conviendrait d'étudier le potentiel de développement de la pêche artisanale au crabe.

La contribution de la pêche artisanale à la crevette à l'exportation de ce produit a été examinée plus haut dans le cadre de la pêche industrielle à la crevette. La valeur totale des 227 tonnes de crevettes pêchées en 1982-83 par les artisans travaillant sous contrat avec le principal exportateur industriel (NPE) a été estimée à 2 ou 3 millions de dalasis par Jossierand (1985), et à 3,8 millions de dalasis par Van Maren (1985). Le paiement reçu par les pêcheurs pour leurs prises devait être très inférieur à ces chiffres pour que la NPE ait pu travailler à profit. Van Maren (1985) a noté que les artisans-pêcheurs étaient payés environ 6 dalasis/kg pour les crevettes vendues environ 12 dalasis/kg à l'exportation, soit à un taux égal à environ la moitié de la valeur à l'exportation de ces prises. Etant donné ces chiffres, la contribution annuelle de la pêche artisanale à la crevette à l'économie locale pourrait être estimée à un minimum de 1 à 2 millions de dalasis par an. Le montant exact dépendrait du volume des prises, des coûts de traitement, des prix sur les marchés extérieurs et de la valeur du dalasi par rapport aux autres monnaies. Pendant la période juillet 1983-juin 1984, la NPE a traité 412 tonnes de crevettes, soit une augmentation de 185 tonnes (81%) par rapport à la période précédente. La valeur à l'exportation et le revenu pour l'économie locale des crevettes pêchées en 1984 ne dépasseront guère respectivement 5 millions et 2,5 millions de dalasis.

Une considération supplémentaire qu'il convient d'associer à la contribution de la pêche fluviale à la crevette à l'économie locale est l'emploi, déjà mentionné, de près de 1.000 personnes dans des fonctions liées à la pêche à la crevette, chez NPE. Jossierand (1985) a estimé qu'environ 60 hommes-années d'emploi étaient générées chaque année par la pêche artisanale à la crevette à plein temps. Il faut y ajouter l'emploi et les paiements reçus par les secteurs fournissant des services et du matériel aux pêcheurs (à l'exception des filets, qui sont fournis aux pêcheurs par la

NPE). Les profits réalisés par le secteur artisanal de la pêche et l'économie locale, grâce à la vente des prises aux entreprises industrielles de traitement, sont donc répartis entre le secteur de la pêche et les secteurs connexes.

6.3. Conséquences et compromis associés au développement

6.3.1. Aperçu général

Les considérations économiques en rapport avec les pêcheries existant sur le fleuve Gambie ont été présentées en section 6.2. C'est dans la perspective de ces résultats que se placent les conséquences et les choix économiques présentés ci-dessous. Les analyses contenues dans cette section sont fondées sur la réaction supposée du système aquatique aux incidences des divers programmes de développement proposés pour le fleuve. Ces programmes ont été identifiés et examinés au chapitre 4, et ils seront traités ici dans le même ordre: aucun développement; barrage-réservoir de Kékréti; barrage de Kékréti et barrages de Guinée; barrage de Kékréti et barrage anti-sel de Balingho; barrage de Kékréti, barrages de Guinée et barrage de Balingho.

Les activités de développement auront des conséquences sur de nombreux aspects de l'environnement physique, chimique et biologique du milieu aquatique, mais les répercussions économiques de ces activités concerneront principalement les ressources halieutiques du bassin. En outre, il est extrêmement difficile de placer une valeur monétaire directe sur les modifications de la salinité, des concentrations en nutriments et de la production de plancton ou de macrophytes. Mais l'incidence économique des modifications de ces facteurs se traduit dans une certaine mesure par des variations de facteurs mesurables, tels que le rendement et la valeur de la pêche. A la lumière de ces considérations, cette section est consacrée à l'examen des aspects économiques de la pêche dans le bassin, dans la perspective des incidences du développement sur l'environnement.

On s'est particulièrement attaché à évaluer l'échelle générale, les tendances et les rapports (par exemple, tailles ou contributions économiques respectives) entre les divers types de pêche. Pour toutes les valeurs citées dans cette section, les fourchettes sont très larges. Cela est dû en

partie, surtout en ce qui concerne les prévisions, au fait que les paramètres de population et les estimations de stocks n'ont été déterminés pour aucune des espèces exploitées (poisson ou crustacés) dans le fleuve Gambie et les eaux côtières voisines. Il convient de tenir compte d'une variation supplémentaire considérable dans les estimations en raison de l'inexactitude du volume des réservoirs, du débit, etc., qui restent inconnus tant qu'on n'a pas défini une politique d'exploitation pour chaque barrage. En l'absence de ces données, il convient de considérer toutes les prévisions comme des estimations représentatives, et non comme des valeurs définitives.

6.3.2. Aucun développement

A supposer que le système fluvial ne subisse aucune incidence anthropogénique autre que les changements déjà en cours (pêche, pollution des sources par dépôt d'ordures et activités humaines, récolte de palétuviers comme bois à brûler, etc.), les pêcheries existantes devraient généralement continuer selon les schémas et tendances actuels du rendement biologique et économique. La plupart des analyses présentées dans cette section concernent essentiellement la pêche en Gambie. En effet, la pêche aux mollusques et crustacés ne se pratique pas dans les eaux douces du fleuve au Sénégal et en Guinée. On n'a pas trouvé de pêcheries industrielles de poisson sur le fleuve en dehors de la Gambie. Seules quelques données limitées de 1984 (résumées par Josserand, 1985) étaient disponibles sur les prises artisanales de poisson au Sénégal; la majeure partie du fleuve se trouve dans le parc national, où la pêche est interdite. On ne dispose d'aucune donnée sur la pêche artisanale dans le fleuve Gambie ou ses affluents en Guinée.

6.3.2.1. Pêche au poisson. Les statistiques du Département des pêches font état d'une baisse régulière des prises industrielles de poisson en Gambie, qui sont passées de 20.089 tonnes en 1978 à 7.377 tonnes en 1982. On prévoyait que les prises de 1983 représenteraient environ 7.500 tonnes.

La valeur économique primaire de ces prises a été calculée à partir des droits de pêche et des taxes à l'exportation, parce que le poisson est exporté et vendu à l'extérieur du bassin. Les recettes totales perçues par

l'Etat de Gambie pour ce poisson sont passées d'environ 1 million de dalasis en 1978 à 0,3 million de dalasis en 1982.

On n'a pas identifié de facteur biologique responsable de la baisse signalée des prises industrielles de poisson; il semble plutôt que cette diminution soit liée à des facteurs anthropogéniques. Ces facteurs comprennent la baisse de l'effort de pêche due à l'augmentation des coûts, qui n'est pas compensée par une hausse de la valeur du produit (essentiellement des sardines). De plus, Josserand (1985) a noté que les contraintes pesant sur la distribution et la commercialisation du poisson étaient des facteurs limitants pour la pêche artisanale; la même chose peut être vraie de la pêche industrielle. Enfin, une seule entreprise (Seagull Cold Stores) pêche dans les eaux de la Gambie de façon régulière depuis 1978. Pendant cette période, l'effort de pêche total a énormément fluctué, avec l'apparition et la disparition de plusieurs entreprises étrangères sur une base irrégulière.

D'un point de vue biologique, les prévisions pour la pêche industrielle sont bonnes. Les stocks devraient pouvoir supporter un effort de pêche et une récolte annuelle à un niveau égal à celui de 1978 ou plus élevé, car certaines espèces peuvent être capables de soutenir un rendement annuel plus élevé. Cela implique que, sous réserve des investissements nécessaires et d'une gestion appropriée du secteur industriel, le rendement économique annuel, par l'intermédiaire des droits et taxes, pourrait approcher 1 ou 2 millions de dalasis. Si la Compagnie de commercialisation du poisson (Fish Marketing Company, FMC) est créée, et que les prises sont vendues localement, le rendement économique annuel total pourrait augmenter de plusieurs millions de dalasis, selon les espèces pêchées, leur valeur marchande et les coûts de la pêche.

En l'absence de développement du fleuve, on prévoit que les prises et le rendement économique annuels de la pêche artisanale estuarienne et fluviale se maintiendront à leur niveau actuel, en baisse par rapport aux années précédentes. Il semble que la cause principale de cette situation soit la persistance de la sécheresse et la réduction des courants dans le fleuve, qui réduisent la production aquatique primaire et secondaire. L'absence d'inondation annuelle du lit majeur et de la production biologique qui en résulte normalement ont des conséquences désastreuses sur la pêche fluviale en Gambie. Sans intervention, le rendement économique annuel

combiné de la pêche fluviale en estuaire et en eau douce ne devrait pas dépasser 3 ou 4 millions de dalasis, et pourrait tomber bien au-dessous de ce niveau si la sécheresse et l'exode des pêcheurs se poursuivent.

En ce qui concerne la pêche fluviale en eau douce, il serait possible d'accroître de façon significative (0-20%) le rendement économique annuel par rapport aux niveaux existants en réduisant les pertes de poissons (par endommagement, écrasement, etc) grâce à de meilleures techniques de manutention et de traitement, et à une amélioration des réseaux de distribution et de commercialisation. Une telle intervention nécessiterait relativement peu d'investissements d'équipement et n'augmenterait pas la pression exercée sur les stocks de poissons, qui souffrent déjà de modifications environnementales nuisibles à leur reproduction, leur survie et leur croissance. On peut dire la même chose de la pêche estuarienne et côtière. Mais pour ces types de pêche, outre les interventions citées pour la pêche fluviale en eau douce, il pourrait être judicieux d'intensifier l'effort de pêche et d'augmenter les prises.

6.3.2.2. Pêche aux mollusques et crustacés. L'activité halieutique industrielle la plus importante pour ce type de pêche dans l'estuaire est la pêche à la crevette rose (*Penaeus duorarum*). Le rendement annuel fluctue depuis quelques années, mais il est passé de 227 tonnes pendant la période juillet 1982-juin 1983 à 412 tonnes pendant la période correspondante en 1983-84 (Van Maren, 1985). La valeur économique des crevettes exportées par la National Partnership Enterprises, Inc. (NPE) en 1982-83 est estimée à 2,0-3,8 millions de dalasis (Josserand, 1985; Van Maren, 1985); elle pourrait approcher 5 millions de dalasis pour 1983-84. Pendant la période juillet 1982-juin 1983, le rendement économique de cette industrie a dépassé 30 fois les recettes perçues auprès des pêcheries industrielles de poisson et les taxes à l'exportation. Une évaluation provisoire des données disponibles a indiqué que la valeur économique de l'exportation industrielle de crevettes en 1984 représentait presque la moitié de la valeur totale de la pêche artisanale, et dépassait 30 fois les recettes perçues auprès des pêcheries industrielles de poisson.

Les chiffres ci-dessus mettent en évidence l'importance relative de la pêche industrielle à la crevette pour l'exportation, vis-à-vis de l'économie locale. Certaines preuves indiquent que les stocks de crevettes ne sont actuellement pas surexploités. Il convient de prendre garde à laisser les

jeunes crevettes migrer à l'extérieur de l'estuaire au début des crues annuelles, de sorte qu'elles puissent arriver à maturité et frayer dans l'océan, entretenant ainsi les stocks locaux de crevettes. Cela peut se faire en utilisant des engins et des filets dont les mailles laissent passer les crevettes trop petites. Van Maren (1985) estime que les stocks océaniques côtiers de crevettes sont stables et capables de supporter un accroissement de la pression halieutique et du rendement annuel. Etant donné ces considérations, on peut s'attendre à ce que le rendement économique annuel de la pêche industrielle à la crevette pour l'exportation se maintienne à un niveau de 3 à 5 millions de dalasis au cours des prochaines années.

L'exportation industrielle de mollusques et crustacés (sauf crevettes) entre juillet 1982 et juin 1983 s'élevait à 60,5 tonnes, évaluées à environ 123.000 dalasis (Josserand, 1985). Les stocks de toutes les espèces exploitées par ce type de pêche sont capables de supporter des augmentations considérables de la pression halieutique et du rendement annuel. L'exportation industrielle de homards au cours de l'année citée ci-dessus était de 0,2 tonne (évaluée à 1.300 dalasis), mais ces stocks semblent aussi être sous-exploités par rapport au rendement supportable. Josserand (1985) estime que les eaux gambiennes devraient supporter un rendement annuel de 1.000 tonnes de mollusques et crustacés pour la pêche industrielle. La valeur économique de ces prises pourrait dépasser annuellement 2 millions de dalasis.

Dans le secteur artisanal de la pêche aux mollusques et crustacés, c'est la récolte annuelle d'huîtres et de yeats (l'escargot marin de l'espèce Symbium) qui contribue le plus au rendement économique de ce secteur. La récolte annuelle d'huîtres peut approcher 150 tonnes, évaluées à 900.000 dalasis. Bien que les prises et leur valeur soient estimées de façon approximative, l'ordre de grandeur est probablement représentatif. Les stocks d'huîtres et de yeats pourraient vraisemblablement supporter des récoltes plus abondantes. La demande du marché pour ces produits, en particulier les yeats, peut être un important facteur limitant pour l'expansion de ce type de pêche.

La plupart des crevettes et des homards pêchés artisanalement sont vendus à des entreprises industrielles de traitement. Le rendement économique des prises de ces espèces lorsqu'elles sont vendues directement

par les artisans-pêcheurs sur les marchés locaux est probablement négligeable par rapport aux recettes provenant de la vente à l'exportation de ces produits. Comme il a été noté en section 6.2, la pêche au crabe dans les eaux marines et estuariennes n'est pas chiffrée, mais elle est certainement sous-exploitée. Le rendement économique actuel de la pêche au crabe est pratiquement négligeable par rapport aux autres types de pêche. Mais l'ampleur et la valeur économique de la pêche au crabe dans d'autres régions du monde suggèrent qu'il faudrait étudier le potentiel de développement de la pêche au crabe dans les eaux gambiennes.

Tous les stocks de mollusques et crustacés actuellement exploités par les pêcheries artisanales peuvent être capables de supporter un accroissement considérable de la récolte annuelle et du rendement économique. En l'absence de connaissances détaillées sur l'historique, la répartition et l'exploitation de ces stocks, les facteurs limitant actuellement la valeur économique de ce type de pêche semblent être d'origine plus socio-économique que biologique.

6.3.3. Barrage-réservoir de Kékéréti

Si les activités de construction et les aménagements du fleuve se limitent à ce qui a été proposé (barrage-réservoir de Kékéréti), la pêche existant en Gambie et en Guinée n'en sera que très peu affectée. Il peut se produire une certaine redistribution de l'effort de pêche (par exemple, émigration de pêcheurs des zones fluviales proches du réservoir) et de la commercialisation, mais les stocks fluviaux et côtiers de ces pays devraient être généralement peu touchés par le réservoir. On suppose qu'une partie de la crue annuelle en aval du réservoir de Kékéréti se poursuivra pendant la construction et le fonctionnement du barrage.

Une exception pourrait être l'étroite bande ou interface située entre la limite amont du réservoir et les eaux guinéennes plus proches de la source. On peut s'attendre à un certain ajustement écologique des poissons fluviaux existants vis-à-vis du développement d'espèces lacustres associées au réservoir. S'il se produit un changement dans le rendement et la valeur économique du poisson pêché dans cette partie du fleuve, il s'agira d'une augmentation par rapport aux niveaux actuels. Etant donné que la pêche est actuellement interdite dans une grande partie du fleuve juste en aval du

site proposé pour le barrage, toute pêche effectuée dans cette partie du fleuve après la construction du barrage représentera un accroissement des prises et du rendement économique. Toutefois, cette augmentation serait négligeable par rapport à l'économie des autres types de pêches ailleurs sur le fleuve ou dans le réservoir.

