République de Guinée
Ministère de l'Energie et de l'Hydraulique
Electricité De Guinée
EDG

AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE DE GARAFIRI SUR LE KONKOURE

ETUDE DE L'IMPACT DU BARRAGE DE GARAFIRI SUR L'ESTUAIRE ET LE BASSIN VERSANT DU KONKOURE

RAPPORT FINAL



TOME 1

Présentation générale
Ecoulement des eaux continentales et transports solides
Qualité des eaux
Fonctionnement hydrodynamique estuarien
Evolution géomorphologique
Evolution sédimentaire

Février 2003

Groupement IRD – BCEOM - BRLi

Fonds Documentaire IRD
010031013

Annexes (voir inventaire et description tome 2, page 99)

Photographie de couverture : Aménagement hydroélectrique de Garafiri (photo. ©/IRD/Luc Ferry)
(au premier plan la tour de prise, en arrière plan la barrage et le déversoir)

République de Guinée
Ministère de l'Energie et de l'Hydraulique

Electricité De Guinée
(EDG)

AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE DE GARAFIRI SUR LE KONKOURE

ETUDE DE L'IMPACT DU BARRAGE DE GARAFIRI SUR L'ESTUAIRE ET LE BASSIN VERSANT DU KONKOURE

RAPPORT FINAL

TOME 1

Présentation générale
Ecoulement des eaux continentales et transports solides
Qualité des eaux
Fonctionnement hydrodynamique estuarien
Evolution géomorphologique
Evolution sédimentaire

Février 2003

Fonds Documentaire IRD
Cote : A* 31013 Ex : 1

Groupement IRD – BCEOM – BRLi

Sommaire

TOME 1

PROJET IMPACT GARAFIRI 6

I. INTRODUCTION 6
II. RÉSUME 7
III. LE PERSONNEL 12
III.1. Assistance technique permanente IRD 12
III.2. Assistance technique en mission d'appui 12
III.3. Experts et consultants nationaux 13
III.3.a. Centre de Recherche Scientifique de Conakry Rogbane (CERESCOR) 13
III.3.b. Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura (CNSHB) 13
III.3.c. Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) 13
III.3.d. Direction Nationale de la METEOROLOGIE (DMN) 13
III.4. Personnel de recrutement local temporaire 14
III.5. Observateurs de stations hydro-climatologiques 14

ECOULEMENT DES EAUX CONTINENTALES ET TRANSPORTS SOLIDES 16

I. ECOULEMENT DES EAUX CONTINENTALES 16
I.1. Introduction 16
I.2. Observations hydrologiques 16
I.2.a. Le réseau d'observation hydrologique 16
I.2.b. Jaugeage, étalonnage des stations et traitement des données de base 20
I.3. Le réseau d'observation pluviométrique et climatologique 21
I.4. La retenue de Garafiri 21
I.4.a. Carte bathymétrique et courbe de capacité 21
I.4.b. Observations limnimétriques 24
I.5. Résultats et conclusion 24
II. MESURE ET CONTRÔLE DES TRANSPORTS SOLIDES 34
II.1. Introduction et rappel des objectifs 34
II.2. Réseau d'observation et protocoles d'échantillonnage et de traitement 34
II.2.a. Le réseau d'observation 34
II.2.b. Protocole d'échantillonnage 34
II.2.c. Protocole de traitement 35
II.3. Résultats et conclusion 39

QUALITÉ DES EAUX 44

I. LES STATIONS DE SUIVI DE LA QUALITÉ DES EAUX 44
I.1. Sur le bassin 44
I.2. Sur la retenue 44
I.3. Bilan du dispositif stationnel 44
II. PARAMETRES DE SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU 44
III. FREQUENCE ET DUREE DES CAMPAGNES 45
III.1. Méthodes analytiques 45
III.1.a. Mesures in situ 45
III.1.b. Ions majeurs 45
III.1.c. La chlorophylle et les éléments nutritifs : 46
III.1.d. Le carbone organique 46
III.1.e. Les gaz dissous : CO2 et CH4 46
III.1.f. Le fer 46
III.2. Bilan du dispositif de suivi de la qualité de l'eau 47

IV. RESULTATS DU SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX 50
IV.1. Qualité des eaux des rivières du bassin 50
IV.1.a. Caractéristiques générales 50
IV.1.b. Analyse détaillée 52
IV.2. Qualité des eaux de la retenue 61
IV.2.a. Structure verticale et évolution temporelle 62
IV.2.b. Approche longitudinale et transversale 65
IV.3. Qualité des eaux en aval immédiat de la retenue 78
IV.3.a. Les processus biogéochimiques qui interviennent dans la qualité de l'eau 80
V. LES ELEMENTS DU BILAN RADIATIF 80
V.1.a. Le rayonnement net 80
V.1.b. L'atténuation du rayonnement lumineux dans l'eau 81
VI. LA CONSOMMATION BIOLOGIQUE EN OXYGENE 81
VI.1. Les réactions d'oxydoreduction dans la zone profonde de la retenue 84
VII. CONCLUSION 88
VIII. BIBLIOGRAPHIE 89
FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE ESTUARIEN 90
I. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE 90
II. ETAT DE L'ESTUAIRE AVANT BARRAGE 90
II.1. Hydrologie du Konkouré au niveau de l'estuaire 90
II.1.a. Situation moyenne 90
II.1.b. Périodes types 93
II.1.c. Impact attendu du projet sur l'hydrologie 94
II.2. Hydrodynamique de l'estuaire 94
II.2.a. Dynamique sédimentaire de l'estuaire 96
III. LES CAMPAGNES REALISEES DANS LE CADRE DE CETTE OPERATION 98
III.1. Les niveaux 100
III.1.a. Première série de campagnes 100
III.1.b. Campagne bathymétrique de juillet 2002. 102
III.1.c. Installation des plates-formes fixes 104
III.1.d. Les résultats des mesures 105
III.1.e. Influence des débits du Konkouré 108
III.1.f. Influence de la marée 108
III.2. Vitesses 109
III.2.a. Allure générale des enregistrements de vitesse 109
III.3. Debits et volumes oscillants 113
III.4. Température de l'eau 120
III.5. Salinité 122
III.5.a. Nature des apports du Konkouré 122
III.5.b. Les données antérieures de salinité 122
III.5.c. Données de la période juin 98 – février 2000 123
III.5.d. Données de la période postérieure à février 2000 125
III.5.e. La dessalure de l'estuaire 133
III.5.f. Synthèse sur les salinités dans l'estuaire 135
III.6. La salinité de la zone littorale 136
III.6.a. Méthodologie 136
III.6.b. Les variations de salinité en sortie d'estuaire (transect M1-M10) 136
III.7. Turbidité 138
III.7.a. Mesures en points fixes (stations de référence) 138
III.7.b. Mesures Dynamiques 140

IV. IMPACTS SUR L'ESTUAIRE 142
IV.1. Hydrologie 142
IV.2. Niveaux 143
IV.3. Vitesses et les débits 143
IV.4. Salinité 143
IV.5. Température 144
IV.6. Turbidité 144
IV.7. Dynamique sédimentaire 145
V. CONCLUSION 145

SUIVI DE L'EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE 146

I. ZONE CONTINENTALE 146
II. ZONE ESTUARIENNE 146
II.1. Les actions anthropiques sur l'estuaire 146
II.1.a. Les activités 146
II.1.b. Les aménagements 147
II.2. Protocole d'intervention en géomorphologie estuarienne 147
II.2.a. Déroulement de la campagne février 2001 148
II.3. Résultats 148
II.3.a. Représentation des résultats 148
II.3.b. Analyse des résultats 149
II.4. Conclusion 150

EVOLUTION SEDIMENTAIRE 151

I. OBJECTIF 151
II. INTRODUCTION 151
III. GÉOLOGIE DE LA ZONE 152
IV. LE DEBIT SEDIMENTAIRE DU FLEUVE KONKOURE 152
IV.1. Les données antérieures 152
IV.2. Les flux de matières échantillonnés pendant le projet 152
IV.3. La mineralogie des MES 153
IV.4. La nature des Matières en suspension 154
IV.5. la turbidite 154
V. LES SEDIMENTS ESTUARIENS 155
V.1. Caractéristiques granulométriques des sédiments 155
V.2. La nature des sédiments aux stations de référence 155
V.2.a. L'analyse modale 160
V.2.b. Caractéristiques minéralogiques des sédiments estuariens 163
VI. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE L'ESTUAIRE 164
VI.1. les DONNEES GENERALES 166
VI.2. les vitesses aux embouchures 167
VI.3. Les conditions climatiques de la période 2000-2002 167
VI.3.a. La pluviométrie 167
VI.3.b. Les vents 168
VII. CONCLUSION 169

TOME 2

SUIVI DES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES SUR LA ZONE ESTUARIENNE DU KONKOURE 6

I. METHODOLOGIE ET TRAVAUX REALISES 6
I.1. Méthodologie 6
I.1.a. Démarche méthodologique 6
I.1.b. Méthodologie de suivi de la production du riz et du sel 6
I.1.c. Méthodologie du suivi des sites d'extraction de sel 6
I.2. Travaux réalisés 7

II. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE L'ESTUAIRE DU KONKOURÉ 10
II.1. Localisation de la zone d'étude 10
II.2. Contexte physique 10
II.2.a. Morphologie, pédologie et végétation 10
II.2.b. Importance écologique de la zone 11
II.3. Contexte socio-économique 11
II.3.a. Population 11
II.3.b. Activités socio-économiques 12

III. EVOLUTION DES ELEMENTS HUMAINS DU MILIEU EN RAPPORT AVEC LE FONCTIONNEMENT DU BARRAGE DE GARAFIRI 13
III.1. Identification des indicateurs de suivi des milieux biophysiques et humains 13
III.2. Principales modifications physiques et biologiques observées dans l'estuaire du Konkouré 14
III.2.a. Influence due à la modification des débits du Konkouré sur la salinité de l'estuaire 14
III.2.b. Evolution spatiale du contenu en sel des sols et des eaux de submersion des tannes 14
III.2.c. Evolution de la végétation herbacée des basses terres 15
III.3. Evolution de l'exploitation des ressources dans l'estuaire du Konkouré 17
III.3.a. La riziculture 17
III.3.b. La saliculture 19

IV. REPERCUSSION SUR LE REVENU ET LE MODE DE VIE DES POPULATIONS 21

V. REPERCUSSION SUR L'UTILISATION DES TERRES DANS LES ZONES DE RIZICULTURE ET DE SALICULTURE 22
V.1. utilisation des terres des sites rizicoles de l'estuaire 22
V.2. utilisation des terres sur les principaux sites salicoles de l'estuaire 24
V.3. Répercussion sur l'occupation du sol et le couvert végétal. 24

VI. CONCLUSION 25

VII. BIBLIOGRAPHIE 25

LA VIE AQUATIQUE 26

I. LE BENTHOS ESTUARIEN 26
I.1. Travaux réalisés 26
I.2. Conclusion 28

II. LE ZOOPLANCTON 29
II.1. La retenue de Garafiri 29
II.1.a. Méthodes 29
II.1.b. Résultats 29
II.1.c. Conclusion 31
II.2. l'estuaire 31
II.2.a. Matériel et Méthodes 32
II.2.b. Conclusion 33

III. LE PHYTOPLANCTON 34
III.1. La retenue de Garafiri 34
III.1.a. Protocole d'échantillonnage et analyse des résultats 34
III.1.b. Résultats 34
III.1.c. Conclusion 36
III.2. L'estuaire 39
III.2.a. Protocole d'échantillonnage et analyse des résultats 39
III.2.b. Conclusion 40
IV. LES PEUPLEMENTS DE POISSONS DU BASSIN VERSANT ET DE L'ESTUAIRE DU KONKOURE 42
IV.1. Le cadre général 43
IV.1.a. Description du bassin 43
IV.1.b. Le climat 46
IV.1.c. Le régime hydrologique 47
IV.1.d. Matériel et méthodes 47
IV.2. Le calendrier des campagnes d'échantillonnage sur le bassin versant et l'estuaire. 48
IV.2.a. Caractéristiques physiques et biologiques des stations échantillonnées 49
IV.2.b. Reproduction 50
IV.2.c. Métriques et caractéristiques du peuplement du bassin versant continental à l'aval du barrage 50
IV.3. Résultats 52
IV.3.a. Le bassin continental du Konkouré 52
IV.3.b. Inventaire et distribution spatio-temporelle des espèces 58
IV.3.c. Composition trophique 62
IV.3.d. Indice d'Intégrité Biotique 65
IV.4. L'estuaire du Konkouré 66
IV.4.a. Richesse spécifique par station et par campagne 67
IV.4.b. Caractéristiques biologiques des principales espèces de l'estuaire du Konkouré 73
IV.5. Analyse de l'impact du barrage sur les peuplements de poissons 75
IV.6. Conclusions générales sur les peuplements de poissons 81
IV.7. Bibliographie 83
V. PEUPLEMENTS EN HUÎTRES DANS L'ESTUAIRE DU KONKOURÉ 87
V.1. Méthode de travail 88
V.2. Résultats 90
V.2.a. La distribution des structures de taille dans le temps et dans l'espace 90
V.2.b. La distribution des structures de taille dans le temps et dans l'espace 92
V.2.c. Cartes de la distribution des huîtres dans l'estuaire : comparaison mai 1999-décembre 2001. 93
V.3. Conclusion 95
V.4. Bibliographie 97
INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES ANNEXES SUR CD-ROM 99
I. ZONE CONTINENTALE 99
II. ZONE ESTUARIENNE 102
III. VIE AQUATIQUE 113

PROJET IMPACT GARAFIRI

(PIG)

Contrat n°98/066/1/6/2/2

I. INTRODUCTION

L'aménagement de Garafiri a pour objectif l'alimentation en électricité de la Guinée Maritime et de la Moyenne Guinée. Il est situé sur le bassin versant du Konkouré dans les contreforts du massif du Fouta Djalon. Le barrage contrôle un bassin versant de 2460 km^2 soit 14% de celui du Konkouré (≈ 17250 km^2). La mise en eau de la retenue, commencée en avril 1999, s'est achevée en septembre 1999. L'aménagement (75 MW installés) est opérationnel depuis le début de l'année 2000. A sa cote de déversement, le lac artificiel a une superficie de 79 km^2, une profondeur maximale de 66 m et une profondeur moyenne de 20 m. Il s'agit donc d'un aménagement de taille relativement importante qui ne peut évidemment pas être sans conséquence sur l'environnement.

L'étude de l'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire et le bassin versant du Konkouré (PIG) a été confiée au groupement IRD / BRLi / BCEOM. Elle entrait dans le cadre d'un contrat de ≈ 1 M€ signé en avril 1998 par l'IRD, le Ministère des Ressources Naturelles et de l'Energie et l'Entreprise Nationale d'Electricité de Guinée (ENELGUI). L'étude a débuté en mai 1998 et devait se poursuivre pendant quatre ans. Un avenant modifiant la durée du contrat à quatre ans et huit mois a été signé par Electricité de Guinée (EDG) et l'IRD le 19/09/2002 conformément au décret présidentiel n° D/2001/098/PRG/SGG.

L'objectif de l'étude était d'observer un ensemble de paramètres physiques, chimiques et biologiques afin de mesurer les modifications enregistrées au cours de la phase de construction, de mise en eau et de fonctionnement du barrage. Ce suivi doit permettre de fournir aux autorités des éléments de prise de décision concernant la gestion de l'aménagement et la zone sous l'influence du barrage.

L'établissement de bilans comparatifs entre l'état du Konkouré avant et après la mise en eau du barrage a demandé la collecte d'informations sur le bassin versant et l'estuaire du Konkouré, au niveau de la retenue et sur la zone littorale marine. Les observations collectées sur le terrain et traitées pendant les quatre années d'étude sont de nature très diverses et représentent un volume important d'informations sur :

- Les précipitations et l'hydrométrie (continentale et estuarienne),
- la physico-chimie des eaux et les transports de matières en suspension,
- la sédimentologie,
- la vie aquatique,
- la cartographie.

Ce rapport, huitième rapport contractuel, marque la fin de d'étude. Il fait suite aux rapports suivants :

- Rapport d'activité de novembre 1998
- Rapport d'étape de l'année 1 de mai 1999
- Rapport d'activité de novembre 1999
- Rapport d'étape de l'année 2 de mai 2000
- Rapport d'activité de novembre 2000
- Rapport d'étape de l'année 3 de mai 2001
- Rapport d'activité de novembre 2001

II. RESUME

Ce rapport et ses annexes sont le résultat de plus de quatre années d'observations faites sur le bassin versant et l'estuaire du Konkouré et sur la retenue de Garafiri.

En 2001, sur la base des observations faites depuis 1998, une première analyse des travaux a pu être entreprise. L'état d'avancement du projet ainsi que les premiers résultats ont été présentés en mars 2001 à la Direction Générale du Projet Garafiri ainsi qu'aux structures pouvant être intéressées par l'aménagement du fleuve Konkouré. Ce séminaire de restitution à mi-parcours s'est déroulé les 12 et 13 mars 2001 à Conakry dans la salle de conférence de la Banque Centrale. Les résultats des différents volets ont pu être confrontés. Il est apparu que des opérations pouvaient être réduites ou arrêtées ainsi,

- la mesure de certains paramètres physico-chimiques (pH, oxygène, redox...) dans l'estuaire du Konkouré ne présentait que peu d'intérêt et pouvait être interrompue,
- le volet "Evolution des eaux souterraines" pouvait être considéré comme achevé pour les raisons suivantes :
  - Les nappes des vallées, qui étaient en liaison avec le lit du Konkouré, sont maintenant en position sous lacustre. Elles étaient indépendantes des systèmes aquifères des plateaux dans lesquels sont implantés les forages. Ces forages, peu nombreux, sont trop éloignés de la retenue de Garafiri pour que les observations puissent montrer une relation avec les eaux lacustres.
  - En raison de la signature tardive du projet, la campagne de prospection électrique prévue dans la première année (1998-1999) n'a pu être réalisée avant la mise en eau du barrage ; les moyens géophysiques matériels et humains de l'IRD n'étant plus disponibles. Dans ces conditions, la réalisation d'une carnpagne géophysique après la mise en eau du barrage, telle que prévue dans l'offre technique, ne présentait qu'un intérêt réduit en ce qui concerne l'impact du barrage de Garafiri sur l'évolution du biseau salé et de la qualité des eaux souterraines.

En revanche, certaines opérations ont été renforcées et des travaux non prévus initialement ont été lancés dont notamment :

- l'étude de l'évolution de la qualité des eaux dans la retenue de Garafiri,
- l'étude des marées, l'évaluation des débits et la cartographie dans l'estuaire du Konkouré,
- le suivi des principales activités socio-économiques de l'estuaire du Konkouré.

Par ailleurs, l'expérience acquise au cours des deux premières années d'étude a montré qu'il était indispensable de mieux équiper la zone d'étude. Ainsi, pour une meilleure compréhension des fonctionnements hydrologiques du bassin versant et de l'estuaire du Konkouré ainsi que de l'évolution physico-chimique de la retenue de Garafiri les équipements suivants ont été installés en 2000 et 2001 : 2 stations météorologiques, 5 stations limnigraphiques, 5 stations marégraphiques, 2 stations thermographiques.

Les principaux résultats de l'étude sont résumés ci-après.

➢ <u>Ecoulement des eaux continentales et transports solides</u>

↳ Ecoulement des eaux continentales

- Les 11 stations limnimétriques ont été étalonnées. Leurs étalonnages montrent que les stations ont été implantées au niveau de sections relativement stables (sauf la station limnimétrique K01 du Konkouré à Linsan).
- Des séquences de débits fiables et complètes sur pratiquement toutes les stations entre 1998 et 2002 sont disponibles.

- Au niveau des stations limnimétriques aucune évolution majeure des lits n'a pu être constatée. Toutefois, les reprises brutales et fréquentes d'exploitation (# 25 à # 100 m3/s) de la centrale de Garafiri, modifient probablement le lit mineur du Konkouré en aval du barrage. Soulignons que ce phénomène de chasse peut présenter un danger pour les riverains.
- Sur le tronçon du Konkouré compris entre le barrage de Garafiri et la confluence du Konkouré et de la Kakrima :
  . L'arrêt complet des écoulements entre avril 1999 et septembre 1999 a probablement eu un impact sur la vie aquatique pendant l'étiage (avril et mai) mais pour une période limitée.
  . Les arrêts fréquents d'exploitation (débit = 0 m3/s) doivent avoir des conséquences sur l'écosystème aquatique en période d'étiage.
- Il y a écrêtement des crues notamment sur le tronçon du Konkouré compris entre le barrage de Garafiri et la confluence du Konkouré et de la Kakrima.
- En saison des pluies (juillet à novembre) les modifications dues à la présence du barrage de Garafiri sur les écoulements naturels sont peu (ou pas) perceptibles sur le Konkouré en aval de la confluence avec la Kakrima en raison de l'irrégularité interannuelle.
- En saison sèche, les écoulements sont très supérieurs aux débits naturels depuis Garafiri jusqu'à l'estuaire du Konkouré. A l'étiage, l'apport supplémentaire en eau douce sur l'estuaire du Konkouré est donc particulièrement important.

↳ Transports solides en suspension

- Les concentrations de matières en suspension (MES) mesurées sont faibles sur toutes les stations y compris pendant la saison des pluies (moyennes annuelles comprises entre 6 mg/l et 10 mg/l). Les observations faites à la station K09-B montrent des concentrations relativement plus élevées dues à la proximité du chenal d'évacuation du barrage à boues du complexe de Fria.
- Les concentrations de MES mesurées dans la retenue de Garafiri (stations LG10-J, LG35-J et LG50-J) sont particulièrement faibles (inférieurs à 2 mg/l). Les plus fortes concentrations observées correspondent le plus souvent à des échantillons prélevés en profondeur. Cette augmentation apparente des concentrations serait due à la précipitation rapide du Fer dissous au contact de l'air.
- Les concentrations de MES mesurées sur la station K04-A, située à quelques centaines de mètres en aval du barrage, sont probablement surévaluées depuis la mise en eau du barrage en raison de la précipitation rapide du Fer dissous dans les échantillons.
- Pour les stations situées sur le Konkouré et en aval du barrage de Garafiri (K04-A, K07, K08, K09-A, K09-B et K11), la fréquence d'échantillonnage a été sans doute insuffisante en regard des nombreuses variations de débits imposées par l'usine hydroélectrique de Garafiri.
- Les variations quotidiennes de débits (de # 25 m3/s à # 100 m3/s) ainsi que les arrêts et les reprises brutales d'exploitation de l'usine de Garafiri ont probablement un impact non négligeable sur les transports solides en rivière : remaniement des sédiments de fond, arrachement des berges...
- Les quantités de matière en suspension ayant transité au niveau de la station K11 en 2000, 2001 et 2002 sont respectivement de 91 000 tonnes, 128 000 tonnes et 97 000 tonnes.

➢ Qualité des eaux

- Les analyses réalisées ont mis en évidence les principales caractéristiques de la physico-chimie des eaux du bassin et de la retenue de Garafiri.
- Dans le bassin, la principale caractéristique est la faible minéralisation de l'eau des rivières, avec en corollaire l'utilité des mesures de conductivité pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau (exemple des mesures en aval de Fria).
- Dans la retenue, la structure verticale de la colonne d'eau, avec une couche profonde anoxique, conditionne la biologie du lac et la répartition des organismes. La faible teneur en éléments nutritifs limite le développement des microalgues, mais les poissons peuvent utiliser la production primaire des algues épiphytes sur les troncs d'arbres immergés ou benthiques dans les zones de bordure.
- Durant ces premières années de fonctionnement, l'eau prélevée pour la production hydroélectrique est le plus souvent anoxique. Par contre, elle peut poser des problèmes de colmatage des filtres de l'eau de refroidissement des axes de turbines. Il semble en effet que cette eau soit en partie réoxygénée à un stade de son parcours, et peut être par la colonne amortisseur.
- En aval du barrage, la turbulence favorise une réoxygénation rapide de l'eau, et la qualité de l'eau peut être considérée comme bonne à environ 15-20 km du barrage. L'environnement aquatique est cependant perturbé sur une distance importante du fait des fluctuations rapides des débits (alternance jour-nuit) résultant du cycle de la production électrique qui répond à la demande urbaine.

➢ Hydrodynamique et Evolution sédimentaire de l'estuaire du Konkouré

- Les paramètres hydrodynamiques (courants de marée et fluviaux) ainsi que les paramètres physiques (morphologie et nature des fonds) et hydrologiques (salinité, température, matières en suspension) ont été suivi sur deux échelles de temps, l'une bimensuelle soulignant les effets de la marée, et l'autre annuelle soulignant le régime du fleuve (étiage ou crue).
- Les campagnes de mesures réalisées constituent une base de données importante.
- Les impacts du barrage sont difficiles à mettre en évidence de façon directe car ils sont forts peu marqués quand ils existent.
- En saison des pluies il y a un effet de chasse des sédiments de l'estuaire qui sont expulsés sur le plateau continental. La partie amont de l'estuaire a un type de fonctionnement strictement fluvial.
- En saison sèche, la marée réintroduit des sédiments dans l'estuaire qui vont migrer vers l'amont.
- Il y a une grande variabilité du système estuarien due aux débits fluviaux et aux conditions météorologiques. Les impacts les plus significatifs du barrage de Garafiri se manifestent en estuaire supérieur en période d'étiage où on assiste à un recul significatif du front salin.
- En étiage, les débits restitués du barrage engendrent une intensification des courants de jusant dans les parties amont et médianes de l'estuaire, ainsi qu'un léger rallongement de la durée du jusant en amont.
- Sur les 8 sections de référence et sur 3 années d'observation, aucune évolution significative n'a été observée sur les profils en travers pouvant traduire un changement majeur du régime morphodynamique de l'estuaire. Lorsque des variations ont été observées, celles-ci ne sont pas pour autant significatives et demeurent modestes.
- Les phénomènes naturels paroxysmaux (courant, houle, vent, crue...) ont certainement beaucoup plus de conséquences sur la morphologie de l'estuaire et du littoral qu'en a eu l'aménagement hydroélectrique de Garafiri depuis 1998. En revanche, les effets de l'aménagement et de son exploitation peuvent, à long terme, avoir des impacts irréversibles sur le milieu.

➢ Suivi des impacts socio-économiques dans l'estuaire du Konkouré

- Les résultats sont issus d'enquêtes auprès des populations, de campagnes de relevés sur site et de questionnaires types validés par des consultants de diverses spécialités et réajustés. Le but de ces travaux était de suivre les ressources exploitées dans l'estuaire, leur rendement, les méthodes de production mais aussi l'utilisation et la qualité des terres agricoles.
- L'impact du fonctionnement du barrage de Garafiri concerne essentiellement les parties supérieures et médianes de l'estuaire. Dans ces zones, on observe une nette amélioration de la production du riz, l'abandon de l'extraction du sel auparavant peu pratiquée et la modification de la répartition des ressources halieutiques (poissons et huîtres).
- De manière générale, les populations considèrent ces modifications comme positives en terme de bilan, bien qu'elles aient signalé la multiplication des contraintes liées à l'exploitation des ressources.
- En estuaire inférieur où la saliculture et la pêche sont davantage pratiquées, les changements observés ne compromettent que très peu ces activités.

➢ Vie aquatique

↳ Les poissons continentaux et estuariens

- La modification des conditions de milieu et ses conséquences possibles sur les poissons se situent dans la retenue, dans le cours du Konkouré à l'aval du barrage, et dans l'estuaire où les débits d'étiage ont nettement augmenté.
- Les résultats sont issus de pêches expérimentales effectuées sur 7 stations du bassin versant et 4 stations de l'estuaire du Konkouré entre avril 1999 et janvier 2002.
- Cinquante deux espèces ont été rencontrées en rivière et 64 dans l'estuaire. Leur répartition au cours du temps et dans les différentes stations a été analysée en tenant compte des caractéristiques biologiques des principales espèces et en comparant les résultats avec les données publiées pour d'autres milieux continentaux ou estuariens de l'Afrique de l'Ouest.
- Un indice d'intégrité biotique du peuplement de poissons (Index of Biotic Integrity, ou IBI) a été mis au point pour le bassin du Konkouré lors d'une étude antérieure (Hugueny et al 1996) et son efficacité a été testée dans le cadre de l'étude d'impact de la pollution d'une usine de traitement de la bauxite. Pour augmenter la sensibilité de l'IBI aux perturbations particulières induites par un barrage hydroélectrique de nouvelles métriques susceptibles de rendre compte de l'intensité de la reproduction et du recrutement des juvéniles ont été utilisées. Ce nouvel indice a été utilisé pour comparer l'évolution du peuplement de poissons dans des localités soumises à l'effet direct du barrage avec celle observée dans des localités situées sur des affluents hors de l'influence hydrologique du barrage. Il a été constaté que la variabilité naturelle masque les éventuels effets du barrage au cours des premières années après la mise en eau. L'impact le plus notable du barrage reste donc la constitution d'un peuplement lacustre qui donne lieu à une pêche active.
- Dans l'estuaire, les résultats obtenus indiquent que quelques espèces d'eau douce, comme *Lates niloticus*, sont capturées un peu plus à l'aval dans l'estuaire qu'avant la construction du barrage, ce qui pourrait être en relation avec l'augmentation du débit d'étiage et une dessalure dans l'amont de l'estuaire. Cependant, les précipitations sur le bassin au cours des années 1999 et 2001 ont été très différentes, et la variabilité naturelle se superpose donc à la modification plus durable due au barrage.
- Les données obtenues ne permettent pas de mettre en évidence une modification à court terme de la répartition des espèces pêchées dans le lac et dans le bassin après la mise en œuvre du barrage.

↳ Les peuplements d'huîtres dans l'estuaire du Konkouré

- Une étude de juillet 1992 (CERESCOR) indique que les huîtres vivantes étaient présentes dans l'ensemble de l'estuaire du Konkouré. La répartition des huîtres au cours de la période 1999 – 2002 est différente ; différence qui pourrait être mise en relation avec la construction et l'exploitation du barrage de Garafiri.
- Outre la variabilité d'une population d'huîtres au cours du temps, il existe également une forte variabilité d'une même station. Mais le passage d'une colonie bien développée à une absence d'huîtres vivantes est, par contre, sans ambiguïté. La répétition des campagnes a permis de préciser la persistance dans le temps des observations réalisées.
- Trois zones principales ont été reconnues : l'estuaire supérieur (en amont de Kakounssou) où les huîtres ont disparu dès mars 2000, la zone intermédiaire (entre Kakounssou et l'île de Bokhinéné) où elles sont rapidement devenues rares avant de disparaître en décembre 2001, et la zone aval de l'estuaire y compris la Bouramaya qui ne semble pas avoir été affectée par les changements.
- La disparition en mars 2000 des huîtres de la zone amont de l'estuaire peut être la conséquence d'une baisse de la salinité dans cette zone au cours de la saison sèche ; baisse de salinité due à l'exploitation de l'usine de Garafiri (accroissement des débits d'étiage).

III. LE PERSONNEL

L'équipe de l'IRD affectée au projet a été composée de 8 agents expatriés.

Quatorze chercheurs, techniciens et ingénieurs de quatre structures guinéennes ont participé à l'étude :

- Le Centre de Recherche Scientifique de Conakry Rogbane (CERESCOR),
- le Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura (CNSHB),
- la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH),
- la Direction Nationale de la Météorologie (DNM).

III.1. ASSISTANCE TECHNIQUE PERMANENTE IRD

Consciente de l'importance de l'étude de l'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire et le bassin versant du Konkouré, compte tenu de l'ampleur du projet, des obligations contractuelles, de l'intérêt scientifique de l'étude et dans un souci d'une meilleure efficacité, la Direction de l'IRD après accord de la DGPG, à fait l'effort de renforcer ses effectifs en Guinée par l'affectation de 8 agents expatriés : 2 chercheurs, 1 ingénieur, 3 techniciens, 1 CSN et 1 volontaire civil.

Nom	Spécialité / Date d'affectation
Luc Ferry	Chercheur hydrologue, Affecté à Conakry le 19 août 1999 Chef de projet, depuis le 1er juin 2000.
Jean Luc Saos	Chercheur hydrogéologue, Chef de projet du 23 mai 1998 au 31 mai 2000 A quitté la Guinée le 15 décembre 2000
Michel Carn	Ingénieur géologue Affecté à Conakry le 02 juin 1999
Marc Berthelot	Hydrologue Affecté, à Conakry le 1er juillet 1998
Didier Martin	Technicien Affecté à Conakry le 8 juin 1999
Nadine Muther	Technicienne Affectée à Conakry le 6 juillet 2000
Jean Baptiste Richard	CSN, environnementaliste Affecté en Guinée le 27 septembre 2000 au 15 octobre 2001
Sylvain Capo	Volontaire Civil Affecté en Guinée le 28 mai 2002

III.2. ASSISTANCE TECHNIQUE EN MISSION D'APPUI

Nom	Spécialité	Date de mission
Pierre Chevallier	Chercheur à l'IRD, Chargé de mission auprès du département "Milieu et Environnement" de l'IRD	11/03/2001 au 16/03/2001
Luc Ferry	Chercheur à l'IRD	23/11/1998 au 08/12/1998
Patrick Le Goulven	Chercheur à l'IRD, Directeur de l'Unité "Dynamique Impact et Valorisation des Hydro-Aménagements" de l'IRD	Janvier 2000 11/03/2001 au 16/03/2001

Jacques Lemoalle	Chercheur à l'IRD	Mai 1999 Janvier 2000 23/10/2000 au 06/11/2000 27/02/2001 au 14/03/2001 09/07/2001 au 21/07/2001 25/02/2002 au 08/03/2002 28/11/2002 au 05/12/2002
Nadine Muther	Technicienne à l'IRD	13/12/1999 au 21/12/1999 09/05/2000 au 20/05/2000
Bernard Hugueny	Chercheur à l'IRD	Mai 1999
Jean Paul Barusseau	Professeur à l'Université de Perpignan	04/11/1998 au 18/11/1998 29/01/2000 au 12/02/2000 14/02/2001 au 03/03/2001
Dominique Cataliotti	Ingénieur BCEOM	05/02/2001 au 13/03/2001
Jean Michel Sionneau	Ingénieur BRLi	21/11/1998 au 28/11/1998
Sandrine Chapuis	Ingénieur BRLi	Juin 1999 Octobre 1999 05/02/2001 au 13/03/2001
Viveca Norstrom-Fonteneau	Informaticienne	Juin 1999
Loïc Trébaol	Hydrobiologiste	Mai 1999
Eric Baran	Ichtyologue	Mai 1999
Sylvain Capo	Stagiaire à l'Université de Perpignan/Bordeaux	14/02/2001 au 14/04/2001
Victor Aphonso	Stagiaire à l'Université de Bourgogne	Mai-Août 1998

III.3. EXPERTS ET CONSULTANTS NATIONAUX

III.3.a. Centre de Recherche Scientifique de Conakry Rogbane (CERESCOR)

Nom	Spécialité
Bah Mamadou Oury	Chercheur sédimentologue
Diané Ibrahima	Chercheur hydrologue
Camara Morlaye	Chercheur hydrologue
Diallo Mamadou Baïlo	Chercheur benthologue
Camara Selly	Chercheur biologiste (spécialiste des huîtres)
Keïta Ansoumane	Chercheur biologiste (spécialiste du zooplancton)
Haba Raymond Charles	Chercheur biologiste (spécialiste du phytoplancton)
Samoura Karim	Chercheur environnementaliste
Balde Mountaga	Technicien biologiste
Diaré Ibrahima Sory	Technicien biologiste

III.3.b. Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura (CNSHB)

Nom	Spécialité
Camara Sékou	Chercheur Ichtyologue
Samoura Baïdi	Technicien Ichtyologue

III.3.c. Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH)

Nom	Spécialité
Conté Amara	Technicien hydrologue

III.3.d. Direction Nationale de la METEOROLOGIE (DMN)

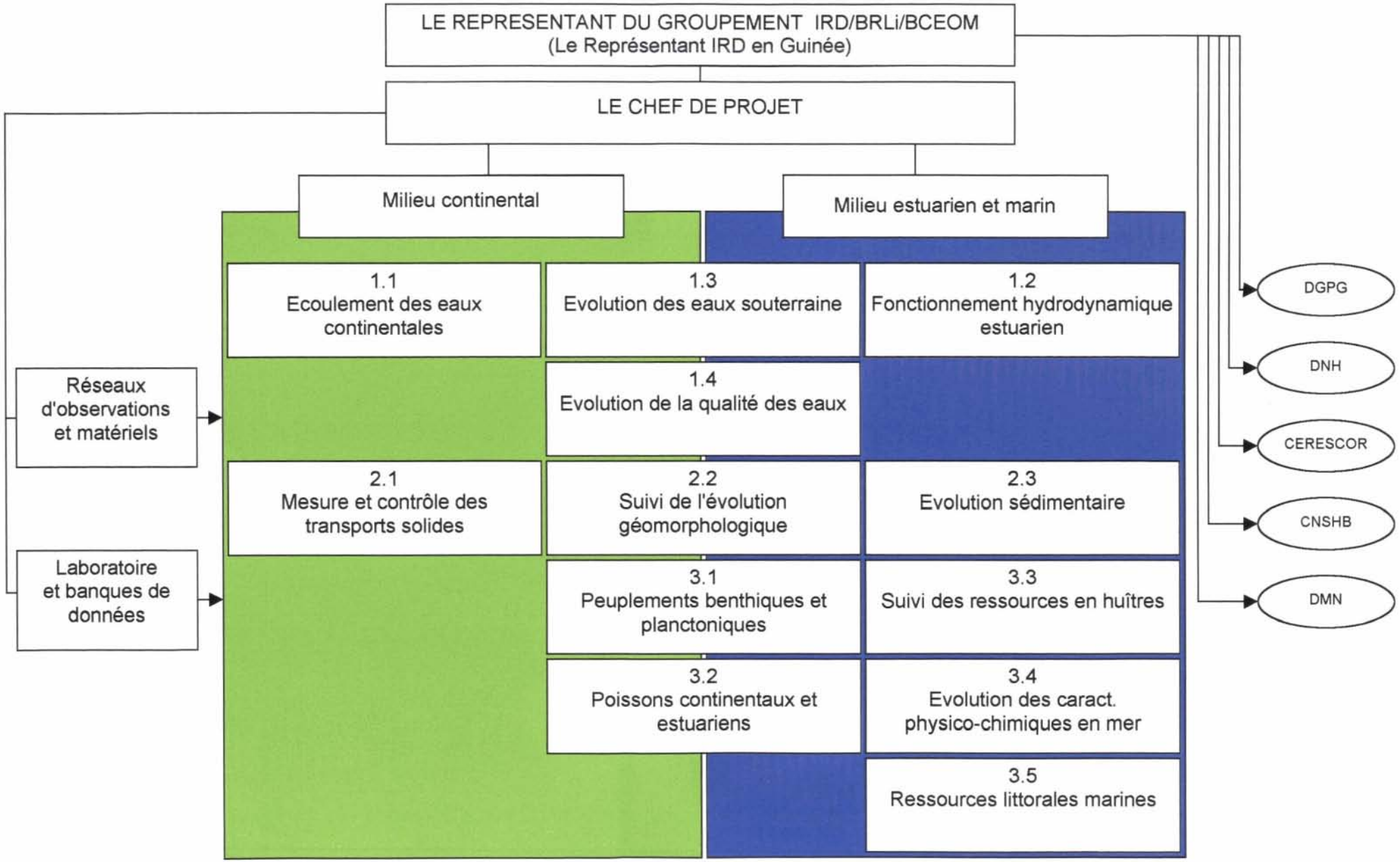
Nom	Spécialité
Soumah Seny	Ingénieur agro-météorologiste

III.4. PERSONNEL DE RECRUTEMENT LOCAL TEMPORAIRE

Nom	Fonction
Bah Mamadou Lamarana	Chauffeur
Camara Aliou	Chauffeur
Diallo Youssouf	Chauffeur
Diallo Mamadou	Manœuvre
Diallo Mamadou Saliou	Manœuvre
Naby Sylla	Laborantin
Ibrahima Camara	Marin
Mamadouba Soumah	Marin
Seïdouba Soumah	Pêcheur
Moussa Sidibé	Pêcheur

III.5. OBSERVATEURS DE STATIONS HYDRO-CLIMATOLOGIQUES

Nom	Station
Keïta Yaya	Observateur de station hydro-climatologique (K01)
Condé Ibrahima Sory	Observateur de station hydro-climatologique (K04)
Thierno Amadou Oury Barry	Observateur de station hydro-climatologique (K04)
Diallo Abdoulaye	Observateur de station hydro-climatologique (K05)
Bah Ibrahima	Observateur de station hydro-climatologique (K06)
Bah Souleymane	Observateur de station hydro-climatologique (K07)
Camara Mouktar	Observateur de station hydro-climatologique (K08)
Camara Fodé	Observateur de station hydro-climatologique (K09)
Camara Alseny	Observateur de station hydro-climatologique (K10)
Camara El-Hadj Daouda	Observateur de station hydro-climatologique (K11)
Camara Abdoulaye	Observateur de station pluviométrique (K12)
Camara Sidiki	Observateur de station pluviométrique (K12)
Fagouly Sylla	Observateur de station pluviométrique (K15)


LE REPRESENTANT DU GROUPEMENT IRD/BRLi/BCEOM
(Le Représentant IRD en Guinée)
LE CHEF DE PROJET
Milieu continental
Milieu estuarien et marin
1.1
Ecoulement des eaux continentales
1.3
Evolution des eaux souterraine
1.2
Fonctionnement hydrodynamique estuarien
1.4
Evolution de la qualité des eaux
2.1
Mesure et contrôle des transports solides
2.2
Suivi de l'évolution géomorphologique
2.3
Evolution sédimentaire
3.1
Peuplements benthiques et planctoniques
3.3
Suivi des ressources en huîtres
3.2
Poissons continentaux et estuariens
3.4
Evolution des caract. physico-chimiques en mer
3.5
Ressources littorales marines
Réseaux d'observations et matériels
Laboratoire et banques de données
DGPG
DNH
CERESCOR
CNSHB
DMN

ECOULEMENT DES EAUX CONTINENTALES ET TRANSPORTS SOLIDES

I. ECOULEMENT DES EAUX CONTINENTALES

I.1. INTRODUCTION

Le présent rapport est une mise à jour des observations hydrologiques collectées dans le cadre du PIG depuis 1998.

Dans les annexes sont donnés pour chaque station :

- Sa description et son historique,
- la liste des jaugeages,
- les étalonnages,
- les hauteurs d'eau instantanées,
- les débits instantanés, journaliers et mensuels.

I.2. OBSERVATIONS HYDROLOGIQUES

Les travaux réalisés dans le cadre du volet "Ecoulement des eaux continentales" ont fait intervenir près d'une vingtaine de personnes dont 2 agents expatriés de l'IRD et 1 agent de la DNH.

Les 9 observateurs de station limnimétrique ont occupé un rôle essentiel en ce qui concerne la collecte des données de base (lecture des échelles limnimétriques).

I.2.a. Le réseau d'observation hydrologique

Depuis 1998, en collaboration avec la DNH, des mesures de débit et des observations de hauteur d'eau ont été effectuées au niveau de 14 points situées sur le Konkouré, la Kokoulo, la Kakrima et la Badi (Figure 1 et Tableau 1). Sur les 12 stations hydrométriques suivies régulièrement, 9 appartiennent au réseau national d'observation hydrologique.

Les stations K04-A, K05, K06, K07 et K08 ont été équipées de limnigraphes de type CHLOE dans le début des années 1990. Ces appareils sont actuellement hors d'usage ou non fonctionnels.

Le réseau d'échelles limnimétriques, bien que vérifié et rénové en 1998, a fait l'objet de nombreuses réparations pendant la saison sèche 1999/2000 (K04, K05, K07, K10 et K11).

En raison de l'intensité des averses et de leur répartition, les observations des échelles limnimétriques deux fois par jour sont peu adaptées à la taille de certains bassins versants (rapidité des crues) : K01 notamment (402 km2) et K06 (2261 km2) dans une moindre mesure. Par ailleurs, ce type d'observation est devenu insuffisant pour les stations situées à l'aval du barrage de Garafiri (K04-A, K07, K08 et K11). Elles ne peuvent prendre en compte toutes les variations de débit imposées par la centrale hydroélectrique. Enfin, l'étude du fonctionnement hydrologique et géochimique de la retenue de Garafiri a demandé un contrôle plus précis des débits entrants et restitués.

Les travaux suivants ont donc été effectués :

- Trois stations limnimétriques, équipées d'enregistreurs, ont été crées en 2000 pour les besoins de l'étude : K02-B, K04-O et K04-E.
- trois limnigraphes ont été installés en 2000 et 2001 au niveau des stations K01, K04-A et K11.

Depuis 1998, les observations limnimétriques ont été effectuées deux fois par jour (à 8h00 et 18h00) de manière correcte par des observateurs du PIG. Quelques erreurs systématiques ont cependant pu être détectées et corrigées.

La périodicité du contrôle des stations et des observateurs, tous les 1 à 2 mois, s'est avérée très suffisante.

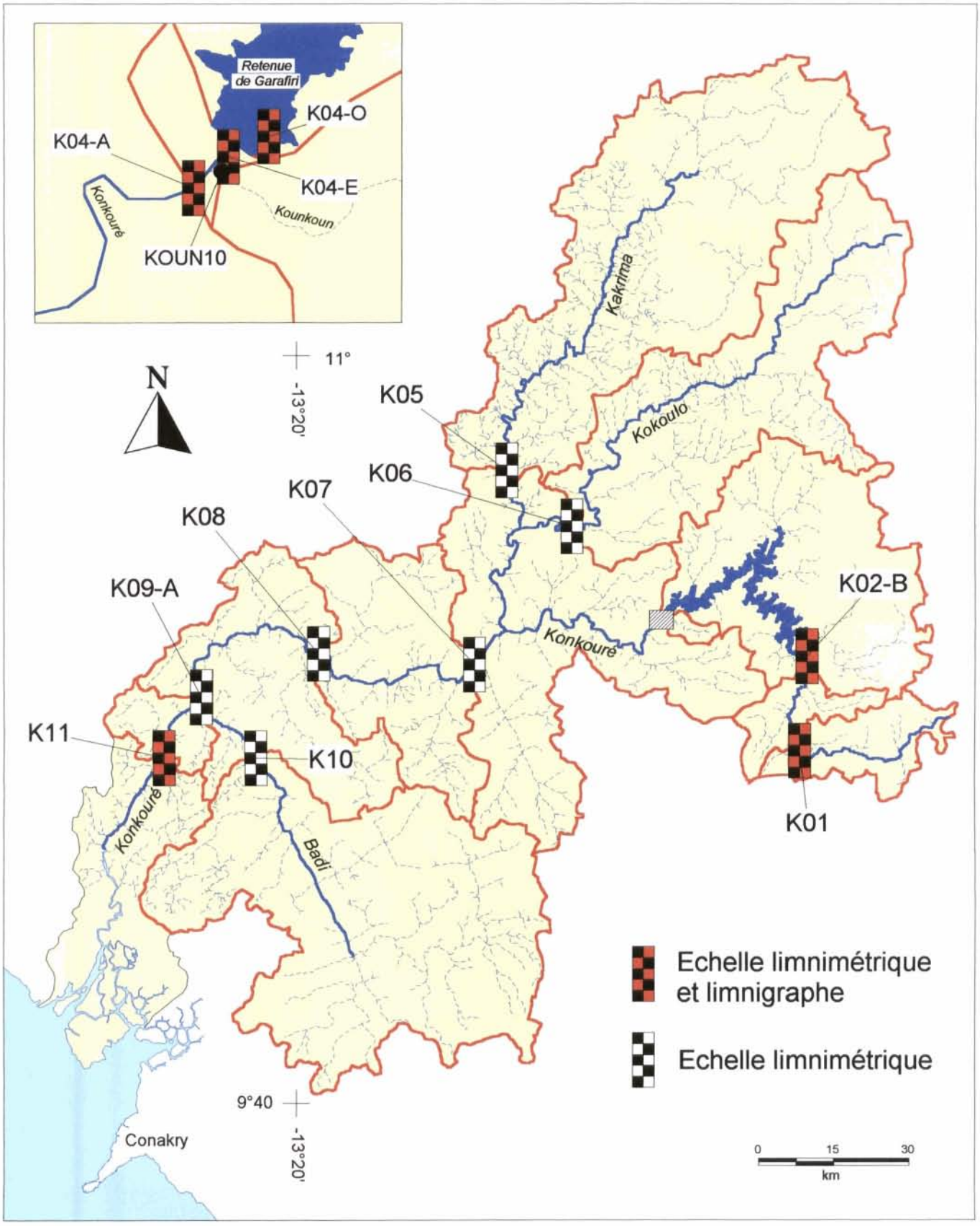


Figure 1 : Carte de localisation des stations hydrométriques

Code PIG	Nom de station	Code hydro. (117)	Latitude	Longitude	Altitude (m)	BV (km^2)	Barr. (km)	Enreg.	Lecture échelle	Jaug.	Débits
K01	KONKOURE RIV. - PONT DE LINSAN	5000109	+10°17'30"	-012°24'59"	(400)	402	-	✓	✓	✓	✓
K02	KONKOURE RIV. - KOYOMBO	5000130	+10°30'08"	-012°25'14"	(326)	1250	-			✓	
K02-B	KONKOURE RIV. – AMONT RETENUE GARAFIRI	5000131	+10°27'38"	-012°24'12"	(370)	671	-	✓		✓	✓
K04-A	KONKOURE RIV. - AVAL KOUNKOUN	5000108	+10°31'26"	-012°39'59"	(283)	2510	0.76	✓	✓	✓	✓
K04-E	GARAFIRI BARRAGE - AVAL TURBINES	5000185	+10°31'32"	-012°39'48"	(284)		-	✓		✓	✓
K04-O	GARAFIRI BARRAGE – TOUR DE PRISE (NIVEAU LAC)	5000180	+10°31'43"	-012°39'57"	(350)	2460	-	(✓)			
K05	KAKRIMA RIV. – KABA	5002207	+10°47'37"	-012°56'58"	(275)	3190	-		✓	✓	✓
K06	KOKOULO RIV. – NIANSO	5004003	+10°41'36"	-012°49'53"	(225)	2260	-		✓	✓	✓
K07	KONKOURE RIV. - PONT DE TELIMELE	5000105	+10°26'45"	-013°00'32"	(170)	10210	62.8		✓	✓	✓
K08	KONKOURE RIV. - KALETA CIRQUE	5000112	+10°27'57"	-013°17'35"	(100)	11420	105		✓	✓	✓
K09-A	KONKOURE RIV. - FRIA POMPAGE	5000103	+10°23'18"	-013°30'24"	(20)	15970	147		✓	✓	✓
K10	BADI RIV. - BAC DE BADI	5001201	+10°16'46"	-013°24'27"	(40)	3220	-		✓	✓	✓
K11	KONKOURE RIV. - YEKEMATO	5000102	+10°16'46"	-013°34'31"	(10)	16210	163	(✓)	✓	✓	✓
KOUN10	KOUNKOUN RIV. - CONFLUENCE KONKOURE	5001001	+10°31'28"	-012°39'54"	(283)	42.5	-			✓	

Tableau 1 : Codification des stations hydrométriques

I.2.b. Jaugeage, étalonnage des stations et traitement des données de base

La banque de données hydrométriques a été mise systématiquement à jour dès réception des observations de terrain au moyen du logiciel HYDROM2 de l'IRD.

Le fichier des jaugeages comporte 341 jaugeages dont 124 exécutés depuis 1998. Les courbes d'étalonnage ont fait l'objet d'une vérification systématique. Les jaugeages exécutés au cours de la saison des pluies 2000 ont permis de corriger et de valider tous les étalonnages utilisés.

Station	Période 1949-2002				Période 1998-2002			
	S/période	nb. Jaug.	Gamme de débit (m3/s)		S/période	nb. Jaug.	Gamme de débit (m3/s)	
K01	1954-2001	61	0.000	102	1998-2001	15	0.103	56.8
K02	1999-1999	1	0.002	0.002	1999-1999	1	0.002	0.002
K02-B	2000-2001	11	4.45	102	2000-2001	11	4.45	102
K04-A	1988-2000	24	0.46	345	1998-2000	10	34.1	290
K04-E	2000-2000	4	31.1	41.4	2000-2000	4	31.1	41.4
K05	1988-2001	25	2.42	374	1998-2001	12	8.77	374
K06	1954-2001	29	0.758	414	1998-2001	10	4.22	302
K07	1952-2001	68	5.30	2650	1998-2001	11	33.9	1190
K08	1952-2001	40	6.06	1720	1998-2001	14	74.2	903
K09-A	2000-2000	8	105	1140	2000-2000	8	105	1140
K10	1949-2001	27	8.40	1260	1998-2001	13	13.1	413
K11	1953-2001	42	85.4	5130	1998-2001	14	85.4	1850
KOUN10	1999-1999	1	6.31	6.31	1999-1999	1	6.31	6.31
		341				124		

Tableau 2 : Inventaire des jaugeages

Station	Période de validité des étalonnages
K01	1/ du 01/01/1954 à 00h00 au 31/12/1958 à 24h00
	2/ du 01/01/1970 à 00h00 au 03/09/1988 à 18h00
	3/ du 03/09/1988 à 18h01 au 31/12/2003 à 24h00
K02-B	1/ du 01/01/2001 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K04-A	1/ du 01/01/1988 à 00h00 au 31/12/1997 à 24h00
	2/ du 01/01/1998 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K04-E	1/ du 01/01/2000 à 00h00 au 01/10/2000 à 05h59
K05	1/ du 01/01/1988 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K06	1/ du 01/01/1954 à 00h00 au 31/12/1954 à 24h00
	2/ du 01/01/1988 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K07	1/ du 01/01/1954 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K08	1/ du 01/01/1952 à 00h00 au 31/12/1955 à 24h00
	2/ du 01/01/1995 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K09-A	1/ du 01/01/1957 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K10	1/ du 01/01/1957 à 00h00 au 31/12/1977 à 24h00
	2/ du 01/01/1984 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
K11	1/ du 01/01/1953 à 00h00 au 31/12/2003 à 24h00
Nombre d'étalonnage : 17	

Tableau 3 : Inventaire des étalonnages

La banque de données relative à l'étude et au volet "Ecoulement des eaux continentale" est relativement volumineuse. Elle comporte :

- 341 jaugeages,
- 17 étalonnages,
- 627183 couples date-heure/cote.

I.3. LE RESEAU D'OBSERVATION PLUVIOMETRIQUE ET CLIMATOLOGIQUE

Un réseau de 7 pluviomètres de type "Association tropicalisé" (1,5 m/sol, bague de 400 cm^2, éprouvette de 8 mm) a été installé entre octobre 1999 et janvier 2000.

Les pluviomètres ont été implantés à proximité des stations hydrologiques (voir précédemment). Les observations sont effectuées à # 07h00 et # 17h00 par les lecteurs de ces stations.

Ces appareils ayant été installés pendant la saison sèche 1999-2000 (pluviométrie # 0 mm), les quelques observations collectées ne sont pas présentées ci-après.

Code PIG	Nom
PL-K01	Linsan
PL-K04-O	Lac Garafiri à la tour de prise
PL-K05	Kakrima à Kaba
PL-K06	Kokoulo à Nianso
PL-K07	Konkouré au pont de Télimélé
PL-K08	Konkouré à Kaléta
PL-K10	Badi au bac
PL-K11	Konkouré à Yékémato

I.4. LA RETENUE DE GARAFIRI

I.4.a. Carte bathymétrique et courbe de capacité

La carte bathymétrique de la retenue a été tracée à partir du fond topographique produit par ENELGUI –COYNE ET BELIER sur la base des travaux effectués par l'IGN en 1987. La remise en forme de ce document sous le SIG MAPINFO a montré que le levé topographique est incomplet dans certains secteurs (tête de bassin versant notamment) et peu précis au niveau de l'ancien lit du Konkouré (Figure 3).

Des observations bathymétriques complémentaires sont encore nécessaires pour compléter cette carte et confirmer les courbes Hauteur/Surface et Hauteur/Volume présentées ci-après ainsi que les résultats qui en découlent.

Le planimétrage des courbes de niveau, équidistantes de 5 m, a permis le tracé de la courbe Hauteur/Superficie et par intégration de celle-ci le tracé de la courbe Hauteur/Volume (Figure 2 et Tableau 4).

A sa cote de déversement, soit 350 m, les principales caractéristiques de la retenue de Garafiri sont les suivantes :

- Longueur du bras principal : 63 km
- Superficie : 79 km2
- Profondeur moyenne : 20 m
- Profondeur maximale : 66 m
- Volume utile : 1,2 milliard de m3

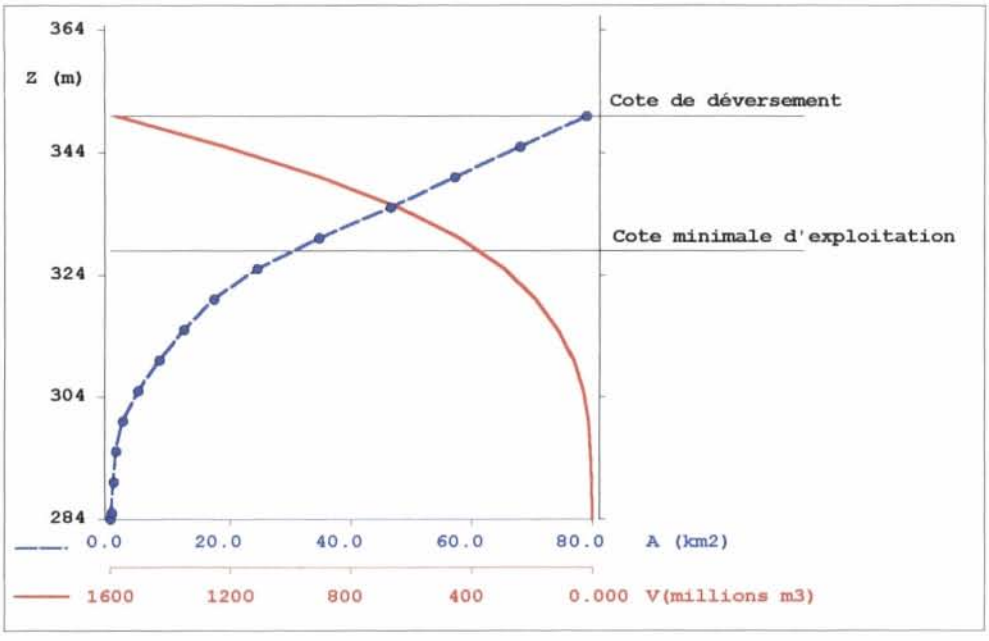


Figure 2 : Courbes Hauteur/Surface et Hauteur/Volume de la retenue de Garafiri

Cote (m)	Superficie (km2)	Volume (millions m^3)	
350	78.873	1580	Cote de déversement (350 m)
348	74.505	1430	1201 millions m3
346	70.138	1290	
344	65.785	1150	
342	61.445	1030	
340	57.105	899.952	
338	52.878	796.310	
336	48.650	692.669	
334	44.155	600.263	
332	39.394	519.094	
330	34.633	437.925	
328	30.517	378.950	Cote minimal d'exploitation (328 m)
326	26.400	319.974	
324	22.924	269.691	
322	20.086	228.100	Sommet de prise (323 m)
320	17.249	186.509	
318	15.244	157.022	
316	13.240	127.536	
314	11.417	102.605	
312	9.777	82.231	
310	8.137	61.857	
308	6.732	49.095	
306	5.327	36.334	
304	4.118	26.595	Seuil de prise (305 m)
302	3.105	19.879	
300	2.092	13.162	
298	1.633	10.126	
296	1.174	7.089	
294	0.862	4.832	
292	0.697	3.355	
290	0.532	1.878	
288	0.392	1.164	
286	0.253	0.45	
284	0	0	

Tableau 4 : Barèmes Hauteur/Surface et Hauteur/Volume de la retenue de Garafiri

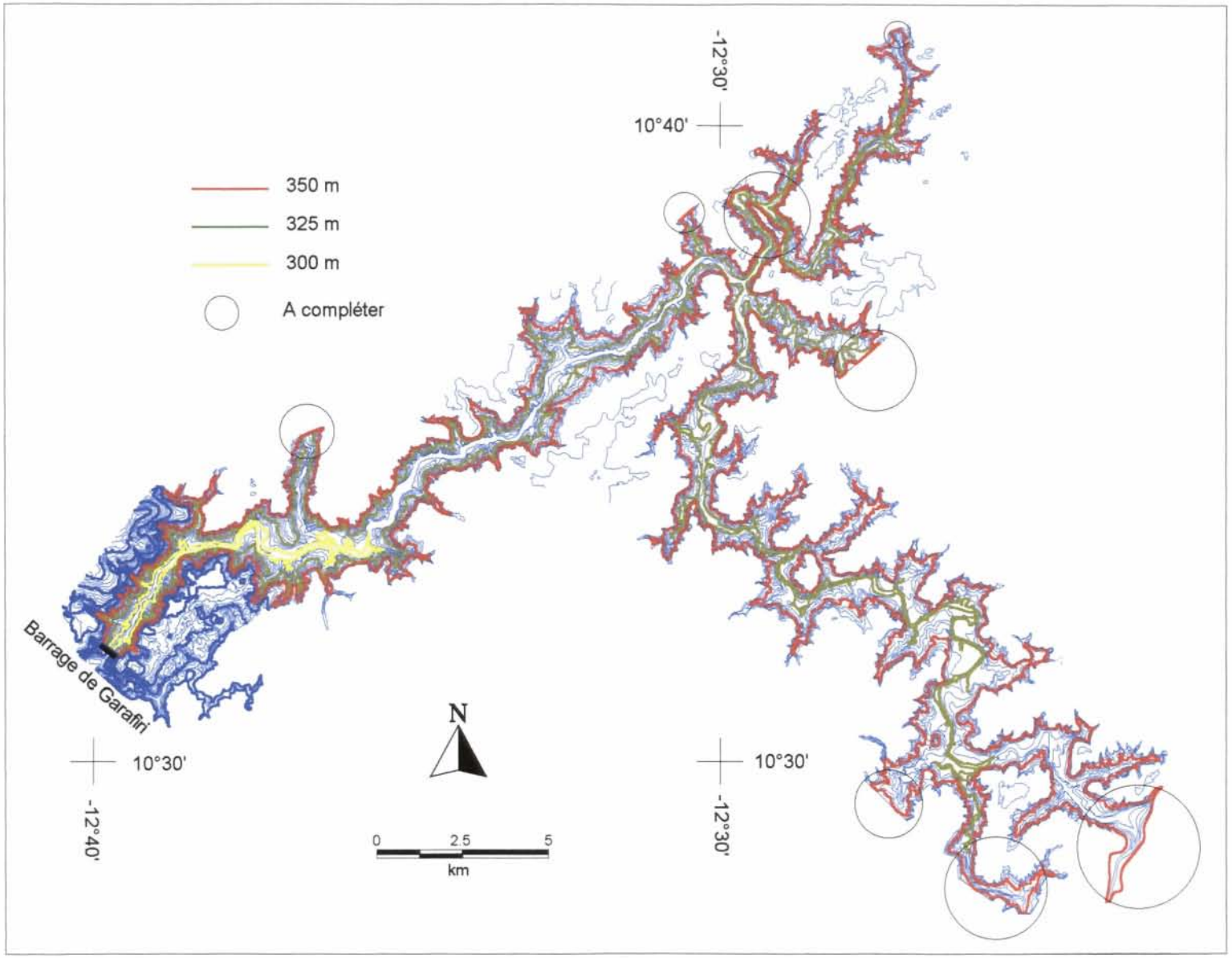


Figure 3 : Carte topographique de la cuvette de Garafiri (d'après carte ENELGUI – Coyne et Belier – 1987)

I.4.b. Observations limnimétriques

Depuis sa mise en eau, le 24 avril 1999, la retenue de Garafiri a déversé à 3 reprises :

- Entre le 15 septembre 1999 et le 1er décembre 1999
- Entre le 1er octobre 2000 et le 14 novembre 2000
- Entre le 26 septembre 2001 et le 11 novembre 2001

Les cotes minimales atteintes ont été les suivantes :

- 336,74 m le 5 juillet 2000
- 333,83 m le 12 juillet 2001
- 328,51 m le 3 juillet 2002

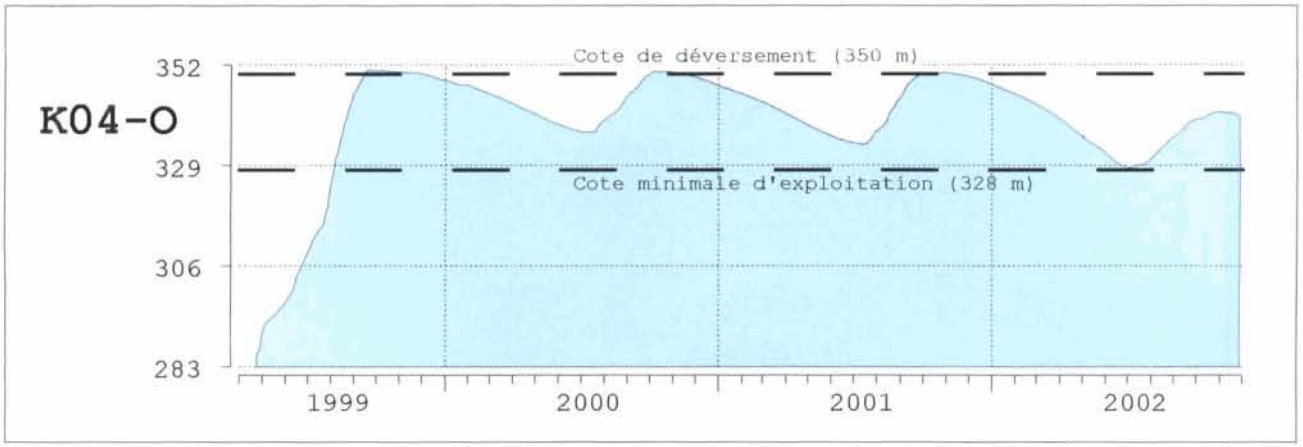


Figure 4 : Niveau de la retenue de Garafiri du 24/04/1999 au 20/03/2001

I.5. RESULTATS ET CONCLUSION

- L'examen des étalonnages montre que les stations présentent des sections relativement stables (sauf K01). Toutes les stations ont été étalonnées.
- Pour les stations situées à l'aval du barrage et non équipées d'enregistreur, la lecture des échelles limnimétriques 2 fois par jour (à # 08h00 et # 18h00) ne peut évidemment pas prendre en compte les nombreuses et brutales variations de débit imposé par l'usine hydroélectrique de Garafiri. Les plus importantes de ces variations ayant lieu en début de soirée et dans la nuit, il est probable que les débits obtenus sont inférieurs à la réalité.

  De manière générale, et compte tenu des remarques précédentes, les débits moyens mensuels et journaliers présentés ci-après et dans les annexes doivent être utilisés avec prudence.
- Sur les quatre années d'observation la saison des pluies la plus importante du point de vue des débits a été 1999 sur l'ensemble des stations. L'année 2002 aura été la moins forte mais avec des débits relativement importants et tardifs en octobre.
- En saison des pluies (juillet à novembre) les modifications dues à la présence du barrage de Garafiri sur les écoulements naturels sont peu (ou pas) perceptibles en raison de l'irrégularité interannuelle. En revanche, les débits de la saison sèche (décembre à juin) connaissent d'importantes modifications sur l'ensemble des stations du Konkouré situées à l'aval du barrage. Ainsi, à la station K11 (Yékémato), dernière station avant l'estuaire du Konkouré, l'augmentation des débits due au fonctionnement de l'usine hydroélectrique de Garafiri représentait de 25% à 193% des débits de

Yékémato entre janvier et juin 2000 (Figure 10). Ce rapide calcul a été effectué en prenant :

- Comme débits turbinés, la moyenne des débits observés en aval de l'usine hydro-électrique de juin 2000 à février 2001 ; soit 64 m3/s,
- comme débits naturels à Garafiri, les moyennes mensuelles observées à la station K04-A entre 1989 et 1998

A l'étiage, l'apport supplémentaire en eau douce sur l'estuaire du Konkouré est donc particulièrement important.

	K04-A (Garafiri) Moyenne 1989-1998 (m^3/s)	K11 2000 (m^3/s)	K11 Augmentation des débits en 2000 (%)
Janvier	11.7	138	61
Février	4.42	110	118
Mars	1.12	95.5	193
Avril	0.492	107	146
Mai	3.96	117	105
Juin	17.8	229	25

Tableau 5 : Estimation de l'augmentation des débits à la station K11 en 2000

IMPACTS DE L'AMENAGEMENT DE GARAFIRI

- En saison sèche, les écoulements sont très supérieurs aux débits naturels depuis Garafiri jusqu'à l'estuaire du Konkouré.

- Il y a écrêtement des crues notamment sur le tronçon du Konkouré compris entre le barrage de Garafiri et la confluence du Konkouré et de la Kakrima.

- Sur le tronçon du Konkouré compris entre le barrage de Garafiri et la confluence du Konkouré et de la Kakrima :
  - L'arrêt complet des écoulements entre avril 1999 et septembre 1999 a peut-être eu un impact sur la vie aquatique pendant l'étiage (avril et mai).
  - Les arrêts fréquents d'exploitation (débit = 0 m^3/s) pourraient également avoir des conséquences sur l'écosystème aquatique en période d'étiage.

- Les reprises brutales d'exploitation (# 25 à # 100 m3/s) peuvent présenter un danger pour les riverains en aval du barrage. Ce phénomène de chasse modifie probablement le lit mineur du Konkouré en aval du barrage (arrachement des berges, remise en suspension des sédiments...).

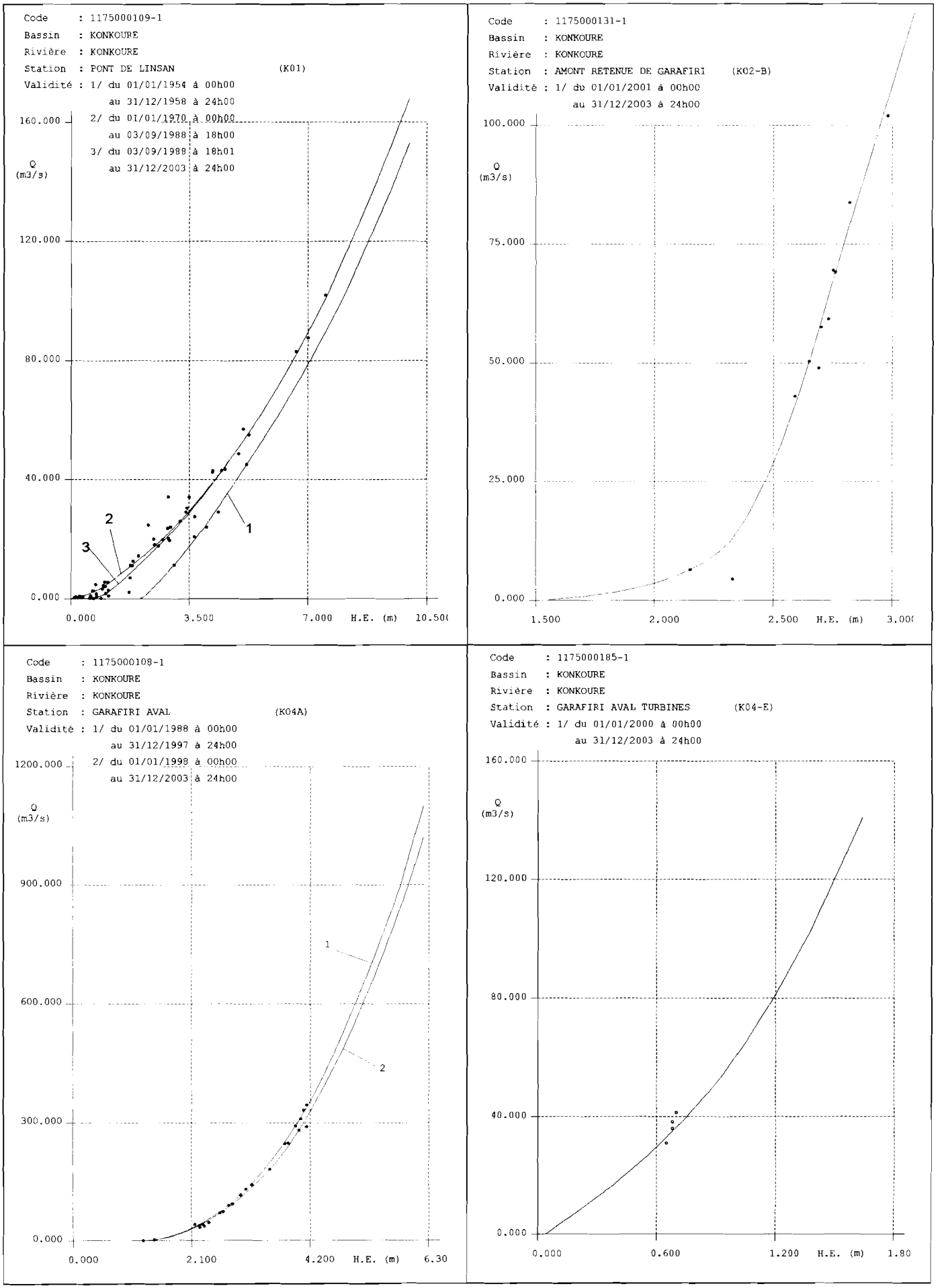


Figure 5 : Courbes d'étalonnage des stations K01- K02-B, K04-A et K04-E

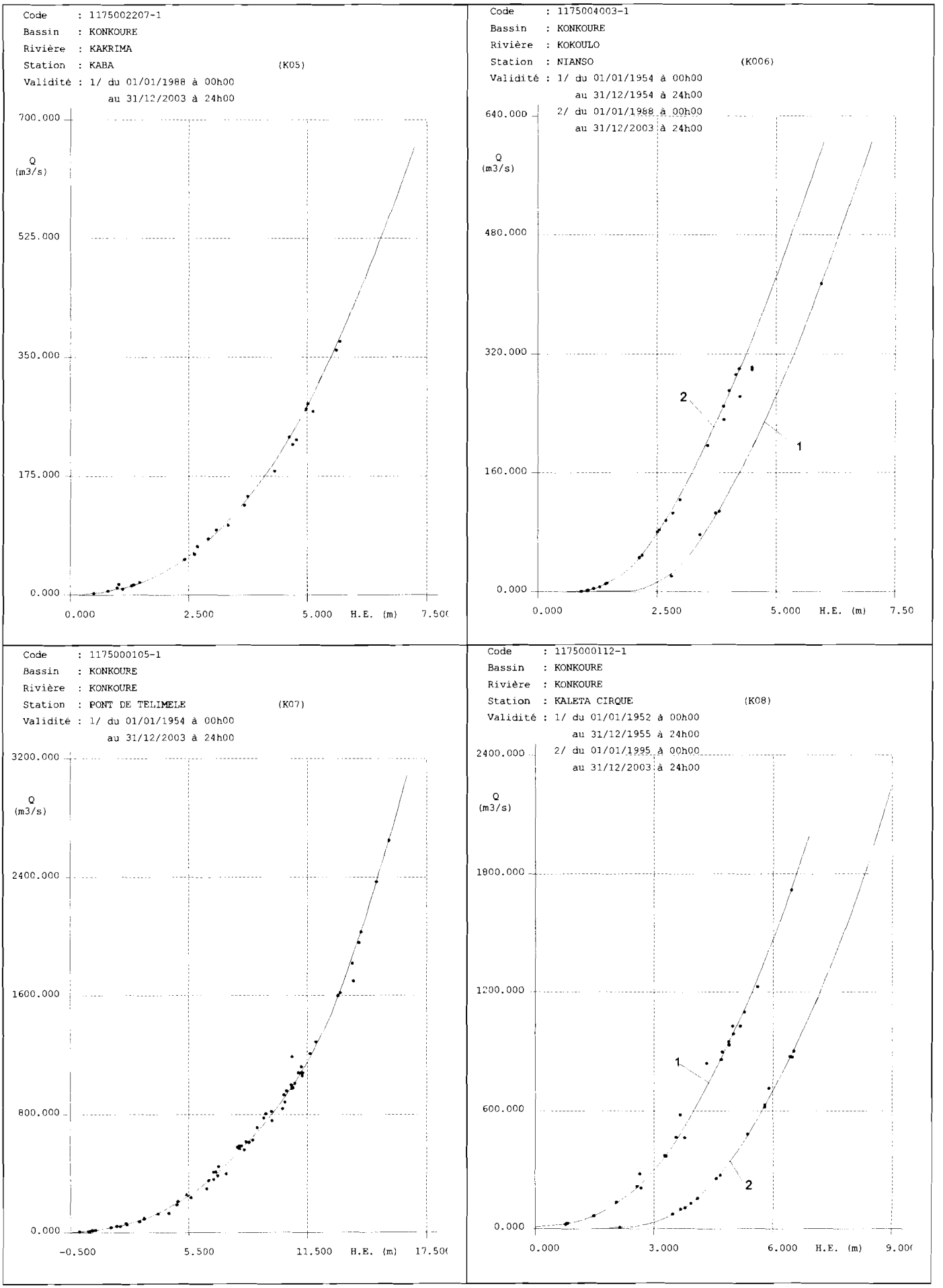


Figure 6 : Courbes d'étalonnage des station K05, K06, K07 et K08

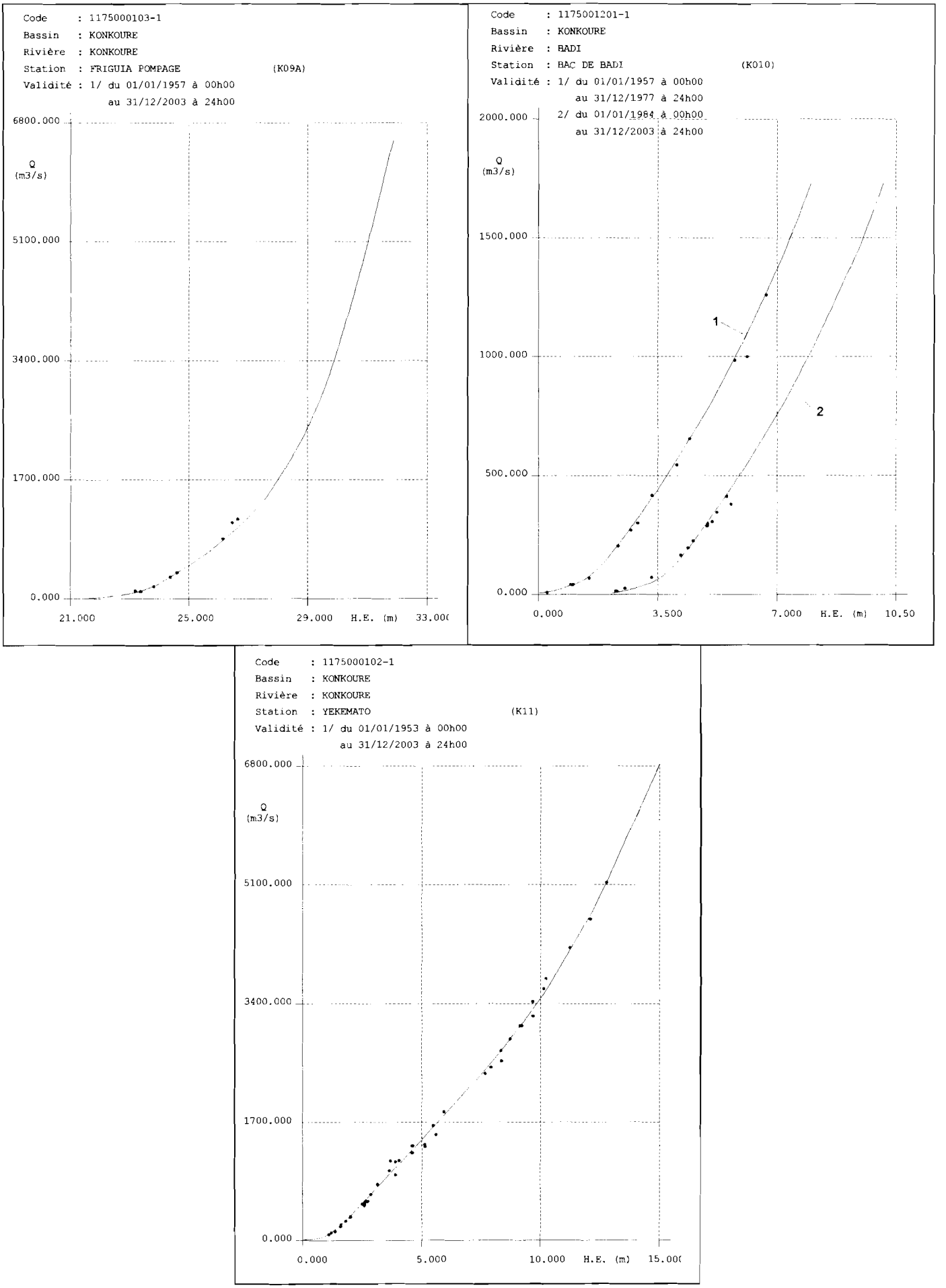


Figure 7 : Courbes d'étalonnage des stations K09-A, K10 et K11

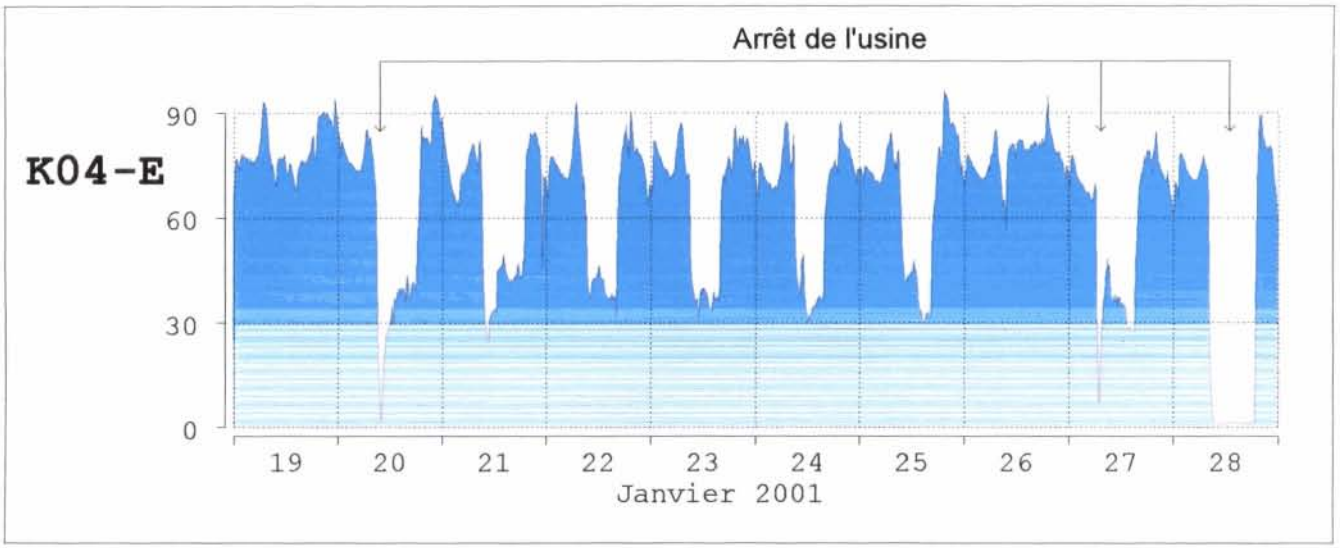


Figure 8 : Débits instantanés (en m^3/s) à la station K04-E (Garafiri – aval turbines) entre le 19 et le 28/01/2001

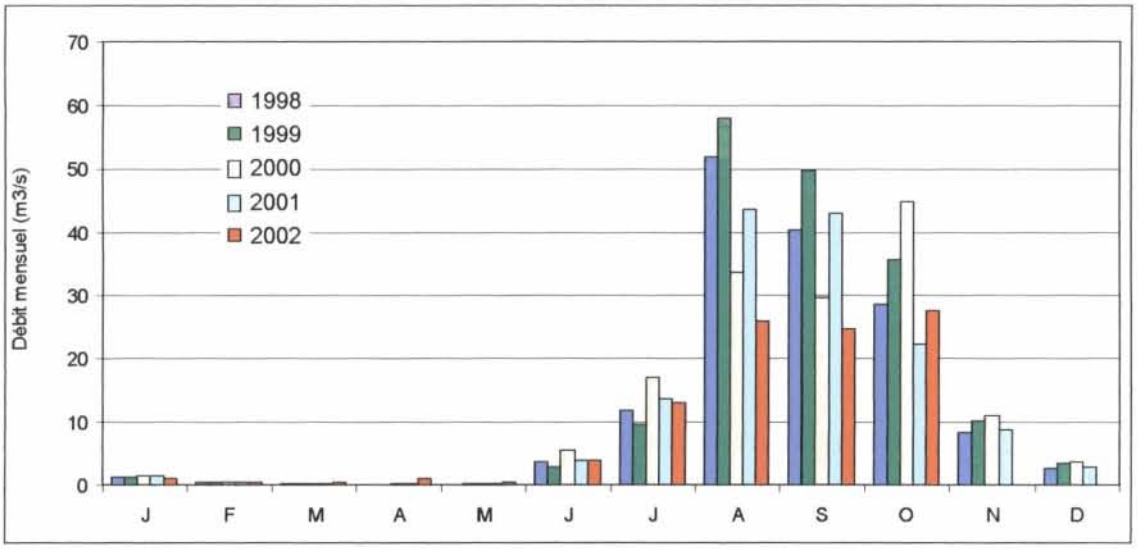


Figure 9 : Débits moyens mensuels observés à la station K01 de 1998 à 2002

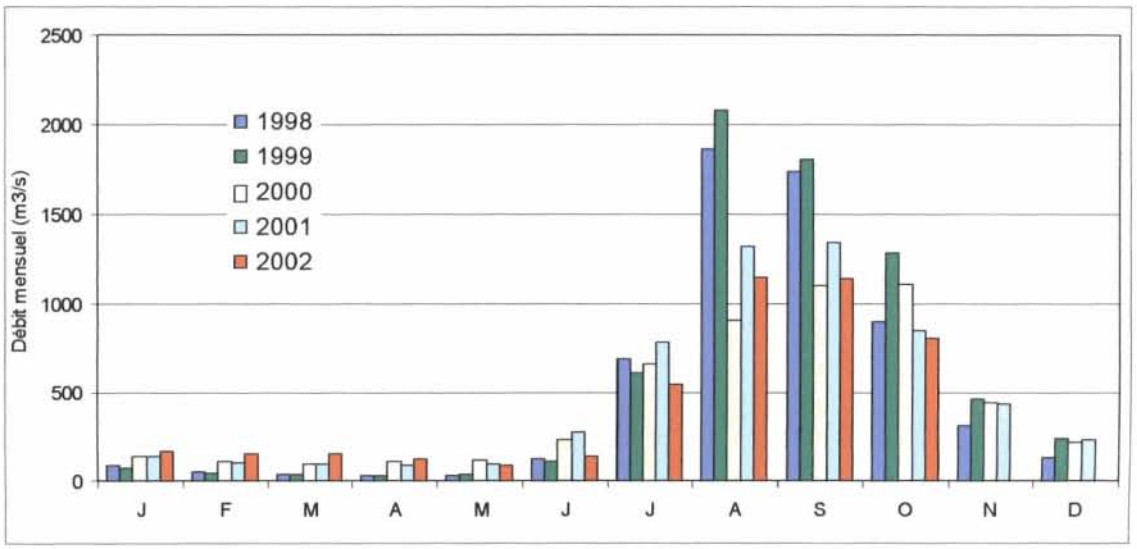


Figure 10 : Débits moyens mensuels observés à la station K11 de 1998 à 2002

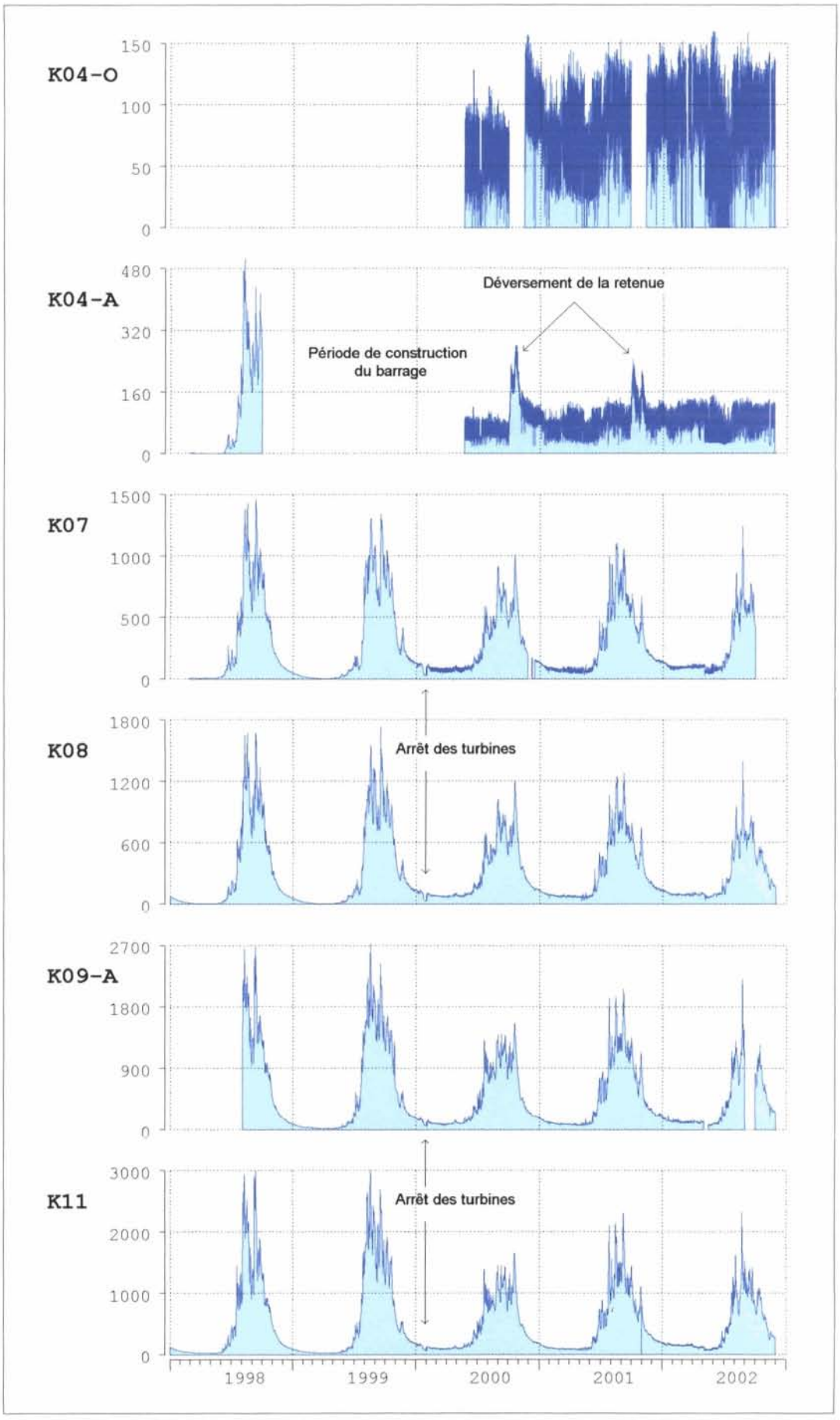


Figure 11 : Hydrogrammes (en m^3/s) 1998-2002 des stations du Konkouré soumises à l'influence du barrage de Garafiri

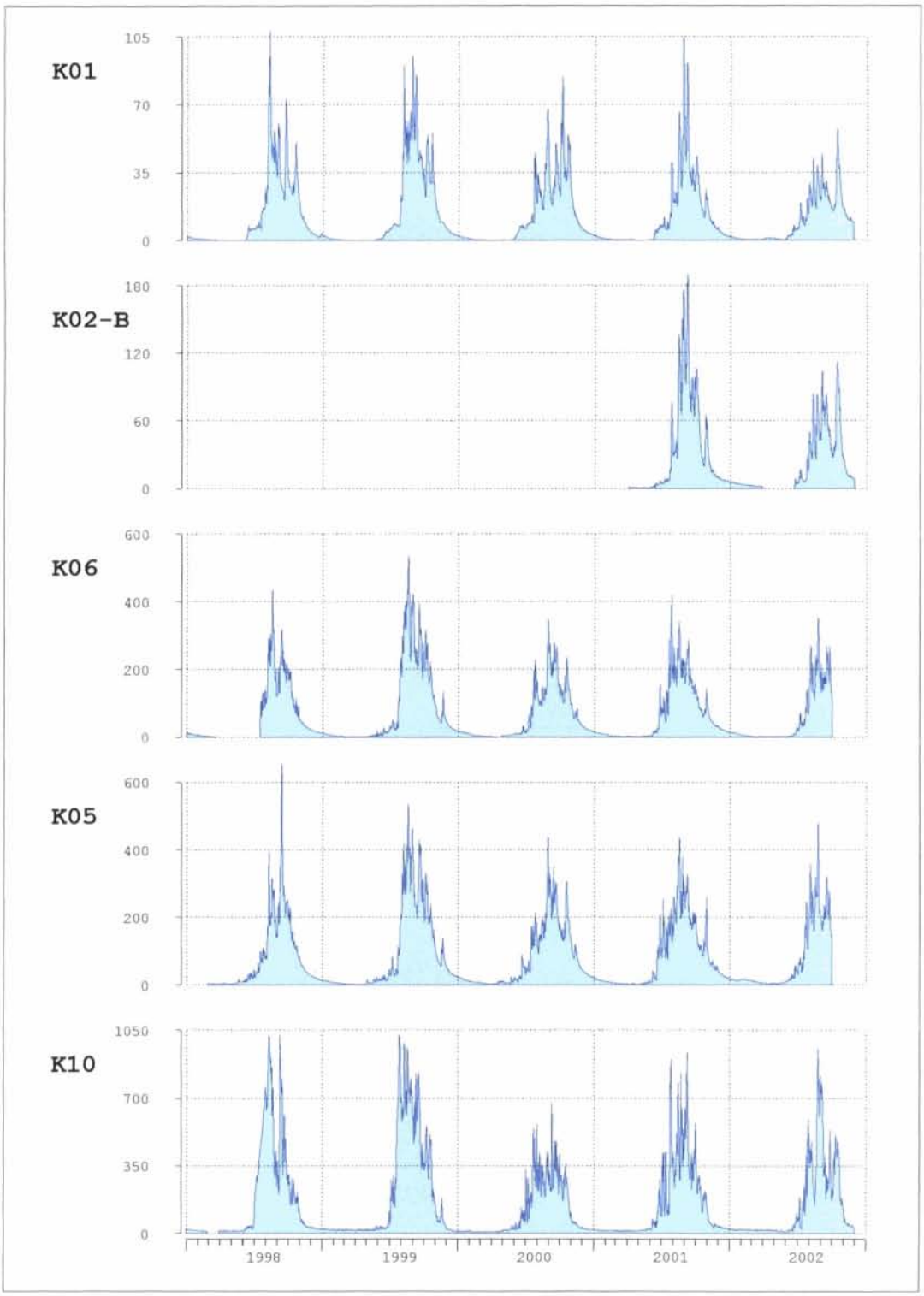


Figure 12 : Hydrogrammes (en m^3/s) 1998-2002 des stations du Konkouré de la Kokoulo, de la Kakrima, et de la Badi ; stations non soumises à l'influence du barrage de Garafiri

Station	Année	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Annuel
K01	1998	1.18	0.497	0.184	0.100	0.076	3.74	11.9	51.7	40.3	28.7	8.36	2.70	12.5
	1999	1.31	0.325	0.116	0.070	0.225	2.92	9.63	58.0	49.8	35.7	10.3	3.50	14.4
	2000	1.40	0.378	0.139	0.111	0.249	5.48	16.9	33.5	29.6	44.9	11.0	3.67	12.4
	2001	1.35	0.408	0.189	0.137	0.118	3.95	13.8	43.5	43.0	22.3	8.76	2.82	11.8
	2002	1.00	0.394	0.323	1.01	0.441	3.89	13.0	26.0	24.8	27.7	11.0	6.50	9.74
K02-B	2001	-	-	-	-	0.469	-	18.1	90.2	103	50.2	16.1	7.08	-
	2002	4.45	2.87	-	-	-	-	12.9	50.8	61.0	57.0	12.4	5.84	-
K04-A	1998	-	-	0.648	0.386	0.308	6.78	72.6	298	-	-	-	-	-
	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	-	-	-	-	-	55.1	54.3	63.7	54.0	192	115	91.4	-
	2001	72.2	64.2	71.8	68.8	57.3	68.0	84.6	87.1	78.3	142	96.3	87.5	81.7
	2002	77.8	81.1	92.1	102	72.5	66.0	52.2	89.3	79.3	82.2	84.1	106	82.1
K04-E	2000	-	-	-	-	-	52.8	50.2	58.3	49.4	-	-	86.5	-
	2001	70.2	62.8	69.9	65.3	54.8	64.5	80.9	83.1	-	-	-	83.1	-
	2002	74.4	-	-	94.1	65.9	57.2	45.7	82.6	74.1	78.6	79.2	102	-
K05	1998	-	-	4.19	4.16	7.14	20.9	62.4	204	292	136	46.2	20.3	-
	1999	10.8	5.95	2.87	2.28	10.7	20.3	71.8	358	295	205	81.1	35.1	92.1
	2000	17.6	9.13	4.93	6.62	8.63	34.2	107	189	253	180	81.6	31.0	77.1
	2001	14.9	8.40	4.51	3.08	5.48	52.8	144	273	224	132	64.1	27.5	80.0
	2002	14.9	15.1	8.58	4.50	5.89	24.0	102	264	211	128	60.0	23.1	72.2
K06	1998	8.11	3.13	-	-	-	-	-	232	206	109	32.9	15.2	-
	1999	6.92	2.44	0.848	0.676	3.83	13.4	71.4	352	272	184	64.5	26.6	83.8
	2000	13.2	5.16	2.04	-	5.34	12.4	94.1	149	213	140	57.3	21.7	-
	2001	10.9	4.09	1.55	1.55	1.77	29.5	147	221	181	91.7	45.8	18.8	63.3
	2002	9.19	3.25	1.22	0.776	0.817	6.58	60.1	202	181	105	42.5	16.7	52.7
K07	1998	-	-	8.63	6.09	9.37	72.5	295	928	950	534	169	73.4	-
	1999	34.7	15.2	6.31	4.36	17.8	63.4	217	968	900	736	286	159	286
	2000	93.4	85.3	73.6	79.3	80.2	117	310	488	639	644	-	-	-
	2001	103	79.0	75.3	69.8	66.8	160	436	760	691	468	251	153	277
	2002	110	93.1	97.8	104	75.3	90.0	271	675	592	375	213	155	239

Tableau 6 : Débits moyens mensuels et annuels (en m^3/s)

K08	1998	51.7	21.3	8.83	7.17	8.40	68.5	345	1092	1088	620	204	84.9	302
	1999	39.5	15.7	7.53	5.68	14.6	65.3	241	1055	1045	823	323	173	319
	2000	101	90.3	78.8	85.9	88.0	134	362	555	726	774	326	165	291
	2001	110	85.6	80.2	76.5	74.1	179	485	844	792	533	285	157	310
	2002	114	95.5	95.7	99.3	78.1	112	307	738	680	449	234	153	264
K09-A	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	1590	907	292	130	-
	1999	62.8	37.7	27.1	22.5	34.6	102	573	1831	1650	1252	456	221	526
	2000	135	106	88.7	102	112	214	633	908	1103	1095	415	212	428
	2001	139	97.8	86.9	80.5	89.7	268	778	1284	1292	849	407	223	469
	2002	154	127	116	119	-	142	529	1126	1111	817	349	215	-
K10	1998	18.3	-	-	12.7	12.2	28.7	415	679	490	198	51.9	25.8	-
	1999	19.7	18.3	17.9	17.5	20.5	33.1	416	732	578	352	86.3	17.2	194
	2000	11.8	10.1	9.10	9.89	19.4	59.0	249	299	335	242	50.2	22.4	110
	2001	16.7	14.5	13.3	12.8	17.8	82.8	300	450	455	237	57.7	29.5	141
	2002	20.0	19.2	17.2	16.9	12.2	27.8	181	460	430	308	55.3	26.2	132
K11	1998	87.0	49.3	33.0	29.5	29.3	122	687	1863	1738	902	315	129	502
	1999	69.9	43.8	33.2	29.4	39.7	107	608	2082	1806	1283	467	236	571
	2000	138	110	95.5	107	117	229	657	903	1100	1106	442	221	437
	2001	140	102	92.2	87.9	94.9	275	786	1319	1342	846	431	233	481
	2002	151	116	115	120	88.5	140	540	1146	1134	800	369	224	414

Tableau 7 : Débits moyens mensuels et annuels (en m^3/s)

II. MESURE ET CONTROLE DES TRANSPORTS SOLIDES

II.1. INTRODUCTION ET RAPPEL DES OBJECTIFS

Les produits attendus de l'offre technique jointe au contrat sont les suivants :

- Quantification et qualité des matières en suspension transportées à chaque station.
- Bilan annuel des matières en suspension sortant de chaque sous bassin et bilan des arrivées à l'estuaire.
- Détermination de la part pondérale du sous bassin de Garafiri dans l'apport sédimentaire à l'estuaire.
- Evaluation de la quantité de sédiments piégés dans la retenue.
- Evaluation de l'évolution qualitative et quantitative des apports solides à l'estuaire.

II.2. RESEAU D'OBSERVATION ET PROTOCOLES D'ECHANTILLONNAGE ET DE TRAITEMENT

II.2.a. Le réseau d'observation

Les travaux réalisés dans le cadre du volet "Mesure et contrôle des transports solides" ont fait intervenir une douzaine de personnes dont 2 agents expatriés de l'IRD. Les 9 observateurs de station limnimétrique (voir volet 1.1) ont occupé un rôle essentiel en ce qui concerne le prélèvement des échantillons.

Depuis 1998, des mesures de MES ont été effectuées au niveau de 15 stations situées sur le Konkouré, la Kokoulo, la Kakrima et la Badi (Figure 13, Figure 14 et Tableau 8) :

- Stations hydrométriques K01 à K09-A, K10 et K11 (voir volet "Ecoulement des eaux continentales"),
- stations K09-B, KKR50, LG10-J, LG35-J et LG50-J suivies également dans le cadre du volet "Evolution de la qualité des eaux".
- Trois de ces stations se situent sur la retenue de Garafiri (LG10-J, LG35-J et LG50-J). La station K09-B se trouve en aval du canal d'évacuation des rejets industriels de Fria.

II.2.b. Protocole d'échantillonnage

➢ Echantillons de berge (MES-BG)

Au niveau des stations principales, les prélèvements ont été effectués par des observateurs du PIG soit en début de matinée soit en fin d'après midi. Le protocole d'échantillonnage imposé aux observateurs a été le suivant (formation répétée à chaque déplacement sur le terrain) :

- Prélèvements devant être exécutés toujours au même endroit (généralement au niveau des échelles limnimétriques) ;
- présence d'un minimum de courant (l'observateur est le plus souvent amené à pénétrer dans l'eau jusqu'à mi-cuisse tout en veillant à ne pas soulever les sédiments de fond) ;
- prélèvement effectué en retournant le flacon d'échantillonnage à environ 30 cm de profondeur (bras tendu vers le milieu de la rivière).

Sur la retenue de Garafiri, l'échantillonnage a été exécuté à diverses profondeurs au moyen d'une bouteille de prélèvement de type Wildco de 1 litre.

Les flacons utilisés pour les prélèvements étaient généralement des flacons de laboratoire à large col de 250 ml ou 300 ml. Mais, d'autres types de flacons et des bouteilles ont été utilisés (jusqu'à 1500 ml, bouteille d'eau minérale de Coyah).

Les fréquences de prélèvement sont de deux types :

- Les prélèvements réguliers ont été réalisés par les observateurs des stations limnimétriques tous les jours pendant la saison des pluies et tous les 3 jours en saison sèche sur les stations K01 à K11. La collecte des échantillons et le contrôle des observateurs ont été effectués lors des visites des stations hydrologiques soit tous les 1 à 2 mois.
- Les prélèvements à caractère plus ponctuel ont été effectués par les chercheurs et techniciens du PIG lors des campagnes du volet "Evolution de la qualité des eaux" (fréquence # 2 mois) sur les stations KKR50, LG10-J, LG35-J et LG50-J.

➢ Echantillonnage des sections (MES-SM)

Trente trois séries de prélèvements (4 à 18 échantillons par série) ont été effectuées depuis 1998 sur les stations K01, K02-B, K04, K05, K07, K08, K09-B, K10 et K11 en vue de déterminer les concentrations moyennes de matières en suspension (MES-SM) transitant au niveau de chaque station à la date des prélèvements (jaugeage des MES).

Lors de ces opérations, les échantillons de 1 litre ont été prélevés au moyen d'une pompe électrique depuis une embarcation pneumatique et au niveau d'une section le plus souvent matérialisée par un câble gradué (ou utilisation d'un cercle hydrographique). Les distances aux berges et les profondeurs de prélèvement étant connues, la concentration moyenne de matières en suspension transitant au niveau de la section peut être calculée par une double intégration.

II.2.c. Protocole de traitement

Les concentrations de matières en suspension (MES-BG et MES-SM) ont été mesurées par le laboratoire d'analyse de la DNH jusqu'à mai 2000. De très nombreuses erreurs de filtration/pesée et de calcul des concentrations ayant été constatées, les traitements ont été effectués par le laboratoire du PIG à partir de juin 2000.

Pour chaque échantillon, le protocole d'analyse a été le suivant :

1) Mesure de la conductivité. Ce paramètre n'entre pas dans le cadre de ce volet. Mais, les mesures de conductivité sur des pas de temps de 1 à 3 jours permettent de mieux connaître les variations en éléments dissous (ions majeurs notamment) et présentent donc un apport supplémentaire au volet "Evolution de la qualité des eaux" (plus de 4500 mesures effectuées).
2) Pesée des filtres vierge (45 µm) après étuvage à 105°C pendant 2 heures : A1 (précision 1/10 mg).
3) Pesée du flacon plein : B1 (précision 1/10 g).
4) Filtration de l'échantillon.
5) Pesée du flacon vide : B2 (précision 1/10 g).
6) Pesée du filtre avec MES après étuvage à 105°C pendant 2 heures : A2 (précision 1/10 mg)

N.B. : Entre la sortie de l'étuve et la pesée, le filtre, conservé dans une cloche à dessiccation, est remis à température ambiante.

La concentration est déterminée au moyen de la formule suivante (B1-B2 étant égal au volume de l'échantillon en ml) :

$$CMES(mg/l) = 1000 \times (A2-A1) / (B1-B2)$$

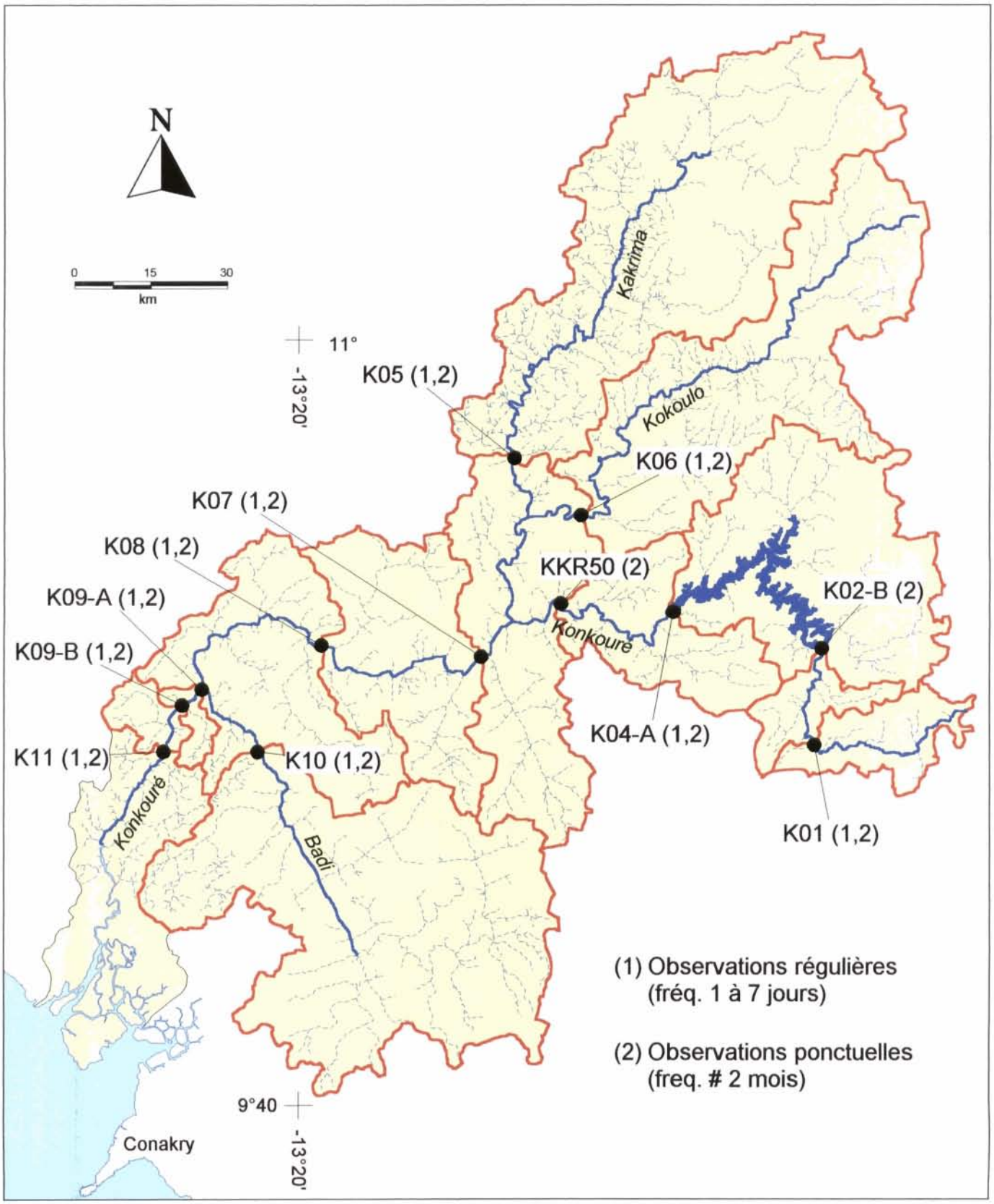


Figure 13 : Localisation des stations de prélèvement sur le bassin versant du Konkouré

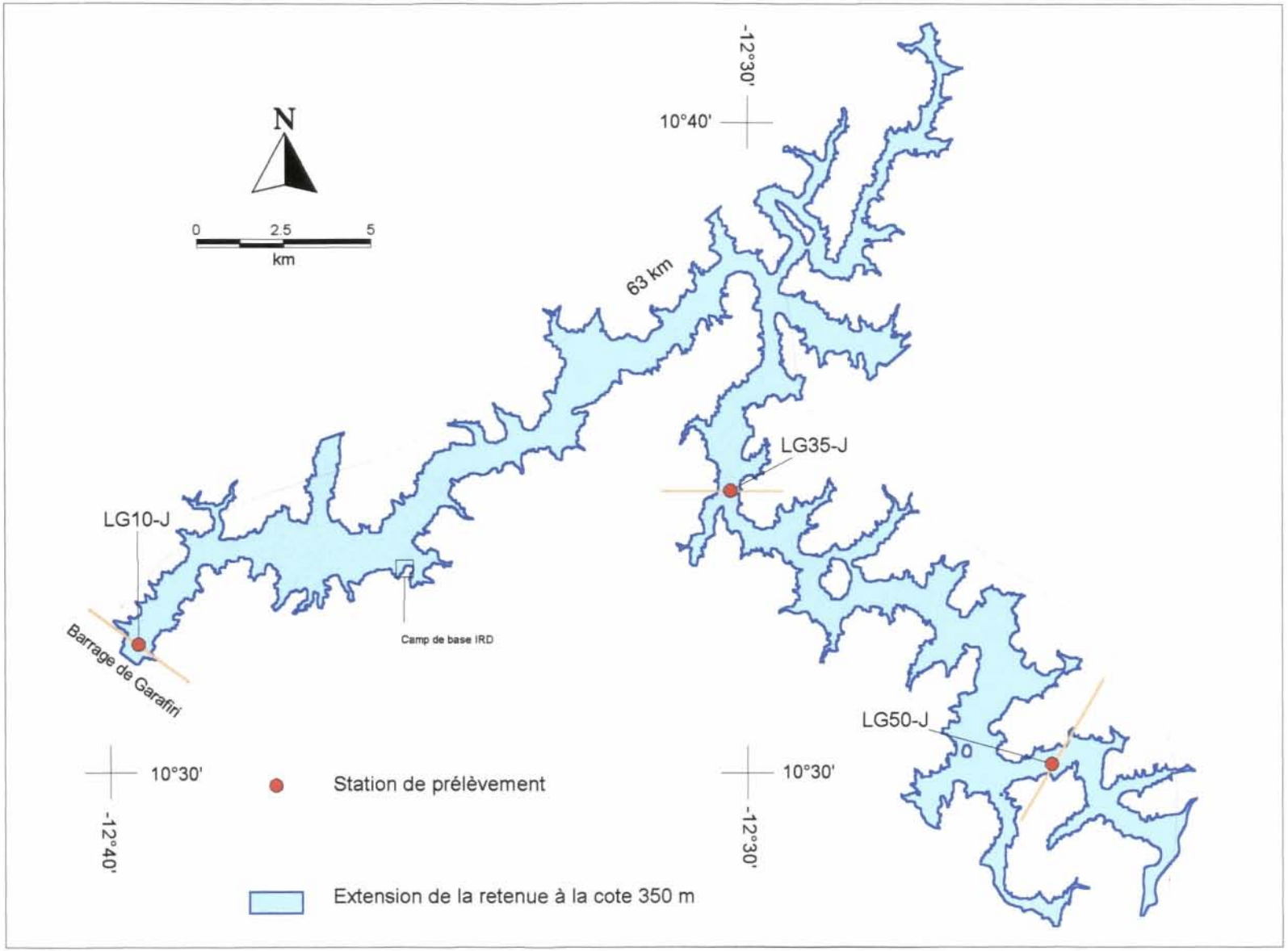


Figure 14 : Localisation des stations de prélèvement sur le retenue de Garafiri

Code PIG	Station	Code hydro. (117)	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Surface (km^2)	Dist. / Prise (km)	Dist. / Barrage (km)	Prélèv. régulier	Prélèv. ponct.	
K01	KONKOURE RIV. - PONT DE LINSAN	5000109	+10°17'30"	-012°24'59"	(400)	402			✓		
K02	KONKOURE RIV. - KOYOMBO		+10°30'08"	-012°25'14"	326					✓	*
K02-B	KONKOURE RIV. – AMONT RETENUE GARAFIRI	5000131	+10°27'38"	-012°24'12"	(370)	671				✓	
K03	KONKOURE RIV. – AMONT CHANTIER GARAFIRI		+10°31'58"	-012°39'33"	286					✓	*
K04-A	KONKOURE RIV. - AVAL KOUNKOUN	5000108	+10°31'26"	-012°39'59"	(280)	2510		0.76	✓		
K05	KAKRIMA RIV. - KABA	5002207	+10°47'37"	-012°56'58"	(275)	3190			✓		
K06	KOKOULO RIV. - NIANSO	5004003	+10°41'36"	-012°49'53"	(225)	2260			✓		
K07	KONKOURE RIV. - PONT DE TELIMELE	5000105	+10°26'45"	-013°00'32"	(170)	10210		62.8	✓		
K08	KONKOURE RIV. - KALETA CIRQUE	5000112	+10°27'57"	-013°17'35"	(100)	11420		105	✓		
K09-A	KONKOURE RIV. - FRIA POMPAGE	5000103	+10°23'18"	-013°30'24"	(20)	15970		147	✓		
K09-B	KONKOURE RIV. - AVAL REJETS FRIA		+10°21'38"	-013°32'32"	(17)	16060		152	✓		
K10	BADI RIV. - BAC DE BADI	5001201	+10°16'46"	-013°24'27"	(40)	3220			✓		
K11	KONKOURE RIV. - YEKEMATO	5000102	+10°16'46"	-013°34'31"	(10)	16210		163	✓		
KKR50	KONKOURE RIV. - KONDOYA	(5000107)	+10°32'19"	-012°52'00"	(190)	3270		39.4		✓	
LG10-J	BOUEE LAC GARAFIRI (Aïssatou)		+10°31'58"	-012°39'33"	286		0.15			✓	
LG35-J	BOUEE LAC GARAFIRI (Brigitte)		+10°34'20"	-012°30'16"	317		34.3			✓	
LG50-J	BOUEE LAC GARAFIRI (Bintou)		+10°30'08"	-012°25'14"	326		55.3			✓	
* Station abandonnée en 1998 et 1999											

Tableau 8 : Codification des stations de prélèvement

II.3. RESULTATS ET CONCLUSION

De manière générale, l'échantillonnage réalisé par les observateurs des stations limnimétriques peut être considéré comme très imparfait jusqu'à octobre 1999 en raison notamment :

- Des nombreuses lacunes de prélèvement (13 %),
- d'erreurs d'étiquetage des échantillons : dates identiques (doublons), dates erronées (30 et 31 février, 31 avril...),
- du manque de sérieux de certains observateurs : flacons remplis avant la date prévue (K09-B notamment).

A partir d'octobre 1999, la régularité des visites de station et le contrôle plus minutieux des observateurs s'est traduit par un échantillonnage correct.

La proximité du chantier de Garafiri (remblais et déblais en rivière...) a interdit tout prélèvement et/ou traitement sur les stations K03 et K04-A en 1998 et 1999 (résultats peu significatifs). Les prélèvements en rivière effectués à la station K03 (située au niveau de l'actuelle station lacustre LG10-J) ont du être très rapidement abandonnés. En raison de la mise en eau du barrage, les prélèvements en rivière effectués à la station K02 (située au niveau de l'actuelle station lacustre LG50-J) ont été interrompus. La station K02 était alors considérée comme se situant en amont de l'extension maximale de la retenue de Garafiri.

Les nombreuses erreurs de filtration/pesée et de calcul des concentrations interdisent toute utilisation des résultats sur la période antérieure à mai 2000 (volume des échantillons non mesuré, valeurs répétitives, résultats contradictoires...).

Station	Nb. échant.	Concentration minimale		Concentration maximale	
		Conc.	Date	Conc.	Date
K01	603	0.3	20/03/2001 à 08h00	42.4	26/08/2000 à 09h00
K02-B	12	0.4	13/05/2002 à 14h00	7.1	11/09/2001 à 16h00
K04-A	128	0.4	06/12/2001	33.6	09/08/2000
K04-E	1	6.3	13/06/2001 à 13h24	6.3	13/06/2001 à 13h24
K05	601	0.3	21/03/2001 à 17h25	90.8	04/08/2002 à 08h00
K06	625	0.3	18/04/2001	46.0	20/07/2001 à 13h15
K07	617	0.4	21/03/2002 à 08h00	172.9	05/08/2002 à 08h00
K08	603	0.3	14/05/2002	54.2	06/09/2000
K09-A	575	0.4	01/05/2002	70.8	30/06/2001 à 08h00
K09-B	614	0.4	01/01/2002 à 10h04	108.6	09/08/2000 à 18h04
K10	621	0.4	27/01/2002 à 08h00	114.9	17/08/2000 à 08h00
K11	586	0.4	25/11/2001 à 08h00	46.0	08/09/2000 à 08h00
KKR50	12	0.7	28/03/2002 à 16h30	8.6	08/07/2000 à 14h52
LG10-J	62	0.3	13/06/2001	42.3	19/07/2001 à 11h15
LG35-J	52	0.3	25/11/2000 à 08h48	33.1	18/05/2001 à 09h34
LG50-J	51	0.4	22/03/2001 à 09h38	28.0	15/05/2002
Total	5763				

Tableau 9 : Valeurs maximales et minimales de concentration en MES observées

Le jaugeage des stations en MES ne permet pas de mettre en évidence des relations entre les concentration mesurées sur les berges (MES-BG) et les concentrations moyennes mesurées au niveau des stations (MES-SM). Aucun facteur de correction n'a donc été appliqué sur les échantillons prélevés de manière régulière sur les stations.

Station	Date	Heure	H cm	Q m3/s	MES-BG	MES-SM	MES-SM / MES-BG
K01	18/08/2000	08h30	350	34.0	5.3	(5.5)	1.04
	04/07/2001	08h10	166		2.4	(4.4)	1.83
	25/07/2001	12h20	413	42.9	12.1	18.5	1.53
	17/08/2001	12h50	512	56.83	2	4.6	2.3
K02	03/08/2000	10h22	259	69.5	11	7.6	0.69
	18/08/2000	12h02	265	50.4		9.8	
	20/09/2000	10h00	282	83.7	8.4	7.2	0.86
	22/09/2000	07h30	275	69.5	7.7	9.9	1.29
	04/07/2001	11h04	206	4	1.6	(3.4)	2.13
	16/08/2001	17h04	298	298	11.6	5.3	0.46
K05	19/07/2000	08h58	367	133	27.2	26.9	0.99
	15/08/2001	17h41	568	374	61.7	63.1	1.02
	27/07/2001	09h17	435	183	14.5	19.7	1.36
	05/07/2001	15h47	476	313.7	93.4	89	0.95
K06	05/07/2001		244		11.6	(7.5)	0.65
	26/07/2001	12h45	450	303	17.6	16.9	0.96
	16/08/2001	10h00	449	299	10	10.2	1.02
K07	01/08/2000	16h03	696	385	5.5	11.4	2.07
	15/08/2001	11h50	1126	1121	13.4	20.7	1.54
	27/07/2001	16h30	1030	839.3	13.4	20.7	1.54
K08	27/07/2000	11h00	579	621	19.9	33.6	1.69
	09/08/2001	10h00	583	633	11.6	9.1	0.78
	31/08/2001	09h30	649	873	13.8	13.5	0.98
K09-A	11/07/2001		2507		3.1	(11.0)	3.55
K09-B	25/07/2000	15h40	2645	1090	11.6	(10.5)	0.91
	27/07/2000	14h50	264	1086	11.6	15.7	1.35
K10	10/08/2000	12h00	524	345	5.0	(5.1)	1.02
	12/07/2001	11h30	377		2.7	(3.6)	1.33
	30/08/2001	13h00	565	380	13.2	14.3	1.08
	08/08/2001	14h00	509	305.8	4.2	3.7	0.88
K11	22/08/2000	14h10	314	801	5	7.2	1.44
	01/09/2001	09h20	460	1357	12.2	29	2.38
	10/08/2001	10h00	366	998	12.2	6.8	0.56

Tableau 10 : Jaugeages des MES sur les sections mouillées

Nous disposons pour toutes les stations de 3 années complètes : 2000, 2001 et 2002. Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence quelques grandes caractéristiques des transports de matières en suspension :

- Les concentrations de matières en suspension mesurées sont faibles sur toutes les stations y compris pendant la saison des pluies. Les concentrations moyennes annuelles sont comprises entre 6 mg/l et 10 mg/l (Tableau 11). Les observations faites à la station K09-B montrent des concentrations relativement plus élevées qui seraient dues à la situation de la station (en aval du chenal d'évacuation du barrage à boues du complexe de Fria.

- Les concentrations de MES mesurées dans la retenue de Garafiri (stations LG10-J, LG35-J et LG50-J) sont particulièrement faibles (inférieurs à 2 mg/l). Les plus fortes concentrations observées correspondent le plus souvent à des échantillons prélevés en profondeur. Cette augmentation apparente des concentrations serait due à la précipitation rapide du Fer dissous au contact de l'air (voir volet "Evolution de la qualité des eaux"). On peut penser que les matières en suspension issues du bassin versant sont piégées en grande partie par la retenue de Garafiri.
- Les concentrations de MES mesurées sur la station K04-A, située à quelques centaines de mètres en aval du barrage, sont probablement surévaluées depuis la mise en eau du barrage en raison de la précipitation rapide du Fer dissous dans les échantillons (voir volet "Evolution de la qualité des eaux").
- Pour les stations situées sur le Konkouré et en aval du barrage de Garafiri (K04-A, K07, K08, K09-A, K09-B et K11), la fréquence d'échantillonnage est sans doute insuffisante en regard des nombreuses variations de débits imposées par l'usine hydroélectrique de Garafiri (voir volet "Ecoulement des eaux continentales").
- Les variations quotidiennes de débits (de # 25 m3/s à # 100 m3/s) ainsi que les arrêts et les reprises brutales d'exploitation de l'usine de Garafiri ont probablement un impact non négligeable sur les transports solides en rivière : remaniement des sédiments de fond, arrachement des berges...
- Les résultats obtenus permettent de donner une bonne estimation des quantités de matières en suspension transitant au niveau de la station K11 (BV = 16210 km2), dernière station de mesure avant l'estuaire du Konkouré (BV à Wassou = 16750 km2). Les quantités mensuelles de matières en suspension (tonnes) et les débits moyens mensuels (m3/s) sont représentés en Figure 15. Les quantités de matière en suspension ayant transité au niveau de la station K11 en 2000, 2001 et 2002 sont respectivement de 91 000 tonnes, 128 000 tonnes et 97 000 tonnes.

N°	Année	Janv	Févr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Octo	Nove	Déce	Moy. ann.
K01	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	4.9	7.4	
	2000	10.6	15.2	7.7	9.8	12.6	7.9	5.9	10.9	15.7	7.6	7.3	4.2	9.6
	2001	4.4	4.0	3.0	11.1	18.9	8.4	5.9	8.9	12.8	5.4	3.7	2.0	7.4
	2002	3.5	2.3	3.8	8.8	15.7	9.3	(5.4)	-	-	-	-	-	
K04-A	2000	-	-	-	-	-	-	-	(21.8)	15.0	0.8	1.3	5.1	
	2001	7.3	4.2	8.4	1.8	9.1	18.9	11.8	10.7	6.3	1.9	1.1	2.2	7.0
	2002	3.2	3.6	2.9	3.7	2.5	5.5	(9.8)	-	-	-	-	-	
K05	1999	-	-	-	-	-	-	(7.4)	6.2	5.0	5.8	6.4	7.3	
	2000	6.7	6.0	5.3	4.4	5.4	15.7	19.1	24.4	13.1	5.9	2.6	1.2	9.2
	2001	0.9	2.1	1.0	0.8	10.0	15.1	22.1	27.1	11.4	13.1	7.0	2.3	9.5
	2002	1.6	1.5	2.3	16.8	3.1	5.3	(21.9)	-	-	-	-	-	
K06	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(24.8)	22.3	19.0	
	2000	15.7	12.5	9.2	6.9	4.4	6.0	12.4	11.7	13.4	2.1	2.1	4.2	8.4
	2001	1.9	5.7	7.0	1.7	5.8	8.1	12.4	9.1	7.6	4.4	2.5	1.9	5.7
	2002	2.5	2.7	1.7	1.1	1.9	2.3	(8.1)	-	-	-	-	-	
K07	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	
	2000	10.7	14.0	11.2	7.3	5.6	7.3	12.1	18.6	13.7	9.1	3.2	3.0	9.6
	2001	5.0	14.4	6.7	3.0	5.4	9.9	18.7	12.8	10.0	9.0	3.8	5.0	8.6
	2002	3.3	1.8	1.4	3.7	3.0	5.5	(14.2)	-	-	-	-	-	
K08	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(15.7)	8.0	8.4	
	2000	5.0	4.7	5.1	7.1	4.1	9.5	15.2	9.0	11.4	5.5	2.4	6.1	7.1
	2001	11.9	9.7	5.2	1.5	9.2	17.0	14.7	17.6	15.8	9.0	7.6	2.0	10.1
	2002	1.7	2.3	2.6	1.4	2.5	5.5	(12.8)	-	-	-	-	-	
K09-A	1999	-	-	-	-	-	-	(14.5)	16.5	19.2	19.6	8.4	7.6	
	2000	7.6	7.3	6.9	6.5	6.5	8.2	15.2	12.6	10.3	2.6	1.9	3.7	7.5
	2001	4.1	4.3	2.5	1.3	3.5	8.7	17.6	15.5	15.6	10.0	4.7	3.8	7.7
	2002	1.4	3.5	1.7	1.4	1.5	4.8	(11.5)	-	-	-	-	-	
K09-B	1999	-	-	-	-	8.6	7.1	8.0	8.4	8.7	9.7	14.0	11.4	
	2000	10.8	8.2	5.2	3.6	6.7	16.2	24.3	23.6	21.4	20.3	13.8	10.3	13.7
	2001	11.4	9.5	8.5	5.4	4.3	7.2	14.8	26.2	23.6	15.7	11.7	2.9	11.8
	2002	2.4	6.4	11.4	3.1	3.8	7.3	(18.7)	-	-	-	-	-	
K10	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(10.9)	14.7	15.3	
	2000	14.5	13.3	8.9	6.4	8.0	11.0	10.0	14.4	12.6	8.5	6.3	5.3	9.9
	2001	9.2	8.4	4.0	3.0	2.8	11.0	12.2	12.3	12.6	6.8	4.6	2.2	7.4
	2002	2.2	2.7	4.1	4.6	9.2	7.5	(4.3)	-	-	-	-	-	
K11	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(21.2)	9.2	7.2	
	2000	7.4	7.6	7.8	9.8	3.4	5.3	8.0	8.5	7.9	2.3	4.6	2.4	6.2
	2001	7.8	8.3	5.6	1.6	15.4	12.9	8.3	15.9	5.5	4.2	3.9	3.1	7.7
	2002	4.7	2.8	3.3	3.1	1.9	5.1	(7.2)	-	-	-	-	-	

Tableau 11 : Concentrations moyennes mensuelles calculées à partir des échantillons de berge (MES-BG) en mg/l (valeurs non corrigées)

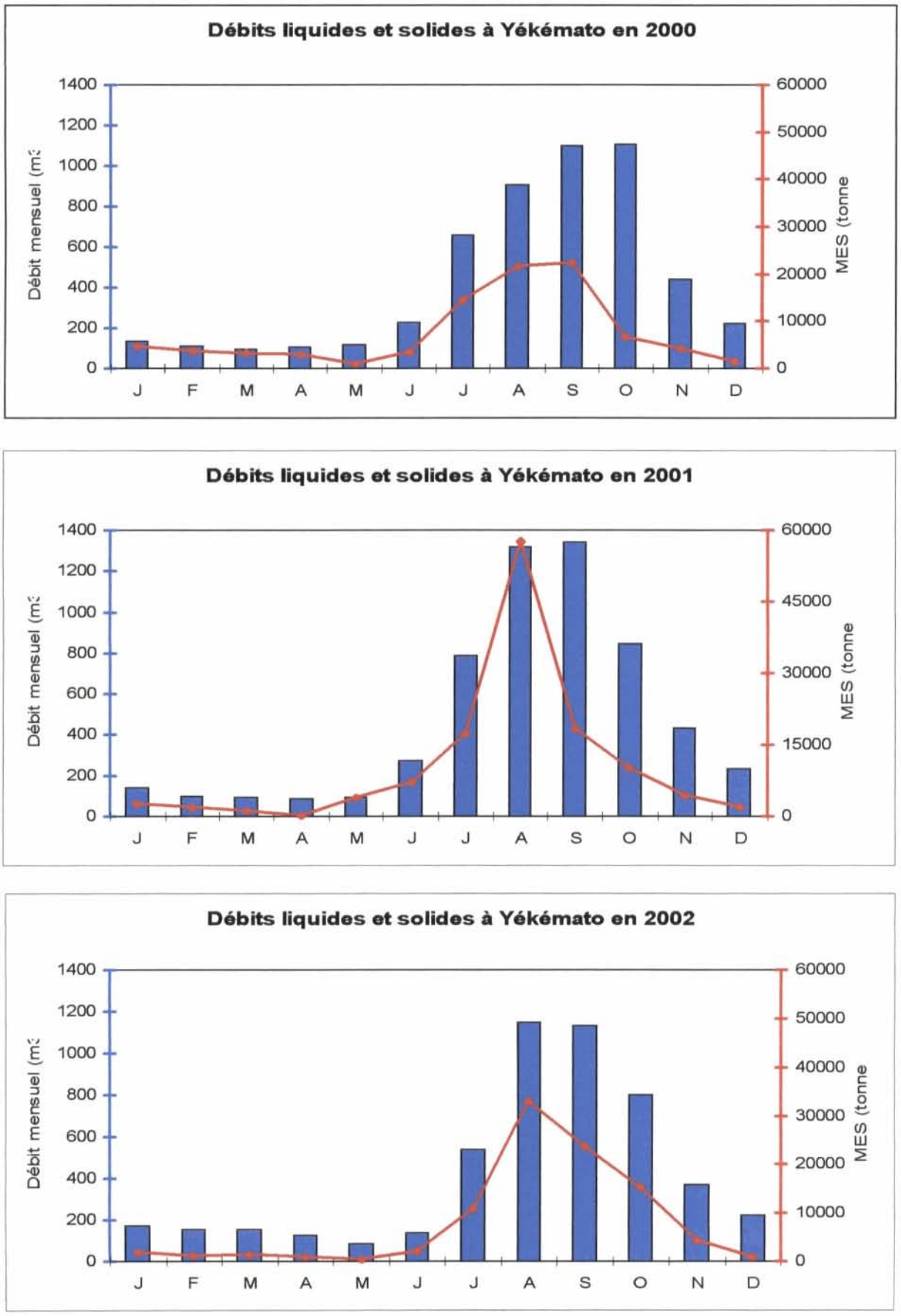


Figure 15 : Quantités mensuelles de MES et débits moyens mensuels à la station K11 en 2000, 2001 et 2002

QUALITE DES EAUX

I. LES STATIONS DE SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX

I.1. SUR LE BASSIN

Quinze stations de suivi de la qualité des eaux, correspondant aux stations suivies dans le cadre des volets "Ecoulement des eaux continentales" et "Mesure et contrôle des transports solides" (Cf. partie hydrologie), situées en amont et en aval du barrage sur le Konkouré et sur ses principaux affluents (Kokoulo, Kakrima, Badi).

I.2. SUR LA RETENUE

➢ Seize stations réparties en :

- 5 transects transversaux, avec un point central dans l'axe du Konkouré, et un à deux points latéraux (LG 10, 20, 30, 40, 50),
- 2 points complémentaires (LG 35 et 60) avec un seul point de mesure.

Des bouées lestées ont été implantées à l'emplacement des points de mesures de chacune des stations pour en faciliter l'observation.

➢ Equipe de terrain :

Sept personnes ont participé aux campagnes de mesure de la qualité de l'eau, dont 4 agents de l'IRD, 2 chauffeurs et 1 manoeuvre. Chaque tournée a été effectuée par 5 personnes.

I.3. BILAN DU DISPOSITIF STATIONNEL

- Sur la retenue : 16 stations au total réparties sur 7 transects,
- Sur le bassin amont de la retenue : 2 stations,
- Sur le bassin du Konkouré à l'aval de la retenue : 14 stations, dont 3 qui ne sont pas dans la zone d'influence directe du barrage,

II. PARAMETRES DE SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU

Les variables physico-chimiques suivantes ont été mesurées *in situ* sur toutes les stations :

- Température,
- pH,
- Conductivité,
- Oxygène dissous (mg/l et %)
- Transparence de l'eau au disque de Secchi.

Elles ont été mesurées :

- en surface pour les stations en rivières,
- à plusieurs profondeurs (tous les mètres jusqu'à 10 m, puis tous les 5 m jusqu'au fond) sur la retenue, afin d'obtenir des profils physico-chimiques en fonction de la profondeur.
- Les autres paramètres ont été analysés en laboratoire (au PIG ou au laboratoire du Centre IRD de Montpellier). A cet effet, des échantillons ont été prélevés et conditionnés pour analyse ultérieure :
  - . sur toutes les stations du bassin, en surface,
  - . sur 3 stations de la retenue, LG 10, 35, 50, à raison de 4 profondeurs par point (surface, fond et deux de part et d'autre de la thermocline).

III. FREQUENCE ET DUREE DES CAMPAGNES

Les campagnes ont été effectuées avec une fréquence au minimum bimestrielle depuis la mise en eau de la retenue (dès juillet 1999).

Compte tenu des contraintes techniques et pratiques (nombre de stations et distances entre les différentes stations sur les rivières, surtout à l'aval), chaque campagne a été répartie en deux phases :

- 6 jours sur la retenue et le bassin amont,
- 3 jours pour les stations aval du bassin.

III.1. METHODES ANALYTIQUES

III.1.a. Mesures *in situ*

Les mesures *in situ* se font au moyen de capteurs qui peuvent être immergés plus ou moins profondément en fonction de leur mode de construction et de la longueur du câble disponible. Lorsque le câble ne permet pas d'atteindre la profondeur voulue, il est nécessaire de prendre un échantillon avec une bouteille à prélèvements, et de le remonter à la surface pour faire les mesures. Lorsque cet échantillon est mis en contact avec l'atmosphère, des échanges rapides de gaz dissous peuvent se produire et ainsi modifier les caractéristiques de l'échantillon, en particulier en ce qui concerne l'oxygène, le méthane et le CO2 dissous, mais aussi le pH et la conductivité. Bien que des efforts aient été faits pour limiter cette dérive, les mesures faites sur certains échantillons profonds sont vraisemblablement erronées.

Dans tous les cas, les sondes ont été étalonnées préalablement à la mesure et équilibrées avec l'eau du milieu.

Deux méthodes complémentaires ont été utilisées pour mesurer la transparence de l'eau. D'une part le disque de Secchi à toutes les stations, et d'autre part un capteur plan du rayonnement utilisé par la photosynthèse (PAR).

III.1.b. Ions majeurs

Les échantillons pour analyse des ions majeurs ont été filtrés le jour du prélèvement (Millipore HA) et conservés au réfrigérateur jusqu'à leur analyse.

Les ions majeurs Na, K, Ca, Mg, Cl et SO4 ont été analysés sur des échantillons filtrés par chromatographie ionique au laboratoire IRD de Montpellier. Les concentrations étant souvent proches de la limite de détection de l'appareil utilisé, un soin particulier a été donné au calcul de la surface des pics dans les chromatogrammes.

Un dosage volumétrique adapté aux faibles concentrations a été utilisé pour mesurer l'alcalinité. Il est basé sur la lecture de deux volumes, le premier pour amener le pH de l'échantillon entre 4,7 et 4,3, et le deuxième pour le faire diminuer d'exactement 0,3 (APHA/AWWA/WEP,1999).

Des dosages colorimétriques ont été réalisés par le PIG sur le terrain et au laboratoire à Conakry avec un spectrophotomètre Hach 890. La silice dissoute a été dosée par colorimétrie (méthode au silicomolybdate, Hach 8185). Le dosage du sulfate par la mesure de turbidité du sulfate de baryum (Hach 8051) s'est révélée mal adaptée aux faibles concentrations observées dans le bassin du Konkouré, et seules les valeurs obtenues par chromatographie ionique ont été utilisées.

Le fer a été dosé à bord, sur eau brute, immédiatement après le prélèvement par la méthode Hach 890, avec réduction et colorimétrie du complexe avec l'orhophénantrhroline.

III.1.c. La chlorophylle et les éléments nutritifs :

La mesure de la concentration en chlorophylle a été effectuée par spectrophotométrie ou fluorimétrie sur des extraits dans l'acétone à 90 %. Les échantillons de 300 mL ont été filtrés sur membrane en fibre de verre Gelman GF/C, conservés au sec (dessiccateur), en glacière sur le terrain puis au congélateur. L'extraction a été faite pendant 3 à 5 heures après broyage. Les concentrations sont exprimées en équivalents de Chl a, sans correction pour les produits de dégradation (Golterman, 1969).

Les pigments chlorophylliens constituent un indice habituellement utilisé pour évaluer la biomasse du phytoplancton. Cependant, comme nous le verrons plus loin, les bactéries photosynthétiques sont également pourvues de pigments qui peuvent interférer dans le dosage.

Les échantillons prélevés pour les dosages de N-NO3, N-NO2, N-NH4 et P-PO4 ont été placés en glacière juste après le prélèvement et filtrés le jour même. Après filtration, ils ont été fixés par 1 mL de H2SO4 (3N) pour 250 ml d'échantillon, et conservés en glacière puis au réfrigérateur jusqu'à l'analyse.

Les méthodes de dosage sont celles de Hach avec spectrophotomètre Hach 890.

III.1.d. Le carbone organique

Les échantillons filtrés et non filtrés ont été conservés après acidification par H2SO4. Le dosage a été réalisé à la station de l'Ifremer de Palavas sur un analyseur de carbone total, avec calibration par un standard à 10 mgC/L.

III.1.e. Les gaz dissous : CO2 et CH4

Dans la retenue à la station LG10-J, et juste en aval du barrage à la station KO4A, des échantillons ont été prélevés pour analyse du gaz carbonique et du méthane dissous par la méthode du headspace (Cole et al. 1994).

Des flacons de 160 mL été utilisés, avec environ 20 mL de headspace et addition de 0,5 mL de solution de HgCl2 à 16 g/L pour bloquer toute activité bactérienne durant le stockage. Aussitôt après leur remplissage, ces flacons ont été bouchés avec un septum et sertis. Les températures initiales et lors du dosage ont été notées, ainsi que les volumes respectifs d'eau et d'air dans les flacons pour appliquer une correction de pression finale. Les concentrations des gaz en solution ont été calculées en utilisant les équations de solubilité de Weiss (1974) et Wiesenburg et Guinasso (1976).

Les flacons ont été remplis directement pour les échantillons de surface et à partir d'une bouteille à prélèvements pour les échantillons de profondeur, en assurant une large surverse pour éviter un contact avec l'air. A chaque série de prélèvements, un échantillon d'air au-dessus de la surface était également collecté. La mesure de CO2 était faite en répliquât sur chaque flacon, sur deux flacons pour les séries des échantillons de novembre 2000 à septembre 2001 (dosage du CO2 seul) ou sur un seul flacon lorsque CO2 et CH4 ont été tous deux analysés.

Un spectrophotomètre infrarouge pour le CO2 et un chromatographe en phase gazeuse pour le méthane ont été utilisés.

III.1.f. Le fer

Le fer en solution dans les échantillons d'eau anoxique est essentiellement du fer réduit Fe(II) qui précipite au contact de l'oxygène lorsque les échantillons sont mis en contact avec l'air. Pour doser le fer dissous de ces échantillons, il est donc important de les analyser immédiatement. L'analyse porte sur le fer total pour prendre en compte la fraction du Fe(II) qui peut s'oxyder lors de la manipulation.

III.2. BILAN DU DISPOSITIF DE SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU

	Bassin	Retenue
Nombre de stations de mesure *in situ*	15	16
Nombre de prélèvements pour analyse	15	12
Fréquence des campagnes	6-7 par an	
Paramètres mesurés *in situ*	T°, pH, C, O2, Transparence de l'eau,	
Paramètres analysés	Laboratoire du PIG : MES, alcalinité SiO2, Fe tot, NH4-N, NO3-N, NO2-N, PO4-P,	Laboratoire de l'IRD Montpellier : K+, Mg ++, Ca++, Na+, Cl-, SO4--, NO3-N, C tot, CO2 dissous et CH4 Chlorophylle.

Tableau 12 : Bilan du dispositif de suivi de la qualité de l'eau

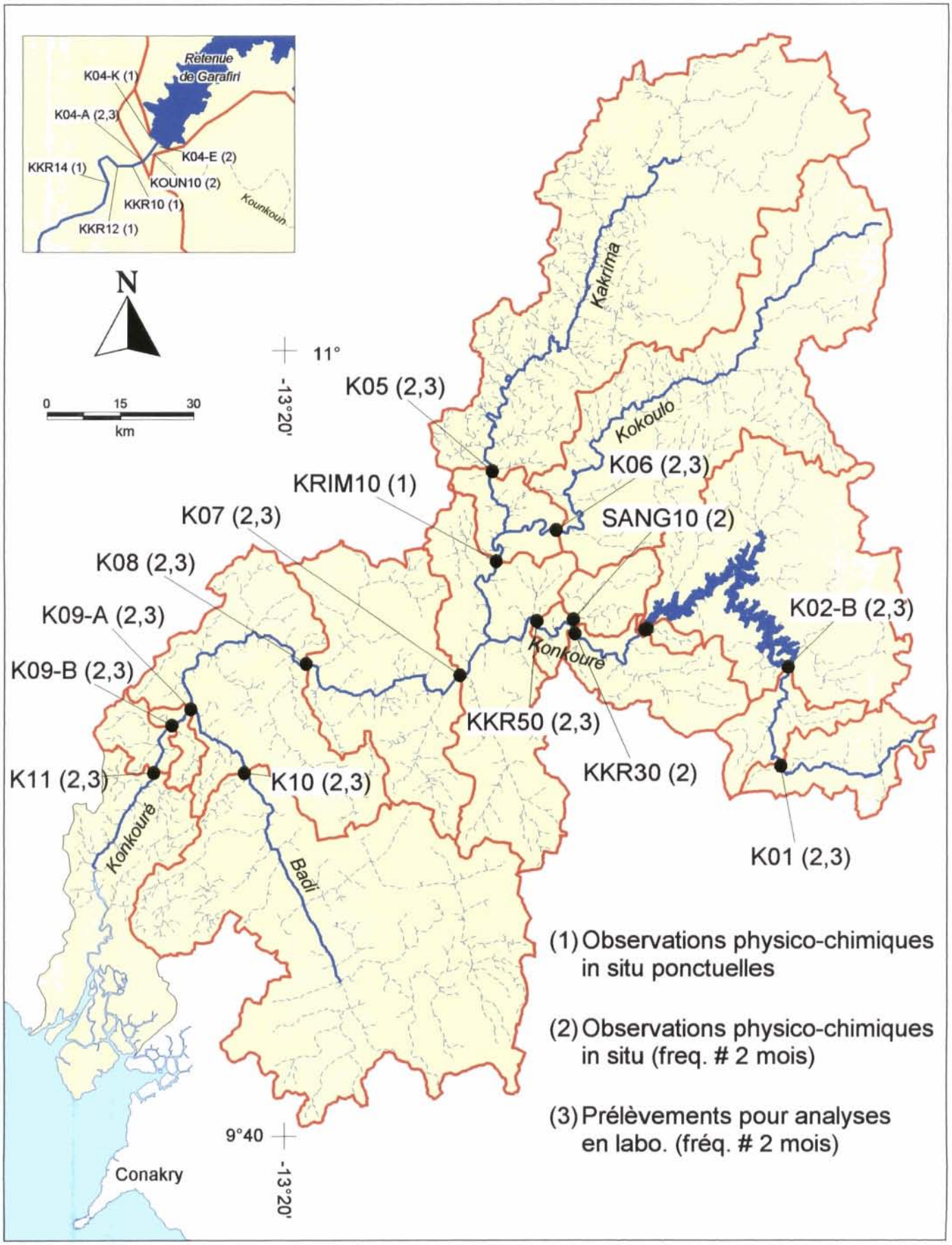


Figure 16 : Localisation des points de mesures de la qualité de l'eau sur le bassin

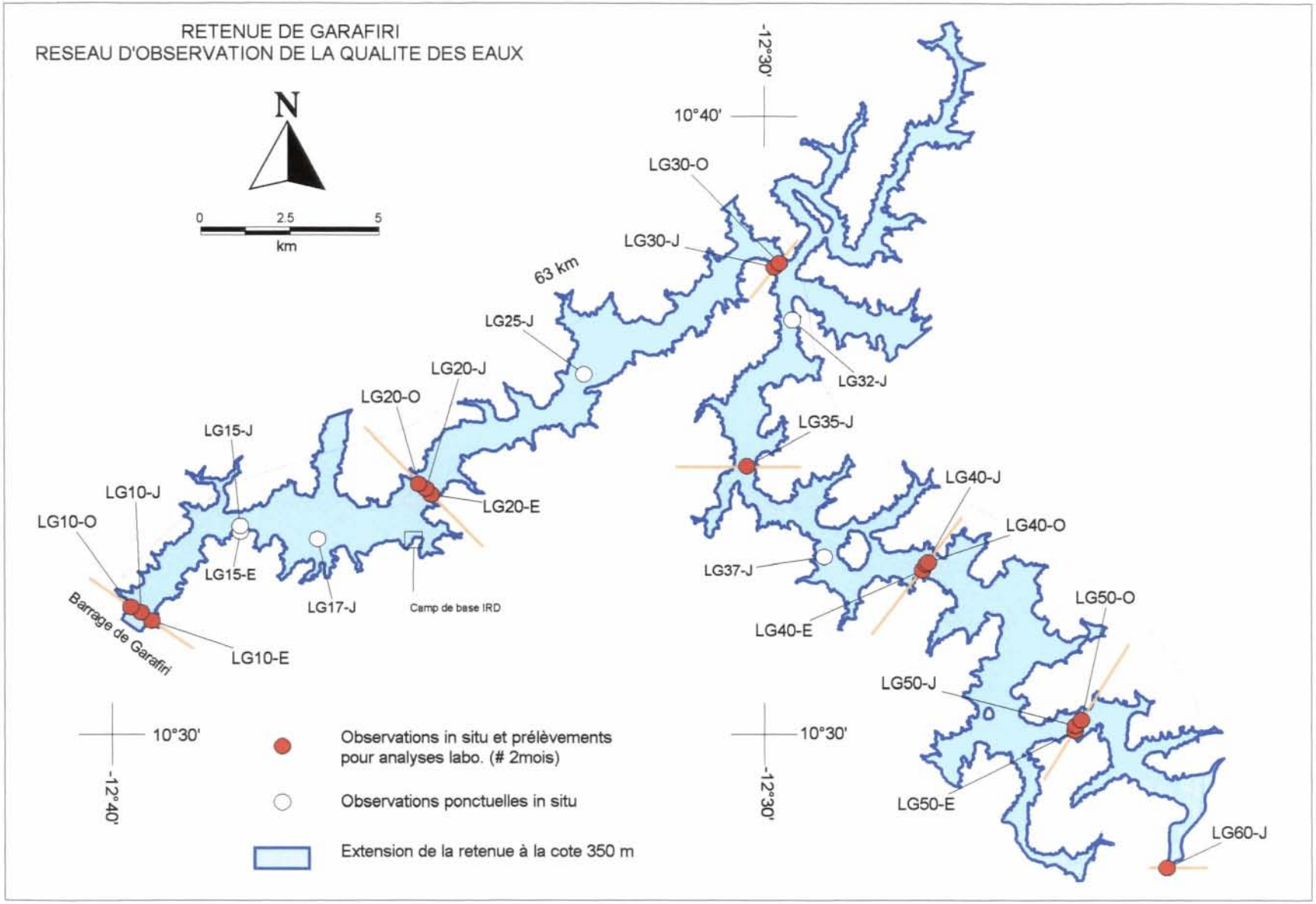


Figure 17 : Localisation des points de mesure de la qualité de l'eau sur le retenue

IV. RESULTATS DU SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX

IV.1. QUALITE DES EAUX DES RIVIERES DU BASSIN

IV.1.a. Caractéristiques générales

Les mesures et analyses effectuées permettent de mettre en évidence quelques grandes caractéristiques de la qualité physico-chimique des eaux du bassin :

Les eaux de rivières sont peu minéralisées, avec une conductivité faible, le plus souvent comprise entre 10 et 40 µS/cm. Ces faibles valeurs résultent d'une pluviométrie importante sur un bassin à forte pente, avec une faible perméabilité qui favorise le ruissellement, et des roches superficielles peu solubles (grès et latérite). On observe pour l'ensemble des stations sur les rivières une variation saisonnière de la conductivité bien marquée, avec un minimum en saison des pluies (août-sept) et le maximum fin avril-début mai (Figure 19).

Certaines stations présentent cependant des caractéristiques particulières, aussi bien en ce qui concerne la conductivité que la composition ionique. C'est le cas de la station K01, située sur le Konkouré à côté de Linsan, ou de K09-B à l'aval du déversoir de l'usine de bauxite de Fria.

La composition globale est telle que représentée en (Figure : 18) :

- le bicarbonate domine largement dans les anions,
- les cations sont en proportions plus égales, la silice dissoute contribue de façon significative au total des substances dissoutes.
- les concentrations en nutriments (nitrate, ammonium, nitrite et phosphate) sont en général faibles et peu susceptibles de donner lieu à une production primaire significative.

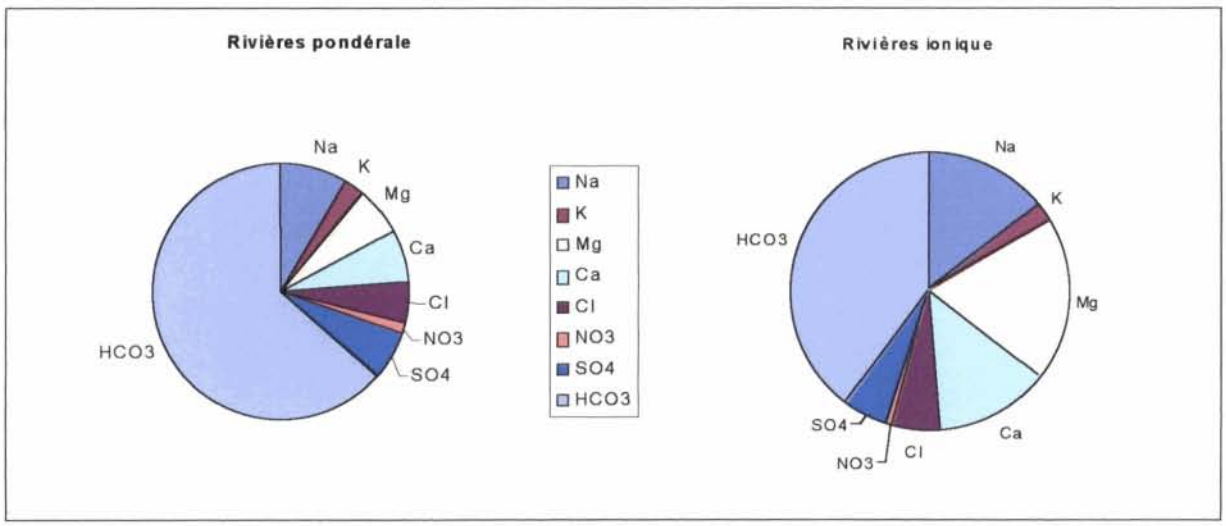


Figure : 18 Composition moyenne en ions majeurs de l'eau des rivières du bassin du Konkouré (composition pondérale (mg/L) et ionique (mé/L).

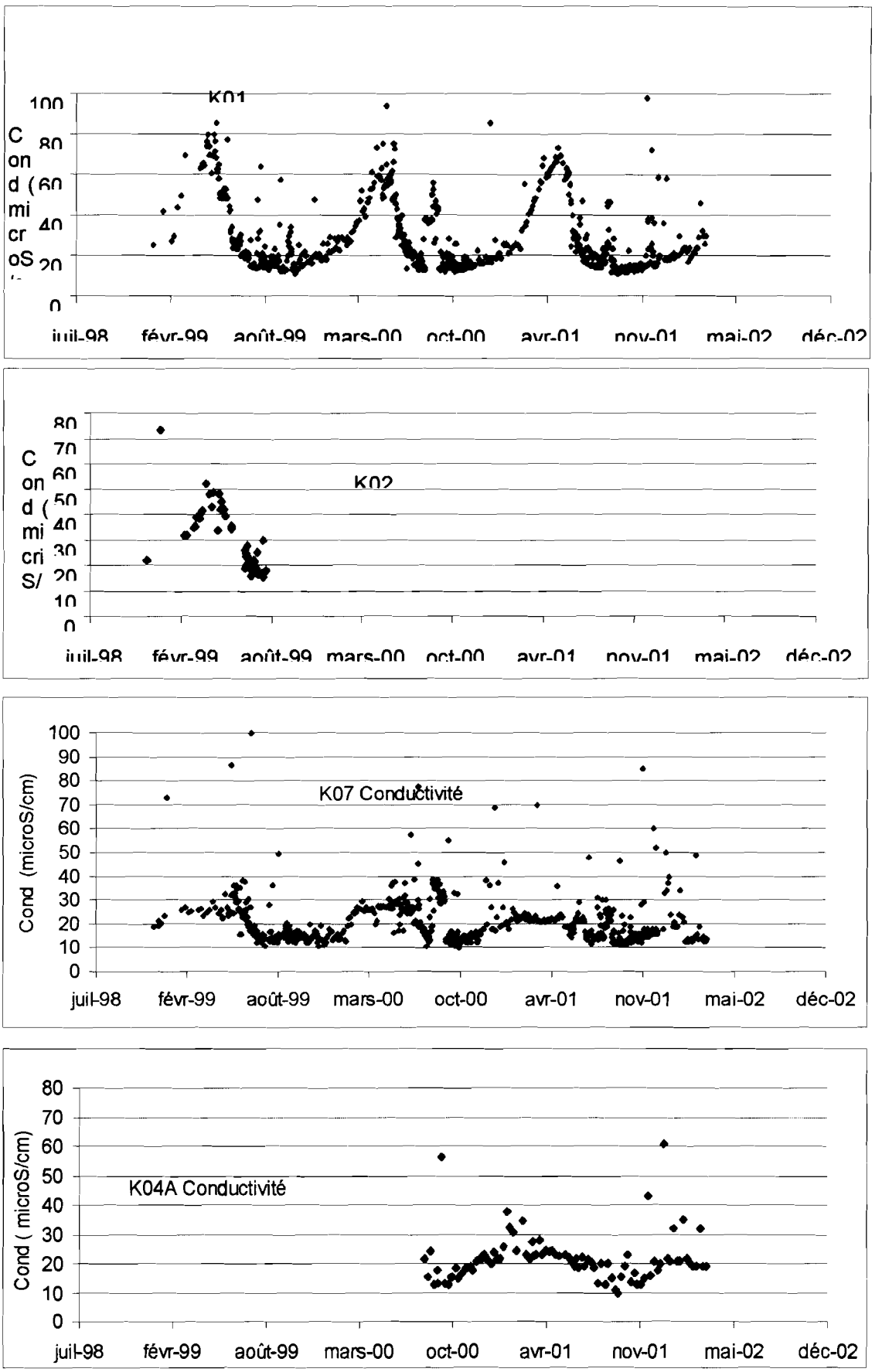


*Figure 19 : Evolution au cours du temps de la conductivité aux différentes stations du bassin du Konkouré (données PIG). La teneur en sels dissous (mg/L)= environ 0,8*Cond (µS/cm).*

IV.1.b. Analyse détaillée

➢ La conductivité

Du fait des faibles valeurs généralement observées, la conductivité est ici un marqueur sensible de la concentration en ions dissous et de pollutions éventuelles. Cette variable peut donc constituer, à terme, un moyen simple et efficace de suivi de la qualité de l'eau. C'est pourquoi les résultats de conductivité obtenus au cours de ce programme sont analysés ici en détail.

Deux séries de mesures sont disponibles. D'une part les observations faites au cours des campagnes périodiques d'échantillonnage (mesures *in situ* et au laboratoire), d'autre part les mesures faites sur les échantillons collectés par les observateurs des échelles. Ce sont ces dernières, plus nombreuses, qui seront analysées ici.

Une caractéristique des valeurs de conductivité relevées au cours de cette étude est la présence de valeurs isolées fortes, plus nombreuses à certaines stations qu'à d'autres. Compte tenu du mode opératoire, les échantillons étant analysés par lots après chaque campagne, ainsi que des vérifications effectuées, il apparaît que les valeurs isolées fortes sont bien représentatives des échantillons récoltés. Ces échantillons eux-mêmes étant plus ou moins représentatifs de la section du cours d'eau dans la mesure où diverses pollutions très ponctuelles peuvent être générées par les activités humaines proches de la station d'échantillonnage. On peut noter en particulier que des stations comme K06 et K07 sont également des lieux fréquentés par les villageois pour leurs activités ménagères et personnelles, et que la station K09-B est située en aval du rejet de l'usine d'alumine de Fria.

Cinq stations sont situées hors de la zone d'influence du barrage, soit parce qu'elles sont en amont de celui-ci (K01 et K02-B), soit parce que placées sur des affluents du Konkouré : K05 et K06 sur la Kakrima et la Kokoulo, et K10 sur la Badi.

Les stations du bassin amont, K01, K05 et K06, ont une saisonnalité bien marquée, avec une conductivité qui augmente progressivement au cours de l'étiage et qui baisse rapidement à l'arrivée de la crue. L'amplitude de variation y est cependant très différente. La Kakrima à K05 et la Kokoulo à K06 ont une conductivité qui varie respectivement de 10 à 30 et de 10 à 40 µS/cm, tandis que dans le Konkouré cette variation est de 10 à 80 µS/cm. Ces fortes valeurs d'étiage peuvent être en partie attribuées aux eaux usées de la petite agglomération de Linsan (et, plus en amont, de Mamou) dont l'effet est d'autant plus marqué que le débit est faible. Elles peuvent aussi, pour une autre partie, être dues à un ensemble de bas fonds qui restent partiellement inondés au cours de l'année et peuvent alimenter le Konkouré en amont de K01 avec des eaux enrichies par l'évaporation, par la végétation ou l'infiltration dans les sols. La portion du bassin versant qui alimente le Konkouré entre K01 et K02-B contribue à amortir ces perturbations, et donc à régulariser les valeurs d'étiage de conductivité de la rivière à K02-B.

On remarque que les maximums annuels à K05 et K06 sont différents suivant les années, avec des valeurs plus faibles lorsque la saison des pluies précédente a été relativement importante en intensité et en durée.

La station K10 sur la Badi représente les apports d'un bassin de 3220 km2, équivalent à celui de K05 (3190 km2), mais les variations saisonnières de la conductivité y sont moins nettement marquées du fait de nombreuses valeurs relativement fortes dispersées surtout au cours de la saison sèche. Cette variabilité peut être attribuée à la présence du complexe des trois barrages hydroélectriques de Banéa, Kondéa et Grandes Chutes sur la Samou, un affluent du cours supérieur de la rivière. C'est par contre à cette station K10 que sont relevées les plus faibles conductivités du bassin, au cours de la saison des pluies avec, par exemple, 16 valeurs sur 30 inférieures à 10µS/cm en septembre 2000.

L'influence du barrage de Garafiri se manifeste directement sur la station K04-A, et plus ou moins fortement sur le régime hydrique et la conductivité des stations, K07, K08, K09A et K09-B puis sur K11, en fonction des apports des bassins versants intermédiaires.

La station K04-A, située environ 200 m en aval du barrage, est influencée par la qualité des eaux turbinées, et aussi par un petit affluent de rive gauche, le Kounkoun, qui débouche entre le barrage et la station. C'est probablement à cet affluent que l'on doit les faibles conductivités observées à cette station durant la saison des pluies.

La station K07 ne dépend de Garafiri que pour 24% de son bassin mais son débit moyen mensuel d'étiage en avril est passé de 6,1 m3/s en 1998 avant la construction du barrage à 79,3 et 80,2 m3/s en 2000 et 2001 (voir "Ecoulement des eaux continentales et transports solides"). Il en résulte que la conductivité de saison humide est relativement basse et stable, influencée par le bassin versant non contrôlé par Garafiri (autour de 15µS/cm d'août à décembre 1999, par exemple). Elle passe ensuite à une valeur également stable, de 25 à 30 µS/cm, jusqu'au début de la saison des pluies suivante. Cette conductivité, observée en 1999 pendant le remplissage de la retenue (barrage fermé) ainsi qu'en saison sèche 2000 (soutien d'étiage par le barrage), indique que la conductivité ne différencie pas l'eau turbinée de l'eau d'étiage du bassin versant intermédiaire entre le barrage et K07.

Les mêmes considérations pourraient s'appliquer à K08, en aval des chutes de Kaléta, avec un bassin versant à peine plus grand (11420 km2 au lieu de 10210 km2), et un débit modifié par Garafiri dans les mêmes proportions que celui de K07. On retrouve effectivement des valeurs de conductivité semblables en saison des pluies, mais une forte proportion de valeurs fortes isolées en saison sèche, qui sont plus rares aussi bien en amont à K07 qu'en aval à K09A.

Les débits d'étiage et la qualité de l'eau à K09A sont également influencés par Garafiri. On observe cependant une variation saisonnière assez bien marquée, avec moins de variabilité à court terme et moins de valeurs fortes isolées qu'à K08.

Cette situation est perturbée à peu de distance en aval par les rejets liquides de l'usine d'alumine de Fria. Autrefois, l'usine rejetait directement dans le Konkouré à la fois ses effluents liquides, contenant une forte concentration en soude, et des boues qui se maintenaient en suspension jusqu'à l'estuaire et coloraient fortement l'eau. Actuellement, les rejets solides sont piégés dans un barrage, et seuls les rejets liquides parviennent après décantation à la rivière. Leur volume dépend de la gestion du barrage de décantation et de l'activité de l'usine qui elle-même dépend de critères économiques. Le pH des rejets à leur entrée dans la rivière est de 10 à 11 et leur conductivité de l'ordre de 5700 µS/cm (mesure de février 1999). Il est probable que les rejets urbains de la ville de Fria participent également à la modification locale de la qualité de l'eau.

La station K09-B est située moins de 5 km en aval de ce rejet, sur la même rive. A ce niveau, le mélange des rejets est encore partiel et variable, puisque les eaux les plus concentrées se trouvent encore en rive droite (Tableau 13). Ce mélange partiel explique les fortes valeurs des conductivités observées à cette station, comprises entre 10 et plus de 100 µS/cm, associées à une variabilité particulièrement importante (noter l'échelle de conductivité utilisée pour K09-B dans la (Figure 19). Cette variabilité a évolué dans le temps. De janvier 1999 à avril 2000, on observe un certain nombre de séquences où la conductivité des échantillons reste stable pendant environ un mois, ce qui peut faire douter de la régularité de l'échantillonnage. A partir de juin 2000, un nouveau régime de la conductivité, avec des valeurs instantanées plus fortes et plus variables que précédemment, semble s'être installé à la station K09-B. Les séquences de fortes valeurs, jusqu'à 300 µS/cm, peuvent correspondre à des vidanges partielles de la retenue des effluents de Fria (novembre et décembre 2000, avril 2001).

	Conductivité (µS/cm)		
Date	Rive droite	Milieu	Rive gauche
11/02/1999	38	33	30
7/11/2001	76	12	12
31/01/2002	33	22	22
4/04/2002	18	18	22
22/05/2002	29	23	22
17/06/2002	40	67	28

Tableau 13 : Exemples de mesures de conductivité en surface sur une section du Konkouré à la station K09-B.

La variabilité à court terme (journalière) de la conductivité à K09-B est largement réduite à la station K11, située à 11 km en aval. Si l'on compare par ailleurs les deux stations K09A et K11, les valeurs de conductivité observées à K11 en période de crue sont semblables à celles de K09A, ce qui montre que le mélange des rejets de Fria est alors complet, et que la dilution est suffisante pour rendre leur effet peu perceptible. En régime d'étiage, de décembre à mai inclus, deux situations sont à prendre en compte. La première concerne la période décembre 1998 mai 1999, durant la construction et le début de remplissage de la retenue de Garafiri. Le débit du Konkouré est alors celui d'un étiage naturel, peu modifié par la fermeture du barrage en avril 1999. La conductivité à K11 est alors sensiblement plus forte qu'à K09A, plus variable et proche de celle de K09-B, parce que les débits ne permettent pas une dilution suffisante. Au cours de la deuxième période, avec un barrage de Garafiri fonctionnel, le débit d'étiage plus fort (de l'ordre de 100 m3/s en avril 2000 et 2001 contre moins de 30 m3/s en 1998 et 1999) contribue à diminuer les effets des rejets. Le mélange est alors plus complet, ce qui se traduit par une variabilité à court terme à K11 plus faible qu'à K09-B, et la dilution se traduit par une conductivité moyenne en avril 2000 de 30,2 µS/cm à K11 (moyenne de 6 valeurs) pour 24,4 µS/cm à K09A (moyenne de 10 valeurs). La dilution n'est cependant pas suffisante pour amortir complètement l'effet des plus forts rejets en fin d'étiage après le 1 juin 2000.

➢ L'oxygène dissous

La teneur en oxygène dissous dans l'eau des rivières du bassin, exprimée ici par le pourcentage de saturation, a été mesurée à des moments différents de la journée dans les différentes stations, en fonction du déroulement des campagnes de mesure. Cependant, il n'apparaît pas dans les données un effet "heure" qui pourrait résulter du rythme circadien de la photosynthèse ou de la respiration des organismes. Par contre, l'ensemble des valeurs est nettement dissocié en deux groupes de stations. Le premier comprend les stations K01, K02-B, KO4A et K04-E, (séries 1 à 4 de la Figure 20) qui présentent occasionnellement des pourcentages bas de saturation en oxygène, et qui dépassent rarement 90%. Si, pour K04-A et K04-E (séries 3 et 4), la cause de ce déficit par rapport à la saturation est liée au turbinage d'eau de la couche profonde du réservoir, la raison des faibles teneurs en oxygène à K01 et surtout K02B (séries 1 et 2) n'est pas claire. Une possible pollution organique liée aux marécages et à la ville de Linsan, qui pourrait expliquer les valeurs de K01, ne semble pas applicable à K02B.

Dans les autres stations du bassin K05 à K11 (séries 5 à 11 respectivement), et KKR30 et KKR50 (séries 12 et 13), la teneur en oxygène est généralement proche de la saturation avec une moyenne de 96,4 % et un écart-type de 9,6. Ces valeurs, proches de l'équilibre avec l'atmosphère, sont celles que l'on peut logiquement attendre dans un cours d'eau peu perturbé avec une pente moyenne prononcée.

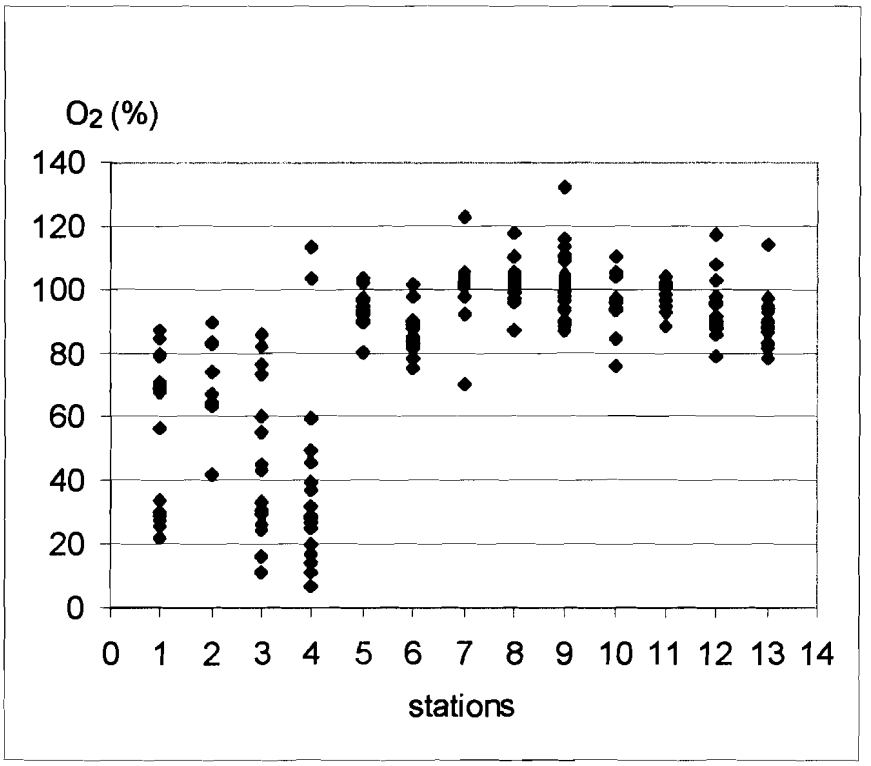


Figure 20 : Distribution de l'ensemble des mesures d'oxygène (pourcentage de saturation) dans les stations des rivières du bassin.

➢ Les ions majeurs et la silice dissoute

Les résultats sont présentés dans les (Tableau 14 et Tableau 15). Ils portent sur la période allant de février 2000 à juillet 2001.

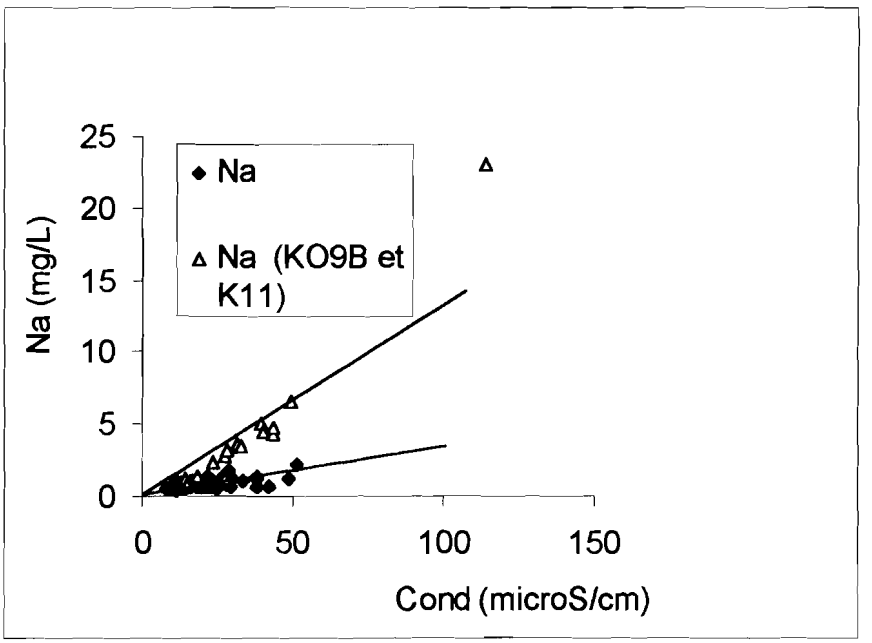


Figure 21 : Relation entre la conductivité et la concentration en sodium dans les rivières. Les stations K09-B et K11 sont enrichies en sodium par rapport au reste du bassin.

Comme pour les conductivités, les deux stations K09-B et K11 sont influencées par les rejets de l'usine de Fria et présentent une composition particulière : elles sont enrichies en sodium et donc relativement appauvries en K, Ca et Mg. Pour une conductivité donnée, la concentration en Na des deux stations et environ 5 fois plus forte que dans le reste du bassin (Figure 21).

En excluant les deux stations situées à l'aval de Fria, la composition relative en cations, représentée peut se résumer par les valeurs suivantes (en composition pondérale) :

Bassin du Konkouré	Moyenne mg/L	Ecart-type
Na	0,94	0,48
K	0,26	0,12
Ca	0,73	0,23
Mg	0,67	0,17

Tableau 14 : Composition moyenne en cations (mg/L) des eaux du bassin du Konkouré.

La composition en anions est largement influencée par le bicarbonate. Si on exclut les valeurs isolées extrêmes liées à des pollutions et des erreurs analytiques, la concentration moyenne en anions et silice des rivières est donnée dans le tableau suivant (n=45 pour les ions et n= 151 pour la silice) :

Bassin du Konkouré	Moyenne mg/L	Ecart-type
Cl	0,58	0,16
SO4	0,67	0,20
HCO3	6, 89	2,81
NO3	0,11	0,21
SiO2	6,01	3,07

Tableau 15 : Composition moyenne en anions (mg/L) des eaux du bassin du Konkouré.

Les écarts-types relativement élevés indiquent une forte variabilité des concentrations de certains composants, en particulier du nitrate, pour lequel la valeur moyenne résulte de quelques valeurs fortes.

Des six fleuves issus du Fouta Djalon, ceux qui drainent le versant ouest du massif sont les moins minéralisés, et parmi eux le Konkouré est celui dont les eaux sont les moins concentrées en substances dissoutes (Orange, 1990).

Si l'on prend la composition moyenne des eaux de pluie en région guinéenne donnée par le même auteur (station de Kédougou), la conductivité calculée des eaux de pluie serait de l'ordre de 13,7 µS/cm pour une teneur en substances dissoutes (silice incluse) de 10,4 mg/L (Tableau 16). Cette valeur de conductivité, proche de celles observées dans les rivières, est probablement surestimée, mais elle indique bien que la minéralisation des eaux du bassin du Konkouré est largement influencée par les eaux de pluie de cette région proche de l'océan.

	Cl	SO4	HCO3	NO3	PO4	Ca	Mg	K	Na	NH4	SiO2
mg/L	0,3	1,0	4,8	0,5	0,3	1,9	0,1	0,2	0,3	0,3	0,7

Tableau 16 : Composition de l'eau de pluie en climat guinéen (Station de Kédougou, mg/L) d'après Orange, 1990.

➢ La chlorophylle du phytoplancton et les nutriments

Dans les rivières, la concentration en chlorophylle est généralement basse (Tableau 18)

La distribution dans le temps et dans l'espace se caractérise par :

- des valeurs moyennes plus fortes à la station K01 que dans le reste du bassin, que l'on peut attribuer à la pollution urbaine,
- un léger pic de concentration en fin d'étiage, favorisé par la faiblesse du courant : si l'on excepte la station K01, la concentration moyenne dans le reste du bassin est de 3,2 mg/m3 en avril 2000, de 4,2 mg/m3 en mai 2001 et 5,3 en juin 2002 . Après la saison des pluies, la concentration moyenne est de 0,2 mg/m3 en novembre 2000 et 2001.

Ces faibles valeurs de concentration des pigments résultent d'une association de facteurs parmi lesquels la forte pente moyenne du cours, facteur de turbulence, et la disponibilité réduite en éléments nutritifs jouent probablement un rôle prépondérant. En saison sèche, la faible profondeur de l'eau favorise le développement local de végetaux attachés qui entrent en compétition avec le phytoplancton pour les ressources nutritives.

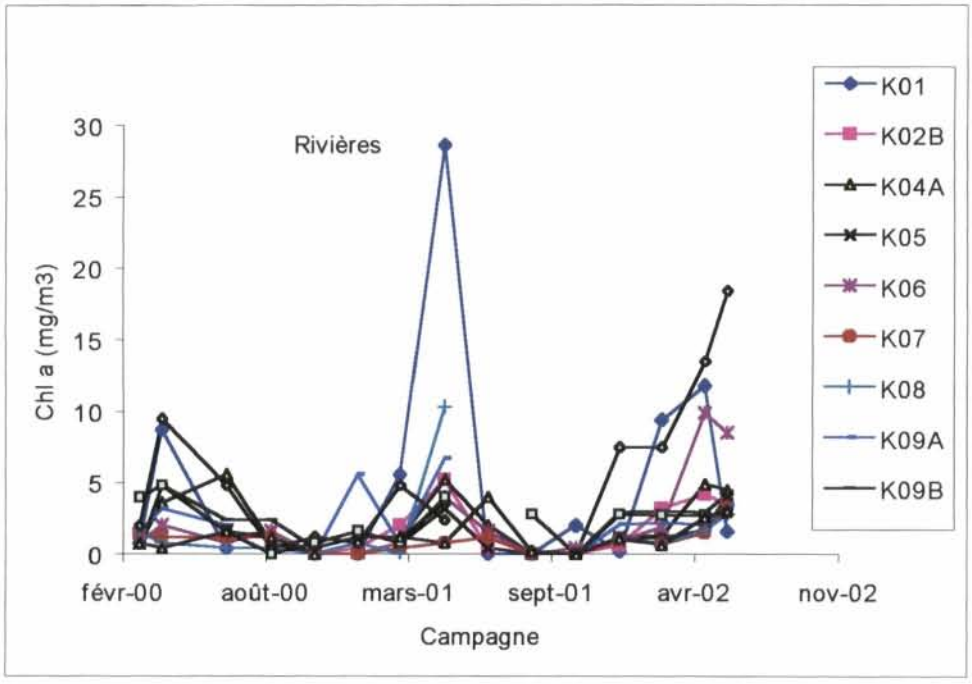


Figure 22 : Evolution au cours du temps de la concentration en chlorophylle dans les différentes stations du bassin.

date	mars-00	avr-00	juil-00	sept-00	nov-00	janv-01	mars-01	mai-01	juil-01	sept-01	nov-01	janv-02	mars-02	mai-02	juin-02
K01	0,8	8,7	0,4	0,4	0,0	0,0	5,6	28,6	0,0	0,0	2	0,2	9,4	11,8	1,6
K02				0,8	0,0	0,4	2,0	5,2	0,4	0,0	0	0,6	3,2	4,2	3,5
K04A	0,8	3,6	5,6	0,8	0,0		1,2	5,2	2,0	0,0	0	1,2	1,3	4,9	4,5
K05	1,2	1,2	1,2	1,6	0,0	0,0	0,8	3,2	0,4	0,0	0	1,2	1,1	1,7	4,1
K06	0,8	2,0	0,8	1,6	0,0	0,0	0,8	4,0	1,6	0,0	0,4	0,9	1,9	9,9	8,5
K07	1,6	1,2	1,2	1,2	0,0	0,0	0,4	0,8	1,2	0,0	0	1,0	0,8	1,5	3,3
K08	1,6	0,8	0,4	0,4	0,0	0,8	0,0	10,3		0,0	0	1,1	0,8	1,7	2,8
K09A	1,6	3,2	2		0,0	5,6	0,8	6,7		0,0	0	2,1	2,2	2,1	3,4
K09B	0,4	4,8	2,4	2,4	0,4	1,2	1,2	3,6		0,0	0	2,9	3,0	2,9	4,2
K10	2,0	9,5	4,8	0,4	1,2	0,8	4,8	2,4		0,2	0	7,5	7,5	13,5	18,4
K11	4,0	4,8	1,6	0	0,8	1,6	0,8	4,0		2,8	0	2,8	2,7	2,7	2,9
KKR50	0,8	0,4	1,6	1,2	0,0		1,2	0,8	4,0	0,2	0	1,1	0,6	2,6	3,1

Tableau 17. Valeurs des concentrations en chlorophylle mesurées dans les rivières du bassin du Konkouré.

Les concentrations en éléments nutritifs mesurées au cours du programme concernent les formes dissoutes de NO_3-N, NO_2-N, NH_4-N et PO_4-P. Comme signalé plus haut, les valeurs observées dans les rivières du bassin sont en général faibles, et proches de la limite de détection des méthodes utilisées. Pour chacun des nutriments, quelques valeurs fortes isolées apparaissent, qui correspondent à des dates différentes pour des stations différentes. Elles peuvent être attribuées à une pollution locale accidentelle (Figure 23).

Sur l'ensemble des rivières, et avec les données disponibles (de septembre 2000 à juin 2002), les médianes sont égales au seuil de détection des techniques analytiques utilisées à l'exception du phosphore, respectivement :

- [NO3-N] = 0,01 mg N/l avec 95% des valeurs inférieures à 0,1 mg N/L
- [NO2-N] = 0,002 mg N/L avec 95% des valeurs < 0,02 mg N/L
- [NH4-N] = 0,01 mg N/L avec 95% des valeurs < 0,2 mg/L
- [PO4-P] = 0,07 mg P/l avec 95% des valeurs < 0,30 mgP/L.

Les moyennes des données obtenues sont les suivantes :

- [NO3-N] = 0,019 mg N/l, écart-type = 0,037 (n= 139)
- [NO2-N] = 0,006 mg N/L, écart-type = 0,018
- [NH4-N] = 0,064 mg N/L, écart-type = 0,147
- [PO4-P] = 0,107 mg P/L, écart-type = 0,095.

Ces valeurs situent les eaux de rivières du bassin dans la gamme basse des concentrations en azote dissous des eaux naturelles, et plutôt dans la gamme moyenne en ce qui concerne le phosphore (OCDE, 1982).

Si on exclut du calcul les valeurs isolées supérieures à 5 fois la moyenne de chacune des variables, la valeur moyenne du rapport N/P (N minéral/PO4-P) des teneurs pondérales permet d'estimer quel est l'élément nutritif limitant:

N/P moyen = 1,1 (n=125 ; écart-type 1,6)

Ce rapport indique une nette limitation du développement de la biomasse primaire par l'azote, comme c'est souvent le cas dans les milieux aquatiques africains, contrairement à ceux de l'Europe ou d'Amérique du Nord. Réciproquement, on peut donc aussi interpréter les faibles concentrations d'azote minéral dissous par l'assimilation de ces composés par le phytoplancton et la végétation benthique.

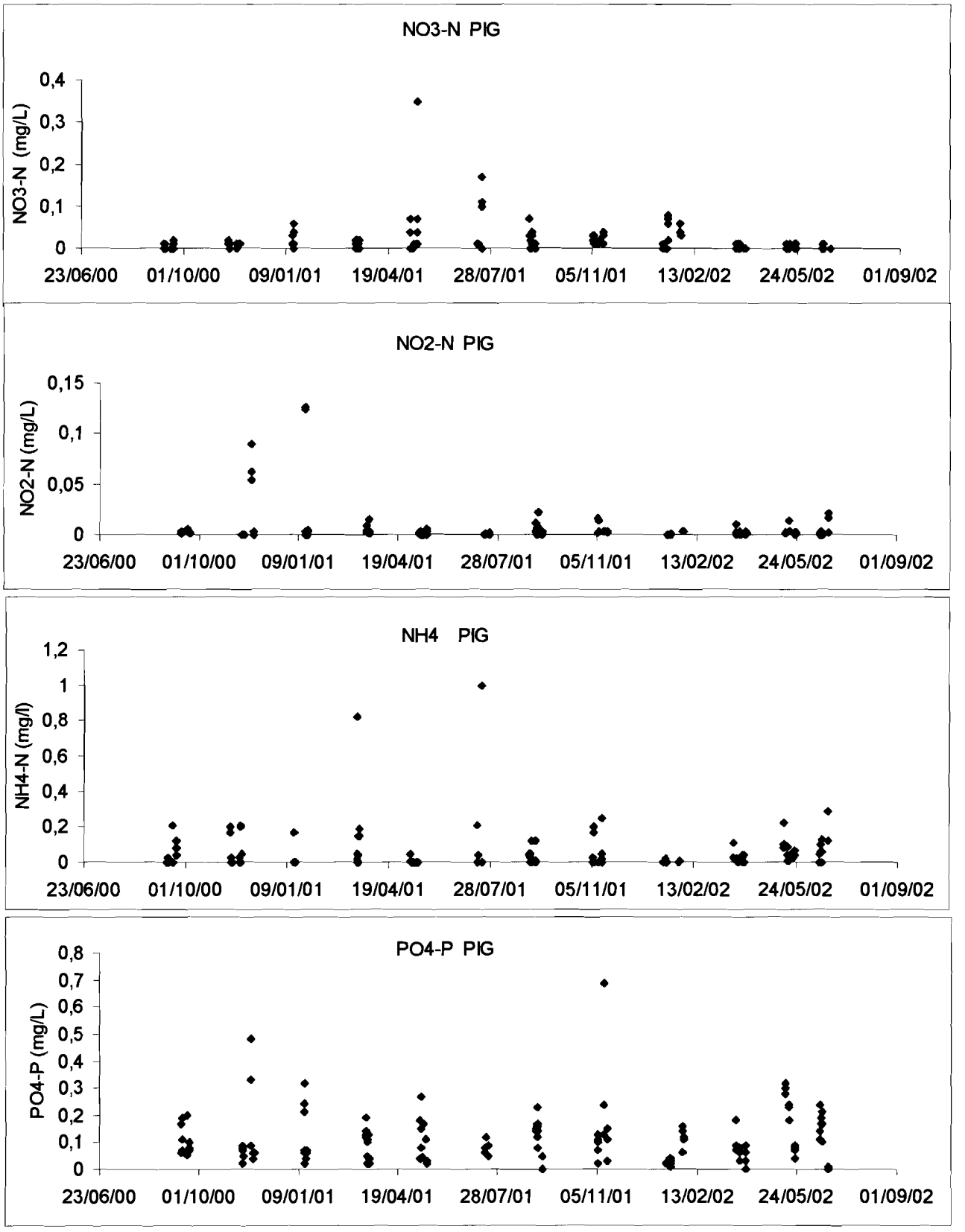


Figure 23 : Les concentrations en éléments nutritifs mesurées dans les rivières de septembre 2000 à juin 2002

➢ Carbone organique dissous et particulaire

Les analyses ont porté sur les échantillons de quatre campagnes : avril et novembre 2000, janvier et mai 2001. Ces périodes d'échantillonnage excluent donc le début de crue, qui correspond en général aux plus fortes concentrations en matières en suspension.

Les principales caractéristiques de l'ensemble des résultats (n= 47) sont résumées dans le (Tableau 19). Les concentrations en carbone particulaire sont en général inférieures à celles du carbone dissous, avec des valeurs basses pour l'ensemble, 90 % des valeurs de Carbone organique total étant inférieures à 4 mg/L. Les données disponibles ne font pas apparaître de variations saisonnières.

Pour la période d'avril 2000 à mai 2001, la moyenne des concentrations en MES dans les rivières a été évaluée à 16 mg/L pour l'ensemble du bassin. Le carbone organique particulaire représente donc une faible partie, moins de 10 %, des matières solides transportées.

Rivières	C dissous	C total	C particulaire
Moyenne (mg/L)	1,77	2,77	0,98
Ecart-type	0,44	0,79	0,66
Etendue	0,86 - 3,05	1,22 – 5,21	0,00 – 3,82

Tableau 18 : Le carbone organique dissous et particulaire dans les rivières du bassin du Konkouré (avril 2000 - mai 2001).

➢ La transparence de l'eau

La transparence mesurée dans les rivières à l'aide du disque de Secchi varie entre 0,7 et 3,8 m. D'une façon générale, la transparence est maximale entre janvier et avril, et le minimum se produit en début de crue (fin juin-début juillet 2000, juillet-septembre 2001 et fin juin 2002) (Figure 24). Contrairement à d'autres bassins de l'Afrique de l'Ouest, il n'y a pas de relation entre transparence et concentration en MES, ce qui résulte des faibles concentrations de MES dans les rivières du bassin du Konkouré (voir Mesure et contrôle des transports solides).

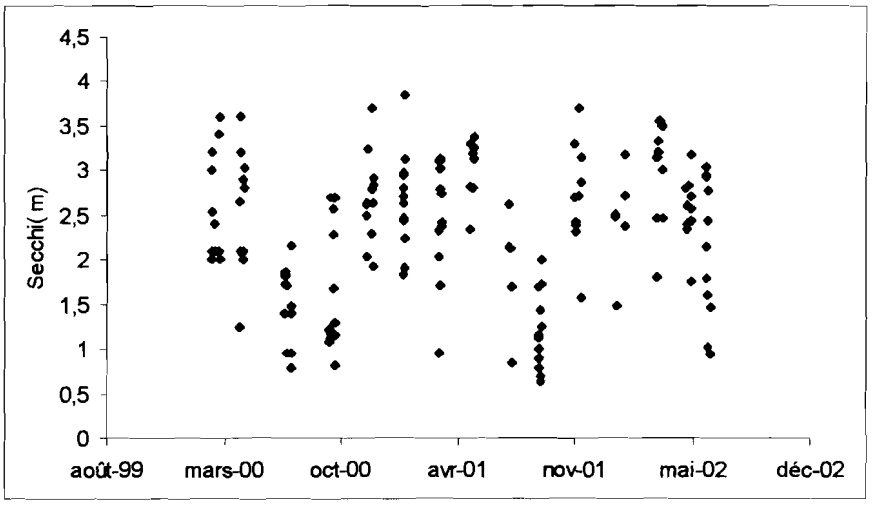


Figure 24 : Variation au cours du temps de la transparence mesurée au disque de Secchi dans les rivières du bassin

➢ Le fer en solution

Le fer dosé sur des échantillons filtrés est considéré analytiquement comme dissous. Dans les eaux de rivières aérées comme celles du Konkouré, il s'agit essentiellement de fer sous forme colloïdale ou associé à des molécules organiques. Le fer réellement dissous (FeII) est surtout présent dans la couche profonde de la retenue.

Pour les 106 échantillons de rivière (K04 non compris), les résultats sont les suivants :

- Fe concentration moyenne = 0,37 mg/L
- écart-type = O,66
- médiane = 0,22 mg/L

Quelques échantillons d'avril 2000 (6 valeurs comprises entre 0,90 et 1,17 mg/L) contribuent à la dispersion des valeurs de concentration. Les campagnes de septembre 2000 (moyenne =0,02 mg/L, n=4) et de septembre et novembre 2001 (respectivement 0,12 mg/l, n=10 et 0,093 mg/L, n=11) présentent les valeurs les plus faibles.

IV.2. QUALITE DES EAUX DE LA RETENUE

Les mesures effectuées dans la retenue constituent plusieurs ensembles complémentaires qui permettent de décrire ce système complexe suivant différents points de vue :

➢ La structuration de la retenue en différentes masses d'eau

Les profils verticaux des variables physico-chimiques relevés sur les 16 stations à chaque campagne permettent de donner une image en trois dimensions de la répartition des masses d'eau identifiées par leur température, concentration en oxygène dissous, conductivité et pH. Les mesures de températures ont été complétées par un enregistrement en continu à différentes profondeurs à la station LG20-J.

Pour simplifier, nous proposons ici une analyse de l'évolution dans le temps de la structure du lac à la station LG10-J, avec des indications sur la structure longitudinale de la retenue (stations sur l'axe de la retenue) ainsi que sur les variations transversales sur les principaux transects. Il est important de suivre particulièrement la station LG10-J dont la structure conditionne la qualité de l'eau turbinée et rejetée à l'aval.

➢ La qualité chimique de l'eau de la retenue

Les concentrations des apports à la retenue en éléments dissous ou particulaires sont faibles. Il est donc possible que les contacts aux interfaces (sédiment du lac, masse végétale submergée lors de la mise en eau) modifient sensiblement la composition de l'eau du fait d'un temps de séjour considérablement modifié par rapport au cours normal de la rivière.

Les principales caractéristiques chimiques de l'eau du lac (ions majeurs, éléments nutritifs) seront présentées et comparées avec celles des rivières.

➢ Les processus en jeu dans les principales masses d'eau

Les processus physiques et biologiques dans la couche de surface (bilan radiatif, absorption de l'énergie lumineuse incidente, bilan photosynthèse/respiration du phytoplancton) et dans la couche de fond (réactions d'oxydoréduction, mise en solution du fer, production de CO2 et CH4) contribuent également à l'évolution de la qualité de l'eau. Ce sont ces processus susceptibles d'influer sur la concentration en oxygène qui seront ici plus particulièrement développés.

La présentation des principales caractéristiques de la retenue est proposée ci-dessous en fonction de ces trois rubriques. Le sujet n'en sera pas pour autant épuisé, et la réponse à des questions plus spécifiques peut être recherchée dans les tableaux complets des données du PIG.

IV.2.a. Structure verticale et évolution temporelle

L'analyse de la répartition verticale des principales variables physiques et chimiques dans la retenue permet de décrire la structure verticale de la colonne d'eau qui conditionne pour une grande part le fonctionnement biologique du lac.

Les profils en oxygène dissous, conductivité et température à la station LG10-J (juste à l'amont du barrage) mettent en évidence une structure verticale plus ou moins marquée suivant les saisons et caractérisée par :

- une couche de surface chaude bien oxygénée, de faible conductivité,
- une couche profonde, plus fraîche, anoxique en permanence et avec une conductivité plus élevée.