Les effets économiques du barrage de Kékéréti qui sont de loin les plus importants, parmi ceux qui sont imputables directement au système aquatique, proviendront de la colonisation du réservoir par des espèces lacustres de poissons. Ces espèces finiront par former une gamme de stocks disponibles pour la pêche artisanale en réservoir qui pourra se développer dans la région.

Le rendement et la valeur économique actuels du poisson pêché dans la partie du fleuve qui sera remplacée par le réservoir, s'ils sont importants localement, sont pratiquement négligeables pour l'économie globale de la pêche dans le bassin. Les pêcheurs qui vivent actuellement de pêche fluviale pourraient sans aucun doute transférer leur activité sur le réservoir. On a tenté de délimiter les niveaux de rendement biologique et économique que l'on peut attendre de la pêche en réservoir.

Quatre méthodes ont été utilisées pour estimer le rendement annuel des réservoirs proposés pour le fleuve Gambie:

- Méthode 1: sur la base de la pêche artisanale;
- Méthode 2: sur la base d'un indice morpho-édaphique établi;
- Méthode 3: sur la base des taux de productivité primaire;
- Méthode 4: sur la base des concentrations totales en phosphore.

La méthode 1 suppose que le rendement par hectare de réservoir sera au moins égal à celui du cours d'eau douce inférieur actuel. Les méthodes 2 et 4 sont fondées sur des facteurs qui reflètent la teneur générale de l'eau en nutriments et donc sa productivité biologique potentielle. Les valeurs de ces facteurs sont celles qui ont été mesurées dans le fleuve actuel sur les sites proposés pour les barrages. La méthode 3 représente une extrapolation de la production primaire pour obtenir la production secondaire. Les modèles utilisés pour les méthodes 2 et 4 ont été mis au point à l'aide de données empiriques recueillies lors d'études sur des fleuves et des réservoirs en Afrique (voir Dorr et al., 1985, pour la discussion et l'application de ces modèles et estimations à ce projet).

Il convient toutefois d'interpréter avec prudence toutes les prévisions présentées dans cette section. Les chiffres sont des calculs de rendement et de valeur économique fondés sur les statistiques de prises dans le système existant ou sur des modèles empiriques mis au point pour d'autres systèmes aquatiques. Chaque système, y compris le fleuve Gambie, nécessite un modèle unique. De tels modèles spécifiques à un système ne donnent pas de prévisions extrêmement précises lorsqu'on les applique à d'autres systèmes. En outre, comme les prises prévues pour les réservoirs de Gambie sont fondées sur des rendements observés ailleurs en Afrique, ces valeurs n'indiquent pas des niveaux de rendement biologiquement supportables ni de rendement économique optimum. De telles estimations ne peuvent être établies qu'à partir d'études directes telles que l'évaluation des stocks, la surveillance biologique et l'estimation des prises, réalisées dans le réservoir lui-même. De plus, à la suite de la colonisation initiale, on observe dans la plupart des réservoirs de forts niveaux de production de poisson au début, qui diminuent et se stabilisent au cours des années suivantes. Ce processus prend une quinzaine d'années dans les zones tempérées et moins de 8 ans sous les tropiques (Bernacsek, 1984). A long terme, le rendement biologique et économique annuel du réservoir de Kékréti pourra donc baisser par rapport au niveau initial. Etant donné qu'on ne connaît pas l'âge et la stabilité trophiques des lacs et réservoirs servant de modèles dans cette section pour prévoir la production biologique, les estimations concernant la production (rendement) de poisson peuvent être plus élevées que la production effective sur la durée de vie du réservoir.

Les prises et la valeur économique estimées pour le réservoir de Kékréti (Tableau 6.3) peuvent se résumer de la façon suivante.

Pour le réservoir de Kékréti, les estimations du rendement et de la valeur économique annuels totaux du poisson varient de 28 à 176 tonnes, et respectivement de 8 à 870 millions de FCFA. Les valeurs les plus basses représentent des estimations fondées sur la concentration en nutriments et la production primaire actuelles dans le fleuve; certains signes laissent prévoir que celles-ci augmenteront dans le réservoir. En effet, les eaux du réservoir devraient être au moins aussi productives que celles du fleuve existant, et le seront probablement plus. Les valeurs supérieures des estimations sont donc plus représentatives du rendement et de la valeur économique annuels de la production de poisson dans le réservoir de

TABLEAU 6.3

ESTIMATION DU RENDEMENT ET DE LA VALEUR ECONOMIQUE
(RESERVOIR DE KEKRETI)

Méthode 1	2.176 tonnes, d'une valeur comprise entre 652 et 870 millions de FCFA;
Méthode 2	1.488 tonnes, d'une valeur comprise entre 446 et 595 millions de FCFA;
Méthode 3	131 tonnes, d'une valeur comprise entre 94 et 125 millions de FCFA;
Méthode 4	28 tonnes, d'une valeur comprise entre 8 et 11 millions de FCFA.

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

Kékréti. Les résultats de la méthode 2, l'indice morphoédaphique, sont généralement considérés comme le meilleur indicateur du rendement. Il importe de reconnaître par ailleurs que chaque estimation peut varier de près de 30 pour cent d'une année à l'autre en raison de la variation du volume d'eau dans le réservoir.

La valeur annuelle, estimée à 2,7-3,7 millions de FCFA, du poisson pêché dans le fleuve et actuellement vendu à Kédougou, au Sénégal, est considérablement inférieure à la valeur la plus basse des estimations du rendement économique annuel, soit 8 millions de FCFA, prévu pour le réservoir de Kékréti. Le réservoir de Kékréti a donc un grand potentiel d'augmentation du rendement régional annuel de poisson, et de stimulation de l'économie locale grâce à sa production et à son rendement économique. Cela suppose la réussite biologique du réservoir ainsi que la mise en oeuvre et le soutien des activités de développement halieutique nécessaires à une exploitation judicieuse des ressources du réservoir.

6.3.4. Barrage-réservoir de Kékréti et barrages de Guinée

L'existence et le fonctionnement de barrages guinéens en amont du réservoir de Kékréti ne devraient avoir qu'une incidence économique mineure

sur la pêche existant dans cette partie du fleuve Gambie, à l'ouest du Parc national du Niokolo Koba.

Comme il a été montré en section 6.2.2.1., les prises actuelles et la valeur économique du poisson pêché dans la partie guinéenne du fleuve Gambie et de ses affluents ne sont pas chiffrées, mais elles sont certainement peu importantes, surtout par rapport aux prises et à la valeur économique des pêches fluviales au Sénégal et en Gambie. Le rendement et la valeur économique annuels prévus pour les réservoirs de Guinée peuvent donc simplement s'ajouter aux valeurs correspondantes pour le réservoir de Kékréti (Tableau 6.4.), ce qui donne les valeurs suivantes:

TABLEAU 6.4. ESTIMATION DU RENDEMENT ET DE LA VALEUR ECONOMIQUE DES RESERVOIRS GUINEENS	
Méthode 1	aucune estimation (pas de statistiques sur les prises disponibles en Guinée);
Méthode 2	476 tonnes, d'une valeur comprise entre 143 et 190 millions de FCFA;
Méthode 3	93 tonnes, d'une valeur comprise entre 28 et 37 millions de FCFA;
Méthode 4	aucune estimation (les concentrations totales en phosphore n'ont pas été mesurées dans les eaux guinéennes du fleuve).

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

Ces données indiquent que le rendement annuel en poisson des réservoirs guinéens pourrait varier entre 93 et 476 tonnes, avec une valeur comprise entre 28 et 190 millions de FCFA. Si l'on ajoute ces valeurs à celles qui sont prévues pour le réservoir de Kékréti, le rendement annuel prévu pour le système de réservoirs est compris entre 121 et 2.652 tonnes, et la valeur varie entre 36 et 1.060 millions de FCFA. Ces valeurs représentant les effets ajoutés d'estimations de grande amplitude, la fourchette combinée des valeurs est très étendue. Toutefois, les valeurs supérieures et inférieures de ces fourchettes sont probablement les limites que l'on peut attendre de façon réaliste de ce système de réservoirs. Ici encore, les rendements sont influencés par le cycle hydrologique qui détermine le volume d'eau annuel dans chaque réservoir. Pour des raisons discutées en section 6.3.3., la

quantité des prises et leur valeur économique réelles pour ce système de quatre réservoirs approcheront vraisemblablement la limite supérieure de la fourchette d'estimations, plutôt que la limite inférieure.

6.3.5. Barrage de Kékreti et barrage anti-sel de Balingho

L'addition du barrage anti-sel de Balingho au barrage-réservoir de Kékreti aura des effets profonds et étendus sur toute la pêche en aval du cours supérieur en Guinée. La partie de loin la plus importante des impacts du développement sur les ressources économiques du système aquatique sera apportée par l'addition du barrage anti-sel de Balingho au programme de développement du bassin.

Les incidences biologiques et les implications économiques du réservoir de Kékreti ont été examinées au Chapitre 4 et ci-dessus en section 6.3.3. L'addition du barrage de Balingho au système fluvial ne devrait pas affecter de façon significative la biologie, la production et l'économie des pêches dans le réservoir de Kékreti. On suppose que la main-d'oeuvre et l'assistance économique nécessaires au développement de la pêche à Kékreti ne seront pas réduites par l'addition du barrage de Balingho au programme de développement. Toutefois, les ressources humaines et économiques disponibles pour développer la pêche en réservoir étant limitées, l'addition du barrage de Balingho et le développement de ses pêcheries réduiront probablement la vitesse de développement et le rendement économique qui seraient réalisés à Kékreti en l'absence du barrage de Balingho. Etant donné qu'on ne dispose pas de données sur les niveaux de main-d'oeuvre et de ressources financières consacrés au développement de la pêche dans le bassin, on ne peut pas estimer avec précision, à l'heure actuelle, la mesure de cette réduction du développement et du rendement économique de la pêche à Kékreti.

Le barrage de Balingho aura plusieurs conséquences majeures pour la biologie et l'économie des pêches dans la partie gambienne du fleuve et des eaux côtières adjacentes. En premier lieu, la retenue en amont du barrage permettra le développement de la pêche en réservoir d'eau douce, mais la pêche fluviale au poisson, de même que la pêche aux mollusques et crustacés, sera éliminée dans la retenue et, dans une certaine mesure, en amont de la retenue. Deuxièmement, toute la pêche aux espèces estuariennes de poissons,

de mollusques et de crustacés sera éliminée de façon permanente en amont du site du barrage. En outre, la pêche aux espèces (bonga, crevette et crabe) ayant besoin de conditions estuariennes pour réaliser certaines parties de leur cycle de vie sera gravement affectée, et les populations locales de ces espèces seront réduites à des degrés différents. Enfin, la vaste majorité (80 à 90%) des apports organiques annuels dans le cours inférieur d'eau douce, dans l'estuaire et dans les eaux côtières adjacentes provient des plaines inondables, des bôlons et des mangroves. Tous ces habitats et leur contribution à la production totale seront absorbés par le système aquatique en amont du barrage. En aval du barrage, l'habitat de plaine inondable sera éliminé si le fleuve ne fournit pas assez d'eau, les palétuviers dépériront dans les zones d'eaux hypersalines, les mangroves subiront de gros changements dans la composition des espèces sur une portion considérable du fleuve en aval du barrage, et les parties des bôlons situées à l'intérieur des terres disparaîtront. Toutes ces conditions réduiront la production fluviale en aval dépendant des apports de nutriments de ces sources.

Les prévisions en matière de rendement annuel en poisson du réservoir de Balingho varient entre 68 et 6.325 tonnes (Tableau 6.5), et sa valeur économique entre 0,1 et 9,5 millions de dalasis, sur la base des prix actuels sur le marché (Josserand, 1985), pour les espèces d'eau douce qui devraient coloniser la retenue. La plus haute valeur pour chaque estimation a été calculée à l'aide de la méthode 1, qui supposait que le rendement par hectare de retenue serait égal à celui de l'estuaire existant, tel qu'il est déterminé par les statistiques sur les prises. Ces prises continues sont toutefois hautement improbables car le riche environnement estuarien sera remplacé par un réservoir.

Mais avant d'ajouter les estimations ci-dessus à celles du réservoir de Kékéréti, il faut examiner les pertes et les gains que subiront les pêcheries existant dans la région, à la suite de la création du barrage de Balingho. Le total des pertes ou gains nets pour ces pêcheries affectées doit être ajouté (ou retranché) aux valeurs prévues pour le réservoir de Balingho lui-même. Il sera alors possible d'estimer le rendement final total et la valeur économique du système de captage Kékéréti-Balingho.

La pêche industrielle au poisson ne se pratique actuellement pas en amont de Balingho, mais les prises de la pêche artisanale en eau douce en Gambie (division Upper River) sont évaluées à environ 1 million de dalasis

TABLEAU 6.5
SYNTHESE DES ESTIMATIONS DE RENDEMENT ET DE VALEUR ECONOMIQUE
ANNUELS DE LA PECHE DANS LES RESERVOIRS PROPOSES POUR
LE FLEUVE GAMBIE ET SES AFFLUENTS^a

Méthode d'estimation	Réservoir				
	Balingho	Kékréti	Kogou-Foulbe	Kankakoure	Kouya
<u>Production annuelle totale (tonnes)</u>					
Prises	6.325	2.176	n.d.	n.d.	n.d.
MEI	5.681	1.488	177	34	265
PP	809	313	24	5	64
TP	68	26	n.d.	n.d.	n.d.
<u>Valeur économique (millions)^b</u>					
Prises	9,5	652- 870	n.d.	n.d.	n.d.
MEI	8,5	446,1- 595,2	53,1- 70,8	10,2- 13,6	79,5- 106,0
PP	1,2	93,9- 125,2	7,2- 9,6	1,5- 2,0	19,2- 25,6
TP	0,1	8,4- 11,2	n.d.	n.d.	n.d.

NB: n.d. = non disponible.

a) Source des données: Prises = estimation des prises (Tableau 9); MEI = estimations d'après un indice morpho-édaphique (Tableau 4); PP = estimation de la productivité primaire (Tableau 8); TP = estimation des totaux de phosphore (Tableau 5, Josserand, 1985).

b) Les estimations pour le réservoir de Balingho sont fondées sur les prix moyens (toutes espèces confondues) du poisson vendu sur le marché de Farafenni, Gambie, en mars 1984 à 1,5 dalasis/kg de poisson frais. Les estimations pour les autres réservoirs sont fondées sur les prix sur le marché de Kédougou, Sénégal, de 300 à 400 FCFA/kg de poisson frais en mars 1984 (Josserand, 1985).

Une considération supplémentaire concernant les effets du barrage de Balingho sur les populations de mollusques et crustacés en aval du site du barrage est le fait que certains organismes nécessitent la présence d'eau saumâtre pour réaliser leur cycle de vie. C'est apparemment le cas du stade juvénile des crevettes penaeides pêchées dans l'estuaire de la Gambie (Van Maren, 1985). On ne sait pas si des stocks côtiers de crevettes ne nécessitant pas d'eau saumâtre existent dans les eaux gambiennes.

A la lumière des considérations ci-dessus, la réduction potentielle des stocks de mollusques et crustacés et les pertes économiques pourraient facilement dépasser 50% du total annuel. Le scénario le plus négatif serait celui où toutes ces pêcheries disparaîtraient, provoquant une perte de 6 millions de dalasis pour l'économie locale. Quel que soit le chiffre (3 ou 6 millions de dalasis), il doit être retranché de tout gain économique résultant de la pêche dans le réservoir de Balingho.

Une autre incidence économique du barrage de salinité de Balingho, qu'il convient d'évaluer avant d'estimer le total du rendement et de la valeur économique du système de captage Kékreti-Balingho, est l'effet potentiel du barrage de Balingho sur la pêche au poisson en aval du barrage. Ce sont les sardines qui constituent la majeure partie des prises industrielles annuelles de poisson, que l'on évalue à environ 0,5 million de dalasis. Ce type de pêche se limite aux eaux côtières marines, et devrait être assez peu affecté par le barrage (ce qui n'est pas le cas du régime alimentaire et de la dépendance de ces sardines vis-à-vis des matériaux organiques en suspension qui sont déversés par le fleuve dans l'océan), mais ce fait devrait être établi. Pour ce qui est de la pêche artisanale au poisson, les prises côtières sont évaluées à environ 2 millions de dalasis, et les prises en estuaire (division Lower River) à environ 1 million de dalasis chaque année.

La pêche artisanale côtière et surtout estuarienne dépend d'espèces de poissons, par exemple les bongas (Ethmalosa fimbriata) et les silures, qui soit nécessitent soit préfèrent des eaux saumâtres pendant une partie de leur cycle de vie. Dorr et al. (1985) ont présenté une description détaillée des principales espèces de poissons du fleuve Gambie, avec les habitats dont elles ont besoin pour frayer, élever les jeunes et se nourrir.

On prévoit que les stocks côtiers de bongas (et la pêche associée à ces stocks) souffriront moins du développement du bassin que les stocks

estuariens et la pêche fluviale. Ce sera probablement le cas parce que les bongas utilisent un environnement tant estuarien que marin pour frayer et élever leurs jeunes. En outre, les stocks de bongas (et la pêche associée) existant aux extrémités sud et nord de la côte gambienne sont probablement en dehors de l'influence directe du fleuve. Les conditions côtières et les estuaires situés au nord et au sud du fleuve Gambie dont dépendent ces poissons devraient être relativement peu affectés par le développement du bassin.

Il convient cependant de ne pas sous-estimer les effets potentiels à long terme du captage des eaux du fleuve sur les stocks atlantiques côtiers et la pêche au bonga (ainsi que d'autres organismes aquatiques). Bien que chaque projet de développement pris séparément puisse n'avoir que des effets relativement localisés ou isolés sur le bonga, l'incidence combinée de plusieurs projets dans la région (fleuves Sénégal, Gambie, Casamance) peut devenir significative avec le temps. Un autre point critique est le degré auquel les stocks estuariens et marins de bongas sont isolés (ou mélangés) pendant la période de frai ou d'autres étapes de leur cycle de vie. L'Etude sur la mise en valeur du bassin du fleuve Gambie a fourni une évaluation précise de l'abondance, de la répartition, de l'histoire, des mouvements et du frai du bonga fluvial, mais pas du bonga océanique. Il convient d'étudier les rapports entre le bonga estuarien et le bonga océanique.

Environ 60% des prises de la pêche artisanale côtière en 1981 comprenaient des espèces qui vivent aussi dans l'estuaire inférieur. Les effets directs du barrage sur les stocks côtiers de ces espèces seront minimes. Les 40% restants étaient constitués de poissons (bonga, mullet, jortoh) qui ont aussi été observés, au cours de ce projet (Dorr et al., 1985), dans les parties inférieure et supérieure de l'estuaire à tous les stades de leur vie. Ces espèces habitent des environnements estuariens ou marins, mais, comme il a été noté à propos du bonga, leur degré de dépendance vis-à-vis des conditions estuariennes n'est pas entièrement compris.

Etant donné les considérations qui précèdent, on prévoit que le barrage entraînera une réduction annuelle des prises de la pêche artisanale côtière inférieure à 10% (d'une valeur de 1,2 millions de dalasis). En outre, la réduction initiale pourra être compensée ultérieurement par la réorientation de l'effort de pêche vers d'autres espèces.

La pêche artisanale estuarienne au poisson (division Lower River) a été évaluée à environ 1 million de dalasis par an. Le bonga représente 22% du poids des prises totales de 1981 dans ce secteur, mais une moindre proportion de la valeur économique totale parce que la valeur marchande du bonga (0,5 dalasi/kg) est considérablement inférieure à celle des autres espèces (prix moyen = 2,3 dalasis/kg, sur la base des prix cités par Josserand, 1985). Les autres espèces de poissons susceptibles de nécessiter des conditions estuariennes et pêchées par ce secteur représentaient moins de 10% du poids du reste des prises de 1981. A supposer que le barrage et le réservoir de Balingho éliminent complètement le bonga et les autres espèces estuariennes, les prises estuariennes devraient subir une diminution en poids d'environ 30%; en termes de valeur économique, la réduction sera moins grande. Cela représenterait une perte annuelle d'environ 0,3 million de dalasis pour ce type de pêche, sur la base des prises et prix de 1981 cités ci-dessus. En pratique, il est peu probable que ces espèces soient totalement éliminées de la pêche résiduelle.

D'après la discussion qui précède, les pertes annuelles que devraient subir les pêcheries existantes à cause du barrage peuvent se résumer comme suit:

- pêche artisanale au poisson d'eau douce en amont du barrage: 1 million de dalasis;
- pêche aux mollusques et crustacés en amont et en aval du barrage: 3 à 6 millions de dalasis;
- pêche artisanale estuarienne au poisson en aval du barrage: 0,3 million de dalasis;
- pêche côtière artisanale: 1,2 millions de dalasis;
- pêche industrielle au poisson: pertes négligeables.

Le total combiné des pertes économiques annuelles estimées pour les pêcheries existantes est de 5,5 à 8,5 millions de dalasis.

On n'a pas fait de prévisions estimant à quel degré l'exploitation et la pêche d'autres stocks de poissons pourraient compenser les pertes subies sur les stocks existants. Cette méthode compenserait certainement diverses pertes subies par tous les types de pêche. En outre, les populations de certaines espèces existantes pourraient augmenter sous l'effet de la

réduction ou de l'élimination d'espèces concurrentes par le barrage, ce qui permettrait d'accroître le niveau d'exploitation de ces espèces.

Le rendement économique annuel prévu pour le réservoir de Balingho est compris entre 0,1 et 9,5 millions de dalasis (Tableau 6.3), selon le modèle employé. Ce rendement doit être ajusté en fonction des pertes prévues pour la pêche existante, qui ont été estimées à une valeur variant entre 5,5 et 8,5 millions de dalasis par an. Les estimations ci-dessus suggèrent que, en ce qui concerne les aspects économiques de la pêche, le gain économique maximum réalisable annuellement avec le réservoir de Balingho est de 4 millions de dalasis. Ce chiffre suppose un rendement maximal pour le réservoir et des pertes minimales pour la pêche existante, ce qui est une circonstance improbable. En prenant les hypothèses opposées, il pourrait se produire des pertes nettes de 8,4 millions de dalasis.

Les valeurs annuelles des prises et de la valeur économique prévues pour l'ensemble des réservoirs de Kékreti et de Balingho sont les suivantes (en supposant que 10 dalasis = 1.000 FCFA):

TABLEAU 6.6. ESTIMATION DU RENDEMENT ET DE LA VALEUR ECONOMIQUE (KEKRETI ET BALINGHO)	
Méthode 1	8.501 tonnes, d'une valeur comprise entre 662 et 910 millions de FCFA;
Méthode 2	7.169 tonnes, d'une valeur comprise entre 446 et 540 millions de FCFA;
Méthode 3	1.122 tonnes, d'une valeur comprise entre 21 et 82 millions de FCFA;
Méthode 4	96 tonnes, avec une perte nette de 44 à 77 millions de FCFA pour le système.
Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.	

Le rendement annuel potentiel estimé pour ce système de deux retenues varie de 96 à 8.501 tonnes. Si l'on inclut les pertes prévues pour la pêche existante, la valeur économique totale de ce rendement varie entre un gain net de 10 millions de FCFA et des pertes de 77 millions de FCFA par an. L'amplitude de ces estimations résulte du manque d'informations sur la faisabilité (biologique et économique) de l'exploitation de la pêche en réservoir à son maximum, tout en maintenant les pertes pour la pêche

existante à leur niveau minimal; on a présenté les scénarios du meilleur cas possible et du pire cas possible. En fait, le rendement en poids et la valeur économique réalisés à partir du système Kékréti-Balingho se situeront probablement dans la partie supérieure des chiffres cités ci-dessus. Mais en termes d'écologie aquatique, de pêche, d'hydrologie et d'économie, l'addition du barrage anti-sel de Balingho au programme de développement du bassin serait au mieux un investissement risqué, et au pire pourrait entraîner des dégâts écologiques et des pertes économiques graves pour le système.

6.3.6. Barrage de Kékréti, barrages de Guinée et barrage de Balingho

L'addition des barrages de Guinée au système de captage Kékréti-Balingho aura peu d'effets sur la pêche et l'économie dans les réservoirs inférieurs. La principale incidence économique sera l'addition du rendement annuel et de la contribution économique des barrages de Guinée au total du rendement et de la valeur de la pêche dans le bassin après le développement. Comme auparavant, on suppose que la main-d'œuvre et l'assistance économique seront disponibles en quantité suffisante pour développer la partie guinéenne du projet, sans pour autant réduire les ressources disponibles pour développer la pêche et les ressources aquatiques des réservoirs de Kékréti et Balingho. Cela suppose également qu'on dispose d'un volume d'eau suffisant pour remplir et maintenir le niveau des réservoirs.

Si l'on fait la somme du rendement et de la valeur économique prévus pour les cinq retenues (Tableau 6.7), on obtient les totaux suivants.

Etant donné que la main-d'œuvre et l'assistance économique disponibles pour développer la pêche potentielle dans les réservoirs sont limitées, de même que les ressources actuelles, la vitesse de développement de la pêche dans chaque réservoir vers un rendement économique maximal sera ralentie au fur et à mesure que de nouveaux projets sont ajoutés au plan de développement. Si les ressources et l'assistance disponibles pour le développement sont très limitées, le rendement économique total du système des cinq réservoirs sera inférieur au rendement que l'on obtiendrait d'un complexe de retenues plus petit mais mieux développé, exploité et géré.

TABLEAU 6.7.

ESTIMATION DU RENDEMENT ET DE LA VALEUR ECONOMIQUE
(CINQ BARRAGES)

Méthode 1	aucune estimation (pas de statistiques sur les prises disponibles en Guinée);
Méthode 2	7.645 tonnes, d'une valeur comprise entre 589 et 731 millions de FCFA;
Méthode 3	1.215 tonnes, d'une valeur comprise entre 49 et 119 millions de FCFA;
Méthode 4	aucune estimation (la concentration totale en phosphore n'a pas été mesurée dans les eaux guinéennes du fleuve).

Etudes sur le Bassin du fleuve Gambie de l'Université du Michigan, 1985.

7. SUIVI ET INSTITUTIONNALISATION

7.1. Suivi et études futures

L'étude des ressources aquatiques du fleuve Gambie a fourni, entre autres choses, une bonne description de l'environnement aquatique de base. Cette description comprenait la répartition des principales espèces aquatiques à la fois dans le temps et dans l'espace. Mais cette étude dépassait une simple description de l'environnement aquatique dans la mesure où un gros effort a été fait pour mettre en évidence les processus-clés qui régissent le système biologique. Cet effort a consisté à définir les rapports entre l'environnement physico-chimique et les espèces qui vivent dans le fleuve pendant une partie plus ou moins longue de l'année. L'objectif final était de déterminer les liens critiques existant entre les facteurs de l'environnement physico-chimique et la flore et la faune. Une fois mis en évidence, ces facteurs et ces liens sont devenus la base diagnostique pour déterminer les incidences du développement du bassin sur l'écosystème aquatique.

Cette étude est réussie dans la mesure où les principales espèces du fleuve et de l'estuaire ont été identifiées, ainsi que leurs besoins vitaux de base. Mais tout projet dont la durée n'excède pas un an est limité, car on ne peut pas arriver à comprendre complètement le système en si peu de temps. Ce fait constitue un argument en faveur de la poursuite des études portant sur le fleuve Gambie, à l'aide des résultats discutés ci-dessus, qui fourniront une base solide pour la conception des études futures. Comme il a été mentionné, l'Etude sur la mise en valeur du bassin du fleuve Gambie (EMVBFG) a fourni une bonne base de données sur la localisation, dans le temps et dans l'espace, des principales espèces du fleuve. Ces informations peuvent servir à diviser le fleuve en segments écologiques, de sorte que les études futures puissent se concentrer sur quelques sites représentatifs du fleuve, c'est-à-dire les régions de Balingho, de Bai Tenda à Kau-ur, de Kékreti, des barrages de Guinée, etc. L'homogénéité de chaque segment est telle que l'étude répétée de chaque segment ne devrait pas constituer une forte priorité.

Au cours de cette étude sur le fleuve Gambie, quatre points ont semblé nécessiter plus de recherches à l'avenir. Tout d'abord, il faudrait mieux

comprendre la dynamique temporelle au sein du fleuve. Ces recherches devront être faites selon différentes approches, en fonction des parties ou des zones étudiées. Par exemple, dans la zone estuarienne, les principaux facteurs temporels proviennent soit du cycle de la marée sur 12 h, soit du régime saisonnier de la migration des espèces. Dans les segments d'eau douce, les échelles de temps sont fondées sur les schémas annuels de précipitations. Le fleuve reste relativement stable toute l'année jusqu'au début des pluies annuelles, lorsque l'écoulement modifie considérablement les caractéristiques de l'eau en quelques heures.

Le deuxième facteur nécessitant des études supplémentaires est l'influence de la marée, tant sur l'environnement physico-chimique que sur la flore et la faune. On a observé des vagues dues à la marée de Banjul à Goulombou, environ 525 km en amont. Ainsi, près de la moitié du fleuve subit actuellement l'influence de la marée, qui a été identifiée comme étant le principal mécanisme empêchant la stagnation des eaux dans les petits bôlons et les parties plus profondes du fleuve. Les changements dans la direction de la marée s'accompagnent généralement de modifications importantes dans la qualité de l'eau et la composition du plancton. L'un des effets du barrage de salinité étant l'élimination de l'influence de la marée en amont de Balingho, cette disparition apparaît comme l'un des principaux changements, sinon le principal, qui résulteront du développement du bassin. Le barrage sera situé à environ 130 km de l'embouchure, et éliminera donc l'influence de la marée sur une distance de 370 km en amont, soit près de 75% de la portion du fleuve actuellement soumise à l'influence de la marée.