Dans la couche de surface, les échanges thermiques suivant le rythme nycthéméral du rayonnement solaire incident et les échanges gazeux avec l'atmosphère se traduisent par une concentration en oxygène proche de l'équilibre avec l'atmosphère. Dans les couches profondes, l'activité bactérienne se traduit par une anoxie, avec production de CO2 et de CH4 dissous, mise en solution du fer (Fe II) et d'ions phosphate et ammonium qui contribuent à l'augmentation du pH et de la conductivité.

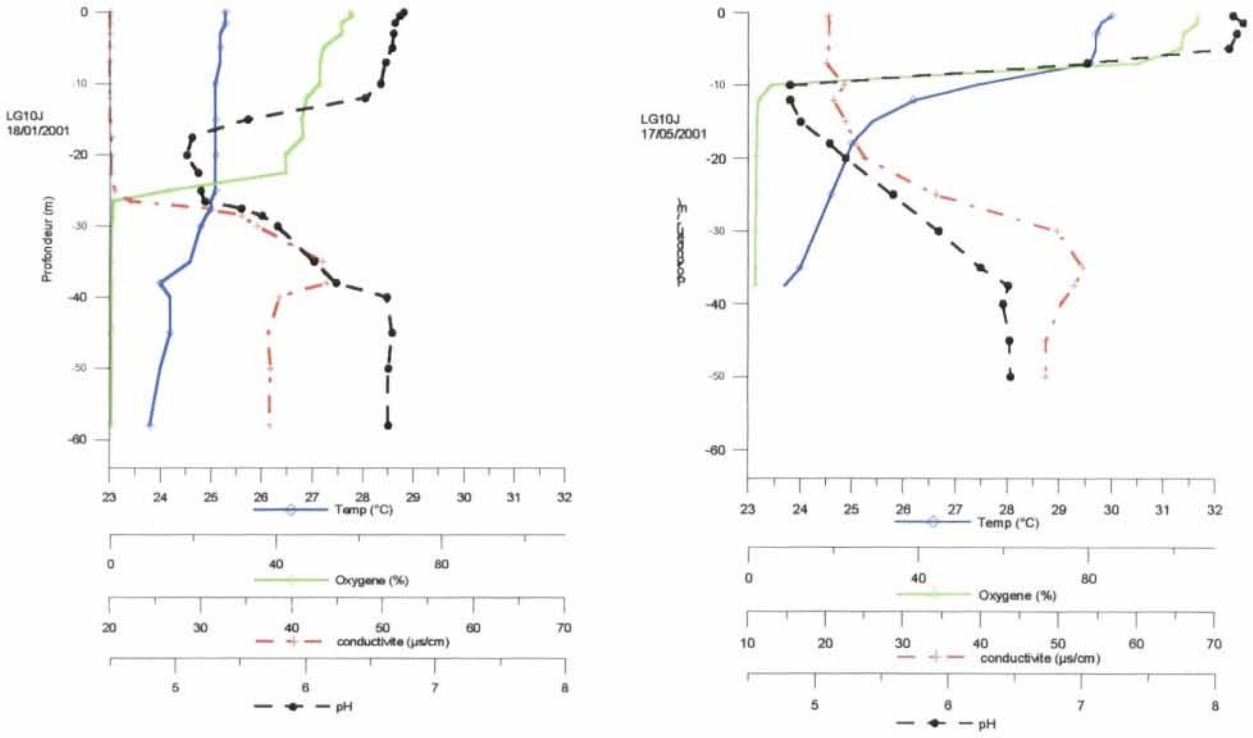


Figure 25 : Exemple de profils verticaux à la station LG10-J

Les variations saisonnières de cette structure sont représentées pour la température et l'oxygène dans la Figure 26, la Figure 27 et la Figure 28. Elles indiquent :

- une période de réchauffement de surface d'avril à juin, qui se traduit par un fort gradient vertical de la température d'avril à octobre,
- une forte déstabilisation de cette structure en janvier et février, sans toutefois provoquer de mélange complet des couches d'eau,
- la présence d'une couche profonde anoxique dans le lac au cours de la période d'étude depuis la mise en eau,
- une couche oxygénée de surface dont l'épaisseur varie entre 5 m (1999) et 23 m (mars 2000).

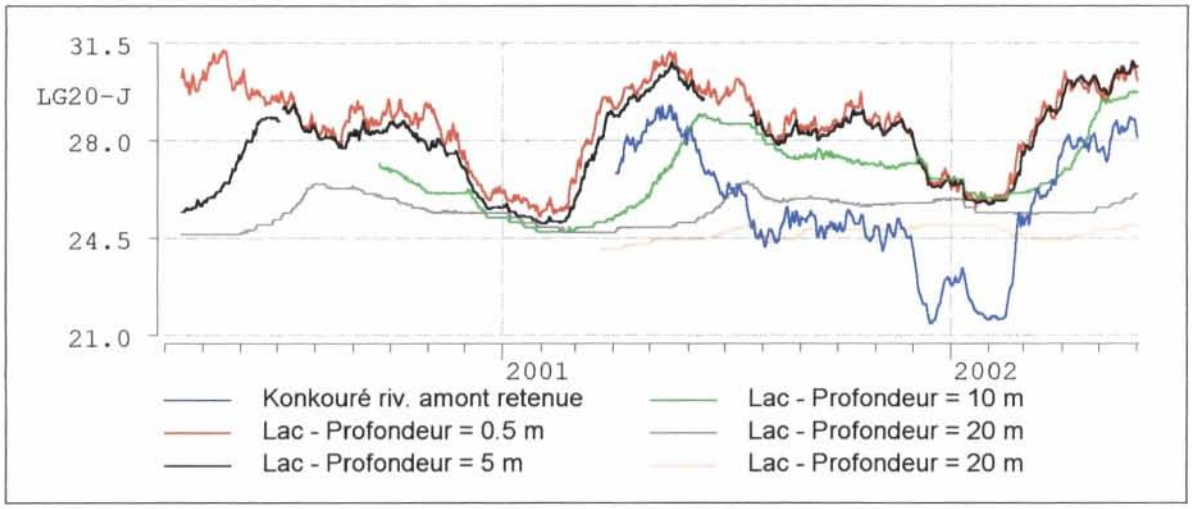


Figure 26 : Variations de température de la retenue de Garafiri à différentes profondeurs et du Konkouré en amont de l'aménagement

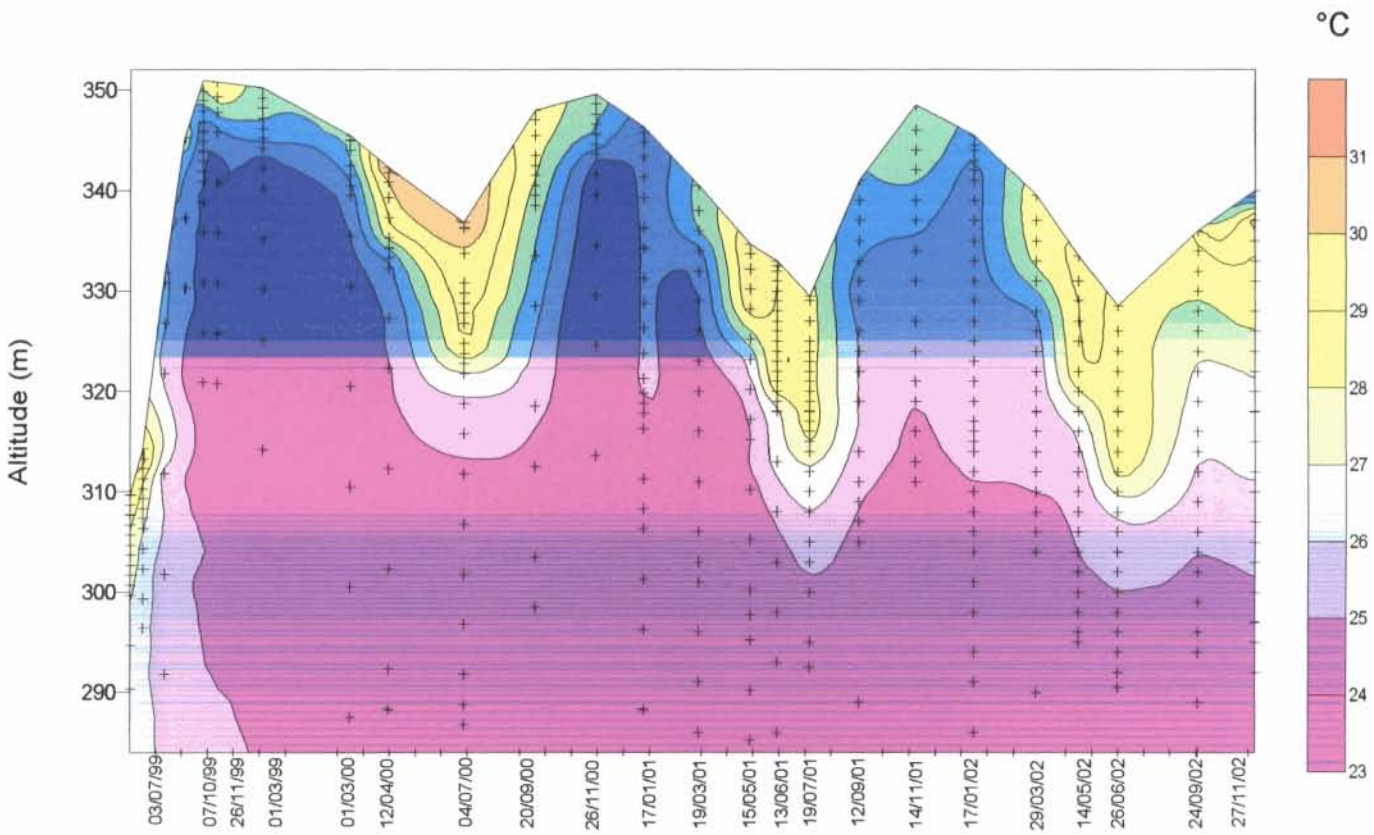


Figure 27 : Distribution de la température à la station LG10-J

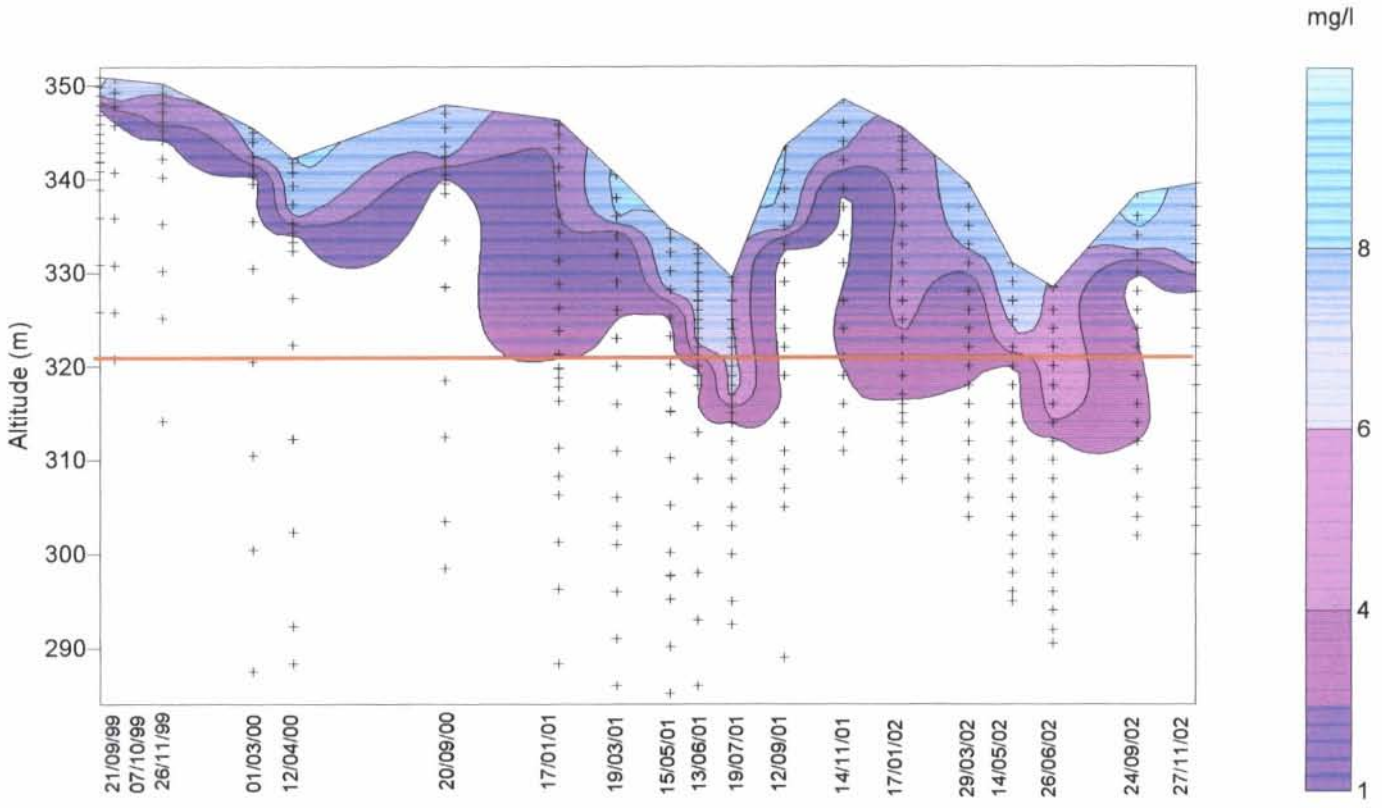


Figure 28 :Distribution de la concentration en oxygène à la station LG10-J

Le pH dans la retenue résulte de la composition chimique de l'eau modulée par les réactions biologiques telles que la photosynthèse ou les réactions d'oxydoréduction. Il n'apparaît pas de cycle nycthéméral du pH dans la couche proche de la surface favorable à la photosynthèse (prise ici de 0 à 3 m de profondeur). De même, il n'a pas été noté de variations saisonnières.

Par contre, une diminution systématique du pH à partir de la surface a été observée sur l'ensemble des campagnes. La distribution verticale des mesures de pH relevée sur les différentes stations du lac en mars 2001 représente assez bien l'ensemble des résultats obtenus au cours de l'étude : le pH est relativement élevé (pH compris entre 6,3 et 8,5) dans les 3 à 5 premiers mètres, puis diminue progressivement quand la profondeur augmente pour devenir inférieur à 6 en dessous de 15 m Figure 29). Ces valeurs ont été obtenues par mesure *in situ* à l'aide d'une sonde permettant d'atteindre 40 m. En dessous de cette profondeur, les mesures effectuées sur des échantillons remontés en surface donnent des valeurs peu cohérentes et pas toujours comparables en raison du très faible pouvoir tampon des eaux du bassin.

L'eau du bassin du Konkouré et de la retenue est peu minéralisée, et donc peu tamponnée : son pH est susceptible de varier assez fortement sous l'influence de processus chimiques ou biologiques. Dans la couche de surface, le principal processus est la photosynthèse, tandis que dans la couche profonde, ce sont les phénomènes de fermentation et de minéralisation de la matière organique. L'interface entre les deux couches est un lieu d'oxydation des substances réduites, et d'échange de gaz dissous.

La photosynthèse étant dépendante du rythme circadien de l'éclairement solaire, nous avons recherché une éventuelle variation du pH au cours de la journée sur l'ensemble des mesures effectuées sur la retenue dans la couche 0 - 3 m. Il n'apparaît pas, en général, de variation du pH de surface au cours de la journée, mais un suivi sur une même station au cours de journées ensoleillées fournirait peut-être une image différente.

Dans la couche de fond, la production de CO2 tend à faire diminuer le pH tandis que la réduction du fer en conditions d'anaérobie contribue à le faire augmenter (voir plus loin). On constate que le pH décroît jusque pH 5 à l'interface entre couche de surface et zone profonde, et croît ensuite légèrement vers le fond où il est de l'ordre de 6.

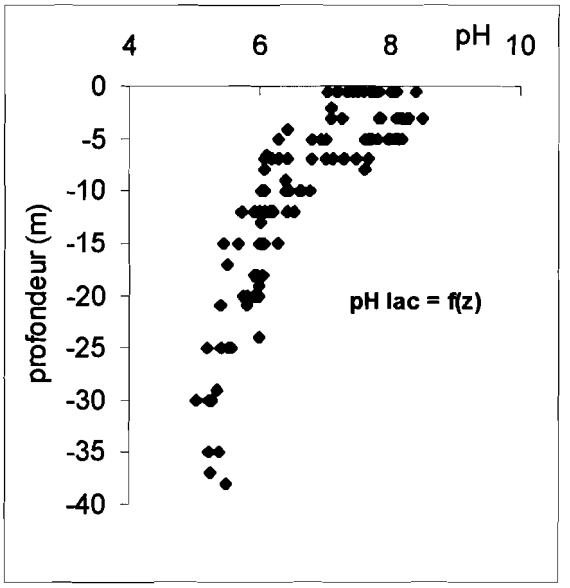


Figure 29 : Valeurs de pH en fonction de la profondeur relevées au cours de la campagne de mars 2001.

IV.2.b. Approche longitudinale et transversale

L'analyse de la répartition spatiale des profils verticaux permet d'étudier :

- La représentativité des différentes stations étudiées sur la retenue, et ainsi d'identifier des stations rendant compte de la qualité moyenne de la retenue,
- les relations entre l'amont et l'aval de la retenue, ainsi que la variabilité d'une rive à l'autre.

Les premières analyses de cette répartition spatiale portent sur les données d'avril à de septembre 2000 et mettent en évidence :

- l'extension de la stratification sur toute la longueur du lac, qui se manifeste notamment par la présence d'une couche profonde de température homogène et d'épaisseur constante sur le fond de toute la retenue en fin de saison des pluies (Figure 30),
- une couche superficielle de conductivité homogène et d'épaisseur globalement constante sur toute la retenue en fin de saison des pluies (5 m environ de LG20 à LG60).

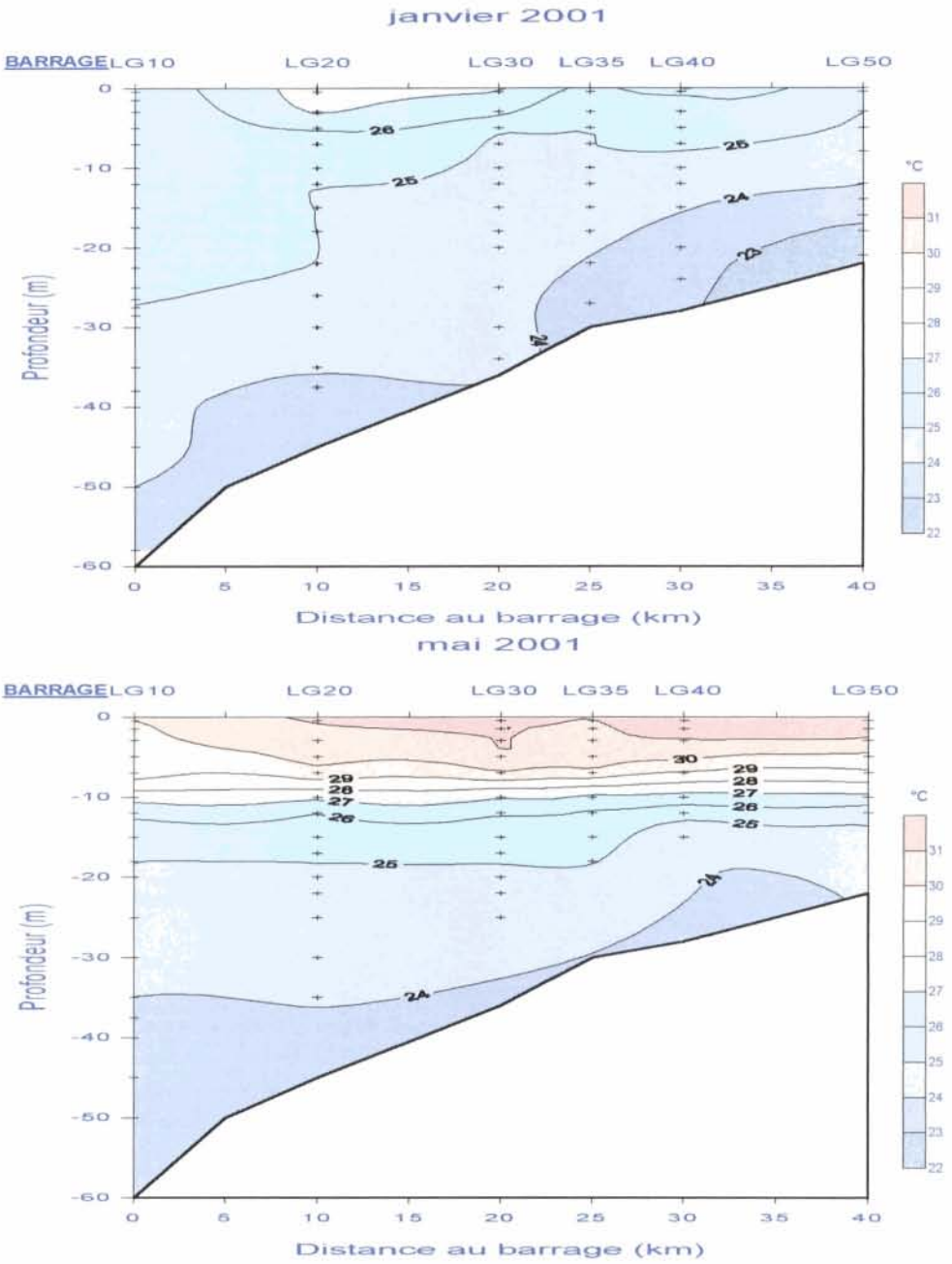


Figure 30 : Exemple de structure longitudinale de la température

L'analyse de l'évolution latérale des concentrations en fonction de la profondeur sur un même transect pour une date donnée permet d'étudier la variabilité des paramètres en fonction de la position par rapport à l'axe de la retenue. Les premiers exemples de résultats concernant l'évolution de la conductivité au niveau du transect LG10 ne permettent pas de distinguer de variabilité entre les différents profils en fonction de la position par rapport à l'axe.

Il résulte de cette analyse spatiale que la nature des phénomènes (stratification, anoxie) est bien représentée par les stations centrales, et en particulier par LG10-J.

➢ La qualité chimique de l'eau de la retenue

Du fait de la structuration de la retenue en masses d'eau différenciées, une évolution chimique se produit, identifiée en particulier par la conductivité : en période de stratification bien marquée, la conductivité est plus forte dans la zone profonde du lac. Nous verrons dans le chapitre suivant quelles sont les principales réactions biogéochimiques qui interviennent. Les éléments dissous, ions majeurs, silice et nutriments, ne montrent pas de variations organisées, et ne seront décrits que par leurs moyennes.

La couche de surface est, par contre, le lieu du développement du phytoplancton, avec une photosynthèse qui peut se traduire par des variations spatiales ou temporelles du pH.

➢ Distribution de la conductivité dans la retenue

L'ensemble des mesures de conductivité en surface (entre 0 et 2,5 m) depuis la mise en eau en juillet 1999 jusque juin 2002 est caractérisé par les valeurs suivantes :

- Conductivité moyenne = 20,7 µS/cm
- écart-type = 10,6 (n= 581)

Il n'apparaît pas de variation saisonnière, et la tendance observée à une diminution des valeurs moyennes de l'aval vers l'amont n'est pas significative (R2= 0,05). La conductivité en surface de la retenue est donc peu variable dans le temps et dans l'espace.

Pour l'ensemble des 3972 mesures effectuées aux différentes stations, la distribution des conductivités en fonction de la profondeur est caractérisée par l'apparition de valeurs fortes (supérieures à 50 µS/cm) à partir de 10 m de profondeur, et par l'absence des valeurs les plus faibles en dessous de 12 m.

Les fortes conductivités (supérieures à 50 µS/cm) sont pour 98% d'entre elles associées à une concentration en oxygène inférieure à 1 mg/L. Il y a donc une forte association entre l'augmentation de la conductivité sur une verticale et l'anoxie.

En période de stratification, le profil vertical de la conductivité du 27 juin 2002 à la station LG10-J représente bien la situation la plus fréquemment rencontrée (Figure 31)

- dans la couche mélangée de surface, la conductivité est homogène et faible (proche de 20 µS/cm),
- au niveau de la thermocline et de l'oxycline, il y a une brusque augmentation de la conductivité,
- celle-ci augmente ensuite progressivement vers le fond.

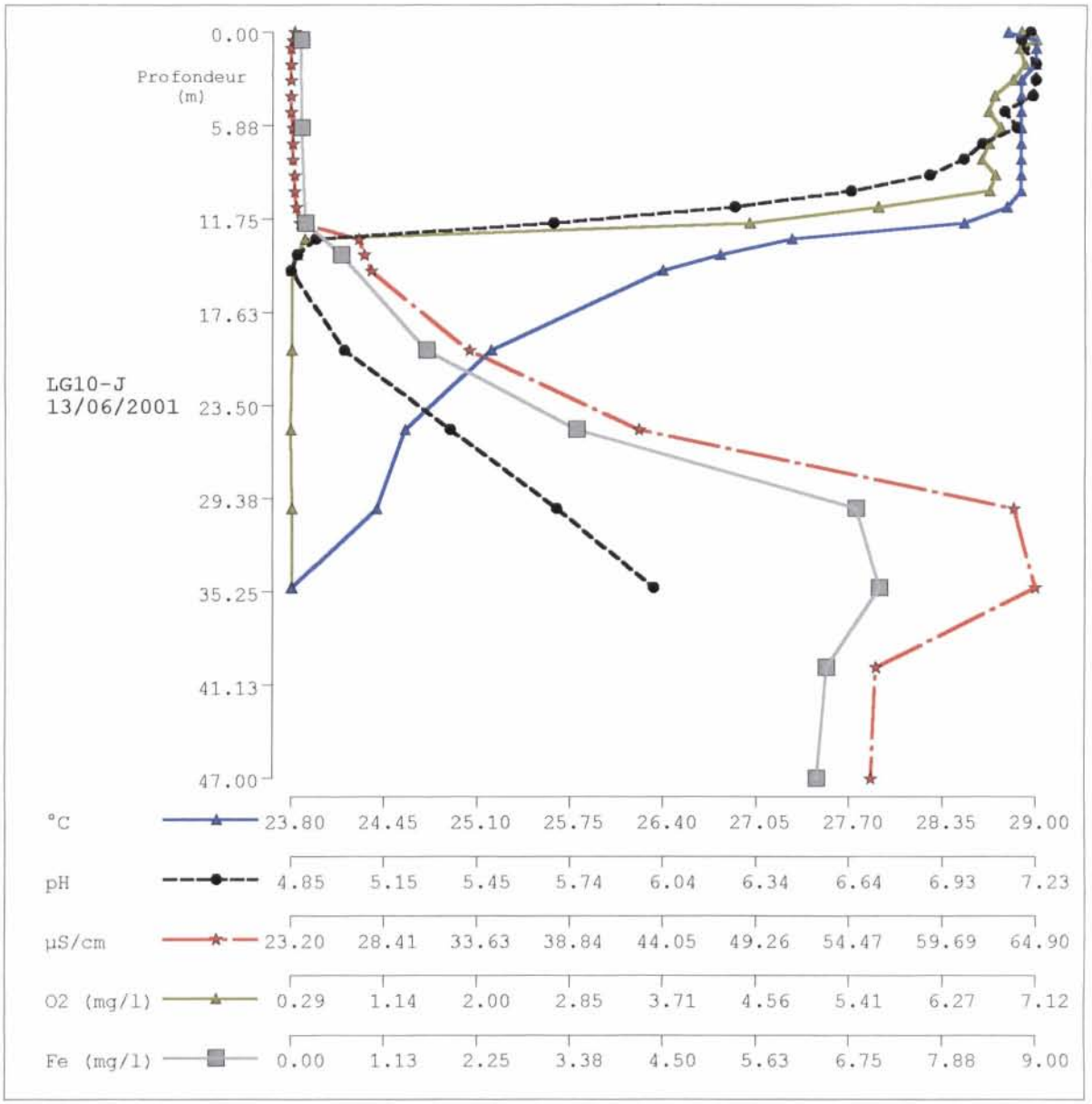


Figure 31 : Exemple de profil vertical de conductivité associé à une stratification.,station LG10-J.

➢ <u>Répartition de la concentration en chlorophylle</u>

Dans la retenue, des échantillons ont été prélevés à différentes profondeurs depuis le barrage jusqu'à l'amont de la retenue aux stations LG10-J, LG35-J et LG50-J. La distribution dans l'espace et dans le temps des concentrations en pigments chlorophylliens est hétérogène (Figure 32). Les principaux traits en sont décrits ci-dessous.

a) Distribution verticale des pigments

Si l'on considère la répartition verticale il apparaît que de fortes concentrations sont souvent présentes juste en dessous de la transition entre couche de surface et zone profonde. Cela est plus particulièrement net aux stations LG35-J et LG50-J pour lesquelles il y a eu davantage d'échantillons collectés juste en dessous de la thermocline. Ces fortes valeurs en milieu anoxique sont indicatrices de la présence de bactéries photosynthétiques.

Dans un lac, il peut arriver que les bactéries photosynthétiques, soient présentes sous l'oxycline en concentrations notables. Cela a été notamment le cas dans la retenue de Petit-Saut, avec des concentrations localisées sous l'oxycline, très supérieures à celles des cellules phytoplanctoniques et atteignant 200 à 300 mg/m3 d'équivalent Chla (Vaquer et al., 1997). Certaines bactéries photosynthétiques sont en outre capables de fixer l'azote, ce qui leur confèrerait ici un avantage dans un milieu pauvre en nutriments (Stewart, 1973).

Dans la retenue de Garafiri, les pigments détectés en dessous de l'oxycline doivent donc être interprétés en tenant compte de la présence vraisemblable de ces bactéries. Le spectre d'absorption de ces pigments n'étant pas connu, ils seront évalués en équivalents chlorophylle.

b) La chlorophylle dans la couche superficielle

Il est possible que la turbulence à l'interface entre couche superficielle et zone profonde contribue au transfert de bactéries photosynthétiques vers la couche de surface, d'où une surestimation de la quantité de chlorophylle du phytoplancton.

Si nous considérons la moyenne des concentrations mesurées dans la couche de surface aux trois stations au cours du temps, il apparaît que les concentrations sont du même ordre de grandeur, avec des variations au cours du temps comprises entre 0 et 14 mg/m3, le maximum ayant lieu entre mai et septembre, et le minimum à diverses occasions en avril 2000, janvier et septembre 2001 (Figure 32).

Ces gammes de concentration classeraient la retenue, pour la période étudiée, dans la catégorie des lacs tempérés mésotrophes (OCDE, 1982). Par contre, la présence d'une couche profonde anoxique et de bactéries photosynthétiques porte la retenue dans la catégorie eutrophe à hypereutrophe.

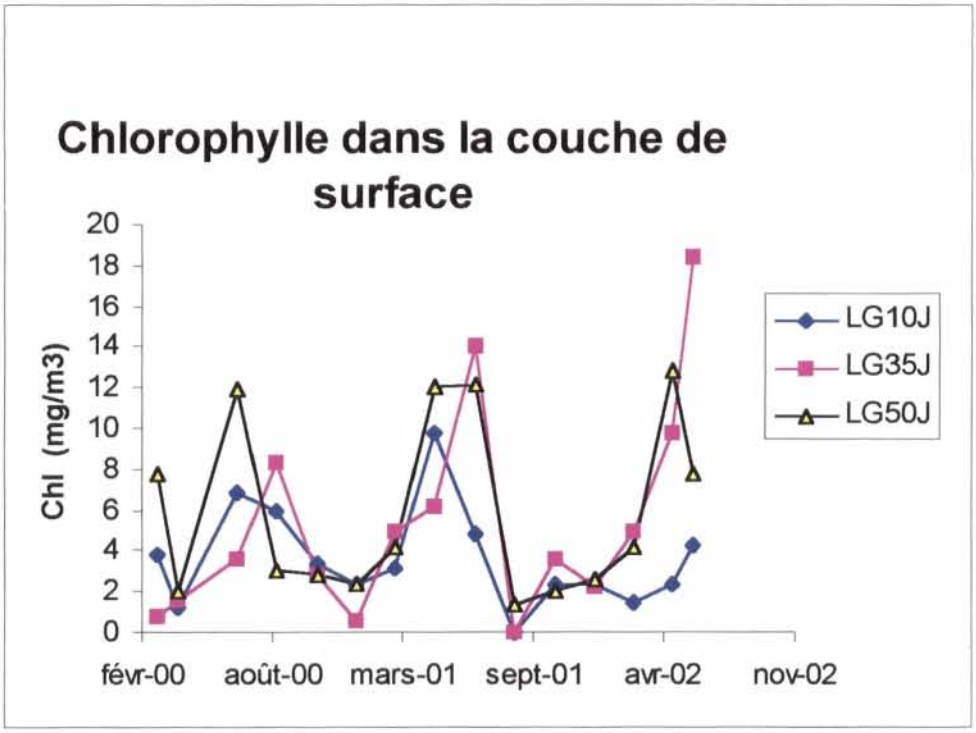


Figure 32 : Concentration de la chlorophylle en fonction du temps dans la couche superficielle

c) Les pigments dans la couche profonde

Du fait du plan d'échantillonnage effectué, c'est à la station LG35-J qu'ont été effectuées le plus de mesure de pigments juste en dessous de l'interface entre couche de surface et zone profonde. Dans le (Tableau 19), la limite supérieure de la zone profonde anoxique, quand elle existe, est indiquée par une case en grisé. Les concentrations en pigments mesurées dans la transition ou juste en dessous sont fortes quand l'épaisseur de la couche de mélange permet un éclairement non nul à la profondeur considérée; elles correspondent en général à la valeur maximale du profil et sont comprises entre 0 et 457 mg/m3.

On sait que la distribution verticale des bactéries photosynthétiques en milieu naturel est très localisée en fonction des conditions de milieu, et restreinte à une couche d'eau de faible épaisseur (voir par exemple Garcia-Gil et al., 1999). Les échantillons prélevés à Garafiri, destinés à rendre compte de l'ensemble de la masse d'eau, ne donnent donc qu'une représentation partielle de leur distribution réelle. Un échantillonnage spécifique serait nécessaire pour suivre l'évolution de ce peuplement particulier.

➢ La transparence de l'eau

Les transparences mesurées au disque de Secchi dans la retenue varient entre 0,8 et 4,5 m. D'une façon générale, la transparence est légèrement plus faible dans les stations amont du lac (LG-50 et LG-60) que dans les stations aval (LG-10 et LG-20). Au cours du cycle annuel, le maximum de transparence est observé en janvier. On note un minimum en mai-juillet, surtout dans l'amont de la retenue, qui peut être dû aux apports de début de crue ou à l'influence des bas niveaux qui permettent une plus forte turbulence au fond (Figure 33). Il n'y a cependant pas de relation entre la transparence et la teneur en MES.

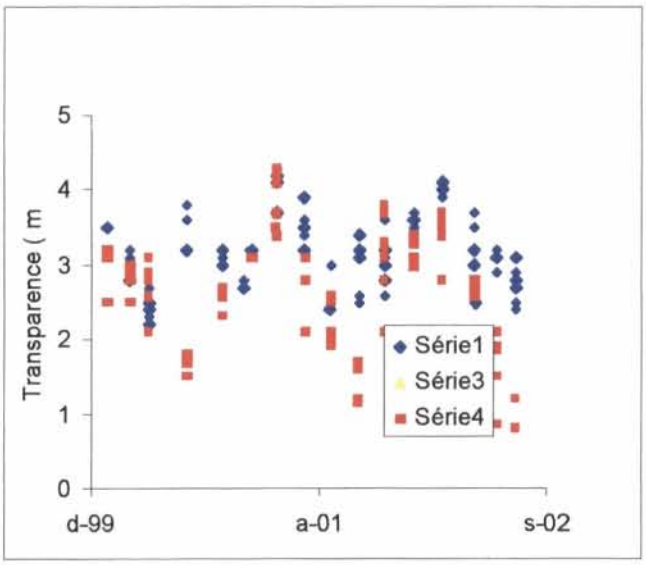


Figure 33. Evolution de la transparence de l'eau au cours du temps dans la retenue. La série 1 regroupe les stations LG10 et LG20, et la série 4 correspond aux stations LG50 et LG60.

date	mars-00	avr-00	juil-00	sept-00	nov-00	janv-01	mars-01	mai-01	juil-01	sept-01	nov-01	janv-02	mars-02	mai-02	juin-02
LG10J-0,5m	3.2	0.8	9.5	4.8	3.2	2.4	2.4	14.7	4.8	0.0	2	2.5	2.1	2.4	4.1
LG10J-4m	4.3														
LG10J-7m		1.6		7.1	3.6		4.0	4.8			2.8				
LG10J-10m			4												
LG10J-11m										6.7					
LG10J-12m								1.6							
LG10J-13m									4.4	2.4		2.3	0.8		4.4
LG10J-14m														10.1	
LG10J-16m									6.4						
LG10J-17m															6.1
LG10J-18m							3.6				0.8				
LG10J-20m		2.8				2.0									
LG10J-25m	2.4														
LG10J-26m														3.2	
LG10J-29m												1.2	0.7		
LG10J-30m				1.2	0.0										
LG10J-35m			3.6			0.0									
LG10J-38m															6.1
LG10J-39m									1.6	0.2	2.4	0.5			
LG10J-42m														1.7	
LG10J-45m			3.6												
LG10J-50m								1.6					0.5		
LG10J-55m							0.0								
LG10J-58m	0.4	0.0		0.8	0.8	0.0									
LG35J-0,5m	0.8	1.6	3.6	8.3	4.8	0.0	1.6	5.6	15.9	0.0	1.2	2.4	4.9	8.4	18.4
LG35J-3m								6.7	12.3						
LG35J-4m															
LG35J-5m							8.3		17.5						5.4
LG35J-6m															
LG35J-7m	457.0	63.9	27.8	9.9	0.8			18.7		3.2	6		8.4	10.2	
LG35J-8m												2.1			
LG35J-9m			11.1												4.2
LG35J-10m	39.0	34.1				1.2									
LG35J-11m														11.4	4.8
LG35J-12m				3.6			16.3						11.3		
LG35J-13m															
LG35J-15m														2	
LG35J-16m			3.6		0.0	11.5			2.0						
LG35J-18m								11.9							
LG35J-20m										6.4	0				
LG35J-22m		3.6					4.8						5.6		
LG35J-38m												2.3			
LG35J-26m	5.6			1.2	0.0	4.8									
LG35J-30m										0.2	0.4				
LG50-0,5m	2.4	2.0	11.9	5.2		2.4	3.2	6.0	22.6	0.2	2	2.4	4.1	13.6	15.8
LG50J-2m															1.3
LG50-3m								17.9	1.6						5.9
LG50-4m			30.6												
LG50J-5m	13.0				2.8		5.2		0.8	2.4			4.3	14.2	5.5
LG50J-7m		34.5		0.8				52.4			2			10.6	
LG50J-8m	25.0					3.2							11.4		
LG50J-9m									1.6			2.7			
LG50J-10m														9.4	
LG50J-11m			3.6	0.4			18.7								
LG50J-12m								8.0							
LG50J-13m												0.8			
LG50J-14m						0.0									
LG50J-15m	1.2	5.2								2.4					7.7
LG50J-16m													2.4		
LG50J-17m							2.0								
LG50J-18m											0				
LG50J-20m				0.4											
LG50J-21m					4.0	0.0						0.7			
LG50J-22m										0					
LG50J-25m											2.8				
Moyenne dans la couche de surface															
date	mars-00	avr-00	juil-00	sept-00	nov-00	janv-01	mars-01	mai-01	juil-01	sept-01	nov-01	janv-02	mars-02	mai-02	juin-02
LG10J	3.8	1.2	6.8	6.0	3.4	2.4	3.2	9.8	4.8	0.0	2.4	2.4	1.5	2.4	4.3
LG35J	0.8	1.6	3.6	8.3	2.8	0.6	5.0	6.2	14.1	0.0	3.6	2.3	4.9	9.8	18.4
LG50J	7.7	2.0	11.9	3.0	2.8	2.4	4.2	12.0	12.1	1.3	2.0	2.6	4.2	12.8	7.7
ZmixLG35	6	5.5	6	7	18	13	8	6	5		25	15	7	6	3

Tableau 19: Distribution des pigments chlorophylliens dans la retenue, et position de la thermocline (en grisé, voir texte).

➢ Les ions majeurs

Les concentrations en ions majeurs dans la retenue sont dans l'ensemble peu différentes de celles des rivières du bassin versant. Il en résulte une composition relative pondérale ou ionique semblable à celle qui a été trouvée pour les rivières (Figure 18). Les moyennes des échantillons analysés sont données dans le (Tableau 20) (n=59 pour les ions et n= 156 pour la silice).

Du fait de la faible minéralisation, des substances ordinairement considérées comme mineures (éléments nutritifs, fer dissous) peuvent ici prendre une participation sensible à la valeur de la conductivité.

Retenue de Garafiri	Moyenne (mg/L)	Ecart-type
Na	0,94	0,36
K	0,39	0,20
Ca	0,82	0,38
Mg	0,76	0,22
Cl	0,55	0,14
SO4	0,60	0,26
HCO3	8,48	3,42
SiO2	6,05	1,77

Tableau 20 :Moyennes des concentrations mesurées dans les eaux de la retenue de Garafiri.

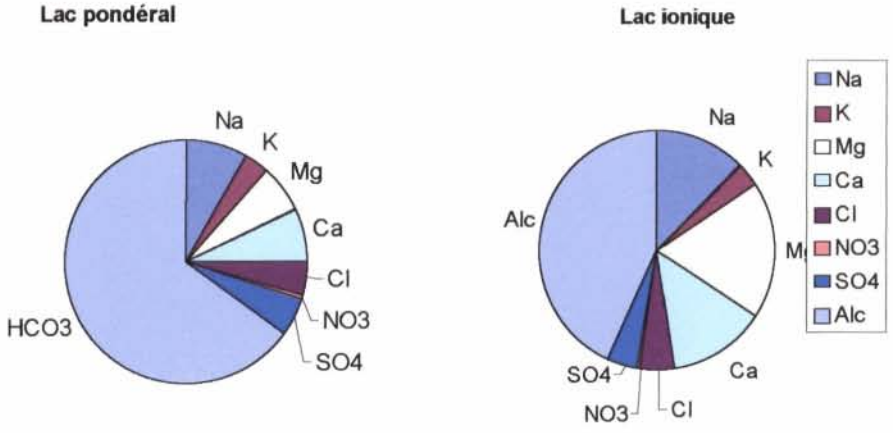


Figure 34 : Composition pondérale et ionique des eaux de la retenue de Garafiri.

➢ Les éléments nutritifs

Les éléments nutritifs ont été dosés sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs aux stations LG10-J, LG35-J et LG-50.

On peut appliquer au lac les mêmes remarques générales que pour les rivières :

- les concentrations en éléments nutritifs dissous sont en général faibles et parfois en dessous de la limite de sensibilité de la méthode,
- quelques valeurs isolées fortes résultent vraisemblablement de pollution locale ou lors du prélèvement,

- il n'apparaît pas d'évolution marquée dans le temps (durée après la mise en eau du barrage ou cycle des saisons), ni dans l'espace (reminéralisation éventuelle en zone profonde ou gradient amont-aval).
- L'ensemble des données est résumé dans le (Tableau 21) ci-dessous.

Nutriment	médiane(mg/L)	moyenne (mg/L)	écart-type
NO3-N	0,01	0,0199	0,101
NO2-N	0,002	0,0067	0,0205
NH4-N	0,020	0,120	0,224
PO4-P	0,08	0,121	0,144

Tableau 21. Caractéristiques des concentrations en éléments nutritifs dans la retenue (n=116).

Comme pour les rivières, le rapport N/P (moyenne = 1,94 ; écart-type = 3,46 ; n=116) marque une forte limitation par l'azote du développement végétal (phytoplancton ou végétaux supérieurs).

➢ Le carbone organique dissous et particulaire

Les formes dissoute et particulaire du carbone organique ont été dosées sur les échantillons de quatre campagnes : avril et novembre 2000, janvier et mai 2001.

Au total, les teneurs sont relativement faibles, avec une concentration en Carbone particulaire légèrement inférieure à celle du Carbone dissous (Tableau 22) .

Le carbone organique particulaire se trouve sous plusieurs formes : le phytoplancton, d'autres organismes vivants (zooplancton, bactéries, larves), et les particules organiques inertes (plancton mort et débris divers). Le diagramme de la Figure 35 permet d'estimer la participation du phytoplancton dans la concentration en carbone particulaire. Si l'on considère que 1 mg de Chl a correspond à une quantité de carbone du phytoplancton comprise entre 20 et 40 mg (Talling et Lemoalle, 1998), on constate que le phytoplancton participe peu, en moyenne, au carbone particulaire présent (Figure 37).

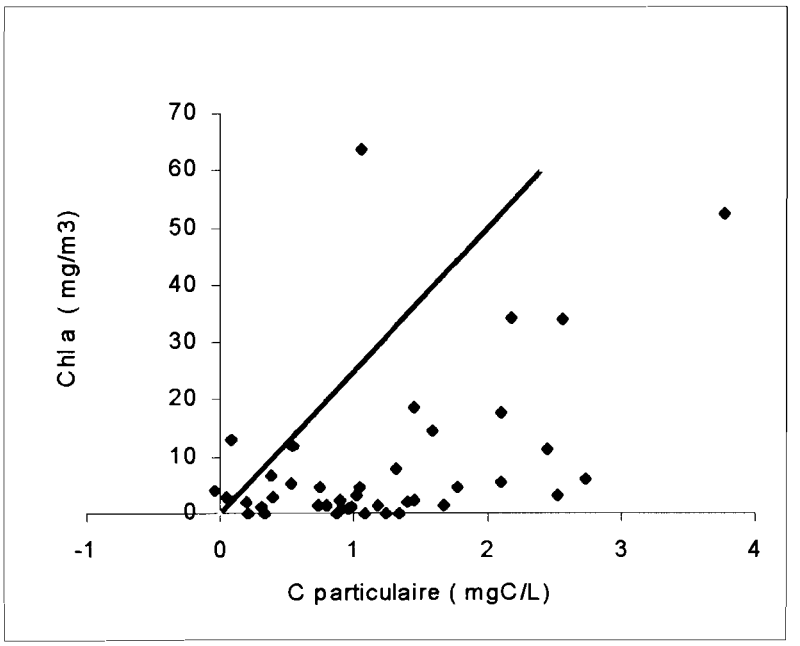


Figure 35 : Relation entre carbone particulaire et concentration en chlorophylle dans la retenue (avril 2000 – mai 2001). La droite représente la relation 1 mg Chl= 40 mgC.

Retenue	C dissous	C total	C particulaire
Moyenne (mg/L)	1,82	2,95	1,13
Ecart-type	0,38	0,81	0,79
Etendue	1,12 – 2,68	1,46 – 5,32	0,00 – 3,78

Tableau 22 : Le carbone organique dissous et particulaire dans la retenue de Garafiri (avril 2000 - mai 2001 ; mg/l)

➢ Le gaz carbonique et le méthane dissous

Dans les lacs de barrage, la décomposition de la biomasse submergée conduit à la consommation de l'oxygène initialement présent dans l'eau et à la production de gaz carbonique. Les conditions d'anoxie au fond peuvent également conduire à la production de méthane et d'hydrogène sulfuré. A terme, et en fonction des conditions de stratification du lac ou de turbinage, il peut y avoir émission vers l'atmosphère de ces gaz qui contribuent à l'effet de serre.

Les concentrations (en volume) moyennes de CO2 et de CH4 dans l'atmosphère sont respectivement de 360 et 1,7 parties par million (ppm). Ce qui correspond, d'après les formules de Weiss (1974), à des concentrations dans l'eau à l'équilibre à 25 °C de 0,43 et 0, 000037 mg/L. Une eau en équilibre avec l'atmosphère est donc pratiquement dépourvue de méthane dissous.

Avant la mise en eau de la retenue de Garafiri, seule une petite fraction de la biomasse végétale a été éliminée, essentiellement par incendie. Le reste contribue à la production de CO2 et de CH4, avec des cinétiques relativement rapides pour la litière, mais qui peuvent atteindre plusieurs dizaines d'années pour les parties ligneuses de certaines espèces, comme le *teli.*

La production de méthane et de CO2 générée par les bactéries, met en jeu des réactions d'oxydoréduction qui modifient le pH et font notamment intervenir le fer des sédiments superficiels. Il s'en suit des modifications de la qualité de l'eau de la couche profonde qui peuvent influencer celle de l'eau de surface lors des mélanges verticaux dans le lac, ou celle du cours d'eau à l'aval du barrage après turbinage. L'anoxie partielle observée dans les premiers temps dans le cours aval du Sinnamary après la mise en eau du barrage de Petit-Saut en Guyane française est un exemple des effets du méthane à l'aval des turbines (Gosse et Grégoire, 1997).

C'est pourquoi un suivi de la concentration en CO2 et CH4 dissous a été mené dans la retenue à la station LG10-J ainsi qu'à l'aval immédiat du barrage, afin d'évaluer leurs effets possibles sur la vie des organismes aquatiques. Les principaux résultats obtenus sont décrits ci-dessous.

Dans le lac, la distribution verticale de la concentration en CO2 et CH4 est étroitement associée à celle des autres variables décrivant la structure de la colonne d'eau : les fortes teneurs en CO2 et CH4 dissous sont observées dans la couche profonde, et les profils des deux gaz sont semblables. Cette similitude des formes des profils indique une même origine des deux gaz.

Les résultats obtenus au cours des campagnes d'échantillonnage de novembre 2000 à juin 2002 sont représentés (Figure 37).

Dans la couche superficielle, les concentrations en CO2 sont homogènes sur la verticale, avec une pression partielle généralement très supérieure à celle de l'air. Les valeurs mesurées, entre 532 et 3180 ppm, indiquent que la retenue émet du CO2 à travers sa surface. Cette observation est en accord avec les mesures faites de la teneur en CO2 dans l'atmosphère environ 1,5 m au-dessus de la surface qui donnent une teneur moyenne de 456 ppm pour 6 mesures effectuées de novembre 2000 à juin 2002.

La pression partielle en CH4 dans la couche de surface est inférieure à 2000 ppm (seuil de sensibilité de la technique de dosage utilisée). Du fait de la faible solubilité de ce gaz, sa concentration en solution est considérée comme nulle, mais la diffusion vers l'atmosphère peut être significative.

La distribution de concentrations du CO2 et du CH4 dans les couches profondes de la retenue dépend de la stabilité de la colonne d'eau. En période de stratification marquée, une accumulation à partir du fond se produit, et de fortes pressions partielles sont observées, avec un maximum de 20000 à 27000 µatm de CO2 (nov. 2000, juillet 2001 et juin 2002) et de 64600 et 60200 µatm de CH4 (juillet 2001 et juin 2002).

Dans la retenue, le méthane n'apparaît en quantités mesurables que lorsque la pression de CO2 est de 6000 µatm. La pression partielle en CH4 augmente ensuite en fonction de celle de CO2 dans la proportion approximative de 0,1 mg/L de CH4 pour 1,4 mg/L de CO2.

Le méthane, qui est un gaz à fort effet de serre, peut être transporté vers l'atmosphère lors des mélanges entre couche de surface et couche de fond, et après turbinage en aval du barrage. Il peut aussi être consommé par des micro-organismes aquatiques, et transformé en matière organique. Cette transformation est possible dans les conditions de milieu que l'on trouve dans la retenue à l'interface entre couche de surface et couche profonde, mais elle n'a pas été mesurée. Il est peu vraisemblable que cette activité méthanotrophe se produise dans le Konkouré en aval du barrage, compte tenu de la forte turbulence qui y est observée. Le méthane contenu dans les eaux turbinées est donc pour l'essentiel rejeté dans l'atmosphère.

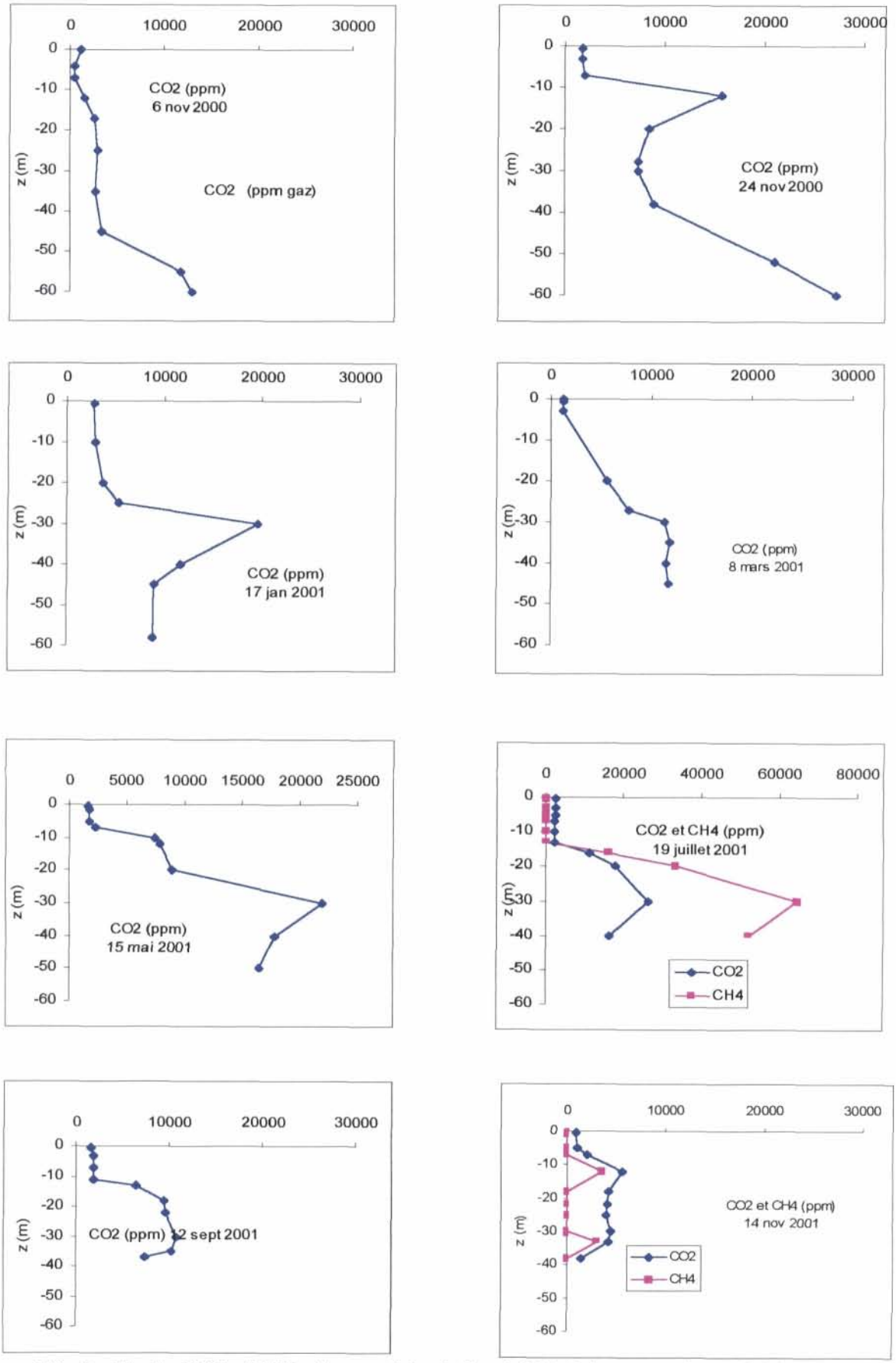


Figure 36:. Profils de CO2 et CH4 dissous à la station LG10-J de novembre 2000 à juin 2002. Les résultats sont exprimés en concentration (vol/vol) dans le headspace des flacons d'échantillonnage (1 ppm = 10^{-6} atm).

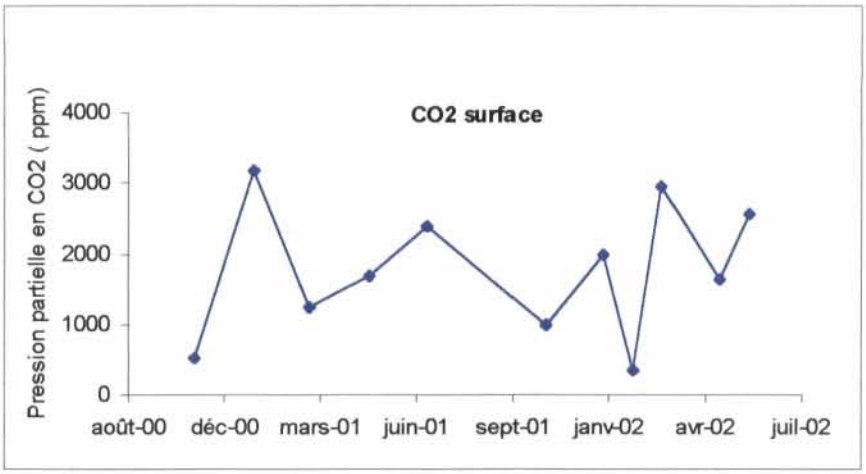


Figure 37 Teneur moyenne en CO2 de la couche de surface du lac à LG10-J.

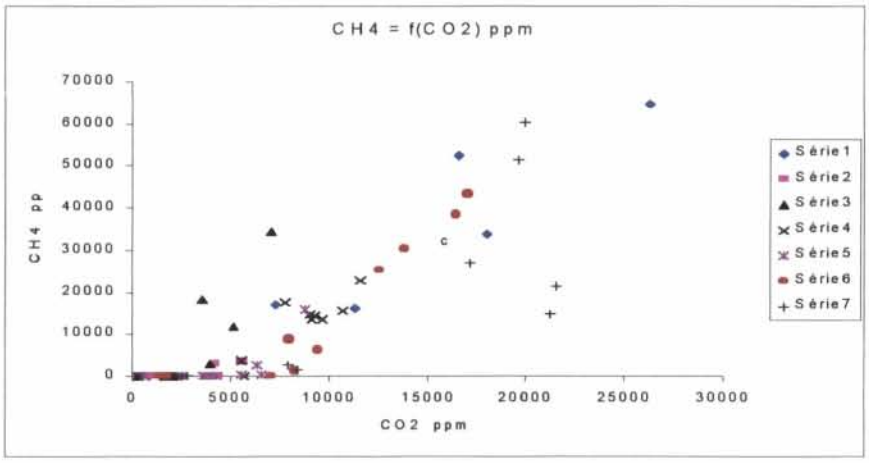


Figure 38: Relation entre les pressions partielles de CO2 et de CH4 dans la couche profonde de la retenue de Garafiri.

➢ Le fer en solution

Le fer dissous apparaît en concentrations notables dans la couche profonde de la retenue, en conditions réductrices. Il participe aux réactions d'oxydoréduction qui se développent aux interfaces eau-sédiment et couche de mélange-couche profonde qui sont discutées plus loin. Ces réactions se manifestant également par une élévation de la conductivité, une relation entre les deux variables peut être mise en évidence. Cette relation est discutée plus loin (Chapitre VI.1, page 84).

Pour l'ensemble des 176 valeurs de concentration en fer mesurées dans l'eau de la retenue, la moyenne est de 1,34 mgFe/L avec un écart-type de 2,08. Un grand nombre d'échantillons provenant de la couche de mélange de surface ou non dépourvus d'oxygène ont une faible teneur en fer, ce qui explique la faible valeur de la médiane de 0,19 mg/L.

IV.3. QUALITE DES EAUX EN AVAL IMMEDIAT DE LA RETENUE

L'eau turbinée provient essentiellement de la couche profonde de la retenue, dans laquelle l'eau est parfois anoxique et enrichie en substances réduites (fer dissous, méthane) ou associées aux réactions de réduction (CO2, bicarbonate). En aval du barrage, à la station KO4E, la turbulence contribue cependant à établir l'équilibre entre l'eau et l'atmosphère, ce qui se traduit par :

- une teneur en oxygène de l'eau non nulle mais inférieure à la saturation, qui augmente progressivement avec le temps depuis la mise en eau du barrage (Figure 39). Cette évolution est sans doute à mettre en relation avec une diminution progressive de l'activité de minéralisation de la matière organique des sols et de la végétation terrestre submergée lors de la mise en eau.
- une diminution de la teneur en CO2 gazeux et du méthane dans l'eau turbinée par rapport à celle de la couche profonde de la retenue (Figure 40). La pression partielle moyenne du CO2 en aval du barrage est de 6760 ppm, soit environ 20 fois celle de l'atmosphère normale. Il y a donc dégazage, avec une augmentation de la teneur en CO2 de l'air au-dessus de la surface de l'eau (de l'ordre de 870 ppm pour 4 mesures faites entre mars et septembre 2001).
- une oxydation du fer dissous (FeII) qui précipite sous forme d'hydroxydes ferriques (avec entraînement de phosphate). Il en résulte une diminution de la conductivité de l'eau et du pH par rapport aux valeurs observées dans la retenue au niveau de la tour de prise.

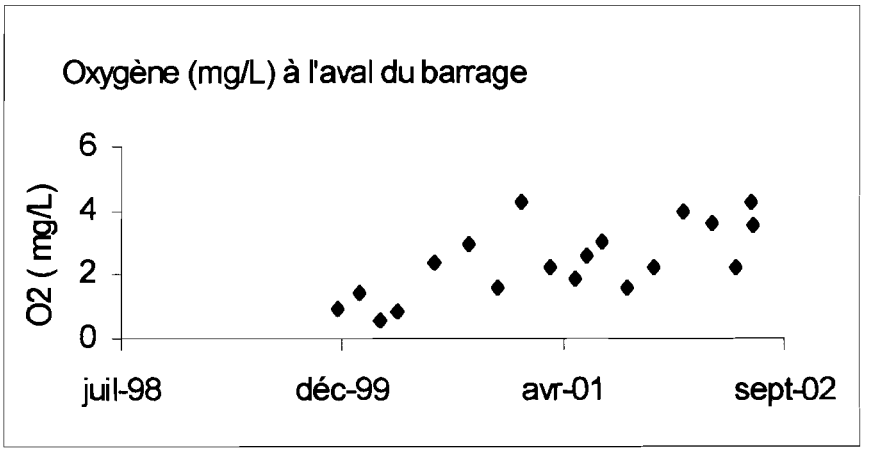


Figure 39 : Evolution au cours du temps de la concentration en oxygène dissous à la station K04-E à l'aval des turbines.

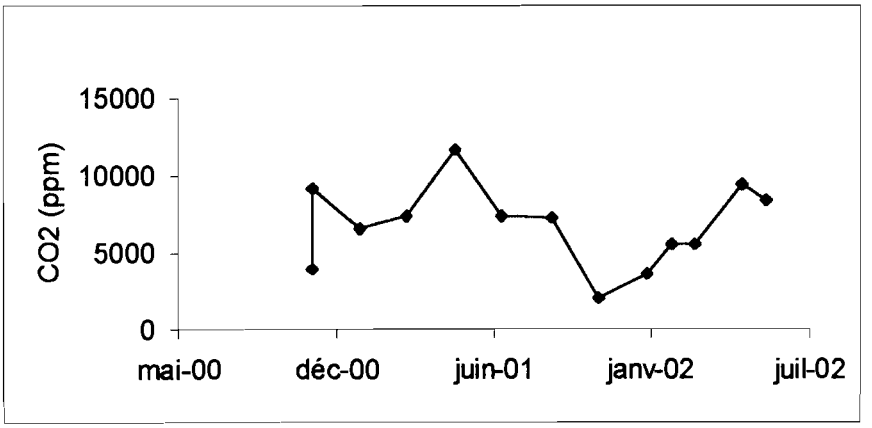


Figure 40 : Pression partielle en CO2 dans l'eau de surface en aval du barrage à la station K04-A.

La question est de savoir quelle est la longueur du bief à l'aval du barrage qui est affectée par l'anoxie partielle avant le rétablissement de l'équilibre avec l'atmosphère.

Les valeurs de tension d'oxygène (% de saturation) et de conductivité relevées entre novembre 1999 et mars 2002 à 3 stations, respectivement situées à la sortie des turbines (KO4-E), à 26 km (KKR30) et à 39 km (KKR50) sont représentées (Figure 41).

On remarque la variabilité importante au pied du barrage, qui est due à la forte turbulence, avec des mélanges partiels, ainsi qu'à l'évolution dans le temps signalée plus haut. Dès la station KKR30, et depuis la mise en eau du barrage, l'oxygène est proche de la saturation et la conductivité est celle d'eaux bien aérées, exemptes de composés réduits en solution.

On peut donc considérer qu'en ce qui concerne la qualité physico-chimique de l'eau, l'effet du barrage est limité à moins de 26 km en aval de celui-ci.

La concentration en oxygène à l'aval de Garafiri est très différente de ce qui a été observé dans le Sinnamary à l'aval du barrage de Petit-Saut en Guyane, au moins pendant ses premiers mois de fonctionnement (Gosse et Grégoire, 1997). En aval de Petit-Saut, la quantité de substances participant à la DBO est importante, avec en particulier une forte teneur en méthane et en matière organique dissoute, résultant de la grande biomasse forestière submergée et d'un temps de séjour de l'eau dans la retenue beaucoup plus long qu'à Garafiri. Le cours aval du Sinnamary, relativement profond, avec une surface lisse du fait d'une faible pente (moins de 0,003 %) et de l'absence de vent au-dessus de la surface de l'eau, ne permet pas une réoxygénation importante. Il en résulte que la concentration en oxygène dissous, de l'ordre de 5 mg/L à 5 km en aval du barrage, diminuait ensuite progressivement jusqu'à 2,5 mg/L à 45 km du barrage, avant l'estuaire. Par la suite (mars 1995) un seuil alvéolaire situé à l'aval des turbines a permis une meilleure oxygénation de l'eau, qui passe cependant de 7 mg/L au pied du barrage à environ 4 mg/L entre 30 et 45 km plus en aval.

Si la comparaison est favorable à Garafiri en ce qui concerne l'oxygénation de l'eau en aval du barrage, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'effet des variations brutales de débit résultant du rythme journalier de turbinage, ou des modifications du régime hydrologique saisonnier avec augmentation du débit d'étiage et limitation du débit de crue (voir Partie1, Ecoulements). Un débit minimum de 80 m3/s est assuré à l'aval de Petit-Saut, alors que le débit moyen annuel est de 250 m3/s.

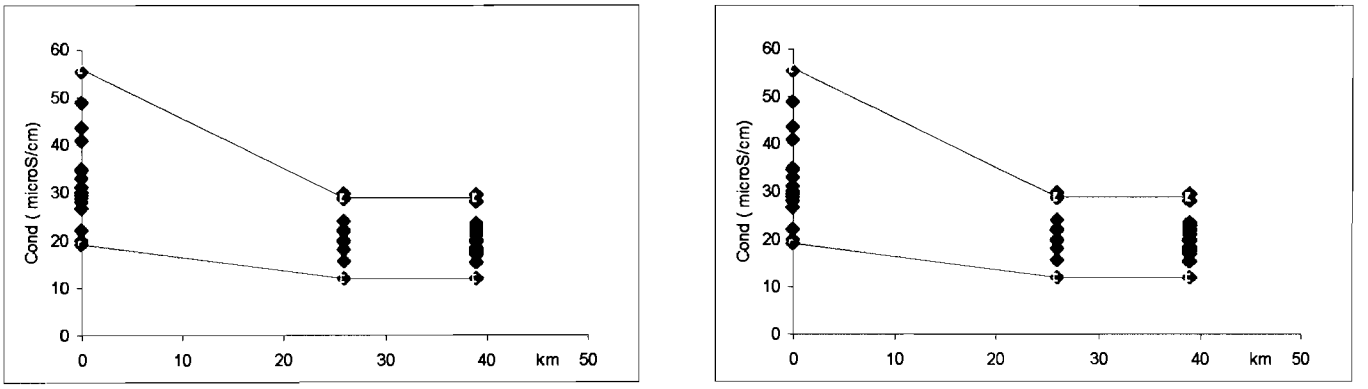


Figure 41 : Evolution de la teneur en oxygène et de la conductivité en fonction de la distance à l'aval du barrage pour l'ensemble des campagnes.

IV.3.a. Les processus biogéochimiques qui interviennent dans la qualité de l'eau

Dans un lac, les distributions verticales de la température et de l'oxygène déterminent pour une grande part la nature, la répartition et la productivité des organismes aquatiques qui l'habitent. Afin de pouvoir interpréter l'évolution du milieu et de ses peuplements, une analyse de certains des processus qui interviennent de façon importante dans la structuration des conditions de milieu a été réalisée au cours de l'étude.

V. LES ELEMENTS DU BILAN RADIATIF

V.1.a. Le rayonnement net

Le bilan du rayonnement reçu ou émis vers l'atmosphère par la surface d'un lac constitue, avec la chaleur latente d'évaporation, la composante principale des échanges d'énergie thermique d'une masse d'eau avec son environnement. Ce bilan, nécessaire pour modéliser la structure thermique d'un lac, est le plus souvent estimé avec des équations empiriques utilisant des données météorologiques.

Un capteur de rayonnement net, RNLite de Kipp & Zonen, a été installé au-dessus de l'eau en mars 2002 sur une plate forme flottante à la station LG10-J Les valeurs quotidiennes obtenues sont présentées (Figure 42). La valeur moyenne journalière pour la période considérée (mars à juin 2002) est de 157,9 W/m2, avec quelques valeurs très basses ou négatives correspondant à des épisodes de journée nuageuse ou de pluie. La médiane est de 165 W/m2.

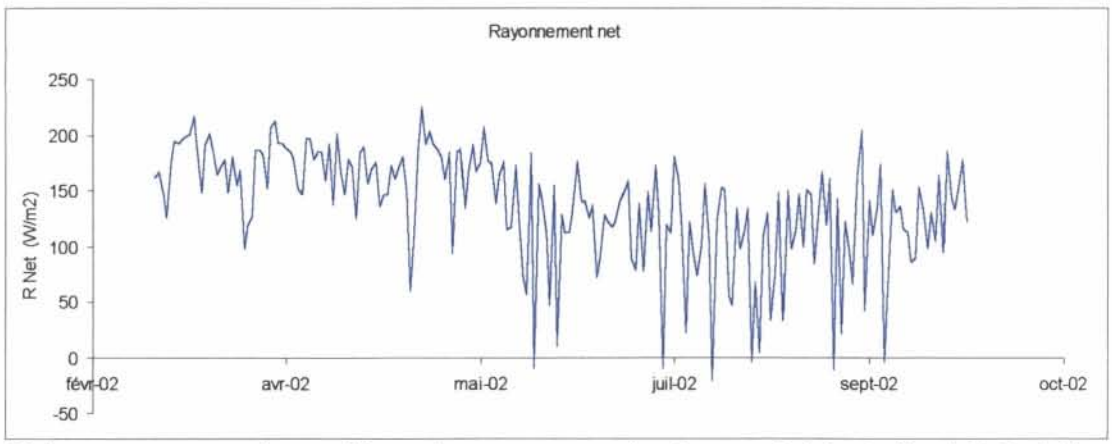


Figure 42 : Valeurs moyennes journalières du rayonnement net mesuré à la station LG10-J (données de mars à juin 2002)

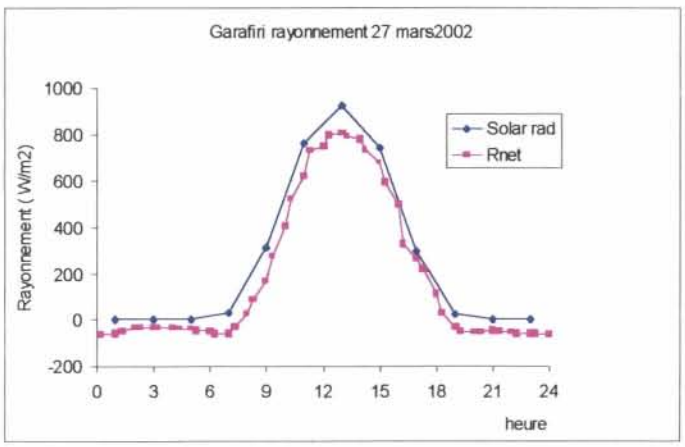


Figure 43 : Exemple d'évolution du rayonnement net et du rayonnement incident global (400-3000 nm) au cours d'une journée. Données du 27 mars 2002.

En bilan annuel, l'énergie captée par la retenue sous forme de rayonnement est perdue en chaleur latente d'évaporation, si les quantités de chaleur contenues dans les apports (rivières et pluie) sont équivalentes à celles des exportations à l'aval du barrage. Le bilan radiatif peut donc être utilisé pour confirmer les calculs de l'évaporation.

V.1.b. L'atténuation du rayonnement lumineux dans l'eau

La transparence de l'eau détermine l'épaisseur de la couche d'eau dans laquelle se dissipe l'essentiel de l'énergie lumineuse incidente. C'est, d'autre part, un indicateur de la quantité de substances dissoutes ou particulaires dans la couche de surface.

Dans la retenue de Garafiri, la transparence a été évaluée le plus souvent à l'aide du disque de Secchi (DS, m). La mesure du coefficient (K, m-1) d'atténuation verticale de l'éclairement utilisable par la photosynthèse (PAR, 350-700 nm) a également été réalisée avec un capteur plan sur différentes stations au cours de campagnes de 2000 à 2002.

La relation entre les deux variables permet d'estimer K à partir des mesures de DS. Elle peut s'écrire, en première approximation K= 1,81 /(DS) (Figure 44).

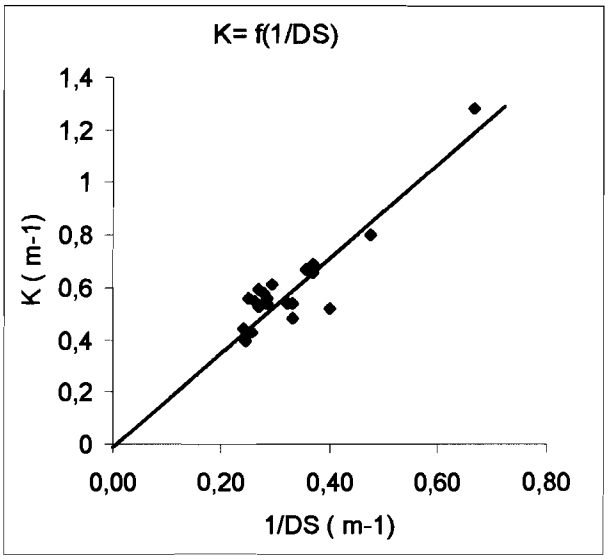


Figure 44 : Relation entre la transparence mesurée au disque de Secchi et le coefficient d'atténuation verticale de l'éclairement dans la retenue de Garafiri.

VI. LA CONSOMMATION BIOLOGIQUE EN OXYGENE

Dans la couche de surface, la concentration en oxygène dissous résulte des échanges avec l'atmosphère et du bilan photosynthèse/respiration de la communauté biologique. Si un élément de volume de la couche de surface est déplacé vers une zone profonde du lac, seule l'activité de respiration et de minéralisation est maintenue et la concentration en oxygène diminue. Une mesure de demande biologique d'oxygène (DBO) permet d'estimer à quelle vitesse l'oxygène présent serait alors consommé.

Des mesures de DBO de l'eau de surface ont été effectuées de mars à juin 2002, sur des échantillons conservés autant que possible à une température comprise entre 25 et 30°C. La cinétique d'évolution de la concentration en oxygène a été mesurée en dupliquât sur l'eau brute, sans dilution, sur une durée de 5 jours. L'évolution de la concentration en oxygène en fonction du temps est représentée (Figure 45) pour trois séries de mesures portant sur des échantillons les stations du lac LG10-J, LG35-J, LG50-J, et la station K04-E juste à l'aval du barrage.

Si l'on extrapole les données de mars 2002 à 5 jours, la DBO5 des échantillons pour les trois campagnes est comprise entre 1,09 et 5,8 mgO2/L. Lorsque la DBO est faible, un palier dans la décroissance de la concentration en O2 semble atteint avant 5 jours, et il est possible que la totalité du substrat disponible pour l'activité aérobie des bactéries soit alors consommée. La quantité de matière oxydable ne permet pas dans ce cas d'atteindre l'anoxie.

Les valeurs de DBO observées, et leur variabilité, résultent en grande partie des variations spatio-temporelles de la concentration en chlorophylle (R2=0,85). Il est donc possible d'estimer, au moins pour la saison chaude, la DBO5 à partir de la concentration en chlorophylle (mg/m3) suivant la relation (Figure 46) :

$$DBO5\ (mgO2/L) = 0,24\ (Chla) + 0,96$$

Environ 1 mgO2/L de DBO5 est à attribuer aux autres organismes ou substances (dissoutes ou particulaires) présentes dans l'eau de surface à cette saison.

Dans les échantillons recueillis à l'aval du barrage, la DBO5 est comprise entre 1,5 et 2,3 mgO2/L. Cette valeur n'intègre pas la consommation rapide d'oxygène par les réactions chimiques (et non biologiques) d'oxydation de certains composés réduits comme le fer. Elle concerne principalement la minéralisation de la matière organique dissoute et particulaire, et l'oxydation bactérienne du méthane restant en solution. La turbulence dans le cours de la rivière suffit pour que cette DBO soit largement compensée par les transferts d'oxygène de l'atmosphère.

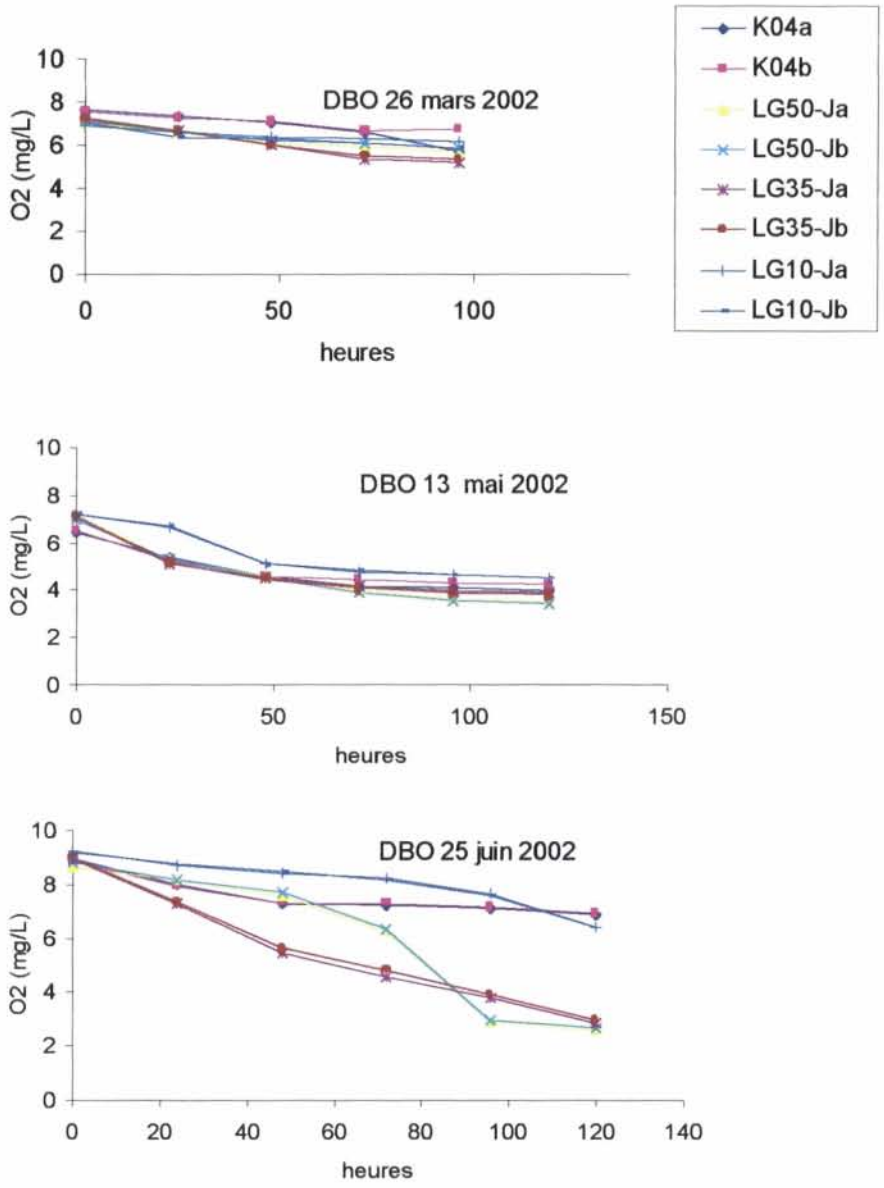


Figure 45: Evolution de la concentration en oxygène dans les flacons DBO pour des échantillons de surface de la retenue et de la station K04-E.

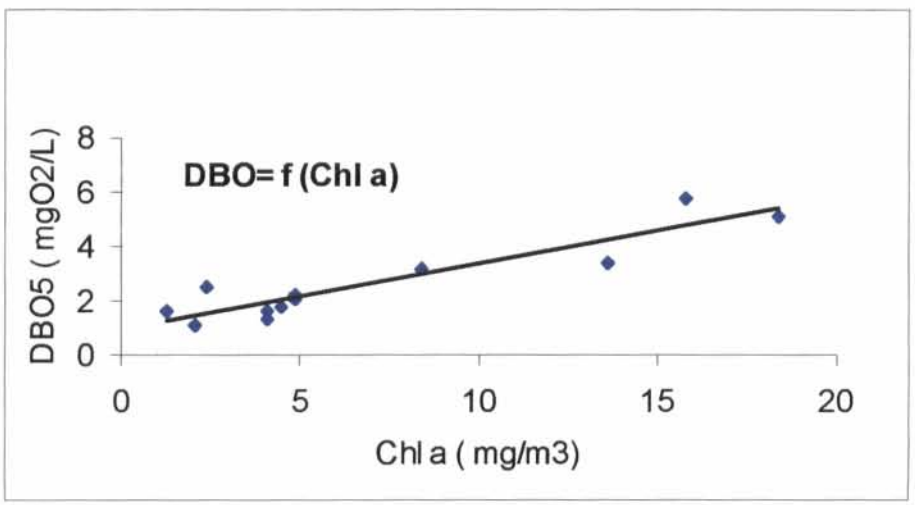


Figure 46 : Relation entre la DBO5 et la concentration en chlorophylle pour les eaux de surface de mars à juin 2002.

VI.1. LES REACTIONS D'OXYDOREDUCTION DANS LA ZONE PROFONDE DE LA RETENUE

Dans la zone profonde d'un lac, les réactions d'oxydoréduction qui ont lieu sont catalysées par les bactéries qui utilisent une partie de l'énergie libérée (l'enthalpie libre) pour leur métabolisme. Les réactions de dégradation de la matière organique se succèdent approximativement dans l'ordre des potentiels redox décroissants des accepteurs d'électrons.

Un exemple d'ordre des réactions impliquant la matière organique et les divers oxydants possibles est le suivant (Sigg, Stumm et Behra, 1992) :

$O2 \rightarrow CO2$
$NO3 \rightarrow N2 + CO2$
$NO3 \rightarrow NH4 + CO2$
$Mn(4) \rightarrow Mn(2) + CO2$
$Fe(3) \rightarrow Fe(2) + CO2$
fermentation alcoolique $\rightarrow CO2$ + alcool
$SO4 \rightarrow HS^- + CO2$
fermentation méthanique $\rightarrow CH4 + CO2$ + alcool

Dans cette séquence, on conçoit que le méthane n'est produit que lorsque les concentrations en nitrate, sulfate et en Fe(3) réactif (c'est à dire les hydroxydes amorphes de Fe(3)) sont presque épuisées dans le sédiment superficiel où se trouve l'essentiel de la matière organique. Les produits de ces réactions dépendent donc du rapport entre matière organique et Fe(3) réactif et de la réactivité de ces composants. Des réactions inverses, d'oxydation, peuvent se produire à l'interface entre couche de surface (oxygénée) et couche profonde, lors de mélange de ces couches en période de déstratification ou encore à l'aval des turbines. Ces réactions concernent en particulier le fer.

Le suivi des concentrations en Fe(2) dans l'eau de la retenue permet de mieux comprendre l'ensemble des réactions de minéralisation, ainsi que les processus de précipitation, comme le colmatage des filtres de l'eau de refroidissement des turbines.

Les processus en jeu sont complexes, mais peuvent être résumés comme suit.

En condition anaérobies, la réduction du Fe(3) est un processus microbien, lié à l'oxydation de la matière organique. Quand la concentration en fer est importante, les bactéries du fer inhibent l'activité de la sulfato-réduction et inhibent partiellement la production de méthane. Après réduction, l'apport des cations Fe(II) en solution est compensé par le bicarbonate, mais la nature exacte des réactions n'est pas connue. La solubilité maximale du Fe(2) peut être calculée (Stumm et Morgan,1970 ; Golterman, 2001) par

$(Fe2) = \log Ks - pH - \log(HCO3^-)$,
avec Ks d'équilibre carbonate-bicarbonate égal à -0,3.

La solubilité du Fe(2) en fonction du pH et pour des gammes d'alcalinité que l'on trouve dans la retenue est donnée (Figure 47).On constate que ces valeurs théoriques ne sont pas atteintes dans la retenue.

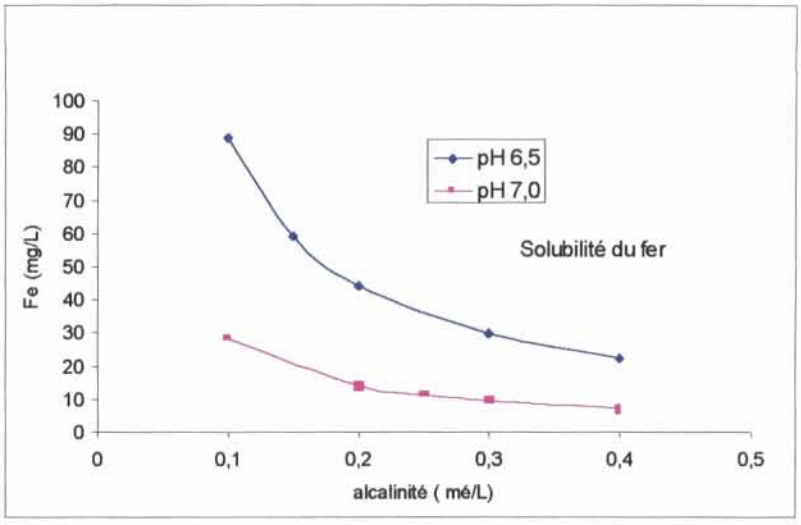


Figure 47 : Solubilité théorique du fer en fonction du pH et de l'alcalinité.

Dans le même temps où la réduction du fer favorise une élévation locale du pH, la production de CO2 par minéralisation va dans le sens d'une diminution de ce pH. Il en résulte des valeurs assez diverses du pH dans les couches profondes de la retenue, en fonction des cinétiques relatives des deux réactions.

Les réactions de réduction sont favorisées par une température élevée (énergie d'activation de 40 à 50 kJ/degré). Quand il n'y a plus de Fe(3) CO2 et CH4 sont produits en quantités égales. Le flux de CH4 peut alors atteindre 15 à 20 mmoles/m2/jour, valeur citée dans un marais riche en matière organique (Roden & Wetzel, 1996, 2002).

Dans Garafiri, le fer présent compense la forte teneur en matière organique du sédiment en limitant la production de méthane malgré la température élevée. De plus, il y a peu de sulfato-réduction car la concentration en fer est élevée par rapport à celle du sulfate.

La teneur en fer des argiles en Guinée est très variable. Anourov et al. (1999) donnent les teneurs suivantes (Fe2O3 %) :

- Coyah : 4,97 %
- Mamou : 5,80 %
- Kindia : 0,07 %

La mise en solution de fer et du bicarbonate associé se traduit par une modification de la conductivité de l'eau. Dans la retenue de Garafiri, on observe dans la couche profonde une augmentation progressive vers le fond de la conductivité. On a, d'autre part, noté une relation entre la concentration en fer et la conductivité dans les eaux de la retenue (Figure 48). Il reste à analyser la relation quantitative entre les deux variables pour rechercher si d'autres variables, non mesurées, interviennent.

Si l'on suppose que

- la mise en solution du fer à partir du sédiment se fait sous forme de bicarbonate de fer, Fe2 (HCO3)2, et
- le bicarbonate de Fe est totalement dissocié dans les conditions de milieu présentes dans la zone profonde,

alors, la conductivité due à la présence du fer serait de 3,5 µS/cm par mg/L de Fe.

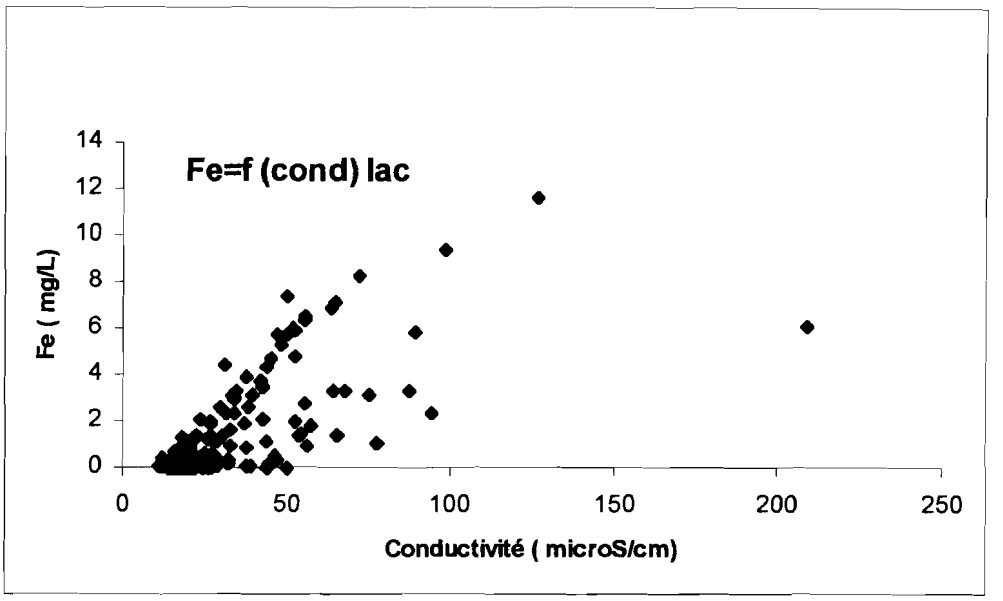


Figure 48 : Relation entre la conductivité mesurée in situ et la concentration en fer dissous dans la retenue.

L'examen de la Figure 48 montre que pour un ensemble important d'échantillons, la conductivité est comprise entre 10 et 30 microS/cm et la concentration en fer dissous inférieure à 1 mg/L. Ce sont pour la plupart des échantillons de surface. Le fer réactif dosé correspond à des colloïdes et peut-être à des complexes dissous peu stables.

Pour des conductivités plus élevées, une relation apparaît, qui indique qu'une part de la conductivité des échantillons est due à la présence de fer dissous. Le fer intervient donc de façon notable dans la conductivité et peut être considéré, non comme l'élément mineur qu'il est en général dans les eaux naturelles, mais comme l'un des éléments majeurs de la composition de l'eau.

Les échantillons correspondants proviennent de la zone profonde de la retenue. L'enveloppe supérieure du nuage correspond à la relation :

$$Cond(\mu S/cm) = 20 + 6{,}34\ (Fe)$$

Cette relation indique que l'augmentation de la conductivité, au-dessus d'une ligne de base de 20 µS/cm correspondant à l'eau des apports ou de surface du lac, n'est pas due qu'au seul fer dissous (associé à HCO3), mais que d'autres substances ionisées sont également présentes. Il pourrait en particulier s'agir du manganèse, dont le potentiel d'oxydoréduction est voisin de celui du fer, ou d'autres substances résultant de la fermentation ou minéralisation de la matière organique, comme NH4 ou PO4.

Dans la retenue de Petit-Saut, des concentrations en fer dissous atteignant jusqu'à 20 mg/L ont été observées dans la zone profonde (Galy-Lacaux, 1996). Ce fer est lié à la minéralisation des eaux profondes, corrélé à NH4 et à la conductivité (R=0,893). La solubilité du fer est ici favorisée par le faible pH qui est constant sur la verticale dans la zone profonde. En surface, la conductivité est de 20 à 40 µS/cm, comme à Garafiri, mais au fond elle atteint 130-140 mS/cm à Petit-Saut, valeur bien supérieure à celle de Garafiri, ce qui indique un stock de matière organique et de fer supérieur.

Le fer (2) en solution est susceptible de précipiter par oxydation, soit lors de mélange avec de l'eau contenant de l'oxygène dissous, soit par contact direct avec l'atmosphère. Dans le premier cas, il s'agit de turbulence à l'interface entre couche de surface et couche profonde, ce qui permet au cycle de minéralisation de se perpétuer, le fer oxydé redescendant au fond. Ce cas peut aussi se produire avec l'eau turbinée ou l'eau de refroidissement des turbines (colmatage des filtres), quand la limite entre couche aérée et couche anoxique du lac se trouve au niveau de la prise du barrage. Le deuxième cas est caractéristique de la sortie des turbines à l'aval du barrage où l'on peut observer le précipité de fer sur les roches, ou encore lorsqu'un échantillon collecté en profondeur est remonté en surface.

La réoxydation de Fe(2) au contact de l'oxygène de l'air est une réaction rapide. Elle s'accompagne des réactions inverses de celles décrites lors de la minéralisation au fond de la retenue : diminution de la conductivité, floculation de l'hydroxyde de fer avec entraînement d'autres substances (notamment de PO4) et diminution du pH selon la réaction

$$Fe\ (2) + 1/4\ O2 + 2\ OH- + 1/2\ H2O \rightarrow Fe(OH)3\ (s)$$

Simultanément, il y a entrée dans l'échantillon d'oxygène de l'air et dégazage du CO2 en sursaturation, ce qui a tendance à augmenter le pH, et.

Il en résulte que les mesures de pH, de conductivité et d'oxygène dans des échantillons d'eau profonde anoxique sont difficiles lorsque ceux-ci sont remontés en surface.

La Figure 49 illustre la relation entre la concentration en fer dissous et la variation de la conductivité de l'échantillon entre la mesure *in situ* et la mesure effectuée 1 à 4 jours plus tard au laboratoire (échantillons de mars à septembre 2001). En première approximation, la variation de conductivité correspond à la valeur théorique citée plus haut de 3,5 µS/cm pour 1 mgFe/L pour (Fe)<9 mg/L.

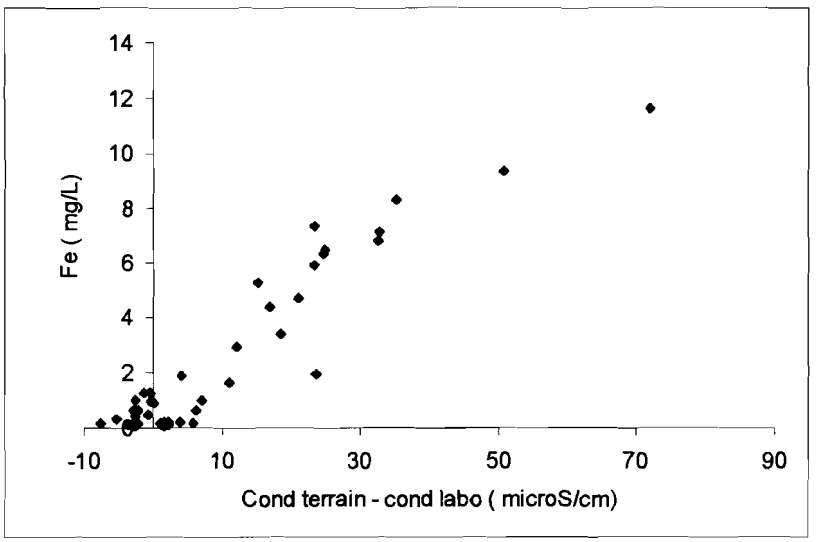


Figure 49 : Relation entre la concentration en fer dissous et la variation de conductivité entre mesure in situ et mesure au laboratoire quelques jours plus tard (échantillons de la retenue de mars à juillet 2001, n= 44)

VII. CONCLUSION

Les analyses réalisées ont mis en évidence les principales caractéristiques de la physico-chimie des eaux du bassin et de la retenue de Garafiri.

Dans le bassin, la principale caractéristique est la faible minéralisation de l'eau des rivières, avec en corollaire l'utilité des mesures de conductivité pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau (exemple des mesures en aval de Fria).

Dans la retenue, la structure verticale de la colonne d'eau, avec une couche profonde anoxique, conditionne la biologie du lac et la répartition des organismes. La faible teneur en éléments nutritifs limite le développement des microalgues, mais les poissons peuvent utiliser la production primaire des algues épiphytes sur les troncs d'arbres immergés ou benthiques dans les zones de bordure.

Durant ces premières années de fonctionnement, l'eau prélevée pour la production hydroélectrique est le plus souvent anoxique. Par contre, elle peut poser des problèmes de colmatage des filtres de l'eau de refroidissement des axes de turbines. Il semble en effet que cette eau soit en partie réoxygénée à un stade de son parcours, et peut être par la colonne amortisseur.

En aval du barrage, la turbulence favorise une réoxygénation rapide de l'eau, et la qualité de l'eau peut être considérée comme bonne à environ 15-20 km du barrage. L'environnement aquatique est cependant perturbé sur une distance importante du fait des fluctuations rapides des débits (alternance jour-nuit) résultant du cycle de la production électrique qui répond à la demande urbaine.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

Anourov, S. Babara, Y. & M.A. Souare, 1999.- Préparation des terres décolorantes à base de matières premières locales. Polytek, Conakry, 1 : 41-50.

APHA – AWWA - WEP, 1999.- Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. CD Rom.