Le troisième point est l'importance de l'écosystème des mangroves pour la dynamique du fleuve et l'environnement aquatique côtier. La quantité de matériaux organiques apportés au fleuve Gambie par les déchets de mangroves dépasse largement la quantité de matériaux fournis au fleuve par les plantes qui y poussent. L'analyse de l'histoire et des schémas d'alimentation des espèces résidentes indique que l'approvisionnement du fleuve en déchets venant des mangroves à croissance active est un facteur capital pour le maintien de la productivité assez forte de l'estuaire. Les déchets de mangroves enrichissent apparemment l'environnement côtier ainsi que l'estuaire; l'influence de ces riches forêts dépasse donc le fleuve Gambie lui-même. Le barrage de salinité proposé aura une incidence majeure sur les

écosystèmes de mangroves dans le fleuve Gambie. Une surface d'un peu plus de 12% de ces forêts sera éliminée par inondation par le lac d'eau douce créé en amont de Balingho. Le reste de ces forêts subira de profondes modifications d'espèces dues au changement du régime de salinité dans l'estuaire. Les grands palétuviers Rhizophora dépassant 30 m de hauteur qui n'existent qu'en amont de Tendaba seront fortement affectés par le barrage.

Le quatrième point nécessitant des études supplémentaires est l'évaluation des stocks de poissons, de mollusques et de crustacés vivant dans l'environnement estuarien et côtier. Si l'on a obtenu de bonnes données sur l'abondance et la répartition relatives des espèces dans l'estuaire, ces données ne permettent pas d'estimer les rendements supportables. En effet, ce type d'estimation doit être fondé sur les statistiques chiffrant les prises effectuées par les pêcheurs artisanaux et commerciaux. La nécessité d'estimer les rendements en poisson vient du fait que les prises semblent peu nombreuses par rapport au rendement potentiel, en particulier dans l'environnement océanique côtier de la Gambie. Il faudrait estimer de façon précise la valeur actuelle et potentielle de ces ressources avant qu'elles ne soient influencées par la construction du barrage de salinité.

Ces quatre domaines d'étude pourraient être abordés dans le cadre général d'un programme de suivi portant sur le fleuve Gambie. A l'exception des statistiques sur les pêcheries et sur les prises, les notions déjà examinées pourraient faire partie d'un programme d'étude de base sur le fleuve Gambie, ainsi que la collecte de données de base supplémentaires sur la nature de base de l'environnement aquatique. Les points identifiés ci-dessus devraient servir de cadre global pour concevoir un programme de suivi. Ce programme devrait être entrepris dès que possible, pour que les données soient recueillies avant le début du développement du bassin. Le lancement prochain du programme est aussi nécessaire pour assurer la formation des scientifiques et des techniciens qui effectueront les travaux sur le terrain et en laboratoire. Un groupe de six Africains a été formé à de nombreuses techniques utilisées par l'EMVBFG, à l'aide du matériel et des fournitures apportées des Etats-Unis pour réaliser cette étude d'un an. Cette main-d'oeuvre devrait être employée avant que la formation ne soit oubliée ou que les spécialistes techniques ne se dispersent ou s'engagent ailleurs. Il est aussi possible de ramener dans le bassin les scientifiques

de l'équipe "Ressources" originelle, pour qu'ils travaillent avec les scientifiques africains à la conception du futur programme de suivi. Enfin, le matériel et les fournitures laissés sur place par l'EMVBFG devraient être utilisés avant qu'ils ne soient détériorés par l'environnement tropical.

7.2. Etudes parallèles

Toute étude portant sur le fleuve Gambie devrait avoir un contexte plus large que la simple surveillance des ressources aquatiques. Etant donné que les objectifs du développement du bassin sont des buts économiques et sociaux importants, tels que l'auto-suffisance alimentaire, les études devraient examiner d'autres solutions possibles que les réservoirs et les programmes d'irrigation. Par exemple, les réserves d'eau souterraine dans le bassin sont très mal connues (Harza, 1985). Pourtant, plusieurs exploitations agricoles de la région de Banjul obtenant de bons résultats font appel essentiellement aux eaux souterraines. Si les réserves d'eau souterraine sont suffisantes, l'irrigation pourrait être fournie par de l'eau pompée plutôt que par des réservoirs; un avantage supplémentaire de cette approche serait l'amélioration de la santé publique grâce à une alimentation en eau plus propre. Il faut effectuer des études similaires dans les domaines du développement de la pêche (voir section 7.4), de la génération et de la consommation de courant électrique, et du rendement économique de l'irrigation. Une lacune particulièrement importante dans les informations dont nous disposons sur le BFG est une estimation précise de la surface des plaines inondables qui bordent le fleuve. Les renseignements que fourniraient ces études parallèles pourraient largement faciliter la planification du développement du BFG.

La mise en oeuvre de programmes de suivi et d'études parallèles ne devrait pas se faire isolément, mais en rapport avec d'autres institutions d'Afrique de l'Ouest. Dans le domaine des ressources aquatiques, il existe plusieurs organismes qui ont obtenu de bons résultats en contrôlant de façon continue la côte et des fleuves africains. L'institut océanographique CRODT, au sud de Dakar, organise depuis longtemps, avec succès, le suivi des pêches côtières et fluviales le long de la côte du Sénégal. Cet organisme peut contribuer à un échange fructueux d'idées, de données, de matériel et de personnel avec le programme de suivi du fleuve Gambie. L'évaluation des

stocks de poissons étant un objectif majeur du programme de suivi, tout organisme possédant déjà des données sur les stocks devrait être en liaison avec l'OMVG. Il existe en Afrique de l'Ouest de nombreuses organisations similaires qui pourraient aider l'OMVG, telles que l'ORSTOM, le Département des pêches de Banjul, et les Eaux et forêts du Sénégal. A long terme, on pourrait effectuer des études parallèles sur plusieurs fleuves pour acquérir une meilleure compréhension des processus concernant les fleuves, les estuaires et les mangroves tropicaux. L'OMVS et le CRODT ont déjà réalisé des études sur les fleuves Sénégal et Casamance.

7.3. Institutionnalisation

La réussite du développement du BFG dépendra de la capacité de l'OMVG à planifier, exécuter et administrer les politiques régionales. Pour que le programme de développement réussisse, il faudra surmonter les problèmes que connaissent de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest, où la croissance planifiée est souvent entravée par un esprit de clocher. Une autorité supérieure doit se dégager et démontrer aux instances locales du gouvernement et de la planification que seules une croissance planifiée et la gestion soigneuse des ressources sont dans l'intérêt du bassin. C'est pour ces raisons que l'OMVG devrait devenir l'unité dominante de la planification du bassin, et accepter la responsabilité de tout échec des programmes. De même, l'OMVG devrait être chargée de mettre sur pied et d'effectuer le programme de suivi du fleuve. Ce programme ne devrait pas se limiter à l'environnement aquatique, mais devrait comprendre toutes les phases de l'étude, comme pour l'Etude sur la mise en valeur du bassin du fleuve Gambie (EMVBFG). Cette approche pluridisciplinaire se fonde sur le même raisonnement que celui qui sous-tend l'EMVBFG, à savoir le fait que toutes les activités du bassin sont en étroite corrélation. Par exemple, de mauvaises pratiques agricoles ou minières entraîneront une pollution qui pourrait facilement contaminer l'eau du fleuve, à tel point qu'elle serait inutilisable pour la plupart des besoins. Il convient donc de lancer un programme de suivi coordonné, de même qu'il faudrait adopter un programme de développement coordonné.

Il existe déjà au sein de l'OMVG une infrastructure permettant d'élaborer un programme de suivi et de fixer des normes pour la qualité de

l'eau, qui devraient être respectées pendant toute la durée du programme de développement. La Commission chargée de l'eau au sein de l'OMVG a la responsabilité d'assurer le maintien de la quantité et de la qualité de l'eau dans le fleuve Gambie. Une large partie des responsabilités de cette commission sera consacrée à veiller à la distribution et à l'usage équitables des réserves d'eau douce, mais la qualité de l'eau ne devrait pas être oubliée. Sur la base de lignes directrices provenant d'autres pays, il faudrait fixer des normes pour la qualité de l'eau et les faire appliquer pendant et après le développement du bassin. Un programme de suivi est le seul mécanisme permettant de vérifier ces normes qualitatives.

L'étape finale de l'institutionnalisation serait que l'OMVG reconnaisse ses limites et délègue certaines tâches à des organismes déjà dotés de l'infrastructure adéquate. Par exemple, le Département des pêches du Ministère des ressources hydrauliques de Gambie effectue déjà une enquête sur les pêches en Gambie. Au lieu de répéter cette activité, l'OMVG devrait renforcer cette étude et ainsi fournir une meilleure base de données pour la Gambie et l'OMVG. Cela ne signifie pas que l'OMVG doive renoncer à son autorité pour certains aspects du développement du fleuve, mais plutôt faire appel à des sources d'aide extérieures lorsque c'est possible. L'objectif final est une compréhension plus complète de la structure du bassin, afin de réaliser une planification et un développement en connaissance de cause, tout en minimisant les incidences sur l'environnement.

7.4. Suivi et gestion futurs des pêches

Une large part du succès éventuel des programmes de développement du BFG nécessitera la reconnaissance des ressources potentielles des pêches, suivie d'une exploitation et d'une gestion efficaces de ces ressources. Trois étapes générales sont nécessaires pour accomplir ces tâches:

- évaluation et suivi biologique des stocks de poissons;
- mise en oeuvre d'enquêtes appropriées pour évaluer les prises;
- élaboration d'une politique des ressources et d'un programme de gestion.

L'EMVBFG possède les informations et a déjà réalisé une grande partie des étapes nécessaires à une évaluation préliminaire des stocks de poissons, mollusques et crustacés existant dans le fleuve. En particulier, on a déjà

estimé les stocks existants et les stocks prévus après le développement. Mais des travaux dépassant le cadre de ce projet sont nécessaires pour évaluer et prévoir les changements dans les stocks exploités, après que l'un des scénarios de développement aura été mis en oeuvre. En l'absence d'informations adéquates et continues sur les paramètres de population de certaines espèces, ces stocks ne pourront pas être exploités et gérés à l'aide de techniques modernes.

Comme il a été mentionné en section 7.1., un programme de suivi aquatique sera nécessaire pour obtenir des renseignements sur les conditions physiques, chimiques et biologiques du fleuve et des réservoirs. Ce programme recueillera des informations capitales permettant de décrire les conditions de l'environnement ainsi que les réactions des écosystèmes fluviaux aux changements, particulièrement à ceux qui découlent des activités de développement. A leur tour, les informations recueillies par le programme de suivi seront nécessaires pour placer les données sur l'évaluation des stocks dans la perspective des facteurs environnementaux qui règlent la croissance et la survie des populations animales. Ce rapport ainsi que celui de Dorr et al. (1985) contiennent des suggestions concernant des programmes d'évaluation des stocks et de suivi.

Depuis 1980, il existe en Gambie des enquêtes mensuelles et annuelles sur l'évaluation des prises de poisson. Ces enquêtes, si elles ont des lacunes dans certains domaines critiques tels que la compilation des données sur l'effort global de pêche ou l'effort en fonction des engins, fournissent néanmoins une excellente base pour mettre en place un programme élargi d'évaluation des prises. Une grande partie du travail de base et des efforts requis pour organiser et mettre en oeuvre un tel programme a déjà été fournie avec beaucoup de succès. Le programme d'évaluation des prises existant en Gambie a atteint un stade critique. Il a besoin d'une assistance supplémentaire dans les domaines du soutien fiscal et de la mise au point des objectifs d'évaluation, afin d'assurer la compilation des informations en fonction des besoins analytiques identifiés. Ces besoins doivent être établis en fonction des buts fixés pour le développement du bassin et la production globale.

On n'a pas encore mis en place de programmes d'évaluation des prises dans les parties sénégalaise et guinéenne du BFG; ces programmes répondront pourtant à des besoins futurs si des réservoirs sont créés dans la partie

supérieure du bassin. Il s'agit non seulement de concevoir et de mettre en œuvre ces programmes, mais aussi de les intégrer aux enquêtes menées dans la partie gambienne du fleuve, point critique si l'on veut réaliser un programme coordonné de développement du bassin.

Enfin, la nécessité d'identifier les objectifs analytiques à court et long terme repose sur le besoin d'évaluer, de développer et de gérer les ressources halieutiques du bassin et des eaux côtières adjacentes. Le système fluvial devrait être considéré comme une unité, avec un plan d'ensemble pour l'exploitation et la gestion des pêches, afin que des rendements maximaux et supportables soient réalisés à partir des ressources.

BIBLIOGRAPHY/BIBLIOGRAPHIE

- Agrar-und Hydrotechnik GMBH and Howard Humphreys Ltd. 1983. Kekreti Reservoir Project: Definition Report. Main Report and Annex C - Hydrology.
- Agrar-und Hydrotechnik GMBH and Howard Humphreys Ltd. 1984. Kekreti Reservoir Project: Feasibility Study. Main Report and Annex C - Hydrology.
- Beadle, L.C. 1981. The Inland Waters of Tropical Africa. An Introduction to Tropical Limnology. New York: Longman Press.
- Bernacsek, G.M. 1984. "Dam design and operation to optimize fish production in impounded river basins," CIFA Technical Paper 11. Rome: FAO.
- Berry, T.D.; Moll, R.A. and Krausse, G.L., 1985. "Physical and Chemical Environment of the Gambia River, West Africa." Great Lakes & Marine Waters Center International Series Report. Ann Arbor: University of Michigan.
- Cecchi and Company. 1981. "Mangrove Feasibility Study Final Report," Gambia Forestry Project No. 635-0205.
- Colley, R. 1985. "Acid-sulphate Soils: The Constraints They Impose on the Gambia's Antisalinity Barrage Scheme," Great Lakes & Marine Waters Center International Series Report. Ann Arbor: University of Michigan.
- Coode and Partners. 1974. The Gambia Estuary Barrage Study, Vols. 1 and 2.
- Danish Hydraulic Institute. 1982. "Studies of the Effect of a Barrage on Sedimentation," Report to OMVG.
- Dorr, J.A.; Schneeberger, P.J. and Drammeh, O.K.L. 1983. "Artisanal Fisheries of the Gambia River: Review and Directives for University of Michigan Studies," Gambia River Basin Studies Working Document No. 24. Ann Arbor: CRED, The University of Michigan.
- Dorr, J.A.; Schneeberger, P.J.; Tin, H.T. and Flath, L.E. 1985. "Studies on Adult, Juvenile and Larval Fishes of the Gambia River, West Africa, 1983-1984," Great Lakes & Marine Waters Center International Series Report. Ann Arbor: University of Michigan.
- Drammeh, O.K.L. 1982. Yearbook of Fisheries Statistics, The Gambia, 1981, Pub. No. 35. Banjul: Fisheries Dept., Ministry of Water Resources and Environment.

- Freeman, P.H. 1974. "The Environmental Impacts of a Large Tropical Reservoir: Guidelines for Policy and Planning Based Upon a Case Study of Lake Volta, Ghana, in 1973 and 1974." Washington D.C.: Office of International and Environmental Programs, Smithsonian Institution.
- Giglioli, C.E. and Thornton, I. 1965. "The mangrove swamps of Keneba lower Gambia River Basin," Journal of Applied Ecology, 2: 81-103.
- Gunter, G. 1955. "Mortality of oysters and abundance of certain associates as related to salinity," Ecology, 36: 601-605.
- Harza Engineering Company International. 1985. "Gambia River Basin Studies: Hydrology," Gambia River Basin Studies Working Document No. 53. Ann Arbor: CRED, The University of Michigan.
- Healey, M.J.; Page, D. and Moll, R.A. 1985. "Plankton Assemblages of the Gambia River, West Africa," Great Lakes & Marine Waters Center International Series Report. Ann Arbor: University of Michigan.
- Howard Humphreys Limited. 1974. Hydrological and Topographical Studies of the Gambia River Basin, Volume 1, Final Report. Reading, England: Howard Humphreys Limited, Consulting Engineers.
- Howard Humphreys Limited. 1984. "The Autonomous Operation of the Kekreti Reservoir," Report to OVMG. Reading, England.
- Hydraulics Research Station. 1976. "Comments on the Feasibility of a Barrage across the Gambia Estuary," Note for LRDC.
- Hydraulics Research Station. 1977. "Effect of the Barrage on the Tidal Regime Downstream," Report No. EX 795.
- Johnels, A.G. 1954. "Notes on fishes from the Gambia River," Arkiv of Zoology. Ser. 2. 6: 327-411.
- Josserand, H.P.; Saïdykhan, M.A. and Gueye, A.A. 1984. "Economic Data on Fisheries of the Gambia River and Adjacent Coastal Waters," Gambia River Basin Study Working Document No. 28. Ann Arbor: CRED, The University of Michigan.
- Josserand, H.P. 1985. "Economic Importance of the Gambia Fisheries and Implications of River Basin Development," Great Lakes & Marine Waters Center International Series Report. Ann Arbor: University of Michigan.
- King, H. 1979. "A Review of the State of Fisheries in the Gambia," Pub. No. 32. Banjul: Fisheries Dept., Ministry of Water Resources and Environment.
- LeReste, L. 1983. "Etude des variations annuelles de la production de crevettes dans l'estuaire de la Casamance (Sénégal)," Dakar, Senegal: Doc. Sci. Cent. Oceanogr, Dakar-Thiaroye. 88:1-12.

- LeReste, L. and O. Odinetz. 1984. "La peche crevetteière dans l'estuaire de la Casamance en 1984," Dakar: Arch. Cent. Rech. Oceanogr. Dakar-Thiaroye. 129.
- Lesack, L.F.W.; Hecky, R.E. and Melack, J.M. 1984. "Transport of carbon, nitrogen, phosphorus and major solutes in the Gambia River, West Africa," Limnology and Oceanography, 29: 816-830.
- Lewis, W.M. Jr. 1983. "Temperature, heat and mixing in Lake Valencia, Venezuela," Limnology and Oceanography, 28: 273-286.
- Likens, G.E., ed. 1972. "Nutrients and Eutrophication: The Limiting-Nutrient Controversy," Special Symposium, American Society of Limnology and Oceanography, 1
- Lunz, G.R. 1947. "Callinectes versus Ostrea," Journal Elisha Mitchell Sci. Soc. 63: 1-81.
- McLusky, D.S. 1971. The Ecology of Estuaries. London: Heinemann.
- Moll, R.A.; Berry, T.D.; Healey, M.J.; Flath, L.E.; Krausse, G.L.; Page; Schneeberger, P.J.; Tin, H.T. and van Maren, M.J. 1984. "Aquatic Ecology and Resources of the Gambia River: Selected Findings, October through January 1984," Gambia River Basin Studies Working Document No. 37. Ann Arbor: CRED, University of Michigan.
- Monteillet, J. and J. Plazait. 1979. "Le milieu et la faune testacée de la basse vallée de la Gambie," Bulletin IFAN 41 (ser. A, No. 1): 70-95.
- Moran, R.E. 1984. "Environmental Effects of Proposed Mining-Related Activities in the Gambia River Basin," Gambia River Basin Studies Working Document No. 36. Ann Arbor: CRED, University of Michigan.
- Netter, J. and W. Wassermann. 1974. Applied Linear Statistical Models, Homewood, Ill.: Irwin.
- ORSTOM. 1978. Annuaire Hydrologique.
- Petr, T. 1970. "The Bottom fauna of the rapids of the Black Volta River in Ghana," Hydrobiologia 36: 399-418.
- Polytechna. 1981. "Plan Général d'Aménagement Hydraulique de la Moyenne Guinée," Vol. V.
- Rhein-Ruhr Ingenieur-Gesellschaft. 1984. "Antisalt Bridge-barrage Balingho/River Gambia. Hydrologic and Hydraulic Studies, Volume I."
- Rhein-Ruhr Ingenieur-Gesellschaft. 1983. "Antisalt Bridge-barrage: Hydrological and Hydraulic Studies."

- Saidykhan, M.A. 1984. "A Dictionary of Scientific and Local Names for Fish Commonly Occurring in the Gambia's Territorial Waters," Gambia River Basin Studies Working Document No. 32. Ann Arbor: CRED, University of Michigan.
- Scheffers, W.J. and F. Conand. 1976. "A Study on Ethmalosa fimbriata (Bowdich) in the Senegambia Region: the Biology of the Ethmalosa in the Gambia Waters," Dakar-Thiaroye: Doc. Sci. No. 59, Gen. Rech. Oceanogr.
- Snedaker, S.C. 1978. "Mangroves: their value and perpetuation," Nature and Resources, 14: 6-13.
- Snedaker, S.C. 1984. "Mangrove forests of the Gambia River Basin: current status and expected changes," Gambia River Basin Studies Working Document No. 58. Ann Arbor: CRED, University of Michigan.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. "A Practical Handbook of Seawater Analysis," Bull. No. 167. Canada: Fisheries Research Board of Canada.
- Sverdrup, H.U.; Johnson, M.W. and Fleming, R.H. 1942. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Twilley, R.R. 1985. "An Analysis of Mangrove Forests Along the Gambia River Estuary: Implications for the Management of Estuarine Resources," Great Lakes & Marine Waters Center International Series Report. Ann Arbor: University of Michigan.
- van Maren, M.J. 1985. "Macroinvertebrate Bottom Fauna of the Gambia River, West Africa," Great Lakes & Marine Waters Center International Series Report. Ann Arbor: University of Michigan.
- Welcomme, R.L. 1979. Fisheries Ecology of Flood Plain Rivers, New York: Longman Press.
- Wetzel, R.G. 1975. Limnology, Philadelphia: Saunders.
- Winer, B.J. 1976. Statistical Principles in Experimental Design, New York: McGraw-Hill.

231-

ANNEXE I.

PRESENTATION DES INCIDENCES PAR TYPE

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
ANNEXE I. PRESENTATION DES INCIDENCES PAR TYPE.	231
A.1. Incidences physiques et chimiques	235
A.1.1. Changement des caractéristiques saisonnières de l'écoulement du Fleuve Gambie	235
A.1.2. Modification de l'écoulement du fleuve.	236
A.1.3. Modification du régime thermique dans les réservoirs.	236
A.1.4. Conditions anoxiques au fond des réservoirs	236
A.1.5. Modification des concentrations de nutriments dans le Fleuve Gambie	237
A.1.6. Modification des charges de sédiments en suspension.	237
A.1.7. Augmentation de la pénétration de la lumière dans l'eau au fond des réservoirs	238
A.1.8. Augmentation des charges de sédiments en suspension pendant la construction.	238
A.1.9. Modification des bancs du fleuve provoquée par l'érosion du sol et l'absence de crues saisonnières.	239
A.1.10. Suppression permanente des plaines inondées saisonnièrement	240
A.1.11. Mise en valeur d'une zone de rabattement dans chaque réservoir.	240
A.1.12. Augmentation de l'évaporation des réservoirs et des plaines inondées	240
A.1.13. Absence de mélange de marée en amont du barrage	241
A.1.14. Augmentation de l'amplitude de la marée en aval du barrage de salinité.	241
A.1.15. Suppression de l'eau salée au-dessus du barrage de Balingho	242
A.1.16. Absence de gradient de salinité dans l'estuaire du Fleuve Gambia.	242
A.1.17. Formation de sols sulfatés-aides.	243
A.1.18. Accumulation de sédiments dans les bolons bordés de palétuviers.	244
A.1.19. Formation d'eau hypersalée.	244
A.2. Incidences biologiques.	245
A.2.1. Adaptation des espèces aquatiques aux organismes limniques (habitat lacustre).	245
A.2.2. Production algale accrue des réservoirs	246
A.2.3. Changements de la composition benthique des espèces invertébrées des réservoirs	247

	<u>Page</u>
A.2.4. Augmentation de la production et de la récolte halieutiques dans les réservoirs.	247
A.2.5. Prolifération des mauvaises herbes.	248
A.2.6. Taux élevé d'évapotranspiration	248
A.2.7. Elimination des palétuviers en amont du barrage et modification de la structure de l'écosystème des palétuviers en aval du barrage.	249
A.2.8. Bouleversement des itinéraires migrateurs de l'estuaire.	250
A.2.9. Elimination du plancton marin en amont du barrage de salinité	250
A.2.10. Augmentation de la production poissonneuse dans la partie inférieure du fleuve Gambie	251
A.2.11. Elimination des communautés d'invertébrés en amont de Balingho.	251
A.3. Incidences anthropogéniques	252
A.3.1. Augmentation de l'emploi d'herbicides, de pesticides et d'engrais	252
A.3.2. Changement dans les pêches traditionnelles en faveur des espèces lacustres.	253
A.3.3. Modification du régime alimentaire vers la consommation de poisson	253
A.3.4. Augmentation des terres cultivées en permanence	254
A.3.5. Activités minières.	254
A.3.6. Réinstallation humaine le long du fleuve et des réservoirs	255
A.3.7. Changements dans l'abondance des vecteurs de maladie	256
A.3.8. Déboisement	256
A.3.9. Changements dans les occupations.	256
A.3.10. Modification des routes de commerce et de transport	257
A.3.11. Changement dans la distribution de la faune	257

ANNEXE I. PRESENTATION DES INCIDENCES PAR TYPE

Les incidences du programme de projet de mise en valeur sur l'écologie aquatique du fleuve Gambie ont été décrites par zone dans le Chapitre 4. Le Tableau 4.2 montre que les quarante et une incidences sauf une auront lieu au moins dans deux zones sous certaines conditions de mise en valeur. Plusieurs incidences peuvent se produire dans les cinq zones sous le scénario de mise en valeur représenté par la construction de cinq barrages dans le bassin du fleuve Gambie. Cette annexe présente les quarante et une incidences par type (primaire, secondaire et tertiaire) et non par zone. L'objet de cette annexe est d'éviter des redondances avec le Chapitre 4 tout en fournissant des explications sur chaque incidence au lecteur non spécialisé. L'emploi de termes techniques est évité ci-dessous. Sinon, ils sont soigneusement définis lors de leur premier emploi.

A.1. Incidences physiques et chimiques

Dix-neuf incidences sur l'écologie aquatique physique et chimique ont été identifiées. Elles sont considérées comme des incidences primaires parce qu'elles concernent l'écologie physique et/ou chimique. Les incidences primaires entraînent à leur tour des incidences secondaires (biologiques) et tertiaires (anthropogéniques).

A.1.1. Changement des caractéristiques saisonnières de l'écoulement du fleuve Gambie

Le fleuve Gambie a suivi pendant des milliers d'années un cycle incontrôlé de crues (juin à octobre) et de sécheresse (novembre à juin). L'hivernage provoque la crue annuelle qui à son tour a des effets sur presque tous les organismes du fleuve et ses environs. Après la construction, l'écoulement sera régularisé et aura tendance à adopter des caractéristiques d'écoulement annuelles plus uniformes comparées aux conditions actuelles. Le débit total net du fleuve Gambie ne sera pas beaucoup modifié, mais sa distribution saisonnière sera complètement changée.

A.1.2. Modification de l'écoulement du fleuve

La régularisation temporelle du débit du fleuve s'accompagnera également d'une régularisation spatiale. Entre chaque réservoir, le débit du fleuve Gambie sera régularisé par la décharge du barrage en amont. Par conséquent, les grandes fluctuations actuellement observées dans l'état naturel du fleuve cesseront d'exister. Les organismes aquatiques du fleuve et des plaines voisines inondées connaîtront un écoulement régulier des eaux.

A.1.3. Modification du régime thermique dans les réservoirs

Actuellement, les eaux du fleuve Gambie se composent à la fois de l'écoulement et des mouvements de la marée. Ce mélange est évident d'après la température uniforme observée dans tout le fond du fleuve, les concentrations uniformes de nutriments dissous et le haut niveau d'oxygène dissous (Berry et al. 1985). Les grands réservoirs associés à chacun des cinq barrages feront apparaître des propriétés chimiques et physiques radicalement différentes des conditions de mélange uniforme actuel. Une autre conséquence de la retenue d'une grande partie des eaux du fleuve sera la modification du régime thermique. L'eau des réservoirs peut se mélanger là où le fleuve est peu profond; ce mélange est probable dans les endroits où la profondeur est inférieure à quatre mètres. Mais dans d'autres endroits, les eaux seront trop profondes pour permettre un mélange du fond du lit à la surface tout au long de l'année.

A.1.4. Conditions anoxiques au fond des réservoirs

Les lacs et les réservoirs tropicaux ont pour caractéristique de comprendre de vastes zones d'eaux anoxiques saisonnières (absence d'oxygène dissous) près du fond (voir Lewis, 1983). Les températures élevées et la grande production de matière organique ont tendance à créer une forte demande en oxygène biologique. (En d'autres termes, la grande quantité de plantes pourries qui s'accumule au fond des lacs consomme tout l'oxygène dissous disponible.) La haute colonne d'eau empêche le mélange jusqu'au fond en certaines saisons et les eaux du fond deviennent donc anoxiques.

Seul un mélange de l'oxygène jusqu'au fond du réservoir peut réduire l'anoxie (insuffisance d'oxygène). Les eaux anoxiques ont tendance à exclure la plupart des formes de vie aquatique et à accroître le taux de décomposition de la matière organique. Une réduction des conditions

chimiques permet la conversion de sulfure et de fer oxydés en sulfides de fer et en sulfides d'hydrogène plus offensifs.

A.1.5. Modification des concentrations de nutriments dans le fleuve Gambie

L'analyse à partir d'échantillons d'eau de nutriments du fleuve Gambie a montré que les eaux du fleuve constituaient un milieu dilué qui éprouvait de grands changements chimiques pendant la crue annuelle (Berry et al., 1985). Les eaux pénétrant dans le fleuve durant la crue annuelle étaient enrichies en azote nitrique et en silicose réactif soluble. Après la construction des barrages sur le fleuve Gambie, deux incidences importantes modifieront considérablement les concentrations de nutriments dissous. En premier lieu, les eaux douces ne se mélangeront pas avec les eaux salées de l'estuaire. Ceci éliminera l'enrichissement des eaux salées de l'estuaire en certains nutriments. En second lieu, la crue annuelle sera principalement éliminée grâce à la retenue d'eau dans les réservoirs. Comme il a été mentionné ci-dessus, la productivité primaire sera probablement accrue dans les réservoirs. L'élévation du taux de productivité contribuera à retirer beaucoup de nutriments de la colonne d'eau, en particulier à cause de la stratification thermique qu'auront les réservoirs. (La stratification thermique verticale empêche le mélange vertical. A mesure que les cellules algales meurent, elles tombent au fond des réservoirs transportant avec elles des nutriments. Finalement, la couche supérieure des eaux est privée de nutriments.) L'eau du fleuve en aval des barrages proviendra de ces réservoirs pauvres en nutriments, en particulier si la décharge du barrage est constituée de la couche supérieure des eaux. Enfin, les eaux du fleuve contiendront moins de concentrations de nutriments qu'actuellement.