Cole, J.J., Caraco, N.F. Kling, G.W., Kratz, T.K. 1994.- Carbon dioxide supersaturation in the surface waters of lakes.. Science 265:1568-1570.

Garcia-Gil, L.J., Vicente, E., Camacho, A., Borrego, C.M., Vila, X., Cristina, X.P., Rodriguez-Gonzalez, J., 1999.- Vertical distribution of photosynthetic sulphur bacteria linked to saline gradients in Lake `El Tobar' (Cuenca, Spain). Aquat. Microb. Ecol. 20 : 299-303.

Galy-Lacaux, C., 1996. Modifications des échanges de constituants mineurs atmosphériques liés à la création d'une retenue hydroélectrique. Impact des barrages sur le bilan du méthane dans l'atmosphère. Thèse, Univ. P. Sabatier, Toulouse, 210 p.

Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Dumestre, J.F., Richard,S., 1997. Evolution temporelle des émissions gazeuses et des profils de gaz dissous. Estimation du bilan de carbone de la retenue de Petit-saut deux ans après sa mise en eau. Hydroécologie appliquée 9:85-114.

Golterman, H.L., 1969.- Methods for chemical analysis of fresh waters. IBP Handbook No 8, Blackwell Scientif. Publ., Oxford, 166 p.

Golterman, H.L., 2001.- Phosphate release from anoxic sediments or "What did Mortimer really write?" Hydrobiologia 450 : 99-106

Gosse, Ph . & Grégoire, A., 1997.- Dispositif de réoxygénation artificielle du Sinnamary à l'aval du barrage de Petit-Saut (Guyane). Hydroécol. Appl. 9 : 23-56.

OCDE, 1982.- Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. Paris, OCDE, 164 p.

Orange, D., 1990.- Hydroclimatologie du Fouta Djalon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest). Thèse, Univ. Louis pasteur de Strasbourg, 213 p.

Roden, E.E. & Wetzel, R.G., 1996. Organic carbon oxidation and suppression of methane production by microbial Fe(III) oxide reduction invegetated and unvegetated freshwater wetland sediments. Limnol. Oceanogr 41:1733-1748.

Roden, E.E. & Wetzel, R.G., 2002. Kinetics of microbial Fe(III) oxide reduction in freshwater wetland sediments. Limnol. Oceanogr. 47:198-211.

Sigg, L., Stumm, W., Behra, Ph. 1992. Chimie des milieux aquatiques. Chimie des eaux naturelles et des interfaces dans l'environnement.. Paris, Masson.

Stewart, W.D.P., 1973.- Nitrogen fixation by photosynthetic microorganisms. Ann. Rev. Microbiol. 27 : 283-316.

Stumm, W. & Morgan, J.J., 1970.- Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. New York, Wiley Interscience, 583 p.

Talling, J.F. & Lemoalle J., 1998.- Ecological dynamics of tropical inland waters. Cambridge University press, 441 p.

Vaquer, A., Pons, V. & Lautier, J., 1997.- Distribution spatio-temporelle du phytoplancton dans le réservoir de Petit-Saut (Guyane Française). Hydroécol. Appl. 9 : 169-193.

Weiss, R.F., 1974.- Carbon dioxide in water and seawater : the solubility of a non-ideal gas. Mar. Chem. 2 : 203 - 215.

Wiesenburg, D.A. & Guinasso, N.I., 1976.- Equilibrium solubilities of methane, carbon monoxide and hydrogen in water and seawater. J. Chem. Eng. Data 24 : 356-360.

FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE ESTUARIEN

I. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

L'équipe Hydrologie de l'estuaire du PIG, a pour mission d'étudier le fonctionnement hydrodynamique de la partie estuarienne du Konkouré des termes de références. Les objectifs de l'étude étaient de mettre en évidence :

- L'évolution hydrodynamique de l'estuaire ;
- La propagation de l'onde de marée ;
- La variabilité spatio-temporelle de la salinité ;
- L'évolution de la charge solide.

Après un rappel du fonctionnement naturel de l'estuaire avant les travaux et la mise en service du barrage de Garafiri, une présentation des résultats concernant le bilan liquide en terme de courantométrie et une description des processus de remontée saline, nous aborderons les effets qui semblent marquer l'estuaire depuis la mise en service du barrage.

II. ETAT DE L'ESTUAIRE AVANT BARRAGE

II.1. HYDROLOGIE DU KONKOURE AU NIVEAU DE L'ESTUAIRE

II.1.a. Situation moyenne

La station fluviale (non influencée par la marée) qui permet de mieux de connaître les apports du Konkouré à l'estuaire en régime naturel, est la station de Yékémato ou Amaria (K11) (cf carte du bassin, Figure 1 page 18) qui contrôle 16 200 km² sur les 17 000 km² du bassin du Konkouré à l'embouchure. La station de référence du bassin est la station du Pont de Telimélé, mieux suivie et mieux jaugée mais située plus à l'amont, qui contrôle un bassin versant de 10 250 km².

Sur la base d'une corrélation entre les deux stations, une étude du régime des apports du Konkouré à l'estuaire et des impacts de Garafiri sur ces apports a été réalisée en 1995 (Note sur le régime des apports du Konkouré, de l'étude de définition technique et organisationnelle du plan de suivi environnemental du bassin versant du Konkouré ; COB/EDF de Mars 1995).

Cette étude a été réalisée sur la base des débits moyens mensuels. Les évolutions géomorphologiques de l'estuaire résultant de l'action des débits de crue, il est justifié de s'intéresser tout particulièrement aux débits moyens mensuels de crue, soit essentiellement aux débits des mois d'Août et de Septembre.

Les principaux résultats de cette étude sont rappelés dans les tableaux et figures suivants :

- Tableau 23 et Figure 50: Débits moyens mensuels à Yékémato (Amaria)
- Tableau 24 et Figure 51: Niveaux moyens mensuels à Yékémato (Amaria)
- Tableau 25: Ajustement statistique des débits de crue du Konkouré
- Tableau 26: Ajustement statistique des niveaux de crue à Yékémato (Amaria)

Janvier	133	169	1,27
Février	79	121	1,53
Mars	49	95	1,94
Avril	40	89	2,21
Mai	73	121	1,67
Juin	245	286	1,17
Juillet	802	767	0,96
Août	1813	1643	0,91
Septembre	1597	1526	0,96
Octobre	1024	1006	0,98
novembre	515	514	1
décembre	229	251	1,1
Année	549,9	549	0,998

Tableau 23: Débits moyens mensuels à Yékémato (Amaria) en m3/s (d'après COB - EDF, Mars 1995)

Mois	Etat naturel	Etat modifié	différence	Différence De tirant d'eau (%)
Janvier	51	62	10	19,6
Février	35	48	13	37,8
Mars	24	40	16	64,5
Avril	21	38	17	81,6
Mai	33	48	15	46,9
Juin	81	91	10	12,3
Juillet	198	191	-7	-3,3
Août	361	335	-26	-7,3
Septembre	328	316	-11	-3,4
Octobre	233	229	-3	-1,4
novembre	142	142	0	-0,1
décembre	77	83	6	7,1

Tableau 24: Niveaux moyens mensuels à Yékémato (Amaria) en cm (d'après COB - EDF, Mars 1995)

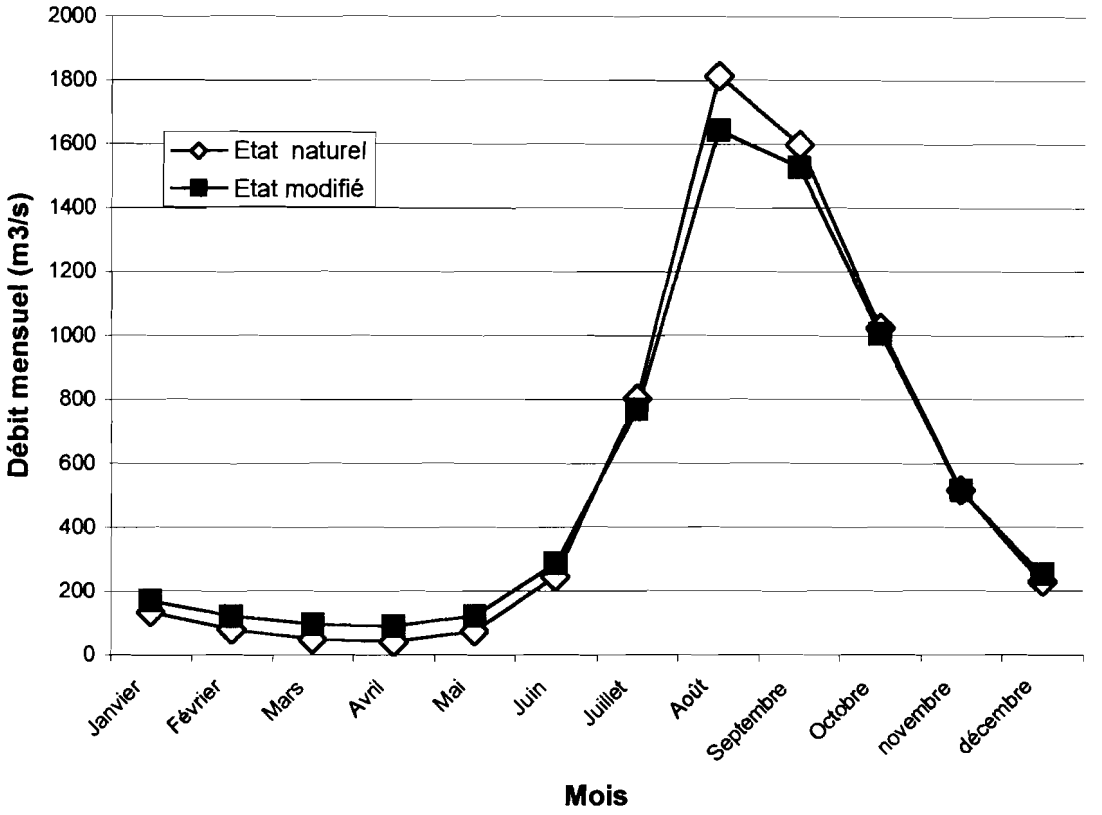


Figure 50: Comparaison des débits mensuels à Yékémato (Amaria) (d'après COB-EDF mars 1995)

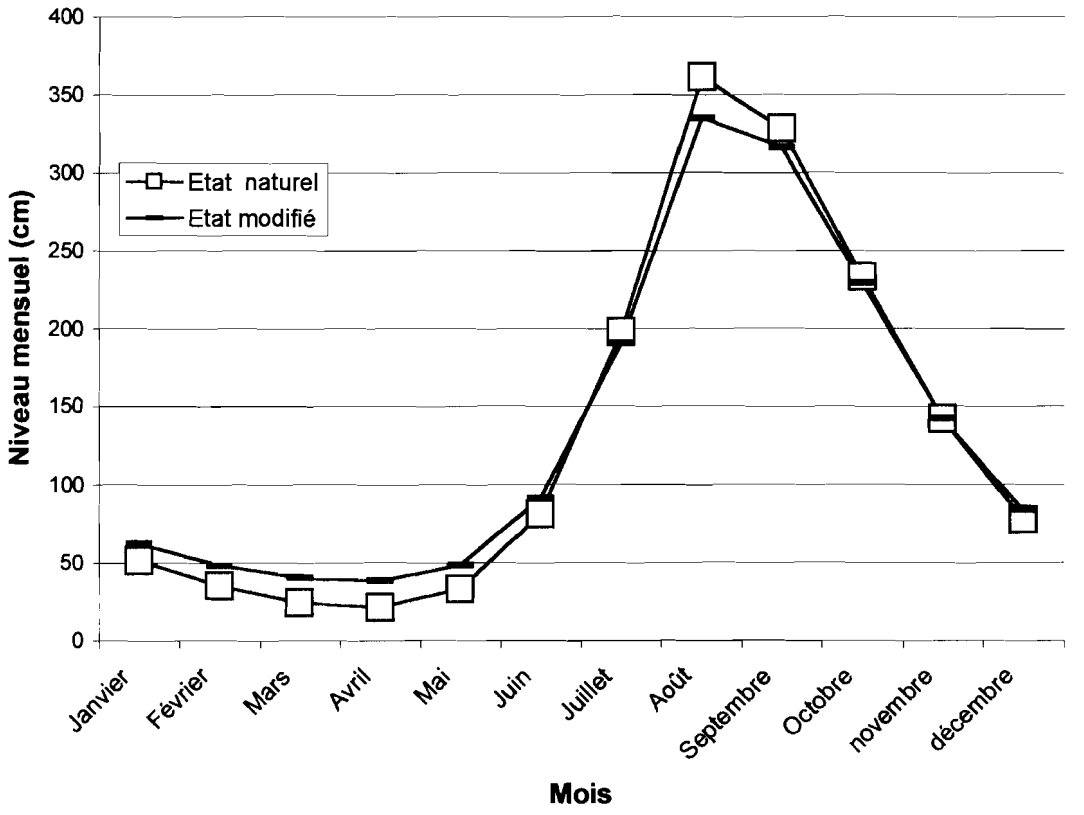


Figure 51: Niveau moyens mensuels à Yékémato (Amaria)

	Garafiri		Kaleta		Yékémato		
T (ans)	Naturel (m3/s)	Modifié (m3/s)	Naturel (m3/s)	Modifié (m3/s)	Naturel (m3/s)	Modifié (m3/s)	ratio
2	606	315	1970	1680	3500	3210	92
10	919	610	2890	2600	5200	4910	94
20	1040	720	3200	2880	5700	5380	94
50	1204	880	3570	3250	6400	6080	95
100	1334	1000	3830	3500	6900	6570	95
500	1649	1290	4400	4040	7900	7540	95
1000	1792	1430	4620	4260	8300	7940	96
10000	2294	1900	5350	4960	9600	9210	96

Tableau 25:Débits de crue du Konkouré (d'après COB-EDF, 1995)

T (ans)	Niveau état Naturel (cm)	Niveau état modifié (cm)	Différence (cm)	Différence (%)
2	665	615	-50	-7.51
10	951	903	-48	-5.05
20	1033	980	-52.5	-5.08
50	1147	1095	-51.9	-4.53
100	1227	1174	-53.1	-4.33

Tableau 26: Niveaux de crue à Yékémato (Amaria) (d'après COB-EDF, 1995)

Nota : La courbe de jaugeage à Yékémato (Amaria), n'est connue que par 25 points ne dépassant pas 1210 cm (soit 5130 $m^3.s^{-1}$)

Il est à noter que les Tableau 25 et Tableau 26, tirés de l'étude citée ne font apparaître que les crues des années humides qui sont les moins influencées par le projet et que l'étude occulte les crues des années sèches dont le poids sur l'estuaire est plus important que celui des années humides. Il est donc recommandable de refaire l'ajustement en s'intéressant également aux années sèches.

On peut donc penser que globalement, le projet aura sur l'estuaire un impact équivalent à celui d'une réduction de l'hydraulicité de l'ordre de 10 à 12 %, coefficient sensiblement supérieur à ceux donnés dans les tableaux et pour des débits moyens et pour les crues "humides" du mois d'Août.

II.1.b. Périodes types

L'impact sur la dynamique sédimentaire de l'estuaire de séquences d'années caractérisées par leur hydraulicité a pu être observé, c'est pourquoi il est intéressant de comparer l'impact du projet à l'impact de ces périodes types.

L'observation de l'évolution de la mangrove et de l'estuaire a porté sur trois périodes types :

période 1 : 1953 - 1966

période 2 : 1966 - 1980

période 3 : 1980 – 1988

L'hydraulicité du Konkouré a été calculée pour chacune de ces trois périodes à partir du tableau des débits observés au Pont de Télimélé (cf annexe "hydrologie continentale". Les indices d'hydraulicité moyens calculés pour ces trois périodes sont :

période 1 : 1,28

période 2 : 0,91

période 3 : 0,71

Ces indices calculés par rapport au module, lui-même calculé sur la période 1948-1989, ont une valeur surtout relative.

II.1.c. Impact attendu du projet sur l'hydrologie

Les niveaux à Yékémato (ou Amaria) sont déduits des débits par application de la courbe de tarage. L'impact sur les niveaux moyens mensuels est donné par le Tableau 24 et la Figure 51. Pour le débit moyen du mois d'Août (maximum de la crue), la baisse moyenne du niveau est de 27 cm environ.

Pour les crues des années humides de fréquence plus rare, la baisse du niveau de crue est donnée par le Tableau 26. Ces résultats montrent que la baisse du niveau de crue est assez constante en valeur absolue et voisine de 0,5m. Elle n'a pas été calculée pour les années sèches, mais pour ces années, en extrapolant les valeurs du Tableau 26, on peut estimer que l'abaissement du niveau sera aussi voisin de 0,5m et que la différence relative atteindra et dépassera les 10%.

Il est intéressant de noter que l'analyse par périodes types montre que, par rapport à une situation supposée en équilibre, la mise en service du projet aura un impact global sur les apports à l'estuaire (réduction de l'hydraulicité en crue de 10%) équivalent à environ la moitié de celui provoqué, naturellement, par le passage de la période 2 à la période 3 qui est de 20% environ.

II.2. HYDRODYNAMIQUE DE L'ESTUAIRE

L'hydrodynamique d'un estuaire résulte de la superposition de deux mécanismes de base: un mécanisme fluvial et un mécanisme tidal (effet de marée).

Le mécanisme fluvial détermine le niveau moyen et le débit moyen en chaque point de l'estuaire. Le niveau moyen augmente de l'aval (niveau marin) vers l'amont selon une courbe de remous. Cette courbe de remous pratiquement horizontale pour les faibles débits d'étiage, s'élève avec le débit du Konkouré. Dans le cas d'un delta à bras multiples, les débits se répartissent de façon à égaliser la perte de charge dans chacun des bras. Dans le cas du Konkouré, le bras principal du Konkouré et la Sankiné se partagent l'essentiel du débit d'apport (Figure 54). Le bras principal se subdivise lui même en deux bras dans sa partie avale de part et d'autre de l'île de Bokhinéné (le Konkouré et la Kabeleya). Des mesures de débits sur 13 heures ont été effectuées à la confluence pour estimer la répartition des flux liquides du fleuve dans les deux bras terminaux durant le début de la crue de 2002. Ces trois campagnes nous indiquent que seuls 5% du débit fluvial transite par la Sankiné pour une crue moyenne de débit 400 m3/s (Tableau 36 et Figure 65). En période d'étiage, pour des situations de ME comme de VE la Sankiné présente un fonctionnement beaucoup plus marin que le Konkouré qui garde un caractère fluvio-marin.

La variation des sections moyennes du bras principal du Konkouré et de la Sankiné depuis l'embouchure jusqu'à Wassou est schématisée sur le graphique de la Figure 52.

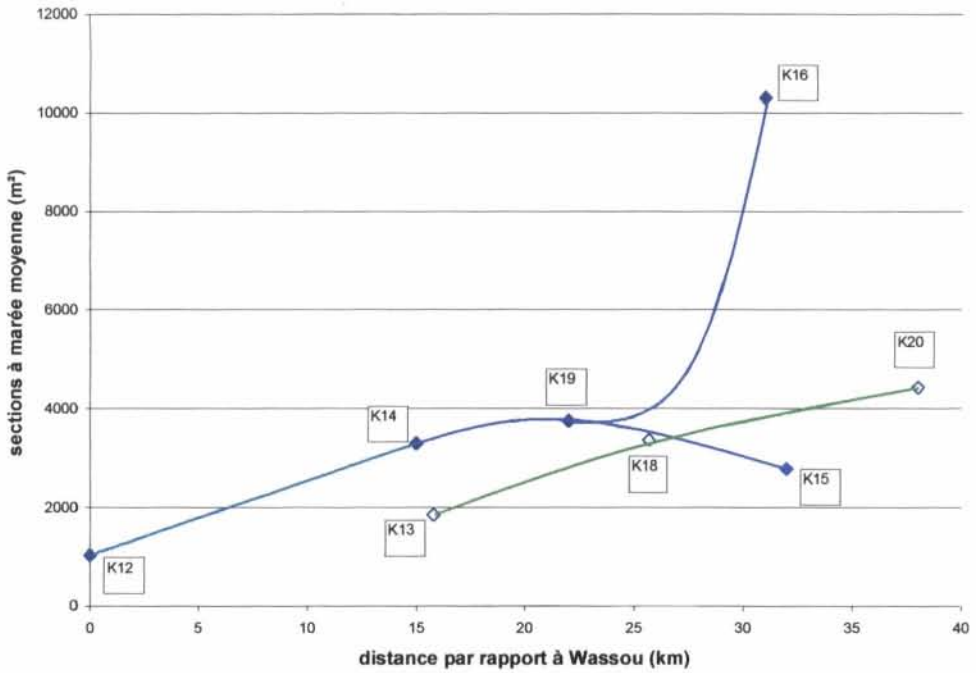


Figure 52 Variations des sections moyennes

Ces sections moyennes ont été obtenues en faisant la moyenne des sections mesurées en PM et en BM (Tableau 27).

	K15	K16	K19	K14	K20	K18	K13	K12
PM	1525	8257	1511	1716	1715	1264	1304	304
BM	4033	12374	6006	4889	7142	5465	2412	1775
Moyenne	2779	10315	3758	3302	4428	3364	1858	1040
Distance de Wassou (km)	32	31	22	15	38	25,7	15,8	0

Tableau 27: Sections moyennes et distances par rapport à Wassou des stations de référence

La marée à Conakry est un phénomène très régulier. L'examen des marnages observés tout au long de l'année 1997 met en évidence des amplitudes variant entre environ 3,5 m et 4 m en vive-eau et 1,5 à 2 m en morte-eau.

Le mécanisme de la marée est complexe car il s'agit d'un phénomène de propagation d'une onde monoclinale. Ce mécanisme se traduit par le remplissage et la vidange périodique d'un certain volume oscillant à chaque marée. Il génère ainsi des débits alternatifs de marée qui se superposent aux débits fluviaux.

La présence de nombreux bras dans lesquels la marée se propage peut rendre localement très complexe le mouvement des eaux qui résulte de la superposition de plusieurs ondes de marée. C'est le cas notamment de la partie amont du Sankiné qui est sous l'influence combinée de l'onde de marée se propageant par le Konkouré et de celle se propageant par le Sankiné. La première arrivant d'abord à Kakounssou, pénètre dans le Sankiné avant l'arrivée de la seconde. C'est pourquoi dans la partie amont du Sankiné, un écoulement vers l'aval peut se produire au début du flot. Ceci peut s'observer notamment en étiage alors qu'en crue c'est l'influence fluviale qui est prédominante.

II.2.a. Dynamique sédimentaire de l'estuaire

Les mécanismes de l'évolution des bordures de la mangrove ont été décrits notamment par O. Ruë lors de l'étude de l'évolution de la plaine de Koba, plaine littorale située au N-O de l'estuaire du Konkouré. L'auteur a mis en évidence des corrélations entre les évolutions de la mangrove et les conditions climatiques par observation sur une période suffisamment longue, allant de 1953 à 1988. La démarche est décrite en détail notamment dans « Dynamique des mangroves et évolution du climat en Guinée ; l'exemple de la plaine de Koba ; séminaire UNESCO/COMARAF de Rogbané, 31/01/1990 ».

En résumé, la période d'observation 1953-1988 a été divisée en trois sous-périodes :

- période 1 : 1953 - 1966
- période 2 : 1966 - 1980
- période 3 : 1980 - 1988

Pour chacune de ces trois périodes, les évolutions de la mangrove (plaine côtière et chenaux deltaïques) et les conditions climatiques (hydraulicité et agitation due au vent) ont été identifiées. Elles sont résumées dans le Tableau 28.

Période d'observation	Période 1 1953-1966	Période 2 1966-1980	Période 3 1980-1988
Evolution de la plaine côtière	progression	Stabilité	Recul
Evolution des chenaux	élargissement	Stabilité	Rétrécissement
Hydraulicité du Konkouré	Forte (1,28)	Moyenne (0,91)	Faible (0,71)
Vent / agitation	Forts en début de période, puis faibles	Faibles	Faibles, puis forts en fin de période

Tableau 28: Evolution de la mangrove et des conditions climatiques de 1953 à 1988(d'après O.Rüe)

L'hydraulicité du Konkouré a été définie au paragraphe II.1 et l'évolution des vents au cours des trois périodes est schématisée sur le graphique de la Figure 53.

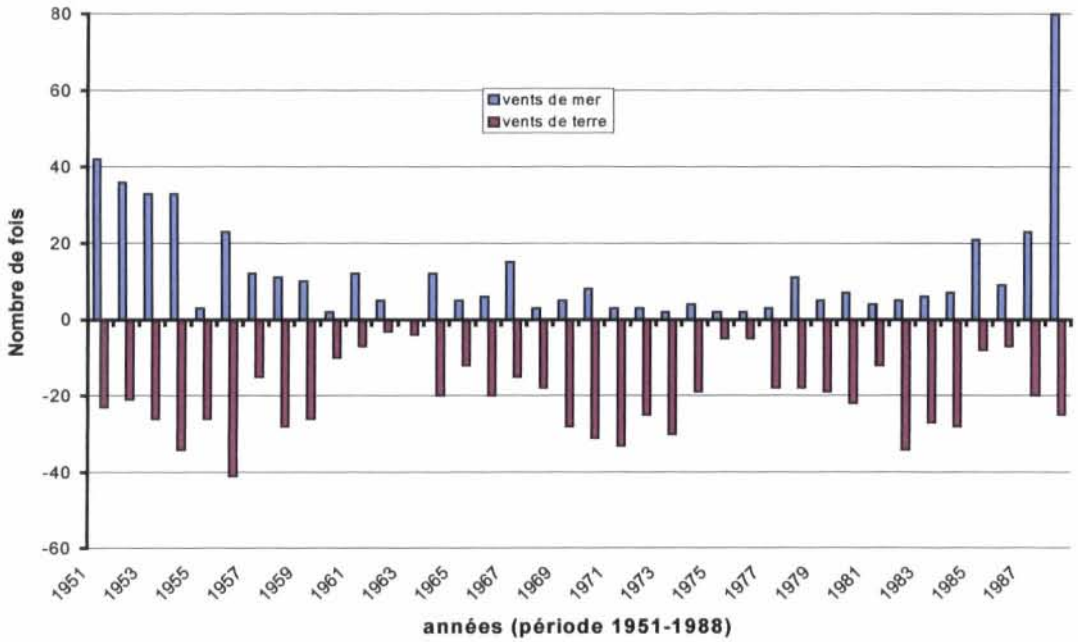


Figure 53: nombre de fois par an où le vent a dépassé 10m/s (d'après O.Rüe)

Cette analyse met en évidence trois mécanismes de base de l'évolution de la zone de l'estuaire du Konkouré, soit de l'amont vers l'aval :

1. *Une relation entre l'hydraulicité du fleuve et la largeur des chenaux.* L'influence de la marée maintient une hauteur moyenne constante à l'aval de l'estuaire. Il en résulte une accélération des vitesses lorsque les débits de crue augmentent, accélération qui entraîne une érosion des berges des chenaux. Les chenaux adaptent leur largeur de façon à ramener les vitesses à une valeur proche d'une valeur d'équilibre qui correspond à l'entraînement des matériaux vaseux. Inversement, les années de faible hydraulicité, les vitesses sont ralenties et les matériaux se déposent sur les berges pour réduire la largeur des chenaux. Bien que les observations aient été faites globalement sur des périodes de plusieurs années, ce mécanisme entraîne probablement des fluctuations annuelles non négligeables de la largeur des chenaux.
2. *Un mécanisme d'échange de sédiments entre l'estuaire et les plaines côtières adjacentes.* Les courants de marée entraînent, au flot, les matériaux remis en suspension le long des plaines côtières, vers l'estuaire où ces matériaux se déposent si les vitesses y sont plus faibles que les vitesses d'entraînement, c'est à dire les années de faible hydraulicité. Inversement, les matériaux arrachés aux chenaux de l'estuaire, les années de forte hydraulicité, vont engraisser d'autres plaines côtières. Il existe donc un stock de matériaux vaseux qui oscille entre l'estuaire et les plaines côtières adjacentes.
3. *L'influence classique de l'agitation générée par le vent.* La houle attaque les plaines côtières et remet en suspension les sédiments par l'intermédiaire du clapot, qui sont alors soit renvoyés vers l'estuaire, soit entraînés et perdus au large. Le stock vaseux oscillant est donc le résultat d'un équilibre entre les matériaux apportés par le Konkouré et ceux entraînés au large par l'agitation.

Aux effets moyens de tous ces mécanismes, se superposent très certainement des fluctuations annuelles difficilement mesurables mais non négligeables qui font que les évolutions que l'on peut constater d'une année sur l'autre ne sont pas significatives. D'autre part cette étude ne porte pas sur les évènements ponctuels mais influants tels que les tempêtes qui génèrent d'importantes fluctuations en un temps minime.

Outre ces mouvements d'ensemble, quelques particularités sédimentaires de l'estuaire ont pu être observées lors de la mission de reconnaissance réalisée par le BCEOM dont, notamment, une différence de nature entre les deux bras principaux du Konkouré et du Sankiné.

Les sédiments les plus grossiers et notamment les sédiments de fond ne pénètrent pas ou peu dans le Sankiné mais poursuivent leur chemin vers l'aval, où ils se déposent selon une formation deltaïque classique. Ce phénomène de tri sédimentaire peut sans doute s'expliquer par la configuration de la diffluence des deux bras. D'une part, le départ du Sankiné se situe sur une rive concave du fleuve et d'autre part, il existe probablement un seuil de fond à l'entrée du Sankiné dans l'alignement des affleurements bien visibles en surface. Il en résulte que le Sankiné ne transite qu'une faible partie des matériaux apportés par le Konkouré et que cette partie est constituée des sédiments les plus fins donc peu sédimentables. On peut ainsi expliquer que ce bras se maintient à des profondeurs nettement supérieures à celle du Konkouré.

III. LES CAMPAGNES REALISEES DANS LE CADRE DE CETTE OPERATION

L'ensemble des campagnes effectuées dans l'estuaire du Konkouré est récapitulé dans le Tableau 29. (Les résultats d'une campagne antérieure au projet – réalisée en 1997 dans le cadre du Projet d'Etude Côtière (PEC) ont été également utilisés pour préciser l'état avant barrage).

En 1997, seules 4 stations de l'Observatoire de la mangrove collectaient des données d'hydrodynamique sur l'estuaire. Au début du projet lors de la première campagne, 6 stations ont été installées, trois sur le bras principal du Konkouré (K12, K14 et K19), deux sur la Sankiné (K13 et K18) (Figure 54) et enfin une huitième en aval de la confluence Sankiné et Singueli au K17. Dès la troisième campagne de novembre 98, le réseau d'observation était renforcé de deux nouvelles stations (K15 et K16) de façon à contrôler l'embouchure de part et d'autre de l'île de Bokhinéné. Enfin en 1999 une neuvième station placée à l'embouchure de la Sankiné (K20) complétait le dispositif.

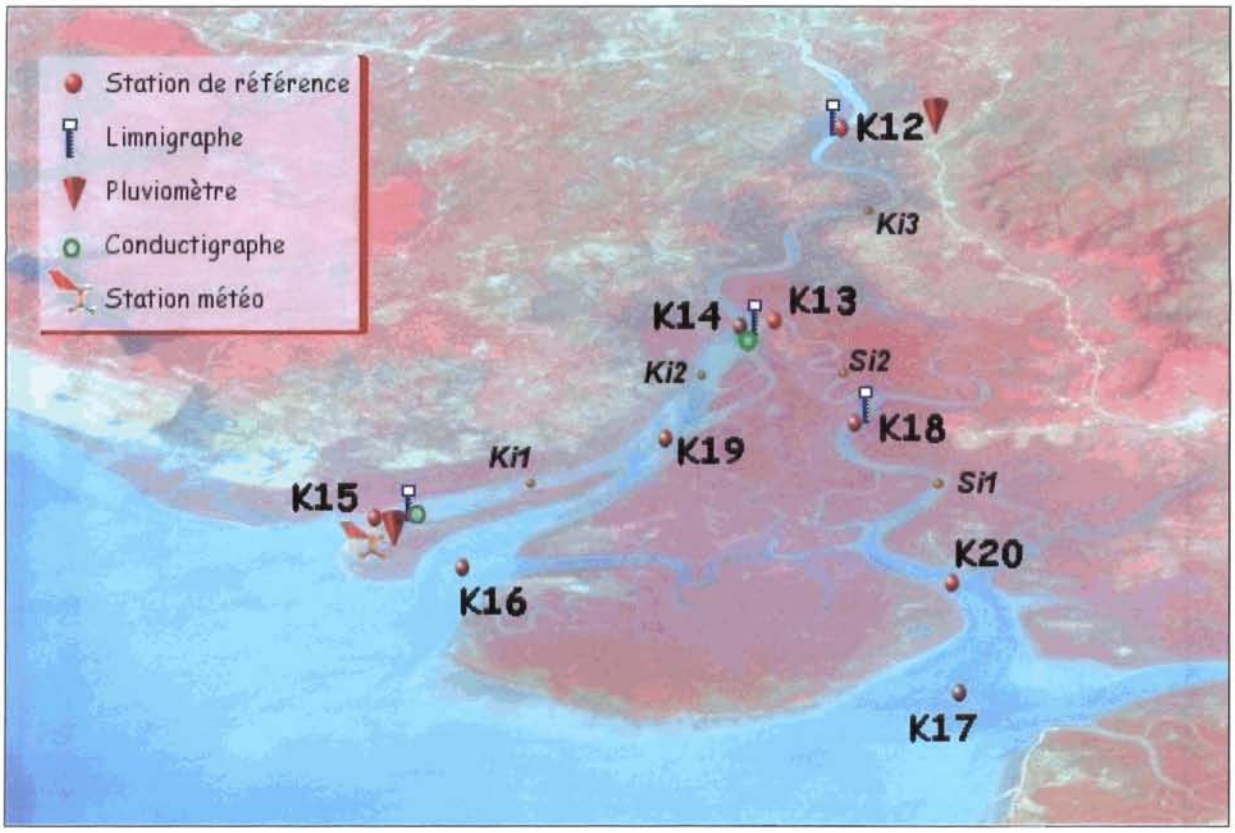


Figure 54 :Dispositif opérationnel du volet hydrodynamique

Un contrôle continu des 9 stations a été effectué en 2000 et 2001 concernant les salinités et la courantométrie. Les missions de 2002 répertoriées dans le Tableau 29 sont des missions de suivi des volumes oscillants aux embouchures et en estuaire médian pour déterminer la répartition des flux liquides à la confluence entre le Konkouré et la Sankiné (K14). Toutes les données acquises au cours de ces missions apparaissent dans les annexes.

L'objectif de ces travaux est de pouvoir décrire précisément les 4 types de situations qui caractérisent l'hydrodynamique d'un estuaire affecté par un marnage important :

- Crue en vive-eau (CVE),
- Crue en morte-eau (CME),
- Etiage en vive-eau (EVE),
- Etiage en morte-eau (EME)

Environ 1/3 des campagnes a été réalisé avant la mise en service du barrage de Garafiri dont les vannes ont été fermées le 23/04/1999, jusqu'au 15/09/1999.

Année	Période	Nombre de stations	Marées (Amplitudes (m.)	Débits à K11 (m3/s)
1997	Avril	4	VE	(30)
1998	01/06 – 06/06	6	1.4 / 1.9	155 / 186
	22/06 – 28/06	6	2.8 / 3.3	334 / 486
	06/09 –11/09	6	3.6 / 2.7	1210 – 3090
	27/09 – 02/10	6	1.1 / 1.5	1810 / 1380
	07/11 – 15/11	6	2.9 // 1.4	588 / 502
1999	02/04 – 09/04	5	2.8 // 1.1	130 / 139
	25/08 – 01/09	8	2.7 / 3.3	1850 / 2520
	31/10 – 07/11	8	1.6 // 2.8	659 / 461
2000	02/02 – 10 02	8	2 / 3	79 / 126
	30/03 – 06/04	8	1.3 // 3.3	82 / 90
	29/06 – 09/07	8	2.5 / 3.6 / 2.1	249 / 515
	23/09 – 03/10	9	1.7 // 3.6 / 2.4	1221 / 670
2001	07/02 – 15/02	9	2.8 / 3.8 / 2.1	150 / 139
	25/03 – 04/04	9	3.1 // 1.5	85 /81
2002	22/01 – 24/01	3	1.52	164.9
	19/02 – 21/02	3	1.47	154.6
	11/06 – 13/06	3	2.69	79.6
	03/07 – 11/07	3	1.45 / 2.25	236 / 415

Tableau 29: Synoptique des campagnes d'hydrodynamique réalisées dans le cadre du projet (et de sa préparation en 1997) (en gras, les marées de vive-eau) (données en bleu pour l'après barrage)

Une campagne bathymétrique est à rajouter à ce dispositif. Cette dernière a été effectuée durant la crue de 2002 et s'est étalée entre mi-juillet et début septembre.

On peut résumer la qualité des crues et des étiages correspondant à la période 1998-2002 comme suit :

Année	Etiage	Crue
1998	Régime naturel	Forte
1999	Régime naturel	Forte
2000	Soutien du barrage	Faible
2001	Soutien du barrage	Moyenne
2002	Soutien du barrage	faible

III.1. LES NIVEAUX

III.1.a. Première série de campagnes

Etant donné l'absence de repères altimétriques fixes et calés en altitude dans l'estuaire, et la grande difficulté de les installer, les profondeurs ont été mesurées pendant les 10 dernières campagnes de mesures et complétées par une campagne bathymétrique en juillet 2002.

Il y a lieu de noter que les mesures de profondeurs sont très approximatives étant donné la difficulté de retrouver le même point à chaque intervention. Elles n'ont donc de valeur que relative et encore au cours d'une même journée, l'emplacement du bateau dérive sur son aire. Les valeurs du Tableau 30 sont donc assez peu cohérentes et elles devront être analysées avec prudence. Des échelles non calées ont été utilisées lors de la 11ème campagne de mars-avril 2000, ce qui rend plus fiables les résultats de cette campagne. Les mesures de profondeur réalisées au cours de ces campagnes sont résumées dans le Tableau 30 et le Tableau 31 après corrections des valeurs aberrantes.

station	campagne	Profondeur PM	Profondeur BM	Marnage	profondeur moyenne	Profondeur moy de la campagne
K12	1.1	4.4	1.3	3.1	2.85	
	1.2	5.0	1.0	4.0	3.0	
	2.1	7.5	5.3	2.2	6.4	2.92
	2.2	5.5	3.5	2.0	4.5	
	3	6.7	4.6	2.1	5.65	5.45
	4	6.2	1.1	5.1	3.65	
K13	1.1	6.0	3.7	2.3	4.85	
	1.2	7.3	3.0	4.3	5.15	
	2.1	7.2	4.3	2.9	5.75	5.0
	2.2	7.2	4.5	2.7	5.85	
	3	7.8	3.6	4.2	5.7	5.8
	4	4.3	0.6	3.7	2.45	
K14	1.1	4.3	1.9	2.4	3.1	
	1.2	4.6	0.9	3.7	2.75	
	2.1	5.1	1.4	3.7	3.25	2.92
	2.2	3.9	2.0	1.9	2.95	
	3	4.0	1.0	3.0	2.5	3.07
K15	3	6.6	2.8	3.8	4.7	
	4	5.7	3.2	2.5	4.45	
K16	3	4.8	2.5	2.3	3.65	
	4	4.3	2.1	2.2	3.2	
K17	1.1	7.3	4.2	3.1	5.75	
	1.2	8.6	4.7	3.9	6.65	
	2.1	8.7	2.6	6.1	5.65	6.2
	2.2	8.6	4.2	4.4	6.4	
	3	7.5	4.3	3.2	5.9	6.0
K18	1.1	6.9	4.3	2.6	5.6	
	1.2	9.7	2.8	7.2	6.4	
	2.1	8.2	3.6	4.6	5.9	6.0
	2.2	6.8	4.6	2.2	5.7	
	3	7.2	4.5	2.7	5.85	5.8
K19	1.1	5.1	2.4	2.7	3.75	
	1.2	5.1	1.7	3.4	3.4	
	2.1	5.5	2.0	3.5	3.75	3.57
	2.2	4.1	2.0	2.1	3.05	
	3	5.1	1.6	3.5	3.35	3.4
	4	4.2	1.7	2.5	2.95	

Tableau 30: Synthèse des observations de profondeur (période juin 1998 à avril 1999)

La comparaison entre les résultats obtenus par lecture d'échelle et par mesure des profondeurs à Bokhinéné le 06/04/2000 permet d'estimer l'incertitude sur les mesures de profondeur. Les deux résultats ont été comparés à la courbe de marée à Conakry. Il apparaît que l'incertitude sur les mesures peut être d'un ordre de grandeur de 1 à 2m. Cet ordre de grandeur de l'incertitude se recoupe avec celui qui ressort du Tableau 31 dans lequel les profondeurs moyennes entre pleine mer et basse mer devraient être sensiblement égales d'une campagne à l'autre pour un même point alors que des écarts de 2m ou plus sont atteints en un point sur deux.

point	Campagne	Profondeur PM	Profondeur BM	Marnage	Profondeur moyenne
K12	1	6.4	2.5	4.1	4.45
	2	5.35	2.15	3.75	3.75
	3	5.8	1.48	3.64	3.64
	4	4.21	0.67	2.44	2.44
K13	1	5.7	2.5	3.2	4.1
	2	5.95	3.25	2.7	4.6
	3	6.75	3.52	3.23	5.14
	4	4.55	1.1	3.45	2.82
K14	1	5.77	2.57	3.2	4.17
	2	4.65	1.57	3.08	3.11
	3	4.79	1.72	3.07	3.25
	4	4.74	0.99	3.75	2.87
K15	1	6.1	2.3	3.8	4.2
	2	5.7	2.9	2.8	4.3
	3	6.15	2.6	5.55	4.37
	4	3.95	0.38	3.57	2.16
K16	1	4.6	1.6	3.0	3.1
	2	3.92	1.9	3.02	2.5
	3	5.2	1.09	4.11	3.15
	4	4.5	0.6	3.9	2.55
K17	1	8.05	3.1	4.95	5.6
	2	7.5	4.67	2.83	6.08
	3	6.44	3.75	2.69	5.1
	4	6.65	4.15	2.5	5.4
K18	1	8.2	4.3	3.9	6.25
	2	8.2	3.7	4.5	5.95
	3	6.3	2.48	3.82	4.39
	4	5.17	2.7	2.47	3.94
K19	1	5.5	2.8	2.7	4.15
	2	4.67	2.05	2.62	3.36
	3	5.4	1.31	4.09	3.35
	4	4.95	1.1	3.85	3.05

Tableau 31: Synthèse des observations de profondeur – période août 99 à avril 2000

III.1.b. Campagne bathymétrique de juillet 2002.

Cette campagne a été réalisée à l'aide d'un ADCP WHM 600 de RDI couplé à un echosondeur Humminbird 350 TX et d'un GPS Magellan pour la localisation géographique des profils transversaux effectués.

Un ensemble de 207 profils transversaux, espacés de 300 m environ, a été collecté pour couvrir les bras principaux de l'estuaire du Konkouré. Les profils ont été levés durant les pleines mers pour faciliter la navigation et ainsi couvrir les bancs découvrants à basse mer.

Les deux appareils ayant servis pour la mesure des profondeurs présentant des fonctionnements différents quant à leur pénétration dans les fonds non consolidés, une comparaison entre les résultats a été effectuée et est consignée dans la Figure 55.

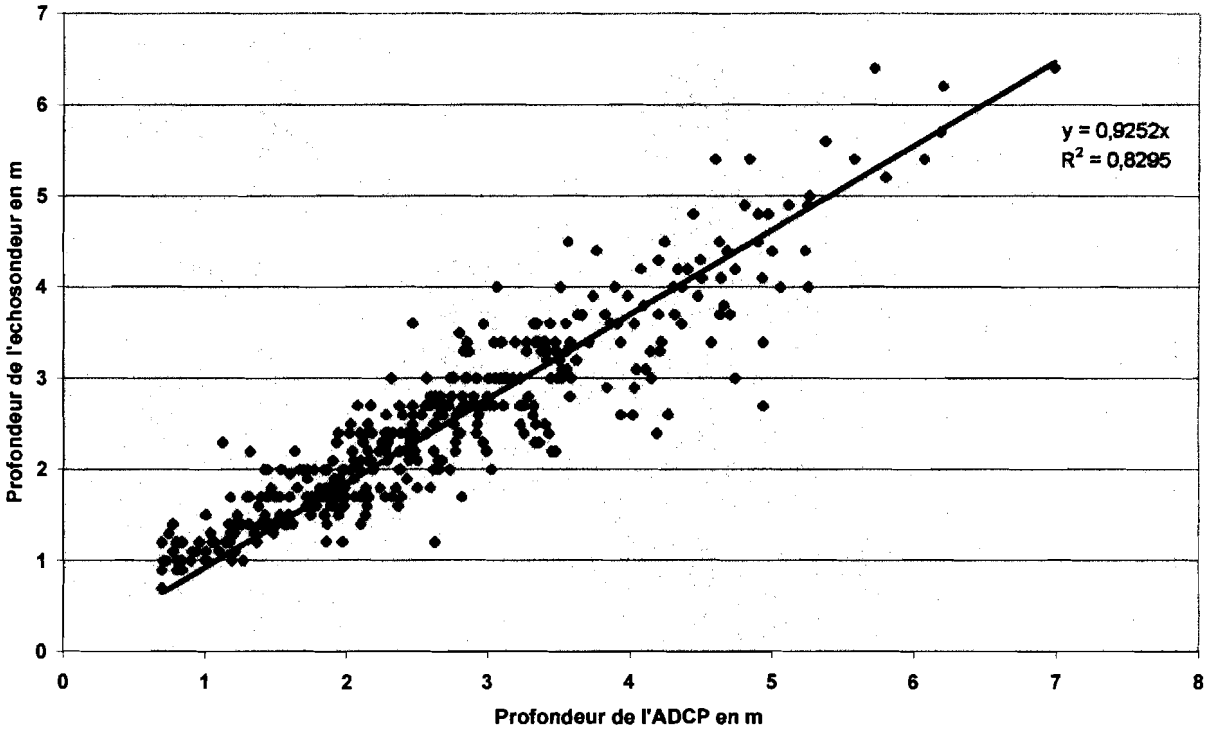


Figure 55: Corrélation entre les profondeurs mesurées par l'ADCP et l'échosondeur

Cette analyse souligne la bonne corrélation existant entre les deux types de mesure et confirme la cohérence des résultats de l'ADCP pour une utilisation à fin bathymétrique.

Les profondeurs issues de ces profils ont ensuite été corrigées des effets de la marée et exploitées pour l'obtention d'une carte bathymétrique.

Cette bathymétrie nous renseigne sur la morphologie des fonds, sur la position des chenaux d'écoulements et des bancs de sable et de vase pouvant présenter des obstacles à cet écoulement par l'intermédiaire de seuils.

Nous pouvons ainsi décrire la morphologie des fonds sur la totalité de la zone couverte.

Pour le Konkouré :

- L'estuaire remonte en amont jusqu'à une série d'îlots et de hauts fonds qui en divisent le cours et permettent son franchissement par un pont. Entre ce pont et K14, l'estuaire amont est caractérisé par un lit étroit dont la largeur est comprise entre 300 et 500 m qui, de K12 à K14, dessine une série de larges méandres. Les chenaux sont positionnés dans les parties concaves des méandres où s'opère un affouillement par torsion de l'écoulement, et les parties convexes sont caractérisées par des pentes faibles où la dynamique est moindre et où s'opèrent les dépôts. Les berges y sont uniformément envasées.

- De K14 en amont de l'île de Bokhnènè, l'estuaire médian montre une direction plus rectiligne orientée N200, bien que sa morphologie soit plutôt anastomosée avec la présence de bancs découvrants à basse mer de vives eaux (BMVE). Les sections s'élargissent brutalement à K14 pour atteindre une largeur de l'ordre du kilomètre favorisant le dépôt des particules les plus grossières. Les berges y sont envasées mais on y observe logiquement des bancs de sables fluviatiles, grossiers, sales et mal triés. En amont (K14) le chenal longe la rive droite, puis il se rabat sur la rive gauche avant d'atteindre le K19 où ce dernier atteint sa profondeur maximale dans le Konkouré.
- La partie avale de l'estuaire, d'orientation N230, est séparée par une île centrale, l'île de Bokhnènè. Les berges y sont principalement vaseuses mais on observe des plages de sable marin, fin, propre et bien trié. On y observe un élargissement des sections croissant vers les embouchures (la section de K16 est large d'environ 2500m). De nombreux bancs sableux et vaseux émaillent cette partie de l'estuaire dans les deux bras du Konkouré, certains émergent à BM, d'autres seulement en BMVE. Dans le bras du Konkouré Nord (Bokhnènè), le chenal qui se trouve en rive gauche à la pointe nord-est de l'île se rabat sur la rive droite mais un chenal secondaire, moins profond, continue également de longer la rive gauche. Deux grands bancs se distinguent entre ces deux chenaux. A l'embouchure un énorme banc de sable fait seuil et obstrue la partie Sud de l'embouchure (le banc de Konébombi). La morphologie du bras est du Konkouré (K16) est plus complexe et l'on peut suivre sur la rive gauche le chenal profond identifié dans la partie médiane jusqu'à l'embouchure. Ce chenal principal, plaqué sur la rive gauche va être réorienté vers le centre du cours à la confluence de la Bourramaya, où un banc de sable s'étend, isolant un chenal issu de la Bourramaya sur la rive gauche. Un autre chenal se matérialise sur la rive droite, isolant un grand banc de vase dans la partie la plus amont de ce bras qui s'étend jusqu'à l'embouchure.

Pour la Sankiné :

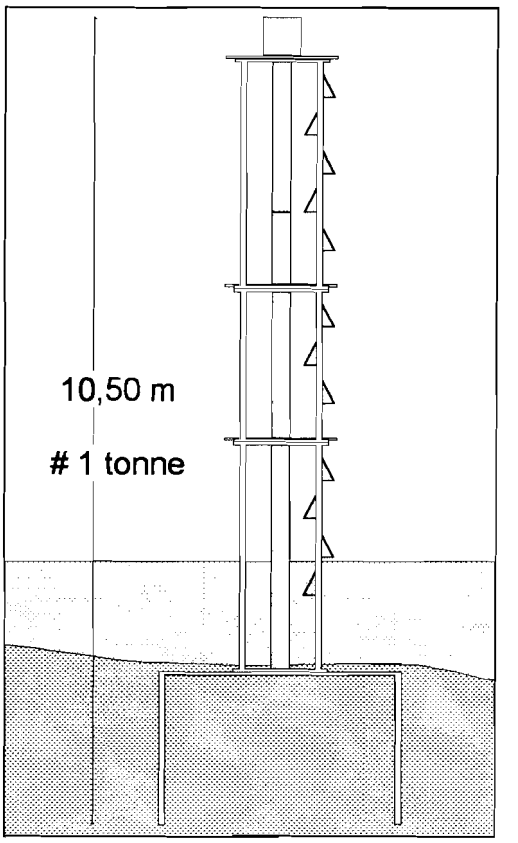
- La partie amont de la Sankiné, allant de K14 où elle se raccorde au Konkouré à K18 est caractérisée par une morphologie typiquement méandriforme, dont les sections sont d'une centaine de mètres de largeur. Les chenaux y sont profonds et bien marqués dans les parties concaves du cours.
- Les parties médianes et avales de la Sankiné sont semblables à la partie amont, à l'exception près d'un élargissement progressif des sections vers l'embouchures où elles atteignent 1200 m environ. Ce bras est très régulier, orienté N160, et ne présente aucun banc ni sableux ni vaseux. Seul un cordon coquillier à proximité de la station K20, sur la rive gauche vient perturber la monotonie de l'envasement des berges.

III.1.c. Installation des plates-formes fixes

Cinq plates-formes marégraphiques ont été installées dans l'estuaire du Konkouré entre décembre 2000 et juillet 2001. Ces équipements sont destinés à contrôler les niveaux d'eau aux stations K12, K14, K15, K18 et K20.

Chaque plate-forme marégraphique est composée de 6 éléments principaux :

- une base carrée de 9 m^2 de surface comprenant 1 pieu de 1 à 2 m de long à chaque angle,
- trois éléments verticaux de 1 m^2 de surface ; les éléments inférieurs et supérieurs ayant une hauteur de 3 m, l'élément intermédiaire une hauteur de 2 m,
- un puits de mesure,
- une cabine de protection de l'enregistreur.



Chaque station a été équipée d'un enregistreur de niveau de type OTT Thalimède (limnigraphe à flotteur) configuré de la manière suivante :

- précision 1 mm,
- temps de scrutation : 1 mn,
- temps de mémorisation : 10 mn (chaque cote enregistrée correspond à la moyenne des 10 cotes précédentes).

La plate-forme K20, installée le 12 juillet 2001, a disparu au cours du mois d'août ou au début du mois de septembre. Les recherches par dragage ont été vaines. Cet équipement a probablement été volé. Une telle structure métallique (10 m de haut, 1 tonne, 9 m^2 à la base) située dans une zone calme et à faible courant (mais isolée), ne pouvait ni être engloutie par la vase ni être emportée par les flots. Soulignons qu'au cours de son installation, plusieurs éléments de la plate-forme entreposés temporairement sur la berge avaient été une première fois dérobés et retrouvés de manière tout à fait fortuite au port de Dubréka. Cette perte nous prive de mesures précieuses pour la compréhension globale de l'estuaire et de la Sankiné (déphasages et amplitudes variables).

Les problèmes liés à de trop fortes vibrations sur les plates-formes lors des marées de fortes amplitudes ont été résolus (emmêlement du câble flotteur/contrepoids). Ce phénomène a notamment été rencontré à la station K14 (lacune d'enregistrement de mars à juillet). Chaque puits de mesure a du être équipé d'une gaine supplémentaire réservée au contrepoids. Cette modification a donné satisfaction.

Deux plates-formes ont du être déplacées :

- La plate-forme K15, située à l'entrée de l'estuaire au niveau de Bökhinènè, trop exposée à la houle a du être réinstallée à environ 1 km de Bökhinènè dans un endroit plus abrité.
- La plate-forme K18, située trop près du chenal central de la Sankiné (forte pente) a été déplacée d'environ 600 m vers les terres et plus près du rivage.

Les enregistrements de hauteur d'eau dont nous disposons (Tableau 32) sont les suivants (enregistrements de bonne qualité). Sur les quatre plates-formes, nous disposons d'une période commune d'enregistrement de 111 jours. Ces enregistrements nous permettent de mieux connaître l'influence des débits du Konkouré sur les niveaux d'eau et d'avoir une bonne estimation des déphasages de marée dans l'estuaire en période de crue.

Station	Début d'enregistrement				Fin d'enregistrement		
K12	18/12/2000	à	14h00	au	12/04/2001	à	16h55
	13/04/2001	à	10h15	au	12/07/2001	à	18h05
	14/07/2001	à	09h15	au	01/11/2001	à	12h55
K14	20/12/2000	à	17h35	au	18/03/2001	à	02h35
	25/04/2001	à	13h25	au	26/04/2001	à	11h05
	14/07/2001	à	10h05	au	01/11/2001	à	13h45
K15	07/07/2001	à	10h25	au	01/11/2001	à	14h45
K18	14/07/2001	à	18h25	au	01/11/2001	à	11h45

Tableau 32: Inventaire des marégrammes

III.1.d. Les résultats des mesures

Les résultats des premières campagnes résumés dans le Tableau 30 et le Tableau 31, ne présentent qu'un intérêt limité devant les résultats de bien meilleure qualité obtenus en continu lors des campagnes qui ont suivi l'installation des plates-formes. Ces résultats qui avaient été exploités lors des rapports partiels avaient permis de mettre en évidence les principaux effets de la morphologie de l'estuaire et des débits du Konkouré sur la déformation de l'onde de marée sans pouvoir chiffrer précisément ces déformations.

Cette analyse a été reprise à partir des résultats des mesures de niveaux aux plates-formes.

Les enregistrements limnimétriques effectués aux stations K12, K14, K15 et K18, entre décembre 2000 et octobre 2002 sont reportés sur la Figure 57. L'analyse de ces enregistrements permet d'étudier l'influence du débit du Konkouré sur la pénétration de la marée dans l'estuaire.

Le Tableau 33 résulte d'une analyse systématique de ces enregistrements en distinguant les grandes périodes caractéristiques de crue et d'étiage. Il donne les caractéristiques des principaux paramètres de propagation.

	Période		Saison	Nb de cycles complets	Temps moyen des cycles	Temps moyen de jusant	Temps moyen de flot	Amplitude maximale (m)	Amplitude minimale (m)
K12	18/12/2000	31/05/2001	étiage	315	12h25'25"	08h13'20"	04h12'05"	4.41	1.67
	01/06/2001	01/11/2001	crue	(292)	(12h25'00")	(08h32'13")	(03h52'46")	(3.80)	(0.35)
K18	15/07/2001	01/11/2001	crue	211	12h25'35"	07h13'47"	05h11'48"	4.34	1.45
K14	21/12/2000	26/04/2001	étiage	168	12h25'03"	07h43'12"	04h41'50"	4.10	1.85
	14/07/2001	01/11/2001	crue	212	12h25'33"	08h05'28"	04h20'05"	3.58	1.36
K15	07/07/2001	01/11/2001	crue	225	12h25'14"	06h57'25"	05h27'49"	3.96	1.33

Tableau 33: détermination des temps de flot et de jusant et des amplitudes des marées à partir des enregistrements marégraphiques

L'échelle de temps de la Figure 57 ne permettant pas d'observer les détails de l'évolution des niveaux au cours d'une marée, un zoom a été effectué sur une période de 2 jours (21 et 22/07/01) à titre d'exemple (Figure 56). Le débit du Konkouré était d'environ 650$m^3.s^{-1}$. Des graphiques identiques portant sur des séquences particulières peuvent être obtenus pour l'ensemble de la période d'observation.

C'est ainsi que les paramètres de caractéristiques de propagation de marée type ont été extraits et rassemblés dans le Tableau 33 et Figure 56. Ceux ci ont été établis pour des

débits d'étiage. En crue ces paramètres sont très variables avec les débits et impossibles à caractériser.

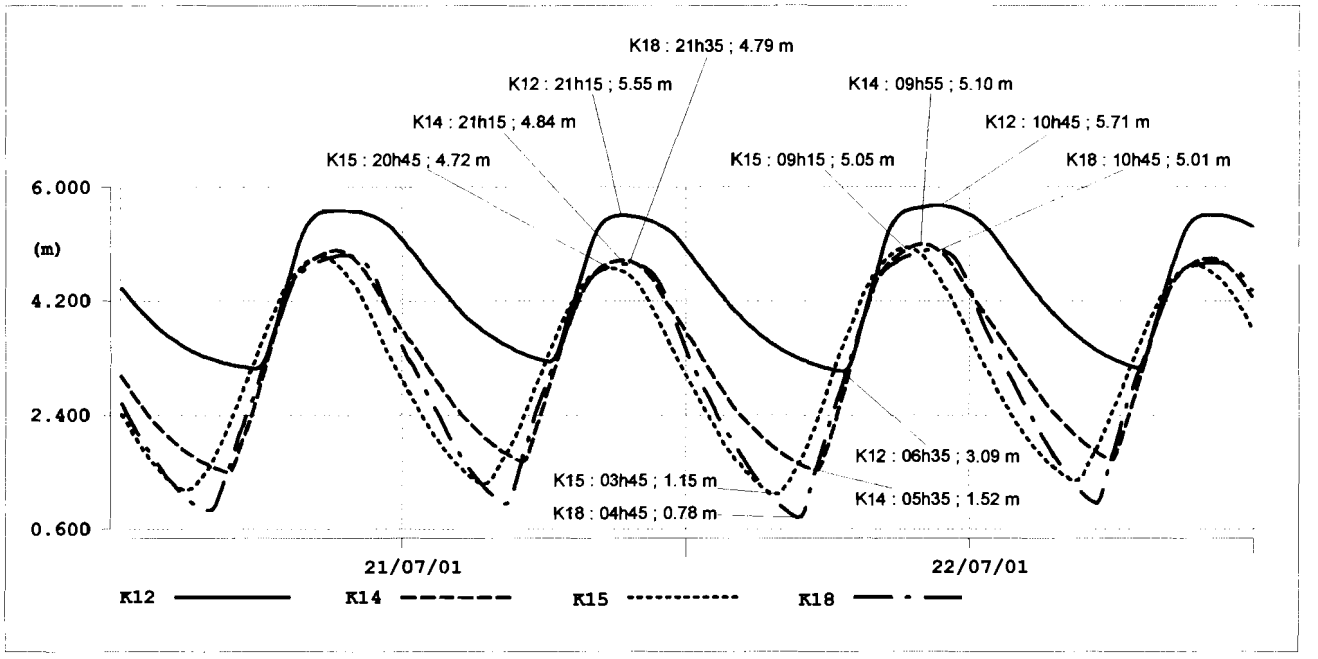


Figure 56 : Déphasages des marées aux stations K12, K14, K15 et K18 les 21 et 22/07/2001

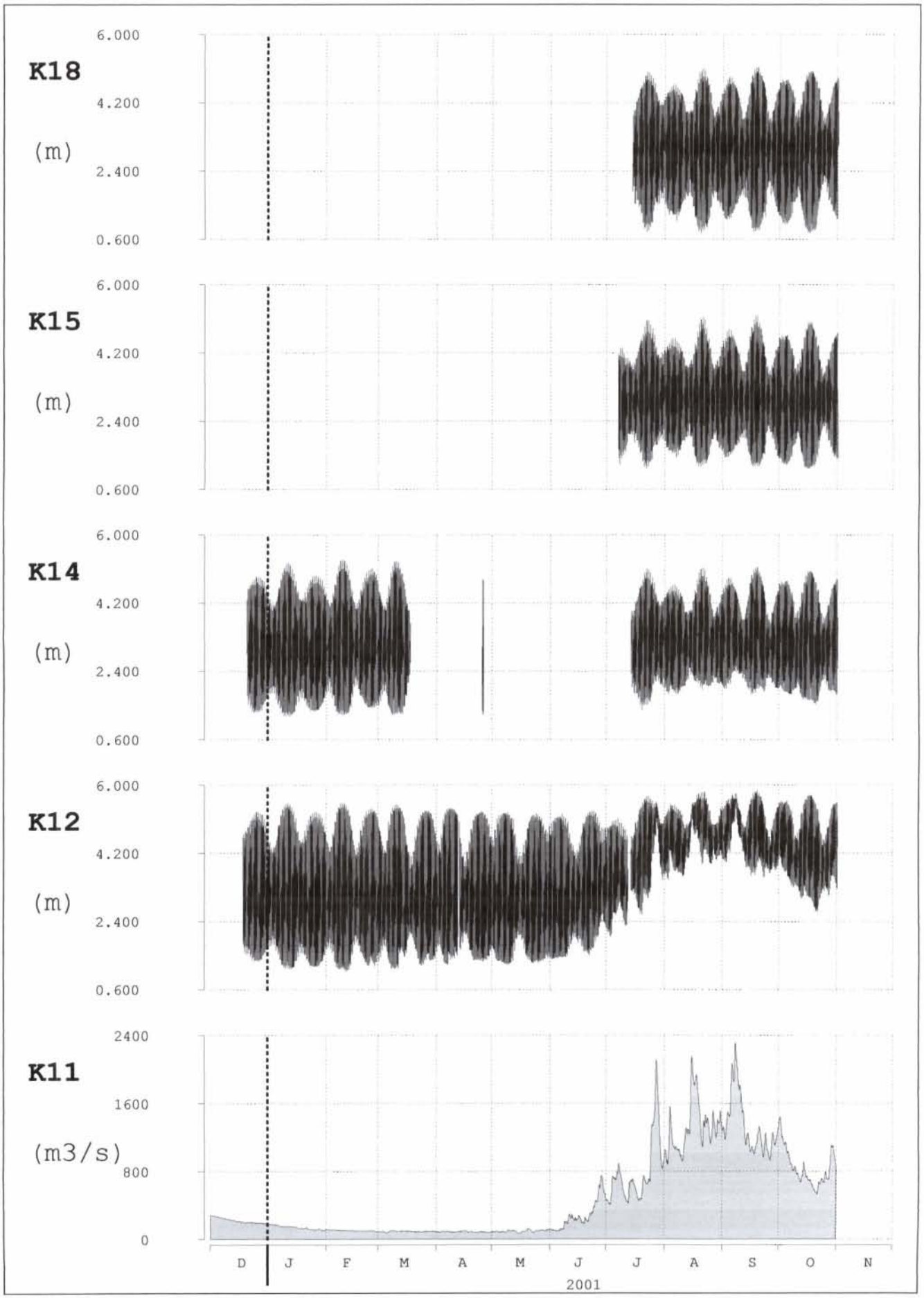


Figure 57: Enregistrements marégraphiques dans l'estuaire et débits du Konkouré à la station K11

III.1.e. Influence des débits du Konkouré

L'influence des débits du Konkouré sur les niveaux dans l'estuaire se manifeste surtout à l'amont de l'estuaire et lors des crues (Figure 57).

On peut observer qu'en étiage les enregistrements et notamment les amplitudes sont du même ordre en K12 et en K14.

On observe aussi clairement qu'en crue les niveaux aux stations K15 et K18 ne sont pas modifiés. A la station K14 l'influence des débits du Konkouré est bien visible sur les BM qui sont relevées et amorties alors que les PM restent sensiblement inchangées.

A Wassou (K12), l'influence fluviale devient prédominante en crue. Les PM et surtout les BM sont relevées, l'amplitude du marnage s'annule pratiquement pour un débit proche de 2500 $m^3.s^{-1}$.

III.1.f. Influence de la marée

La marée sur les côtes guinéennes est de type semi-diurne mésotidale ; les hauteurs maximales et minimales enregistrées au marégraphe du port de Conakry (station de référence) sont respectivement de 4,60 et 0,20m, soit 4,40m d'amplitude en VE (coefficient 120).

La Figure 56 représente une séquence de quelques cycles de marées de vive eau consécutifs concomitants avec un débit du Konkouré voisin de 650 $m^3.s^{-1}$. Elle montre bien la modification que subit le cycle de marée lors de sa pénétration dans l'estuaire en période de crue..

En K15, à l'embouchure, la courbe de marée reste proche d'une courbe sinusoïdale avec déjà une certaine asymétrie due au relèvement des fonds le long de la côte ; son amplitude est de 3,57m et les durées de flot et de jusant sont estimées respectivement à 7h et 5h30 (l'incertitude sur ces temps étant de +- 10mn).

En K14, l'amplitude est de 3,58m et les durées du flot et du jusant sont estimées respectivement à 4h20 et 8h20.

En K12, l'amplitude n'est plus que de 2,62m et les durées de flot et de jusant sont estimées à 4h10 et 9h20.

Dans la Sankiné, à la station K18, l'amplitude est de 4,23m et les durées de flot et de jusant respectivement de 6h et 7h20.

On observe donc de l'embouchure vers l'amont une déformation de l'onde de marée qui se caractérise par :

- Un déphasage retard des PM et BM, celui des BM étant le plus important.
- Une amplification en étiage ou une réduction de l'amplitude en crue.
- L'apparition d'une dissymétrie entre flot et jusant.

Le déphasage de la PM reste assez faible (inférieur à 1h) en revanche celui de BM s'accentue rapidement ce qui amplifie la dissymétrie entre flot et jusant.

L'augmentation de l'amplitude en étiage est plus nette dans la Sankiné que dans le bras principal du Konkouré; les deux bras fonctionnant cependant en système hypersynchrone.

A Wassou, un aplatissement de la PM peut être observé. Outre l'influence fluviale (débit non négligeable de 650 $m^3.s^{-1}$), cet aplatissement résulte probablement d'un amortissement dû à la différence de longueur entre les deux bras principaux du Konkouré et de la Sankiné.

Le déphasage de l'onde de marée est plus important en VE tandis que son amplification est plus marquée lors des ME.

En effet le déphasage de l'onde de marée est d'autant plus significatif que le forçage marin est important, à savoir en VE. On observe alors un rallongement de la durée du jusant mais également une déformation de la courbe lors des étales. L'étale de pleine mer reste symétrique alors que celle de basse mer dure plus longtemps et s'allonge vers l'amont. La décroissance de la hauteur d'eau est progressive et son augmentation après l'étale de basse mer et brutale, de type hyperbolique. Le retard de la basse mer est plus important que celui de la pleine mer avec une décroissance des hauteurs d'eau de type exponentielle.

L'amplification de la marée est plus importante lors des ME. L'onde de marée est influencée par trois phénomènes lors de sa remontée de l'estuaire ; le rétrécissement des sections qui est sensiblement le même pour des conditions de marée variables, la réflexion sur les berges et le frottement sur les fonds. Le frottement sur les fonds est le facteur influençant l'amplification de l'onde de marée et agit sur la dissymétrie de l'onde. En effet, en période de ME les fonds sont recouvert de vase, les conditions hydrodynamiques plus faibles permettent aux particules en suspension de déposer massivement sur les fonds. La courbe de marée acquiert alors une forme plus régulière car la couche de vase atténue l'effet de frottement de l'onde de marée. En période de VE les fonds sont plus rugueux et la courbe acquiert une dissymétrie plus marquée. L'interaction entre frottement et rétrécissement des sections absorbe alors plus d'énergie et ne permet pas une amplification de l'onde de marée aussi importante que lors des ME où l'énergie de l'onde n'est absorbée que par la réflexion sur les berges.

III.2. VITESSES

Les mesures de vitesses ont été réalisées avec un courantomètre analogique Breystoke BFM-008 pendant toute la durée de l'étude. A partir de 2001 un courantomètre Aandera RCM 7 possédant une cartouche numérique de stockage des données et un profileur de courant à effet Doppler (ADCP, instrument WHM 600 KHz RDI) ont été utilisés. Ces deux appareils ont été utilisés soit en station fixe aux stations de référence soit comme profileur sur les sections de ces stations, et ce pendant des cycles de marée, soit près de 13 heures; ces mesures nous indiquent donc les vitesses de courant instantanés à divers pas de temps.

III.2.a. Allure générale des enregistrements de vitesse

A quelques exceptions près, les enregistrements de vitesse effectués au cours des campagnes de mesures ont des allures comparables. L'enregistrement réalisé au point K17 (Sankiné sud) le 1/06/98, reporté sur le graphique de la Figure 58 à titre d'exemple, est représentatif du schéma type de l'évolution de la vitesse dans l'estuaire au cours d'un cycle de marée complet.

Aux étales, la vitesse s'annule. Au flot, les vitesses maximales atteintes sont plus fortes que celles observées au jusant, en revanche le jusant (7 h environ) est sensiblement plus long que le flot (5 h environ). Cette figure montre également que les vitesses de fond sont environ 20% plus faibles que celles de surface. Ce pourcentage se retrouve à peu près en tous les points. Les vitesses maximales atteintes au flot sont comprises pour la plupart entre 0,8 et 1,1 m/s. Les exceptions à ce schéma général concernent, en étiage, les points situés dans le Sankiné amont et l'influence des crues.

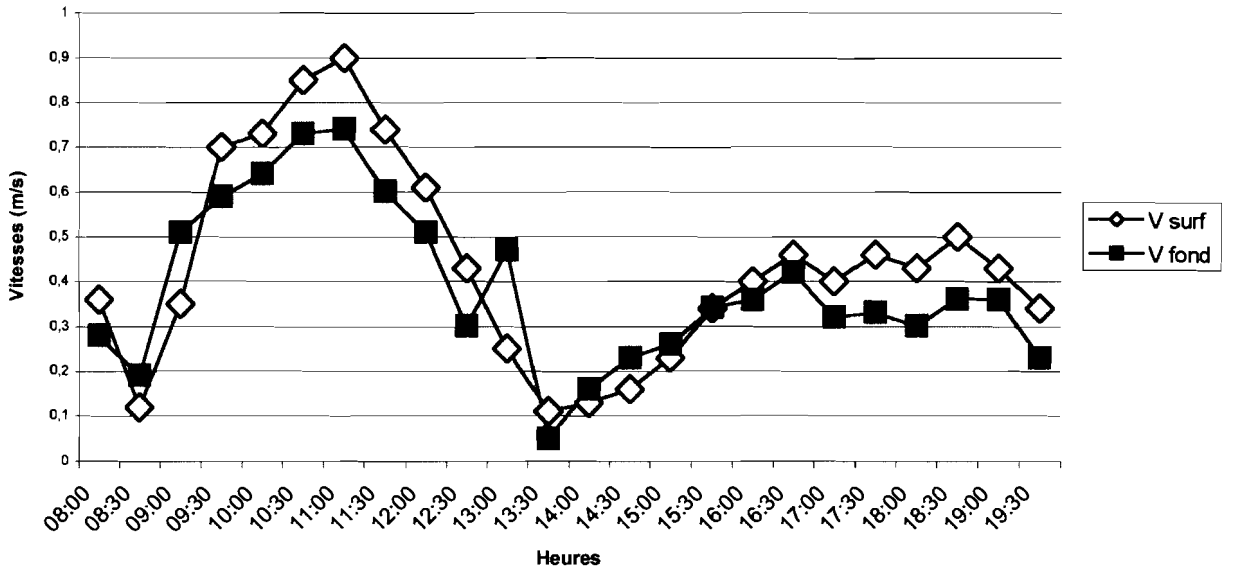


Figure 58: Variation de la vitesse de courant en fonction du temps en K17 (Sankiné sud – le 01/06/1998)

En étiage, le point K13 (Sankiné amont) reçoit la marée propagée à la fois par le Konkouré et par le Sankiné. La marée se propage plus facilement et plus rapidement par le Konkouré et le Sankiné amont est le siège d'un point de rebroussement de la marée où les deux ondes de marée se rencontrent. Il en résulte une zone dans laquelle les vitesses sont plus faibles et ont des directions qui peuvent varier au cours du flot et au cours du jusant. Cet effet est visible sur le graphique de la Figure 59 qui représente les enregistrements de vitesse au point K13 pendant la période d'étiage de Juin 1998. L'hydrodynamique tidale de cette zone est très complexe et seule une modélisation mathématique pourrait en rendre compte avec précision.

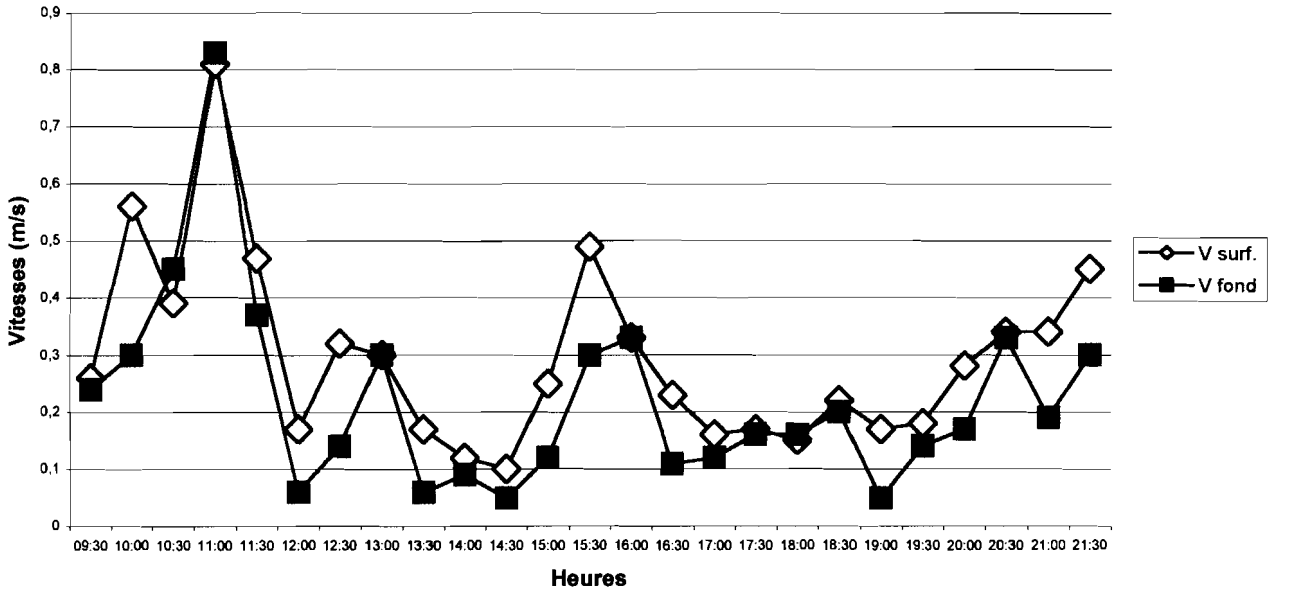


Figure 59: variation de la vitesse du courant en fonction du temps à K13 (confluence Sankiné/bras principal du Konkouré – le 02/06/1998)

En crue, lorsque le débit du Konkouré augmente, l'influence fluviale se fait alors sentir sur la partie amont de l'estuaire, là où les débits fluviaux ne sont pas négligeables devant les débits de marée. A Wassou, pour un débit de 1600 m3/s (29/09/98), la vitesse moyenne est d'environ 1,25 m/s, toujours dirigée vers l'estuaire. Cette vitesse varie peu au cours du cycle de marée avec un minimum de 1,1 m/s à pleine mer, lorsque le niveau est plus haut et un maximum à basse mer lorsque le niveau est plus bas (et la section de passage plus petite). Pour un débit de 2730 m3/s, (10/09/98), la vitesse moyenne est d'environ 1,6 m/s, toujours dirigée vers l'estuaire. Cette vitesse varie entre un minimum d'environ 1,4 m/s en PM et 1,8 m/s en BM.

Au cours de la même campagne, les vitesses mesurées plus à l'aval, aux points K13 et K14 (Sankiné confluence et Kakounssou ouest) montrent qu'en ces points, les vitesses sont toujours (aux valeurs aberrantes prêtes) dirigées vers l'aval dans les deux bras (influence fluviale). Les vitesses y sont plus faibles et plus fluctuantes (influence tidale plus marquées). Au point K18 (Sankiné centre), les vitesses restent essentiellement dirigées vers l'aval mais une inversion, de durée limitée, peut être observée pendant le flot.

Pendant la crue aux points aval, K17 et K19 (Sankiné sud et Konkouré centre), l'évolution des vitesses est plus conforme au schéma type de la Figure 58. A ces stations, le régime tidal est dominant, d'autant plus que les jours des mesures, les débits étaient compris entre 1200 et 1500 m3/s seulement.

Distances résiduelles, ou circulation résiduelle des masses d'eau.

L'analyse des distances résiduelles, correspondant à la distance parcourue par une particule sur un cycle de marée complet, nous renseigne sur le comportement général de l'écoulement pour les différentes situations considérées (EVE, EME, CVE et CME). Ces distances résiduelles résultent de l'intégration des vitesses instantanées sur un cycle de marée complet, soit 12h25 minutes.

En crue les distances résiduelles sont franchement orientées vers l'aval, caractérisant un écoulement fluvial dans tout l'estuaire en raison des forts débits fluviaux, en période de VE comme de ME. En étiage par contre ces distances sont dirigées vers l'amont au niveau de deux des trois embouchures : en effet le bras nord du bras principal du Konkouré, K15 ainsi que la Sankiné présentent des distances résiduelles dirigées vers l'amont indiquant une circulation liquide différenciée selon les embouchures. En effet deux des trois embouchures fonctionnent plutôt en « chenal de flot », c'est le cas de K15 et K20 (Figure 60) alors que la troisième K16 fonctionne en « chenal de jusant » évacuant les eaux fluviales et marines.

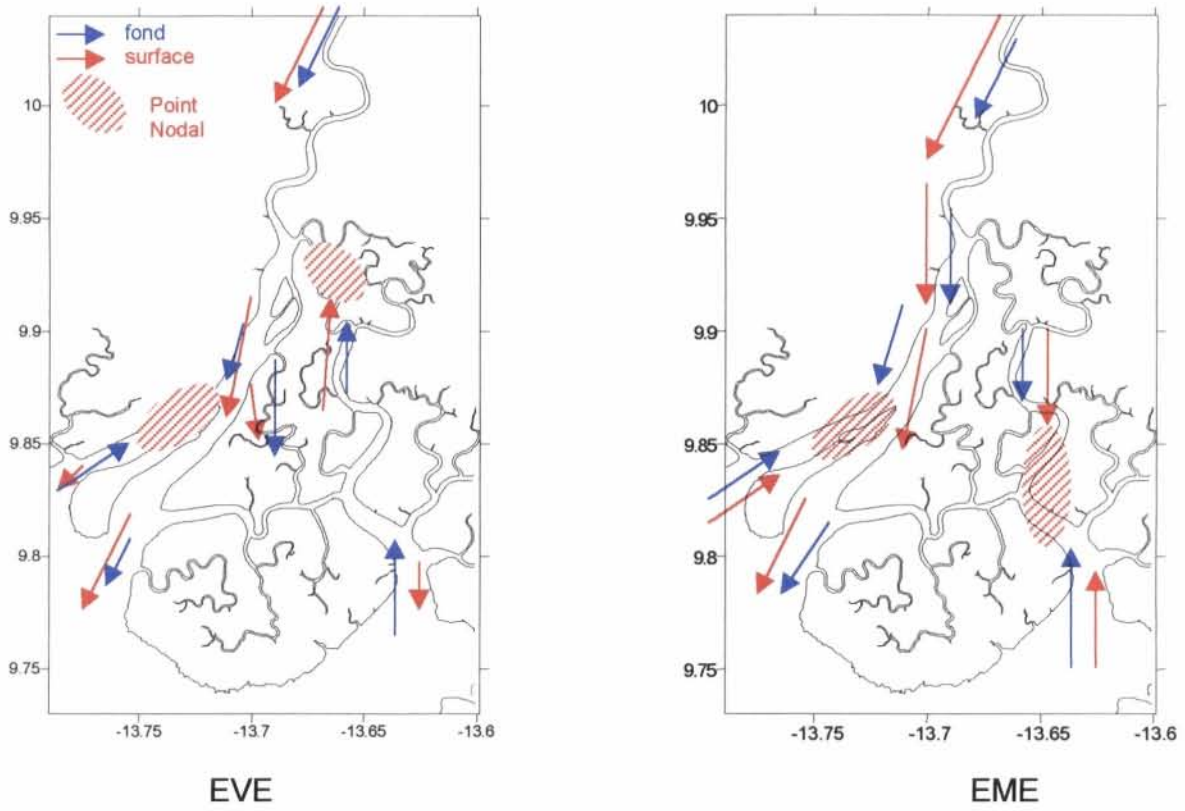


Figure 60 : Distances résiduelles en EVE et en EME dans l'estuaire du Konkouré (en rouge les distances de surface, en bleu celles du fond).

Evolution temporelle de la charge solide en relation avec les distances résiduelles.

Les distances résiduelles nous renseignent sur le comportement de l'écoulement à l'échelle d'un cycle de marée. Disposant de mesures de surface et de fond, ces renseignements sont corrélés directement au transport des particules en suspension. En effet, nous pouvons établir grâce aux distances résiduelles la localisation du point nodal de circulation résiduelle nulle. Ce point nodal est le point ou la circulation est nulle sur un cycle de marée et présente les conditions optimales pour l'accumulation des particules en suspension. On observe ainsi une forte accumulation de MES dans cette zone, encore appelée "bouchon vaseux" dont l'extension horizontale est variable dans la littérature.

Le dépôt des particules en suspension sera favorisé dans les zones de faible dynamique, au niveau du point nodal mais également lors des étales de ME (Sanchez et Grovel 1994). En effet la faible hydrodynamicité du milieu lors des ME, couplée aux conditions lors de l'étale de BM (faible hauteur d'eau) favorise le dépôt des particules en suspension. Lorsque les MES se déposent, elles subissent un tassement progressif avec le passage à un état semi-liquide de « crème de vase » (Migniot 1989 et 1991) du fait de leur très forte concentration. Ce sont ces dépôts semi-liquides de forte concentration (allant jusqu'à 300g/l) qui sont appelés « bouchon vaseux, et qui restent mobilisables par les agents dynamiques fluvio-marins.

Pour les cas EME et EVE, nous pouvons observer un point nodal entre le K19 et le K15 notamment, dans le bras est du bras principal du Konkouré. (Figure 60 et Figure 61)

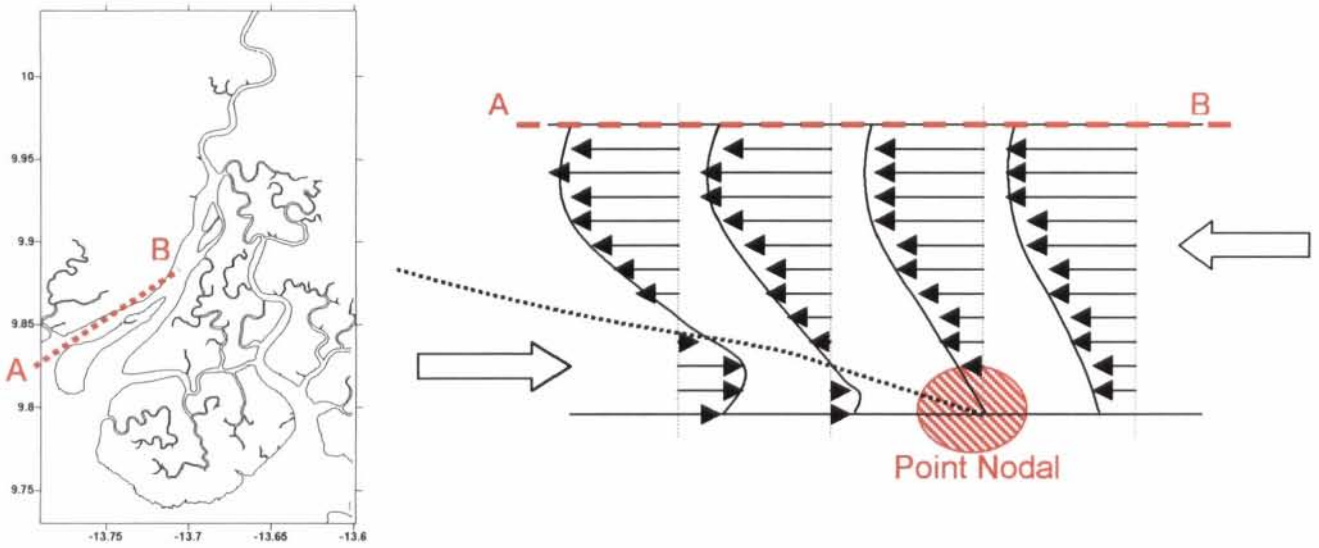


Figure 61 : Profils verticaux des distances résiduelles en condition d'étiage dans le bras est du Konkouré et matérialisation du Point Nodal de circulation résiduelle nulle.

De tels points nodaux, où s'établissent des "bouchons vaseux ", sont identifiés pour les états considérés et nous permettent de rendre compte des mouvements liquides et "solides".

En période d'étiage il existe donc deux bouchons vaseux identifiés, un dans le Konkouré est qui oscille entre K15 et K19 en ME et VE, et un second dans la Sankiné qui oscille entre le K20 en ME et le K13 en VE.

En période de crue, ces points nodaux sont translatés vers l'aval et n'apparaissent qu'à l'aval des embouchures. Ces résultats sont confirmés par les fortes teneurs en MES mesurées prés du fond lors des différentes campagnes de mesure effectuées dans le cadre du programme (jusqu'à 70g/L près du fond en K15 le 10/08/02).

Il subsiste cependant des doutes concernant la vraisemblance des résultats par rapport aux observations faites. En effet les "bouchons vaseux" résultant de l'analyse des distances résiduelles sont cohérents avec les observations faites, tant en période d'étiage qu'en période de crue mais il semble étrange de ne pouvoir en identifier dans la partie amont de l'estuaire au vu des très fortes turbidités et de la présence de lentilles de vases mobiles au fond observées en étiage à proximité de Wassou (K12).

III.3. DEBITS ET VOLUMES OSCILLANTS

Le volume oscillant correspond au volume d'eau qui pénètre dans l'estuaire à l'aval au moment du flot, ou à celui qui en ressort, au moment du jusant, ces deux volumes étant égaux en première approximation, si le débit du Konkouré est nul ou négligeable et si le coefficient de marée reste sensiblement constant (ME ou VE). Ils sont calculés à partir des mesures de débits instantanés et des vitesses aux différentes sections étudiées et doivent être en principe corrigés des volumes fluviaux.

Les mesures ont été faites au moyen des instruments suivants : Profileur de courant à effet Doppler (ADCP RDI-WHM600), courantomètre à mémoire Aanderaa RCM7 et courantomètre analogique Valeport type Breystock.

En ce qui concerne les mesures à l'ADCP, des séries de profils, à intervalle variant d'une quinzaine de minutes à 1 heure environ entre chaque profil, sont effectuées sur des cycles de marée complets (soit sur une période d'environ 13 heures).

Le profileur Doppler est inefficace en présence de "fonds mobiles", ce qui se produit souvent dans le cas de forte concentration de crème de vase sur le fond. Pour pallier les lacunes, des enregistrements de vitesses en continu sont effectués au moyen des courantomètres; ceux-ci étant alors placés dans l'axe des chenaux. Cette dernière méthode a été utilisée sur les sections pour lesquelles une bonne relation existe entre les vitesses ponctuelles et les débits mesurés à l'ADCP.

Pour répondre aux différentes situations possibles (Tableau 34) nous avons effectué sept campagnes de mesures des volumes oscillants aux 3 embouchures en situations de vive-eau (VE) et de morte-eau (ME), en crue et en étiage au cours des années 2001 et 2002.

26 au 28 mars 2001	Etiage	VE
01 au 04 avril 2001	Etiage	ME
26 au 28 septembre 2001	Crue	ME
16 au 18 octobre 2001	Crue	VE
22 au 24 janvier 2002	Etiage	ME
19 au 21 février 2002	Etiage	ME
11 au 13 juin 2002	Etiage	VE

Tableau 34: campagnes de mesures des volumes oscillants par ADCP

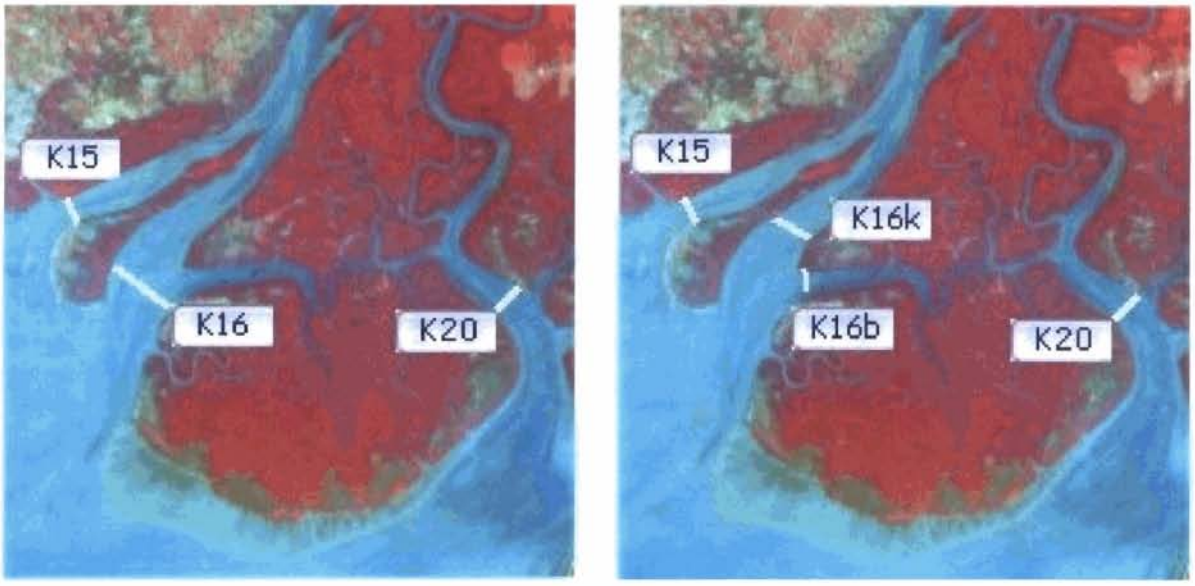


Figure 62: les sections de mesures des débits par ADCP aux trois embouchures (à gauche : jusqu'en 2001 ; à droite à partir de 2002)

La difficulté d'exécution de profils ADCP à la station K16 (chenaux multiples, vasières affleurantes aux basses mers) nous a contraint à modifier la position de la section pour les campagnes 2002. En effet en raison de bancs découvrants à basse mer cette section est désormais positionnée plus en amont sur le bras principal du Konkouré (K16k) tandis qu'une seconde section (K16b) a été définie sur le bras de la Bouramaya pour approcher les répartitions de flux liquides à la confluence, et tenter de comprendre le comportement de ce bras transversal (Figure 62).

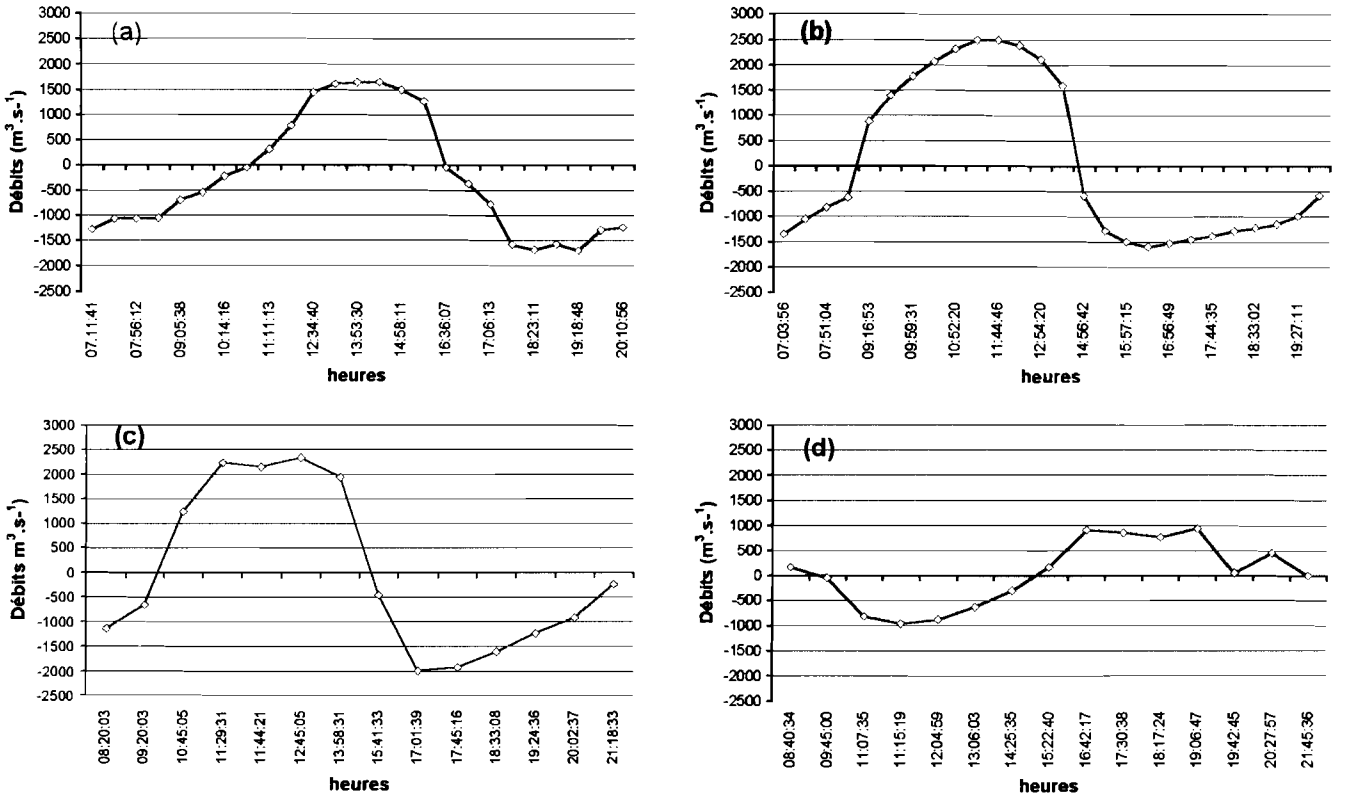


Figure 63:Variations des débits ADCP aux embouchures lors de marées de mortes-eaux en étiage (stations K15 (a), K20 (b), K16k (c) et K16b (d) respectivement les 22, 23 et 24 janvier 2002)

Les volumes oscillants (VEO_O : volume pénétrant au flot ; Vj : volume sortant au jusant) sont calculés par intégration des surfaces (Vr est le volume résiduel intégré sur une marée de 12h25).

Un biais sur le bilan global aux trois embouchures au cours d'un cycle de marée est bien entendu introduit du fait du décalage de temps entre les différentes séries de mesures (trois jours pour les quatre sections).

Les résultats de calcul sont consignés dans le Tableau 35, avec pour convention de considérer négatifs (-) les débits d'amont en aval (jusant et débits fluviaux) et positifs ceux qui entrent au flot (d'aval en amont).