A.1.6. Modification des charges de sédiments en suspension

Les crues annuelles transportent habituellement des solides en forte suspension et des charges au fond du lit. A cause de leur grande rapidité et de leur courant, les crues balayent le fond et les rives du fleuve, transportant de grandes charges de fines particules en aval. Ces crues ont d'énormes répercussions sur l'environnement fondamental du fleuve et ses rives. Les pratiques agricoles riveraines sont habituellement réglées sur l'inondation annuelle des basses terres en eaux riches en limon qui recouvrent les rives du fleuve. L'objet de la construction de retenues et de barrages le long du fleuve Gambie, est de régulariser l'écoulement afin

d'empêcher à tout moment les risques de crue. Les eaux descendront le fleuve en passant par une série de réservoirs qui constituent des chambres de sédimentation fort efficaces. La charge de sédiments, et donc la distribution de sédiments, sera ainsi radicalement modifiée par rapport aux conditions actuelles. Les fortes charges de sédiments des crues cesseront d'exister. Pareillement, les périodes pauvres en sédiments durant la saison sèche cesseront d'exister. La décharge des réservoirs passant par les barrages ramassera une charge en sédiments correspondant typiquement aux eaux du milieu et la transportera en aval.

Cette modification des charges de sédiments en suspension aura un effet important sur la productivité primaire aquatique (photosynthèse par phytoplancton). Une charge contenant moins de sédiments permet une plus grande pénétration de la lumière dans la colonne d'eau et augmente la zone euphotique (Wetzel, 1975). Etant donné que la plus grande partie de la photosynthèse algale mesurée dans le fleuve semblait pauvre en lumière (Healey et al., 1985), l'augmentation de la clarté de l'eau s'accompagnera d'une augmentation de la production primaire.

A.1.7. Augmentation de la pénétration de la lumière dans l'eau au fond des réservoirs

Les résultats des mesures de productivité primaire (photosynthèse des algues) et de fixation de nutriments ont révélé que la productivité algale était principalement limitée par la lumière (Healey et al., 1985). En outre, la colonne d'eau instable provoquée par le mélange des eaux douces et des eaux salées a contribué à supprimer la photosynthèse. L'on peut s'attendre à une augmentation de la photosynthèse algale dans chacun des cinq réservoirs. La colonne d'eau de chaque lac se stabilisera et des sédiments s'installeront. Cette eau clarifiée sera un environnement fort souhaitable pour les algues.

A.1.8. Augmentation des charges de sédiments en suspension pendant la construction

La construction de chacun des cinq barrages sur le fleuve Gambie et ses affluents entraînera un grand remou de terre. Des digues de terre peuvent être construites, les bancs seront abaissés à certains endroits et surélevés à d'autres. Des routes d'accès aux lieux de construction seront construites et de vastes forêts seront abattues pour permettre la construction de camps. Ces activités ainsi que d'autres procureront un environnement propice

à une érosion excessive du sol. Cette érosion peut être produite soit par l'eau pendant l'hivernage, soit par le vent pendant la saison sèche.

Lorsque de grandes quantités de fines particules pénètrent dans les rivières, elles peuvent être transportées fort loin en aval. Juste en aval du lieu de construction, la plupart des formes de vie aquatique peuvent soudain être ensevelies et détruites. A un grand nombre de kilomètres en aval, les charges lourdes en sédiments sont capables d'étouffer les organismes qui occupent les habitats benthiques des eaux calmes où les sédiments s'accumulent rapidement.

Même si cette augmentation de charges de sédiments est "temporaire" dans la mesure où elle ne se produit que pendant la construction, ses effets peuvent être fort durables. La construction de chaque barrage peut prendre trois ou quatre ans. Puisque les barrages ne seront pas construits simultanément, la construction peut demander plus d'une décennie. L'érosion du sol se poursuivra probablement sur plusieurs années après l'achèvement de la construction à moins d'une stabilisation des sols en surface. Dix à quinze ans d'une forte augmentation des charges en sédiments du fleuve sont suffisants pour provoquer des dégâts irréversibles sur la vie aquatique, tout particulièrement en aval des lieux de construction.

A.1.9. Modification des bancs du fleuve provoquée par l'érosion du sol et l'absence de crues saisonnières

Les bancs du fleuve Gambie procurent une partie essentielle de l'habitat physique de grand nombre d'organismes. Les bancs constituent la tranche entre la terre et l'eau, et fournissent un habitat exceptionnel à beaucoup d'espèces riveraines. Les échanges de matériaux entre la terre et le fleuve et vice versa se font par les bancs. La régularisation du régime hydrologique résultant du fonctionnement des barrages et de l'irrigation provoquera des changements étendus et permanents sur les bancs du fleuve. Les bancs ne seront plus soumis aux crues annuelles mais recevront un écoulement régulier. Alors que les périodes de forte érosion cesseront (crues), l'absence d'érosion en période sèche sera aussi supprimée. L'on peut donc s'attendre à une érosion faible et constante du sol tout au long de l'année.

Les bancs du fleuve sont actuellement inondés par deux mécanismes. Tous les bancs sont inondés pendant plusieurs mois chaque année à cause de la crue annuelle. Au cours de ces dernières années, les crues n'ont pas été importantes, mais une grande partie des bancs était néanmoins inondée. La

crue provenant de la marée est un autre mécanisme qui maintient l'habitat des bancs du fleuve constamment mouillé ou humide. Ce processus sera éliminé en amont de Balingho après la construction du barrage de salinité. Ceci aura pour résultat net une modification radicale de la structure physique des bancs du fleuve et un changement dans leur convenance comme habitat.

A.1.10. Suppression permanente des plaines inondées saisonnièrement

Chaque année, des rives peu élevées du fleuve Gambie sont inondées par les eaux douces de la crue annuelle. Ces plaines inondées sont une partie intégrale de l'environnement du fleuve (Welcome, 1979). Elles alimentent l'agriculture de récession, favorisent le frai des poissons et nourrissent les oiseaux aquatiques. La régularisation du régime des eaux et les grands réservoirs détruiront la plus grande partie de ces plaines inondées; certaines deviendront sèches pour toujours, d'autres resteront inondées pour toujours et certaines seront transformées en champs irrigués.

A.1.11. Mise en valeur d'une zone de rabattement dans chaque réservoir

La conduite opérationnelle de chaque barrage entraînera un cycle annuel important de la tranche d'eau à l'intérieur des réservoirs. A mesure que l'eau est utilisée pour la production hydro-électrique et l'irrigation, une grande partie du fond du réservoir sera exposée à l'air. La rive asséchée s'appelle zone de rabattement. Cette zone procure un habitat plutôt pauvre pour la plupart des formes de vie aquatique. En conséquence, les zones de rabattement ont tendance à constituer des portions non productives dans les réservoirs. Si, néanmoins, de l'herbe pousse dans les zones de rabattement pouvant servir de pâturages et s'il s'y développe une agriculture extensive, il peut y avoir un solide apport de nutriments pour le réservoir.

A.1.12. Augmentation de l'évaporation des réservoirs et des plaines inondées

Une grande perte d'eau du Bassin du fleuve Gambie sera provoquée par un niveau fort élevé de l'évaporation des eaux stagnantes. Ces processus d'évaporation contribuent également à concentrer les substances dissoutes dans l'eau. L'évaporation augmentera à cause d'une augmentation de la surface des réservoirs et des champs irrigués. La perte totale d'eau sera plus importante, et les concentrations de substances solubles seront plus grandes après avoir rempli les réservoirs. Etant donné que l'alimentation en eau du bassin est fort limitée, toute perte supplémentaire d'eau a de sérieuses conséquences.

Les incidences physico-chimiques discutées ci-dessus sont propres à tout le fleuve Gambie. Il y a sept incidences qui seront liées juste au barrage de salinité de Balingho. Ces sept incidences doivent être prises en considération en plus des 12 déjà discutées.

A.1.13. Absence de mélange de marée en amont du barrage

Le fleuve Gambie est soumis à la marée sur plus de 500 kilomètres en amont. Un maximum de deux marées peuvent se produire en même temps dans le fleuve (Humphreys, 1974). Habituellement, l'on peut clairement observer deux marées hautes et deux marées basses en même temps dans le fleuve. Ce mélange de marée est le facteur le plus important modifiant la distribution des matériaux dissous et en suspension dans le fleuve (Berry et al., 1985). Ce mélange de marée a également modifié la distribution de beaucoup d'organismes planctoniques et pélagiques.

La réalisation du barrage de salinité de Balingho entraînera la suppression immédiate et permanente du mélange de marée du barrage à 130 km jusqu'à 500 km en amont, soit sur 370 kilomètres du fleuve; 72 pour cent de la partie du fleuve actuellement soumis à la marée ne se mélangeront donc plus avec la marée. Une partie du mélange se produira néanmoins encore, avec le débit régularisé des eaux du fleuve, mais cet effet sera faible comparé aux forces associées du courant et de la marée. La suppression de l'influence de la marée créera des eaux stagnantes dans de nombreuses parties du fleuve, en particulier les bolons tortueux bordés de palétuviers. La stagnation s'accompagnera d'une modification dans les dépôts de sédiments et de zones anoxiques. Une absence de mélange favorisera également la stratification thermique de la colonne d'eau avec la suppression des nutriments en surface qui en résultera, comme il est discuté dans A.1.13. Finalement, l'absence de marées aura pour effet d'assécher beaucoup de régions de plaines inondées deux fois par jour, ne les rendant plus viables, et d'entraîner la formation de sols renfermant des sulfates acides (voir A.1.17.).

A.1.14. Augmentation de l'amplitude de la marée en aval du barrage de salinité

Des simulations réalisées par l'Institut hydraulique danois ont montré que les vagues de la marée se produisant près du barrage de salinité

provoqueront une augmentation de l'étendue de la marée pouvant atteindre 40 cm (RRI, 1982). Cette augmentation sera plus importante juste en-dessous du barrage et diminuera vers Banjul où il n'y aura plus d'amplification. L'amplification de la marée sera la plus importante lors des marées de printemps, environ 20 cm au-dessus de la marée haute habituelle et environ 20 cm au-dessous de la marée basse habituelle. Elle sera la plus faible pendant la période de morte-eau, environ 10 cm au-dessus et en dessous des marées hautes et basses habituelles. L'amplification de la marée entraînera une augmentation des crues dans les plaines inondées, et une certaine importance doit être accordée aux forêts de palétuviers en aval du barrage à cause du niveau des eaux légèrement supérieur.

A.1.15. Suppression de l'eau salée au-dessus du barrage de Balingho

Le principal objectif de la construction du barrage de salinité est de supprimer l'eau salée du fleuve Gambie en amont de Balingho. Cette suppression aura des effets profonds sur la flore et la faune dans la partie du fleuve entre Balingho et Kuntaur. Cette partie du fleuve ne sera plus estuarienne pendant environ huit mois de l'année, mais deviendra un réservoir d'eau douce permanent. Les organismes marin et estuarien seront exclus de cette partie du fleuve, et les espèces d'eau douce pourront s'approprier le réservoir. Evaluer ce changement d'eaux estuariennes en eaux douces comme étant "bon" ou "mauvais" ne sert à rien. Par contre, l'on peut déclarer qu'il y aura un changement important et permanent des espèces juste après la construction du barrage. Il faudra plusieurs années pour que l'équilibre de cette nouvelle communauté d'eaux douces vivant dans la retenue du fleuve soit parfaitement établi.

Une conséquence sérieuse de l'exclusion de l'eau salée en amont de Balingho sera la perte de frayères et d'un habitat pour les espèces migratrices. Beaucoup de poissons et d'invertébrés utilisent les eaux peu salées (moins de 10 parties pour mille) du haut estuaire actuel comme zones de reproduction. Le barrage de salinité supprimera environ cet habitat sur 80 km du fleuve et réduira par conséquent la reproduction de ces organismes.

A.1.16. Absence de gradient de salinité dans l'estuaire du fleuve Gambie

Par définition, tous les estuaires sont une source d'eau douce qui se mélangent avec l'eau salée (McLusky, 1971). Ce processus de mélange crée un gradient de salinité qui varie habituellement d'une eau douce (salinité

nulle, 0 partie pour mille) à une eau salée maximale (salinité de 34 à 35 parties pour mille). Beaucoup d'espèces estuariennes sont habituées à vivre dans des eaux d'une salinité intermédiaire entre l'eau douce et l'eau salée. D'autres espèces se reproduisent ou passent par des stades de croissance dans ces eaux saumâtres.

Sous certains scénarios de développement, le mode de fonctionnement de base du barrage de salinité entraînera l'élimination du gradient de salinité. Dans ces conditions, il n'y aura que très peu d'eau douce qui circulera dans le barrage parce que toute l'eau douce disponible servira à l'irrigation et à remplir le réservoir. En fait, l'estuaire cessera d'être un estuaire comme c'est le cas actuellement, mais par contre les 130 derniers kilomètres du fleuve Gambie deviendront un prolongement de la mer. Sans écoulement d'eau douce, les salinités côtières se trouveront à la base du barrage. En conséquence, beaucoup d'espèces seront exclues du fleuve Gambie parce que l'habitat de l'eau saumâtre cessera d'exister. Par contraste, grand nombre d'espèces marines côtières se plairont dans l'environnement fort salé du cours inférieur. Comme il sera discuté ci-dessous, les régions fort salées de l'estuaire existant ont été les régions les plus productrices de l'estuaire actuel.

A.1.17. Formation de sols sulfaté-acides

Ce qui précède a montré que dans certaines conditions, les marais salants deviendront fort acides une fois qu'ils seront recouverts d'eau douce et qu'ils s'assècheront (Colley, 1985). Ce problème est particulièrement sévère quand il y a de fortes concentrations de pyrite dans le sol. L'acidité des sols atteint un niveau alarmant, la valeur du pH tombant souvent à près de 2,0. Ceci a pour effet que la végétation ne peut pas pousser sur ces sols; des cultures ne peuvent pas être pratiquées et les organismes locaux vivant au fond de l'eau ne peuvent pas survivre.

L'étendue et l'intensité de ces conditions de sol acide dans le fleuve Gambie ont été considérées avec soin. Néanmoins, une prévision précise de la gravité de cette incidence n'a pas été acceptée. Certains chercheurs estiment qu'une exploitation correcte de ces sols empêchera les conditions acides de se produire en premier lieu. D'autres soutiennent qu'il est presque impossible d'empêcher ces conditions de se produire en se fondant

sur les pratiques agricoles habituelles. Une discussion complète de cette incidence peut être trouvée dans Colley (1985).

Un autre résultat de la formation de sols acides est l'acidification des eaux du fleuve adjacent. Une fois que le sol sera devenu acide, l'eau d'irrigation pourra le délayer de l'acidité sous forme d'acide sulfurique. Des recherches indiquent qu'assez d'acide pourrait pénétrer dans le réservoir sous ce processus pour faire baisser le pH entre 2,0 et 3,0, tuant ainsi la plupart, sinon toute la vie aquatique. D'autres chercheurs suggèrent que le pH ne tombera pas en-dessous de 5,0, niveau dangereux mais supportable pour beaucoup d'organismes. Colley (1985) estime que l'effet tampon naturel de l'eau maintiendra le niveau du pH plus près de 5,0; dans l'eau salée, le pH ne changera pas à moins que d'énormes quantités d'acide soient libérées à cause du grand effet tampon de l'eau salée. Quelle que soit la situation qui l'emporte dans le fleuve Gambie, le pH définitif dépendra à la fois de l'étendue de la formation des sols acides, du volume du réservoir et de l'effet tampon des eaux du réservoir. Au stade actuel, on peut seulement conclure que ce problème risque d'exister et qu'un contrôle et une exploitation prudents risquent d'être nécessaires.