Il est à noter que l'erreur possible sur le calcul de Vr qui résulte d'une différence entre deux volumes presque égaux est très grande. Ce volume doit en principe être égal à l'apport fluvial pendant un cycle de marée. De plus un biais supplémentaire est introduit à cause de la non permanence du coefficient de marée. Ce biais est faible en ME et VE mais non négligeable en déchet ou en revif, c'est pourquoi un recoupement a été fait par intégration du débit fluvial sur une marée.

date		conditions de marée	Station	amplitude en m	VEO en $10^6 m^3$	Vj en $10^6 m^3$	Vr en $10^6 m^3$	VF en $10^6 m^3$
26/3/01	Etiage	VE	K15	2,953	35,38	-35,17	**0,21**	
		VE	K16	2,876	105,77	-124,37	**-18,60**	
		VE	K20	2,703	58,41	-52,70	**5,71**	
		Cumul emb		**2,84**	**199,55**	**-212,24**	**-12,68**	-3,90
1/4/01	Etiage	ME	K15	1,563	21,22	-20,46	**0,76**	
2/4/01		ME	K16	1,593	48,16	-51,90	**-3,73**	
3/4/01		ME	K20	1,95	38,55	-31,61	**6,93**	
		Cumul emb		**1,7**	**107,93**	**-103,97**	**3,96**	-4,14
26/9/01	Crue	ME	K15	1,346	16,30	-27,48	**-11,18**	
		ME	K16B	1,66	6,38	-5,71	**0,67**	
		ME	K16K	1,66	5,82	-17,16	**-11,33**	
		ME	K20	1,95	34,80	-39,54	**-4,74**	
		Cumul emb		**1,65**	**63,31**	**-89,89**	**-26,58**	-49,00
16/10/01	Crue	VE	K15	3,54	42,37	-48,08	**-5,71**	
		VE	K16B	3,54	27,66	-26,64	**1,02**	
		VE	K16K	3,54	57,74	-72,12	**-14,38**	
		VE	K20	3,36	98,69	-101,13	**-2,44**	
		Cumul emb		**3,48**	**226,46**	**-247,97**	**-21,51**	-31,08
24/1/02	Etiage	ME	K15	1,69	23,46	-23,31	**0,15**	
23/1/02		ME	K16B	1,48	10,72	-14,37	**-3,65**	
		ME	K16K	1,48	30,92	-28,80	**2,13**	
22/1/02		ME	K20	1,39	34,77	-26,51	**8,26**	
		Cumul emb		**1,52**	**99,87**	**-92,99**	**6,89**	-7,37
19/2/02	Etiage	ME	K15	1,67	29,17	-28,03	**1,13**	
20/2/02		ME	K16B	1,43	10,97	-9,76	**1,21**	
		ME	K16K	1,43	34,76	-29,99	**4,77**	
21/2/02		ME	K20	1,33	31,92	-24,01	**7,91**	
		Cumul emb		**1,47**	**106,81**	**-91,79**	**15,02**	-6,91
11/6/02	Etiage	VE	K15	2,726	36,75	-38,90	**-2,15**	
12/6/02		VE	K16B	2,723	23,40	-30,73	**-7,32**	
		VE	K16K	2,723	61,79	-65,45	**-3,66**	
13/6/02		VE	K20	2,62	80,60	-70,27	**10,34**	
		Cumul emb		**2,69**	**202,54**	**-205,35**	**-2,80**	-3,56

Tableau 35: Estimation des Volumes Oscillants. Volumes entrant (VEO), volumes sortant (Vj), volumes résiduels (Vr) et Volumes fluviaux (VF). Par convention les signes positifs indiquent un écoulement d'aval en amont et les signes négatifs un écoulement d'amont en aval.

Dans le Tableau 35 on remarque tout d'abord des écarts importants entre les volumes Vr et VF, pouvant être dus à une imprécision de l'estimation des volumes résiduels, mais également au piégeage d'eau par les nombreux petits bras.

Le volume oscillant peut être estimé comme la moyenne entre VeO et Vj. Ce volume augmente avec l'amplitude de la marée et diminue avec le débit fluvial.

La Figure 64 représente la relation existant entre l'amplitude de marée et les volumes oscillants des trois embouchures cumulées ; volumes de flot entrant dans l'estuaire, volumes de jusant sortant et enfin la moyenne de ces volumes de flot et de jusant.

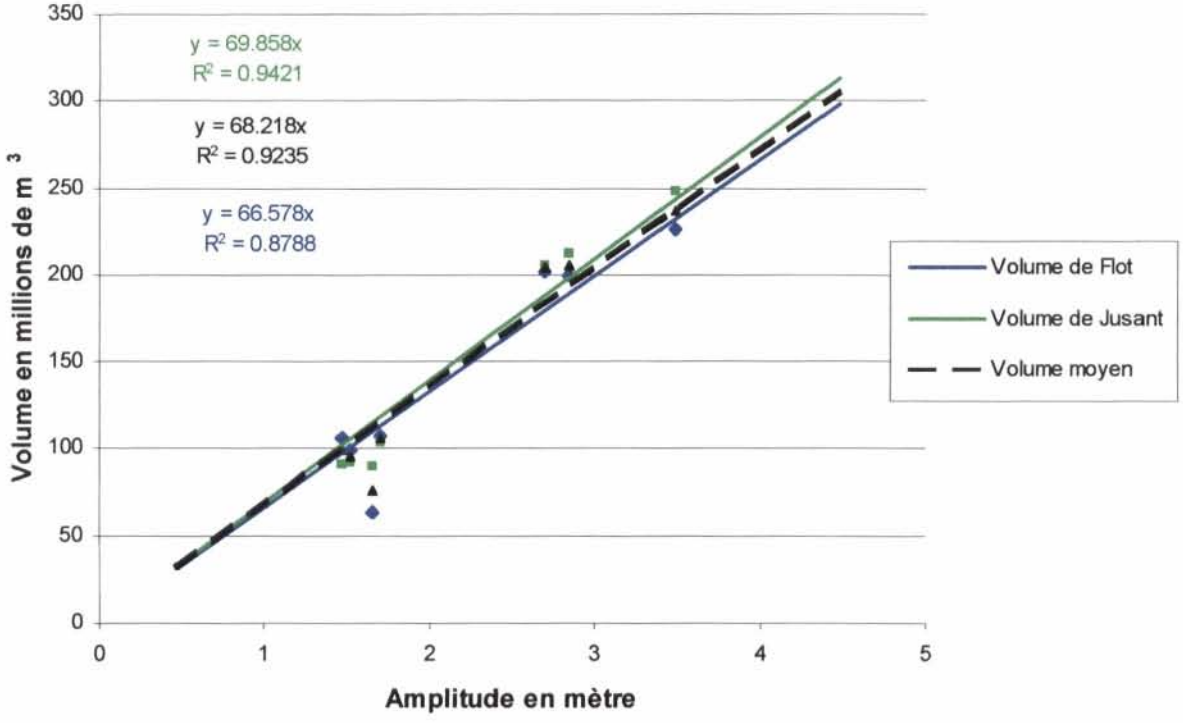


Figure 64: Relation entre amplitude de marée et Volumes oscillants aux trois embouchures dans l'estuaire du Konkouré pour toutes les campagnes.

Cette relation est de type linéaire et présente un bon coefficient de corrélation. En effet, dans un estuaire comme celui du Konkouré, avec des chenaux larges (devant la largeur des berges) où la surface de l'eau peut être admise horizontale aux étales de PM et de BM, la pente de la droite de la Figure 64 représente la surface en eau de l'estuaire. Ainsi avec un marnage ΔH, une première approximation du volume oscillant est donné par :

$$Vo = S * \Delta H$$

La pente de la droite moyenne de la Figure 64 correspond à une superficie de 73 km², ce qui est conforme avec les mesures cartographiques effectuées. Cette valeur constitue donc une bonne estimation de la surface en eau de l'estuaire.

L'écart angulaire entre les droites représentatives de VeO et Vj résulte de l'influence du volume fluvial, des piégeages dans les bras secondaires et de la non horizontalité parfaite des étales.

Il résulte de cette loi que le volume oscillant augmente avec l'amplitude de marée. En revanche pour un même coefficient de marée, il diminue lorsque le débit fluvial augmente. C'est ainsi que pour une marée de ME de 1,7m de marnage, le volume oscillant passe de 100 à 70 Mm3 environ lorsque le débit du Konkouré passe de 90 à 1100 m3/s environ.

Si nous observons le fonctionnement de chaque bras ou embouchure nous remarquons pour les périodes de crue que ces trois dernières fonctionnent en évacuation des eaux fluviales quelque soient les conditions de marée.

Nous remarquons également que pour les périodes d'étiage les embouchures de K20 et K15 fonctionnent en chenal de flot, alimentant le système en eaux marines (K20 systématiquement alors que K15 semble agir principalement en alimentation ; 4 campagnes sur 5). L'embouchure de K16 fonctionne en chenal de jusant et évacue les eaux fluviales et marines.

Les résultats issus des mesures de débits concordent avec les mesures courantométriques en matière de circulation des masses d'eau si l'on considère un cycle de marée. Il faut cependant garder à l'esprit que ces mesures n'ont pas été collectées au même endroit.

Répartition des flux entre le Konkouré et la Sankiné.

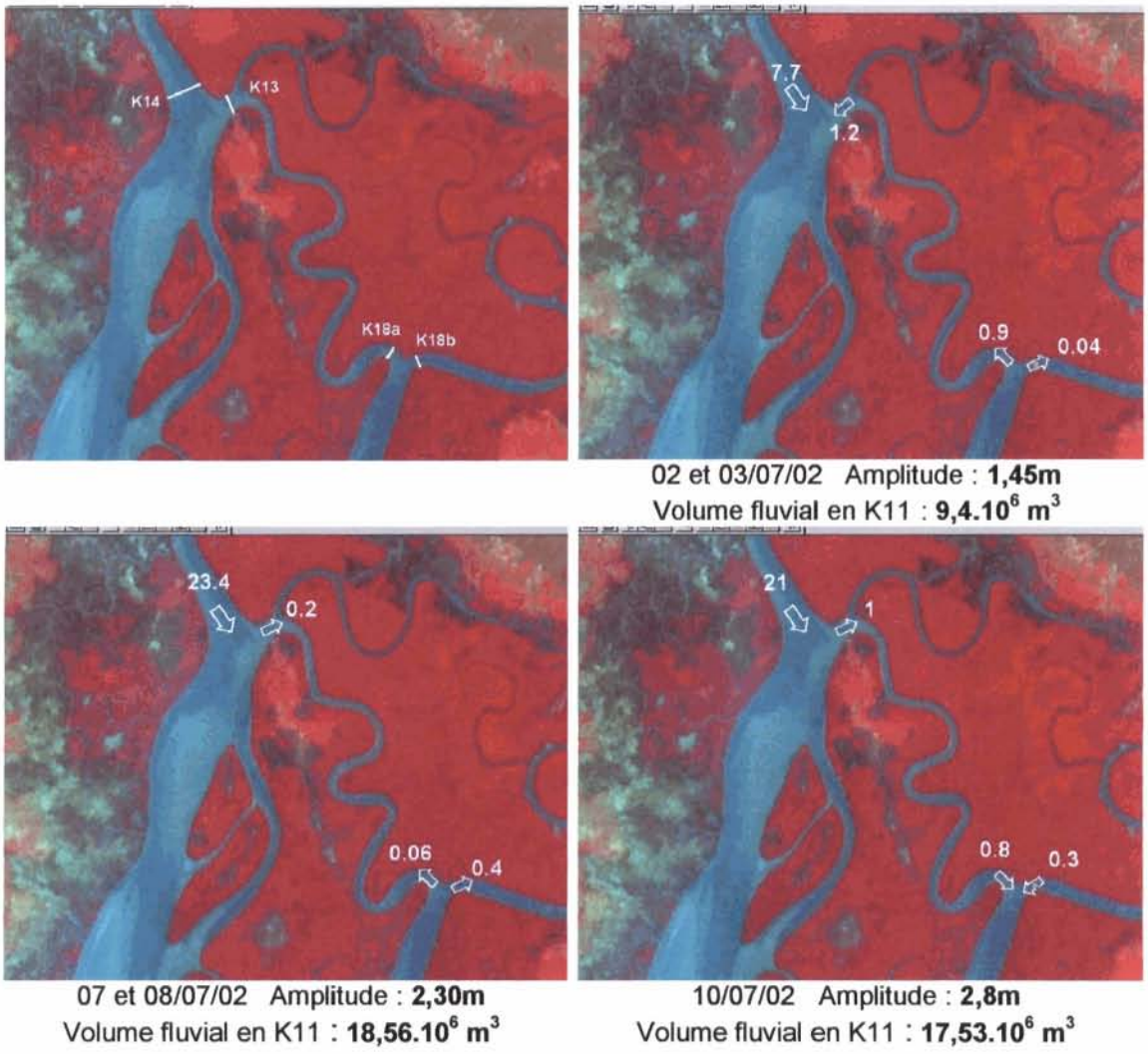
Trois campagnes de mesures des volumes oscillants en estuaire intermédiaire ont été effectuées pour déterminer la répartition des flux liquides entre le Konkouré et la Sankiné en période de crue.

date		conditions de marée	Station	amplitude en m	VEO en $10^6 m^3$	Vj en $10^6 m^3$	Vr en $10^6 m^3$	VF en $10^6 m^3$
03/07/02	CRUE	ME	K14	1,42	10,47	-18,18	**-7,71**	-9,39
		ME	K13	1,42	3,92	-2,74	**1,18**	-9,39
04/07/02		ME	K18a	1,49	5,73	-4,79	**0,94**	-9,39
		ME	K18b	1,49	4,38	-4,33	**0,05**	-9,39
08/07/02	CRUE	ME	K14	2,46	11,41	-34,8	**-23,4**	-18,56
		ME	K13	2,46	5,3	-5,5	**-0,2**	-18,56
07/07/02		ME	K18a	2,12	7,65	-7,59	**0,06**	-18,56
		ME	K18b	2,12	5,8	-5,83	**-0,03**	-18,56
10/07/02	CRUE	VE	K14	2,80	14,98	-35,96	**-20,97**	-17,53
		VE	K13	2,80	5,74	-6,74	**-1,0**	-17,53
02/11/02	CRUE	VE	K18a	3,01	12,39	-13,21	**-0,82**	-26,68
		VE	K18b	3,01	13,68	-13,99	**-0,31**	-26,68

Tableau 36: Estimation des Volumes Oscillants à la confluence Konkouré/Sankiné. Volumes entrant (VEO), volumes sortant (Vj), volumes résiduels (Vr) et Volumes fluviaux (VF). Par convention les signes positifs indiquent un écoulement d'aval en amont et les signes négatifs un écoulement d'amont en aval.

Il est à signaler que la dernière campagne n'a pu être terminée en juillet sur les sections K18a et K18b en raison de la panne de l'ordinateur pendant celle-ci. Nous avons donc complété cette dernière par une nouvelle campagne en date du 2 novembre 2002 d'amplitude sensiblement égale (3,01 m au lieu de 2,80 m en juillet) et pour laquelle le débit fluvial était proche (débit de 600 m3 /s au lieu de 400), ces résultats sont donc sujet à caution.

La Figure 65 représente la circulation des masses d'eau à la confluence Konkouré/Sankiné pour les états considérés dans le Tableau 36. Les valeurs qui y sont indiquées sont en millions de m3.



02 et 03/07/02 Amplitude : **1,45m**
Volume fluvial en K11 : **$9,4.10^6$ m^3**

07 et 08/07/02 Amplitude : **2,30m**
Volume fluvial en K11 : **$18,56.10^6$ m^3**

10/07/02 Amplitude : **2,8m**
Volume fluvial en K11 : **$17,53.10^6$ m^3**

Figure 65 : Position des sections et répartition des flux liquides à la confluence Konkouré /Sankiné.

Les différences observées entre les volumes fluviaux entre le K11 et le K14 peuvent être issues en partie au décalage dans le temps existant entre ces deux stations distantes d'une trentaine de kilomètres ; les débits fluviaux considérés étant des débits moyens journaliers.

- Le 3 juillet, 1,7 million de m3 sont "perdus" entre le K11 et le K14. Cette eau a probablement été stockée dans la mangrove.
- Les 8 et 10 juillet 2002 on observe l'inverse, les volumes d'eau en K14 sont supérieurs à ceux mesurés en K11. Cette différence, de 3,47 et 4,64 millions de m3 les 8 et 10 juillet peut être expliquée par les conditions météorologiques, les pluies locales alimentent ainsi l'estuaire par de nombreux petits distributaires situés entre le K11 et le K14.

Nous voyons que durant les ME, pour un faible débit fluvial (210 m3/s Tableau 36) la Sankiné alimente le Konkouré en eaux marines. Nous voyons également que durant les VE du 10/07/02 c'est le contraire. La Sankiné évacue les eaux fluviales du Konkouré, à hauteur de 4,8% du volume du Konkouré. De plus les valeurs obtenues en amont de la Sankiné et en partie intermédiaire (K18) sont cohérentes (1 million de m3 y entre en amont mais seuls 820000 m3 transitent en K18) accusant une légère perte probablement stockée au sein de la mangrove par l'intermédiaire de petits bras ou bolons ainsi que de piscines en mangroves.

Il est intéressant de souligner le fonctionnement de la Sankiné lors de VE d'amplitude 2,36 m. En effet la circulation des masses d'eau dans la partie amont et intermédiaire du cours d'eau est nulle. En effet il rentre de part et d'autre 260000 m3 qui sont stockés dans la mangrove. Mais, ces valeurs sont comprises dans la marge d'erreur des mesures, représentant entre 0,7 et 3,6% du volume d'eau transitant à ces endroits. La conclusion de ces résultats indique donc une circulation nulle de la Sankiné alors que celle-ci alimente le Konkouré en ME pour de faibles débits fluviaux et évacue l'eau fluviale du Konkouré en VE pour des débits fluviaux plus importants mais encore relativement faibles.

Nous pouvons donc établir les éléments suivants :

- Pour un débit fluvial de l'ordre de 200 m3/s l'action de la marée est significative et la Sankiné alimente le Konkouré en eaux marines même pour de faibles amplitudes de marée.
- Pour un débit fluvial de l'ordre de 400 m3/s, malgré une amplitude de marée importante (entre 2,80 et 3m) la Sankiné perd son caractère d'alimentation en eaux marines du Konkouré. Cette dernière n'a cependant pas encore acquis un caractère d'évacuation des eaux fluviales le 8 juillet, présentant une circulation nulle entre le K14 et le K18 pour une amplitude de 2,80m.
- Pour un débit fluvial de l'ordre de 400 m3/s soutenu au moins pendant deux jours la Sankiné acquiert un caractère d'évacuation des eaux fluviales malgré une amplitude de marée croissante (3m).

III.4. TEMPERATURE DE L'EAU

Les températures des eaux de fond ont été mesurées pendant les premières campagnes (juin 1998 à février 2000) à l'aide d'une bouteille à prélèvement horizontale type Wildco (Tableau 37), puis par la suite *in situ* à l'aide de conductimètre-thermomètre à sonde longue WTW 197, ou avec le courantomètre Aanderaa RCM7 (Tableau 38).

Les campagnes au cours desquelles les températures de surface et de fond ont été mesurées montrent qu'aux incertitudes de mesures près, les résultats sont pratiquement les mêmes en surface qu'au fond. Dans ce qui suit on ne considère que les températures de surface.

Aux incertitudes de mesure près, il ne peut pas être mis en évidence de différences spatiales entre les points au cours d'une même campagne. Il est en effet peu probable que des différences de température notables puissent s'établir entre les différents points, compte tenu du mélange des eaux assuré par la marée, à l'exception de l'amont de l'estuaire éventuellement avant que les eaux en provenance du Konkouré n'aient le temps de se mélanger aux eaux marines.

Le Tableau 37 montre que les températures minimales sont le plus souvent observées en début de journée et les maximales dans l'après midi, les différences pouvant atteindre 2 à 3°C. Il existe donc un cycle nycthéméral de la température de l'eau lié à l'ensoleillement.

Le Tableau 38 montre que les températures sont assez peu variables d'une campagne à l'autre. On observe un maximum de 31°C environ en juin et un minimum voisin de 28.5°C en avril. Il montre que les variations journalières (différence entre les températures maximales et minimales) atteignent environ 2 °C.

Date	Point	T min	T max	Commentaires
01/06/98	K17	33	34	
02/06/98	K13	30	36.9	passage brutal de 30 à 36 à la PM
03/06/98	K18	30	31	
04/06/98	K12	30	32	
05/06/98	K14	30	32	
06/06/98	K19	30	30	
22/06/98	K13	25	31	variations < 29 à PM seulement
05/04/99	K14	27	30.9	
06/04/99	K19	27.2	30	
07/04/99	K15	27.6	35	une valeur > 29.2
08/04/99	K16	28	29.6	
05/11/99	K12	27.5	29.2	T_{min} : le matin
03/11/99	K13	28.3	29.7	
04/11/99	K14	27.4	27.9	T_{min} : le matin
01/11/99	K15	28.2	30.8	T_{min} : le matin
31/10/99	K16	28.2	29.7	
07/11/99	K17	29.5	30.9	T_{min} : le matin
06/11/99	K18	28	30.4	T_{min} : le matin
02/11/99	K19	28	30.4	T_{min} : le matin
04/02/00	K12	26.9	29.1	T_{min} : le matin
03/02/00	K13	27.7	31	T_{min} : le matin
02/02/00	K14	28.3	30.8	
06/02/00	K15	27.5	29.4	T_{min} : le matin
07/02/00	K16	28.2	28.9	T_{min} : le matin
10/02/00	K17	27	28.6	T_{min} : le matin
09/02/00	K18	26.8	28.3	
05/02/00	K19	28.8	29.7	T_{min} : le matin

Tableau 37: Synthèse des mesures de température mesurées avec bouteille à prélèvement (avec mesures de fond et de surface)

Date	Point	T min	T max	T. moy.	□
28/09/00	K12	21.8	22.1	21.95	+0.3
27/09/00	K14	21.4	21.9	21.65	+0.5
26/09/00	K19	21.8	23	22.4	+1.2
30/09/00	K18	21.5	23.1	22.3	+1.6
23/09/00	K15	20.5	25.2	22.85	+4.7
25/09/00	K16	21.8	24.9	23.35	+3.1
12/02/00	K12	20.7	22	21.35	+1.3
15/02/00	K18	21.9	23	22.45	+1.2
16/02/00	K20	21.6	22.2	21.9	+0.6
17/02/00	K17	21.5	22.3	21.9	+0.8
31/03/01	K19	24.1	25.4	24.75	+1.3
26/03/01	K15	24.7	26.5	25.6	+1.8
27/03/01	K16	23.9	25.7	24.8	+1.8
28/03/01	K18	24.8	25.8	25.3	+1
01/04/01	K15	23.8	25.1	24.45	+1.3
02/04/01	K18	23.7	25.2	24.45	+1.5
03/0401	K20	24.5	25.3	24.9	+0.8

Tableau 38: Synthèse des mesures de température effectuées avec l'Aanderaa RCM7 immergé à 2m. de profondeur pendant tout le cycle de marée.

On peut remarquer que les températures observées au point amont sont en général légèrement inférieures à la moyenne, ce qui peut s'expliquer par un apport d'eau un peu plus froide en provenance du Konkouré.

III.5. SALINITE

III.5.a. Nature des apports du Konkouré

Nous rappellerons en préambule que les eaux fluviales qui pénètrent l'estuaire sont très peu minéralisées, leur charge dissoute moyenne étant proche de celle de l'eau de pluie (Orange, 1992). Cet auteur propose une conductivité moyenne de l'ordre de 17 µS.cm-1 pour une TDS de 17.8 mg/l, avec des maxima en fin d'étiage (23 µS.cm-1 ; 21 mg/l) et un effet de dilution en saison des pluies (15 µS.cm-1 ; 16.9 mg/l).

Nous avons pour notre part enregistré des valeurs légèrement plus élevées pendant l'étiage, celles de la saison des pluies étant par contre du même ordre de grandeur (Tableau 39).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2000					45	42	29.4	29.7	17.3	15.6	19.5	23.1
2001	31.8	34.9	30.3	29.9	44.7	32.4	23.6	16.8	18.7	17.7	17.8	20.9
2002	23.1	24.1	19.9									

Tableau 39: conductivités moyennes mensuelles (µS.cm-1) des eaux fluviales transitant à Yékémato

La charge dissoute de ces eaux étant très faible, on admettra donc que les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'estuaire correspondent à de l'eau de mer plus ou moins diluée.

III.5.b. Les données antérieures de salinité

Peu de données anciennes sur les mesures de salinité dans l'estuaire sont disponibles, la plupart concernent en effet des publications internes du Cerescor, introuvables aujourd'hui.

L. Berthois au cours de deux missions effectuées l'une en étiage et la seconde en période de crue a précisément décrit le fonctionnement hydrodynamique de cet estuaire au cours des années 61-62 (Berthois 1962, 1967)

En ce qui concerne le bras principal nous nous référerons plus particulièrement dans cette étude aux mesures effectuées par Nikolayenko et Sirikova (in Wolansky, 1995, Tableau 40).

Date	Pk-3	**K15**	Pk+8	Pk 11.5	Pk 15	**K14**	Pk 27.5
24/10/89	6	4.5	0				
14/11/85	13	10	4	2	0		
18/01/86	32	?	24	21	16	8	
20/03/86	33	34	34	26	19	13	
18/04/86	34.5	34	31	29	27	21	14

Tableau 40: Salinités (g/l) dans le bras principal du Konkouré au cours des saisons (d'après Wolansky, 1995)

Nous n'avons pas pu reconstituer précisément le contexte d'écoulement fluvial de l'époque, la station de Yékémato était en effet inopérante lors de ces campagnes de mesures.

Nous pouvons par contre retrouver les conditions de marée (calculées à l'aide du logiciel xwtide32) correspondant à ces campagnes, et qui sont présentées dans le Tableau 41.

Date	BM	PM	BM	PM	Marée
24/10/89		2.97	1.18	2.83	ME (déchet)
14/11/85	0.37	3.76	0.26	3.86	VE (revif)
18/01/86		2.93	1.27	2.68	ME (déchet)
20/03/86		2.41	1.58	2.62	ME (revif)
18/04/86		2.44	1.55	2.68	ME (revif)

Tableau 41: amplitude des marées au moment des campagnes de mesures de Nikolayenko et Sirikova, citées plus haut

III.5.c. Données de la période juin 98 – février 2000

Pendant cette période les mesures ont été faites en point fixe aux différentes stations de l'estuaire. Tous les résultats concernant cette période sont rassemblés sous forme graphique dans l'annexe.

Jusqu'au mois d'avril 1999 il n'a pas été fait de mesures de fond. Les mesures de cette période sont synthétisées par leurs valeurs minimum et maximum dans le Tableau 42.

Date	débit Konkouré	marnage marée	Point	S min	S max	Commentaires
01/06/98	153	2	K17	20	35	30 sauf une valeur à 20 et six à 35
02/06/98	161	1.5	K13	15	30	une valeur > 25 ; min à BM
03/06/98	161	1.5	K18	25	30	majorité de valeurs à 30
04/06/98	169	1.75	K12	0	0	
05/06/98	177	2	K14	5	24	max à PM ; min à BM
06/06/98	186	2.25	K19	10	15	majorité de valeurs à15
22/06/98	376	3	K13	0	16	max à PM ; min à BM
24/06/98	419	3.25	K17	25	35	majorité de valeur à 30
25/06/98	387	3.5	K18	5	30	max à PM ; min à BM
26/06/98	349	3.25	K14	0	12	max à PM ; majorité de valeurs à 0
27/06/98	335	3	K12	0	1	quelques valeurs non nulles à PM
28/06/98	334	2.75	K19	5	17	max à PM ; min à BM
02/04/99	131	3	K12	0	20	max à PM ; min à BM
05/04/99	130	2.5	K14	22	30	max à PM ; min à BM
06/04/99	131	2.25	K19	28	31	
07/04/99	131	2	K15	30	33	
08/04/99	133	1.75	K16	31.2	33.5	

Tableau 42: Synthèse des mesures de salinité (g/l) – période avant-barrage

L'analyse du Tableau 42 montre la complexité de l'évolution de la salinité dans l'estuaire. Il y a lieu de considérer successivement l'amont et tout particulièrement Wassou (K12), l'aval (groupe de points K15, K16, K17 et K19), puis la zone intermédiaire.

Trois observations ont été faites à Wassou (K12). Pour celle du 04/06/98, faite en étiage avec une marée de 1,5 m seulement à Conakry, la salinité est nulle. Avec une marée, plus forte, de 3 m à Conakry, la salinité est nulle à BM et atteint 20 à PM lorsque le débit du Konkouré est faible (130 m3/s le 02/04/99) mais elle reste quasiment nulle à PM pour un débit un peu plus fort (169 m3/s le 04/06/98). La salinité à Wassou est donc normalement toujours nulle sauf pour les débits d'étiage aux PM de vive-eau.

Dans le groupe des points aval, la salinité est toujours très proche de celle de la mer elle-même pour les débits observés, mais il n'a pas été observé de crue pendant cette période.

Les observations de la période allant d'août 1999 à février 2000 et qui comportent en chaque point une mesure de surface et de fond sont résumées dans le Tableau 43. Cette série comporte des périodes de crue bien marquées.

L'analyse des résultats du Tableau 43 montre que, en crue, les eaux dans l'estuaire sont celles du Konkouré. Des concentrations en sel apparaissent seulement aux points les plus aval de l'estuaire, ceux qui sont situés là où l'estuaire s'élargit en limite de l'océan. En ces points, on remarque que la salinité est plus forte au fond qu'en surface. Il s'agit du début du panache du Konkouré dans l'océan. La formation de ce panache a été décrite par E. Wolanski dans « Rapport d'étude sur l'écologie des mangroves de la baie de Sangareya ». qui montre qu'il n'y a pas de stratification dans l'estuaire mais, en crue, un panache d'eau douce se forme en zone littorale lorsque des fonds estimés à une dizaine de mètres sont atteints.

Campagne Date	Débit amont (m3/s)	Marnage marée (m)	Point	Surface S min (g/l)	Surface max (g/l)	Fond S min (g/l)	Fond S max (g/l)	Commentaires
1 - 28/08/99	2340	3.9	K12	0	0	0	0	
1 - 27/08/99	1890	3.2	K13	-	-	0	0	
1 - 29/08/99	2240	3.2	K14	0	0	0	0	
1 - 30/08/99	2230	3.8	K15	0	0.1	0	15	stratification au flot
1 - 31/08/99	2120	3.0	K16	0	0.1	0	12	stratification au flot
1 - 25/08/99	1740	4.95	K17	0	8	0	13	max au flot
1 - 26/08/99	1600	3.9	K18	-	-	0	0	
1 - 01/09/99	2070	2.7	K19	0	0	0	0	
2 - 05/11/99	496	3.2	K12	0	0	0	0	
2 - 03/11/99	555	2.7	K13	0	0	0	0	
2 - 04/11//99	521	3.08	K14	0	0	0	0	
2 - 01/11/99	633	2.8	K15	0	9.2	0	18.6	
2 - 31/10/99	646	3.02	K16	0.4	5.7	3.8	11.6	
2 - 07/11/99	455	2.83	K17	8.1	14.6	9.2	19.7	
2 - 06/11/99	472	4.5	K18	0	6.3	0	8.2	
2 - 02/11/99	610	2.62	K19	0	0	0	0	
3 - 04/02/00	107	4.32	K12	0	0.3	0	0.3	
3 - 03/02/00	80	3.23	K13	0.2	12	0.2	13.8	max PM, min BM
3 - 02/02/00	107	3.07	K14	0.1	13.7	0.1	15.4	max PM, min BMt
3 - 06/02/00	123	5.55	K15	15.6	27.7	16.1	28.9	max PM, min BM
3 - 07/02/00	118	4.11	K16	14.5	35	14.6	35	
3 - 10/02/00	110	2.69	K17	28.5	30.7	28.6	30.9	
3 - 09/02/00	115	3.82	K18	9.3	28.5	9.9	27.9	max PM, min BM
3 - 05/02/00	126	4.09	K19	7.2	20.8	6.6	20.5	max PM, min BM

Tableau 43: Synthèse des mesures de salinité (g/l) – période août 99 à février 2000.

Pour un débit "moyen", la salinité est nulle en surface comme au fond, sauf aux points aval de l'estuaire pour lesquels une salinité moyenne entre les eaux douces du Konkouré et les eaux marines peut être observée. Les concentrations apparaissent un peu plus élevées au fond qu'en surface. Compte tenu de la faiblesse des écarts entre la surface et le fond et de l'imprécision des mesures, il est difficile de parler d'une véritable stratification.

En étiage, le front salé se déplace avec la marée entre la confluence du Sankiné et l'océan comme le montrent les différences entre les valeurs minimales et maximales de la salinité. Aucun écart significatif de concentration n'est observé entre la surface et le fond.

III.5.d. Données de la période postérieure à février 2000

Les mesures aux échelles de marée puis les enregistrements des limnigraphes installés pendant cette période ont permis d'estimer les vitesses de propagation et de retrait des fronts de marée dans l'estuaire, et leur temps de passage aux différentes stations, pour les différentes situations hydrodynamiques. Ceci a permis d'utiliser la méthode de suivi dynamique qui consiste à effectuer des mesures de conductivité (salinité), température et éventuellement turbidité en suivant la propagation des étales de PM puis de BM dans l'estuaire. Cette méthode a permis de décrire les profils longitudinaux de salinité et les dérives des isohalines (ou excursions) entre PM et BM, avec une précision accrue en comparaison de celle obtenue pendant la période précédente.

Les instruments de mesure utilisés simultanément sur le bras principal (conductigraphe à induction Cell 2994 du courantomètre Aanderaa RCM7) et la Sankiné (conductimètre WTW L197) on été préalablement étalonnés entre eux. L'ensemble des profils de salinité est présenté en annexe.

Nous décrirons trois situations types; si la première ne concerne que le bras principal, les deux autres permettent d'établir une comparaison des évolutions des salinités dans le bras principal et dans la Sankiné au cours d'un même cycle de marée:

- Morte-eau pendant l'étiage : remontée du 23 janvier 2002
- Vive-eau pendant l'étiage : remontée du 28 mai 2002
- Vive-eau pendant la crue : remontée du 10 août 2002

➢ Situation de morte-eau en étiage (23/01/02)

Amplitude de marée : **1.40 m** ; débit du fleuve ce jour: **164 $m^3.s^{-1}$** (Figure 67)

Au moment de l'étale de PM, les eaux sont nettement stratifiées en zone littorale et le sont faiblement dans la partie deltaïque (jusqu'à la confluence au K14) ; en estuaire supérieur elles sont bien mélangées.

On observe des traces de sel jusqu'à Gomezia (pk 27,5); à Wassou les eaux sont douces.

➢ Situation de vive-eau en étiage (28/05/02)

Amplitude de marée : **2.80 m** ; débit du fleuve ce jour: **89.7 $m^3.s^{-1}$**

Le profil à PM dans le bras principal du Konkouré présente une anomalie à l'amont de l'estuaire puisqu'il fait apparaître une « stratification inversée » avec des eaux douces au fond et des eaux salées en surface. Ceci peut difficilement s'expliquer, il s'agit probablement d'une verticale aberrante. Ceci montre une fois de plus les difficultés de réalisation des mesures de salinité et de la précision que l'on peut en attendre. Plus à l'aval les eaux salées ont bien pénétré l'estuaire et il n'y a pas de stratification marquée. Il est probable qu'il n'y a pas de stratification marquée à l'amont. Dans la Sankiné, une stratification moyenne apparaît sur une verticale au point K14.

La dérive des isohalines (ou excursion) des eaux de surface est d'environ 16 km, dans le bras principal du Konkouré comme dans la Sankiné. Par contre en ce qui concerne les eaux de fond en estuaire supérieur, elle est n'est plus que de 3,7 km pour l'isohaline 5g/l et seulement de 1,5km pour l'isohaline 2g/l, au niveau de Wassou. Ceci semble indiquer la présence d'un point nodal avec donc zone de sédimentation préférentielle.

En étale de PM, à proximité de la confluence, on observe des salinités de l'ordre de 30 g/l dans la Sankiné, alors qu'elles ne dépassent pas 20g/l dans le Konkouré. En estuaire supérieur nous trouvons des traces de sel au-delà du kilomètre 35.

En BM une stratification apparaît dans le Konkouré au droit de la confluence avec de part et d'autre des eaux bien mélangées. Dans la Sankiné les eaux sont bien mélangées sur la verticale. Là encore ont peut noter une discontinuité à la confluence puisqu'il y a une stratification en K14 et un mélange sur la verticale en K13.

➢ Situation de vive-eau en crue (10/08/02)

Amplitude de marée : **3.30 m** ; débit du fleuve ce jour: **980 $m^3.s^{-1}$**. (Figure 70 et Figure 71)

Le trajet de mesure à l'étale de PM a dû être écourté, à cause des conditions climatiques peu favorables; nous n'avons pas pu notamment aller au-delà de la station K19, et n'avons donc pas pu atteindre les eaux douces.

En PM, le bras principal apparaît stratifié. Le panache du Konkouré qui s'étale en surface en mer s'observe nettement. A l'amont la stratification est également bien marquée. Entre les deux, vers le pK4 subsiste une zone assez bien mélangée.

Dans la Sankiné, aucune stratification n'est visible. A l'amont apparaît une «bulle» d'eau douce prisonnière dans la partie amont, bulle qui se renouvelle à chaque marée.

Lors de l'étale de BM, les eaux sont stratifiées dans l'estuaire jusqu'à l'embouchure, puis mélangées en zone littorale. On remarquera la "bulle salée" de fond au niveau de K15, correspondant à des eaux piégées par le bourrelet sableux qui obstrue l'embouchure. Dans la Sankiné au contraire les eaux sont bien mélangées, et là encore sensiblement plus salées que dans le bras principal.

La dérive des isohalines en surface est d'environ 10 km dans le bras principal, et légèrement supérieure dans la Sankiné (jusqu'à 13.5 km pour l'isohaline 5g/l).

Outre la méthode dynamique, les mesures en points fixes aux stations de référence ont également été faites en situation d'étiage de vive-eau.

Dans cette méthode le bateau est ancré après recherche de la position de référence de la station au GPS puis y demeure durant un cycle de marée aussi complet que possible, soit environ 13h. Chaque heure, la salinité est mesurée depuis le fond vers la surface, soit à l'aide d'une sonde WTW LF197 pour mesure en profondeur soit par mesure sur des prélèvements effectués à la bouteille aux différentes profondeurs prévues.

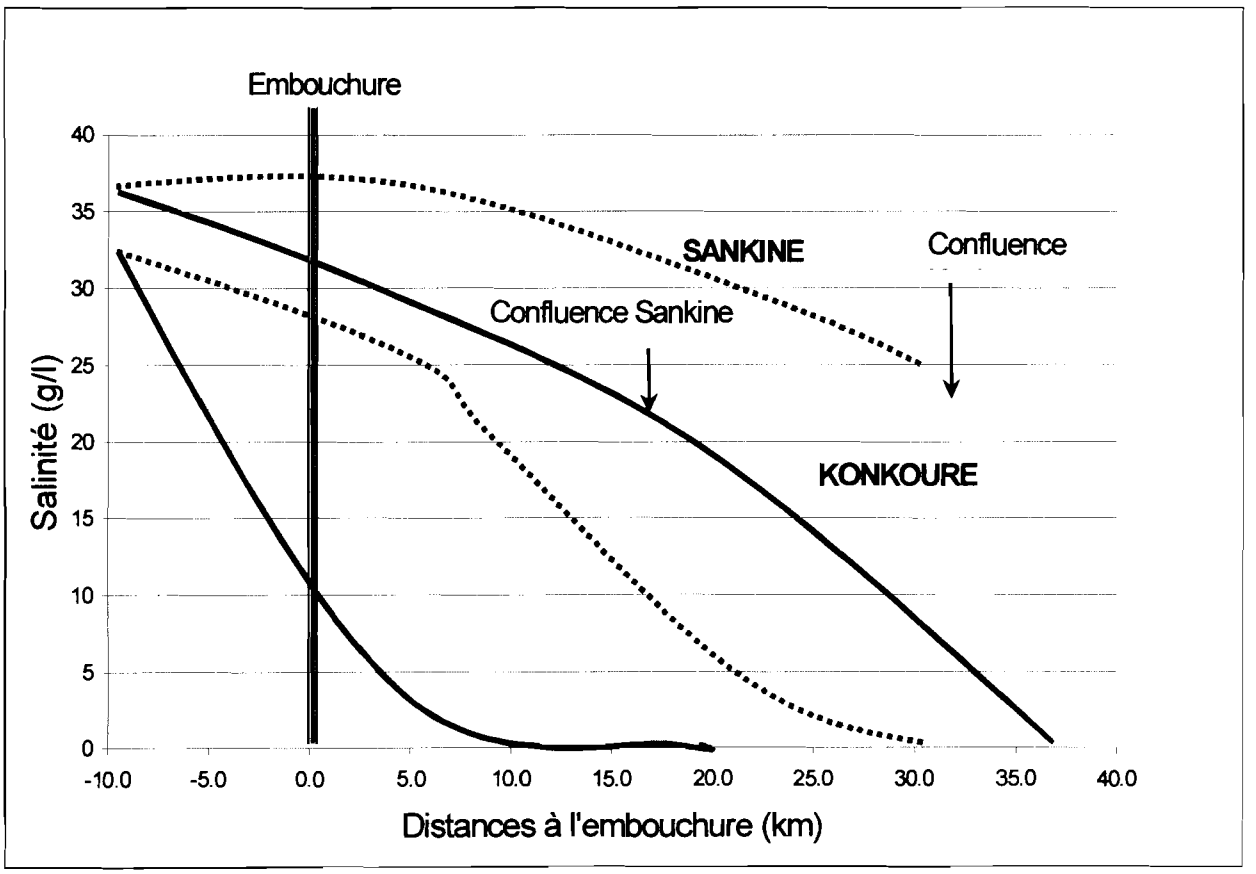


Figure 66: La remontée saline dans l'estuaire en vive-eau à l'étiage

La Figure 66 représente les courbes enveloppes de l'ensemble des mesures de salinité effectuées dans l'estuaire, pour des amplitudes de marées supérieures ou égales à 2.5 m et pour des débits fluviaux inférieurs ou égaux à 200 m3/s. (trait plein pour le bras principal ; pointillé pour la Sankiné).

On notera qu'étant donné le parcours plus long de la Sankiné, l'eau douce arrive plus rapidement à l'embouchure par le Konkouré que par la Sankiné, l'adoucissement de la partie avale de la Sankiné par les eaux du Konkouré est donc moins bien assuré que celui de la partie avale du Konkouré.

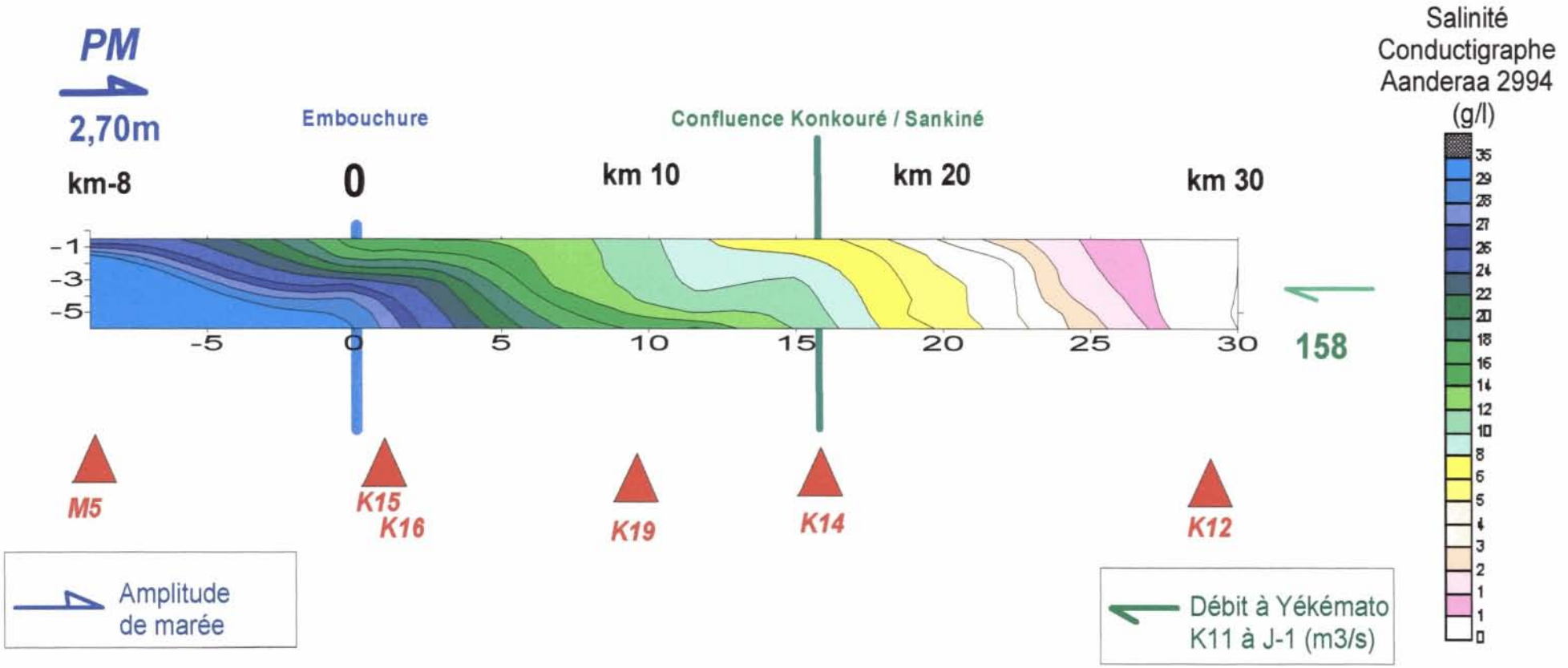


Figure 67:Les salinités dans le bras principal du Konkouré en situation de morte-eau pendant l'étiage à l'étale de PM (campagne du 23 janvier 2002)

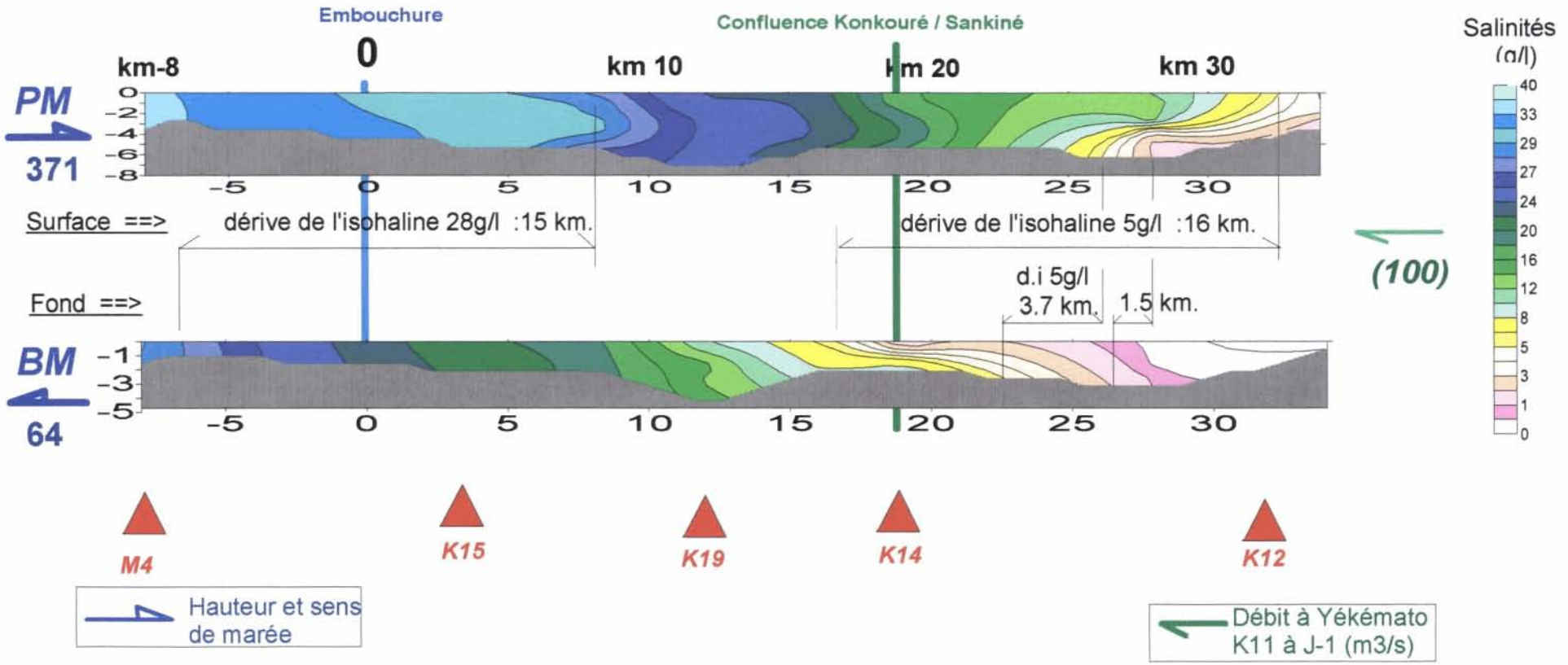


Figure 68: Dérive des isohalines dans le bras principal du Konkouré en situation de vive-eau pendant l'étiage entre deux étales de PM et BM (campagne du 28 mai 2002)

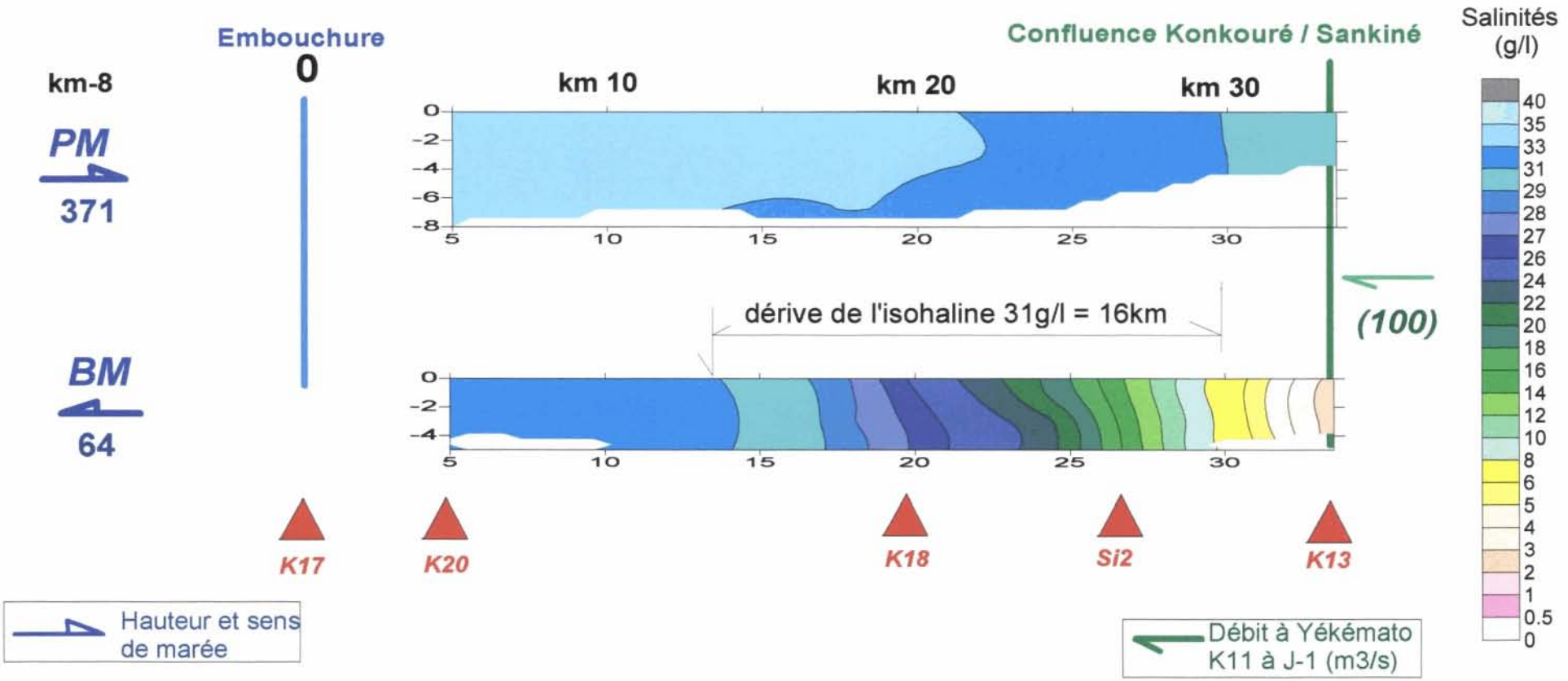


Figure 69: Dérive des isohalines dans la Sankiné en situation de vive-eau pendant l'étiage entre deux étales de PM et BM (campagne du 28 mai 2002)

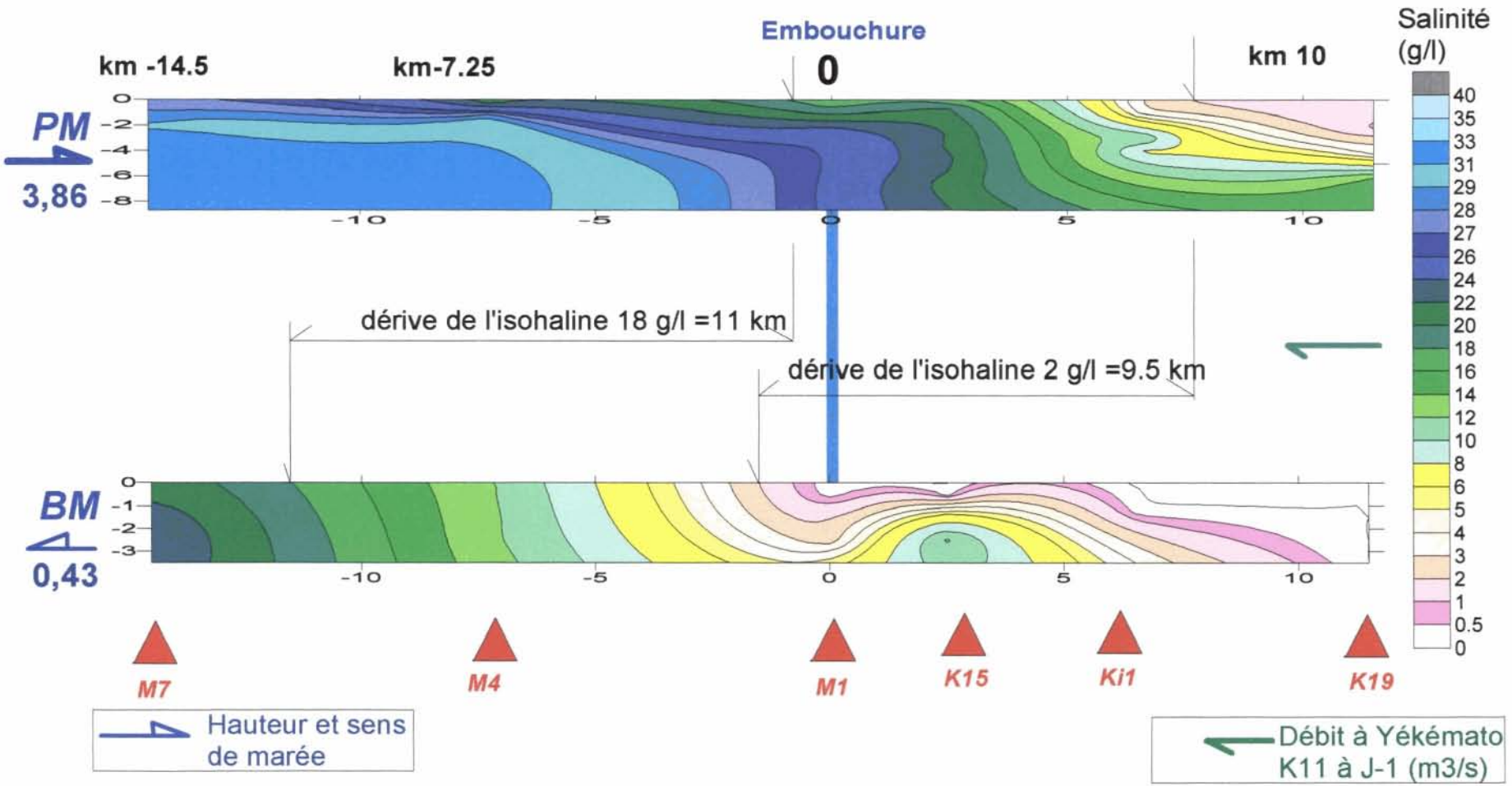


Figure 70: Dérive des isohalines dans le bras principal du Konkouré en situation de vive-eau pendant la crue entre deux étales de PM et BM (campagne du 10 août 2002)

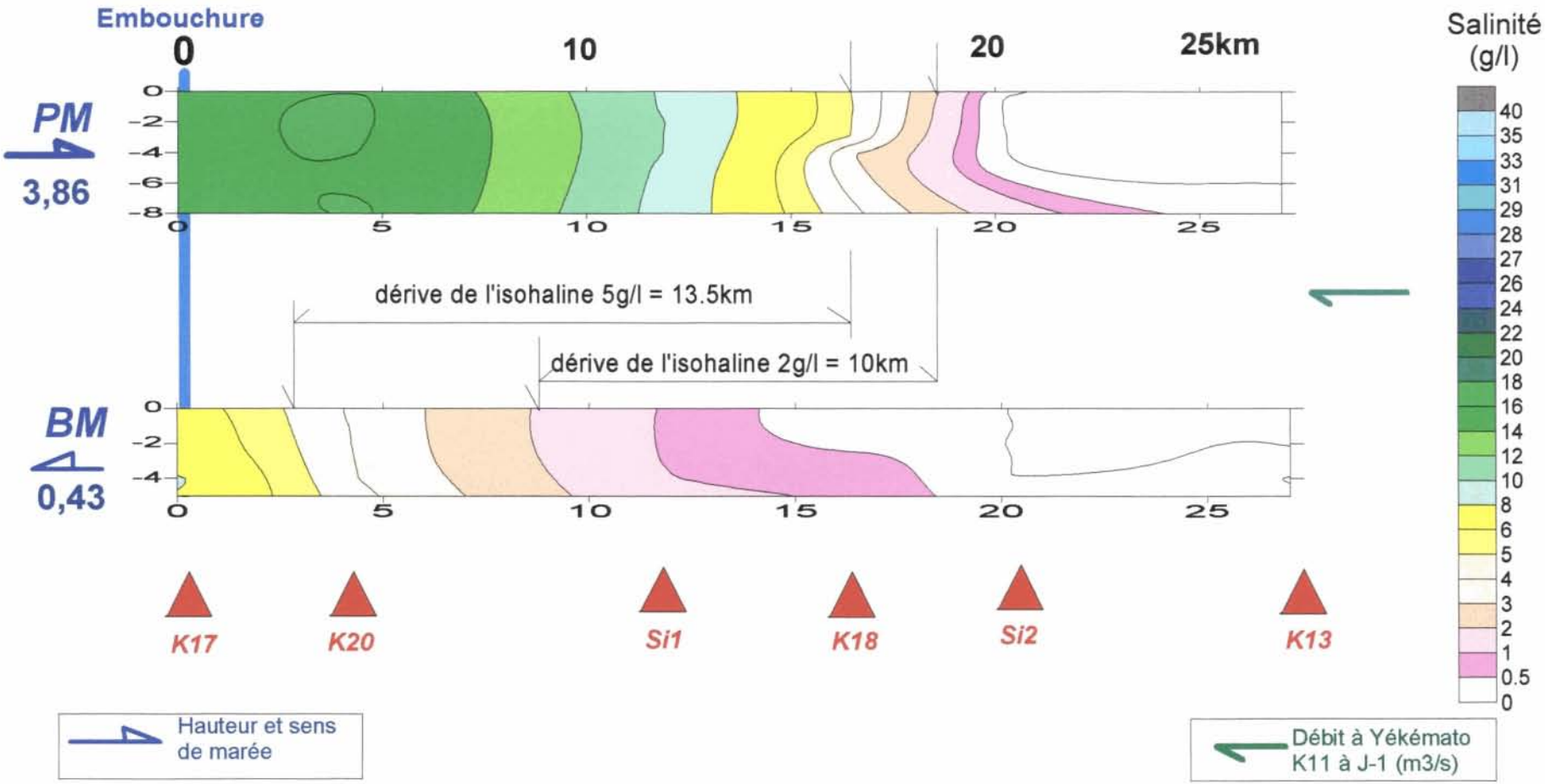


Figure 71: Dérive des isohalines dans la Sankiné en situation de vive-eau pendant l'étiage entre deux étales de PM et BM (campagne du 10 août 2002)

III.5.e. La dessalure de l'estuaire

Un conductigraphe Aanderaa RCM7 (Cell 2994) pour la mesure en continu des conductivités, de la température de l'eau et de la pression à été installé, au pied de la tour du limnigraphe K14 de Kakounssou, à environ 80 cm du fond, au moment de l'arrivée de l'onde de crue en 2001 et en 2002, puis près de l'embouchure, à Bokhinéné au pied de la tour K15 pendant et jusqu'à la fin de la crue 2002

➢ Confluence Konkouré/Sankiné

La Figure 72 représente l'évolution des salinités à la station K14, confluence Konkouré/Sankiné, du 29/05/02 au 12/07/02, en fonction de la marée et de l'écoulement fluvial. (l'allure sinusoïdale de la courbe des débits du fleuve particulièrement nette pendant l'étiage est produite par la gestion des turbines à la centrale de Garafiri).

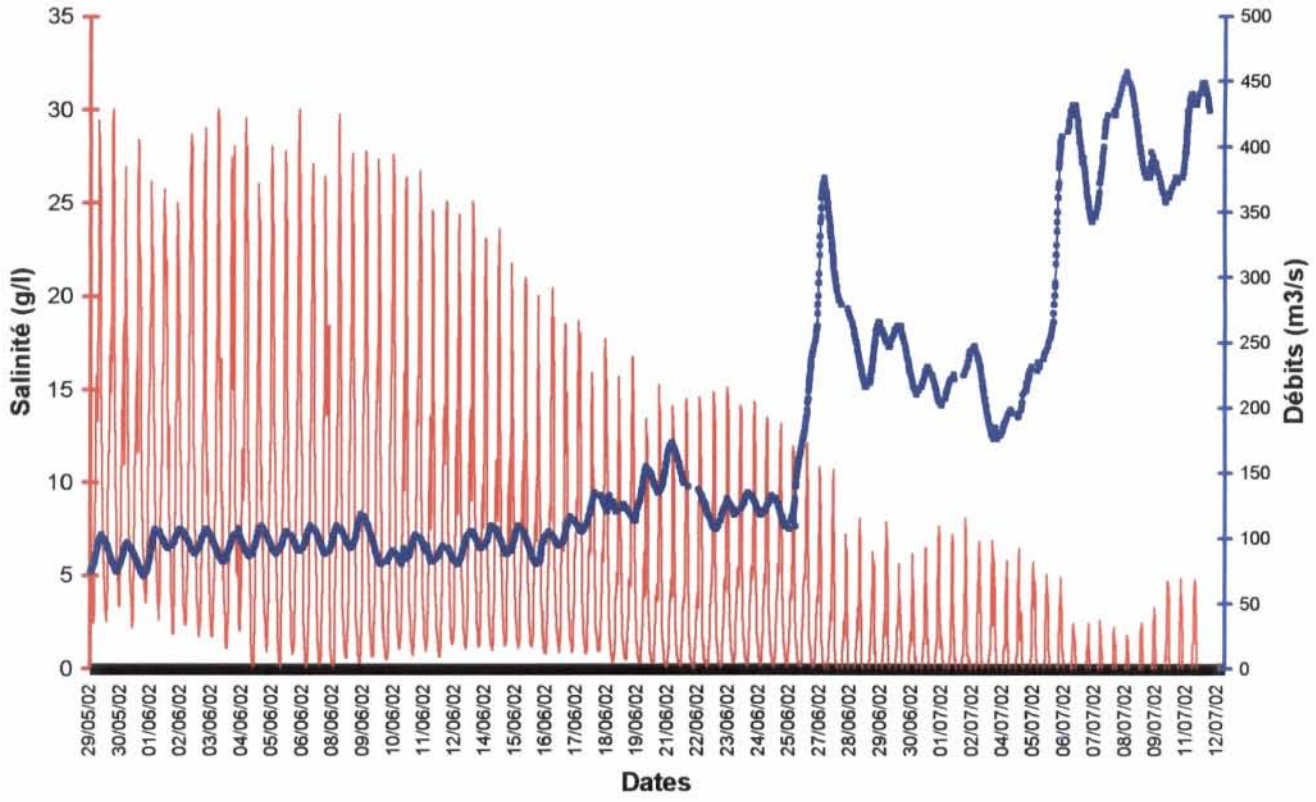


Figure 72: Variation de la salinité à K14 en début de crue 2002

Jusqu'à la mi-juin, les salinités maximales de PM, varient entre 25 et 30g/l; les salinités de BM sont dans tous les cas inférieures à 5g/l et ne sont nulles qu'en vive-eau. Dès l'arrivée des premières petites ondes de crue les salinités maximales décroissent rapidement (15g/l le 20/06); cet effet s'intensifie lorsque les fortes ondes de crues du mois de juillet atteignent l'estuaire. Les eaux sont alors totalement dessalées en BM quelle que soit l'amplitude de marée. En PM de vive-eau on observe encore des concentrations de l'ordre de 5 g/L au plus fort de la marée.

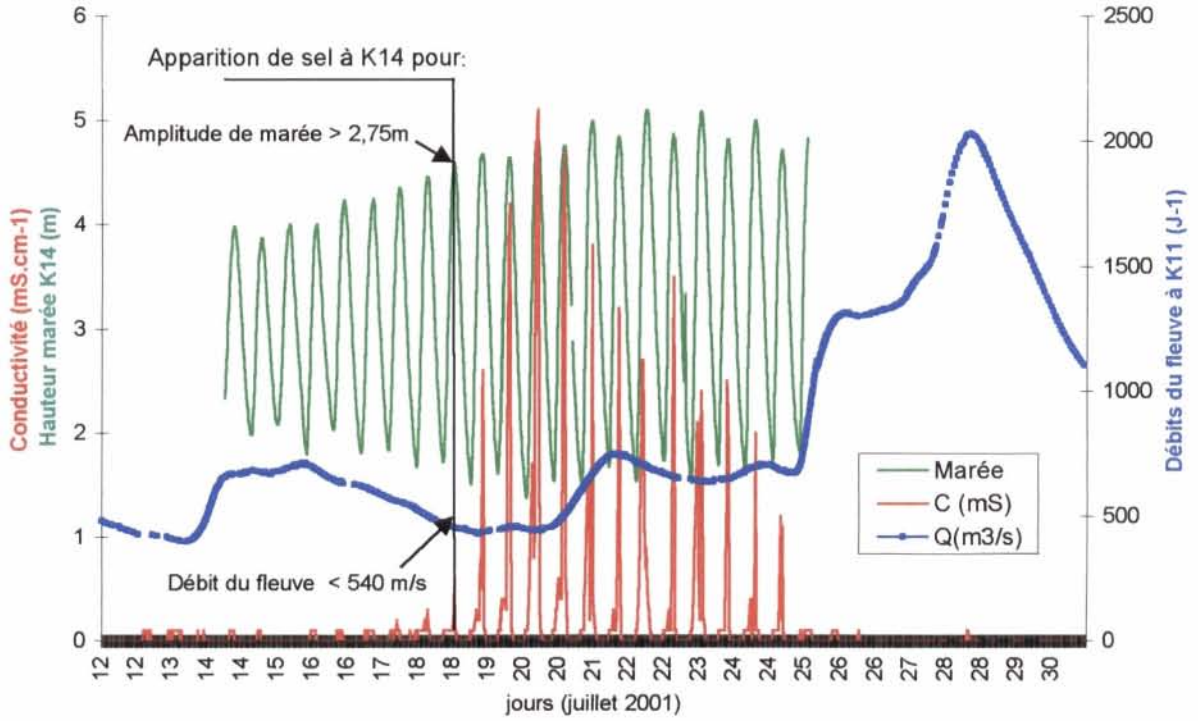


Figure 73: Variation de la salinité à K14 en début de crue 2001

L'enregistrement du mois de juillet 2001 (Figure 73) précise la conjugaison des effets fluviaux et tidaux qui permettent d'atteindre une dessalure totale à la confluence sur le cycle de marée. On s'aperçoit ainsi que des traces de sel réapparaissent dès lors que l'amplitude de la marée dépasse 2,75m tandis que le débit du fleuve est inférieur à 540 $m^3.s^{-1}$. Ensuite lorsque le 25 juillet les débits dépassent 700 $m^3.s^{-1}$ la dessalure est totale à cet endroit quelle que soit l'amplitude de la marée.

➢ <u>La dessalure près de l'embouchure (station K15)</u>

La figure ci-après représente l'évolution de la salinité à la station K15 du 22/08/02 au 30/09/02. En PM la dessalure n'est jamais atteinte à la station K15 au cours des mois d'août et septembre 2002 . Les salinités maximales supérieures à 15 g/l jusqu'au 12/08 décroissent ensuite progressivement jusqu'à environ 7 g/l à la fin du mois de septembre.

En BM par contre, les eaux sont totalement dessalées pour toute la période d'observation.

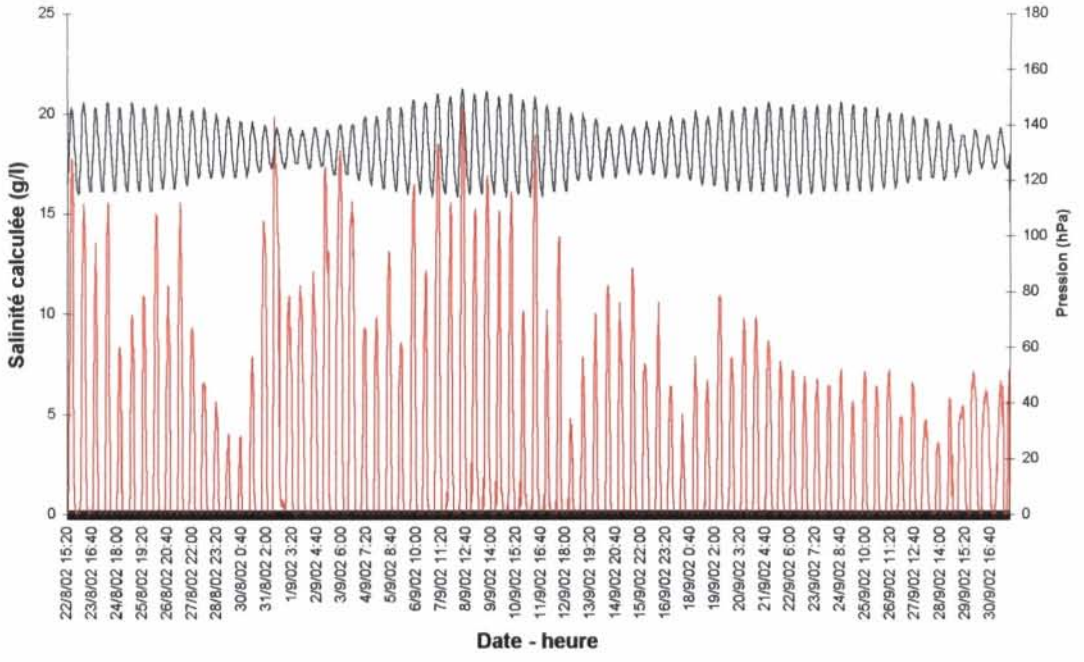


Figure 74 : Evolution des salinités à l'embouchure K15 du bras principal pendant la crue 2002

III.5.f. Synthèse sur les salinités dans l'estuaire

Il ressort des différentes mesures qui ont été réalisées que :

- ✓ L'intrusion saline est maximale en étiage de vive-eau, elle se fait alors sentir au-delà de Wassou (K12), même avec des débits soutenus par les lâchers du barrage
- ✓ En période de crue, hormis aux stations des embouchures où l'on observe une légère stratification dans la Sankiné et le Konkouré (K17, K15 et K16), la salinité reste nulle sur toute la hauteur d'eau pour toutes les autres stations de l'estuaire.
- ✓ Les concentrations en sel de la Sankiné sont en toutes situations hydrodynamiques supérieures à celles que l'on observe dans le bras principal du delta.

En ce qui concerne la stratification dans l'estuaire celle ci n'a guère été mise en évidence en dehors des périodes de crue, ce qui est a priori cohérent avec les valeurs obtenues pour le nombre d'estuaire *Ne*.

En effet il est possible, à partir de la mesure des volumes oscillants (VEOo) présentés dans le Tableau 35 et des débits fluviaux de la station de Yékémato Tableau 44, d'estimer l'ordre de grandeur du Nombre d'estuaire ***Ne***, indice qui rend compte de l'antagonisme entre effets marins et fluviatiles, soit :

$$N_e = VEO_0 * V_0^{\,2} \Big/ g d_0 * Q_f * T$$

Avec

VEOo = volume entrant dans l'estuaire au flot (m3)
V_0 = maximum de vitesse du flot à l'embouchure (m/s) ;
g = accélération de la pesanteur (m/s) ;
d_0= profondeur moyenne à l'embouchure (m.) ;
Qf = débit fluvial (m3/s) ;
T = Période de la marée (en s.)

Type	Etiage					Crue	
Hydrodynamique	VE	VE	ME	ME	ME	ME	VE
Campagne	*26/03/01*	*12/06/02*	*03/04/01*	*23/01/02*	*20/02/02*	*26/09/01*	*16/10/01*
VEO_0 (10^6 m^3)	200	202.5	108	100	107	63	226.5
Q_f (m^3/s)	87	96	81	112	90	1001	765
d_o (m)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	4	4
V_0	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	1	1.1
Ne	**3.10**	**2.85**	**1.15**	**0.77**	**1.03**	**0.04**	**0.20**

Tableau 44: Nombre d'estuaire du konkouré pour différentes situations hydrodynamiques

La plupart des auteurs admettent la classification suivante pour caractériser le type de mélange des eaux fluviales et marines en fonction du nombre d'estuaire :

$Ne < 0.08$: coin salé
$0.08 < Ne < 0.5$: estuaire stratifié
$0.5 < Ne$: estuaire mélangé

Selon cette classification, l'estuaire est en principe mélangé en période d'étiage, stratifié en crue de VE et un coin salé peut apparaître en crue de ME. Cependant il faut garder à l'esprit qu'ici ont été considérés les volumes cumulés des trois embouchures. Ces résultats nous indiquent donc la structure de la masse d'eau si nous avions à faire à un estuaire *sensu stricto*.

Les observations faites sont dans l'ensemble assez cohérentes avec cette classification. Il n'a pas été mis en évidence de stratification forte en étiage Une stratification dans le seul bras du Konkouré a été observée en crue de VE.

III.6. LA SALINITE DE LA ZONE LITTORALE

III.6.a. Méthodologie

La méthode de suivi dynamique qui consiste à effectuer des mesures de conductivité (salinité), température et éventuellement turbidité en suivant la propagation des étales de PM ou de BM dans l'estuaire a été également appliquée de façon à décrire les profils longitudinaux des isohalines.

Les différents instruments de mesure utilisés (conductigraphe à induction Cell 2994 du courantomètre Aanderaa RCM7 ou conductimètre WTW L197) on été préalablement étalonnés entre eux de façon à pouvoir comparer les différentes mesures. L'ensemble des profils de salinités de la zone littorale est présenté en annexe.

III.6.b. Les variations de salinité en sortie d'estuaire (transect M1-M10)

Nous décrirons six situations types réparties tout au long de l'année illustrées sur la Figure 75 :

- Vive-eau en fin d'étiage en BM : marée du 01 juin 2000
- Vive-eau en début de crue en PM : marée du 26 juin 2001
- Vive-eau en crue : marée du 10 août 2002 ; situations de BM et de PM
- Morte-eau pendant la crue en BM : marée du 12 octobre 2001
- Morte-eau en début d'étiage en PM : marée du 02 décembre 1999

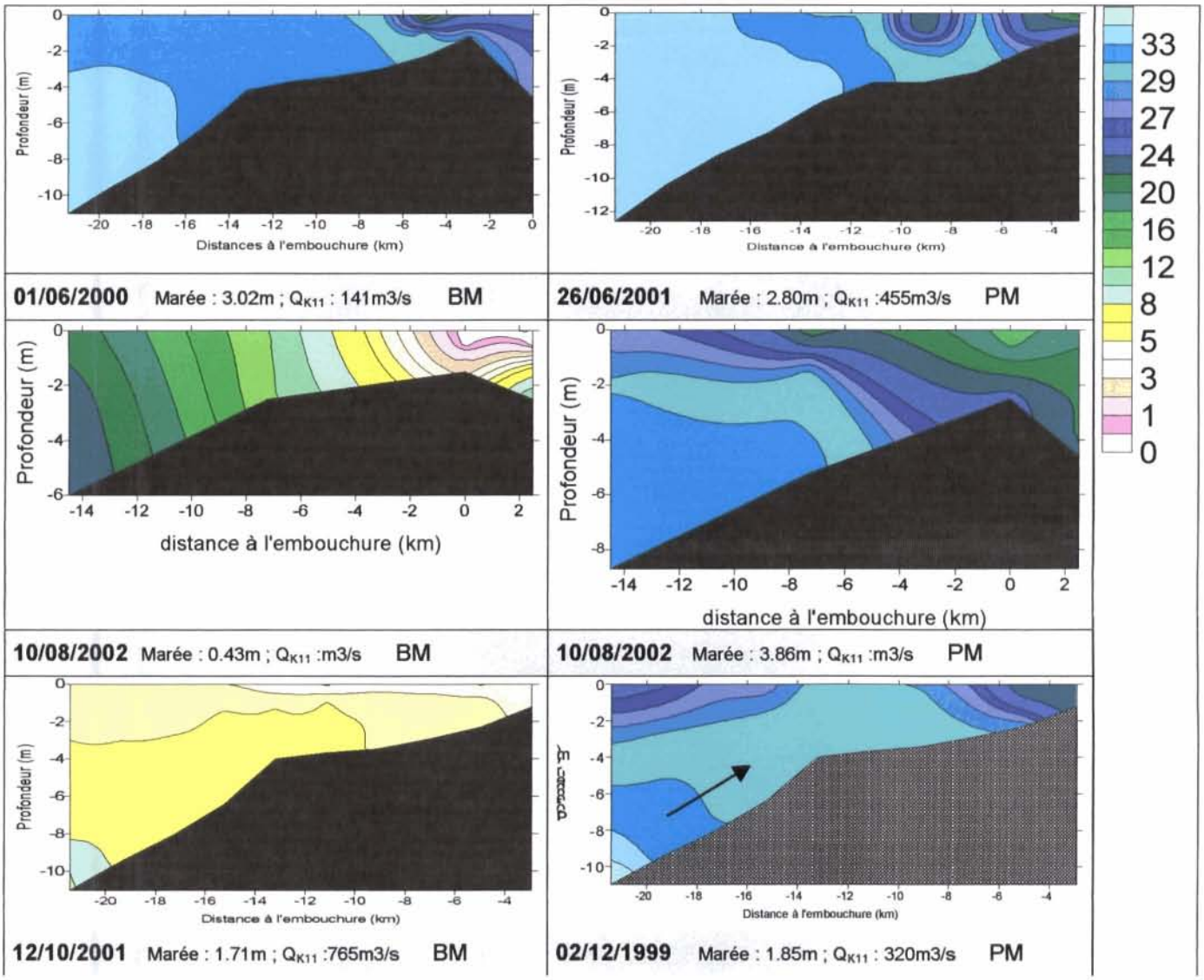


Figure 75: les salinités (g/l) de la zone littorale en sortie d'estuaire le long du transect M1-M10

➢ Situation de vive-eau en fin d'étiage (01/06/00)

En situation de vive-eau, la série de mesures a commencé au moment de la renverse de pleine mer ; la remontée vers l'embouchure s'est donc effectuée pendant le jusant.

En zone littorale, es eaux sont mélangées et les salinités sont supérieures à 32 g/l ; à proximité de l'embouchure on note une stratification des eaux, sans doute accentuée par l'effet du bourrelet sableux qui obstrue partiellement le lit de l'exutoire.

➢ Situation de vive-eau en début de crue (26/06/01)

Lors d'une marée de 2.80 m d'amplitude, la série de mesures a commencé au moment de la renverse de pleine mer ; la remontée vers l'embouchure s'est donc effectuée pendant le jusant.

Les eaux sont adoucies à l'embouchure (18 g/l en surface) jusqu'au km 10, les salinités observées en surface comme en profondeur sont supérieures à 30 g/l.

➢ Situation de vive-eau en crue (10/08/02)

Pour cette campagne nous avons suivi dans un premier temps la propagation de l'étale de PM, puis dans le même cycle de marée la propagation de l'étale de BM.

En PM les eaux sont stratifiées sur l'ensemble du transect avec, à l'embouchure les salinités de surface de 18 g/l et de fond de 25 g/l, tandis qu'à 15 km au large (station M7) elles sont respectivement de 28 et 33 g/l.

En BM, les eaux de la partie littorale sont mélangées, tandis que la stratification est encore marquée à l'embouchure avec salinités nulles en surface et de 5g/l au fond. On observe une "bulle" d'eaux de fond légèrement plus salées à l'amont de l'embouchure au niveau de la station K15, piégées par le bourrelet sableux qui encombre cette embouchure.

La dérive des isohalines entre PM et BM dans la partie littorale est d'environ 11km.

➢ Situation de morte-eau en crue (12/10/00)

Par marée de 1.71 m d'amplitude, les mesures ont commencé au moment de la renverse de basse mer, et se sont donc déroulées pendant le flot.

Les salinités enregistrées sont faibles tout au long du transect, puisqu'en surface jusqu'au 20ème kilomètre elles n'excèdent pas 4 g/l. On retrouve à l'embouchure les mêmes valeurs que celles décrites aux stations K15 et K20, lors des marées de vive-eau des 16 et 18 octobre.

➢ Situation de morte-eau en début d'étiage (02/12/99)

Par marée de 1.85 m d'amplitude, les mesures ont commencé au moment de la renverse de basse mer, et se sont donc déroulées pendant le flot.

En BM les eaux sont stratifiées sur l'ensemble du transect avec des salinités à 20 kilomètres de l'embouchure comprise entre 25 g/l en surface et plus de 30 g/l au fond ; à l'embouchure elles étaient de l'ordre de 20 g/l.

Ce n'est vraiment qu'en fin de crue que l'on observe une importante dessalinisation de l'ensemble du transect

III.7. TURBIDITE

La turbidité des eaux de l'estuaire n'a pu être mesurée *in situ* par manque d'appareil adapté à de telles concentrations.

Des prélèvements ont été effectués lors des campagnes de courantométrie en stations fixes ou lors des profils de remontée saline, à l'aide d'une bouteille à prélèvement horizontal de type Wildco.

La charge en suspension des échantillons a été ensuite mesurée au laboratoire le plus souvent sur rampe lumineuse par comparaison avec des échantillons étalons.

L'ensemble des mesures de turbidités effectuées est présenté sous forme graphique en annexe.

III.7.a. Mesures en points fixes (stations de référence)

Les mesures de turbidités ont été faites pour la plupart en point fixe. Les valeurs minimum et maximum sont résumées dans le Tableau 45.

D'une façon générale les eaux apparaissent assez chargées en étiage. Les concentrations de crue n'apparaissent pas sensiblement supérieures à celles de l'étiage en raison de la dilution de la charge solide dans les forts apports liquides fluviaux.

Les concentrations maximales sont le plus souvent observées en fin de jusant, ou éventuellement en début de flot. Ceci peut s'expliquer par l'apparition d'une plus grande turbulence (forte vitesse et faible profondeur donc gradient de vitesse plus important).

Date	Point	Turbidité min	Turbidité max	Commentaires
01/06/98	K17	<0.1	0.1	
02/06/98	K13	<0.1	10	deux valeurs > 0.1
03/06/98	K18	<0.1	<10	une valeur < 0.1
04/06/98	K12	<0.1	**8**	max en fin de jusant
05/06/98	K14	<0.1	<0.1	
06/06/98	K19	<0.1	0.5	max au début du flot
22/06/98	K13	<0.15	**6**	max au début du flot
24/06/98	K17	<0.15	<0.15	
25/06/98	K18	<0.15	<0.15	
26/06/98	K14	<0.15	**1.5**	max en fin de jusant
27/06/98	K12	<0.15	**2**	
28/06/98	K19	<0.15	0.5	max en fin de jusant
02/04/99	K12	0.15	**4**	
05/04/99	K14	>0.15 <0.5	>1 <1.5	une valeur >0.5
06/04/99	K19	>0.15 <0.5	>1 <2	
08/04/99	K16	>0.15 <0.5	>0.5 <1	une valeur > 0.5

Tableau 45: Synthèse des mesures de turbidité (g/l) – période juin 1998 à avril 1999

Campagne/Date	Point	Turbidité min	Turbidité max	Commentaires
1 - 28/08/99	K12	<0.15	<0.15	
1 - 27/08/99	K13	<0.15	>0.15<0.5	
1 - 29/08/99	K14	<0.15	>0.5<1	
1 - 30/08/99	K15	<0.15	**>3.4<4**	max au jusant
1 - 31/08/99	K16	<0.15	**>5**	max au flot
1 - 25/08/99	K17	>0.15<0.5	>0.5<1	
1 - 26/08/99	K18	>0.15<0.5	>0.5<1	
1 - 01/09/99	K19	>0.15<0.5	>=0.5	
2 - 05/11/99	K12	0.1	0.15	
2 - 03/11/99	K13	0.15	0.5	
2 - 04/11//99	K14	>0.1<0.5	>0.15<0.5	
2 - 01/11/99	K15	>0.1<0.15	>0.15<0.5	
2 - 31/10/99	K16	0.1	0.5	
2 - 07/11/99	K17	0.15	0.5	
2 - 06/11/99	K18	>0.15<0.5	>2<3.5	
2 - 02/11/99	K19	0.15	0.5	max à BM
3 - 04/02/00	K12	**1**	**6**	
3 - 03/02/00	K13	0.25	**10**	max au jusant
3 - 02/02/00	K14	0.25	**2**	
3 - 06/02/00	K15	0.5	**7**	max au jusant
3 - 07/02/00	K16	0.25	**3**	
3 - 10/02/00	K17	0.5	**1.5**	
3 - 09/02/00	K18	0.25	**7**	
3 - 05/02/00	K19	0.5	**7**	max au jusant
4 - 01/04/00	K12	0.15	**2**	
4 - 02/04/00	K13	0.15	**1**	
4 - 03/04/00	K14	0.15	**2**	
4 - 06/04/00	K15	0.15	**1.5**	
4 - 05/04/00	K16	0.15	**1**	
4 - 30/03/00	K17	<0.25	<0.25	
4 - 31/03/00	K18	<0.25	<0.25	
4 - 04/04/00	K19	0.15	**2**	

Tableau 46 : Synthèse des mesures de turbidité (g/l) – période août 1999 à avril 2000

III.7.b. Mesures Dynamiques

En mai 2002 les turbidités ont été mesurées sur la verticale à l'occasion de la campagne de suivi des étales de PM et de BM dans le bras principal. Les résultats sont représentés graphiquement sur la Figure 76.

En PM ils mettent en évidence un gradient de turbidité marqué, avec une eau bien décantée en surface. Ils montrent également une plus grande turbidité des fonds à l'amont de la confluence, correspondant probablement à des fonds plus vaseux alors qu'à l'approche de l'embouchure où l'on peut attendre des fonds plus sableux la turbidité de fond est réduite.

En BM, on observe une turbidité plus forte surtout à l'aval de la confluence. Ce constat rejoint le constat fait précédemment. La remise en suspension des sédiments du fond sous l'effet de la turbulence accrue lorsque la profondeur diminue, explique probablement ce phénomène.

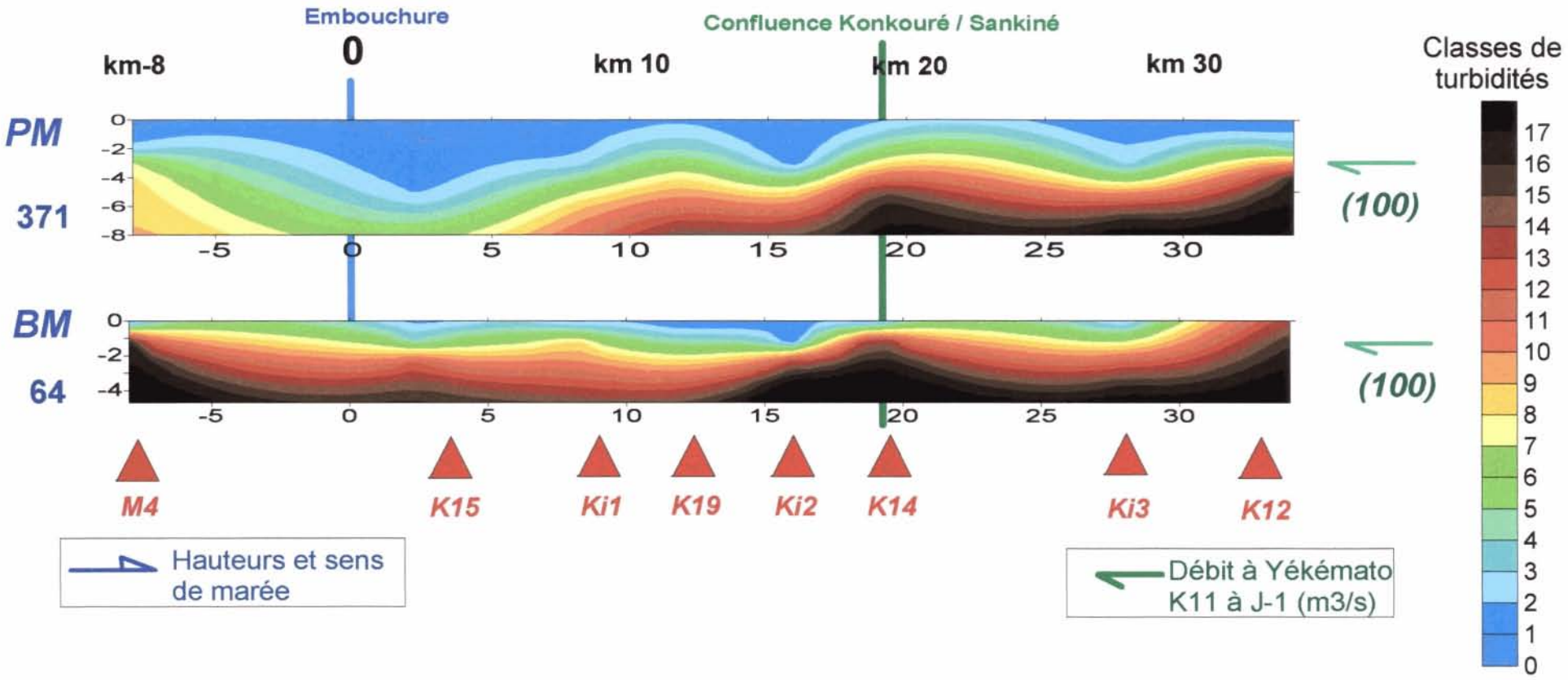


Figure 76: Evolution des turbidités lors des propagations des étales de PM puis de BM dans le bras principal (campagne du 28/05/

IV. IMPACTS SUR L'ESTUAIRE

IV.1. HYDROLOGIE

L'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire ne peut être qu'indirect. Il se traduit par une modification du régime hydrologique des apports dans l'estuaire.

Ces apports sont régularisés par le barrage ; les débits d'étiage sont soutenus et ceux de crue écrêtés. L'impact est d'autant plus important que les débits sont faibles.

L'impact maximal sur les débits d'étiage est obtenu lorsque les 3 turbines de la centrale fonctionnent en même temps soit un soutien d'environ 75 m3/s. L'étiage moyen d'avril étant de 40 m3/s, le débit moyen de ce mois est donc plus que doublé. Le débit supplémentaire de Garafiri étant supérieur à l'écart-type sur le débit moyen d'étiage des mois les plus secs, l'impact du barrage est immédiatement visible. Les débits moyens mensuels des mois de janvier à mai pour les années 1998 à 2002 (Figure 77) mettent en évidence cet impact.

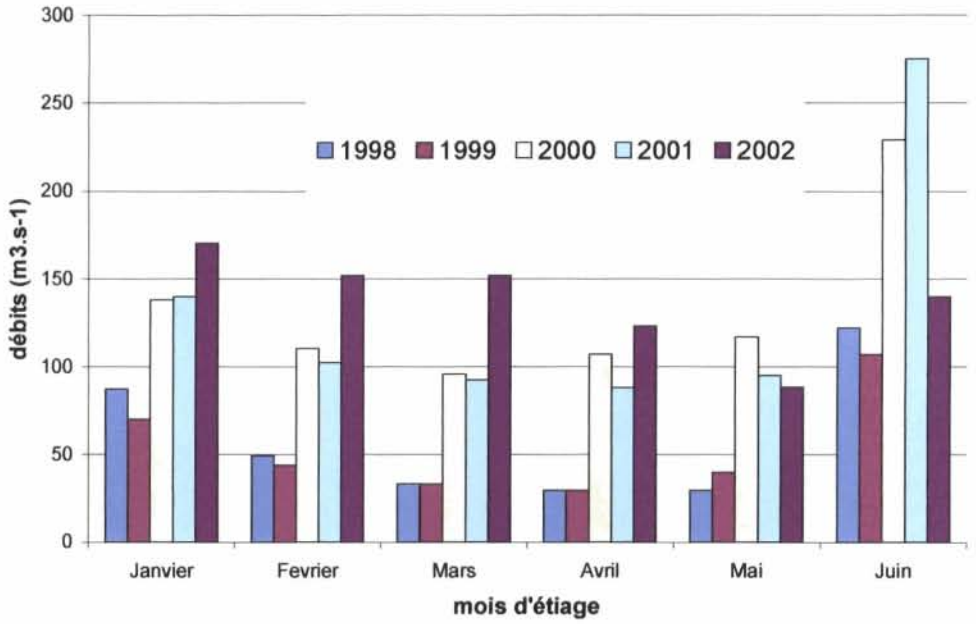


Figure 77: Débits d'étiage à Yékémato (1998-2002)

En crue l'impact du barrage sera relativement plus limité puisque le barrage ne contrôle qu'environ 14% du bassin versant total du Konkouré. Son impact a été estimé à quelques pour-cent sur les crues humides rares, par COB-EDF. Cet impact croit lorsque la fréquence des crues augmente. En considérant les crues sèches sur lesquelles l'impact est le plus fort, l'impact moyen du barrage sur les crues peut être estimé de 10 à 12% de la crue moyenne. Cet impact est inférieur à l'écart-type qui caractérise la variabilité naturelle des crues moyennes mensuelles. Il n'est donc pas possible d'identifier l'impact du barrage sur les débits de crue observés depuis sa mise en service. C'est seulement à long terme qu'un impact sur la réduction des débits de crue dans l'estuaire pourra être évalué.

Nous distinguerons donc dans ce qui suit les impacts observables et les impacts probables.

IV.2. NIVEAUX

Les niveaux dans l'estuaire à l'exception de l'estuaire supérieur, dépendent peu du débit fluvial ; c'est la raison pour laquelle les impacts du barrage ne sont pas observables. A la confluence, les niveaux resteront inchangés en étiage; en crue le marnage sera augmenté de façon négligeable.

A Wassou, en étiage, la station est essentiellement influencée par la marée et les marnages seront pratiquement inchangés. En crue, lorsque l'influence fluviale est plus marquée, les niveaux seront légèrement augmentés et le marnage réduit ou lissé.

Ces modifications ne seront sans doute difficilement mesurables.

IV.3. VITESSES ET LES DEBITS

Comme pour les niveaux, les vitesses et les débits ne dépendent quasiment que du régime fluvial dans la partie supérieure de l'estuaire, là où le volume oscillant devient faible devant les apports du fleuve.

A Wassou, en étiage les vitesses de jusant vers la mer, seront légèrement augmentées et celles de flot très légèrement réduites. La durée du jusant sera sensiblement accrue et celle du flot réduite. En crue les vitesses moyennes toujours dirigées vers la mer seront très légèrement réduites.

A la confluence et plus à l'aval, des effets identiques pourraient en principe être observés mais ils seront négligeables. La seule nuance observable devrait être dans les durées de flot et de jusant, cette dernière étant légèrement accrue.

Les débits moyens dans l'estuaire, qui correspondent aux débits fluviaux, seront donc augmentés en étiage et réduits en crue. Les débits instantanés qui résultent de la combinaison des débits fluviaux et tidaux seront quant à eux peu modifiés.

Cet impact ne sera donc non négligeable que dans la partie supérieure de l'estuaire. A l'amont de la confluence les niveaux étant pratiquement inchangés, les débits varieront comme les vitesses.

Les volumes oscillants moyens seront très légèrement modifiés dans le fond de l'estuaire. Ils seront réduits en étiage et augmentés en crue. Cet impact sera négligeable sur les volumes oscillants à l'embouchure.

IV.4. SALINITE

En étiage le front [eau douce/eau salée] pénètre moins l'estuaire du Konkouré, tant en PM qu'en BM. D'ores et déjà la limite de l'estuaire définie par le point le plus amont atteint par le sel en étiage sec exceptionnel est situé plus à l'aval qu'auparavant. Il n'est pas possible de déduire des mesures faites de combien cette limite a été déplacée, d'autant que cette limite se situe à l'amont de Wassou. Un modèle mathématique à condition qu'il se prolonge à l'amont pourrait répondre à cette question. Cependant les estimations avancées lors des mesures effectuées sont de l'ordre de la dizaine de kilomètres en étiage de VE.

Cet impact qui constitue certainement l'impact principal de l'aménagement du barrage sur l'hydraulicité de l'estuaire est formellement observable à court terme.

L'analyse des mesures de salinité faites dans l'estuaire avant et après la mise en service du barrage dans des conditions d'étiage et de marées comparables mettent en évidence cet effet.

Pour un étiage naturel d'environ 30 $m^3.s^{-1}$ et pour des conditions de marée comparables (de même ordre de grandeur), le Tableau 47 montre que le débit soutenu à Wassou pendant l'étiage atteint 90 $m^3.s^{-1}$ et qu'en 3 stations de référence les salinités maximum et minimum ont sensiblement diminués.

Station		K12		K19		K15	
Période		Avril 1999	Avril 2000	Avril 1999	Avril 2000	Avril 1999	Avril 2000
Débit ($m^3.s^{-1}$)		29	87	27.5	90	28	90
Amplitude marée (m)		2.7	2.8	2.03	2.8	1.7	2.9
Salinité (g/l)	Max.	20	0	31	19	30.5	29
	Min.	3	0	28	12	27.6	15.2

Tableau 47 : Comparaison des salinités dans l'estuaire avant barrage et après mise en service des turbines en étiage

En crue au contraire, l'eau douce atteindra moins souvent l'embouchure qu'avant la mise en service du barrage. Ceci ne peut être mis en évidence à court terme. D'une façon générale avec la régularisation du débit, la variabilité de la salinité en un point quelconque de l'estuaire sera légèrement réduite.

IV.5. TEMPERATURE

L'impact du barrage sur la température dans l'estuaire dépend de son impact sur les eaux du Konkouré à Garafiri. Cet impact diminue ensuite dans la vallée faiblement en étiage et de façon beaucoup plus importante en crue par mélange avec les eaux du bassin intermédiaire.

Dans l'estuaire le mélange avec les eaux marines limitent à la partie supérieure un impact éventuel sensible sur la température des eaux. C'est donc à l'amont et en étiage qu'un impact sur la température pourra éventuellement apparaître.

IV.6. TURBIDITE

A priori la turbidité dans l'estuaire semble liée à la granulométrie des fonds. Elle apparaît plus forte à l'amont de l'estuaire en étiage où les fonds sont recouverts de vase qu'à l'aval où les limons et les sables fins prédominent. Si des impacts doivent apparaître sur la distribution de la granulométrie des fonds, ces impacts ne peuvent se produire qu'à long terme. Etant donné qu'il y a régularisation des débits, avec augmentation pendant l'étiage et réduction en période de crue, les impacts moyens devraient être limités.

Dans des estuaires stratifiés ou à "coin salé" un bouchon vaseux peut se produire. La position de ce bouchon dépend de nombreux paramètres et notamment de la position du front salé concordant avec le point nodal de circulation résiduelle nulle.

L'analyse du nombre d'estuaire montre que l'estuaire du Konkouré est a priori un estuaire mélangé au moins en étiage. Les mesures n'ont pas mis en évidence de stratification nette en saison sèche.

En crue, une stratification bien marquée, voire un biseau salé, a été décrite, mais celle ci se produit à l'embouchure, pratiquement à l'extérieur de l'estuaire. On observe en effet un panache d'eau douce en surface en aval des embouchures avec des eaux de fond marines.

Les mesures de turbidité n'ont pas clairement mis en évidence l'existence d'un bouchon vaseux, même si de fortes concentrations (jusqu'à 300 g/l: crème de vase) ont été échantillonnées près du fond.

La recherche d'un éventuel point nodal par calcul de l'excursion résiduelle s'est révélée peu significative en raison des incertitudes très fortes qui pèsent sur ce type de calcul. Cependant les mesures de vitesses instantanées et les distances résiduelles qui en découlent indiquent la présence éventuelle d'un « bouchon vaseux ». En effet deux points nodaux de circulation résiduelle nulle sur un cycle de marée ont été calculés. Ces points nodaux présentent les conditions optimales pour l'accumulation des particules en suspension. On observe alors une forte accumulation de MES dans ces zones en période d'étiage, un premier bouchon vaseux se situerait dans le bras principal du Konkouré, entre le K15 et le K19, et un second bouchon

se situerait entre le K20 et le K13 dans le bras de la Sankiné. En période de crue, les forts débits fluviaux expulsent la majeure partie des particules en suspension sur le Plateau Continental et les plus fortes concentrations en MES sont observées à la limite aval de l'estuaire, à proximité des embouchures du bras principal du Konkouré (70g/l près du fond en K15 le 10/08/02).

Dans ces conditions l'existence d'un bouchon vaseux n'est pas confirmée mais fortement soupçonnée. Elle ne peut pas être totalement écartée sans la mise en place d'un système de suivi adapté.

Si un bouchon vaseux devait se produire la mise en service du barrage de Garafiri aurait pour effet de repousser vers l'aval la remontée de ce bouchon en étiage. En crue le bouchon serait expulsé un peu moins facilement à la mer.

IV.7. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

Il est évident que l'impact du barrage sur l'évolution des bras de l'estuaire et du littoral adjacent ne peut être qu'un impact à long terme. L'application des mécanismes d'évolution proposés par O.Rüe dans son étude sur la plaine de Koba, laisse penser que la réduction des débits de crue du Konkouré indépendamment des autres facteurs d'évolution et notamment les paramètres climatologiques marins, conduira à une sédimentation dans l'estuaire inférieur et donc à une tendance à la réduction des sections des chenaux de l'estuaire. En effet, malgré l'augmentation non négligeable des débits d'étiage, aucune évolution significative des chenaux n'a pu être mise en évidence ce qui semble confirmer que l'évolution morphologique de ces chenaux est lié à des effets occurrents à plus long terme. L'effet de chasse de la crue persistera malgré la réduction des débits et la remontée saisonnière du matériel jusqu'en amont de l'estuaire sera entravée par l'augmentation des débits d'étiage.

On peut penser que cette évolution serait plus sensible dans les bras du Konkouré que dans la Sankiné, en raison d'une activité sédimentaire plus importante dans ce bras et aussi en raison de la présence à proximité d'un stock littoral disponible plus facilement mobilisable. De plus il s'avère que la Sankiné présente un caractère beaucoup plus marin que le Konkouré qui présente lui un caractère fluvio-marin marqué.

V. CONCLUSION

Les campagnes de mesures réalisées pour cette étude hydrodynamique de l'estuaire ont permis de constituer une base de données importante. Si elle ne permet guère de mettre en évidence les impacts du barrage de façon directe, c'est parce que ceux ci sont fort peu marqués quand ils existent. En revanche, elle a permis une bonne compréhension du fonctionnement de l'estuaire et en conséquence d'envisager les impacts à plus long terme.

Les impacts les plus marquants s'observent en estuaire supérieur et en période d'étiage. Dans ces conditions on assiste à un recul significatif du front salé. C'est aussi dans ces conditions que les impacts sont observables à court terme.

Les impacts résultants de la réduction des crues ne pourront être observés qu'à long terme, notamment ceux sur l'évolution sédimentaire de l'estuaire. Une tendance à la sédimentation des chenaux et à une érosion du littoral adjacent pourrait alors être observée, pour autant que des séquences de vents plus faibles, donc de houles plus faibles que celles enregistrées au cours de la dernière décennie ne viennent pas contrecarrer l'impact attendu du barrage.

SUIVI DE L'EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE

L'objectif principal de cette opération consiste à différencier les évolutions géomorphologiques qui relèvent des grandes tendances naturelles, mises en évidence par une analyse rétrospective, de celles qui sont d'origine anthropique, notamment celles qui seraient éventuellement occasionnées par les modifications de l'hydrodynamisme dues au barrage. Dans ce cas, l'analyse des répercussions que ces évolutions pourraient avoir sur l'exploitation des ressources naturelles présentes dans la zone nous a paru importante à réaliser.

I. ZONE CONTINENTALE

Sur la retenue de Garafiri

Sur la zone de battement de la retenue (de 328 m à 350 m), la végétation a entièrement disparu. Seuls les arbres morts sont resté en place. Le sol dénudé subi 2 types d'érosion :

- Erosion due aux vagues et aux variations de niveau : Formation de "marches d'escalier" et glissement des matériaux vers le fonds.
- Entraînement des matériaux en saison des pluies lorsque la retenue n'est pas encore remplie : On observe un zone de plusieurs mètres d'eau turbide sur tout le pourtour de la retenue.

Aux abords immédiats du barrage, la végétation n'a pas repris au niveau des zones décapées et des zones d'emprunt. On y observe des figures d'érosion importantes : ravinement, glissement de terrain localisés...

Sur le Konkouré en aval du barrage

Les observations faites sur le terrain ne montrent aucune modification significative des berges au niveau des sections transversales (stations K04-A, K07, K08, K11). Pour conforter cette observation, notons que les courbes d'étalonnages (hauteurs échelles / débits) sont restées inchangées depuis la création des stations (voir volet "Ecoulement des eaux continentales"). Mais, les stations ayant été systématiquement implantées au niveau de sections stables (seuils rocheux, fond stable...), il n'est pas exclu que des modifications aient pu se produire sur d'autres biefs. Ainsi, les variations quotidiennes de débits (de # 25 m^3/s à # 100 m^3/s) ainsi que les arrêts et les reprises brutales d'exploitation de l'usine de Garafiri ont probablement un impact sur la morphologie du lit du Konkouré, notamment sur la zone la plus profonde du lit mineur : remaniement des sédiments de fond, arrachement des berges...

II. ZONE ESTUARIENNE

II.1. LES ACTIONS ANTHROPIQUES SUR L'ESTUAIRE

II.1.a. Les activités

Les principales activités humaines qui s'exercent dans la zone estuarienne sont la pêche, la culture (dont celle du riz occupe une place prépondérante), l'exploitation du bois de palétuviers, et enfin l'exploitation du sel . Les réactions de ces diverses activités en réponse aux variations environnementales dues aux aménagements sur le cours du fleuve seront bien entendu diverses et graduelles (pêche et saliculture seront vraisemblablement les premières concernées) mais toutes sont sensibles à plus ou moins long terme à des changements de l'écosystème.

II.1.b. Les aménagements

Hormis les ponts qui enjambent le Konkouré à Tanéné (km 38 par rapport à l'embouchure) dont la construction dans les années 50 a mis fin à l'activité du bac de Wassou, et de petits pontons d'accès à quelques ports construits plus récemment par l'Observatoire de la Mangrove, (dont la plupart sont actuellement à l'état de ruines), il n'existe aucun aménagement notable récent sur l'ensemble de l'estuaire.

II.2. PROTOCOLE D'INTERVENTION EN GEOMORPHOLOGIE ESTUARIENNE

Le protocole d'intervention du projet qui se tient à l'amont des préoccupations décrites ci-dessus prévoit pour cette opération un contrôle de profil du lit ainsi que la description des faciès d'écoulement, des types de substrat, la mesure des hauteurs de berges, les figures d'érosion et de sédimentation, le positionnement du trait de côte et un suivi de l'état de la couverture végétale.

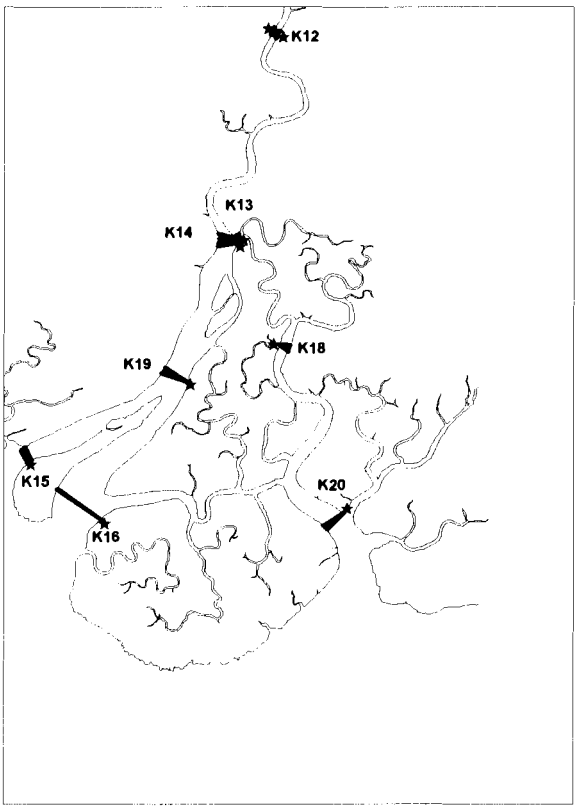


Figure 78 : Carte de situation des profils bathymétriques
(les étoiles représentent les mises en station du geodimètre)

Les profils des campagnes 1998 et 2000 ont été levés par échosondeur 400 KHz, tandis que ceux de la campagne 2001 l'ont été par le sondeur 600 KHz (« Bottom Tracking ») d'un profileur de courant par effet Doppler (ADCP), à la suite de la défaillance irréparable du sondeur après les deux premiers profils obtenus sur la station K15 . Un inconvénient en résulte donc pour la comparaison des profils réalisés avec deux instruments aux caractéristiques sensiblement différentes. Nous serons donc amené à souligner les incertitudes qui, dans certains cas, affectent la qualité de la comparaison des évolutions de fonds.

Les profils de mesure ont été positionnés au moyen d'un théodolite–tachéomètre laser de type Géodimeter. Ce positionnement précis était complété par un enregistrement au GPS de chaque point de manière à pouvoir contrôler ensuite le positionnement et l'allure des profils sur fond cartographique (en l'occurrence une scène SPOT) grâce à un logiciel de transfert des marques de routes "Waypoints" du GPS vers un PC.

II.2.a. Déroulement de la campagne février 2001

Au total 37 profils ont été levés : K12-1 à K12-9 (+ le profil central inverse); K13-1, -3, -4 ; K14-1, -3, -5 ; K15-1 à 15-11 ; K16-1 ; K18-1, -2, -3 ; K19-1, -2, -3 et K20-1, -2, -3. Mais seuls 30 profils ont pu être exploités en raison des limitations liées à certaines contraintes d'utilisation de l'ADCP.

Comme pour tous les profils de la mission de février 2000, nous avons été conduit à appliquer systématiquement une correction de niveau de façon à effacer les effets instantanés de la marée et à retrouver la situation du niveau relatif du premier profil levé, soit en 1998 soit en 2000. Cette correction résulte de la recherche du meilleur ajustement possible, défini comme celui qui entraîne le minimum de modifications générales. De plus, sauf pour les profils 15-1 et 15-2, exploités selon une méthodologie identique à celle utilisée pour les levés de 1998 et 2000, il a fallu parfois compenser un décalage en distance observé sur certains profils ADCP. Le caractère non systématique de ces écarts demeure intellectuellement gênant et, par conséquent, dans l'interprétation et surtout dans la discussion sur les changements éventuels, on a, par prudence, tenu compte de cette incertitude.

D'une manière générale, l'exploitation des profils ADCP en bathymétrie donne des résultats satisfaisants mais quelques particularités sont à souligner. Une première remarque à caractère général est que lorsque la profondeur est trop faible, la partie de l'enregistrement non mesurée (estimée par modèle) est proportionnellement trop importante pour que l'acquisition se fasse. En conséquence, certains profils réalisés n'ont pu être exploités, en basse mer aux K12 et K13 notamment.

En second lieu, il apparaît que la distinction entre le fond vaseux compact et la crème de vase qui le surmonte sur certains profils n'est plus possible. Le transducteur de haute fréquence de l'ADCP émet un signal fortement affecté par la plus faible des différences d'impédance acoustique pouvant survenir. En conséquence, la totalité de l'énergie est réfléchie par le réflecteur constitué par la surface de la crème de vase ; du moins si celle si est immobile. Cela est bien visible sur les profils K12 et K13 ; sans doute aussi en K14-3 et peut-être K14–5. Dans le cas de fonds mobile, l'ADCP est inopérant.

Enfin, il faut remarquer que la donnée ADCP est beaucoup moins lissée que la donnée sonographique en raison de la haute fréquence d'acquisition des mesures (environ 1 Hz). De faibles différences d'un enregistrement au suivant ne sont donc pas forcément significatives.

II.3. RESULTATS

Les profils sont présentés en annexe sur des graphiques qui rassemblent les données obtenues en 1998/2000/2001 (17 cas) et 2000/2001 (13 cas).

II.3.a. Représentation des résultats

La morphologie du fond est restituée à partir des enregistrements bathymétriques, sous forme de courbes « distance – profondeur en mètres » Les profils sont ensuite réajustés pour tenir compte des variations du niveau des eaux différents à chaque campagne de levers. Les profils sont représentés graphiquement avec rive droite à droite ; quelques présentations font exception, une indication le précise dans ces cas là.

II.3.b. Analyse des résultats

L'analyse comparative des profils enregistrés au cours des trois campagnes : novembre 1998, février 2000 et février 2001 montre :

- K12 : peu de changements par rapport à février 2000. L'ADCP montre la surface de la crème de vase qui occupe une surface subhorizontale.
- K13 : La qualité des enregistrements est trop hétérogène pour qu'on puisse valablement observer des changements significatifs. Sur K13.3 (Figure 79), le chenal principal de la Sankiné paraît être également occupé par de la crème de vase, comme cela avait été remarqué en février 2000. K13.3 est le premier profil complet qui ait été obtenu sur cette trace. Les deux lits distincts de la Sankiné et du Konkouré sont séparés par une large crête. En rive droite (côté Konkouré) le fond, assez plat, se décolle de la morphologie enregistrée en février 2000. Peut-être y a-t-il là aussi un signe de l'existence d'une crème de vase dans ce chenal. Cette hypothèse est d'autant plus crédible qu'on la rencontre dans le chenal de rive droite sur K14.3. (Figure 80).

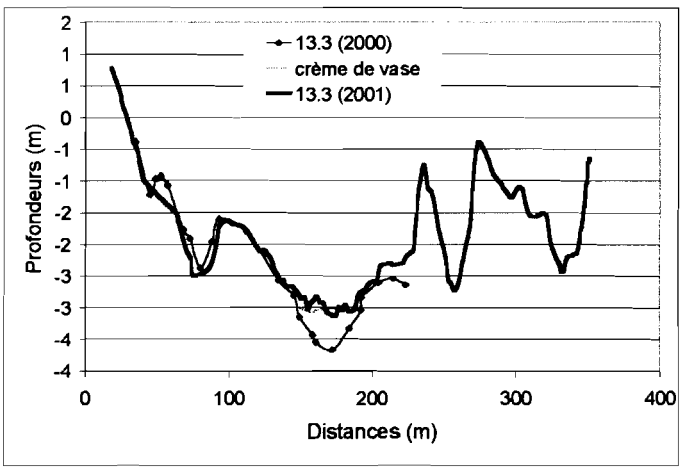


Figure 79 : Comparaison des profils K13.3 de février 2000 et février 2001

- K14 : Les trois profils faits à partir de cette station (K14.1 profil central, K14.3 vers l'amont, à 12,5 grades du profil central et K14.5 vers l'aval, à 6,3 grades du profil central) montrent un bon ajustement des fonds de 2000 et 2001 au niveau de l'épaulement (vers –2 mètres) mais, par contre, des changements variables se produisent en rive droite du chenal principal et une érosion affecte les trois profils en rive gauche. Cette érosion correspondrait à une perte de matériel de l'ordre de 20 à 50 m3 par mètre de rive.

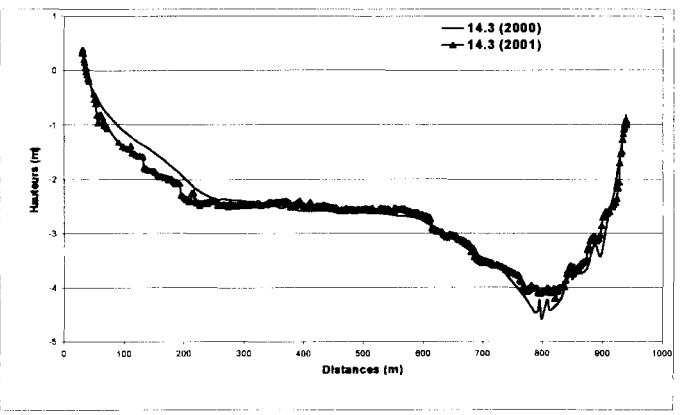


Figure 80 : Evolution de la morphologie du fond à la section K14.3, de 2000 à 2001

- K15 : Les deux profils K15.1 et K15.2 ont été réalisés en sondage bathymétrique par la méthode employée lors des levés antérieurs (échosondeur Eagle 400KHz) ; cela rend d'autant plus intéressantes des similitudes que l'on observe sur l'ensemble des 11 profils de cette station de Bokhnéné. Le meilleur ajustement fourni pour les profils indique un faible creusement dans l'axe du chenal avec, à l'opposé, une remontée légère des fonds de l'épaulement de rive droite vers -4/-4,50 m (Figure 81). Cependant, compte tenu des nombreux ajustements qu'a nécessité le tracé de ces profils, il est difficile d'être affirmatif. Si les remarques faites plus haut sont exactes, il y aurait une compensation de l'évolution observée entre 1998 et 2000 qui était en sens inverse. Mais tout cela reste très conjectural.

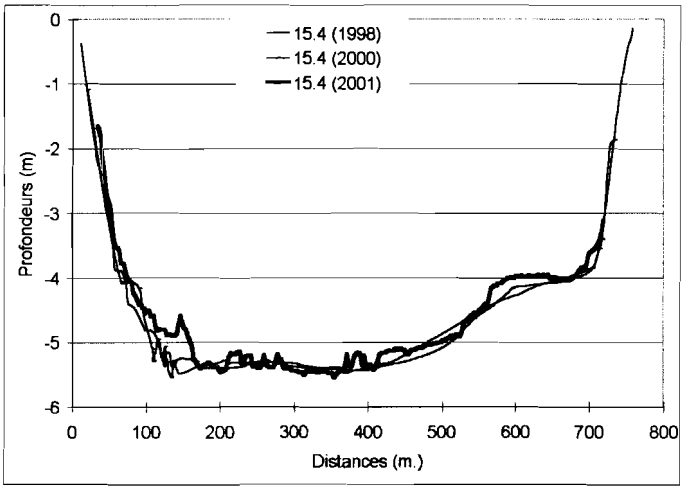


Figure 81 : Evolution de la morphologie du fond à la section K15.4, de 1998 à 2001

- K16 : Là encore, de grosses difficultés d'ajustement. Cependant quelle que soit la marge d'erreur réelle, un certain nombre de changements lui sont significativement supérieurs. Ils concernent notamment les deux levées du chenal principal de rive gauche qui se déplacent l'une et l'autre vers celle-ci, en direction sud, de 50 à 100 m environ. Il y aurait au total cependant moins de différences entre 2001 et 2000 qu'entre ce dernier et le levé de novembre 1998.
- K18 : Après correction de distance sur les trois profils, l'ajustement est de très bonne qualité et fait apparaître un dépôt d'épaisseur décimétrique dans le chenal
- K19 : Les trois profils révèlent les mêmes modifications. Le chenal de rive gauche s'élargit et il y a un dépôt en rive droite qui subsiste même si on cherche à corriger une éventuelle distorsion sur l'échelle de distance.
- K20 : Même observation que pour K19 en ce qui concerne le dépôt mais ici il est observé en rive gauche.

II.4. CONCLUSION

Il y a finalement peu d'évolutions notables qui traduiraient un changement majeur du régime morphodynamique de l'estuaire. Des retouches existent mais elles sont le plus souvent dans la fourchette d'erreur, certes élargie ici en raison de la modification de la méthode de levé bathymétrique auquel on a dû procéder cette année. Lorsque les variations sont hors de cette marge, elles ne sont pas pour autant significatives parce qu'elles demeurent modestes et jouent parfois en compensation des changements antérieurs.

EVOLUTION SEDIMENTAIRE

I. OBJECTIF

L'opération 2.3 a pour objectif le suivi de la dynamique sédimentaire de l'estuaire du fleuve Konkouré, ceci comprend la mesure des apports de MES par le fleuve, les mouvements des sédiments en suspension dans l'estuaire et à l'embouchure et enfin la caractérisation des dépôts sédimentaires. Cette opération est indissociable de celle concernant l'hydrodynamique.

II. INTRODUCTION

La côte de l'Afrique de l'Ouest comprise entre Dakar et Monrovia est marécageuse. C'est un milieu à sédimentation fine sur lequel s'est développée une forêt de mangrove.

Le littoral guinéen qui s'étend sur environ 300 Km de long est bordé par un plateau continental considéré comme le plus large de l'Afrique de l'Ouest. Sur cette zone vivent d'intenses activités socio-économiques, son relief est très peu accidenté.

La côte guinéenne est une côte basse à rias caractérisée par un grand développement du domaine intertidal, qui atteint jusqu'à 30 Km de profondeur. Ce domaine est occupé par une forêt de mangrove qui, selon les estimations de la FAO en 1981, couvre quelques 260 000 hectares. Ce développement est lié à un marnage exceptionnel, qui atteint 4, 20 m en front de mer et jusqu'à 7 m en fond d'estuaire. L'importance du marnage est liée à la largeur du plateau continental au droit de la Guinée. Cette forêt de mangrove est drainée perpendiculairement par de nombreux estuaires et sillonnée par des cordons sableux parallèles à la côte. L'existence des cordons nous permet de distinguer deux types de plaines littorales (plaine de front de mer et plaine estuarienne).

Les sédiments des mangroves tropicales présentent partout des propriétés comparables, étant entendu que l'intensité de certains processus varie selon les conditions pédoclimatiques locales.

Les sédiments sont issus de l'ennoiement limono argileux du littoral depuis la remontée eustatique du nouakchotien dont le maximum fut atteint il y a environ 5000 ans. La faible pente du Plateau Continental, qui connaît son extension maximum au large de la Guinée, favorise l'existence de marées de fortes amplitudes mobilisant d'importantes quantités de sédiments qui, en se déposant le long des côtes ont crée ces marais maritimes tropicaux. Les variations d'épaisseur de dépôts des profils sont liées au cycle des marées.

D'un point de vue sédimentaire les estuaires ont trois sources d'apport dont l'importance varie selon les conditions : les apports continentaux qui transitent d'amont en aval et qui dépendent de la géologie du bassin versant, de sa végétation, de sa géographie, de sa climatologie, de son hydrologie et enfin de la capacité de l'estuaire à piéger les sédiments. Les apports marins côtiers pénètrent, eux, dans les estuaires par l'action combinée de la marée et de la houle. Enfin les apports provenant directement de l'érosion des berges de l'estuaire seront fonction même de la nature même des rives et du débit du fleuve, de l'action de ses courants. Ainsi toute modification d'origine anthropique, dans un estuaire ou plus en amont, aura des répercutions sédimentaires, dynamiques et biologiques a plus ou moins long terme au sein de cet environnement fragile.

III. GEOLOGIE DE LA ZONE

La partie littorale de la Guinée est formée de bandes péricontinentales plissées dont les structures se prolongent sous la mer. De haut en bas on retrouve les sédiments méso cénozoïques du bassin côtier, les sédiments de la couverture plateformienne du paléozoïque et de l'infracambrien, le tout reposant sur les roches archéennes du craton Ouest Africain.

De nombreuses failles ont été relevées tant dans le socle que dans la couverture. Ces failles sont généralement de direction N et S. Les premières sont parallèles à la ligne de côte. Les secondes appartiennent à la zone d'activation de la période mésozoïque. Elles coïncident avec les lits des cours d'eau actuels. Le lit du fleuve du Konkouré coïncide justement avec une ligne de faille aboutissant en mer. C'est la grande faille du Konkouré.

Les côtes guinéennes représentent une succession d'estuaires, de promontoires rocheux, de plages et de vasières. Leur origine serait en rapport avec les failles dont on fait état plus haut.

Les côtes s'engraissent du fait de la présence des zones alluvionnaires.

IV. LE DEBIT SEDIMENTAIRE DU FLEUVE KONKOURE

IV.1. LES DONNEES ANTERIEURES

Dans ce domaine nous disposons de fort peu de données anciennes.

Orange (1992) a proposé une estimation de l'ordre de 80 000 T/an d'expulsion de matière en suspension à l'océan par le fleuve Konkouré à partir de l'étude de l'abrasion mécanique et de l'érosion chimique du haut bassin.

Wolansky (1995) cite une communication personnelle de S.Barry qui estimait les débits moyens de l'ordre de 27000 T/an avec des maxima à 50000 T/an, mais qui paraissent selon l'auteur sous évalués.

IV.2. LES FLUX DE MATIERES ECHANTILLONNES PENDANT LE PROJET

Des prélèvements de 250 ml sont effectués tous les trois jours pendant l'étiage et quotidiennement en saison des pluies, à la station de Yékémato (K11). Les MES sont recueillies sur filtres millipores 45µ en laboratoire.

Le Tableau 48 récapitule ces mesures et les estimations des tonnages de matières particulaires qui ont transité à yékémato au cours des trois dernières années d'observation (voir Figure 15 page 43).

période	Concentrations moyennes de MES (mg/l) sur la période	Débits moyens à K11 (m3s-1)	Tonnages
2000	7.73	435	90706
2001	7.49	479	128156
2002	5.11	420	96947

Tableau 48: Estimation de l'apport en MES du Konkouré à l'estuaire.(les tonnages sont calculés par intégration des données et non avec les valeurs moyennées sur l'année).

Ainsi environ 100 000 T de MES transitent chaque année à la station de Yékémato vers l'estuaire dont la surface totale de dépôt des vasières est approximativement de 320 km² (Wolansky, 1995) soit une épaisseur de dépôt potentielle de 0.15 mm/an, pour une masse volumique de 2 g/cm3 si tous ces dépôts sont stockés dans la mangrove.

IV.3. LA MINERALOGIE DES MES

Les caractéristiques minéralogiques des matières en suspension transitant à Yékémato ont été déterminées par diffractométrie des rayons X.

Etant donné les faibles concentrations en MES des eaux fluviales, et afin de disposer d'échantillons en quantité suffisante pour ce type d'analyse nous avons dû regrouper les matières retenues sur filtres millipores par période de 15 jours . Nous avons ainsi réalisé trois échantillons synthétiques pour les périodes suivantes:

- 1ère quinzaine de juillet 2001
- 1ère quinzaine d'août 2001
- 1ère quinzaine de septembre 2001

Les trois diffractogrammes correspondants sont présentés dans la Figure 82.

L'essentiel des MES analysées est constitué de matériel amorphe, comprenant de façon qualitative et non différencié par ce type d'analyse, de la matière organique (M.O) et des hydroxydes (sans doute d'aluminium et de fer); ceci serait à confirmer par analyse chimique. Le reste, la fraction minérale qui représente moins de 10% notamment pour les échantillons de juillet et septembre, est constitué essentiellement de quartz (Q) et d'argile de type kaolinite (K), on trouve également semble t il des traces d'illite (I).

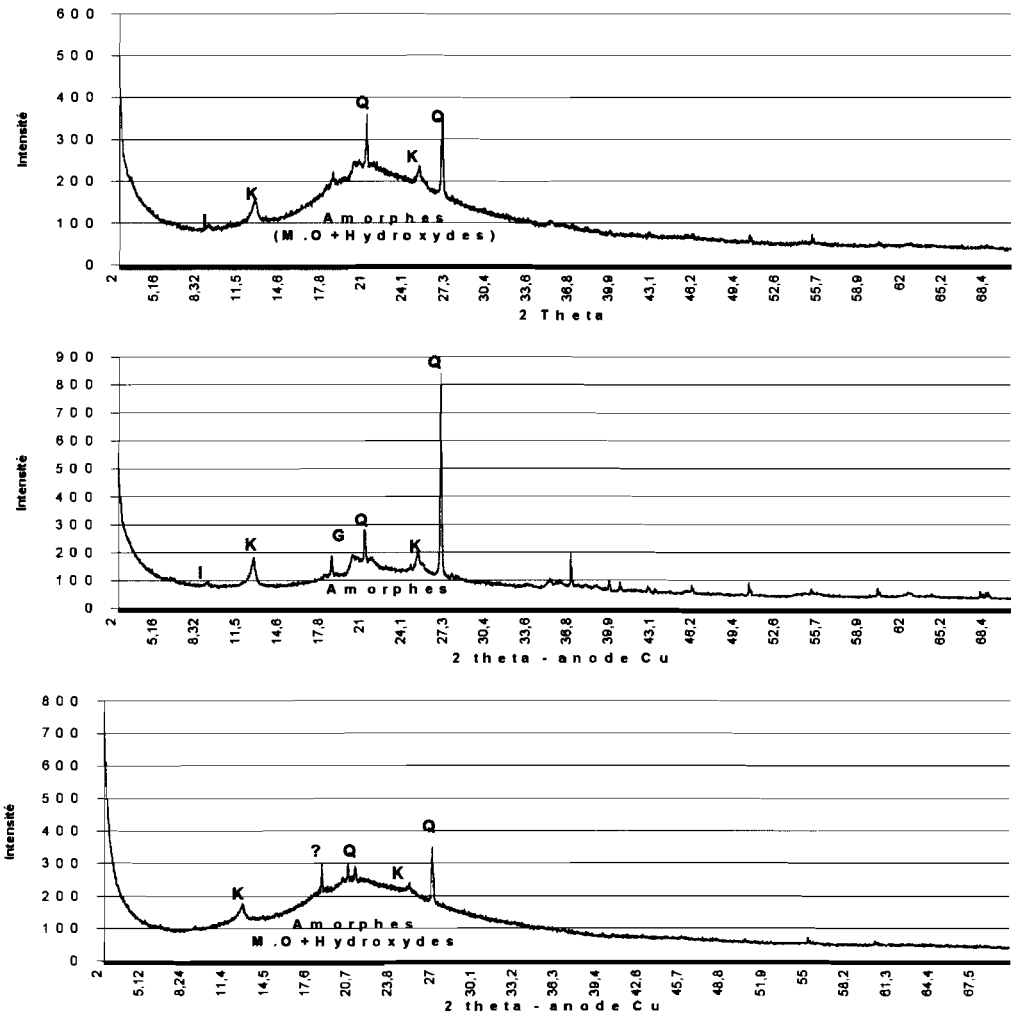


Figure 82: Diffractogrammes X d'échantillons de MES prélevés à Yékémato, avec respectivement à partir du haut: 1ère quinzaine de juillet, 1ère quinzaine d'août, et enfin 1ère quinzaine de septembre 2001

IV.4. LA NATURE DES MATIERES EN SUSPENSION

Les sédiments en suspension (MES) échantillonnés lors de la remontée saline du 10/08/02 ont été analysés pour préciser les teneurs en Carbone Organique (CO). Ces analyses ont été effectuées au DGO de Bordeaux 1 et les résultats nous indiquent que les échantillons prélevés contiennent de 1,9 à 3,6% de CO (la moyenne est de 2,76% de CO), ce qui est relativement important. On trouve en comparaison des valeurs de 1,5% dans la Gironde, 3 à 3,5% dans la Loire et 4% dans la seine, considérée comme très chargée.

Il faut toutefois rappeler qu'en raison du fort déséquilibre hydrologique, ces teneurs en CO ne sont pas constantes toute l'année et que nous avons ici les teneurs les plus élevées de l'année. En effet, le début de la saison des pluies (qui a été tardive en 2002) est la période où les sédiments sont les plus chargés en MO, les premières pluies lessivent les sols et nettoient le bassin versant. Les sédiments et les dépôts de surface vont donc concentrer la matière organique (MO) préférentiellement à ce moment, piégeant la MO issue du bassin versant (culture sur brûlis, déchets organiques) ainsi que celle directement issue de la mangrove de l'estuaire. Les teneurs en CO seront donc maximales en début de saison des pluies et expliquerait les valeurs importantes mesurées.

IV.5. LA TURBIDITE

La turbidité peut traduire soit uniquement la charge des eaux estuariennes en matières en suspension (minérales ou organiques) soit cette charge en SSC mais comprenant également la matière dissoute; tout dépend de la méthode de mesure utilisée.

Tout d'abord nous n'observons que peu de variation de la turbidité sur la colonne d'eau : les turbidités de surface et de fond sont très proches.

En étiage :

Durant les ME, les turbidités restent faibles en surface comme au fond, excepté à la station K15 où l'on observe une nette augmentation lors du flot en profondeur, cette augmentation n'apparaît en surface qu'en fin de jusant. Il apparaît donc qu'un effet d'hystérésis est responsable de ce décalage.

Durant les VE, les turbidités de surface sont inférieures ou égales aux turbidités du fond. La turbidité moyenne de l'estuaire est de 0,25 g/l. En K15 l'augmentation de la turbidité apparaît en même temps en surface et au fond avec des valeurs inférieures en surface. En K16 les turbidités du fond atteignent 7 g/l en jusant alors qu'elles restent modérées en surface à 1 g/l. Une forte augmentation apparaît à mi-jusant (7,5 g/l) et perdure jusqu'en début de flot à 3 g/l. La turbidité maximale est cependant observée lors de l'étale de flot avec des valeurs supérieures à 10 g/l.

Une remarque importante doit être faite concernant la turbidité dans l'estuaire en période de crue. La turbidité est maximale pendant une première période de la crue mais ensuite elle diminue considérablement. Les premiers ruissellements entraînent les particules meubles facilement déplaçables mais, après un premier lessivage, la quantité de matériaux érodables diminue considérablement. En outre, au cours de la décrue la pluie a cessé ou est moins violente et le ruissellement est lui-même moins intense. Ces remarques justifient les faibles teneurs en suspension constatées dans le Konkouré pendant la période de grand débit, surtout comparé aux turbidités observées en période de débit moyen ou d'étiage (Berthois 1967).

Ainsi en fin de crue, et pour des ME la turbidité est constante sur un cycle de marée dans tout l'estuaire et varie peu autour de 0,35 g/l.

Durant la crue en VE la turbidité est de 0,1 g/l en amont et de 0,35 g/l partout ailleurs. Elle augmente jusqu'à 1 g/l dans l'estuaire médian et de 3,5 à 5 g/l aux embouchures durant le jusant. Dans le chenal de la station K16 on observe un fonctionnement inverse par rapport aux autres stations et sa turbidité augmente de 0,1 à 5 g/l durant le flot. La turbidité augmente partout en jusant sauf en K16 ou elle augmente au flot.

V. LES SEDIMENTS ESTUARIENS

V.1. CARACTERISTIQUES GRANULOMETRIQUES DES SEDIMENTS

Les échantillons prélevés en septembre 1998, avril 1999, décembre 1999, avril 2000 et une partie de ceux de novembre 2000 (une vingtaine) ont été analysés au granulomètre Coulter Laser du CERP de Tautavel de l'Université de Perpignan.

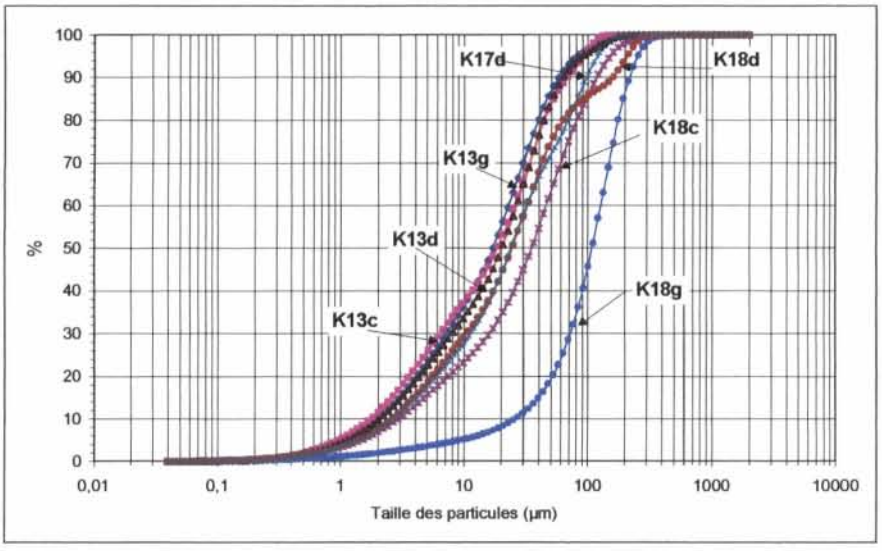


Figure 83 : Courbes granulométriques cumulatives des sédiments de la Sankine

L'analyse granulométrique des sédiments réalisée à partir des résultats obtenus au granulomètre laser Coulter ne peut être comparée qu'à des résultats obtenus avec des systèmes de mesure similaires ; en aucun cas avec des mesures par décantation (pipette d'Andreasen ou "Sedigraph"). Il en résulte que les dimensions et les indices généralement tirés de la lecture des courbes granulométriques sont peu informatifs car ils ne se rattachent pas à des gammes de valeurs qui se transcrivent aisément dans l'expérience de chacun.

On présentera tout d'abord les caractéristiques granulométriques des sédiments prélevés sur les profils de référence puis on précisera les différents types sédimentaires rencontrés à l'aide d'une analyse modale. Celle ci est réalisée notamment à partir des courbes granulométriques cumulatives (Figure 83),

V.2. LA NATURE DES SEDIMENTS AUX STATIONS DE REFERENCE

La nature des sédiments aux stations de référence est résumée dans les 3 figures suivantes sous formes de camembert avec les pourcentages relatifs de chaque classe granulométrique.

Cette analyse, couplée à l'analyse modale va nous permettre de définir les types sédimentaires présents.

➢ Campagne de septembre 1998

En Septembre, l'importance des débits fluviaux de crue engendre un véritable effet de chasse dans l'estuaire qui permet de remobiliser les bancs de vases sur les berges et sur les fonds pour les expulser en mer (Figure 84).

➢ Campagne de décembre 1999

La Figure 85 correspond au mois de décembre 1999, on remarque qu'il y a un affinement qui s'installe dans la composition granulométrique des sédiments de fond de l'estuaire du Konkouré. Sur les (24) vingt quatre échantillons analysés un seul contient du sable > 200 µm à 100 % ; c'est la station K19 C et, deux autres stations K15 G et K16 G ont dans leur composition les quatre composantes (de < 2 µm à 200 µm).

Nous l'avons vu précédemment, au cœur de la saison des pluies les forts débits fluviaux évacuent une grande partie des MES de l'estuaire en mer et aux embouchures, en nettoyant les berges et les fonds de la vase non consolidée.

En décembre la décroissance des débits fluviaux permet aux agents dynamiques que constituent la marée, la houle et le vent, de remobiliser les vases dans l'estuaire et à l'embouchure. En effet les vases évacuées sur le Plateau Continental en pleine saison des pluies sont réinjectées dans l'estuaire lorsque la marée reprend une action significative au regard des débits fluviaux décroissants.

Ainsi au cours de cette campagne réalisée à la fin de la crue, où l'on observe un relatif calme dynamique (moins de vent et sans pluie) on assiste à un dépôt des fines.

➢ Campagne d'avril 2000

Le mois d'avril 2000 correspond à un ensablement général de l'estuaire toutes les 18 stations sans exception aucune contiennent dans leurs composition du sable compris entre 40 µm et > 200 µm (Figure 86). Les argiles inférieures à 2 µm et les silts compris entre 2 µm et 40 µm se rencontrent dans tous les échantillons analysés sauf à K19 G et K16 C.

En Avril, en pleine saison sèche, les deux agents dynamiques antagonistes que sont la marée et les débits fluviaux ont inversé leur rapport de force comparé à la situation de crue. En étiage la marée est dominante et remobilise les sables littoraux en les réintroduisant dans l'estuaire. On note d'ailleurs leur présence jusque loin en amont. Ces sables sont principalement des sables marins mais ils contiennent également une fraction de sables fluviatiles, mobilisés en aval lors de la crue précédente. Il en est évidemment de même avec les vases qui sont réintroduites dans l'estuaire, avec une migration plus en amont de ces dernières (au front de salinité).

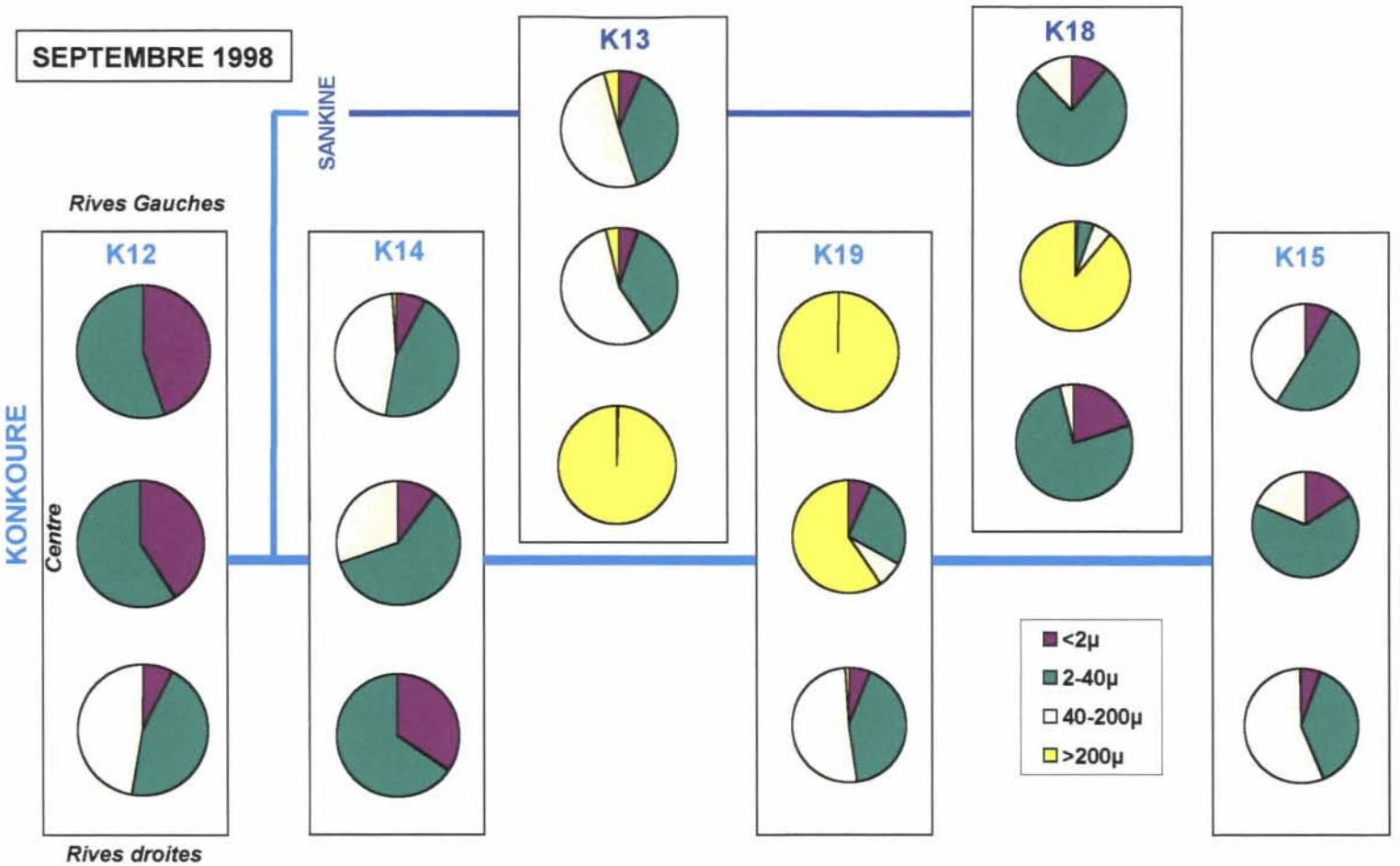


Figure 84: Pourcentage relatifs des différentes classes granulométriques au sein de l'estuaire en Septembre 1998

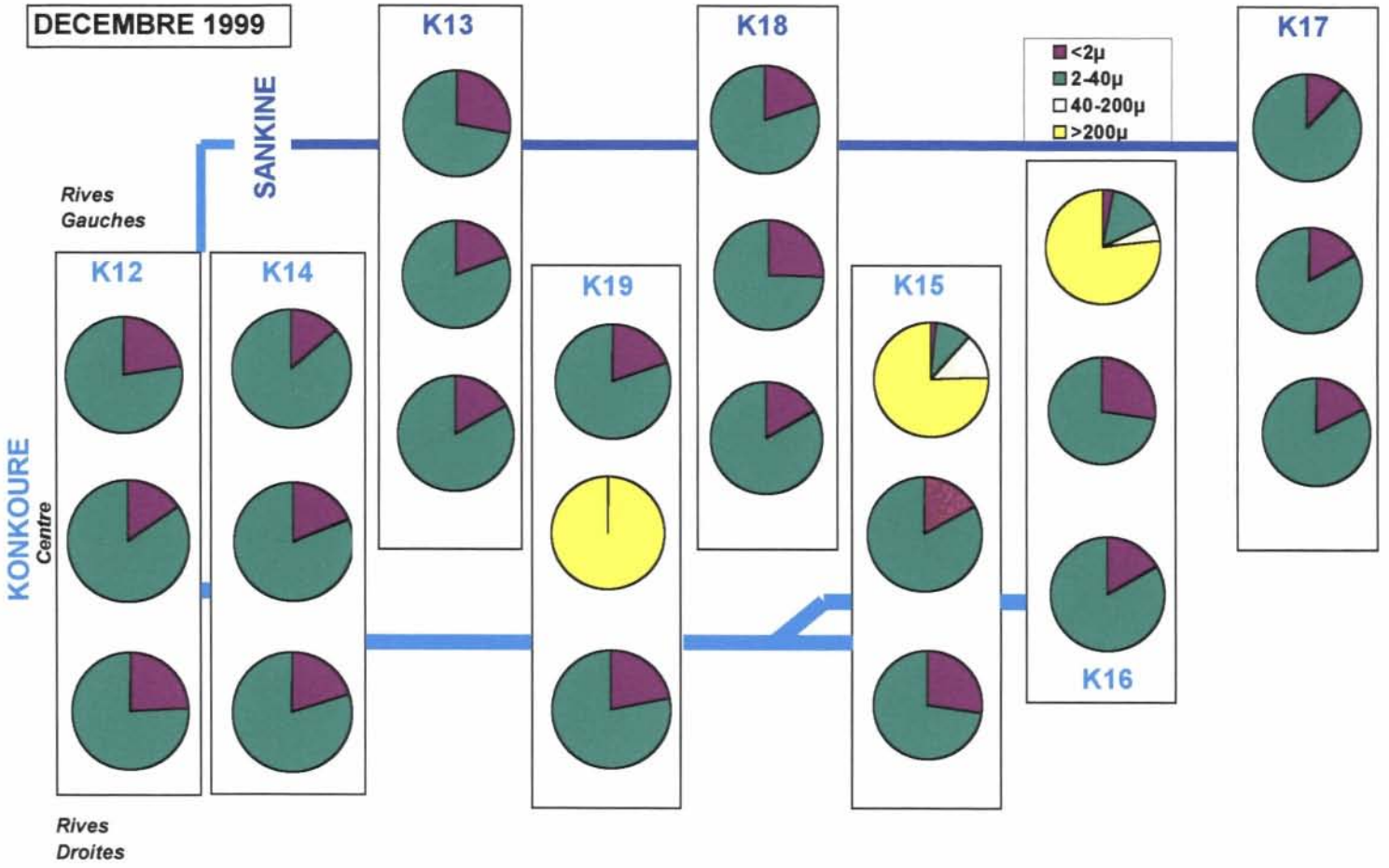


Figure 85: Pourcentagse relatifs des différentes classes granulométriques au sein de l'estuaire en Décembre 1999

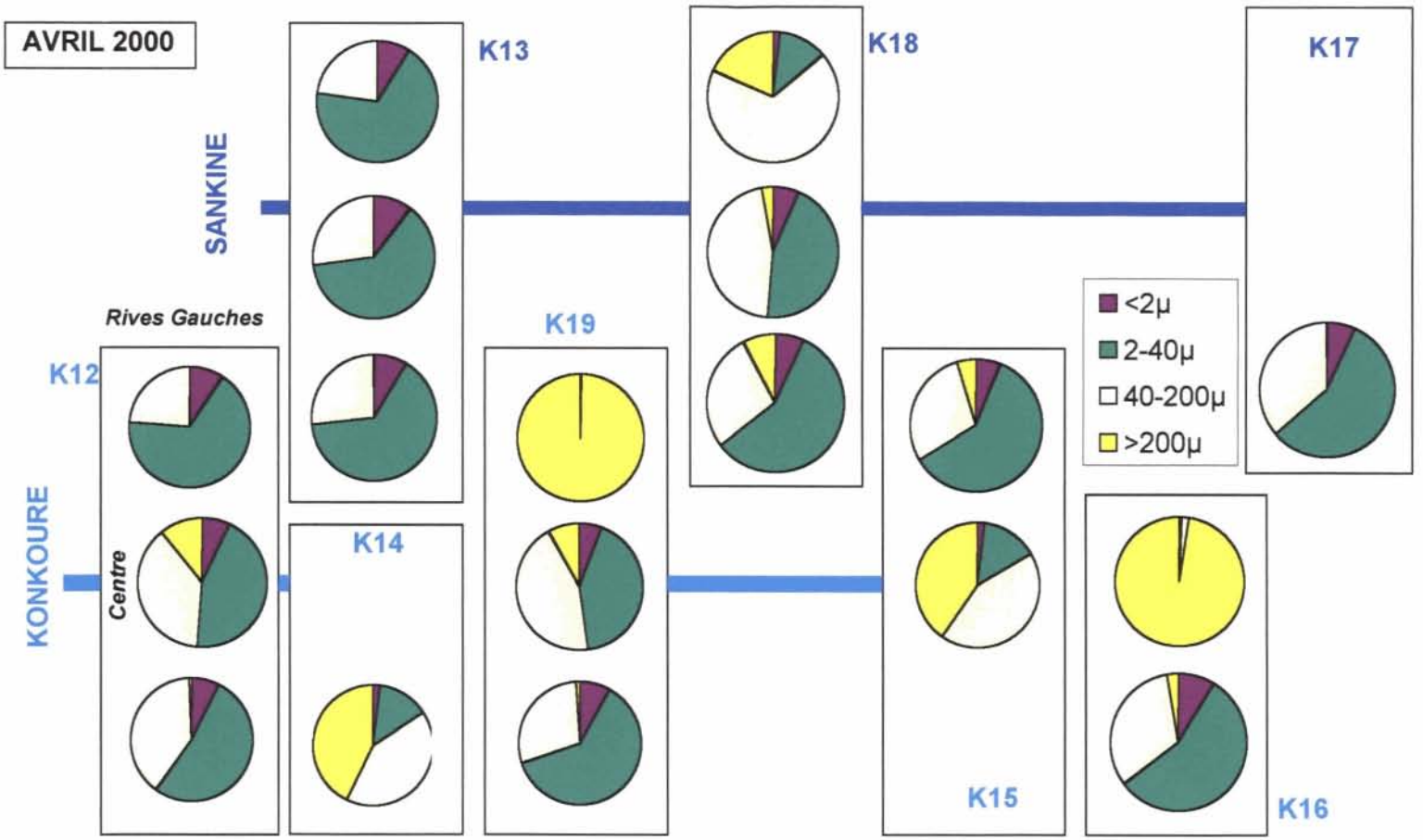


Figure 86: Pourcentage relatifs des différentes classes granulométriques au sein de l'estuaire en Avril 2000

V.2.a. L'analyse modale

On rappelle que l'analyse modale souligne l'intérêt qu'il y a à séparer entre elles les populations constitutives d'un assemblage granulométrique quelconque.

Chaque population est considérée comme porteuse d'une histoire sédimentologique spécifique dont les péripéties (origine des matériaux, type de contraintes hydrodynamiques subies, modalités de transport – dépôt) sont caractéristiques de l'environnement.

Pour chaque population, une valeur est mise en évidence : la dimension centrale (mode) de la distribution granulométrique. Un sédiment uni modal est défini par la présence d'une seule population caractérisée par une seule valeur modale (dimension des grains les plus fréquents dans le sédiment). Un sédiment plurimodal est caractérisé par plusieurs modes granulométriques qui représentent chacun l'influence d'un type de processus actif dans l'environnement. En outre, chaque population, supposée distribuée selon un mode log normal, est également définie par l'importance (en pourcentage) qu'elle occupe dans le sédiment.

Le résultat est symbolisé par une formule modale Tableau 50 pour les sédiments du bras principal, et Tableau 49 pour ceux de la Sankiné, dans laquelle figurent la valeur modale (en micromètres) et le pourcentage correspondant à la population qu'elle représente, noté entre parenthèses.

Ainsi dans le Tableau 5, l'échantillon K12c de septembre 1998 est-il caractérisé par la présence d'une seul population (100 % du sédiment) centrée sur la valeur de 5,5 μm tandis que pour l'échantillon K12d, on trouve deux populations : la plus importante (90 %) autour de 50 μm et la population subordonnée (10 %) autour de 5 μm ; d'où la formule : 50 (90) + 5 (10). Nous avons utilisé la nomenclature des échantillons telle qu'elle figure dans les relevés du PIG (avec, en particulier, un échantillonnage plus diversifié en position pour la campagne de novembre 2000).

	Sept 1998	Avril 1999	Déc 1999	Avril 2000
K13c	55(85) + 5(15)		5(95) + 0,5(5)	35(60) + 4(40)
K13d	900(100)		4(80) + 0,5(20)	150(5) + 35(55) + 4(40)
K13g	55(85) + 5(15)		5(95) + 0,5(5)	30(70) + 3(30)
K18c			5(95) + 0,5(5)	45(70) + 4(30)
K18d			6(95) + 0,5(5)	200(15) + 35(45) + 6(40)
K18g			5(95) + 0,5(5)	150(100)
K17c			6(95) + 0,5(5)	100(30) + 25(40) + 6(30)
K17d			6(95) + 0,5(5)	
K17g			7(100)	

Tableau 49 : Distributions modales des sédiments de la Sankiné

	Sept 1998	Avril 1999	Déc 1999	Avril 2000	Nov 2000
K12c	5,5(100)	9(100)	20(95) + 0,5(5)	250(5) + 40(60) + 4(30)	
K12d	50(90) + 5(10)	9(95) + 0,5(5)	5(95) + 0,5(5)	45(60) + 4(40)	
K12g	5,5(100)	9(95) + 0,5(5)	5(95) + 0,5(5)	35(55) + 5(45)	
K14c	45(80) + 5(20)	450(75) + 30(25)	7(90) + 0,5(10)		
K14d	7(100)	8(90) + 0,7(10)	6(90) + 0,5(10)	800(10)+150(9)	
K14g	50(90) + 5(10)	10(100)	8(95) + 0,5(5)		
K15c	30(70) + 3(30)	1000(95) + 30(5)	7(95) + 0,5(5)	150100)	K15b : 40(65) + 3(35)
K15d	50(100)	700(10) + 120(45) + 10(45)	7(90) + 0,5(10)	200(10) + 25(70) + 3(20)	
K15g	50(80) + 3(20)	600(90) + 30(10)	30(85) + 0,7(15)	200(10)+ 30(90)	
K16c	450(95) + 25(5)	6(85) + 0,6(15)	5(95) + 0,5(5)	1000(10) + 500(90)	K16b : 60(90) + 3(10)
K16d	20(100)	450(95) + 30(5)	6(95) + 0,5(5)	150(10) + 35(55) + 4(35)	550(100)
K16g	25(60) + 2(40)	700(5) + 200(50) + 15(45)	350(80) + 30(5) + 5(15)		K16f: 550(100)
K19c	1000 (60) + 25(30) + 3(10)		600(100)	600(5) + 50(70) + 4(25)	
K19d	45(100)		5(95) + 0,5(5)	35(70) + 4(30)	
K19g	650(100)		5(95) + 0,5(5)	550(100)	
P0eb					450(100)
P3eb					60(80) + 3(20)
P3ec					550(100)
P3ed					350(100)
P4eb					600(100)
P4ec					550(100)
P4ed					650(5) + 70(80) + 3(15)
P6wa					55(80) + 3(20)
P7ec					450(100)
P12a					200(90) + 3(10)
P12b					900(100)
P12c					400(100)
P14a					600(5) + 50(75) + 3(20)
P14c					65(90) + 3(10)
P15b					450(100)
P23a					1000(10) + 190(80) + 3(10)
P25b					600(15) + 60(70) + 3(15)

Tableau 50: Distribution modale des sédiments du bras principal du Konkouré (voir codification)

Dans un second temps, l'analyse modale procède à une statistique des valeurs de modes granulométriques rencontrées dans les différentes distributions. Chaque mode, quelle qu'en soit l'importance relative dans le sédiment de la population qu'il représente, témoigne de la présence locale d'un type sédimentaire. Le nombre de types sédimentaires est, en fait, beaucoup plus réduit que le nombre de valeurs modales car elles se regroupent en un petit nombre de familles .

Finalement on constate l'existence de 4 types sédimentaires dans le domaine estuarien du Konkouré (Tableau 51 et Figure 87).

Type sédimentaire	Limites (en µm)	Valeur moyenne (en µm)	Abondance dans l'ensemble étudié
Argiles	0,5 à 1	0,6	20%
Silts fins	2 à 15	5,5	30%
Limons et sablons	15 à 100	40	35%
Sables	200 à 1250	550	15%

Tableau 51: Types sédimentaires de l'estuaire du Konkouré

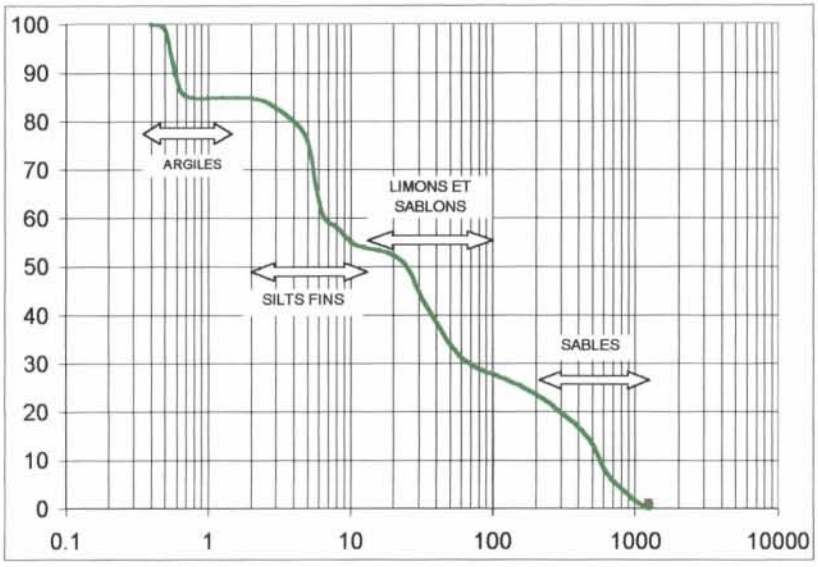


Figure 87: Statistique des modes granulométriques montrant les 4 types sédimentaires présents dans l'estuaire du Konkouré

L'abondance des types les plus grossiers (sables et limons-sablons) rencontrés dans l'échantillonnage de la campagne de novembre 2000 montre qu'elle a été orientée vers la caractérisation des bancs les plus sableux et des axes de chenaux. Nous la traiterons donc à part.

Pour les quatre premières campagnes où les lieux de prélèvements sont les mêmes, on doit noter l'augmentation de la fréquence des argiles et de silts fins en décembre 1999, tandis que pour chacune des campagnes du mois d'avril (1999 et 2000), (Tableau 52) on observe une plus grande abondance des deux types les plus grossiers (limons- sablons et sables).

Le fait qu'il n'y ait pas de dominance significative d'un type particulier dans les parties échantillonnées (c : centre ; d : rive droite ; g : rive gauche) que montre le Tableau 52, reflète une morphologie complexe ; le chenal principal n'occupe pas nécessairement l'axe médian, position correspondant aux points de prélèvement "centre".

	argiles	silts fins	limons-sablons	sables
Centre	8	18	13	9
Rive droite	10	18	11	6
Rive gauche	7	17	10	7

Tableau 52: Occurrence des différents types sédimentaires en fonction de la position des échantillons toutes campagnes confondues (sauf novembre 2000)

V.2.b. Caractéristiques minéralogiques des sédiments estuariens

La composition minéralogique de quelques échantillons représentatifs des différentes sections et types de sédiments, prélevés lors des campagnes d'avril, juillet et novembre 2000, a été déterminée par diffractométrie aux rayons X au laboratoire de minéralogie de l'IRD de Bondy.

L'examen de l'ensemble des diffractogrammes montre une composition des fines (argiles et limons) monotone sur l'ensemble des échantillons analysés (Figure 88).

L'estimation semi quantitative effectuée à partir de la surface des raies de diffraction les plus importantes de chaque minéral identifié conduit aux répartitions moyennes suivantes :

- Kaolinite : 70 à 80 %
- Smectite (type Montmorillonite essentiellement) : 20 à 30 %
- Illite : en trace

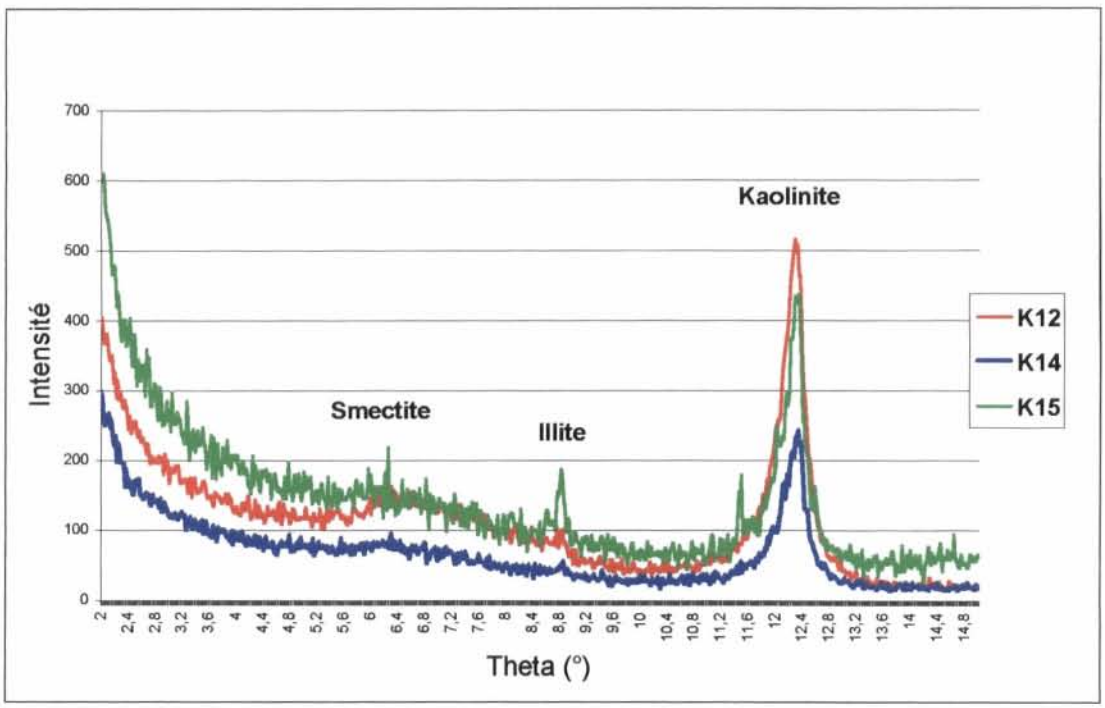


Figure 88: Diffractogrammes RX de la fraction fine (<2µ) des sédiments du bras principal du Konkoure prélevés lors de la campagne de juillet 2000

Quelques échantillons prélevés à l'embouchure du Konkouré au niveau de la section K15 lors de la campagne juillet 2000 présentent une proportion plus importante d'illite, restant tout de même infime, indiquant une origine marine (Figure 88). On soupçonne également la présence de gibbsite sur certains échantillons

L'examen des diffractogrammes sur poudre totale montre exclusivement l'association Kaolinite / quartz indiquant une origine typiquement continentale du matériel étudié.

La quasi-totalité du matériel sédimentaire fin de l'estuaire est d'origine terrigène, les MES proviennent du continent et même si elles sont expulsées et stockées en mer lors de la saison des pluies elles ne s'enrichissent de matériel d'origine marine que très faiblement. On note cependant la présence d'Illite en traces à la station K15, la plus exposée à la dérive littorale et aux conditions marines. On soupçonne donc ici une action marine par le biais de la dérive littorale. Des éléments concordants ont été soulignés par Rue (1992) qui identifie des périodes actives sur la côte de Koba, au nord de la station K15, influencées par les régimes des vents.

Le matériel grossier de l'estuaire est lui soumis à deux origines et présente des caractéristiques différentes. Dans les parties amont et centrale de l'estuaire on note la présence de sables grossiers, sales et mal triés d'origine terrigène alors que les sables de l'estuaire inférieur sont propres et bien classés, d'origine marine.

En saison sèche, les sables marins sont transportés jusque dans la partie intermédiaire de l'estuaire par la marée. Les sables continentaux ou terrigènes sont stockés dans les parties amont et intermédiaire avec une prédominance dans la partie intermédiaire, à partir de K14 où l'élargissement brutal des sections entraîne un ralentissement du flux liquide favorisant le dépôt des particules les plus grossières.

En saison des pluies les sables continentaux sont évacués vers l'aval par les forts débits fluviaux, tout comme les sables marins, plus fins et mieux triés.

En Septembre, l'importance des débits de crue engendre un véritable effet de chasse dans l'estuaire qui permet de remobiliser les bancs de vases sur les berges et sur les fonds pour les expulser en mer.

En Décembre, les forts débits fluviaux soutenus lors de la saison des pluies ont évacué les sables de l'estuaire en mer et aux embouchures, en nettoyant les berges et les fonds de la vase non consolidée. La décroissance des débits fluviaux permet à l'agent dynamique qu'est la marée de reprendre une action significative et de remobiliser des vases dans l'estuaire. En effet les vases évacuées sur le Plateau Continental en pleine saison des pluies sont réinjectées dans l'estuaire lorsque la marée reprend une action significative au regard des débits fluviaux.

En Avril, en pleine saison sèche, les deux agents dynamiques antagonistes que sont la marée et les débits fluviaux ont inversé leur rapport de force comparé à la situation de crue. En étiage la marée est dominante et remobilise les sables littoraux en les réintroduisant dans l'estuaire. On note d'ailleurs leur présence jusque loin en amont. Ces sables sont principalement des sables marins mais ils contiennent également une fraction de sables fluviatiles mobilisés en aval lors de la crue précédente. Il en est évidemment de même avec les vases qui sont réintroduites dans l'estuaire, avec une migration de plus en plus amont de ces dernières (au front de salinité).

VI. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE L'ESTUAIRE

Les mécanismes de l'évolution des bordures de la mangrove ont été décrits notamment par O. Ruë lors de l'étude de l'évolution de la plaine de Koba, plaine littorale située au N-O de l'estuaire du Konkouré. L'auteur a mis en évidence des corrélations entre les évolutions de la mangrove et les conditions climatiques par observation sur une période suffisamment longue, allant de 1953 à 1988. La démarche est décrite en détail notamment dans « Dynamique des mangroves et évolution du climat en Guinée ; l'exemple de la plaine de Koba ; séminaire UNESCO/COMARAF de Rogbané, 31/01/1990 ».

En résumé, la période d'observation 1953-1988 a été divisée en trois sous périodes :

- période 1 : 1953 - 1966
- période 2 : 1966 - 1980
- période 3 : 1980 - 1988

Pour chacune de ces trois périodes, les évolutions de la mangrove (plaine côtière et chenaux deltaïques) et les conditions climatiques (hydraulicité et agitation due au vent) ont été identifiées. Elles sont résumées dans le Tableau 53.

Période d'observation	Période 1 1953-1966	Période 2 1966-1980	Période 3 1980-1988
Evolution de la plaine côtière	progression	stabilité	Recul
Evolution des chenaux	élargissement	stabilité	Rétrécissement
Hydraulicité du Konkouré	Forte (1,28)	Moyenne (0,91)	Faible (0,71)
Vent / agitation	Forts en début de période, puis faibles	faibles	Faibles, puis forts en fin de période

Tableau 53: Evolution de la mangrove et des conditions climatiques de 1953 à 1988.

L'hydraulicité du Konkouré a été définie au chapitre hydrodynamique et l'évolution des vents au cours des trois périodes est schématisée sur le graphique de la Figure 89.

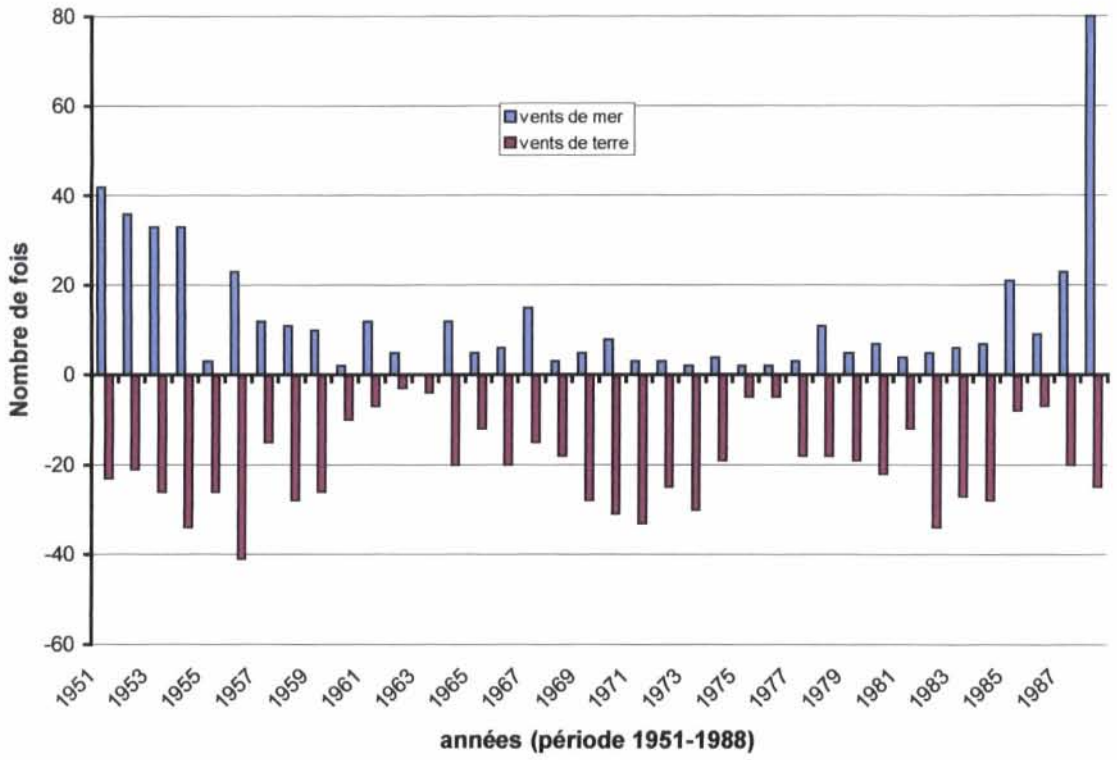


Figure 89: nombre de fois par an où le vent a dépassé 10m/s (d'après O.Rüe)

Cette analyse met en évidence trois mécanismes de base de l'évolution de la zone de l'estuaire du Konkouré, soit de l'amont vers l'aval :

1) *Une relation entre l'hydraulicité du fleuve et la largeur des chenaux.* L'influence de la marée maintient une hauteur moyenne constante à l'aval de l'estuaire. Il en résulte une accélération des vitesses lorsque les débits de crue augmentent, accélération qui entraîne une érosion des berges des chenaux. Les chenaux adaptent leur largeur de façon à ramener les vitesses à une valeur proche d'une valeur d'équilibre qui correspond à l'entraînement des matériaux vaseux. Inversement, les années de faible hydraulicité, les vitesses sont ralenties et les matériaux se déposent sur les berges pour réduire les largeur des chenaux. Bien que les observations aient été faites globalement sur des périodes de plusieurs années, ce mécanisme entraîne probablement des fluctuations annuelles non négligeables de la largeur des chenaux.

2) *Un mécanisme d'échange de sédiments entre l'estuaire et les plaines côtières adjacentes.* Les courants de marée entraînent, au flot, les matériaux remis en suspension le long des plaines côtières, vers l'estuaire où ces matériaux se déposent si les vitesses y sont plus faibles que les vitesses d'entraînement, c'est à dire les années de faible hydraulicité. Inversement, les matériaux arrachés aux chenaux de l'estuaire, les années de forte hydraulicité, vont engraisser les plaines côtières. Il existe donc un stock de matériaux vaseux qui transite entre l'estuaire et les plaines côtières adjacentes (notamment de la plaine de Koba décrite par Rüe 1992).
3) *L'influence classique de l'agitation générée par le vent.* La houle attaque les plaines côtières et remet en suspension les sédiments qui sont alors soit renvoyés vers l'estuaire, soit entraînés et perdus au large. Le stock vaseux est donc le résultat d'un équilibre entre les matériaux apportés par le Konkouré et ceux entraînés au large par l'agitation.

Aux effets moyens de tous ces mécanismes, se superposent très certainement des fluctuations annuelles difficilement mesurables mais non négligeables qui font que les évolutions que l'on peut constater d'une année sur l'autre ne sont pas significatives.

Une différence de nature entre les deux bras principaux du Konkouré et du Sankiné peut être soulignée. Les sédiments les plus grossiers et notamment les sédiments de fond ne pénètrent pas ou peu dans le Sankiné mais poursuivent leur chemin vers l'aval, où ils se déposent selon une formation deltaïque classique. Ce phénomène de tri sédimentaire peut sans doute s'expliquer par la configuration de la diffluence des deux bras. D'une part, le départ du Sankiné se situe sur une rive concave du fleuve et d'autre part, il existe probablement un seuil de fond à l'entrée du Sankiné dans l'alignement des affleurements bien visibles en surface. Il en résulte que le Sankiné ne transite qu'une faible partie des matériaux apportés par le Konkouré, puisqu'en effet une très faible partie du flux liquide y transite (voir page 113) et que cette partie est constituée des sédiments les plus fins donc peu sédimentables. On peut ainsi expliquer que ce bras se maintient à des profondeurs nettement supérieures à celle du Konkouré.

VI.1. LES DONNEES GENERALES

La dynamique sédimentaire d'un estuaire est caractérisée par de nombreux processus interdépendants, étroitement liés à l'hydrodynamique locale. En effet, la morpho dynamique d'un environnement côtier est le résultat d'une interaction entre la topographie et la dynamique des fluides (cette dernière a été étudiée au Chapitre Fonctionnement hydrodynamique estuarien). Les agents dynamiques génèrent un transport sédimentaire qui a pour résultat une modification de la morphologie. Inversement l'évolution progressive de la topographie altère les conditions hydrodynamiques aux limites, entraînant alors de nouvelles répartitions de courant. Ainsi ces deux volets de l'étude sont étroitement liés et on parle souvent d'étude hydrosédimentaire. Ainsi le comportement des fluides, notamment les vitesses de courant, est un élément majeur de l'étude sédimentaire.

Diop (1990) a mesuré sur un cycle de marée en deux stations pendant la saison sèche, les vitesses et direction de courants ainsi que les salinités. Il a observé une forte asymétrie tidale, avec notamment un courant maximum de flot supérieur au courant maximum de jusant, qui favorise le retour des sédiments côtiers vers l'estuaire. Ces observations ont été en tout point confirmées par les mesures effectuées durant le suivi.

VI.2. LES VITESSES AUX EMBOUCHURES

Nous avons retenu les vitesses aux trois embouchures mesurées par profileur ADCP pendant des cycles de marée, au cours desquels la fréquence de réalisation des profils a été suffisamment serrée (un chaque demi-heure) pour considérer que nous sommes proche de mesures en continu. Le Tableau 54 indique les vitesses moyennes maximales par profils

		K15		K16		K20	
		Flot	Jusant	Flot	Jusant	Flot	Jusant
18/09/2001	CVE	0,621	0,555	0,541	0,657	0,57	0,554
16/10/2001	CVE	1,196	1,146	0,95	0,9	1,092	1,301
24/01/2002	EME	0,691	0,599	0,639	0,49	0,495	0,309
18/02/2002	EME	0,8	0,711	0,684	0,494	0,453	0,295

Tableau 54: Vitesses maximum (en m/s) des profils ADCP aux trois embouchures lors de cycles complets de marées

Sauf pour deux situations de crue (l'une en K 16 et la seconde en K20) nous constatons que les vitesses de flots sont systématiquement supérieures à celles de jusant. Les différences entre Vflot et Vjusant sont bien entendu sensiblement plus importantes pendant l'étiage. En effet la durée du flot étant systématiquement plus courte dans l'estuaire, les vitesses de courant augmentent pour compenser cette durée plus courte.

On remarquera en outre que ce sont les vitesses de l'embouchure K15, la plus étroite, qui sont les plus fortes, et toujours supérieures en flot.

Ces mesures confirment les observations décrites au chapitre précédent (Diop, 1990). (Tableau 54) et accréditent l'hypothèse de situations qui favorisent le retour des MES vers le domaine estuarien.

VI.3. LES CONDITIONS CLIMATIQUES DE LA PERIODE 2000-2002

Deux pluviomètres ont été installés sur la zone estuarienne en avril 2000, l'un à l'école de Wassou et le second au port de Bohinéné à l'embouchure.

Une station automatique Davies Monitor III a en outre été mise en service en janvier 2002.

Pour des raisons techniques et de service nous ne disposons hélas pas de chroniques complètes sur ces périodes tant pour les pluviomètres que pour la station météorologique.

VI.3.a. La pluviométrie

Les mesures de la saison 2000 sont incomplètes, on constate néanmoins que le régime pluviométrique sur la zone est très contrasté. Ainsi sur cette période trois années d'observation nous avons deux situations de faible pluviométrie (2000 et 2002) qui encadrent une situation d'abondance en 2001. Bien que ne disposant pas de mesures *in situ* nous savons que les années 1998 et 1999 ont été également des saisons de fortes pluviosités.

			Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
2000	Wassou	mensuel	x	x	x	x	149	225	448	452	436	256	31,2	x
		cumul					149	373	822	1273	1709	1966	1996	
	Bokhinéné	mensuel	x	x	x	x	91,9	321	629	527	x	279	9,7	x
		cumul					91,9	413	1042	1569				
2001	Wassou	mensuel	x	x	x	x	108	333	424	798	578	329	78,2	x
		cumul					108	442	866	1663	2241	2570	2648	
	Bokhinéné	mensuel	x	x	x	x	143	557	806	1308	520	208	74,1	24,6
		cumul					143	700	1505	2813	3333	3541	3615	3640
2002	Wassou	mensuel	8	0	0	8,5	17	269	566	548	431	344	x	x
		cumul	8	8	8	16,5	33,5	303	869	1416	1847	2191		
	Bokhinéné	mensuel	11	0	0	0	34,6	265	662	797	541	285	x	x
		cumul	11	11	11	11	45,6	311	973	1770	2311	2596		

Tableau 55 : Pluviométrie mensuelle et saisonnière aux stations pluviométriques de l'estuaire

VI.3.b. Les vents

Une panne d'alimentation de la station nous a empêché de disposer d'une série de mesure des vents en continu, avec une lacune au moment le plus important puisqu'au cœur de la saison des pluies.

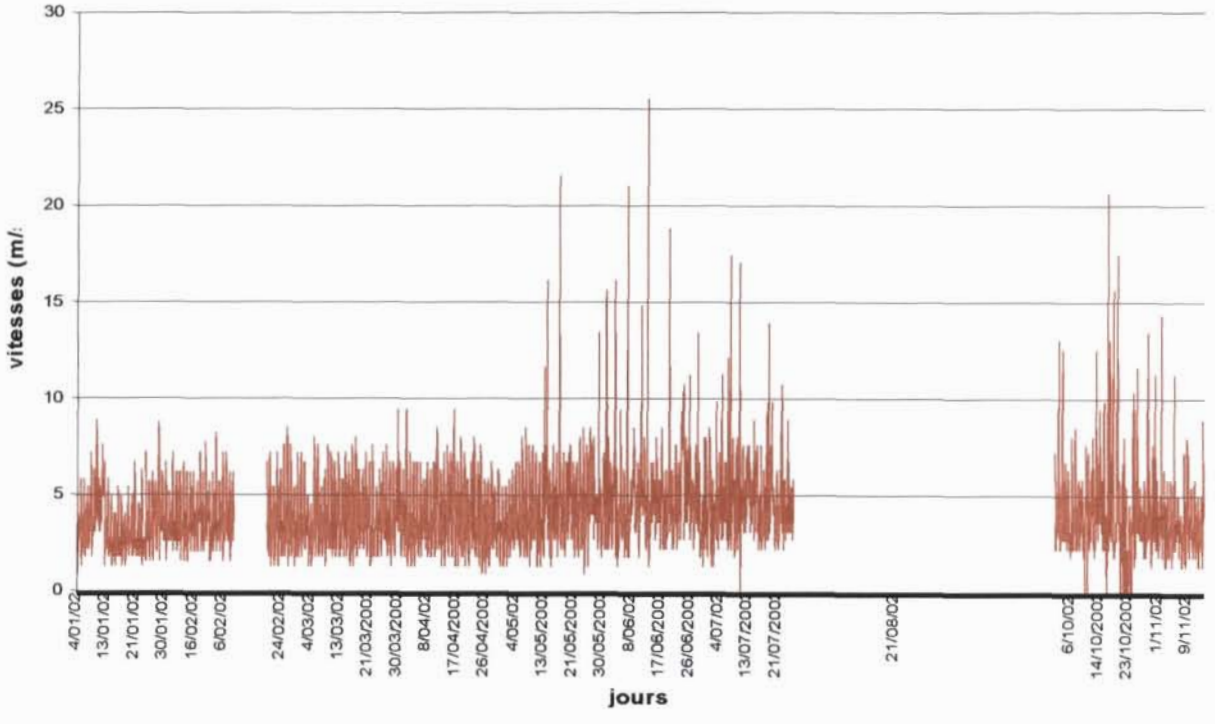


Figure 90: intensités des vents maximum au cours de l'année 2002

Nous pouvons cependant tirer les enseignements suivants:

Le vent a atteint ou dépassé la vitesse de 10 m/s, 45 fois sur la période d'observation pourtant incomplète, dont 24 fois par vent de mer et 21 par vent de terre. On considérera donc cette année 2002 comme une année très ventée, en regard de la classification proposée par O.Rüe (Tableau 53 et Figure 89).

Si l'on considère les situations pluviométriques des trois années étudiées, et si l'on admet qu'il y a corrélation entre perturbations pluvieuses et vents il est probable que l'année 2001 l'ait été encore davantage.

VII. CONCLUSION

La morphologie de l'estuaire ne paraît pas fortement affectée par le changement des conditions hydrologiques et hydro sédimentaires. Les modifications constatées sont modestes, apparemment réversibles et aucune tendance maintenue sur la durée des observations ne se manifeste. La variabilité constatée entre dans l'ordre des changements qui sont naturels en domaine estuarien de mangroves. La bibliographie (notes de Berthois, 1963 et 1967) montre que, dans le cas du Konkouré, des modifications bien plus drastiques que celles enregistrées ici ont pu survenir dans le passé sous la seule influence de la variabilité des conditions naturelles.

Il apparaît donc une forte variabilité imputable aux conditions naturelles et climatologiques plutôt qu'à l'installation du barrage de Garafiri. Deux agents dynamiques semblent prédominants dans cette action qui sont la houle, en fait le clapot, et le vent (Rue 1992).

L'agitation des côtes est particulièrement complexe en Guinée. Guilcher (1954) fait remarquer la position planétaire particulière de la Guinée au point de vue de la jonction des houles boréales et australes. Toutefois Guilcher nous rappelle aussi que les houles océaniques qui atteignent la côte guinéenne sont d'origine lointaine et donc très amorties par la distance parcourue sans vent d'entraînement (zone des calmes tropicaux) et par la grande largeur et la faible profondeur du Plateau Continental. En effet la quasi totalité de l'énergie des houles est absorbée sur le Plateau Continental en raison de la grande quantité de vase présente sur les fonds. Aussi les vagues issues des vents locaux (clapots) ont autant, voire plus d'importance que les houles du large. Les vents locaux mettent donc en mouvement par l'intermédiaire du clapot des dérives sédimentaires locales (Rue 1990).

Leroux (1980) montre par une analyse mensuelle des vents que ces derniers varient en fonction de la saison et qu'ils sont commandés par la position de l'équateur météorologique (ligne de séparation des influences anémométriques australes et boréales).

D'avril à novembre, les influences australes sont dominantes et provoquent des vents passant progressivement du Sud au Sud Est. Ces vents engendrent alors une dérive S-N et des clapots locaux.

De décembre à mars, la migration vers le sud de l'équateur météorologique positionné au sud de la Sierra Leone privilégie l'influence de l'atlantique boréal, inversant le régime des vents. Les vents de NO engendrent donc une houle oblique générant une dérive littorale N-S.

Cependant dans l'estuaire du Konkouré aucune figure morpho-sédimentaire en embouchure ne nous permet d'établir d'influence de la dérive littorale (pas de flèche sableuse) et l'action des houles semble donc négligeable. En revanche l'action des brises thermiques quotidiennes génère un clapot susceptible de remettre en suspension les vases fraîchement déposées sur les berges et de provoquer jusqu'au déchaussement des palétuviers de front de mer.

L'inventaire des types sédimentaires montre une assez faible diversité, aussi bien avant la mise en eau du barrage qu'après.

Nous pouvons ainsi décrire la morphologie des fonds sur la totalité de la zone couverte.

➢ <u>Pour le Konkouré :</u>

- L'estuaire remonte en amont jusqu'à une série d'îlots et de hauts fonds qui en divisent le cours et permettent son franchissement par un pont. Entre ce pont et K14, l'estuaire amont est caractérisé par un lit étroit dont la largeur est comprise entre 300 et 500 m qui, de K12 à K14, dessine une série de larges méandres. Les chenaux sont positionnés dans les parties concaves des méandres où s'opère un affouillement par torsion de l'écoulement, et les parties convexes sont caractérisées par des pentes faibles où la dynamique est moindre et où s'opèrent les dépôts. Les berges, comme les fonds y sont uniformément envasées.

- De K14 en amont de l'île de Bokhnènè, l'estuaire médian montre une direction plus rectiligne orientée N200, bien que sa morphologie soit plutôt anastomosée avec la présence de bancs découvrants à basse mer de vives eaux (BMVE). Les sections s'élargissent brutalement à K14 pour atteindre une largeur de l'ordre du kilomètre favorisant le dépôt des particules les plus grossières. Les berges y sont envasées mais on y observe logiquement des bancs de sables fluviatiles, grossiers, sales et mal triés. En amont (K14) le chenal longe la rive droite, puis il se rabat sur la rive gauche avant d'atteindre le K19 où ce dernier atteint sa profondeur maximale dans le Konkouré.
- La partie avale de l'estuaire, d'orientation N230, est séparée par une île centrale, l'île de Bokhnènè. Les berges y sont principalement vaseuses mais on observe des plages de sable marin, fin, propre et bien trié. On y observe un élargissement des sections croissant vers les embouchures (la section de K16 est large d'environ 2500m). De nombreux bancs sableux et vaseux émaillent cette partie de l'estuaire dans les deux bras du Konkouré, certains émergent à BM, d'autres seulement en BMVE. Dans le bras du Konkouré Nord (Bokhnènè), le chenal qui se trouve en rive gauche à la pointe nord-est de l'île se rabat sur la rive droite mais un chenal secondaire, moins profond, continue également de longer la rive gauche. Deux grands bancs se distinguent entre ces deux chenaux. A l'embouchure un énorme banc de sable fait seuil et obstrue la partie Sud de l'embouchure (le banc de Konébombi). La morphologie du bras est du Konkouré (K16) est plus complexe et l'on peut suivre sur la rive gauche le chenal profond identifié dans la partie médiane jusqu'à l'embouchure. Ce chenal principal, plaqué sur la rive gauche va être réorienté vers le centre du cours à la confluence de la Bourramaya, où un banc de sable s'étend, isolant un chenal issus de la Bourramaya sur la rive gauche. Un autre chenal se matérialise sur la rive droite, isolant un grand banc de vase dans la partie la plus amont de ce bras qui s'étend jusqu'à l'embouchure.

➢ <u>Pour la Sankiné :</u>

- La partie amont de la Sankiné, allant de K14 où elle se raccorde au Konkouré à K18 est caractérisée par une morphologie typiquement méandriforme, dont les sections sont d'une centaine de mètres de largeur. Les chenaux y sont profonds et bien marqués dans les parties concaves du cours. Les fonds sont uniformément recouvert de vase.
- Les parties médianes et avales de la Sankiné sont semblables à la partie amont, à l'exception près d'un élargissement progressif des sections vers l'embouchures où elles atteignent 1200 m environ. Ce bras est très régulier, orienté N160, et ne présente aucun banc ni sableux ni vaseux. Seul un cordon coquillier à proximité de la station K20, sur la rive gauche vient perturber la monotonie de l'envasement des berges et des fonds.

Une carte des faciès sédimentaires a pu être tracée à partir des différentes informations collectées tant du point de vue de la bathymétrie que des échantillonnages sédimentologiques (Figure 91).

Les évolutions sédimentaires observées dans le cadre de cette étude sont négligeables et difficiles à attribuer à une cause précise en raison de la forte variabilité morphologique des systèmes de mangroves. Cependant les modifications hydrodynamiques induites par le barrage en étiage ont probablement des répercutions sur la sédimentation du milieu. Il semble ainsi que les sédiments stockés dans l'estuaire sont évacués en mer en période de crue et que leur remontée en période d'étiage est réduite depuis la mise en fonctionnement du barrage en raison de l'augmentation du facteur fluvial face au facteur marin.

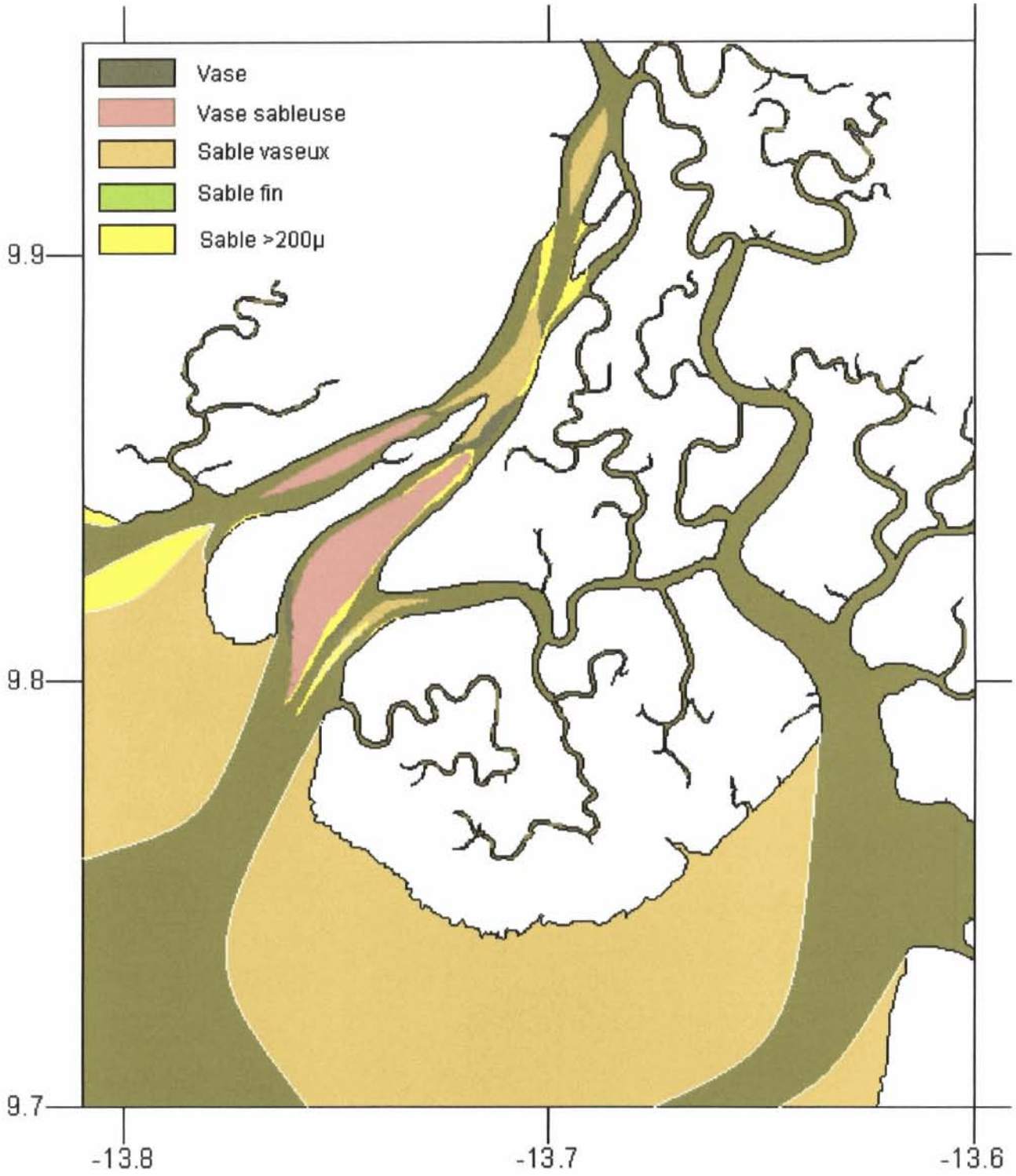


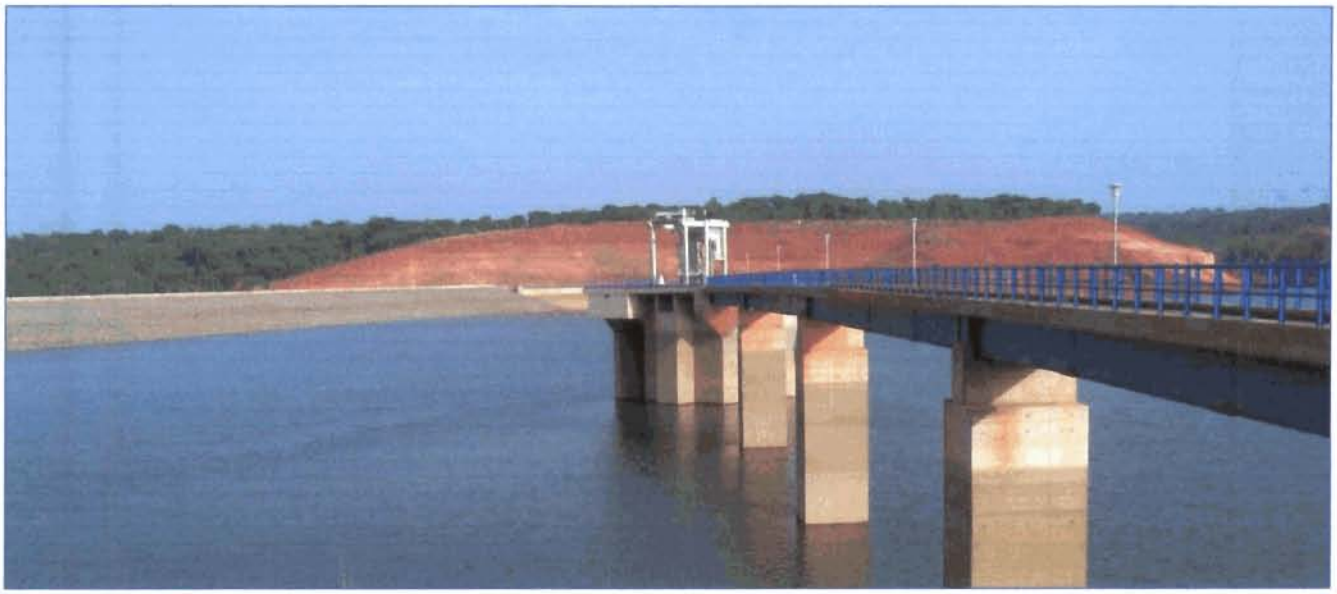
Figure 91 : Carte des faciès sédimentaires de la partie deltaïque de l'estuaire du Konkouré.