A.1.18 Accumulation de sédiments dans les bolons bordés de palétuviers

L'absence du courant de la marée dans le cours du fleuve Gambie empêchera l'échange d'eau semi-diurne avec les bolons bordés de palétuviers. Le courant de la marée, qui peut atteindre plus de 3 km à l'heure, constitue le principal mécanisme d'échange de matériaux entre les bolons bordés de palétuviers et le lit du fleuve. Ces courants ont aussi pour effet de creuser les bolons et de retarder leur remplissage à cause de l'accumulation rapide de matière organique et inorganique. Une fois que les mécanismes de mélange de marée seront supprimés de l'estuaire supérieur, les matériaux s'accumuleront rapidement dans les petits bolons tortueux. Ils se rempliront rapidement d'alluvions et ne serviront plus de passage pour l'échange de matériaux entre le lit du fleuve et les plaines inondées fort répandues à l'extrémité des bolons.

A.1.19. Formation d'eau hypersalée

Sans circulation d'eau douce, la partie du fleuve Gambie juste en aval du barrage de salinité risque de devenir hypersalée. Cette condition se produit quand le taux élevé d'évaporation concentre les sels de mer bien au-dessus de l'eau de mer habituelle, souvent trois fois plus que l'océan

côtier. Ces eaux extrêmement salées entraînent des effets sévères à la fois sur les plantes et sur les animaux et alimenteront finalement très peu de vie. Ces conditions hypersalines nuisent particulièrement aux forêts de palétuviers qui souvent finissent par disparaître (Twilley, 1985). En outre, si les eaux du fleuve Gambie deviennent plus salées que l'océan, beaucoup d'organismes migrateurs seront troublés dans la direction de leur migration, pendant peut-être complètement leurs pistes.

A.2. Incidences biologiques

Dans l'écosystème aquatique, les incidences liées à la mise en valeur du bassin fluvial se produisent essentiellement dans l'environnement physique et chimique. Ces incidences affectent à leur tour la flore et la faune aquatiques. Les paragraphes qui suivent concernent les incidences prévues au niveau des communautés biologiques. Ces incidences biologiques (secondaires) constituent la réaction de la flore et de la faune aquatiques aux altérations de leurs habitats. La perception de l'homme en ce qui concerne les changements causés par la mise en valeur fluviale est souvent fonction de ces incidences biologiques. Nous présentons onze incidences biologiques ci-après. Tout comme pour les incidences physiques et chimiques, certaines des incidences biologiques sont limitées à des phases de construction déterminées tandis que d'autres comportent des limites géographiques.

A.2.1. Adaptation des espèces aquatiques aux organismes limniques (habitat lacustre)

La formation des cinq réservoirs derrière chacun des barrages créera de vastes environnements lacustres qui n'existent pas actuellement dans le Bassin du fleuve Gambie. Ces environnements procurent des habitats étendus à de nombreuses espèces qui soit ne peuvent vivre dans l'eau courante soit ne comptent que de maigres populations dans les eaux calmes des bras de décharge et des bassins du fleuve. De nouvelles communautés aquatiques se développeront tant dans la colonne d'eau des réservoirs que sur les fonds; elles seront plus denses dans les eaux peu profondes. Ces nouvelles communautés créeront des chaînes alimentaires composées de liens différents de ceux qui caractérisent les chaînes alimentaires riveraines actuelles.

Par conséquent, des pêcheries lacustres pourraient se développer, étant souvent plus productives (les prises sont plus abondantes) que les pêcheries riveraines existantes (Freeman, 1974).

On ne saurait trop insister sur cette évolution de la structure trophique. La structure fondamentale de la communauté biologique se modifiera à tous les niveaux, depuis le plus petit plancton jusqu'aux poissons carnivores. Cette incidence constituera la réaction biologique la plus marquante à la modification du fleuve par suite de la construction des barrages. Cet impact est donc extrêmement important, mais il n'en reste pas moins qu'il est d'une certaine façon limité dans ce sens que les changements de la communauté biologique se produiront pour la plupart dans les réservoirs uniquement; les sections du fleuve comprises entre les barrages envisagés préserveront plus ou moins l'intégrité biologique qui les caractérisait avant la construction. Ceci dit, la majorité des eaux fluviales seront contenues dans les cinq réservoirs, et un cinquième de la longueur totale du fleuve revêtira un caractère lacustre.

A.2.2. Production algale accrue des réservoirs

En règle générale, les lacs sont biologiquement plus productifs que les fleuves (Wetzel, 1975). Les eaux des lacs sont par ailleurs plus claires du fait que les sédiments en suspension se déposent en dehors de la colonne d'eau. La transparence optique accrue des lacs élargit la zone euphotique (portion de la masse d'eau qui possède une lumière suffisante pour assurer la photosynthèse), laquelle accroît à son tour la production primaire. Partant, si le lac n'est pas aussi productif au mètre cube d'eau que le fleuve, il possède un volume d'eau considérablement plus important où peut intervenir une croissance algale.

Les réservoirs permettent non seulement une photosynthèse algale accrue, mais supportent en outre des espèces différentes de celles qui vivent en milieu riverain. L'effet de ces altérations sur la communauté du plancton consiste en une transformation massive de toute la structure trophique aquatique étant donné que les niveaux accrus de production algale entraînent le développement de la communauté biologique. L'altération de la composition des espèces conduit à un changement de structure trophique, le plus souvent accompagné d'une accentuation de la diversité des espèces. Ces modifications se traduisent normalement par un accroissement de la production halieutique au sommet de la chaîne alimentaire. La production

algale accrue comporte toutefois un résultat plus ou moins négatif: la grande quantité de substances organiques en décomposition qui descendent dans la colonne d'eau et s'accumulent au fond des réservoirs; ces substances se caractérisent souvent par une forte demande d'oxygène biologique (DOB) et finissent par provoquer une déficience d'oxygène (anoxie) dans les eaux situées au fond du réservoir.

A.2.3. Changements de la composition benthique des espèces invertébrées des réservoirs

Comme nous l'avons expliqué plus haut, la formation des cinq réservoirs provoquera un changement majeur de la structure trophique de la chaîne alimentaire pélagique (propre aux organismes vivant dans la colonne d'eau). Il pourrait également survenir une modification prononcée de la composition des organismes vivant sur les fonds aquatiques (organismes benthiques). La végétation terrestre inondée par les réservoirs, les arbres et les buissons submergés, offrent des habitats idéaux à divers insectes aquatiques (van Maren, 1985). Les insectes qui s'attaquent au bois, en particulier, trouveront un environnement propice parmi la végétation submergée, tandis que diverses sortes de crabes, de mollusques et autres petits invertébrés apprécieront les environnements créés par les roches et les arbres submergés. Cette faune benthique plus riche peut servir de source alimentaire principale à de nombreux poissons friands de nourriture benthique. L'abondance de plantes microscopiques et macroscopiques devrait constituer une source alimentaire très riche pour de nombreux organismes se nourrissant dans les fonds aquatiques. En revanche, les conditions anoxiques des sections plus profondes des réservoirs risquent d'exclure presque toutes les espèces de ces parties du lac. Au demeurant, il se créera un habitat benthique étendu et varié dans les parties peu profondes des réservoirs. La submersion de la végétation terrestre et l'expansion de la communauté des invertébrés qui en résultera sont des phénomènes qui pourraient s'étendre à d'autres lieux que les seuls réservoirs.

A.2.4. Augmentation de la production et de la récolte halieutiques dans les réservoirs

L'environnement lacustre favorisera une augmentation considérable de la production de poissons par surface unitaire par rapport à la situation fluviale actuelle. Cette augmentation résultera du changement de la structure trophique et de la prolifération de la productivité algale dans les réservoirs. Ceci est sans aucun doute l'incidence la plus bénéfique de

ce programme de mise en valeur sur les ressources aquatiques. L'objectif principal des scénarios de mise en valeur proposés pour le fleuve Gambie est l'augmentation de la production alimentaire intérieure. Avec une mise en valeur et une exploitation correctes, une augmentation des produits de la pêche tirés des réservoirs permettra de faire de grands progrès dans la recherche d'une autoconsommation alimentaire. Les perspectives pour l'ensemble du programme de la mise en valeur du bassin du fleuve peuvent approcher des 7.600 tonnes par an, la plus grande partie constituant un bénéfice net sur l'industrie de la pêche fluviale existante. Les estimations de production et la valeur économique de ces produits sont discutées en détail dans le Chapitre 6.

A.2.5. Prolifération des mauvaises herbes

Ce qui précède a révélé que les macrophytes aquatiques flottantes et à racines (grandes plantes aquatiques) peuvent devenir de grands problèmes dans les réservoirs tropicaux. Les eaux calmes au bord des réservoirs procurent un habitat approprié à la prolifération des macrophytes qui n'existaient pas ou étaient rares dans le cours du fleuve. Toutes les grandes espèces nuisibles existent dans les bras de décharge à faible courant du fleuve Gambie et de ses affluents (van Maren, 1985). Leur prolifération est pour le moment maîtrisée grâce à l'absence d'un habitat approprié. Les bancs du Gambie sont escarpés dans la partie d'eaux douces du fleuve, descendant souvent pratiquement à la verticale sur cinq mètres en dessous de la surface du fleuve. Les courants lors de la crue annuelle affouillent les bancs et empêchent toute croissance considérable des macrophytes. Une fois que les réservoirs seront remplis, de grands lits de macrophytes déborderont la ligne du rivage. Certaines variétés de mauvaises herbes flottantes se développeront aussi en épais amas. Qu'elles soient enracinées ou flottantes, ces mauvaises herbes nuiront à l'utilité des réservoirs. Les escargots se reproduisent sous ces mauvaises herbes et augmentent le risque de schistosomiase pour la population résidant près des réservoirs. Dans certains réservoirs, les amas de mauvaises herbes deviennent si épais qu'ils empêchent totalement l'accès à l'eau à partir du rivage et rendent la navigation pratiquement impossible.

A.2.6. Taux élevé d'évapotranspiration

La principale raison de la construction des barrages est la conservation des eaux douces normalement perdues dans la mer dans le cadre de la crue

annuelle. Les barrages sont extrêmement efficaces pour emmagasiner et distribuer l'eau pour des usages contrôlés. Mais de l'eau sera perdue des réservoirs à cause de l'évaporation et de l'évapotranspiration des plantes émergentes. De l'eau sera également perdue à cause de l'évapotranspiration des cultures irriguées. Cette perte est assez imprévisible parce que l'évapotranspiration repose sur une suite de facteurs qui comprennent les conditions météorologiques locales et l'état physiologique des cultures.

Les six incidences discutées ci-dessus sont propres à tout le réseau du fleuve Gambie. Leurs effets seront observés sur tout le bassin du fleuve et consisteront généralement en modifications permanentes pour la flore et la faune aquatiques. Il y a cinq incidences supplémentaires qui découlent uniquement de la construction du barrage de salinité de Balingho. Ces incidences sont limitées dans leur étendue régionale étant donné qu'elle sont propres au barrage de salinité de Balingho.

A.2.7. Elimination des palétuviers en aval du barrage et modification de la structure de l'écosystème des palétuviers en aval du barrage

L'incidence la plus importante dans l'estuaire et ayant la plus grande portée régionale sera l'élimination des écosystèmes de palétuviers en amont du barrage de salinité. Même s'il est seulement supposé que les palétuviers peuvent vivre dans les eaux douces, il est certain qu'ils ne peuvent pas vivre dans de l'eau privée des fluctuations de la marée qui seront arrêtées par le barrage. En Floride, de grandes digues pour retenir l'eau saumâtre dans les marais de palétuviers ont montré qu'elles faisaient mourir deux espèces de palétuviers (appelés Rhizophora et Avicenia) (Twilley, 1985). Le même effet se produira dans le fleuve Gambie. En amont du barrage, environ 12% des forêts de palétuviers le long du fleuve seront éliminés. Principalement la Rhizophora racemosa sera détruite, qui constitue les palétuviers les plus luxuriants le long du fleuve Gambie avec certains arbres atteignant plus de 30 mètres de haut.

En aval du barrage de salinité, la salinité augmentera au point d'atteindre et de probablement dépasser celle de l'océan côtier une fois que l'écoulement des eaux douces sera arrêté par le barrage. L'amplitude de la marée sera également accrue de 20% environ juste en dessous du barrage. Ces deux incidences se combineront dans la détérioration des forêts de

palétuviers en aval du barrage de salinité. Cette détérioration aboutira probablement au remplacement dans la communauté des palétuviers des grands arbres *Rhizophora racemosa* par des sortes plus petites. Le taux élevé d'évaporation risque de créer des conditions hypersalées, c'est-à-dire une salinité excessive à celle des eaux côtières. Ces conditions de taux de sel fort élevé entraînent souvent la formation de cuvettes à sel, régions de zone intertidale où le sel se dessèche sur la boue et tue toute forme de végétation terrestre. La structure des forêts de palétuviers ne sera plus dense et continue mais discontinue avec des clairières.

A.2.8. Bouleversement des itinéraires migrants de l'estuaire

Plusieurs espèces de poissons et d'invertébrés migrent vers le haut de l'estuaire du fleuve Gambie. Le bongue et d'autres espèces de larves de poisson ont été ramassés dans le haut de l'estuaire (Dorr et al., 1985). Les crevettes et les crabes abondaient dans les zones de frai et d'alimentation du haut de l'estuaire à certaines époques de l'année (van Maren, 19985). Les routes migratrices de ces espèces seront complètement bloquées par le barrage de salinité. Sur l'estuaire actuel, une surface de 700 km² ne sera donc plus accessible aux migrants après l'achèvement du barrage de salinité.

A.2.9. Elimination du plancton marin en amont du barrage de salinité

Pendant la saison sèche et au début de l'hivernage (décembre à juin), le fleuve Gambie a une salinité mesurable (et est donc estuarien) sur 250 km de son cours, jusqu'à près de Kuntaur. Cet apport d'eau salée s'accompagne principalement de plancton marin dans toute la partie estuarienne du fleuve (Healey et al., 1985). Ce plancton marin sert de base alimentaire à une faune estuarienne qui comprend des espèces de poissons marins estuariens et côtiers. L'élimination de ce mouvement de plancton marin au dessus de Balingho entraînera aussi l'élimination de ces espèces. Bien que ce concept semble évident d'après la logique pas d'eau salée, pas de poisson marin, la succession biologique des événements est un peu plus subtile. Les espèces de poissons marins et estuariens sont couramment pêchées bien en amont de la zone de pénétration de l'eau salée. Il s'agit de poissons en bonne santé récoltés en relativement grande abondance (Josserand, 1985). Naturellement, certaines espèces marines et estuariennes pénètrent provisoirement dans les eaux douces au moins plusieurs mois par an. Mais ces espèces ne peuvent

probablement pas survivre si elles sont exclues de façon permanente de leurs chaînes alimentaires habituelles reposant sur l'estuaire et/ou de la salinité hivernale pour leur reproduction.