République de Guinée
Ministère de l'Energie et de l'Hydraulique
Electricité De Guinée
EDG

AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE DE GARAFIRI SUR LE KONKOURE

ETUDE DE L'IMPACT DU BARRAGE DE GARAFIRI SUR L'ESTUAIRE ET LE BASSIN VERSANT DU KONKOURE

RAPPORT FINAL



TOME 2

Suivi des impacts socio-économiques sur la zone estuarienne

Vie aquatique

Inventaire et description des annexes sur CD-Rom

Février 2003

Groupement IRD – BCEOM - BRLi

République de Guinée
Ministère de l'Energie et de l'Hydraulique

Electricité De Guinée
(EDG)

AMENAGEMENT HYDRO-ELECTRIQUE DE GARAFIRI SUR LE KONKOURE

ETUDE DE L'IMPACT DU BARRAGE DE GARAFIRI SUR L'ESTUAIRE ET LE BASSIN VERSANT DU KONKOURE

RAPPORT FINAL

TOME 2

Suivi des impacts socio-économiques sur la zone estuarienne

La vie aquatique

Inventaire et description des annexes sur CD-Rom

Février 2003

Fonds Documentaire IRD
Cote : A* 31013 Ex : 1

Groupement IRD – BCEOM – BRLi

Sommaire

TOME 1

PROJET IMPACT GARAFIRI 6

I. INTRODUCTION 6
II. RÉSUME 7
III. LE PERSONNEL 12
III.1. Assistance technique permanente IRD 12
III.2. Assistance technique en mission d'appui 12
III.3. Experts et consultants nationaux 13
III.3.a. Centre de Recherche Scientifique de Conakry Rogbane (CERESCOR) *13*
III.3.b. Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura (CNSHB) *13*
III.3.c. Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) *13*
III.3.d. Direction Nationale de la METEOROLOGIE (DMN) *13*
III.4. Personnel de recrutement local temporaire 14
III.5. Observateurs de stations hydro-climatologiques 14

ECOULEMENT DES EAUX CONTINENTALES ET TRANSPORTS SOLIDES 16

I. ECOULEMENT DES EAUX CONTINENTALES 16
I.1. Introduction 16
I.2. Observations hydrologiques 16
I.2.a. Le réseau d'observation hydrologique *16*
I.2.b. Jaugeage, étalonnage des stations et traitement des données de base *20*
I.3. Le réseau d'observation pluviométrique et climatologique 21
I.4. La retenue de Garafiri 21
I.4.a. Carte bathymétrique et courbe de capacité *21*
I.4.b. Observations limnimétriques *24*
I.5. Résultats et conclusion 24
II. MESURE ET CONTRÔLE DES TRANSPORTS SOLIDES 34
II.1. Introduction et rappel des objectifs 34
II.2. Réseau d'observation et protocoles d'échantillonnage et de traitement 34
II.2.a. Le réseau d'observation *34*
II.2.b. Protocole d'échantillonnage *34*
II.2.c. Protocole de traitement *35*
II.3. Résultats et conclusion 39

QUALITÉ DES EAUX 44

I. LES STATIONS DE SUIVI DE LA QUALITÉ DES EAUX 44
I.1. Sur le bassin 44
I.2. Sur la retenue 44
I.3. Bilan du dispositif stationnel 44
II. PARAMETRES DE SUIVI DE LA QUALITE DE L'EAU 44
III. FREQUENCE ET DUREE DES CAMPAGNES 45
III.1. Méthodes analytiques 45
III.1.a. Mesures in situ *45*
III.1.b. Ions majeurs *45*
III.1.c. La chlorophylle et les éléments nutritifs : *46*
III.1.d. Le carbone organique *46*
III.1.e. Les gaz dissous : CO2 et CH4 *46*
III.1.f. Le fer *46*
III.2. Bilan du dispositif de suivi de la qualité de l'eau 47

IV. RESULTATS DU SUIVI DE LA QUALITE DES EAUX 50
IV.1. Qualité des eaux des rivières du bassin 50
IV.1.a. Caractéristiques générales *50*
IV.1.b. Analyse détaillée *52*
IV.2. Qualité des eaux de la retenue 61
IV.2.a. Structure verticale et évolution temporelle *62*
IV.2.b. Approche longitudinale et transversale *65*
IV.3. Qualité des eaux en aval immédiat de la retenue 78
IV.3.a. Les processus biogéochimiques qui interviennent dans la qualité de l'eau *80*
V. LES ELEMENTS DU BILAN RADIATIF 80
V.1.a. Le rayonnement net *80*
V.1.b. L'atténuation du rayonnement lumineux dans l'eau *81*
VI. LA CONSOMMATION BIOLOGIQUE EN OXYGENE 81
VI.1. Les réactions d'oxydoreduction dans la zone profonde de la retenue 84
VII. CONCLUSION 88
VIII. BIBLIOGRAPHIE 89
FONCTIONNEMENT HYDRODYNAMIQUE ESTUARIEN **90**
I. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE 90
II. ETAT DE L'ESTUAIRE AVANT BARRAGE 90
II.1. Hydrologie du Konkouré au niveau de l'estuaire 90
II.1.a. Situation moyenne *90*
II.1.b. Périodes types *93*
II.1.c. Impact attendu du projet sur l'hydrologie *94*
II.2. Hydrodynamique de l'estuaire 94
II.2.a. Dynamique sédimentaire de l'estuaire *96*
III. LES CAMPAGNES REALISEES DANS LE CADRE DE CETTE OPERATION 98
III.1. Les niveaux 100
III.1.a. Première série de campagnes *100*
III.1.b. Campagne bathymétrique de juillet 2002. *102*
III.1.c. Installation des plates-formes fixes *104*
III.1.d. Les résultats des mesures *105*
III.1.e. Influence des débits du Konkouré *108*
III.1.f. Influence de la marée *108*
III.2. Vitesses 109
III.2.a. Allure générale des enregistrements de vitesse *109*
III.3. Debits et volumes oscillants 113
III.4. Température de l'eau 120
III.5. Salinité 122
III.5.a. Nature des apports du Konkouré *122*
III.5.b. Les données antérieures de salinité *122*
III.5.c. Données de la période juin 98 – février 2000 *123*
III.5.d. Données de la période postérieure à février 2000 *125*
III.5.e. La dessalure de l'estuaire *133*
III.5.f. Synthèse sur les salinités dans l'estuaire *135*
III.6. La salinité de la zone littorale 136
III.6.a. Méthodologie *136*
III.6.b. Les variations de salinité en sortie d'estuaire (transect M1-M10) *136*
III.7. Turbidité 138
III.7.a. Mesures en points fixes (stations de référence) *138*
III.7.b. Mesures Dynamiques *140*

IV. IMPACTS SUR L'ESTUAIRE 142
IV.1. Hydrologie 142
IV.2. Niveaux 143
IV.3. Vitesses et les débits 143
IV.4. Salinité 143
IV.5. Température 144
IV.6. Turbidité 144
IV.7. Dynamique sédimentaire 145
V. CONCLUSION 145

SUIVI DE L'EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE 146

I. ZONE CONTINENTALE 146
II. ZONE ESTUARIENNE 146
II.1. Les actions anthropiques sur l'estuaire 146
II.1.a. Les activités 146
II.1.b. Les aménagements 147
II.2. Protocole d'intervention en géomorphologie estuarienne 147
II.2.a. Déroulement de la campagne février 2001 148
II.3. Résultats 148
II.3.a. Représentation des résultats 148
II.3.b. Analyse des résultats 149
II.4. Conclusion 150

EVOLUTION SEDIMENTAIRE 151

I. OBJECTIF 151
II. INTRODUCTION 151
III. GÉOLOGIE DE LA ZONE 152
IV. LE DEBIT SEDIMENTAIRE DU FLEUVE KONKOURE 152
IV.1. Les données antérieures 152
IV.2. Les flux de matières échantillonnés pendant le projet 152
IV.3. La mineralogie des MES 153
IV.4. La nature des Matières en suspension 154
IV.5. la turbidite 154
V. LES SEDIMENTS ESTUARIENS 155
V.1. Caractéristiques granulométriques des sédiments 155
V.2. La nature des sédiments aux stations de référence 155
V.2.a. L'analyse modale 160
V.2.b. Caractéristiques minéralogiques des sédiments estuariens 163
VI. DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE L'ESTUAIRE 164
VI.1. les DONNEES GENERALES 166
VI.2. les vitesses aux embouchures 167
VI.3. Les conditions climatiques de la période 2000-2002 167
VI.3.a. La pluviométrie 167
VI.3.b. Les vents 168
VII. CONCLUSION 169

TOME 2

SUIVI DES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES SUR LA ZONE ESTUARIENNE DU KONKOURE 6

I. METHODOLOGIE ET TRAVAUX REALISES 6
I.1. Méthodologie 6
I.1.a. Démarche méthodologique *6*
I.1.b. Méthodologie de suivi de la production du riz et du sel *6*
I.1.c. Méthodologie du suivi des sites d'extraction de sel *6*
I.2. Travaux réalisés 7

II. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE L'ESTUAIRE DU KONKOURÉ 10
II.1. Localisation de la zone d'étude 10
II.2. Contexte physique 10
II.2.a. Morphologie, pédologie et végétation *10*
II.2.b. Importance écologique de la zone *11*
II.3. Contexte socio-économique 11
II.3.a. Population *11*
II.3.b. Activités socio-économiques *12*

III. EVOLUTION DES ELEMENTS HUMAINS DU MILIEU EN RAPPORT AVEC LE FONCTIONNEMENT DU BARRAGE DE GARAFIRI 13
III.1. Identification des indicateurs de suivi des milieux biophysiques et humains 13
III.2. Principales modifications physiques et biologiques observées dans l'estuaire du Konkouré 14
III.2.a. Influence due à la modification des débits du Konkouré sur la salinité de l'estuaire *14*
III.2.b. Evolution spatiale du contenu en sel des sols et des eaux de submersion des tannes *14*
III.2.c. Evolution de la végétation herbacée des basses terres *15*
III.3. Evolution de l'exploitation des ressources dans l'estuaire du Konkouré 17
III.3.a. La riziculture *17*
III.3.b. La saliculture *19*

IV. REPERCUSSION SUR LE REVENU ET LE MODE DE VIE DES POPULATIONS 21

V. REPERCUSSION SUR L'UTILISATION DES TERRES DANS LES ZONES DE RIZICULTURE ET DE SALICULTURE 22
V.1. utilisation des terres des sites rizicoles de l'estuaire 22
V.2. utilisation des terres sur les principaux sites salicoles de l'estuaire 24
V.3. Répercussion sur l'occupation du sol et le couvert végétal. 24

VI. CONCLUSION 25

VII. BIBLIOGRAPHIE 25

LA VIE AQUATIQUE **26**

I. LE BENTHOS ESTUARIEN 26
I.1. Travaux réalisés 26
I.2. Conclusion 28

II. LE ZOOPLANCTON 29
II.1. La retenue de Garafiri 29
II.1.a. Méthodes *29*
II.1.b. Résultats *29*
II.1.c. Conclusion *31*
II.2. l'estuaire 31
II.2.a. Matériel et Méthodes *32*
II.2.b. Conclusion *33*

III. LE PHYTOPLANCTON 34
III.1. La retenue de Garafiri 34
III.1.a. Protocole d'échantillonnage et analyse des résultats 34
III.1.b. Résultats 34
III.1.c. Conclusion 36
III.2. L'estuaire 39
III.2.a. Protocole d'échantillonnage et analyse des résultats 39
III.2.b. Conclusion 40
IV. LES PEUPLEMENTS DE POISSONS DU BASSIN VERSANT ET DE L'ESTUAIRE DU KONKOURE 42
IV.1. Le cadre général 43
IV.1.a. Description du bassin 43
IV.1.b. Le climat 46
IV.1.c. Le régime hydrologique 47
IV.1.d. Matériel et méthodes 47
IV.2. Le calendrier des campagnes d'échantillonnage sur le bassin versant et l'estuaire. 48
IV.2.a. Caractéristiques physiques et biologiques des stations échantillonnées 49
IV.2.b. Reproduction 50
IV.2.c. Métriques et caractéristiques du peuplement du bassin versant continental à l'aval du barrage 50
IV.3. Résultats 52
IV.3.a. Le bassin continental du Konkouré 52
IV.3.b. Inventaire et distribution spatio-temporelle des espèces 58
IV.3.c. Composition trophique 62
IV.3.d. Indice d'Intégrité Biotique 65
IV.4. L'estuaire du Konkouré 66
IV.4.a. Richesse spécifique par station et par campagne 67
IV.4.b. Caractéristiques biologiques des principales espèces de l'estuaire du Konkouré 73
IV.5. Analyse de l'impact du barrage sur les peuplements de poissons 75
IV.6. Conclusions générales sur les peuplements de poissons 81
IV.7. Bibliographie 83
V. PEUPLEMENTS EN HUÎTRES DANS L'ESTUAIRE DU KONKOURÉ 87
V.1. Méthode de travail 88
V.2. Résultats 90
V.2.a. La distribution des structures de taille dans le temps et dans l'espace 90
V.2.b. La distribution des structures de taille dans le temps et dans l'espace 92
V.2.c. Cartes de la distribution des huîtres dans l'estuaire : comparaison mai 1999-décembre 2001. 93
V.3. Conclusion 95
V.4. Bibliographie 97
INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES ANNEXES SUR CD-ROM 99
I. ZONE CONTINENTALE 99
II. ZONE ESTUARIENNE 102
III. VIE AQUATIQUE 113

SUIVI DES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES SUR LA ZONE ESTUARIENNE DU KONKOURE

EVOLUTION DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES RIZICOLES ET SALICOLES ET DES REVENUS DES POPULATIONS DANS L'ESTUAIRE DU KONKOURE DE 1998 A 2002

I. METHODOLOGIE ET TRAVAUX REALISES

I.1. METHODOLOGIE

I.1.a. Démarche méthodologique

La démarche suivie a été la suivante :
- collecte et l'analyse documentaire,
- identification des indicateurs de suivi,
- enquêtes, observations de terrain et échantillonnage,
- analyse des échantillons,
- dépouillement et traitement des données
- analyse et l'interprétation des résultats

I.1.b. Méthodologie de suivi de la production du riz et du sel

L'enquête est basée sur la méthode individualisée et le groupe FOCUS. Le questionnaire pré-établi est rempli par des individus (cultivateurs) pris au hasard, en nombre suffisamment représentatif. Son contenu permet d'obtenir, en plus des informations sur les conditions et les méthodes de travail, des données sur les surfaces cultivées et les productions annuelles pour les paysans questionnés pour la période de 1998 à 2001.

Les rendements sont obtenus de la manière suivante :

RIZ	Rendement (Kg de riz paddy/ha) = Production annuelle (Kg de riz paddy) / Superficie cultivée (ha)
SEL	**Production annuelle par pani (Kg de sel/an) = Production annuelle totale (Kg de sel) / nombre de pani**

Enfin, des débats sont organisés avec des groupes d'au moins 10 paysans résidents, sur les observations générales concernant les modifications constatées par ces derniers dans leur milieu, sur leur conception de la tendance de ces modifications, les conséquences sur les modes de vie et le revenu des populations.

I.1.c. Méthodologie du suivi des sites d'extraction de sel

➢ Echantillonnage des terres salines et eaux de submersion :

Lors des visites des sites salicoles, des échantillons de terre, d'au moins 1 kg, ont été prélevés sur les aires de grattage et conservés en vue de la détermination de la densité et du contenu en sel. Des échantillons d'eau de trou (eaux de submersion des tannes) et de la saumure (filtrat des "Tankè") ont également été prélevés dans des flacons de 1 litre en vue de la détermination des mêmes paramètres.

➢ Mesure de la densité et du contenu en sel :

Préparation de l'échantillon par filtrage expérimental :

Le filtre expérimental est une reconstitution simplifiée du filtre traditionnel appelé TANKE. La production de la saumure de laquelle on extrait le sel est faite, pour un filtrage sur TANKE, à une proportion de 15 seaux de terre saline pour 28 à 30 seaux d'eau du trou, soit un rapport de 1/2. Lors des filtrages expérimentaux, nous avons utilisé :

- 500 g de terre saline + 1 litre d'eau distillée (pour l'analyse de la terre saline seule)
- 500 g de terre saline + 1 litre d'eau de trou (pour l'analyse de la saumure)

Le premier traitement permet de connaître le contenu en sel du terrain.

Le deuxième traitement permet d'obtenir un filtrat correspondant à la saumure utilisée pour l'extraction du sel

Mesure du contenu en sel :

Les saumures obtenues après filtrage et les échantillons d'eau directement prélevés sur les sites salicoles ont une salinité telle que les conductimètres disponibles ne nous ont pas permis de mesurer directement la salinité. Les salinités ont donc été mesurées au moyen d'un densimètre du Projet Univers-sel / Projet Mangrove (utilisation d'un abaque densité/poids de NaCl)

➢ Suivi de la végétation herbacée :

Les types d'herbe ont été identifiés avec l'appui des paysans en langue vernaculaire (Soussou). Un lexique et une clé d'identification ont été utilisés par la suite pour retrouver les noms scientifiques correspondants. L'exploitation de la documentation sur l'étude de la dynamique de la mangrove dans la zone d'étude a permis d'établir la situation de la végétation avant la construction du Barrage de Garafiri.

➢ Suivi de l'utilisation du sol en zone rizicole et salicole

Les limites des surfaces rizicoles et sa licoles ont été déterminées au moyen d'un GPS (Modèle Magellan Color Track – 10 canaux). L'observateur, muni du GPS, est accompagné d'un guide (recruté sur place) qui lui sert d'informateur sur les usages particuliers des sols et leurs évolutions. Pour les zones inaccessibles à partir de la terre ferme, nous avons emprunté les petits chenaux et autres passages dans la mangrove à l'aide d'un Zodiac pour faciliter le travail.

Les points géographiques repérés et mémorisés par le GPS ont été déchargés par la suite dans un ordinateur à l'aide du logiciel Fugawi. Les données recueillies ont été traitées avec MapInfo en vue la réalisation de la cartographie de d'utilisation du sol.

I.2. TRAVAUX REALISES

A la suite d'une recherche documentaire auprès de projets et institutions ayant travaillé sur la zone, un état de référence a été établi. Des prototypes de fiches d'enquête ont été conçues et testés lors d'une campagne de terrain effectuée pendant la saison des pluies de l'année 2001. Les résultats obtenus ont été traités après consultation auprès de divers spécialistes de la zone (pédologue, géographe, et halieute notamment). Ceci a permis de corriger les modèles de fiche d'enquête.

Les enquêtes ont été menées dans neuf villages ; quatre situés dans l'estuaire supérieur (entre Wassou et Kakounssou), trois le long de la Sankiné, et trois dans la partie inférieure du bras principal du Konkouré. Elles ont concerné 27 personnes dont 7 femmes, qui pratiquent l'une ou plusieurs des quatre activités de production que nous avons suivis : la riziculture, la saliculture, la pêche et le fumage de poisson.

Une dizaine de guides ont aidé à la mise en place de ce réseau de collecte d'informations.

Des observations de terrain, mesures *in situ* et prélèvement d'échantillons en vue d'analyses au laboratoires ont eu lieu pendant certaines campagnes. L'ensemble de ces travaux est récapitulé dans le Tableau 56.

	Objectifs	Période	Lieux
Recherche documentaire	Sur le profil socio-économique, la répartition et l'exploitation des ressources naturelles dans l'estuaire du Konkouré avant et après la mise en fonction du barrage Garafiri ; Modèles de fiches d'enquêtes de terrain.	Du 10 au 13 juillet 2001	Projet Universel (Dubréka), PDRI-GM (Tanènè), DNFC (Conakry)
Enquêtes et observations de terrain	Tests des fiches et méthodes d'enquête ; Complément et actualisation des informations recueillies lors de la recherche documentaire ; Positionnement des sites de production ; Observation du trait de côte de l'occupation du sol	Du 20 au 25 août 2001	Estuaire du Konkouré
Consultation et analyse documentaire	Analyse critique et validation des données ; Validation des méthodes d'enquête ; Orientation et planification des études	Septembre – Novembre 2001 (en cours)	PIG, IRD, CNRHB (Conakry) ; Projet Univers-sel (Dubréka)
Enquête et observation sur l'évolution des surfaces cultivées	Délimitation et positionnement des superficies cultivées et défrichées dans les rizières de Kakounssou, Kanka, Bokhinènè et Arabanty ; Identification et positionnement des surfaces cultivées, défrichées ou abandonnées depuis la mise en fonction du barrage Garafiri ; Identification des tannes reconvertis en champs de riz	Du 23 au 28 novembre 2001	Estuaire du Konkouré
Enquêtes riz, poissons et physico-chimie des eaux des puits dans les villages	Collecte de données sur les rendements de la campagne de récolte du riz pour l'année 2001 ; Collecte de données sur la pêche des principales espèces de poissons commercialisées dans l'estuaire du Konkouré ; Echantillonnage et la mesure de la conductivité des eaux des puits dans certains villages l'estuaire.	Du 03 au 09 janvier 2002	Estuaire du Konkouré
Enquêtes sel (premier grattage) et physico-chimie des eaux des puits dans les villages	Localisation des sites de production et des aires de grattages ; Prélèvement des échantillons de terre (premier grattage de l'année) et de l'eau des tous les sites salicoles pour le premier grattage de l'année 2002. Récupération d'échantillons et l'analyse des eaux des puits dans les villages (mesure de la conductivité et de la salinité)	du 17 au 22 février 2002	Estuaire du Konkouré
Analyse des échantillons et validation des données	Extraction expérimentale de la saumure du premier grattage 2002 Analyse des échantillons de terre, d'eaux des trous et du filtrat pour la détermination de leur densité et contenu en sel.	27 au 28 février 2002	Dubréka (Projet Mangrove/ Univers sel)

	Objectifs	Période	Lieux
Enquêtes sel (deuxième grattage) et Positionnement GPS et physico-chimie des eaux des puits dans les villages	échantillonnage et la mesure de la conductivité des eaux des tannes et des terres de grattage dans les principaux sites salicoles ; Observation des étapes de production du sel et localisation des aires de grattage ; mesure de la conductivité des eaux des puits à Arabanty, Bokhinènè, Kanka et Kakounssou ; Localisation de quelques vasières et frayères aux embouchures de Bouramaya et Konkouré.	Du 04 au 08 avril 2002	Estuaire du Konkouré
Analyse des échantillons et validation des données	Extraction expérimentale de la saumure du deuxième grattage 2002 Analyse des échantillons de terre, d'eaux des trous et du filtrat pour la détermination de leur densité et contenu en sel.	11 au 12 avril 2002	Dubréka (Projet Mangrove/ Univers sel)
Enquêtes sel (troisème grattage), observation de la végétation herbacée	échantillonnage et la mesure de la conductivité des eaux des tannes et des terres de grattage dans les principaux sites salicoles ; Observation des herbes (indicateurs de modifications écologiques dues à la baisse de salinité) ; échantillonnage des eaux des puits à Arabanty, Bokhinènè, Kanka et Kakounssou.	Du 17 au 20 mai 2002	Estuaire du Konkouré
Analyse des échantillons et validation des données	Extraction expérimentale de la saumure du troisième grattage (avril –mai 2002) Analyse des échantillons de terre, d'eaux des trous et du filtrat pour la détermination de leur densité et contenu en sel.	22 au 23 mai 2002	Dubréka (Projet Mangrove/ Univers sel)
Enquêtes et observation sur la production du riz et du sel	Collecte de données sur les rendements de la production du riz de 1998 à 2001 ; Collecte de données sur les rendements de la production du sel de 1998 à 2001	12 au 15 juillet 2002	Kéréba à l'embouchure de la Soumba (site témoin)
Positionnement GPS	Positionnement occupation des sol sur les sites rizicoles et salicoles Observation des indicateurs de modification du milieu	26 au 29 juillet 2002	Estuaire du Konkouré (parite supérieure)
Positionnement GPS	Positionnement occupation des sol sur les sites rizicoles et salicoles Observation des indicateurs de modification du milieu	13 au 17 septembre 2002	Estuaire du Konkouré (parties inférieure et médiane)
Positionnement GPS	Positionnement occupation des sol sur les sites rizicoles et salicoles Observation des indicateurs de modification du milieu	07 au10 octobre 2002	Kéréba à l'embouchure de la Soumba (site témoin)

Tableau 56 : Programme des travaux réalisés pour le suivi de l'exploitation des ressources dans l'estuaire du Konkouré

II. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DE L'ESTUAIRE DU KONKOURE

II.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Situé au nord de Conakry, entre les préfectures de Dubréka, Bofa et Conakry, le Konkouré est le principal estuaire qui alimente la baie de Sangaréya. (Figure 92)

Profond de 35 km, l'estuaire peut être subdivisé en deux parties, en tenant compte de la variabilité spatiale de sa salinité :

- L'estuaire supérieur à faible salinité et constitué d'un bras unique ;
- L'estuaire inférieur qui forme un delta constitué d'un bras principal, d'un bras secondaire (Sankiné) et de plusieurs petits bras qui se vident en marée basse ; la Sankiné est reliée au bras principal du Konkouré par la Bouramaya.

L'ensemble de ce système estuarien communique avec la mer par trois embouchures.

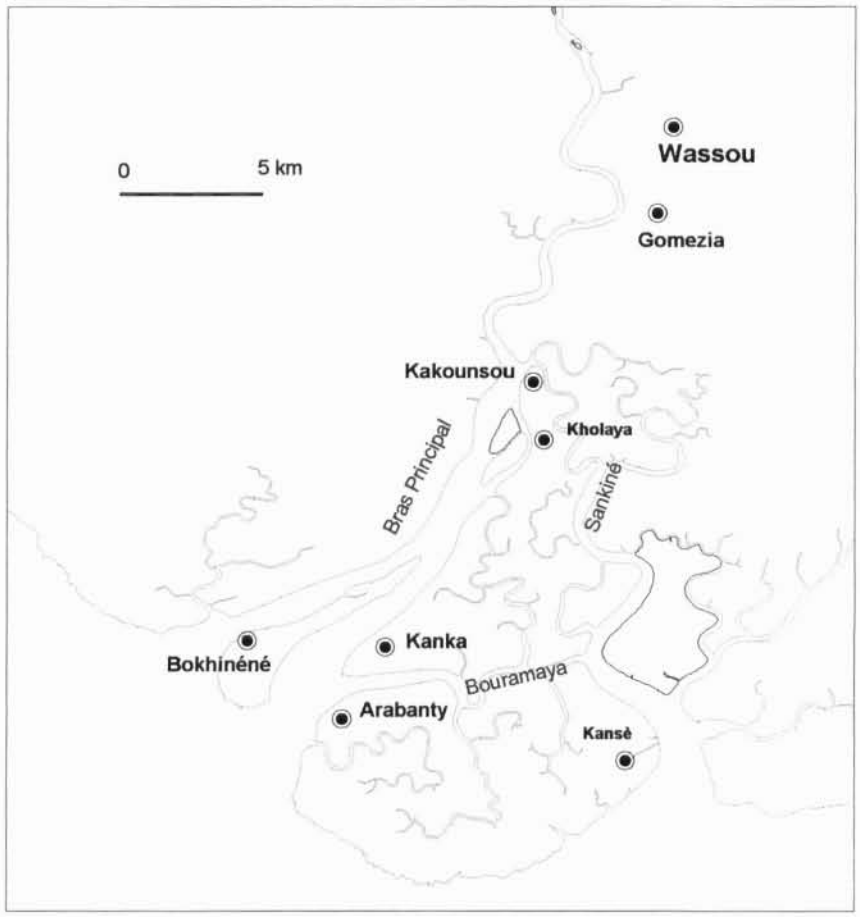


Figure 92: Localisation de la zone d'étude

II.2. CONTEXTE PHYSIQUE

II.2.a. Morphologie, pédologie et végétation

Le domaine fluvio-marin du Konkouré est constitué de formations typiquement côtières comme les terrasses ou cordons littoraux. On y rencontre principalement une vaste plaine estuarienne intertidale où l'on observe une série d'îles aux pourtours arrondis, séparées par des chenaux.

La partie supérieure de l'estuaire est faite de basses plaines fluviales inondables contiguës à la région du bas plateau côtier. En front de mer, on observe en première ligne des îles de mangrove et des vasières récentes et nues en accrétion et quelques points d'érosion (Yatagui).

La pédogenèse des sols en milieu de mangrove diffère selon que l'on est en zone littorale, en estuaire supérieur ou dans les plaines fluviales, cette dernière dépendant des fréquences de submersion par la marée et/ou par le konkouré (crue). De l'Océan au plateau côtier, on peut décrire la succession des types de sols comme suit :

Des bancs de vase en accrétion, riche en eau et peu consolidés. Leur surface est pauvre en Avicennia accompagné ou non de Laguncularia, car la surface de dépôt est encore sous le niveau moyen de la mer ;

Des sols du littoral immergé bi-quotidiennement et colonisés par les Avicennia. Ces sols sont hydromorphes salins et argileux avec des taches brunes et une thioxydabilité basse. Ces surfaces se transforment rapidement en tanne (sols à forte acidité exploités pour l'extraction de sel) dès que la fréquence de submersion marine est amoindrie par suite d'endiguement.

Des plaines estuariennes longeant les chenaux, dont des sols salins sont argileux-tourbeux, gris foncé, peu développés et à forte thioxydabilité. Ils sont colonisés par une forêt à Rhizophora. Plus vers l'intérieur les Rhizophora sont progressivement supplantés par les Avicennia.

II.2.b. Importance écologique de la zone

Classé comme site Ramsar depuis 1992, le delta de Konkouré est une zone humide d'importance écologique. La mangrove du Konkouré et ses vasières offrent des zones de nidification et des nourriceries à des espèces d'oiseaux peu communes et rares. On y trouve des espèces protégées, des reptiles, (tortue *Chelonia mydas*, le crocodile du Nil et le Varan du Nil); et des mammifères (le Lamantin *Trichechus sengalensis)*.

II.3. CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

II.3.a. Population

Dans le contexte de cette étude, l'analyse démographique de l'estuaire du Konkouré est indissociable de celle de l'ensemble de la baie de Sangaréya, peuplée d'environ 23 000 habitants, avec une densité moyenne de 20 habitants par Km^2. Le Tableau 57 ci-dessous donne la répartition de cette population selon le dénombrement de 1992.

Communes et sous préfectures	Hommes	Femmes	Total	Densité (hab./km2)
C/ Dubréka	3 978	5 009	8 987	17
*S/P Khörira**	*4 236*	*4 882*	*9 118*	
*S/P Koba**	*158*	*161*	*319*	
C/ Ratoma	340	453	793	*25*
*S/P Wassou**	*2 724*	*1 539*	*4 263*	
Total	11 436	12 044	23 480	22

(* : Population rurale)

Tableau 57: Répartition géographique de la population dans la baie de Sangréya

La pyramide des âges (Figure 93) montre que la proportion de la population active est particulièrement importante (11 à 50 ans) ; ce qui justifie l'intensité des activités économiques dans la zone. Les enfants de 11 à 15 ans participent activement aux travaux champêtres dans un cadre familial, on ne peut donc les exclure de la population active de la zone.

Entre 20 et 40 ans, les jeunes sont enclins à l'exode rural pour des raisons de scolarité et de recherche d'emplois dans les villes ; la proximité de Conakry favorise cette situation.

L'espérance de vie en Guinée étant de l'ordre de 45 ans, les classes d'âge au-dessus de 50 ans ont des populations fortement réduites.

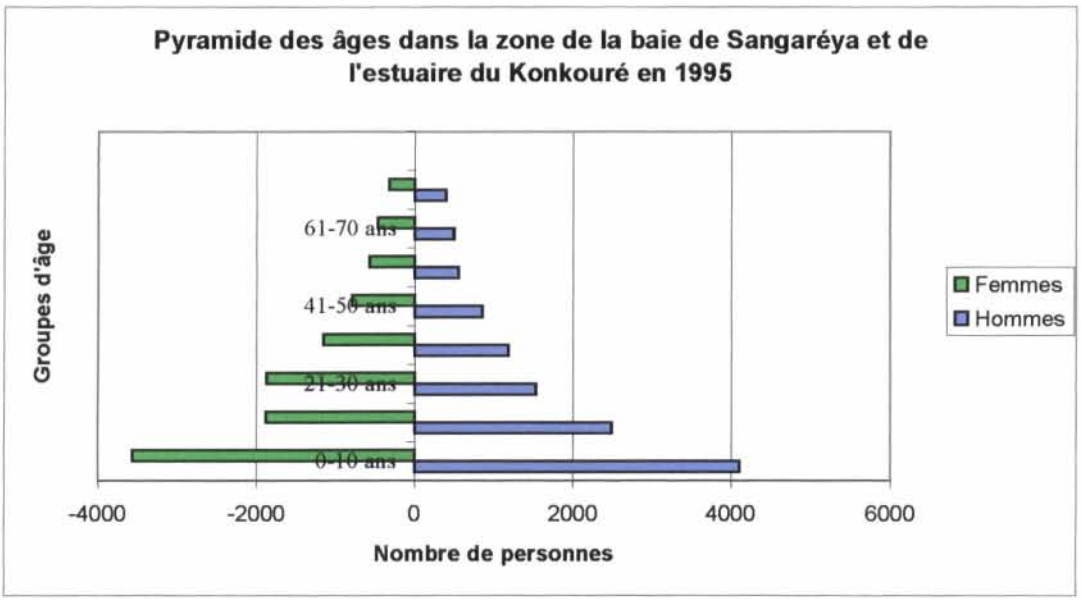


Figure 93: Pyramide des âges de la population dans la baie de la zone d'étude en 1995

II.3.b. Activités socio-économiques

Les principales activités exercées par les populations de l'estuaire du Konkouré sont :

L'agriculture qui se résume essentiellement à la riziculture, pratiquée dans des rizières de front de mer, en mangrove ainsi que dans les parties centrales et supérieures de l'estuaire ; le riz pluvial quant à lui est cultivé en arrière mangrove.

La pêche et le fumage de poisson qui sont pratiqués dans la baie et dans les chenaux. Les enquêtes du Projet Mangrove de Dubréka dénombraient en 1993, dans l'estuaire, 6 principaux sites de pêche et de fumage de poissons, 139 pêcheurs et 152 femmes pratiquant le fumage. Les poissons les plus souvent capturés sont : l'Ethmalose (bonga), le Mulet Gabot (séki), le Bossu (boboé), le Machoiron (konkoé).

L'extraction de sel se pratique seulement en mangrove. Elle est de type extensive et requière de vastes superficies de terres. Les principales méthodes d'extraction utilisées sont les suivantes :

- La méthode des "pani" (récipients) consiste au chauffage des saumures par utilisation de bois de mangrove. Sept mille huit cent soixante tonnes de bois de mangrove sont consommées par an (3 kg de bois pour 1 kg de sel).
- La méthode d'évaporation naturelle sur bâche, actuellement en phase de vulgarisation.

L'Exploitation du bois de mangrove est l'une des principales sources de pression sur la forêt, compte tenu de la proximité des villes de Conakry, de Dubréka et de Boffa, dont les besoins en énergie domestique et en bois d'œuvre sont importants et toujours croissants.

Ces activités sont souvent exercées de façon complémentaire par les populations rurales. Les produits récoltés rentrent dans la consommation locale et la commercialisation comme le montre la Figure 94 .

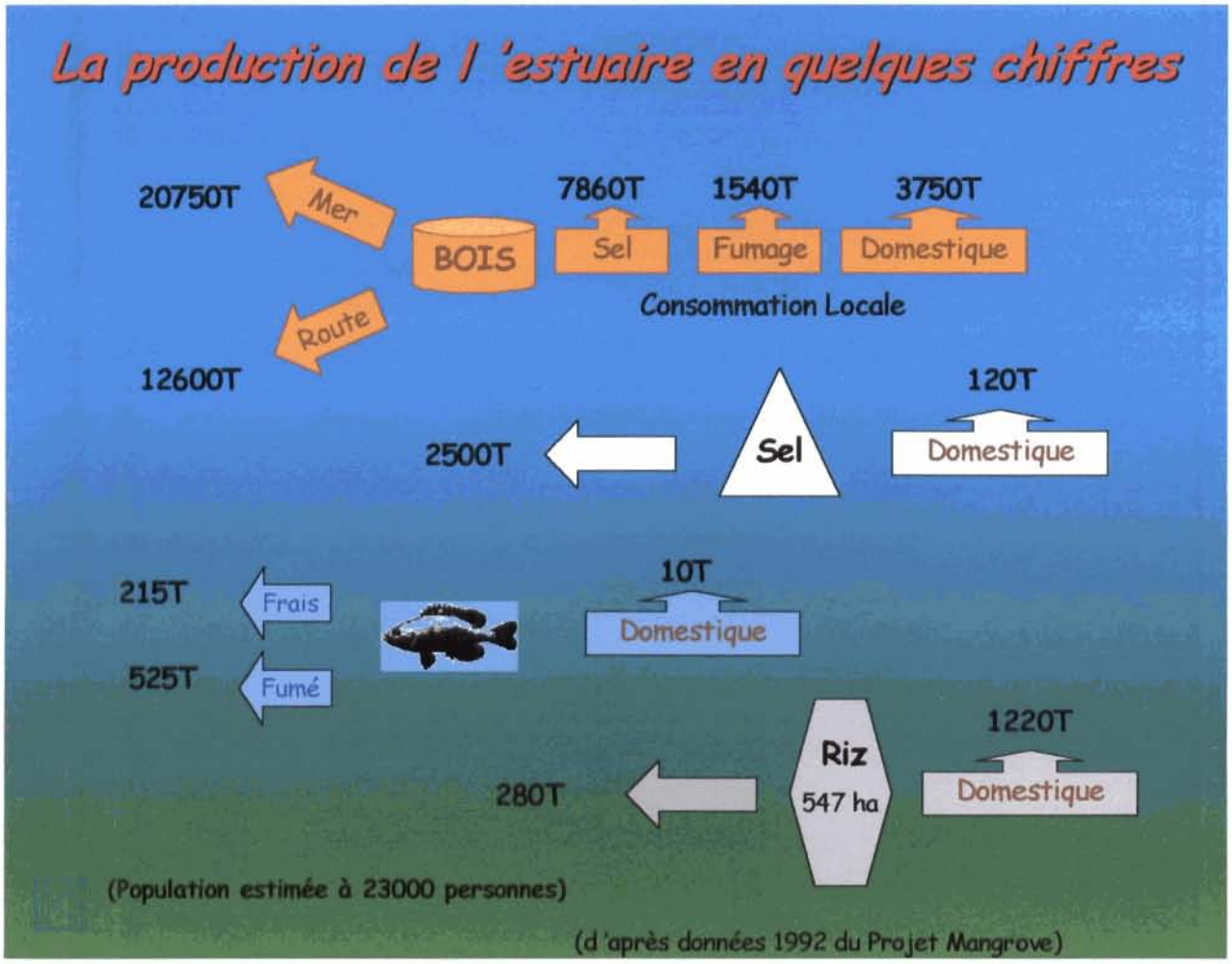


Figure 94: Productivité et utilisation des principales ressources dans l'estuaire du Konkouré

III. EVOLUTION DES ELEMENTS HUMAINS DU MILIEU EN RAPPORT AVEC LE FONCTIONNEMENT DU BARRAGE DE GARAFIRI

III.1. IDENTIFICATION DES INDICATEURS DE SUIVI DES MILIEUX BIOPHYSIQUES ET HUMAINS

Le fleuve Konkouré est soumis depuis fin novembre 1999 aux effets de l'aménagement hydroélectrique du barrage de Garafiri (voir chapitre "Ecoulement des eaux continentales et transports solides", tome 1, page 16). Depuis cette date, son estuaire connaît des changements du milieu biophysique, avec des répercussions sur les activités socio-économiques.

Cette partie de l'étude vise à discerner les modifications dues au fonctionnement de l'aménagement de Garafiri de celles liées aux activités anthropiques sur la répartition et l'exploitation des ressources naturelles. Les principales activités d'exploitation des ressources qui ont fait l'objet d'un suivi dans le cadre de l'étude sont : la riziculture et la saliculture.

Les indicateurs de suivi identifiés pour caractériser l'évolution de ces activités sont :

Pour le milieu biophysique

- la salinité des eaux dans l'estuaire (eaux de submersion en vive eau),
- les peuplements herbacés sur les plaines et tannes dans l'estuaire,
- le contenu en sel de la terre saline (Dantè khoubé), de l'eau de filtrage (Tiguiyé) et de la saumure (Bééréyé).

Pour les systèmes d'exploitation des ressources et leurs rendement

- le coût de mis en valeur des plaines (coût monétaire, main d'œuvre, etc.),
- le rendement de la production rizicole,
- le rendement de l'extraction de sel.

III.2. PRINCIPALES MODIFICATIONS PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES OBSERVEES DANS L'ESTUAIRE DU KONKOURE

La modification des apports fluviaux a entraîné des changements dont l'ampleur varie suivant les conditions fluvio-tidales. Dans le cadre de cette étude, les indicateurs de changement analysés sont : la salinité des eaux dans l'estuaire, le peuplement herbacé au niveau des basses terres, le contenu en sel du sol.

III.2.a. Influence due à la modification des débits du Konkouré sur la salinité de l'estuaire

Dans les parties supérieure et médiane de l'estuaire, les modifications de la salinité dues à l'aménagement de Garafiri sont remarquables (voir chapitre "Fonctionnement hydrodynamique Estuarien", tome 1, page 90). En revanche, en estuaire inférieur, la prédominance des conditions marines persiste.

III.2.b. Evolution spatiale du contenu en sel des sols et des eaux de submersion des tannes

La détermination du contenu en sel des sols a concerné seulement les aires utilisées pour le grattage de la terre saline (entrant dans l'extraction de sel). Les échantillons utilisés ont été prélevés au cours de la saison sèche de l'année 2001 sur les principaux sites salicoles de l'estuaire du Konkouré (Figure 95).

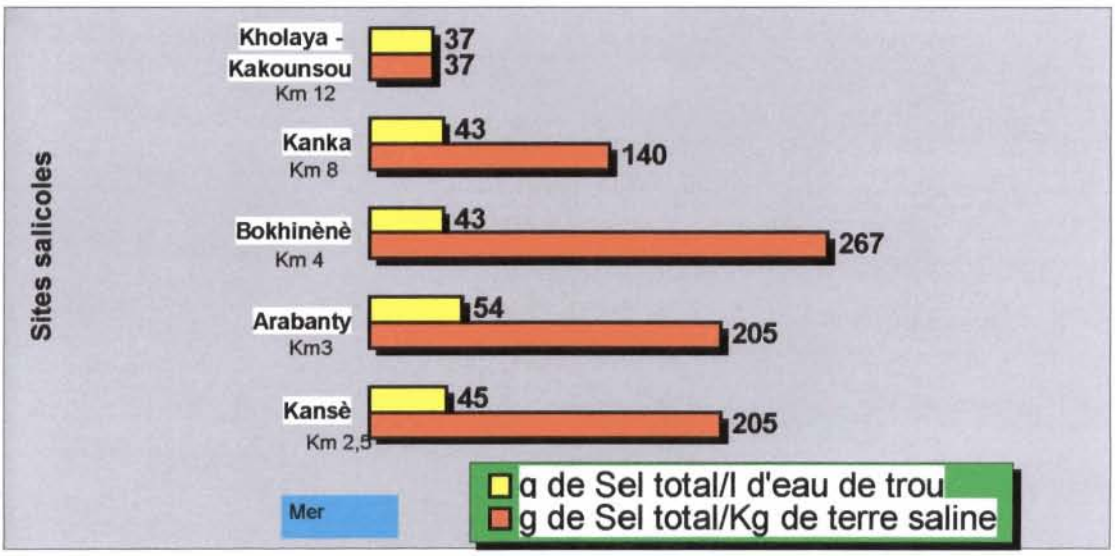


Figure 95: Valeurs moyennes des contenus en sel des terres salines (Dantè khoubé) et de l'eau du trou sur les principaux sites salicoles dans l'estuaire du Konkouré en saison sèche 2001 et 2002 (deux à trois ans après la mise en fonction du barrage Garafiri)

Les résultats obtenus montrent qu'en estuaire inférieur (Kansè, Arabanty et Bokhinènè), le contenu en NaCl est de l'ordre de 200g pour 1 Kg de terre saline. A Kanka, il est compris entre 100 et 150g, alors qu'il est inférieur à 50g à Kholaya (Kakounssou). La valeur exceptionnellement élevée du contenu en sel à Bokhinènè est liée au type d'aménagement en place à cet endroit (Bougouni) ; alors que les faibles valeurs rencontrées à Kholaya s'expliquent par la baisse de salinité des eaux, liée à la mise en fonction du barrage de Garafiri. On note par ailleurs que les variations de salinité sont plus marquées au niveau des terres salines que pour les eaux de trous, exposées à une longue évaporation.

III.2.c. Evolution de la végétation herbacée des basses terres

Compte tenu de leur forte sensibilité aux variations de la salinité des eaux de submersion et du sol, les peuplements herbacés qui colonisent les basses terres en mangrove constituent un indicateur écologique important dans cette étude. L'importance des modifications subies par ces peuplements dépend essentiellement de la prédominance des conditions marines ou fluviales, de la morphologie des chenaux et de la nature du sol.

En estuaire inférieur (Kansè, Arabanty et Bokhinènè), les plaines sont essentiellement colonisées par deux espèces typiques des sols de mangrove qui sont : *Sesuvium portulacastrum* et *Paspalum vaginatum*. Les tannes y sont constituées d'espaces nus de 30 à 50% suivant les sites et de *Sesuvium* rabougris. Cette situation identique à celle observée dans la zone de Kéréba (site témoins hors influence du barrage Garafiri), est confirmée par les travaux de F. Bertrand (1991) sur la dynamique de mangrove en Guinée.

Entre Dassafa et Kakounssou, dans l'estuaire médian (14 et 18 Km de la mer), le *Sesuvium* est totalement remplacé par le *Philoxerus vermiculatus,* qui se partage les plaines avec le *Paspalum vaginatum*. Au delà du Fanyékhouré (20 Km de l'embouchure), le *Philoxerus* disparaît en raison de l'adoucissement des eaux de submersion. Il faut noter dans cette zone la prolifération excessive de *Paspalum vaginatum,* espèce d'herbe dont la croissance est favorisée sur les sols de mangrove par la baisse de la salinité. Les tannes de Dassafa et Kakounssou sont entièrement colonisées par *Philoxerus vermiculatus*, plus tolérant à l'eau douce.

Au delà de Fanyékhouré, dans l'estuaire supérieur, notamment entre Gomezia et Wassou, les plaines sont devenues plus humides et ne subissent presque plus d'intrusion saline. Ce qui a entraîné l'apparition d'adventices caractéristiques des milieux d'eau douce. On observe depuis l'année 2000 de nouvelles espèces : *Scirpus cubensis, Rhynchospora corymbosa, Tiliqui, Cyperus articulatus, Bacopa erecta, Fuirena umbellata, Imperata cylindrica et alternanthera sp.*

Le Tableau 58 présente la distribution de la végétation herbacée et son évolution avant et après la mise en fonction du barrage de Garafiri.

Site rizicole	Salinité des eaux de submersion		Changement de la végétation herbeuse sur les plaines	
	Avant barrage	Après barrage	Avant barrage	Après barrage
Wassou	Salinité atteignant 10 à 14 g/l en saison sèche et nulle en saison des pluies	Salinité maximale est de l'ordre de 3 g/l aux mois d'avril-mai ; elle reste nulle dans la majeure partie de la saison	Peuplement à *Paspalum* (modérée) et de *Philoxerus vermiculatus,* détruit par les intrusions salines en saison sèche.	- Apparition de : *Scirpus cubensis, Rhynchospora corymbosa, Tiliqui, Cyperus articulatus, Bacopa erecta, Fuirena umbellata, Imperata cylindrica et alternanthera sp.* (espèces se développant en bordure d'eau douce) - Prolifération de : *Paspalum vaginatum* et disparition de *Philoxerus vermilatus*
Gomesia				
Kakhonsou	Salinité max en saison sèche inférieur à 26 g/l et nulle en saison des pluies	Salinité max en saison sèche inférieur à 18 g/l	-Pélouse modérée de : Paspalum vaginatum et de *Philoxerus vermiculatus* sur les rizières ; -Colonisation de la totalité des tannes par *Philoxerus vermiculatus*	- *Paspalum vaginatum* en prolifération très importante sur les rizières et disparition progressive de *Philoxerus vermiculatus* - Colonisation totale des tannes par *Philoxerus vermiculatus* sur les tannes et le remplacement de *Sporobolus virginicus* par la même espèce.
Kanka	Salinité max en saison sèche atteignant 30 g/l et non nulle vers fin saison des pluies (10 g/l)	Salinité max en saison sèche atteignant 24 g/l et non nulle vers fin saison des pluies (10 g/l)	-succession progressive du sesuvium par *Paspalum* - Colonisation faible des tannes par *sesuvium (rabougris et rougi par le sel)*	- Succession progressive du sesuvium par *Paspalum* - Colonisation progressive des tannes par *Sesuvium plus développeés et charnus*
Bokhinènè	Salinité max en saison sèche atteignant 32 g/l et significative en saison intermédiaires et parfois en hivernage	Salinité max en saison sèche atteignant 30 g/l et significative en saison intermédiaires et parfois en hivernage	- succession progressive du sesuvium par *Paspalum* - Colonisation faible des tannes par *sesuvium (rabougris et rougi par le sel)*	- Succession progressive du sesuvium par *Paspalum* - Colonisation faible des tannes par *sesuvium (rabougris et rougi par le sel)*
Arabanty				
Kansè				

Tableau 58: Evolution spatio-temporelle des contraintes liées à la modification du milieu biophysique - évolution du coût d'exploitation des ressources et du calendrier agricole

III.3. EVOLUTION DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES DANS L'ESTUAIRE DU KONKOURE

La riziculture, la saliculture, la pêche et le fumage ainsi que la coupe de bois constituent les principales activités d'exploitation des ressources. La riziculture de mangrove est une activité culturale de subsistance, alors que les autres, plus rémunératrices, constituent des activités d'appoint. Pour la plupart des paysans, ces quatre activités sont souvent complémentaires au cours de l'année.

Dans le cadre de cette étude, nous nous limiterons aux modifications concernant la riziculture et l'extraction du sel dans l'estuaire du Konkouré.

III.3.a. La riziculture

La production du riz dans l'estuaire dépend de plusieurs facteurs dont la pluviométrie, la nature du sol, le niveau de maîtrise de l'eau dans les casiers et le respect d'un calendrier agricole. Selon les études du projet Mangrove de Dubréka, une bonne gestion de l'eau dans les casiers et le respect du calendrier agricole peuvent améliorer les rendements de 20% à 25%, quelles que soient les conditions pluviométriques.

En estuaire inférieur, à moins de 10 Km de l'embouchure, les variations annuelles du rendement sont irrégulières et relativement faibles (taux d'augmentation du rendement égal +/- 15 %). Elles s'expliquent par les fluctuations des facteurs hydro-météorologiques qui perturbent le calendrier cultural. A cela s'ajoute le manque de maîtrise de la gestion de l'eau dans les casiers par les paysans. Ainsi, le rendement de la culture du riz à Arabanty et à Bokhinènè, varie fortement d'un paysan à l'autre pour la même année, d'une année à l'autre pour le même paysan (Figure 96 et Figure 97).

De la zone de Kakounssou à l'estuaire supérieur (de 15 Km et plus de la mer), la culture du riz a pris un essor particulier ; les taux d'augmentation des rendements sont compris entre 40 et 50 % à Kholaya (entre les points kilométriques 15 et 20) ; ils atteignent 60 % et plus entre Gomézia (Km 26) à Wassou (Km 34).

Les modifications écologiques concomitantes observées depuis l'année 2000, au niveau du couvert herbacé notamment, permettent d'avancer l'hypothèse que l'amélioration de la production rizicole dans cette zone est liée au fonctionnement du barrage Garafiri. En effet, à Wassou où les rendements ont augmenté d'environ 70 % chez 90% des cultivateurs interrogés, les plaines rizicoles sont totalement dessalées et la prolifération de nouvelles adventices remarquables. Il faut noter par ailleurs la modification du calendrier agricole dans cette zone, notamment en ce qui concerne la préparation des terres et les premiers labours.

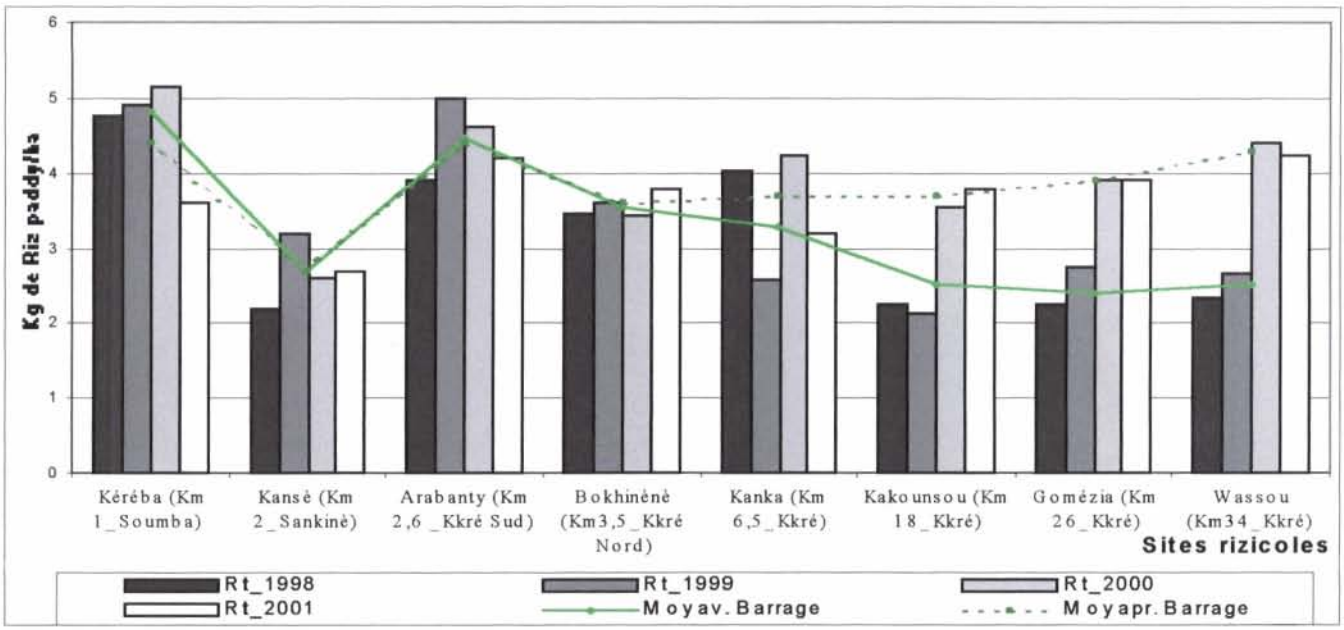


Figure 96 : Evolution du rendement de la production du riz en fonction de l'éloignement des sites par rapport à la mer (de 1998 à 2001)

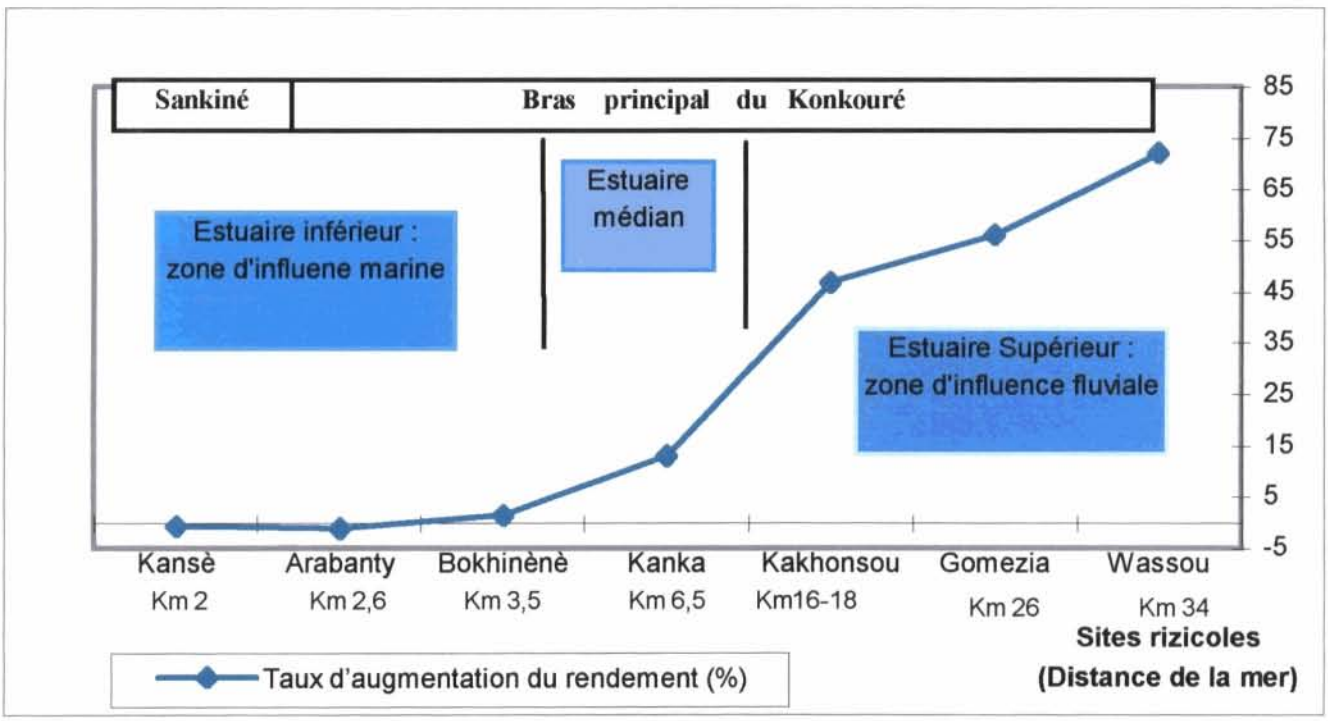


Figure 97: Evolution spatiale du taux d'augmentation du rendement de la riziculture de mangrove après la mise en fonction du barrage Garafiri

III.3.b. La saliculture

Le grand nombre d'exploitations et de personnes impliquées dans la production et la commercialisation du sel montre l'importance de cette activité, dont le produit fini est essentiellement commercialisé. L'exploitation du sel a lieu entre les mois de février et d'avril, au moment de l'étiage, période au cours de laquelle la salinité est maximale dans l'estuaire et les conditions climatiques appropriées.

A Kholaya (à environ 14 Km de l'embouchure), les activités d'exploitation de sel ont totalement cessé depuis 2000. En effet, les tannes anciennement utilisées pour l'extraction de sel connaissent des modifications écologiques qui empêchent l'obtention de terres salines (colonisation par des peuplements de *Philoxerus vermiculatus*, indicateur de l'appauvrissement des sols de mangrove en sel, humidification permanente des sols). Les exploitants expliquent cette situation par l'augmentation de la fréquence de submersion, la baisse drastique de la salinité des eaux de submersion et par la réduction du contenu en sel de la terre saline (Figure 95).

Le contenu en sel de la saumure récolté à Kholaya est nettement inférieur au seuil minimum nécessaire pour une production de sel rentable (Figure 98), ce qui justifie l'abandon du site. La principale conséquence de cette situation est la migration temporaire des producteurs de sel vers Kansè, pendant les campagnes salicoles (entre fin février et début mai). L'extraction du sel reste possible sur les autres sites.

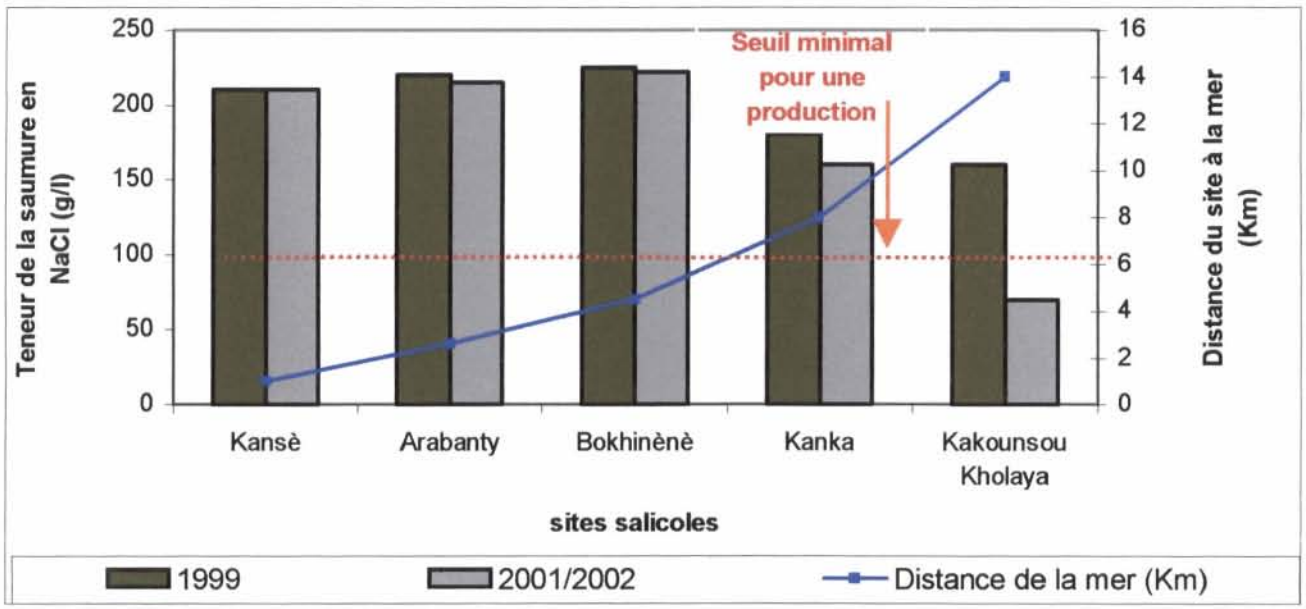


Figure 98: Comparaison des moyennes de la teneur en NaCl des saumures des principaux sites salicoles à la valeur minimale requise pour une production rentable de sel

Selon les données d'enquête la production de sel semble relativement constante de 1998 à 2001 au niveau des sites de l'estuaire inférieur (Kansè, Arabanty et Bokhinènè situés à moins de 5 Km de la mer).

Une légère diminution du rendement de la production du sel est constatée depuis l'année 2000 sur le site salicole de Kanka, à environ 8 Km de l'embouchure. (Figure 99 et *Figure 100*).

A kholaya, la production annuelle de sel par pani, de l'ordre de 1,5 tonnes avant 1999, est tombée à 0.5 tonnes en 2000. Elle est nulle en 2001 et 2002.

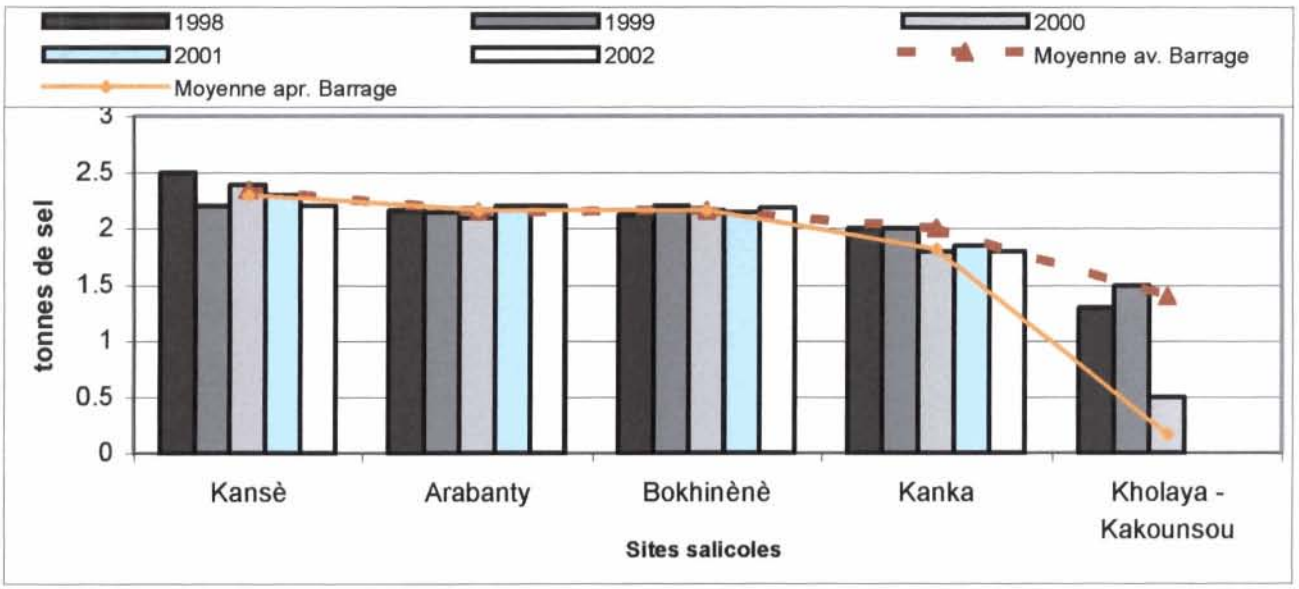


Figure 99: Evolution spatio-temporelle de la production annuelle moyenne de sel (pour un pani)

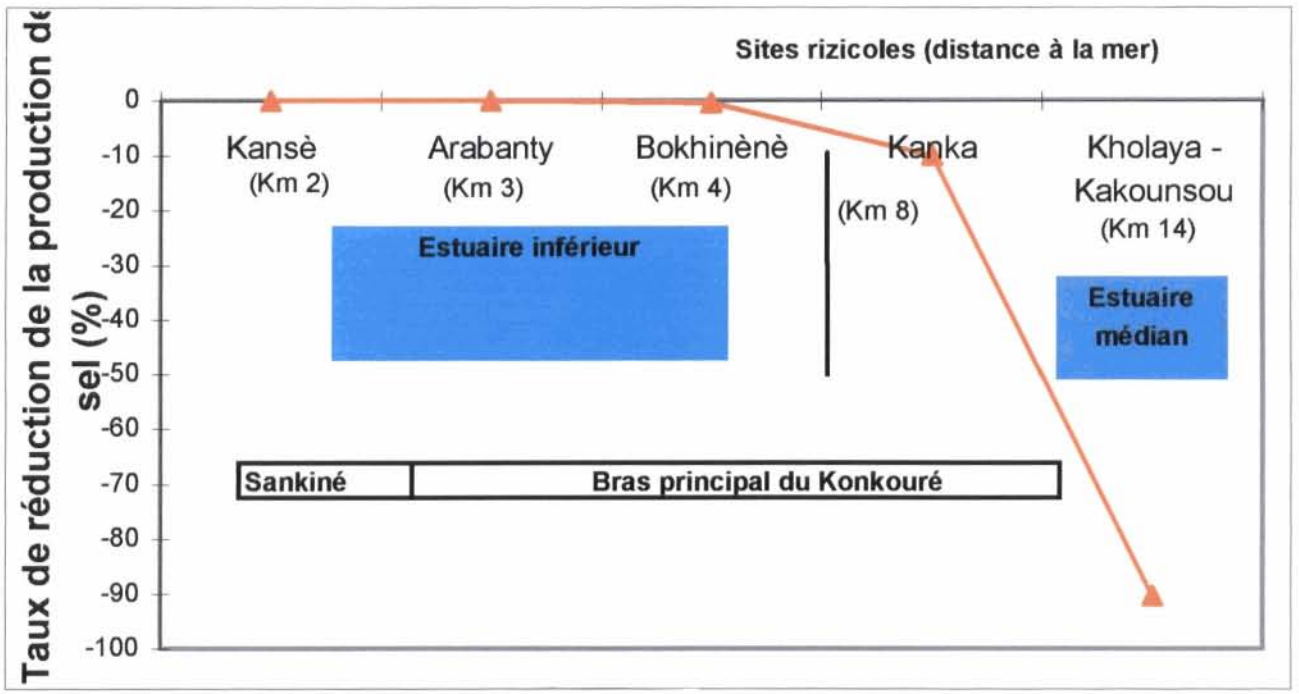


Figure 100:Evolution spatiale du taux de réduction de la production du sel en fonction de l'éloignement des sites salicoles de la mer

IV. REPERCUSSION SUR LE REVENU ET LE MODE DE VIE DES POPULATIONS

Il convient de rappeler ici que sur les quatre principales activités d'exploitation des ressources dans l'estuaire du Konkouré, la riziculture, activité de subsistance constitue la plus importante. La pêche, la saliculture et la coupe de bois sont pratiquées essentiellement pour la génération de revenus monétaires. (Tableau 59)

Activités	Estuaire inférieur	Estuaire médian	Estuaire supérieur
Riziculture	XXX	XXX	XXX
Saliculture	XXX	XX	0
Pêche	XXX	XX	X
Coupe de bois	XXX	XX	X

Légende : XXX : intense ; xx : moyenne x : faible o : non pratiquée

Tableau 59: Importance des principales activités d'exploitation des ressources par zone dans l'estuaire du Konkouré

En estuaire supérieur, entre Gomézia (26 km de la mer) et Wassou (34 km de mer), la mise en fonction du barrage de Garafiri a favorisé la production du riz ; étant donné l'importance de cette activité pour les populations en estuaire supérieur, l'augmentation de son rendement de plus de 65% se traduit par une nette amélioration des revenus. Cependant, la prolifération des adventices des plaines fluviales a entraîné une augmentation des coûts de mise en valeur des plaines et a contraint à une modification du calendrier agricole. Les dépenses d'exploitation des plaines qui ont triplé depuis l'année 2000, n'empêchent pas l'augmentation des revenus tirés de la riziculture dans cette zone.

En estuaire médian, notamment à Dassafa (15 km de la mer), Kakounssou (18 km de la mer) et Fanyékhouré (24 km de la mer), l'augmentation du rendement de la riziculture, de l'ordre de 50%, est atténuée par la baisse des revenus tirés de la pêche. En effet, la baisse de salinité des eaux dans cette zone entraînerait la réduction de la prise pour les poissons marins, principalement destinés au fumage et à la commercialisation ; principales activités des femmes. L'abandon de la saliculture à Kholaya est supposé avoir peu d'effet dans la zone à cause du faible nombre de personnes concernées (moins de 5% de la population).

En estuaire inférieur, la prédominance des conditions marines reste marquée. L'exploitation des ressources salicoles et rizicoles ne connaît pas encore de modification significative attribuable aux effets du fonctionnement du barrage. Cependant, la peur d'une baisse de la production de sel et de la pêche pousse les populations à s'investir plus dans la riziculture. Cette nouvelle orientation a pour conséquence l'augmentation des défrichements pour l'extension des aires de culture.

Pour l'ensemble de l'estuaire, la pratique de la coupe de bois par les populations résidentes est de plus en plus importante. Les enquêtes montrent que cette pratique vise à compenser le manque à gagner dû à la baisse des revenus tirés de la pêche.

V. REPERCUSSION SUR L'UTILISATION DES TERRES DANS LES ZONES DE RIZICULTURE ET DE SALICULTURE

Il ressort de ce qui précède que l'impact de l'aménagement hydroélectrique de Garafiri sur l'environnement de l'estuaire du Konkouré se traduit par des modifications notamment en ce qui concerne la végétation herbacée, les ressources agricoles et salicoles et les ressources halieutiques ; modifications dues à la diminution de salinité. Les modifications de la répartition et l'exploitation de ces ressources peuvent avoir des répercutions significatives sur l'occupation du sol et la dynamique de la mangrove.

Cette partie de l'étude a pour objet de faire la cartographie de l'évolution de l'utilisation du sol dans les zones rizicoles et salicoles, en rapport avec le fonctionnement du barrage de Garafiri.

Pour atteindre cet objectif, nous avons procédé :

- à la délimitation des surfaces exploitées pour la culture du riz et l'exploitation du sel, des nouveaux champs, des surfaces nouvellement défrichées, surfaces abandonnées et autres utilisations du sol dans l'estuaire, réalisés avant et après fin 1999 ;
- à l'évaluation des superficies des aires abandonnées, des surfaces défrichées et des surfaces réaffectées à d'autres formes d'utilisation depuis 1999 ;
- à l'analyse des gains ou pertes en surfaces boisées et des changements d'utilisation des terres, en rapport avec la mise en fonction du barrage de Garafiri.

V.1. UTILISATION DES TERRES DES SITES RIZICOLES DE L'ESTUAIRE

L'analyse de la Figure 96 et de la Figure 97 a montré que la mise en fonction du barrage a entraîné une nette amélioration des rendements de la production du riz en estuaire supérieur et médian. Les variations de rendement en estuaire inférieur sont faibles et semblent liées aux fluctuations des paramètres climatiques et aux techniques culturales.

La première conséquence de cette situation est l'augmentation des superficies mises en culture depuis 2002 par la récupération des aires abandonnées et le défrichement de nouvelles terres.

Par ailleurs, le Tableau 58 montre que les modifications significatives concernant la végétation herbacée se caractérisent par la prolifération de l'espèce Paspalum portulacastrum *et l'arrivée massive d'espèces d'eau douce dans les plaines, notamment entre Kakounssou et Wassou. Les modifications qui ont introduit de nouvelles contraintes dans la mise en valeur des terres rizicoles, constituent un facteur déterminant dans la ré-affectation des terres. Le*

Tableau 60 illustre la tendance de cette ré-affectation en cours depuis la mise en fonction du barrage de Garafiri. On observe une augmentation des superficies rizicoles en estuaire inférieur (5.9% par an de la superficie totale en 1999) ; il s'agit essentiellement de nouveaux défrichements réalisés à Arabanty, Bokhinènè et Kanka. A Bokhinènè, il faut noter que la reconversion des aires de grattage abandonnées en casiers rizicoles constitue près de 30% des extensions des surfaces cultivées.

A Kakounssou et Kholaya, on note la présence de surfaces rizicoles abandonnées à cause des contraintes citées plus haut, à savoir une dessalure partielle de l'estuaire amont ; mais ces pertes de superficies sont comblées par l'amélioration du rendement à l'hectare.

A Gomezia et Wassou, où la saliculture est absente et la pêche très peu pratiquée, les plaines sont mises en valeur à 100%, malgré l'augmentation des dépenses d'exploitation, qui ont triplé depuis la campagne agricole 2000.

Sites	Superficie (ha)					Gain /perte en surface (ha)
	en culture	Abandonnées	défrichées	Nouveaux Champs	Total	
Arabanty	311,04	0	44,22	0,615	355,88	44,835
Bokhinènè	169,7	0	3,27	11,4	184,37	14,67
Kanka	187,3	0	12,45	20,5	220,25	32,95
Kholaya	31	1,8	2,82	0	35,62	1,02
Kakounssou	3	0,2	0	0	3,2	-0,2
Total	702,04	2	62,76	32,515	799,32	93,275

Tableau 60: Utilisation des terres sur les principaux sites rizicoles dans les parties inférieures et médiane de l'estuaire du Konkouré en 2001

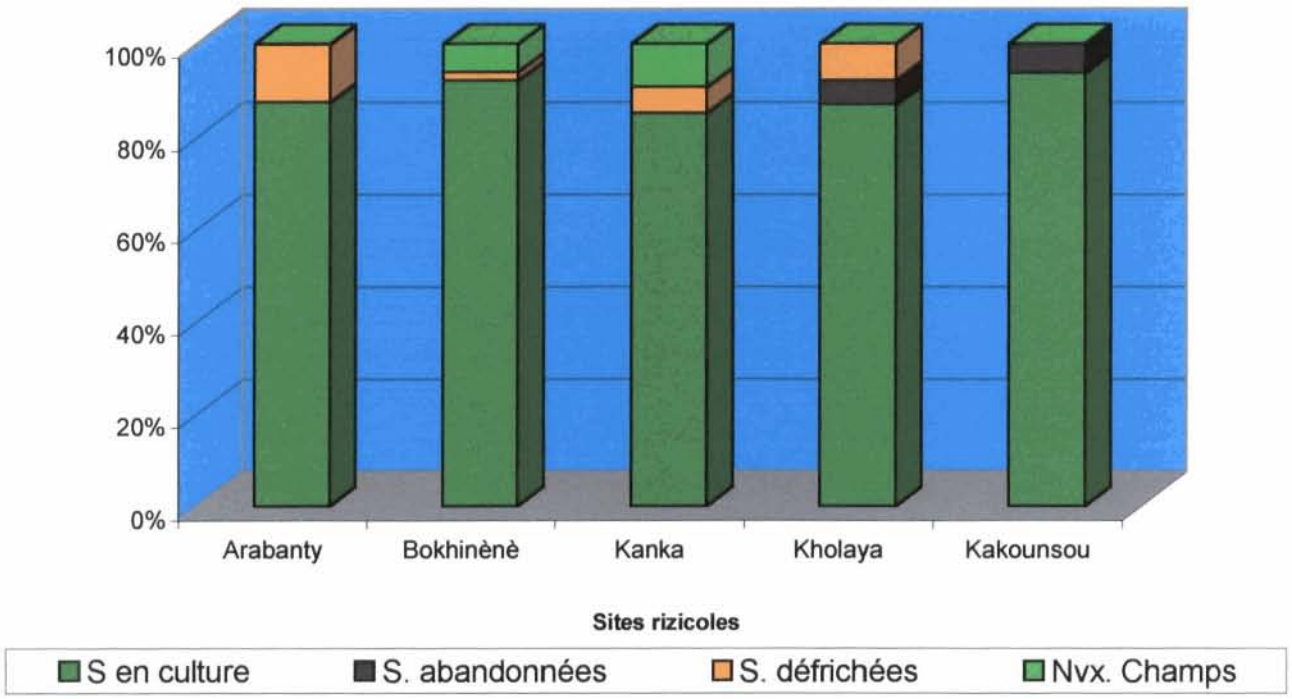


Figure 101: Utilisation des terres sur les principaux sites rizicoles en estuaire inférieur et médian en 2001 (% de la superficie totale)

V.2. UTILISATION DES TERRES SUR LES PRINCIPAUX SITES SALICOLES DE L'ESTUAIRE

A Arabanty, on n'observe ni de surfaces récemment abandonnées ni de nouveaux défrichements de la mangrove au niveau des sites salicoles, toujours en exploitation. Sur la plupart de ces sites, la présence d'avicennia en régénération est remarquable.

A Bokhinènè, Kansè et Kanka village (site salicole situé à 8 km de l'embouchure), la récupération des terres salicoles pour l'installation de nouveaux casiers rizicoles ne signifie pas une baisse de rendement de la saliculture, mais plutôt une augmentation du nombre de riziculteurs ; cette dernière activité étant considérée par les paysans comme la seule favorisée par les effets du barrage. En plus, il faut noter la présence de superficies nouvellement défrichées autour des aires de grattage. Ces nouveaux défrichements sont réalisés essentiellement pour faciliter l'accès au bois de chauffe utilisé pour la cuisson de la saumure et pour l'extension ultérieure des aires de grattage.

Le deuxième site salicole de Kanka, situé à 10 km de l'embouche connaît de légère modification écologique, notamment au niveau de la végétation. Il semble en abandon depuis deux ans et connaît une régénération importante d'Avicennia sur une ceinture large de 10 m en moyenne.

Au niveau du site salicole de Kholaya, qui n'est en abandon que depuis 3 ans, on observe déjà une re-colonisation des aires de grattage par les peuplements à *Avicennia* et par quelques pieds de *Rhizophora*. La partie de l'aire qui est contiguë aux plaines rizicoles, est progressivement récupérée par les paysans pour la riziculture (2 casiers rizicoles ont été aménagés en 2002).

V.3. REPERCUSSION SUR L'OCCUPATION DU SOL ET LE COUVERT VEGETAL.

Les impacts des activités d'exploitation des ressources sur la mangrove de l'estuaire du Konkouré sont significatifs. En effet, selon les données du Projet Mangrove [1997], l'extraction de sel consomme 7860 m3 de bois, soit une perte de superficie boisée de 274 ha/an; alors que la riziculture détruit un volume de 630 m^3 bois, soit 22.1 ha / an.

Les extensions et abandons de surfaces rizicoles et salicoles, liés indirectement au fonctionnement du barrage de Garafiri, constituent de nouveaux facteurs pouvant entraîner une modification de la dynamique du couvert végétal dans l'estuaire.

Bien que nous n'ayons pas pu déterminer avec assez de précision les pertes et gains en superficies boisées au cours de cette étude, certains changements observés dans l'exploitation des ressources concernées devraient aider à comprendre la tendance de la dynamique de la mangrove dans l'estuaire :

- L'abandon de l'exploitation du sel à Kholaya et à Kankan nord, qui se traduit par la réduction de coupe de bois de l'ordre de 600 m3 par an, soit une diminution de la perte en forêt de 21 ha (on estime la production moyenne annuelle du sel sur ces deux sites à 200 tonnes par an avant le barrage).
- La re-colonisation en cours des aires de grattage abandonnés (non estimée).
- l'augmentation du coût de la mise en valeur des plaines rizicoles et la récupération des terres abandonnées pour raison de salinité élevée constituent des facteurs qui atténuent les défrichements effectués pour l'extension rizières.

Cependant des enquêtes succinctes, réalisées au cours de cette étude montrent que l'intensification de la coupe de bois risque d'aggraver la pression exercée par cette activité sur la forêt de mangrove.

VI. CONCLUSION

L'impact de l'aménagement hydroélectrique de Garafiri sur l'exploitation des ressources dans l'estuaire du Konkouré doit être nuancé car les modifications constatées concernent essentiellement les parties supérieure et médiane de l'estuaire. Dans ces zones, on observe une nette amélioration de la production du riz, l'abandon de l'extraction du sel (peu pratiquée) et la modification de la répartition des ressources halieutiques (poissons et huîtres).

Le résultat de nos enquêtes montre que les populations considèrent globalement ces modifications comme positives en terme de bilan, bien qu'elles aient signalé la multiplication des contraintes liées à l'exploitation des ressources.

En estuaire inférieur où la saliculture et la pêche sont davantage pratiquées, les inquiétudes sont grandes, même si les changements observés ne compromettent que très peu ces activités.

Les résultats de cette étude montrent la vulnérabilité de l'environnement de l'estuaire du Konkouré aux modifications du régime hydrologique. On observe d'ores et déjà quelques modifications depuis la mise en service du barrage de Garafiri, mais on peut supposer que d'autres effets beaucoup plus lents à se manifester interviendront à long terme.

Cette étude a permis de prendre en compte la dimension humaine dans le programme de suivi des impacts du barrage de Garafiri, notamment en ce qui concerne les activités socio-économiques. Elle révèle en outre l'importance de réaliser des évaluations d'impacts approfondies et de consultations publiques dans cette partie du Konkouré, avant la construction d'autres grands aménagements hydroélectriques ou agricoles.

VII. BIBLIOGRAPHIE

BAZZO, D, 1991. *Contribution à l'étude des mangrove : Evolution du casier de la Soumbouya entre 1954 et 1988.* Mémoire de Maîtrise, Université de BORDEAUX III. 100 p et annexe

DIALLO, A, 1993. *Les mangroves de Guinée* in Conservation et utilisation rationnelle des forêts de mangrove de l'Amérique latine et de l'Afrique ; International Society of mangrove Ecosystems ; UNESCO /COMARAF. Pp. 52-63.

CAMARA, S, et al., Mai 1999. *Analyse de la diversité des écosystèmes marins et côtiers : identification des priorités pour sa conservation* ; SNPA-DB ; DNE/PNUD. 25 p.

GAGNON, C, 2001. *Les suivis humains : Méthodes et outils, choix des indicateurs, application, planification, limites et contraintes.* Ecole d'été de mise à jour en Evaluation environnementale. Cotonou, avril 2001.

DNFC, Novembre 1993. *Plan d'Aménagement forestiers des mangroves de la baie de Sangaréya*; Doc. n° 13/93. Projet Pilote de gestion de la baie de Sangaréya. 245p.

CORMIER SALEM M, C, 1994. *Dynamique et usage de la mangrove dans les pays des rivières du sud (du Sénégal à la Sierra Leone).* Actes de l'atelier de Dakar, du 8 au 15 mai 1994. ORSTOM Editions - Collections COLLOQUES et SEMINAIRES, Paris 1994. Pp353.

MONOGRAPHIE NATIONALE SUR LA BIODIVERSITE EN GUINEE. Projet Gui/GF/6105-92-74/PNUE/Guinée,Conakry, 1997. 294p.

PIG-IRD, Mai et Novembre 2001. *Etude d'impacts du barrage Garafiri sur le bassin versant et sur l'estuaire du Konkouré.* Rapport à la DGPG; IRD-Conakry, novembre 2001.

SAMOURA, K, mai 1999. *Etude d'impact et suivi environnemental des aménagements hydroélectriques en milieu estuarien et côtier : expériences dHYDRO-QUEBEC et application au suivi de l'estuaire du Konkouré en Guinée.* Mémoire de DEPA en Gestion de l'Environnement (Université Senghor). Alexandrie, mai 1999. Pp : 90 + annexes.

SOGETIM, Mai 1954. *Etude de l'aménagement hydro agricole du casier de Soumbouya : Etude agronomique.* Rapport à la Direction Travaux Publics / Territoire de la Guinée française / Gouvernement Général de l'Afrique Occidentale française. Pp : 192 + annexes.

LA VIE AQUATIQUE

I. LE BENTHOS ESTUARIEN

I.1. TRAVAUX REALISES

Trois campagnes d 'échantillonnage du benthos ont eu lieu dans l'estuaire au cours du projet :

- du 30/03 au 27/04/2000 : sur les prélèvements de sédiments réalisés aux stations de référence : de K12 jusqu'à K15 sur le bras principal du Konkouré, puis de K13 jusqu'à K17 sur la Sankiné.
- du 30/10 au 03/11/2000 : suite à une campagne de bathymétrie à maille fine sur le bras principal de l'estuaire du Konkouré (1 profil chaque kilomètre), et concomitamment à une campagne de prélèvements sédimentologiques sur cette même maille, soit 91 prélèvements pour un échantillonnage systématique du benthos.
- du 25 au 26 juin 2002 pour essayer de définir une éventuelle zone transversale du benthos, sur un transect incluant les zones près des berges fréquentées par les consommateurs de benthos que sont les oiseaux.

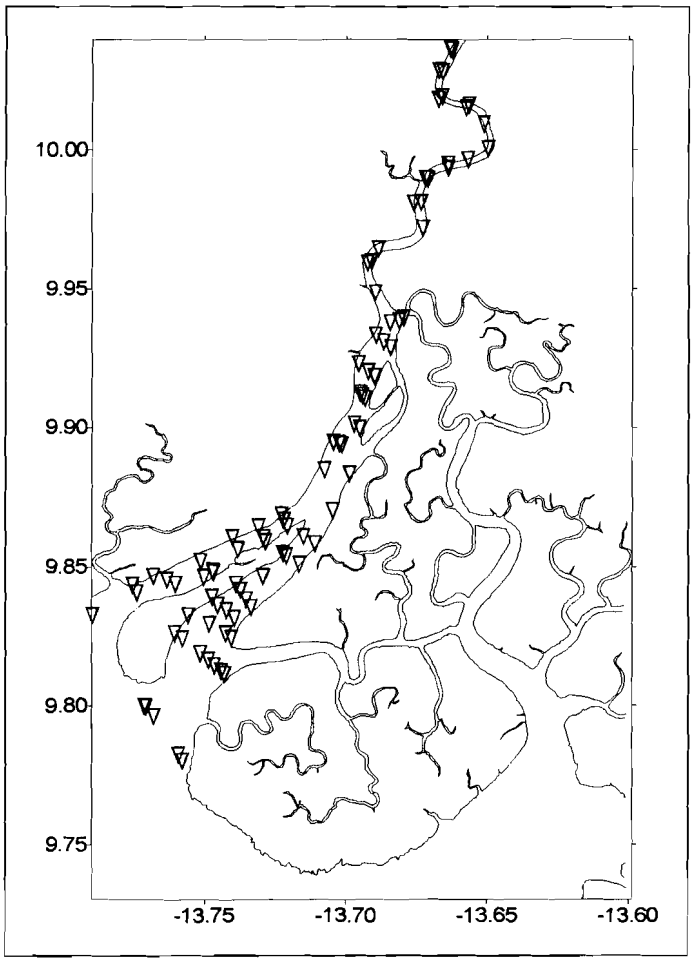


Figure 102 : Deuxième campagne d'échantillonnage du benthos au cône Berthois

➢ Campagne d'avril 2000

Une expédition a été menée dans l'estuaire du Konkouré du 30 mars au 07 avril 2000. Des prélèvements sédimentologiques au cône (environ 10 litres de sédiment) ont été effectués aux stations de référence K12 à K20 et ont également servi à la collecte des échantillons benthiques.

Il faut noter que la quasi totalité de la zone présente des fonds vaseux.

La collecte des organismes benthiques a été faite par lavage du sédiment à travers un tamis de 1 mm de maille environ. Les sept échantillons ont été récupérés dans des flacons contenant du formol à 10%. L'analyse de ces échantillons a mis en évidence la pauvreté de la zone en éléments benthiques. Sur les 7 flacons analysés, il n'y a que 2 individus, respectivement un polychète et un spécimen de *Tympanotus fuscatus*.

Le contenu de tout le reste des flacons se compose de détritus et de coquillages vides ou de grains de sables.

➢ Campagne de novembre 2000

Cette campagne réalisée en fin de période de crue a confirmé la grande pauvreté en benthos de l'estuaire. Les prélèvements ont été effectués au cône, soit environ 10 à 15 litres de sédiment, près de chacune des rives et au centre du chenal (Figure 102).

Hormis quelques coquilles vides de turitelles au port de Kakounssou nous avons trouvé quelques polychètes au niveau de la berge en rive gauche des profils 6w, 5w et 3w.

En conclusion de ces deux campagnes, où la pauvreté des échantillons met en question la technique d'échantillonnage ou les sites échantillonnés, il a été décidé de procéder à un autre mode de prélèvement.

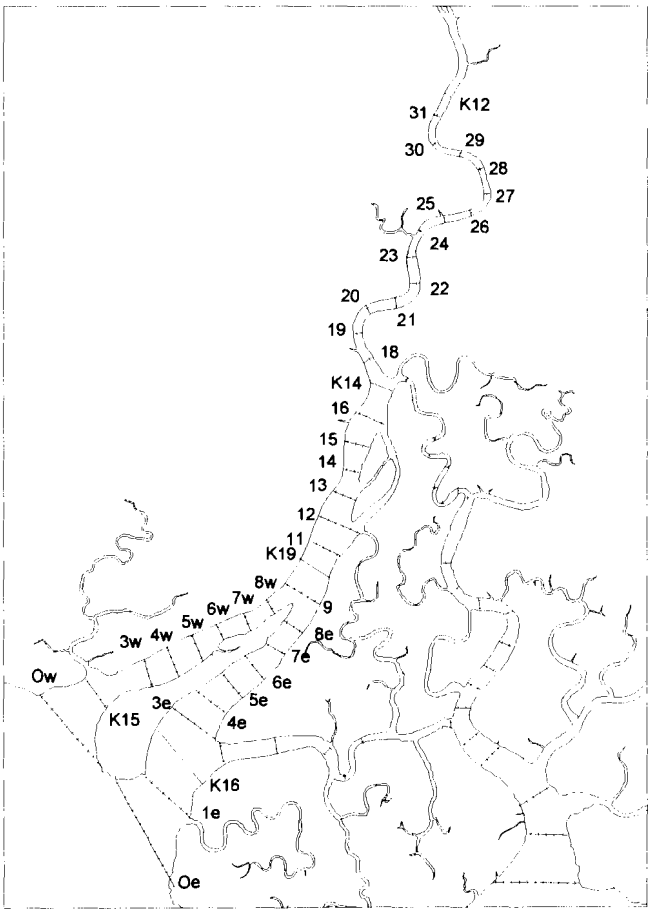


Figure 103 : Situation et codes des profils d'échantillonnage

➢ Campagne de juin 2002

Au cours de cette troisième campagne, des prélèvements de sédiment superficiel ont été effectués à marée basse sur l'estran, sur un carré de 0,5 m de coté, et au cône dans la zone en eau.

Sur la Sankiné nous avons effectué 2 transects K20 et K20B. Dans la partie Est du bras principal du Konkouré le transect K16 qui part de Konibombo pour aboutir à Arabanty. Au total nous avons effectué des prélèvements sur 31 stations dont 10 sur le transect K20, 8 stations sur le transect K20B et 13 sur le transect K16. Seule une station du transect K20 était dépourvue de matériel vivant.

Le substrat principal sur les 3 transects est la vase, plus ou moins compacte. Le substrat sableux se trouve dans la partie Est du transect K16.

Notons la présence de mollusques et coquillages sur le pic situé à l'est du transect K20 ; certains de ces coquillages de *Thaïs haemastomata* et de *Tympanotonus fuscatus* abritent les faux crabes ou craboïdes (*Clibanarius senegalensis*). Les mollusques *Littorina cingulifera* vivent agglutinés sur les branches des palétuviers.

Le crabe *Uca tangeri*, avec ses deux pinces d'inégale grosseur, est très répandu sur le littoral de cette partie de l'estuaire.

Les recherches effectuées sur les transects K20, K20B et K16 ont donné les résultats résumés dans le (Tableau 61).

Espèces	Transects			Total des individus
	K20	K20B	K16	
Nassa obliqua Kiener	10	26	15	51
Nassa argentea Marrat	10	25	24	59
Nassa trifasciata A. Adams	7	32	3	42
Polychaeta	31	19	55	105
Nassa miga Bruguières	-	-	1	1
Cultellus tenuis Gray	-	-	1	1
Tricolia pullus L.	-	-	1	1
Crevette juvénile	1	-	-	1
Crabes juvéniles	-	-	2	2

Tableau 61 : Nombre d'individus par espèce/ transect

I.2. CONCLUSION

Les organismes benthiques sont très rares dans les chenaux de l'estuaire, qui avaient fait l'objet des deux premières campagnes d'échantillonnage. Cette observation concorde avec celle faite par Berthois en 1962, dans l'estuaire du Konkouré, et qui ne nous a été communiquée que très récemment.

Ces organismes benthiques sont en revanche assez nombreux sur les estrans où ils sont consommés par une avifaune limicole diversifiée.

Les espèces inventoriées sont pour la plupart réparties sur tout l'estran des transects K16, K20 et K20B. Les polychètes sont prédominants en nombre; suivent par ordre décroissant les espèces : *Nassa argentea*, *Nassa obliqua* et *Nassa incrassata*. A part les vers polychètes, les crustacés (crevettes et crabes juvéniles) ainsi que le bivalve *Cultellus tenuis*, tout le reste des échantillons est constitué de mollusques gastéropodes. Les polychètes et le genre Nassa sont très caractéristiques des eaux estuariennes. Ils sont numériquement dominants dans les peuplements.

II. LE ZOOPLANCTON

Des échantillons de zooplancton ont été récoltés dans la retenue ainsi que dans l'estuaire.

II.1. LA RETENUE DE GARAFIRI

Le rôle fondamental du zooplancton est d'assurer le transfert de l'énergie entre la production primaire et l'échelon supérieur de la pyramide trophique et, comme tel, il sert de base alimentaire pour beaucoup d'organismes (poissons, crevettes, céphalopodes, etc..). Il occupe une place très importante dans la bioproductivité des écosystèmes lotiques et lentiques.

La mise en eau du barrage s'est traduite par la création d'un milieu nouveau dans lequel les populations initialement présentes se sont organisées pour créer un peuplement nouveau dont nous avons suivi la première étape. Cela permettra en particulier de fournir un point initial pour la composition de ce peuplement.

II.1.a. Méthodes

Les données proviennent d'échantillons collectés au cours de trois missions effectuées aux mois de mars, juillet et septembre 2000.

La collecte du zooplancton a été réalisée à l'aide du filet à plancton HENSEN-EGG NET de 55 microns avec diamètre de l'ouverture 70 cm, par prélèvements verticaux depuis une profondeur de 5 mètres jusqu'à la surface, et ceci aux stations LG10-J, LG35-J et LG50-J (Figure 104).

Les échantillons récoltés sont condensés et préservés par adjonction de formol jusqu'à l'obtention d'une solution de 5 % pour limiter l'expulsion des œufs chez les cladocères au moment de la fixation.

La biomasse du plancton est calculée à partir du poids humide du plancton sédimenté (seston).