A.2.10. Augmentation de la production poissonneuse dans la partie inférieure du fleuve Gambie

La partie inférieure de l'estuaire du fleuve Gambie, près de Dog Island Point, était la zone la plus productive du fleuve (Dorr et al., 1985). Les échantillons expérimentaux de poisson ainsi que les résultats de l'étude de l'industrie de la pêche artisanale ont tous deux confirmé que la pêche de l'estuaire inférieur était la plus élevée en production et en variété de tout le réseau du fleuve (Josserand, 1985; Dorr et al., 1985). Cette région a constamment été la plus productive à la fois en poissons et en crustacés dans chacune des quatre saisons étudiées: le début de l'hivernage, la fin de l'hivernage, le début de la saison sèche et la fin de la saison sèche.

La raison de ce taux élevé de production a été attribuée au fait que l'estuaire inférieur est la partie du fleuve la plus riche en nutriments, attirant donc vivement beaucoup d'espèces côtières. Tant que les conditions physiques et chimiques s'harmonisaient avec les conditions du littoral, les poissons marins et les crustacés (crevettes et crabes) pénétraient volontiers dans l'estuaire. Avec la construction du barrage de salinité, les conditions marines côtières s'étendront jusqu'à Balingho, à 130 km dans l'intérieur. Ceci créera un habitat plus vaste pour les poissons et les invertébrés, qui prolifèrent dans les régions inférieures du fleuve. Il est probable que l'extension de l'habitat sera suivie d'un accroissement de la prolifération et de la production dans la mesure où la modification de la chaîne alimentaire le permettra puisqu'il y aura une retenue des nutriments avec la construction du barrage de salinité. Mais la production du bas estuaire est directement liée à la santé des forêts de palétuviers. Toute réduction de la production de palétuviers pourrait être immédiatement suivie d'une réduction semblable des pêches estuarienne et côtière.

A.2.11. Elimination des communautés d'invertébrés en amont de Balingho

Le fleuve Gambie permet la pêche d'invertébrés de taille modérée dans la moitié supérieure de l'estuaire au-dessus de Balingho. Cette pêche consiste en crevettes pénaéides, en crabes et en huîtres, la pêche de ces deux dernières espèces semblant considérablement inexploitée. Ces trois pêches d'invertébrés seront éliminées au-dessus de Balingho après l'achèvement du barrage de salinité. Les produits de la pêche se composent

d'espèces estuariennes et marines qui ne survivront pas au passage dans les eaux douces. Les chapitres 3 et 6 présentent en détail la valeur actuelle et éventuelle de cette industrie de la pêche.

A.3. Incidences anthropogéniques

Les incidences les plus importantes du bassin du fleuve Gambie dues aux projets de mise en valeur sont peut-être celles qui concernent les activités humaines. Les ressources nouvellement créées avec les cinq barrages, leurs réserves d'eau et la distribution d'hydro-électricité auront un effet profond sur les habitudes de vie, de travail et de commerce de la population du bassin. Grand nombre des ces répercussions anthropogéniques n'auront pas d'effet direct sur l'environnement aquatique du fleuve mais plutôt des effets indirects ou secondaires. Sept incidences anthropogéniques ont été identifiées qui auront des effets directs sur l'environnement aquatique et le biote.

A.3.1. Augmentation de l'emploi d'herbicides, de pesticides et d'engrais

L'irrigation étendue des cultures dans le bassin du fleuve Gambie entraînera l'abandon des pratiques agricoles traditionnelles alimentées par la pluie pour une agriculture exploitée de façon intensive. Reposant sur l'expérience du passé et sur des pratiques agricoles conduites avec soin, la production peut être augmentée et maintenue grâce à l'emploi d'engrais, d'herbicides et de pesticides. Ces substances chimiques pénétreront finalement dans l'eau et seront distribuées dans presque tout l'environnement aquatique. L'apport d'un excès de nutriments dans la colonne d'eau devient un problème quand les concentrations deviennent élevées. Dans ces cas-là, les nutriments stimulent la prolifération de grandes algues nuisibles. Ces proliférations d'algues font de grands dégâts sur toute la chaîne alimentaire biologique ayant des effets fort désagréables comme la pourriture des amas d'algues, une énorme réduction des niveaux d'oxygène dissous et la disparition des poissons (Likens, 1972). La pénétration d'un excès de nutriments dans les corps aquatiques accélère l'eutrophisation (processus de vieillesse naturel), problème grave qui ravage beaucoup de pays plus développés et de régions fortement peuplées.

L'emploi de montants même minuscules d'herbicides et de pesticides introduit des composés toxiques et leurs résidus dans l'environnement. Ces

poisons se concentrent dans le biote par le processus de bio-accumulation. Finalement, les poissons et les invertébrés du fleuve et des réservoirs deviennent dangereux à consommer. Ces substances chimiques sont tout particulièrement dangereuses dans la mesure où beaucoup d'entre elles ont de longues périodes et persistent dans l'environnement un grand nombre d'années après y avoir pénétré.

A.3.2. Changement dans les pêches traditionnelles en faveur des espèces lacustres

La prolifération des espèces lacustres de poissons dans les réservoirs sera suivie de la mise en valeur de l'industrie de la pêche traditionnelle pour exploiter ces espèces. L'industrie de la pêche actuelle sur le fleuve Gambie repose sur des systèmes de courants d'eau et comprend des techniques comme des araignées, des éperviers, des guideaux placés dans l'écoulement des plaines inondées etc. La mise en valeur de l'industrie de la pêche dans les réservoirs fera appel à différentes techniques pour l'exploitation de la faune à la fois pélagique et benthique. De petites communautés de poissons et des installations de pêches temporaires s'installeront sur les rives des réservoirs. La principale conséquence de cette incidence sera l'utilisation fort bénéfique de la productivité accrue des réservoirs. En exploitant soigneusement cette nouvelle industrie de la pêche, les ressources devraient fournir une source permanente de protéines et d'emplois à une partie considérable des habitants du bassin du fleuve.

A.3.3. Modification du régime alimentaire vers la consommation de poisson

La mise en valeur du réservoir reposant sur l'industrie de la pêche artisanale s'accompagnera d'une augmentation des approvisionnements en poisson frais. Les communautés intérieures telles que Mako, Kedougou et Balaki seront situées près de ces ressources fortement accrues en poisson frais. Avec l'occasion de consommer du poisson frais, au lieu de poisson fumé ou séché au soleil, les habitants de ces villages développeront probablement un marché pour les prises quotidiennes des réservoirs. La demande en poisson frais augmentera au fur et à mesure que les préférences alimentaires changeront ainsi que les contraintes sur la pêche artisanale du réservoir. Finalement, il faut évoquer l'idée d'un rendement de pêche maximal constant afin de préserver cette industrie lors des récoltes

futures. La préférence alimentaire doit donc s'orienter sur les approvisionnements de poisson à mesure que l'industrie de la pêche se développe.

A.3.4. Augmentation des terres cultivées en permanence

L'extension définitive de plus de 85.000 hectares de terres irriguées cultivées en permanence dans le bassin du fleuve Gambie entraînera la construction d'un réseau d'irrigation étendu. Les stations de pompage, les canaux d'irrigation, les digues, les conduites d'amenée, et les conduites d'écoulement entre autres choses, seront construites dans les basses terres le long du fleuve. Ces modifications apportées aux rives du fleuve et aux plaines inondées auront un effet important sur le biote du long du fleuve et des plaines inondées ainsi que sur le bilan hydraulique du fleuve. Le biote du long du fleuve et des plaines inondées sera déplacé temporairement ou de façon permanente pendant la construction des structures d'irrigation. Après les travaux, de nouvelles niches pourront être recolonisées par les habitants précédents ou être occupées par des espèces différentes. Ceci aura pour résultat net une réorganisation plutôt extraordinaire des communautés du long du fleuve et des plaines inondées. En plus de la réorganisation physique de ces communautés, l'extension des terres cultivées de façon permanente entraînera une consommation de l'eau du fleuve et l'écoulement de matériaux de nouveau dans le fleuve. Ces deux incidences ont été discutées plus haut.

A.3.5. Activités minières

Les incidences résultant des activités minières peuvent à la fois être sévères et étendues. L'acidification extrême de l'eau utilisée pour laver les résidus et qui est pompée des mines est une des incidences les plus courantes. L'oxydation de divers sulfites de fer et de pyrite dans la terre crée de l'acide sulfurique. Une petite quantité d'acide dans les eaux à faible conductivité dans la partie supérieure du fleuve Gambie et de ses affluents abaissera rapidement le pH en dessous de 4,0, ce que la plupart des espèces aquatiques ne peuvent pas tolérer. Les eaux à faible conductivité du fleuve supérieur et de la partie du cours près des sources sont particulièrement sensibles aux effets de l'acidification minérale. Une fois acidifiée, l'eau devient une ressource relativement inutile; l'eau devient impropre pour la faune, pour la production de poissons, pour l'irrigation de cultures et ne peut pas être bue. Etant donné le degré

auquel l'eau peut devenir inutilisable, il faut accorder une attention toute particulière aux déchets minéraux.

Une autre incidence des activités minérales sera la mobilisation de métaux et d'autres minéraux dans le bassin hydrographique. L'eau acide a tendance à mobiliser l'aluminium et le fer, qui en grandes concentrations sont toxiques pour beaucoup de poissons. Des études aux Etats Unis et au Canada ont révélé que les dégâts causés aux lacs par les pluies acides sont principalement dus à la contamination de métaux et non pas à un faible pH. Le massif de Fouta Djallon est particulièrement riche en minerais de bauxite (aluminium). Les eaux résiduaires des activités minières seront acides et donc tout à fait en mesure de mobiliser les métaux toxiques. Les conditions idéales à la mobilisation des métaux se présentent quand les eaux acides circulent sur des résidus miniers et d'autres régions de sous-sols récemment exposés.

A.3.6. Réinstallation humaine le long du fleuve et des réservoirs

La construction des barrages, l'emmagasiner d'eau dans les réservoirs et la stabilisation de l'écoulement de l'eau peut entraîner la migration de grands nombres de personnes vers le fleuve et les rives des lacs. Des gens seront forcés de quitter les villages existants à cause de l'inondation des réservoirs, principalement en amont du site du barrage de Kekreti. Un beaucoup plus grand nombre de personnes devront inéluctablement partir vers les réservoirs pour profiter de l'alimentation en eau préannuelle nouvellement créée et des activités en rapport avec les nouvelles ressources. Ces nouveaux établissements et villages le long des lacs fourniront des emplois dans la pêche, l'agriculture, la chasse, les transports de même que tous les services associés à l'entretien d'un village et à l'emploi de nouvelles ressources.

La migration vers les réservoirs et la création de nouvelles installations et de nouveaux villages provoqueront une variété d'incidences typiquement associées à l'utilisation humaine des ressources aquatiques. Des déchets pénétreront dans le fleuve, dont les égouts, les ordures, les débris et des matériaux industriels. Le rivage local sera déboisé, les habitants utilisant le bois pour la construction et pour faire du feu et des clairières pour la culture. La vie sauvage sera détruite et/ou déplacée. Tout l'environnement local sera modifié, avec presque tous les déchets du village finissant directement ou indirectement dans le lac. Des sédiments

pénétreront également dans le réservoir en provenance des terres cultivées locales et des rivages dénudés exposés de façon saisonnière.

A.3.7. Changements dans l'abondance des vecteurs de maladie

Alors que cette incidence est extrêmement importante pour les humains et pour les animaux domestiques, elle n'est que secondaire pour l'environnement aquatique. Les changements dans les vecteurs de maladie ne constitueront qu'un des nombreux déplacements d'espèces provoqués par la modification de l'habitat. Les larves de mouche noire seront éliminées dans certaines régions à cause du remplacement de l'écoulement par des eaux stagnantes. Les eaux stagnantes encourageront à leur tour la prolifération de larves de moustiques et d'escargots (dont les hôtes intermédiaires pour la schistosomiase). Une incidence indirecte sur l'environnement aquatique risque d'être le mouvement de population s'éloignant des réservoirs à cause des conditions de maladie intolérable qui risquent de se développer.

A.3.8. Déboisement

Une fois que les réservoirs seront pleins, les populations locales déboiseront les forêts adjacentes au fleuve pour procurer du bois de chauffage, des matériaux de construction et des terres de culture. Le déboisement, en mettant le sol à découvert, l'exposera à l'érosion, augmentant ainsi la charge de sédiments dans le fleuve et les réservoirs et réduisant aussi la quantité de matière organique pénétrant dans l'environnement aquatique. Ceci est une incidence tout particulièrement importante sur la région des palétuviers et l'eau. Le déboisement modifiera également l'échange de nutriments entre la terre et l'eau. Les forêts absorbent de l'eau et filtrent certains montants de nutriments dans le cadre de leurs systèmes métaboliques habituels.

A.3.9. Changements dans les occupations

La plupart des incidences liées à la pêche artisanale et à l'irrigation des cultures ont été discutées plus haut. Le seul aspect supplémentaire est l'abandon d'occupations pour ces nouvelles activités. A la fois sur le plan saisonnier et annuel, la force de travail actuelle ne satisfait pas les besoins en main-d'oeuvre de ces champs (Rhine-Ruhr, 1982). Des personnes devront être recrutées pour ces occupations, en particulier l'agriculture, afin d'irriguer la totalité des 85.000 hectares de terres cultivées en permanence. Avec les années, les incidences liées à la pêche artisanale et aux cultures irriguées augmenteront progressivement. Il s'agit là des

incidences secondaires provenant de l'exode vers le bassin du fleuve Gambie et des établissements le long du fleuve et des réservoirs.

A.3.10. Modification des routes de commerce et de transport

De nouvelles routes de commerce et de transport se développeront comme les vieilles routes seront submergées à cause de l'endiguement et avec la création de nouveaux villages. Les routes qui seront inondées par les réservoirs seront soit détournées soit remplacées par des services de ferry.

Le barrage de Balingho, servant aussi de pont, aura pour effet tout particulier d'augmenter la circulation tout au long du corridor trans-Gambie. Ces réseaux de transport qui longeront ou traverseront le fleuve et les réservoirs seront une nouvelle source de pollution pour ces eaux. Les déchets caractéristiques des transports motorisés, tels que de vieux pneus, des batteries et des carcasses rouillées, finiront dans l'eau. Une pollution supplémentaire proviendra de l'huile et de l'essence nécessaires qui pénétreront dans l'eau; ces substances sont fort toxiques et causent une mortalité de masse sur plusieurs kilomètres en aval du point de pollution. Le développement de la navigation, en particulier de gros vaisseaux, comportent les mêmes menaces pour l'environnement.

A.3.11. Changement dans la distribution de la faune

Alors que les hommes se rapprocheront le fleuve Gambie et ses réservoirs nouvellement constitués, la faune réagira en s'éloignant des hommes. Une partie de cette faune est aquatique, en particulier les hippopotames, les crocodiles et les lamantins. Ces gros animaux ont des effets sur le fleuve et ses rives provenant de leur comportement naturel. L'herbe drue le long des rives du fleuve modifiera certainement la nature des échanges de matériaux entre l'environnement terrestre et l'environnement aquatique. Les déjections d'un grand nombre d'animaux peuvent accroître considérablement les réserves de nutriments.