Pour identifier certains organismes jusqu'à l'espèce, il est nécessaire de faire un examen détaillé de quelques parties de leur corps (antennes, appendices, céphalosome, métasome, urosome, etc..). Ainsi, il a été procédé à la dissection minutieuse de ces organismes.

II.1.b. Résultats

Le zooplancton du lac est essentiellement constitué d'holoplancton ou plancton permanent, composé de copépodes, de cladocères, d'ostracodes et de rotifères. Dans l'ensemble le lac de Garafiri est riche en zooplancton, mais cette richesse est très inégalement répartie.

La richesse spécifique du peuplement zooplanctonique est dominée par les copépodes au niveau des stations LG10-J et LG50-J où ils représentent respectivement 57% et 74% du nombre total des espèces recueillies au mois de septembre. Notons que ceux-ci regroupent les calanoides, les cyclopoides et les harpacticoides.

La plus forte concentration de zooplancton a été obtenue au mois de septembre à la station LG35-J avec une densité moyenne de 13225 individus/m3. Durant la même période, aux stations LG10-J et LG50-J les densités étaient respectivement de 5030 et 7436 individus/m3 (Tableau 62).

En comparant les différentes valeurs obtenues en mars, juillet et septembre 2000, on remarque une légère augmentation de la densité du plancton en septembre (Figure 104). La biomasse quant à elle, a peu varié dans les échantillons de juillet et septembre (Figure 105).

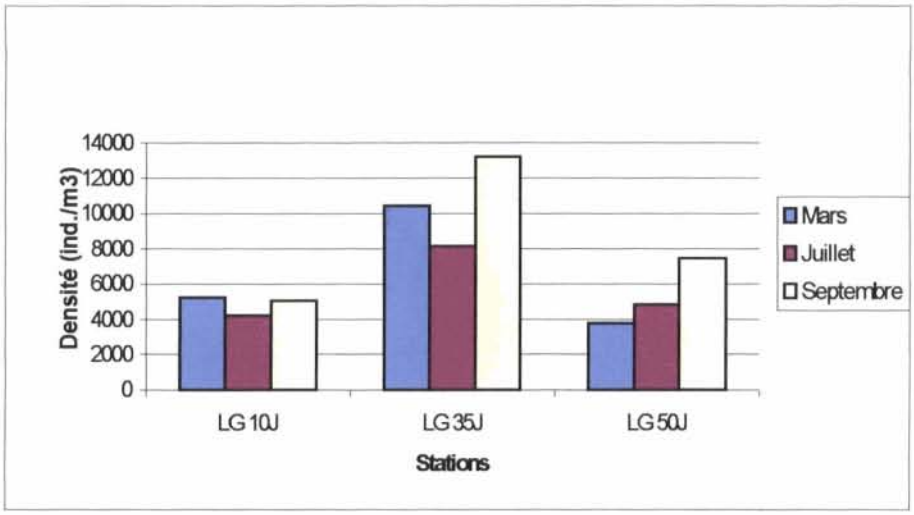


Figure 104 : Variation spatio-temporelle de la densité (ind./m3)de zooplancton dans la retenue

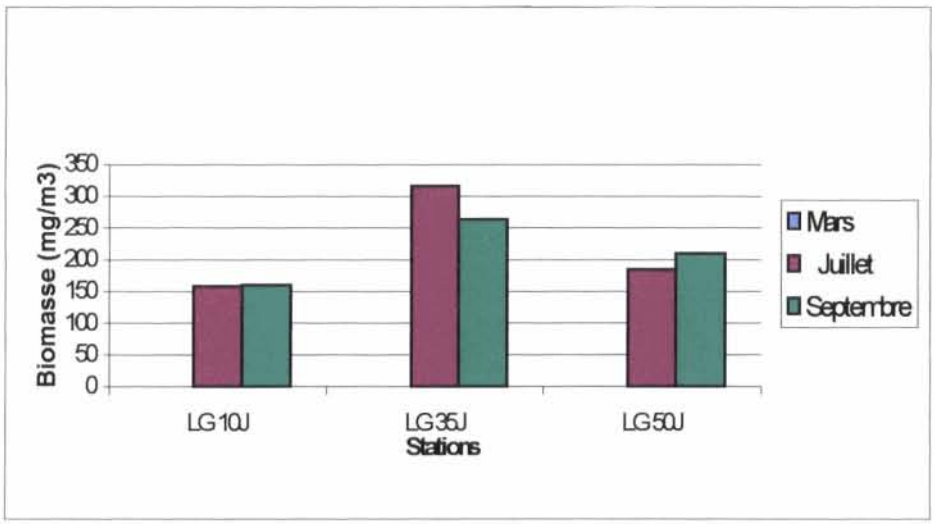


Figure 105 : Variation spatio-temporelle de la biomasse dans la retenue

Les ostracodes et les rotifères tiennent une place peu importante dans les échantillons analysés. On note la présence d'une espèce de rotifère à la station LG35-J. Il est important de noter qu'en septembre, le groupe de copépodes de la station LG35-J est dominé par les stades juvéniles (Nauplii et les copépodites), ce qui explique la diminution de biomasse malgré une augmentation en nombre à cette station par rapport au mois de juillet (Tableau 62).

Les principales espèces de zooplancton rencontrées sont :

- Les cladocères
  - *Daphnia pulex,*
  - *D. longospina,*
  - *Ceriodaphnia cornuta,*
  - *Buthotrephes longimanus,*
  - *Diaphanosoma exsium,*
  - *D. sp.*, etc....
- Les copépodes

- Calanoides
  - *Calanipeda aqua-dulcis,*
  - *Tropodiaptomus incognitus,*
  - *Eurytemora sp.,*
  - *Artodiaptomus brevirostis,*
  - *Metadiaptomus mauritanicus, etc....*
- Cyclopoides
  - *Afrocyclops*
  - *gibsoni, Eucyclops sp.,*
  - *Neocyclops affinis,*
  - *Mesocyclops agunnus,*
  - *Ectocyclops hirsitus,*
  - *Tropocyclops confinis, etc.....*
  - *Harpacticoides : Cantocampus sp., C. staphilinus, etc....*
- Les ostracodes
  - *Cyprins sp.,*
  - *Eucypris sp.*
- Les rotifères
  - *Conochilus hippocrepis.*

Stations	Densité			Biomasse		
	Mars	Juillet	Septembre	Mars	Juillet	Septembre
LG 10J	5221	4218	5030	-	158	160
LG 35J	10417	8137	13225	-	316	263
LG 50J	3754	4856	7436	-	184	210

Tableau 62: Variation de la densité (individus/m3) et de la biomasse (mg/m3) du zooplancton dans la retenue du barrage de Garafiri (mars-juillet-septembre 2000)

II.1.c. Conclusion

Le lac est riche en zooplancton, ce qui traduit son haut niveau de bioproductivité.

Du mois de mars au mois de septembre 2000 on remarque une réelle augmentation du nombre d'espèces et de la quantité de biomasse zooplanctonique. Les plus grandes valeurs ont été obtenues à la station LG35-J et les plus faibles à la station LG10-J.

Parmi les quatre grands groupes qui constituent l'essentiel du zooplancton, les cladocères et les copépodes sont les plus nombreux, les ostracodes et les rotifères ne sont représentés que par quelques rares espèces.

Selon la classification des lacs, ces données correspondraient aux caractéristiques d'une zone "eutrophe" dans un milieu lacustre tempéré et ayant atteint un équilibre, alors que la retenue de Garafiri n'est ici que dans sa première année d'existence.

II.2. L'ESTUAIRE

L'estuaire du Konkouré, situé au Nord de la presqu'île de Kaloum, est l'un des estuaires les plus grands et les plus bioproductifs du littoral guinéen.

Le zooplancton joue ici un rôle particulier du fait de la fonction de nurserie de l'estuaire. Il n'est pas exclu que la mise en eau du barrage puisse entraîner la variation de certains paramètres physico-chimiques qui ont une influence sur la distribution spatio-temporelle des organismes. Les données obtenues permettront de déterminer les modifications survenues dans la composition taxonomique et d'autres paramètres caractéristiques du peuplement planctonique.

II.2.a. Matériel et Méthodes

La collecte du matériel d'étude a été réalisée dans l'estuaire du Konkouré au cours de deux campagnes de 3 jours chacune (avril et septembre 2000).

L'échantillonnage s'est effectué aux quatre stations hydrobiologiques fixes (K12, K14, K19 et K15) au moyen du même filet à plancton que pour la retenue (HENSEN-EGG NET 55 microns, diamètre de l'ouverture 70 cm), par prélèvement vertical du fond vers la surface. Au total 16 échantillons ont été collectés puis condensés et fixés au formol 5% pour analyse au laboratoire.

Les manuels de planctonologie Trégouboff & Rose, (1957) et Durand & Levêque (1980) ont entre autres servi de clés d'identification des espèces zooplanctoniques rencontrées.

La biomasse du plancton a été déterminée à partir des poids moyens individuels des organismes représentés dans les tableaux de Shmelova (1965), de Sajina (1986) et des nomogrammes de Kchlenko (1968).

Il ressort de l'analyse des données que le peuplement zooplanctonique de l'estuaire du Konkouré se diversifie au fur et à mesure que l'on s'approche de l'embouchure (de la station K12 à la K15). On observe ainsi une zonation d'amont en aval.

Ainsi, à partir de la composition taxonomique, on peut diviser l'estuaire en 3 parties, chacune d'elle étant habitée par un groupe d'organismes zooplanctoniques qui lui est propre.

- La partie ouverte à la mer qu'on peut appeler "estuaire marin", s'étend de Bokhnéné (K15) où la salinité au mois d'avril était de 24 o/oo, jusqu'à la station K19 (salinité : 15 o/oo). Les échantillons de l'embouchure sont dominés par les espèces semi-néritiques et néritico-océaniques (dans de rares cas quelques espèces océaniques).
- La partie intermédiaire au niveau de laquelle on assiste à un mélange intense entre les eaux douces et salées, se situe au niveau de Kakounssou (K14). La salinité était de 6 o/oo au mois de février 2000. Cette zone est peuplée par les espèces euryhalines supportant les variations de la salinité.
- La partie fluviale de l'estuaire ou "estuaire supérieur" caractérisée par l'eau douce se situe aux abords du port de Wassou (K12). Dans cette zone, le zooplancton est quantitativement moins important. Le plancton des eaux douces et les Copépodites y dominent.

La présente étude a permis de dénombrer près de 65 espèces de zooplancton appartenant à 24 familles et 34 genres. En septembre, période au cours de laquelle l'influence des eaux douces est la plus prononcée, on assiste à une migration de certaines espèces marines vers le large et à l'arrivée d'organismes dulçaquicoles.

Essentiellement composé de copépodes, le holoplancton représente plus de 70% du total des espèces. Dans ce groupe, les Calanoïdes sont les plus nombreux (28 espèces), ensuite viennent les Cyclopoïdes (20 espèces) et enfin les Harpacticoïdes (2 espèces)

Le méroplancton se compose des grands groupes suivants : larves de décapodes, de gastéropodes, de bivalves, de polychètes, de pisces, etc. qui ont été rencontrées aux stations K19 et K15. Ces données viennent confirmer une fois de plus que la zone d'étude est une nurserie (aire de ponte et/ou de croissance de juvéniles d'animaux marins).

Le zooplancton est très inégalement reparti dans la zone étudiée. Cela peut être lié à la variation des paramètres abiotiques tels que la salinité, les courants de marée, etc. .

Dans le Tableau 63 sont données les variations des valeurs moyennes de la densité et de la biomasse du zooplancton du mois d'avril et du mois de septembre 2000.

L'embouchure (station K15) est la partie la plus riche de l'estuaire. La station K19 vient en deuxième position. Ensuite viennent respectivement les stations K14 et K12.

On remarque une nette augmentation de la densité et de la biomasse du zooplancton en septembre par rapport au mois d'avril 2000. Selon KEITA et al. (1995), la saison pluvieuse est la période de développement intense du zooplancton dans la zone côtière guinéenne. Ce qui correspond généralement à la floraison du phytoplancton suite aux apports de nutriments du continent (Figure 106).

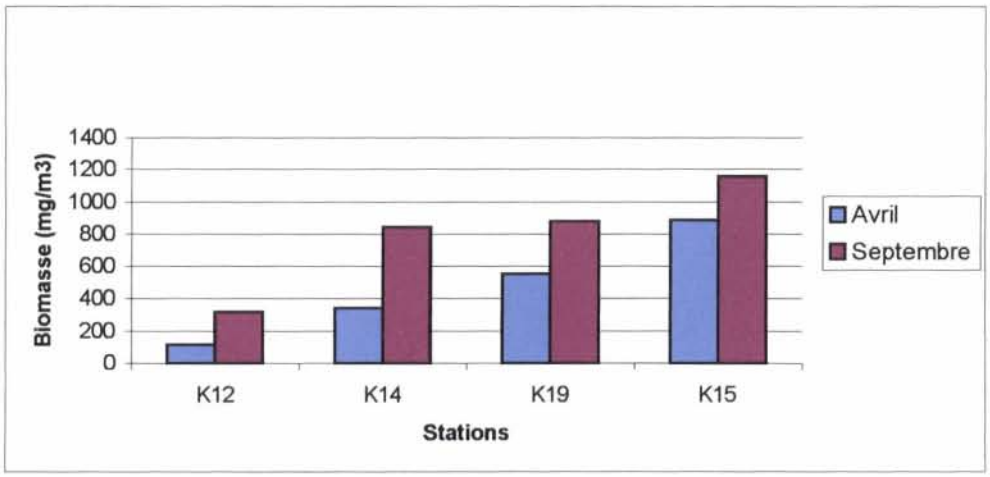


Figure 106 : Variation spatio-temporelle de la biomasse dans l'estuaire du Konkouré

Stations	Densité		Biomasse	
	avril	septembre	avril	septembre
K12	1325	5201	115	320
K14	8362	10744	343	845
K19	18732	20322	552	879
K15	21987	27487	889	1161

Tableau 63 : Variation de la densité (individus/m3) et de la biomasse (mg/m3) du zooplancton dans l'estuaire du Konkouré (avril- septembre 2000)

II.2.b. Conclusion

L'analyse des données permet de diviser l'estuaire du Konkouré en trois zones (marine, intermédiaire, et fluviale) qui se différencient par la salinité, ainsi que par la densité, la biomasse et la composition du peuplement zooplanctonique. En période de crue certaines espèces marines migrent vers le large. Il est possible que la délimitation de ces trois zones soit légèrement modifiée durant l'étiage depuis la mise en eau de la retenue de Garafiri.

La diversité des espèces, leur nombre et leur biomasse augmentent au fur et à mesure qu'on avance vers la mer. Les copépodes représentent près de 76 % des espèces identifiées.

La présence de plus de 20% de méroplancton confirme une fois de plus que l'estuaire du Konkouré est une nurserie, zone de fraie, de croissance et/ou de refuge pour beaucoup d'animaux marins juvéniles.

III. LE PHYTOPLANCTON

Le phytoplancton a été abordé dans le programme sous deux approches. L'étude de la nature et de la diversité des peuplements a été réalisée par l'examen au microscope. Cette approche est développée ci-dessous. Un autre aspect, plus quantitatif, avec la mesure de la concentration en chlorophylle sur un ensemble d'échantillons provenant des rivières et de la retenue a également été abordée. Ce dernier aspect est traité en détail dans le chapitre "Qualité des eaux" (Tome 1, page 44) puisqu'il intervient en interaction avec diverses autres caractéristiques de la qualité de l'eau (transparence, DBO).

III.1. LA RETENUE DE GARAFIRI

Trois missions d'échantillonnage et d'étude du phytoplancton ont été effectuées, successivement du 21 au 24 mars, du 6 au 8 juillet et du 25 au 27 septembre 2000 dans la retenue du barrage.

III.1.a. Protocole d'échantillonnage et analyse des résultats

Les échantillons d'eau, prélevés à différentes profondeurs à l'aide de la bouteille d'échantillonnage marque WILDCO de 1 ou 2 l, sont stockés dans des flacons de 500 ml. Ils sont ensuite concentrés jusqu'à 60 – 80 ml par filtration sur membrane de type GF/C de 1 micron et fixés sur place par 2 ml de solution Lugol. Afin de minimiser les pertes éventuellement causées par la rétention accidentelle de cellules sur la membrane filtrante, celle-ci est soigneusement rincée. Après 3 à 5 jours de sédimentation à l'abri de la lumière, les échantillons sont à nouveau concentrés par siphonnage jusqu'au volume réduit de 30 – 50 ml et finalement traités par 2ml de formol à 4%.

L'identification des espèces pour l'étude de la composition taxinomique (floristique) et le comptage des cellules pour l'évaluation quantitative de la densité du phytoplancton sont réalisés par examen microscopique d'une goutte d'échantillon entre lame et lamelle à l'aide de clés de détermination appropriées.

III.1.b. Résultats

Au cours de la première mission (21-24 mars 2000) qui a été essentiellement consacrée à l'étude floristique du phytoplancton de la retenue, 6 échantillons ont été prélevés en surface aux stations LG10-J, LG20-J, LG30-J, LG50-J, LG60-J sur le lac et dans le fleuve à l'amont immédiat du barrage.

Le traitement des échantillons a permis d'enregistrer 36 espèces d'algues planctoniques parmi lesquelles prédominent les Chlorophycées, pratiquement à toutes les stations ; tandis que la distribution des diatomées s'est limitée au niveau des stations LG50-J, LG60-J et du fleuve en amont de la retenue.

Classes d'Algues	Familles	Genres	Espèces	%
Chlorophycées	10	17	23	63
Diatomophycées	5	8	9	25
Dinophycées	2	2	2	5,5
Cyanophycées	2	2	2	5,5
Total	19	29	36	100

Tableau 64 : Composition floristique du phytoplancton de la retenue de Garafiri

Au cours de la deuxième mission (6- 8 juillet 2000), 12 échantillons ont été prélevés aux stations (LG10-J, LG35-J et LG50-J) dont :

- 6 échantillons à 0m, 1m et à 3m pour les études de floristique ;
- 3 échantillons à 0m pour les études quantitatives ;
- 3 échantillons à 0m pour les observations sur le matériel vivant.

L'étude floristique a permis d'enregistrer 74 espèces d'algues planctoniques dans la composition du phytoplancton de la retenue, à savoir : Chlorophycées : 55 espèces ; Diatomées: 8 ; Cyanophycées : 9 ; Dinophycées : 2 espèces (Tableau 65).

Groupes d'Algues	Nombre de Familles	Nombre de Genres	Nombre d'espèces	%
Chlorophycées	10	33	55	74,3
Diatomophycées	7	8	8	10,8
Cyanophycées	4	9	9	12,2
Dinophycées	1	2	2	2,7
Total	22	54	74	100

Tableau 65 : Composition floristique du phytoplancton du lac Garafiri (juillet 2000).

Comme auparavant, la prédominance des Chlorophycées est tout aussi marquée et se manifeste notamment au niveau des genres Coenocystis, Eutetramorus, Ankistrodesmus, Staurastrum et Cosmarium. Parallèlement, il se dessine une tendance nette de l'augmentation du nombre d'espèces de l'aval vers l'amont. Il en est de même de la concentration des algues de surface, qui atteint plus d'un million de cellules par litre au niveau des stations LG35-J et LG50-J. Il convient de souligner que malgré une diversité apparemment croissante de la flore algale en général, seules les algues vertes (Chlorophycées notamment) jouent un rôle déterminant dans le processus de développement du phytoplancton du lac Garafiri ; en témoigne la contribution de deux espèces qui se sont révélées prédominantes à toutes les stations : il s'agit de Coenocystis obtusa (800 000cel/l à la station LG35-J) et Eutetramorus planctonica (700 000 cel/L à la station LG50-J).

D'autre part, en considérant la densité moyenne du phytoplancton sur l'ensemble des 3 stations (860 000 cel/l), on constate que les Chlorophycées et les Desmidiacées (algues vertes) sont responsables à 88,5% de l'augmentation de la densité du phytoplancton de la retenue. Notons que les teneurs en chlorophylle a ont varié de 3,6 à 11,9 mg/m3 à 0,5m et de 27,8 à 30,9 mg/m3 à 4 et 7m de profondeur (Tableau 66).

Au cours de la troisième mission (25-27 septembre 2000), 6 échantillons de phytoplancton ont été prélevés au niveau des 3 stations, respectivement en surface et à la profondeur de 1m. Les résultats de l'étude floristique ont révélé la même tendance dans l'évolution de la composition du phytoplancton de la retenue (nombre et distribution des espèces, prédominance des chlorophycées). Cependant, l'analyse quantitative a montré au cours de cette période, une diminution nette de la densité du phytoplancton aussi bien en surface qu'en profondeur (1m) au niveau des 3 stations.

Il a été constaté que la concentration du phytoplancton était plus importante à 1 m qu'en surface, avec respectivement 545 000 cel/l (station LG10-J), 398 000 cel/l (station LG35-J) et 284 000 cel/l (station LG50-J). On a donc observé une diminution de la densité du phytoplancton de l'aval vers l'amont, dans la direction opposée à celle observée en surface au cours de la période précédente (juillet 2000).

Quantitativement, les algues vertes (Chlorophycées et Desmidiacées) fournissent plus de 90 % du nombre total de cellules à 0m et à 1 m. A cela il faut ajouter la prédominance des deux espèces Coenocystis obtusa et Euteteramorus planctonoca avec respectivement 52,9

et 35,8 % et encore 55,7 et 31,5% du nombre total de cellule du phytoplancton à 0 m et à 1 m.

STATIONS	LG10-J		LG35-J		LG50-J		Moyenne sur les 3 stations	
Nombre de cellules/L (x 10^3)	360		1160		1080		860	
Espèces dominantes par le nombre de cellules./l (x 10^3)	N. cel/l	%	N. cel/l	%	N. cel/l	%	N. cel/l	%
1. *Coenocystis obtusa*	250	69,4	800	68,9	186	17,2	412	47,9
2. *Eutetramorus planctonica*	87	24,1	230	19,8	700	64,8	339	39,4
3. *Trachelomonas sp.*	-	-	39	3,4	16	1,5	18	2,0
4. *Peridinium sp.*	-	-	-	-	70	6,5	23	2,6
5. *Cosmarium sp.*	-	-	-	-	30	2,8	10,9	1,2
Totaux	337	93,5	1069	92,1	1002	92,8	802	93,1

Tableau 66: Développement quantitatif du phytoplancton du lac de retenue de Garafiri en saison des pluies en surface (juillet 2000)

III.1.c. Conclusion

Au terme des trois missions d'étude du phytoplancton du lac de Garafiri, on peut retenir que :

- le phytoplancton des eaux de la retenue est essentiellement composé de Chlorophycées, de diatomées, Dinophycées et de Cyanophycées,
- les Chlorophycées sont prédominantes et constituent 63,5 % du nombre total d'espèces relevées en mars 2000 et 74% en juillet et septembre 2000,
- le pourcentage des Diatomées diminue de 25% en mars à 10,8% en juillet – septembre 2000, ce qui est dû vraisemblablement à la faible concentration en éléments dissous,
- les Cyanophycées se développent progressivement de 6% en Mars à 12% en juillet-septembre 2000 ; ce qui témoigne de leur plasticité écologique,
- une densité moyenne de 800.000 cel/l traduit un niveau de développement relativement faible du phytoplancton du lac de Garafiri. Cependant il faut tenir compte du nombre peu important de campagnes d'échantillonnage au cours de l'année d'une part, et de l'étendue restreinte de la zone échantillonnée d'autre part.

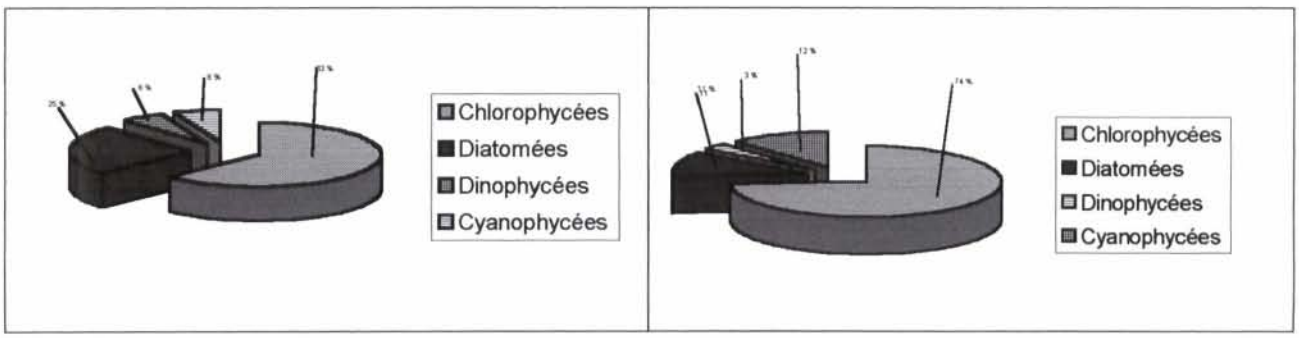


Figure 107 : Composition floristique du phytoplancton du lac de Garafiri (à gauche : mars 2000 ; à droite : juillet 2000)

1	*Ankistrodesmus falcatus*	38	*Pleurosigma elongatum*
2	*Ankistrodesmuspiralis*	39	*Poyedriopsis spinulosa*
3	*Aplanoteche sp.(?)*	40	*Pseudostaurastrum lobatum*
4	*Aplanocapsa elachista*	41	*Quadrigula closterioides*
5	*Arthroocystis sp*	42	*Scenedesmus bernardii*
6	*Ceratium sp.*	43	*Scenedesmus ellipticus*
7	*Characium ornithocephalum*	44	*Scenedesmus incrassatulus*
8	*Chlorococcus sp.*	45	*Scenedesmus microspina*
9	*Closteriopsis acicularis*	46	*Scenedesmus quadricaudata*
10	*Closterium sp.*	47	*Siderocelis sp. (?)*
11	*Coelastrum microsporum*	48	*Skeletonema subsalum*
12	*Coelosphaerium kuetzingianum (?)*	49	*Spirulina sp.*
13	*Coenocystis obtusa*	50	*Spondylosium planum*
14	*Coscinodiscus lacustris*	51	*Spondylosium monoliforme*
15	*Cosmarium contractum*	52	*Staurodesmus sp.*
16	*Crucigenia irregularis*	53	*Staurastrum sp.*
17	*Crucigenia quadrata*	54	*Synechoccus lineare*
18	*Crucigenia ectangularis*	55	*Synedra ulna*
19	*Crucigenia tetrapedia*	56	*Teilingia granulatum*
20	*Dictyosphaerium sp.*	57	*Terpsinoe sp.*
21	*Elakatothrix gelatinosa*	58	*Tetraedron incus*
22	*Euglena acus var. ongissima*	59	*Tetraedron limneticum*
23	*Euglena polymorpha*	60	*Tetraedron minimum*
24	*Eutetramorus planctonica*	61	*Tetraedron triangulare*
25	*Eutetramorus polycoccus*	62	*Tetraedron victoriae*
26	*Fragilaria sp.*	63	*Tetrastrum heterocanthum*
27	*Glenodiniopsis sp.*	64	*Trachelomonas angustispina*
28	*Gomphonema sp.*	65	*Trachelomonas bacillifera var. minima*
29	*Hyalotheca undulata*	66	*Trachelomonas globularis var.africana*
30	*Kirchneriella lunaris*	67	*Trachelomonas hipsida var. crenulatocollis*
31	*Melosira granulata*	68	*Treubaria setigera*
32	*Micractinium (spores)*	69	*Treubaria triappendiculata*
33	*Monoraphidiniumirregulare*	70	*Treubaria schimidlei (?)*
34	*Nitzschia sigmoidea*	71	*Ulothrix zonata (?)*
35	*Oocystis lacustris*	72	*Westella botryoides*
36	*Peridinium sp. (+kystes)*	73	*Wolskyellasp. (?)*
37	*Phacus horridus*	74	*Xanthidiumsp.*

Tableau 67 : Liste des espèces (retenue de Garafiri)

Stations et Horizons de prélèvement	LG10-J				LG35-J				LG50-J				Nombre moyen de cellules par litre sur les 3 stations ($x10^3$)			
	0 m		1 m		0 m		1 m		0 m		1 m		0 m		1 m	
Nombre de cellules par litre ($x10^3$)	203		545		127		398		339		284		223		409	
Espèces dominantes en nombre de cellules/l ($x10^3$)	Cel./l	%	Cel./l	%	Cel./l	%	Cel./l	%	Cel./l	%	Cel./l	%	Cel./l	%	Cel./	%
Coenocystis obtusa	118	58,1	365	66,9	62	48,8	186	46,7	173	51	133	46,8	118	52,9	228	55,7
Eutetramorus planctonica	52	25,6	133	24,4	49	38,5	132	33,1	140	41,3	122	42,9	80	35,8	129	31,5
Cosmarium sp.	13	6,4	21	3,8	-	-	18	4,5	-	-	12	4,2	4,3	1,9	17	4,1
Synechoccus lineare (?)	9,5	4,6	-		-	-	21	5,2	7	2	-	-	5,5	2,4	7	1,7
Nostoc sp.	-		-		-	-	14	3,5	-	-	-	-	-	-	4,7	1,1
Staurastrum sp.	-		-		-	-	-		-	-	4,5	1,5	-		1,5	0,3
Total	192,5	94,7	519	95,1	111	87,3	371	93	320	94,3	271,5	95,4	207,8	93	387,2	94,4

Tableau 68 : Dynamique du nombre de cellules du phytoplancton de la retenue de Garafiri en saison des pluies au niveau de la couche 0-1m (septembre 2000)

III.2. L'ESTUAIRE

III.2.a. Protocole d'échantillonnage et analyse des résultats

Nous avons effectué 2 missions d'échantillonnage et d'étude du phytoplancton de l'estuaire respectivement du 26 au 27 avril et du 21 au 23 septembre 2000.

Les échantillons ont été prélevés en surface et en profondeur (1, 2, 3 m) à toutes les stations K12, K14, K19, K15 et à 5 m à la station K15 .

Le protocole d'échantillonnage a été le même que celui décrit dans le cas du lac de Garafiri.

Au cours de la première mission (26-27 avril 2000) essentiellement consacrée à l'étude de la composition floristique, le traitement des échantillons a permis d'enregistrer 51 espèces d'algues planctoniques parmi lesquelles prédominent les Diatomées (64% du nombre total des espèces) réparties entre 7 familles et 12 genres(Tableau 69).

Classes d'algues	Familles	Genres	Espèces	% du nombre d'espèces
Chlorophycées	7	12	16	31
Diatomées	7	21	32	64
Cyanophycées	2	3	3	5
Total	16	36	51	100

Tableau 69 : Composition floristique du phytoplancton de l'estuaire du Konkouré (avril 2000)

La fréquence de certaines espèces est plus marquée aux stations K19 et K15 en aval de l'estuaire : c'est le cas des diatomées comme *Skeletonema costatum* (100%), *Coscinodiscus sp.*, *Rhizosolenia longiseta*, *Navicula spp.* (75%), *Melosira granulata*, *Thalassiosira excentrica*, *Rhizosolenia setigera*, *Guinardia flaccida*, *Lauderia punctata*, *Leptocylindrus danicus*, *Cyclotella sp.*, *Nitzschia closterium*, (50%), etc.

Les Chlorophycées (31%) se rencontrent plutôt en amont de l'estuaire (station K12) ou l'on peut noter la fréquence d'espèces appartenant aux genres Closteriopsis, Ankistrodesmus, Scenedesmus et Staurastrum.

Lors de la seconde mission (21-23 septembre 2000), seulement 43 espèces d'algues ont été enregistrées avec une nette prédominance des Diatomées (84% du nombre total d'espèces, (Tableau 70)

Classes d'algues	Familles	Genres	Espèces	%
DIATOMOPHYCEES	9	22	36	84
CHLOROPHYCEES	3	3	3	7
DINOPHYCEES	2	3	3	7
CYANOPHYCEES	1	1	1	2
TOTAL	15	29	43	100

Tableau 70 : Composition floristique du phytoplancton de l'estuaire du Konkouré (septembre 2000)

Par rapport à la première mission, on constate une diminution du nombre d'espèces, situation que l'on peut imputer à :

- l'invasion massive des eaux douces en cette période (forte baisse de la salinité à la station 15 et salinité pratiquement nulle à toutes les autres stations) ;
- une remise de particules en suspension favorisant l'augmentation de la turbidité par augmentation de la vitesse du courant.

L'analyse quantitative a révélé un très faible développement du phytoplancton de l'estuaire en cette période. Aux stations K12, K14, et K19, la densité du phytoplancton n'a pas excédé 37000 cel/l (station K14) depuis la surface jusqu'à 3m de profondeur. Par contre à la station K15, il a été enregistré une densité du phytoplancton supérieure à 400 000 cel/l à 3m et à 200 000cel/l à 5m à la faveur du développement remarquable de la diatomée cosmopolite Skeletonema costatum à laquelle revient plus de 90% du nombre de cellules à 0, 3 et 5m (Tableau 71).

Profondeur	K12	K14	K19	K15
0m	16000	37000	3600	12600
1m	7300			
2m	3600	4600		
3m			1000	433500
5m				223500
Salinité $^{0}/_{00}$	0	0	0	5-23
Valeurs exprimées en nombre de cellules par litre d'eau				

Tableau 71 : Développement quantitatif du phytoplancton de l'estuaire (septembre 2000)

III.2.b. Conclusion

Au terme de ces deux missions, on peut noter que :

- La composition du phytoplancton de l'estuaire est dominée par les Diatomées avec 64% et 84% du nombre total des espèces respectivement en avril et en septembre 2000 ;
- les diatomées sont plus nombreuses en aval ;
- les espèces d'eau douce (Chlorophycées notamment) se rencontrent plutôt en amont de l'estuaire, mais leur nombre diminue de manière spectaculaire après la saison des pluies (16 espèces en avril contre 3 seulement en septembre 2000) ;
- la diminution du nombre d'espèces et de la densité du phytoplancton de l'estuaire pourraient s'expliquer par la turbulence et la turbidité et la forte baisse de la salinité résultant de la crue fluviale.

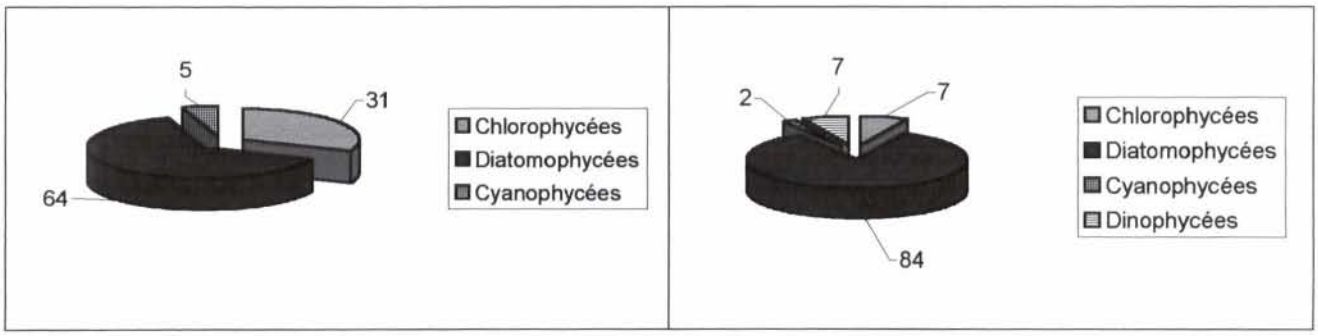


Figure 108 : Composition floristique du phytoplancton de l'estuaire du Konkouré (à gauche : avril 2000 ; à droite : septembre 2000)

DIATOMEES		
	1	*Achnantes brevipes*
	2	*Amphora ovalis*
	3	*Amphora cofeaeformis*
	4	*Amphora sp.*
	5	*Biddulphia mobiliensis*
	6	*Amphora rhombus*
	7	*Bacillaria paradoxa*
	8	*Chaetoceros sp.*
	9	*Coscinodiscus lineatus*
	10	*Cyclotula meneghiniana*
	11	*Diploneis ovalis*
	12	*Diploneis petersen*
	13	*Eunotia flexuosa*
	14	*Fragilaria crotonensis*
	15	*Fragilaria oceanica*
	16	*Gomphonema olivaceum*
	17	*Gyrosigma sp.*
	18	*Leptocylindrus danicus*
	19	*Melosira roeseana*
	20	*Navicula americana*
	21	*Navicula sp.*
	22	*Nitzschia acicularis*
	23	*Nitzschia tenuirostris*
	24	*Nitzschia navicularis*
	25	*Nitzschia sp.*
	26	*Pinnularia lata*
	27	*Pleurosigma elongatum*
	28	*Skeletonema costatum*
	29	*Synedra capitata*
	30	*Synedra sp.*
	31	*Thalassiosira excentrica*
	32	*Thalassiosira decipiens*
	33	*Thalassiosira tumula*
	34	*Thalassionema nitzschioides*
	35	*Thalassiothrix mediterranea (v.pacifica)*
	36	*Thalassiothrix sp.*
DINOFLAGELLES		
	37	*Exuviella sp.*
	38	*Peridinium sp.*
	39	*Prorocentrum sp.*
CHLOROPHYCEES		
	40	*Ankistrodesmus spiralis*
	41	*Scenedesmus quadricandata*
	42	*Staurastrum sp.*
CYANOPHYCEES		
	43	*Nostoc sp.*

Tableau 72 : Liste des espèces de phytoplancton (estuaire)

IV. LES PEUPLEMENTS DE POISSONS DU BASSIN VERSANT ET DE L'ESTUAIRE DU KONKOURE

L'impact de Garafiri avec la modification des conditions de milieu et ses conséquences possibles sur les poissons se situe principalement dans trois zones : la retenue, le cours du Konkouré à l'aval du barrage, qui sera comparé à des stations situées sur des affluents, et enfin l'estuaire où le débit d'étiage est nettement augmenté.

Dans la plupart des cours d'eau, de la source à l'estuaire, on observe un changement progressif de l'altitude, de la pente, de la vitesse du courant et de la section (largeur et profondeur) de la rivière. Ces conditions de milieu déterminent des biotopes successifs, depuis le petit torrent sur substrat rocheux jusqu'au large fleuve aux méandres envasés, auxquels correspondent des peuplements également bien différenciés. Dans le Konkouré, c'est surtout la segmentation du cours fluvial par des chutes qui perturbe la distribution des espèces (Daget, 1962).

Une espèce de poisson se maintient à long terme dans un hydrosystème dans la mesure où elle y trouve un ensemble de conditions qui lui permettent, entres autres, de croître et de se reproduire. Ces conditions se répartissent schématiquement en deux ensembles :

- l'environnement physico-chimique (ou abiotique), constitué par les contextes géologiques et climatiques et le paysage aquatique tel qu'il est perçu par le poisson ;
- l'environnement trophique (biotique), qui peut être défini par les interactions entre espèces et notamment les relations proie-prédateur au cours des stades successifs de développement.

Au cours des dernières décennies, de nombreux barrages ont été construits sur les fleuves de l'Afrique de l'Ouest le plus souvent à des fins hydroélectriques (voir Tableau ci- dessous pour les plus importants). Ces réservoirs ont créé de nouveaux milieux aquatiques favorables au développement d'espèces adaptées aux eaux dormantes, autochtones ou introduites, mais ont également perturbé le cycle des espèces les plus dépendantes du régime saisonnier du fleuve.

En ce qui concerne les poissons, deux variables de l'environnement sont à prendre en compte pour un lac de barrage : le temps de séjour de l'eau et les fluctuations du niveau (marnage) au cours de l'année. De forts et rapides changement de niveau empêchent, en effet, le développement d'une communauté littorale, nécessaire au développement des juvéniles (Lemoalle, 1999).

Nom	Bassin	Pays	Fermeture	Superficie (km2)	Profondeur max. (m)
Volta	Volta	Ghana	1964	8270	741
Kainji	Niger	Nigeria	1968	1270	60
Kossou	Bandama	Côte d'Ivoire	02/1971	1600	60
Buyo	Sassandra	Côte d'Ivoire	1980	900	32
Ayamé	Bia	Côte d'Ivoire	1959	197	20
Manantali	Sénégal	Mali	1987	500	20
Sélingué	Niger	Mali	07/1980	409	20
Lagdo	Bénoué	Cameroun	1982	700	11*
Garafiri	Konkouré	Guinée	09/1999	79	66

*Tableau 73 : Principaux réservoirs de l'Afrique de l'Ouest (source : Van Den Bossche & Bernacsek, 1990). * = Profondeur moyenne in Lemoalle (1999).*

En aval des barrages, le régime des cours d'eau est souvent modifié, avec des crues moins prononcées et parfois à contre-saison, d'où une moindre extension des plaines d'inondation et un changement des conditions de milieu pour la reproduction. Cet impact est particulièrement important dans les fleuves où le régime des crues est saisonnier (cas de la Guinée) et où de nombreuses espèces ont adapté leurs stratégies de reproduction pour bénéficier de ces conditions favorables et prévisibles (Winnemiller & Rose 1992, Paugy & Lévêque 1999). Ces stratégies de reproduction sont souvent associées à des migrations longitudinales qui peuvent être empêchées ou fortement perturbées par le barrage (Agostinho & Zalewski 1995, Ribiero et al 1995). A cet impact du régime saisonnier s'ajoute bien souvent une augmentation de la variabilité hydrologique a court terme (de l'ordre de la journée) qui augmente la variabilité des conditions de vitesse et de hauteurs d'eau qui déterminent en grande partie la sélection de l'habitat des poissons. De plus, le turbinage des eaux profondes, généralement anoxiques et riches en méthane, provoque en aval une dégradation, plus ou moins importante, de la qualité de l'eau. Dans certains cas extrêmes, cette détérioration peut être telle que la production aval est profondément affectée.

Les résultats présentés ici concernent les pêches expérimentales effectuées sur 7 stations du bassin versant et 4 stations de l'estuaire du Konkouré entre avril 1999 et janvier 2002.

Les données obtenues sont utilisées pour :

- mettre à jour la liste des espèces présentes dans le bassin,
- essayer de définir quelques éléments du cycle biologique des espèces (période de reproduction, taille de première maturité) dans le bassin et de les comparer avec des bassins voisins
- analyser les effets éventuels du barrage sur la structure des peuplements du bassin continental,
- analyser l'impact du barrage sur la répartition des poissons dans le bassin versant et l'estuaire.

IV.1. LE CADRE GENERAL

IV.1.a. Description du bassin

Le Konkouré est l'un des fleuves de la zone géographique dite « haute Guinée » identifiée dans les 10 zones d'Afrique de l'Ouest comme "zones importantes pour la biodiversité des poissons " ou "points névralgiques de la biodiversité des poissons" (Lévêque & Paugy, 1999), Groombridge et Jenkins (World Conservation Monitoring Centre 1998 in Ticheler, H. 2000).

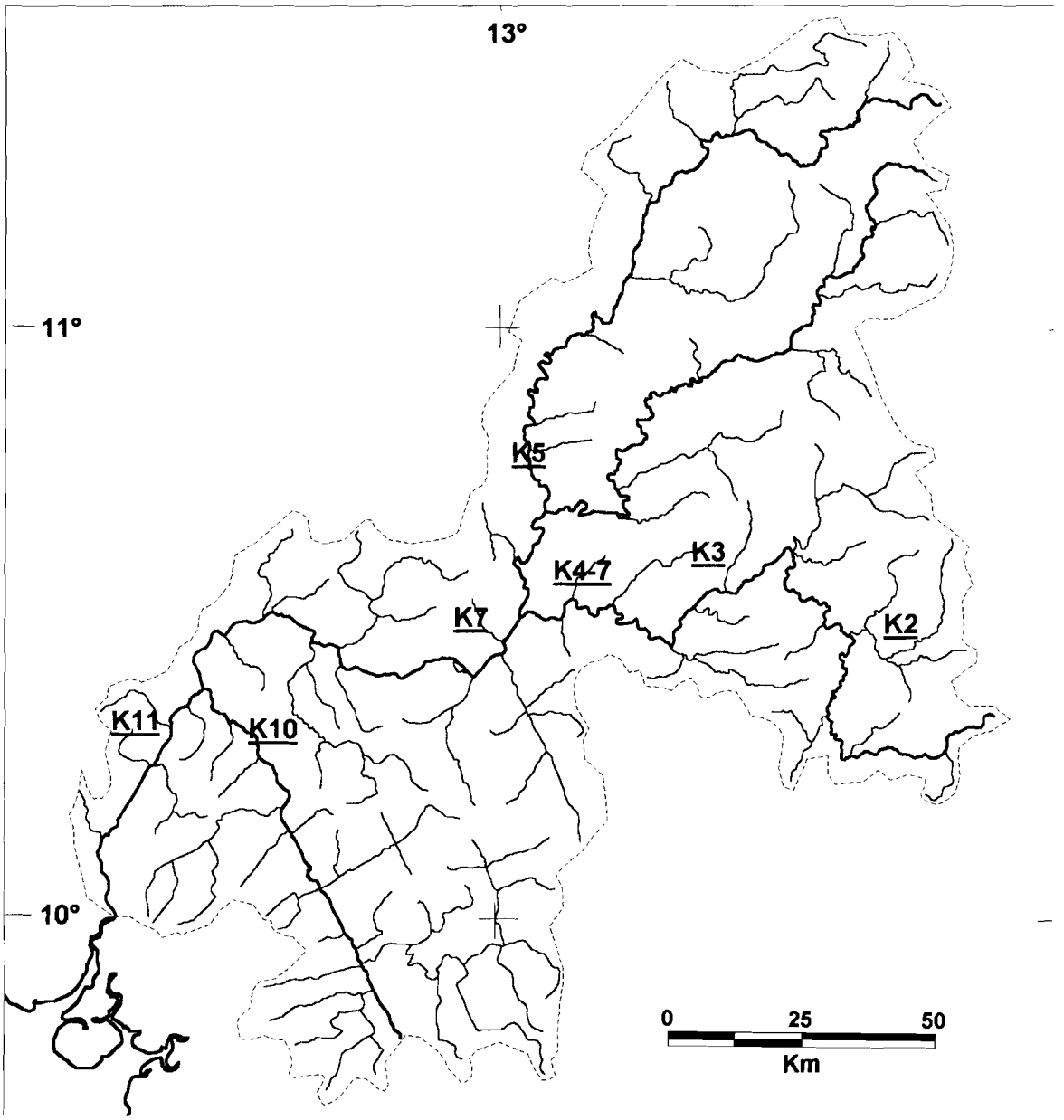


Figure 109:Stations d'échantillonnage ichtyologique sur le bassin versant du Konkouré.

La province ichtyologique de haute Guinée, comprend l'ensemble des bassins côtiers depuis la rivière de Kogon, en Guinée, jusqu'à la rivière Nipoué à la frontière de la Côte-d'Ivoire et du Liberia. Dans l'ensemble, les familles de poissons représentées sont sensiblement les mêmes que celles de la zone nilo-soudanienne, mais la composition spécifique de la faune se rapproche en partie de celle des provinces ichtyologiques de la basse Guinée et du Zaïre (Levêque et al.,1989 ; Paugy et al., 1989, 1994). En termes de diversité et de richesse spécifique, la composition de l'ichtyofaune de bassins hydrographiques africains montre que quelques familles ont une vaste répartition et une plus grande importance relative : Mormyridae, Cyprinidae, Mochokidae, Cichlidae (Lévêque et Paugy, 1999).

A l'aval du bassin continental du Konkouré, un estuaire à mangrove forme la zone de transition avec le domaine maritime. La transparence dans la partie aval des estuaires et dans la frange côtière est rarement supérieure à 1,5 m de visibilité au disque de Secchi (Deme-Gningue et al. 1994 ; PIG, 2002).

Le nombre de ces fleuves côtiers (Kogon, Tinguilinta, Fatala, Konkouré, Bofon, Melakoré), l'importance de leur débit et de la forte pluviométrie de la zone côtière conduit également à une dessalure marine côtière permanente, cette dernière pouvant atteindre 10%0 en saison des pluies (Berrit 1966).

Différents critères peuvent être utilisés pour définir la limite entre la partie continentale d'un cours d'eau et son estuaire. La limite de perception de l'onde de marée est un indicateur physique auquel les organismes aquatiques sont peu sensibles, alors que beaucoup d'espèces, et en particulier les poissons, réagissent à la salinité. Une salinité de 1 à 3 g/L est en général considérée comme impropre à la survie de la majorité des organismes d'eau douce dont l'osmorégulation est alors perturbée. La limite de répartition des espèces dépend alors du débit du fleuve.

Plusieurs auteurs ont défini l'estuaire : Fairbridge, (1980), Pritchard, (1967), Day, (1981), Day et al., (1989) ; parmi eux nous retenons celle de Fairbridge, (1980) qui s'applique tout à fait pour la délimitation de la zone estuarienne du Konkouré.

En 1980, Fairbridge définissait l'estuaire comme "une avancée de la mer dans une vallée fluviale jusqu'à la limite supérieure de la zone d'influence des marées, dans laquelle on distingue d'ordinaire trois secteurs : a) un estuaire marin ou inférieur, ouvert sur la mer ; b) un estuaire intermédiaire où se réalise un mélange intense des eaux douces et marines ; c) un estuaire supérieur ou fluvial, caractérisé par de l'eau douce mais sujet à une alternance marégraphique quotidienne."

Dans ce cas, la station K11 au niveau de Yékémato est clairement continentale, avec des conductivités en permanence inférieures à 100 µS/cm (correspondant à environ 70 mg/L) depuis le début des mesures du PIG en novembre 1998.

La salinité observée à la station K12 au niveau de Wassou était comprise entre 2 et 18 ‰ durant l'étiage en avril 1999. Mais avec la mise en fonction du barrage de Garafiri, qui augmente sensiblement le débit d'étiage, la salinité de l'eau à cette station est restée en permanence à 0 ‰ en avril 2000 (Rapport PIG, 2001).

On peut donc estimer que la limite de l'estuaire est passée de l'amont à l'aval de K12 au cours de l'année 1999. Cette limite est actuellement comprise entre K12 et le confluent de la Sankiné (station K14).

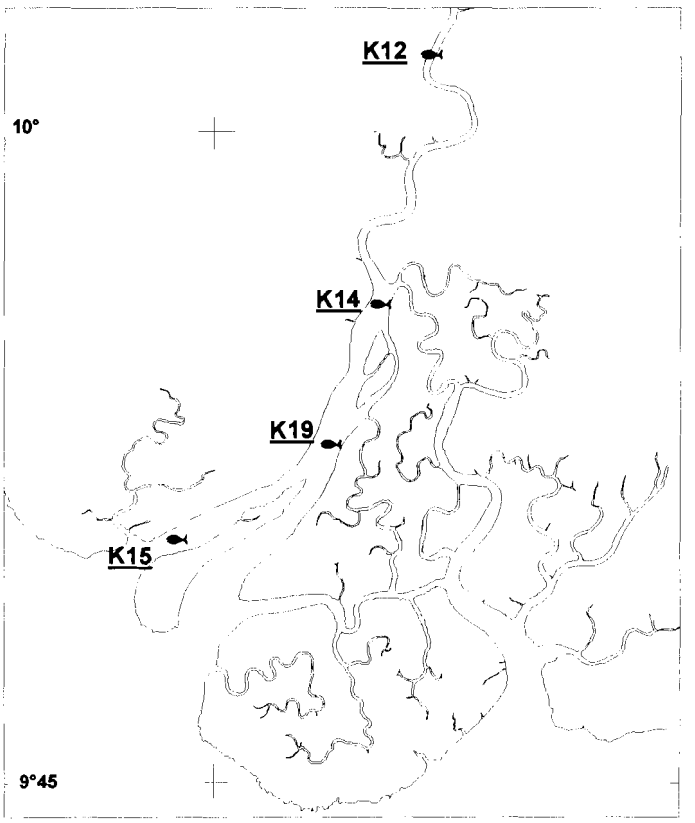


Figure 110: Stations d'échantillonnage ichtyologique sur l'estuaire du Konkouré (K12 = Wassou, K14 = Kakounssou, K19 = Centre, K15 = Bokhinènè)

IV.1.b. Le climat

La République de Guinée se trouve globalement en zone de climat soudano-guinéen (Kawalec, 1977).

Le fort gradient pluviométrique crée une diversité des conditions écologiques qui permet de diviser le territoire guinéen en quatre régions naturelles bien distinctes. Cette division est toutefois grossière, car à l'intérieur des régions, l'altitude, la topographie, l'hydrologie, le climat, la végétation, la température et les sols varient largement. La grande diversité des paysages, résultant de la grande variété des reliefs contribue à la création de nombreux climats locaux avec leurs propres écosystèmes (Samoura et al. 1999).

Le bassin du Konkouré est compris entre la Moyenne Guinée (Fouta Djalon) à l'amont et la Basse Guinée à l'aval. En Basse Guinée, la pluviométrie annuelle est de 2000 et 4000 mm, répartis en une seule saison des pluies de 4 à 6 mois, de mai à octobre. La partie amont du bassin est située sur les contreforts du massif du Fouta Djalon, le château d'eau de l'Afrique de l'Ouest d'où sont issus le Niger et le Sénégal, avec un climat tropical tempéré par l'altitude. La pluviométrie annuelle varie entre 1 500 - 2000 mm (4 à 5 mois de pluie) (Tableau 74).

Stations	Mois	Pluie (mm)	Evaporation (mm)	Humidité %	T °C	Vent m/s
KINDIA	janvier	3.8	204.2	53.9	26.1	0.9
	février	0.5	218.7	51.9	27.3	1.2
	mars	7.1	250.7	50.7	28.5	1.7
	avril	51.8	219	58.5	28.8	2.0
	mai	167	134	70.5	27.4	1.5
	juin	270	61.2	80.2	25.4	0.9
	juillet	363.2	41.7	85	24.3	1.0
	août	476.1	35.7	85.7	24.1	1.2
	septembre	379.3	50	82.4	24.7	1.0
	octobre	260.9	60.7	80.2	25.1	1.0
	novembre	39.6	91.4	72.7	25.6	0.7
	décembre	1.3	175.7	57.5	25.5	0.9
	Somme	2020	1543	69.1	26.07	1.17
MAMOU	janvier	9.1	175.9	41.8	22.9	1.6
	février	4.2	191.3	40.1	24.5	1.6
	mars	15.2	198.1	46.6	26.2	1.5
	avril	65.7	141.4	56.1	26.5	1.4
	mai	149.9	92.9	72.8	25.2	1.3
	juin	212	45	81.9	23.7	1.0
	juillet	323.4	34.2	86.3	22.6	1.4
	août	409	29.7	87.3	22.5	1.5
	septembre	342.8	38.2	84.6	22.9	1.0
	octobre	234.4	47.7	81.4	23.4	1.1
	novembre	39.3	96	64.8	23.3	1.2
	décembre	0.8	150.8	47.2	22.5	1.4
	Somme	1805.8	1241.3	65.91	23.85	1.33

Tableau 74 :. Météorologie moyenne (1990 – 2001) dans la région du barrage de Garafiri et du bassin du Konkouré aux stations de Kindia et Mamou (données Météorologie nationale de Guinée).

IV.1.c. Le régime hydrologique

Le régime hydrologique du Konkouré est décrit au chapitre "Ecoulement des eaux continentales et transports solides" (Tome 1, page 16). Nous rappelons cependant ici quelques éléments qui se rattachent plus directement à l'environnement des poissons.

La construction de barrages dans le bassin versant a contribué à modifier le régime hydrologique de la Samou, un affluent du Badi, dans les années 1960, et sur le cours du Konkouré lui-même avec le barrage de Garafiri en 1999. D'une façon générale, un barrage hydroélectrique amortit les variations saisonnières naturelles de débit, avec une augmentation du débit d'étiage. Ce fait est surtout sensible dans le cas d'un régime tropical à étiage très marqué, comme celui du Konkouré pour lequel le débit d'étiage à l'aval du bassin (stations K11 et K12) est trois fois plus fort depuis la construction du barrage de Garafiri (et il était déjà augmenté par les effets des barrages sur la Samou) (Figure 111).

La différence interannuelle des précipitations sur le bassin est importante. Elle se traduit de façon assez paradoxale dans le bassin du Konkouré : 1999 année de mise en eau du barrage aurait dû correspondre à une diminution du débit annuel. Ce débit a au contraire été largement supérieur à celui des années 2000 et 2001.

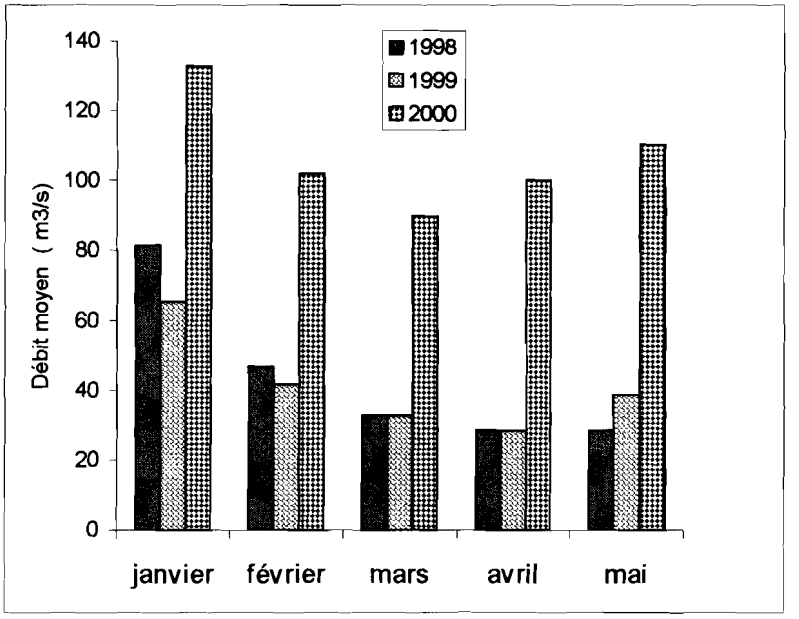


Figure 111 : Le débit mensuel du Konkouré en étiage à la station K12 avant et après la construction du barrage (données PIG).

IV.1.d. Matériel et méthodes

➢ Echantillonnage

Les données des pêches expérimentales, recueillies au cours des différentes campagnes d'échantillonnage du PIG ont été obtenues entre avril 1999 – janvier 2002 Elles ont porté sur 7 stations du bassin versant et 4 stations sur l'estuaire (Figure 109 et Figure 110). Les stations K2 et K3 sont devenues lacustres lors de la mise en eau de la retenue.

Cinq stations sur les rivières du bassin versant ont été suivies pour l'étude de la structure du peuplement dont 3 sont soumises à l'influence du barrage (K4-7, K7, K11) et deux hors de l'influence du barrage (station témoins) sur des affluents du Konkouré (K5 sur la Kakrima, K10 sur le Badi). Parmi ces stations, celle qui est la plus proche du barrage est K4-7 située à peu près à 36 km.

L'échantillonnage a été effectué avec deux batteries de filets maillants à mailles de 10 à 40 mm de côté sur le bassin et de 10 à 60 mm de côté sur l'estuaire (+ 1 batterie de secours).

Une batterie se compose de 10 filets maillants de mailles 10, 12,5,15, 20, 22,5, 25, 30, 35, 40 et 60 mm. Chaque filet mesure 25 m de long et 2 m de haut. Au cours d'une campagne, deux batteries (18 filets pour le continent et 20 filets pour l'estuaire) sont posés le long des berges le soir à 18 heures et relevés le matin à 8 heures, pendant deux nuits consécutives sur chaque station. Les mailles de 60 mm ne sont pas utilisées sur le continent en raison de leur faible rendement. A l'inverse elles sont utilisées en estuaire en raison de leur sélectivité.

Après chaque relevé, la qualité de la pêche et l'état des filets sont examinés. Dans le cas ou les filets sont abîmés ou emmêlés, la pêche peut être recommencée.

Les poissons pêchés pendant les campagnes ont été identifiés à l'espèce, pesés (Balance METTLER PJ3600 DeltaRange) et mesurés à la longueur standard (Ls mm) sur le bassin versant et à la fourche caudale (Lf mm) sur l'estuaire. Le sexe des individus et les stades de maturité sexuelle des espèces ont été déterminés.

Les poissons ont été identifiés à l'aide des clés de détermination de la Faune de poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest (Lévêque et al. 1990, 1992) et de BLACHE et al. (1970). Tous les échantillons posant de problèmes de systématique ont été conservés dans un bidon de formol (dosé à 10 %) pour leur détermination au laboratoire à l'aide des clés d'identification des espèces et par comparaison aux exemplaires de la collection de poissons conservée au CNSHB.

Il faut néanmoins signaler que l'identification reste incertaine pour un certain nombre de couples d'espèces : *Raimas senegalensis* et *Raimas stendachneri*, *Leptocypris guineensis* et *Leptocypris konkourensis*.

IV.2. LE CALENDRIER DES CAMPAGNES D'ECHANTILLONNAGE SUR LE BASSIN VERSANT ET L'ESTUAIRE.

➢ Bassin versant

1999 :

campagne 1 (étiage, avril) ;

- campagne 2 (fin de décrue, décembre) ;
- campagne 1a (mission complémentaire à la station K4-7 en juin début de crue) ;

2000 :

- troisième campagne (fin d'étiage, mai) ;
- quatrième campagne (décrue, novembre) ;

2001 :

- cinquième campagne (étiage, janvier) ;
- sixième campagne (étiage, avril) ;
- septième campagne spéciale sur le lac en août (période de crue).

➢ Estuaire

1999 :

- campagne 1 (étiage, avril) ;
- campagne 1a (mission complémentaire pour les 4 stations en juin début de saison des pluies) ;
- campagne 2 (août saison des pluies) et octobre (mission complémentaire à la station K19
- campagne 3 (novembre fin de saison des pluies.

2000 :

- quatrième campagne (fin avril et début mai, étiage)
- cinquième campagne (juillet, saison des pluies)
- sixième campagne (octobre mi fin de saison des pluies).

2001 :

- septième campagne (mai fin d'étiage).

2002 :

- huitième campagne (janvier saison fraîche).

IV.2.a. Caractéristiques physiques et biologiques des stations échantillonnées

Dans le bassin versant, les paramètres suivants ont été déterminés : transparence (au disque de Secchi), profondeur (en amont, au milieu et à l'aval de la station), pourcentage de la végétation, nature de la berge (terre, rocher et sable), végétation (immergée, basse et haute), nature du fond (rocher, bois morts et sous berge) et largeur du bief (amont, milieu et aval).

Dans l'estuaire les variables du plan d'échantillonnage et du peuplement sont communes dans le tableau ci-dessous à l'exception des PUE (Prise par unité d'effort en effectif et en poids en gramme) sur le bassin versant qui, après avoir mesuré la surface pêchante en mesurant la hauteur d'eau dans laquelle sont posés les filets, les captures sont converties en prise par unité d'effort (PUE) par m^2 et par nuit.

Les variables du milieu (température, salinité et turbidité) ont été fournies par d'autres équipes du PIG. Seules la profondeur de la zone de pêche, la turbidité (transparence) à la visibilité au disque de Secchi ont été relevées au cours des pêches (Tableau 75).

Variable du plan d'échantillonnage	Variable du milieu	Variable du peuplement
Campagne : - station, date, heure Périodes : - fin d'étiage (avril- mai) - fin de décrue (novembre-décembre) - étiage (janvier) Qualité de la pêche : - Nulle (pas de poissons) - OK (présence de poissons) Etat des filets : - troué Oui ou Non	Turbidité (transparence) Profondeur de faciès (zone de pêche) : amont, milieu, aval Nature de berge : - terre, rocher, sable Largeur du bief : amont, milieu et aval Pourcentage de végétation entre les 3 sections du filet : début, milieu, et fin Profondeur des sections du filet : début, milieu et fin Nature du fond : rocher, bois morts, sous berge, sans fond Distance à la berge	Espèce Tailles en Ls (mm) et en Lf (mm) Poids (g) Classes de maturité Présence ou absence des espèces Abondance absolue et relative Prise par unité d'effort en effectif (individus/100m2) Prise par unité d'effort en poids (g/100m2) Richesse spécifique

Tableau 75 : Variables relevées lors de chaque pêche sur le bassin versant et l'estuaire du Konkouré

IV.2.b. Reproduction

Le cycle de reproduction d'une espèce implique un ensemble de processus physiologiques et comportementaux, en rapport avec divers facteurs de l'environnement abiotique et biotique. Dans les régions tropicales, la gamétogenèse est sous le contrôle de changements subtils dans les facteurs de l'environnement, et sa durée varie selon les espèces (Munro, 1990 in Paugy et Lévêque 1999).

L'étude de la reproduction des poissons rencontrés dans le bassin versant et dans l'estuaire s'est basée sur l'observation macroscopique des gonades au cours des pêches. Les échelles de maturation adoptées s'inspirent de celle utilisées pour Alestes baremoze par Durand et Loubens (1970) en milieu dulçaquicole et de Holden & Raitt (1974) en milieu marin.

Ces auteurs définissent 7 stades :

Stade 0 : immature (avant la première maturité sexuelle)

Stade 1 : individu au repos sexuel

Stade 2 : individu en début de maturation

Stade 3 : individu en maturation

Stade 4 : individu en fin de maturation

Stade 5 : individu mature, prête à pondre

Stade 6 : : individu venant de pondre, au repos.

Par souci de simplification ces stades ont été regroupés en 4 classes sur le continent et 3 sur l'estuaire :

➢ Sur le bassin versant

- Juvéniles (Juv) : stade 0
- Mâle et femelle immature (MI et FI) : stades 1 à 3
- Mâle mature (MM) : stade 4
- Femelle mature (FM) : stades 4 à 5 (et stade 6 pour les Polyptères).

Nous employons ici le mot immature pour qualifier des individus au repos sexuel, mais adultes, alors que la mention d'immature peut aussi être parfois attribuée aux individus n'ayant pas atteint l'âge de la première reproduction (cf. Durand et Loubens, 1970).

➢ Sur l'estuaire

- Juvéniles : Stade 0
- Adultes en repos sexuel : 1 à 3
- Reproducteurs : stades 4 à 6.

IV.2.c. Métriques et caractéristiques du peuplement du bassin versant continental à l'aval du barrage

A partir des PUE par espèce et par pêche au niveau du bassin versant continental, des caractéristiques du peuplement sont calculées : les métriques de l'IBI initial défini pour le Konkouré (Hugueny et al 1996) plus des indicateurs de la condition, de la reproduction et du recrutement.

L'IBI adapté aux peuplements de poissons du fleuve Konkouré (Hugueny et al 1996) comprend 8 métriques définies ci-dessous :

- Métrique 1 : nombre d'espèces par pêche. Cette métrique repose sur l'hypothèse qu'un milieu perturbé aura moins d'espèces qu'un milieu non perturbé du fait que les espèces intolérantes à la (ou les) perturbation(s) seront absentes.
- Métrique 2 : nombre d'espèces de Mormyridés.
- Métrique 3 : nombre d'espèces de Cichlidés.
- Métrique 4 : nombre d'espèces de Grands Siluriformes benthiques.
- Métrique 5 : pourcentage d'individus appartenant à des espèces omnivores. Le nombre d'omnivores est supposé augmenter dans des milieux perturbés où des sources de nourriture plus spécialisées sont rares ou absentes. Par conséquent l'inverse de cette métrique est additionné dans l'IBI final (voir ci-dessous).
- Métrique 6 : pourcentage d'individus appartenant à des espèces invertivores.
- Métrique 7 : pourcentage d'individus appartenant à des espèces ichtyophages ou à tendance piscivore au stade adulte sans être pour autant des ichtyophages stricts.
- Métrique 8 : PUE totale (en effectif) par pêche. Dans un milieu perturbé la densité des espèces est sensée être moindre que celle observée dans un milieu non perturbé.

Les métriques 2 à 4 rendent compte de la diversité fonctionnelle du peuplement exprimée par le nombre d'espèces rencontrées dans différentes catégories taxinomiques. L'hypothèse sous-jacente est qu'un peuplement perturbé sera moins diversifié qu'un peuplement non perturbé.

Les métriques 5 à 7 prennent en compte la structure trophique avec hypothèse sous-jacente que les individus à régime alimentaire spécialisé seront défavorisés par rapport aux omnivores face à une perturbation affectant les ressources alimentaires.

Après avoir été centrées et réduites (et multipliée par –1 dans le cas de la métrique 5) les 8 métriques sont additionnées pour constituer l' IBI. Des valeurs faibles de l'IBI sont interprétées alors comme résultant de l'éventuelle action d'une ou plusieurs perturbations du milieu.

En plus de ces métriques initiales nous avons considéré 3 caractéristiques supplémentaires.

La longueur relative moyenne des individus. Pour chaque individu a été calculé sa longueur relative par rapport au minimum (m) et maximum (M) observés pour les individus de la même espèce dans l'ensemble des pêches : (longueur observée-m)/(M-m). Les valeurs individuelles sont ensuite moyennées par pêche. Plus la valeur est faible et plus on peu supposer que le peuplement est composé de jeunes individus, comme le confirme par ailleurs la corrélation entre cette variable et le pourcentage d'individus juvéniles dans le peuplement. Les espèces représentées par un seul individu dans l'ensemble des pêches n'ont pas été prises en compte (il n'y a pas possibilité de calculer de valeur relative).

Cette variable étant supposée augmenter si une perturbation réduit le recrutement, son inverse est pris en compte dans la somme finale (voir ci-dessous)

Le coefficient de condition relatif moyen. Le coefficient de condition ($K=P/L^3$, P = poids du corps en gramme, L = longueur en cm) a été calculé pour tous les individus, puis converti en valeur relative compte tenu du maximum et minimum observé pour chaque espèce dans l'ensemble des pêches (voir ci-dessus). Les valeurs individuelles sont ensuite moyennées par pêche. Une valeur faible correspond à une faible condition des individus a l'échelle du peuplement.

Le pourcentage d'individus matures : La proportion (%) des individus matures par rapport au nombre total d'individu a été calculée. Une faible valeur peut indiquer une perturbation de la reproduction.

Ces trois variables sont centrées réduites (et multipliée par –1 dans le cas de la longueur relative) et additionnées à l'IBI initial pour constituer un nouvel IBI (IBI2) que l'on espère être plus sensible aux perturbations pouvant être induites en aval par le barrage sur la biologie des espèces (reproduction et condition).

IV.3. RESULTATS

IV.3.a. Le bassin continental du Konkouré

➢ La richesse spécifique du bassin continental

Les rivières de Basse Guinée ont une richesse régionale qui atteint son maximum d'environ 90 espèces dans le Konkouré (Lévêque et al.,1989).

Les inventaires réalisés dans cette région après les travaux de Daget (1962), ont permis à Lévêque et al. (1989), et ORSTOM/CNSHB (1994) de recenser les nombres d'espèces suivants dans les bassins côtiers de Basse Guinée :

- dans le Kogon : 54,
- dans la Fatala : 29 à 30,
- dans le Bofon : 34 à 35,
- dans la Kolenté : 79,
- dans le Konkouré : 87 à 88.

Au cours d'un programme ORSTOM/CNSHB, avec un échantillonnage portant sur 1990-1992, 46 espèces ont été identifiées, dont 1 nouvelle pour ce bassin *Marcusenius mento* par rapport aux descriptions antérieures (ORSTOM/CNSHB, 1994).

Ces données ont été utilisées par Lévêque et al. (1989, 1999) pour évaluer à 85-90 le nombre d'espèces d'eau douce dans le bassin du Konkouré. Il faut toutefois noter que les inventaires réalisés jusqu'alors excluent le cours inférieur. Celui de Daget s'arrête à Souapiti, en amont des chutes de Kaleta en ce qui concerne le cours principal, et se limite au cours supérieur de son affluent le Badi. Quant au programme ORSTOM/CNSHB, la zone couverte commence à Kaba, à la station K06 du PIG sur la Kakrima, et se limite à quelques kilomètres en aval de Fria, s'étendant sur 13 stations.

Les pêches expérimentales pratiquées au cours du programme d'étude d'impact de la construction du barrage de Garafiri (programme PIG, 1999-2002) ont porté sur 11 stations (4 sur l'estuaire et 7 sur le bassin versant) comprenant les affluents témoins non directement influencés par le barrage de Garafiri (la Kakrima et le Badi), le cours supérieur du Konkouré de (Koyombo, K2) à l'amont du barrage de Garafiri jusqu'à Yékémato à l'aval. Elles ont permis de retrouver un certain nombre des espèces précédemment décrites, mais pas toutes.

Le bassin du Konkouré possède un nombre important d'espèces (20% de sa faune recensée) qu'il ne partage avec aucun autre bassin côtier guinéen (Hugueny, 1992). Parmi celles-ci, 10 sont endémiques (Lévêque et al.,1990, 1992, Ticheler 2000). A l'inverse, Ichthyborus quadrilineatus, fréquent et abondant dans les autres bassins, semble curieusement absent du Konkouré). Les barrières faunistiques (cf. Daget, 1962) représentées par les nombreuses chutes qui fractionnent ce bassin ne peuvent expliquer la totalité de ces particularités (Hugueny 1992).

Pour notre part, 55 espèces ont été observées au cours du programme dont 52 pêchées aux filets maillants et 3 de la pêche artisanale. Parmi ces espèces, nous avons récolté 5 espèces jusque là non signalées du Konkouré : *Raiamas senegalensis*, *Schilbe mystus*, *Clarias anguillaris*, *Heterobranchus longifilis* et *Tylochromis leonensis*.

On constate qu'aucun des inventaires proposés n'est complet, ce qui doit nous rendre prudents sur le nombre d'espèces effectivement présentes dans le bassin. Le fait que 5 espèces non précédemment signalées aient été capturées au cours du PIG ne signifie pas que les espèces non signalées par ce programme ont disparu du bassin. C'est en particulier le cas des espèces endémiques dont nous n'avons retrouvé que 3 espèces sur les 10 signalées par Lévêque et al. (1989).

Cet inventaire ne se prétend donc ni exhaustif ni définitif. En effet, de nouvelles observations peuvent venir le modifier. Certaines modifications mineures pourront lui être apportées ultérieurement, du fait des problèmes de systématique rencontrés dans la détermination de certaines espèces (qui portent un point d'interrogation dans le (Tableau 76).

FAMILLES/ESPECES	Lévêque et al.,(1989) et Ortom/Cnshb 1994	Stations du Programme PIG						
		K2	K3	K4-7	K6	K7	K10	K11
POLYPTERIDAE								
Polypterus cf. palmas	*						r	r
NOTOPTERIDAE								
Papyrocranus afer	*						r	r
MORMYRIDAE								
Brienomyrus brachyistius	£							
Brienomyrus longianalis	£							
Hippopotamyrus paugyi	*	r	r	r	r	r	r	
Isichthys henryi	*							
Marcusenius mento	x						r	
Marcusenius thomasi	*	r	r	r	r	r	r	
Mormyrops anguilloides	*		r	r	r	r	r	
Mormyrops caballus	£							
Mormyrus tapirus	*	r	r	r	r	r	r	
Petrocephalus levequei	*							
Petrocephalus tenuicauda	*	r	r	r	r	r	r	
HEPSETIDAE	*							
Hepsetus odoe	*						r	r
CHARACIDAE								
Brycinus longipinnis	*						r	r
Brycinus macrolepidotus	*	r	r	r	r	r	r	r
Brycinus nurse	*	r	r			r		
Hydrocynus forskalii	*			r	r	r	r	r
Rhabdalestes septentrionalis	£							
DISTICHODONTIDAE								
Nannocharax fasciatus	£				r			
CYPRINIDAE								
Barbus ablabes	*							
Barbus cadenati **	£							
Barbus foutensis	£	r	r					
Barbus guineensis	£							
Barbus macrops	*	r						
Barbus pobeguini	£							
Barbus sacratus		r	r		r	r		
Barbus salessei	£							
Barbus tiekoroi	*							
Barbus wurtzi	£	r			r			
Labeo parvus	*	r	r	r		r		
Labeo rouaneti **	*		**	**	**	**	**	
Leptocypris guineensis	£				r	r		r

Leptocypris konkourensis **	*	**	**	**	**	**		**
Raiamas levequei **	£							
Raiamas senegalensis		n		n	n	n		
Raiamas steindachneri	*	r				r		
BAGRIDAE								
Auchenoglanis occidentalis	£						r	r
Chrysichthys johnelsi	*						r	r
Chrysichthys levequei **	£							
Chrysichthys maurus	*	r	r	r	r	r	r	r
Chrysichthys nigrodigitatus							p.a.	
SCHILBEIDAE								
Schilbe micropogon	*						r	r
Schilbe mystus							n	
AMPHILIDAE								
Amphilius kakrimensis **	£							
Amphilius platichyr	*							
Amphilius rheophilus	£							
CLARIIDAE								
Clarias anguillaris		n			n			
Clarias buettikoferi	£							
Claris dialonensis	£							
Clarias salae	*	r			r			
Heterobranchus isopterus	*	r	r					r
Heterobranchus longifilis					n			n
MALAPTERURIDAE								
Malapterurus electricus	*							
MOCHOKIDAE								
Chiloglanis occidentalis	£							
Synodontis annectens	£						r	
Synodontis ansorgii	£	r						
Synodontis dekimpei **	£							
Synodontis levequei **	*	**	**	**	**	**		
Synodontis thysi	*	r	r		r	r		
Synodontis waterloti	*	r	r	r	r			
CYPRINODONTIDAE								
Aphyosemion geryi	£							
Aphyosemion guignardi	£							
Aplocheilisthys lamberti	£							
Aplocheilisthys normani	£							
Aplocheilisthys spilauchen	£							
Epiplatys barmoiensis	£							
Epiplatys bifasciatus	£							
Epiplatys f. fasciolatus	*							
CENTROPOMIDAE								
Lates niloticus	*	r	r	r	r	r	r	r
CICHLIDAE								
Annomalochromis thomasi	£							
Hemichromis bimaculatus	*				r		r	
Hemichromis fasciatus	*	r	r	r	r	r	r	r
Pelmatochromis buettikoferi	£						p.a.	
Sarotherodon caudomarginatus	£							
Sarotherodon melanotheron	£							
Sarotherodon occidentalis	£	p.a.						
Tilapia brevimanus	*	r				r	r	r
Tilapia buttikoferi	£						r	
Tilapia guineensis	£	r	r			r		

Tilapia louka	*		r	r	r	r		
Tilapia rheophila	*			r				r
Tilapia zillii	*	r						
Tylochromis cf jentenki	*							r
Tylochromis cf soudanensis	*							
Tylochromis leonensis							n	n
ELEOTRIDAE								
Dormitator lebretonis	£							
Kribia kribensis	£							
Kribia nana	£							
ANABANTIDAE								
Ctenopoma kingsleyae	*	r	r		r	r		
MASTACEMBELIDAE								
Aethiomastacembellus liberiensis	£		r					
Total	87	30	23	18	27	25	26	20

Tableau 76 :. Liste des espèces observées dans le bassin continental du Konkouré au cours de différents inventaires (d'après Lévêque et al. (1989) ; ORSTOM/Cnshb (1994) et PIG 2002).

Légende :

Colonne 1 : ? = problème d'identification;
** = endémique signalé par Lévêque et al (1990, 1992).
Colonne2 : * = déjà signalé dans Lévêque (1989) et également observé par Orstom/Cnshb (1994).
£ = signalé précédemment mais non rencontré par Orstom/Cnshb (1994),
x = nouveau dans le bassin d'après Orstom/Cnshb.
Colonnes suivantes : espèces rencontrées dans les différentes stations lors du PIG
r = observé dans les pêches expérimentales;
n = nouveau dans le bassin;
p.a. = rencontré dans la capture de la pêche artisanale.
** = endémique rencontrée.

➢ <u>Caractéristiques biologiques des principales espèces capturées dans le lac et à l'aval du barrage</u>

Les résultats des pêches expérimentales ont fourni des indications sur divers paramètres relatifs aux espèces, comme la sélectivité des filets maillants à leur égard, les périodes de reproduction et parfois leur localisation. Cependant, la fréquence de l'échantillonnage n'a pas permis de définir exactement tous ces paramètres (A. B. Samoura, 2002).

Dans l'ensemble, un tableau par espèce a été réalisé qui mentionne le nom de l'espèce, son effectif total, par station de capture, par campagne, le nombre de reproducteurs (mâles et femelles matures) total et leur distribution mensuelle pour la période d'étude. Ces informations sont complétées par une comparaison avec les données de la littérature pour les régions voisines.

Après le cas de Bagridae, qui comporte des espèces d'importance économique et donné ci-dessous à titre d'exemple du traitement des données, seules les principales conclusions sont présentées dans ce rapport.

L'ensemble des données brutes et des analyses par espèce sont données en Annexe.

Famille Bagridae : Les Bagridae représentent en terme de biomasse la famille dominante dans le bassin versant. Elle présente une valeur alimentaire et commerciale élevée dans le lac et le reste du bassin versant. Trois espèces ont fait l'objet de capture au cours de l'étude :

1) *Auchenoglanis occidentalis* : espèce rarement rencontrée dans nos pêches (mais abondante dans les captures de la pêche artisanale à la station K10), inféodée aux stations de l'aval où les 3 exemplaires capturés tous immatures se repartissent entre deux stations : 2 individus à la station K10 en décembre 1999 et février 2001 et 1 individu à la station K11 en avril 1999. Les tailles étaient 225 à 275 mm Ls. Bénech et Danssoko (1994) in Lévêque & Paugy (1999) donnent la taille de première maturité de l'espèce dans le bassin du Mali à 100 mm Ls.
2) *Chrysichthys johnelsi* : espèce abondante dans l'estuaire, sa distribution est limitée aux stations K10 et K11 dans le bassin continental. 19 individus ont été capturés : 6 à la station K10 (Badi) dont une femelle mature en novembre 2000 de longueur standard 185 mm et 13 à la station K11 (Yékémato), tous immatures.
3) *Chrysichthys maurus* : espèce fréquente partout, à haute valeur alimentaire et commerciale dans l'estuaire et le bassin versant, surtout dans le lac où elle est abondante (Tableau 77).

Espèce:	Chrysichthys maurus						Code : CHMA					
Effectif:	583											
Stations	K2	K2'	k3	K4-7	k5	K7	K10	K11	K12	K14	K15	K19
effectif total	147	61	138	90	51	60	5	31	+	+	+	+
MM : 25	11	0	6	1	4	2	0	1				
FM : 62	21	1	21	6	6	4	0	3				
Campagnes:	1	1a	2	3	4	5	6	7				
effectif total:	158	11	100	77	59	82	71	85				
Repro -mâles: 25												
	Jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
1999	x	x	x	5	x	2	x	x	x	x	x	8
2000	x	x	x	X	4	x	x	x	x	x	3	x
2001	0	x	x	3	x	x	x	0	x	x	x	x
Repro-femelles: 62												
	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
1999	x	x	x	13	x	3	x	x	x	x	x	15
2000	x	x	x	x	12	x	x	x	x	x	5	x
2001	1	0	x	12	x	x	x	1	x	x	x	x

Tableau 77 : Distribution de l'effectif de Chrysichthys maurus.

➢ Saisons de reproduction et tailles de maturités sexuelles observées.

Les reproducteurs forment 14,9% (4, 3% de mâles et 10,6% de femelles) de l'effectif total de la capture.

Albaret (1982) fixe la taille de première maturité à 140 mm Ls en Côte-d'Ivoire. Alors que nos exemplaires avaient respectivement 92 à 300 mm Ls pour les mâles matures en et 83 à 250 mm Ls pour les femelles matures. Nous avons trouvé 5 femelles au stade (f5) en décembre 1999 aux stations K3 (retenue du barrage) et K11 (Yékémato) de tailles 150 mm à 170 mm Ls. Ces observations nous amènent à classer Chrysichthys maurus parmi les espèces à

reproduction étalée dans l'année. Diop (2000) classe de la même manière d'autres espèces de Chrysichthys du Haut Niger.

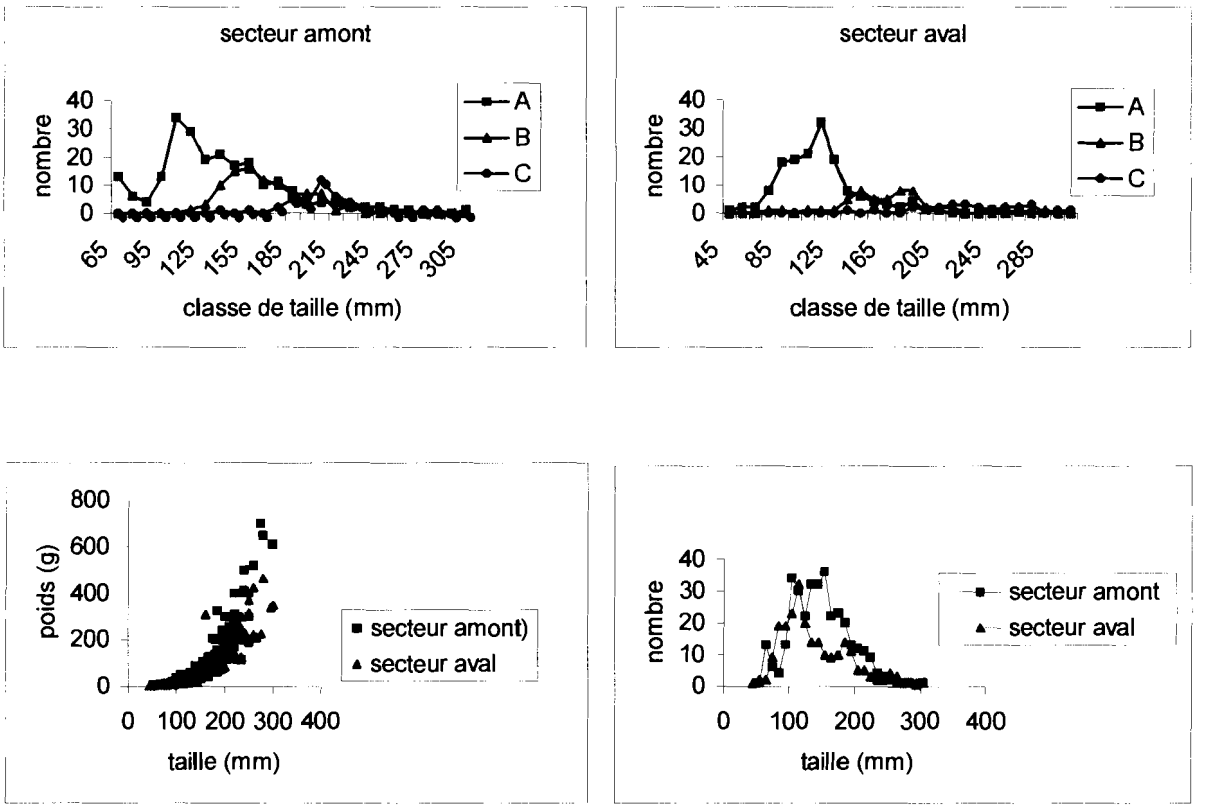


Figure 112 : Distribution des sélectivités, des classes de taille et relation longueur-poids de C. maurus du lac (secteurs de l'amont) et du reste du bassin continental (secteur aval).

Légende : A, B et C = mailles en mm.
A= (10 + 12,5 + 15) ; B= (20 + 22,5 + 25) ; C= (30 + 35 + 40).

➢ <u>La structure du peuplement du bassin continental à l'aval du barrage</u>

Face aux perturbations de plus en plus nombreuses et diversifiées que subissent les rivières de par le monde, et notamment dans les pays les plus industrialisés, il est apparu nécessaire de pouvoir quantifier leur impact sur les systèmes écologiques. De nombreuses méthodes ont été développées pour ce faire et pour ce qui concerne les peuplements de poissons, une approche de plus en plus utilisée, y compris en zone intertropicale est l'Indice d'Intégrité Biotique (Index of Biotic Integrity, ou IBI) développé d'abord en Amérique du Nord (Karr 1981). L'originalité de cet indice est de prendre en compte certains descripteurs (métriques) rendant compte du fonctionnement et de la diversité des peuplements de poissons et dont la réponse à une perturbation du milieu est connue a priori. Un indice de ce type a été mis au point pour le bassin du Konkouré lors d'une étude antérieure (Hugueny et al 1996) et son efficacité a été testée dans le cadre de l'étude d'impact de la pollution de l' usine de traitement de la bauxite.

Dans ce rapport nous évaluerons comment cet indice a varié au cours de la période d'étude et dans quelle mesure cette variation peut être attribuée à la construction du barrage de Garafiri. En particulier nous comparerons l'évolution dans des localités soumises à l'effet direct du barrage avec celle observée dans des localités situées sur des affluents hors de l'influence hydrologique du barrage. Un indice tel que l'IBI est conçu pour être d'une application générale, c'est à dire pouvant être sensible à différents types de perturbations. Pour éventuellement augmenter sa sensibilité aux perturbations particulières induites par un barrage hydroélectrique nous avons considéré de nouvelles métriques susceptibles de rendre compte de l'intensité de la reproduction et du recrutement des juvéniles.

IV.3.b. Inventaire et distribution spatio-temporelle des espèces

Les espèces les plus abondantes en PUE (effectif) sont représentées par : *Brycinus macrolepidotus*, *Marcusenius thomasi*, *Chrysichthys maurus*, *Petrocephalus tenuicauda*, *Brycinus nurse*, *Brycinus longipinnis*, *Schibbe micropogon*, *Hydrocynus forskalii*, *Synodontis waterloti*, et *Tylochromis leonensis*.

Dans le (Tableau 78) sont portées les caractéristiques biologiques qui ont servi à calculer les métriques basées sur les catégories taxonomiques et groupes trophiques.

Espèces	Codes	Groupes trophiques et Catégories taxonomiques
Brycinus macrolepidotus	BRMA	O
Marcusenius thomasi	MATO	M.I
Chrysichthys maurus	CHMA	G.S.I
Petrocephalus tenuicauda	PETE	M.I
Brycinus nurse	BRNU	O
Brycinus longipinnis	BRLO	O
Schilbe micropogon	SCMI	O
Hydrocynus forskalii	HYFO	P
Synodontis waterloti	SYWA	G.S.I
Tylochromis leonenesis	TYLE	C D
Leptocypris konkourensis	LEKO	I
Hippopotamyrus paugyi	HIPA	M.I
Tilapia brevimanus	TIBR	C.D
Lates niloticus	LANI	P
Hemichromis fasciatus	HEFA	C.P
Synodontis levequei	SYLE	G.S.I
Polypterus palmas	POPA	O
Mormyrus tapirus	MOTA	M.I
Schilbe mystus	SCMY	O
Labeo rouaneti	LARO	D
Chrysichthys johnelsi	CHJO	G.S.I
Barbus sacratus	BASA	O
Papyrocranus afer	PAAF	O
Hepsetus odoe	HEOD	P
Mormyrops anguilloides	MOAN	M.I
Synodontis thysi	SYTE	G.S.I
Raiamas senegalensis	RASE	I
Marcusenius mento	MAME	M.I
Tilapia louka	TILO	C.D
Tilapia guineensis	TIGU	C.D
Barbus macrops	BAMA	O
Pelvicachromis humilis	PEHU	C.I
Auchenoglanis occidentalis	ACOC	G.S.I
Ctenopoma kingsleyae	CEKI	I

Leptocypris guineensis	LEGU	I
Hemichromis bimaculatus	HEBI	C.I
Heterobranchus longifilis	HELO	G.S.O
Tylochromis jentinki	TYJE	C D
Tilapia rheophila	TIRH	C.D
Labeo parvus	LAPA	D
Raiamas steindachneri	RAST	I
Clarias salae	CLSA	G.S.O
Barbus wurtzi	BAWU	O
Clarias anguillaris	CLAN	G.S.O
Heterobranchus isopterus	HEIS	G.S.O
Nannocharax fasciatus	NAFA	I
Synodontis annectens	SYAN	G.S.I
Tilapia buttikoferi	TIBU	C.D

Tableau 78: Groupes trophiques et catégories taxonomiques

Légende : G.S = Grands Siluriformes benthiques, C = Cichlidae, M = Mormyridae, I = Invertivores, P = Piscivores, O = Omnivores, D = Détritivores

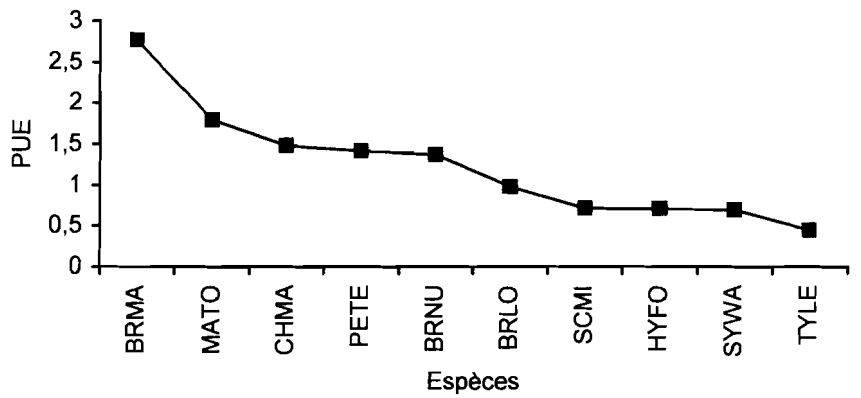


Figure 113: Les espèces abondantes en PUE (effectif) toutes stations (rivières du bassin versant) et campagnes confondues.

Les résultats des analyses des valeurs moyennes de PUE (effectif) par campagne et par station (Figure 114) et (Tableau 79) et (Tableau 80) montrent une diminution sensible lors de la deuxième campagne, c'est à dire après la fermeture du barrage. Néanmoins la comparaison entre stations sous influence du barrage et stations témoins ne permet pas de séparer ces deux groupes quant à leur évolution temporelle. Un léger effet saisonnier est perceptible, avec des PUE ayant tendance à être plus faibles pendant la saison des pluies.

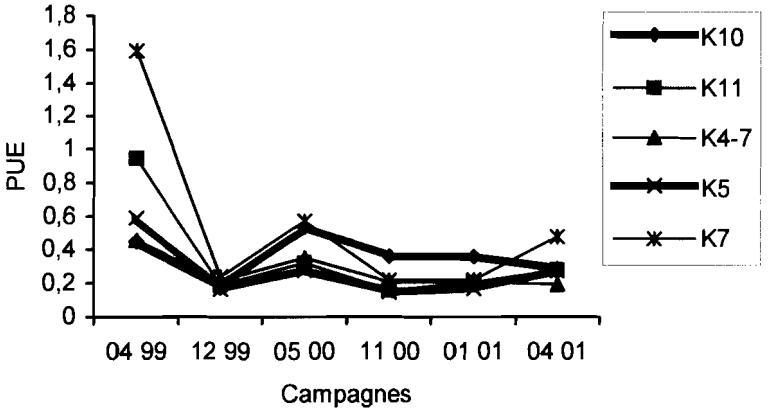


Figure 114 : Moyenne des PUE totales par station et par campagne

Espèces	Stations					Total
	K10	K11	K4-7	K5	K7	
Auchenoglanis occidentalis	0,04	0,041				0,081
Barbus macrops	0,02	0,09				0,11
Barbus sacratus				0,16	0,02	0,18
Barbus wurtzi				0,024		0,024
Brycinus longipinnis	0,74	0,23				0,97
Brycinus macrolepidotus	0,54	0,843	0,424	0,33	0,63	2,767
Brycinus nurse					1,37	1,37
Chrysichthys johnelsi	0,09	0,1				0,19
Chrysichthys maurus	0,1	0,27	0,45	0,28	0,38	1,48
Clarias anguillaris				0,02		0,02
Clarias salae				0,03		0,03
Ctenopoma kingsleyae				0,06	0,02	0,08
Hemichromis bimaculatus	0,02			0,04		0,06
Hemichromis fasciatus	0,02	0,07	0,043	0,133	0,07	0,336
Hepsetus odoe	0,11	0,06				0,17
Heterobranchus isopterus		0,02				0,02
Heterobranchus longifilis		0,04		0,02		0,06
Hippopotamyrus pauguyi	0,04		0,09	0,132	0,123	0,385
Hydrocynus forskalii	0,08	0,11	0,224	0,08	0,21	0,704
Labeo parvus			0,02		0,02	0,04
Labeo rouaneti			0,02	0,122	0,09	0,232
Lates niloticus	0,02	0,12	0,062	0,02	0,12	0,342
Leptocypris guineensis		0,02	0,024	0,02		0,064
Leptocypris konkourensis		0,06		0,09	0,29	0,44
Marcusenius mento	0,15					0,15
Marcusenius thomasi	0,45		0,554	0,23	0,56	1,794
Mormyrops anguilloides	0,02		0,08	0,02	0,05	0,17
Mormyrus tapirus	0,04		0,06	0,08	0,1	0,28
Nannocharax fasciatus				0,02		0,02
Papyrocranus afer	0,08	0,091				0,171
Pelvicachromis humilis			0,02	0,028	0,05	0,098
Petrocephalus tenuicauda	0,24		0,575	0,19	0,41	1,415
Polypterus palmas	0,06	0,26				0,32
Raiamas senegalensis			0,02	0,03	0,11	0,16
Raiamas steindachneri			0,02		0,02	0,04
Schilbe micropogon	0,5	0,21				0,71
Schilbe mystus	0,26					0,26

Synodontis annectens	0,02					0,02
Synodontis levequei			0,153	0,11	0,06	0,323
Synodontis thysi				0,081	0,08	0,161
Synodontis waterloti			0,393	0,3		0,693
Tilapia brevimanus	0,06	0,27			0,03	0,36
Tilapia buttikoferi	0,02					0,02
Tilapia guineensis					0,13	0,13
Tilapia louka			0,02	0,02	0,11	0,15
Tilapia rheophila		0,02	0,021			0,041
Tylochromis jentinki		0,05				0,05
Tylochromis leonenesis	0,17	0,28				0,45
Total	3,89	3,255	3,273	2,67	5,053	18,141

Tableau 79 : Somme PUE effectif par station

Espèces	Campagnes						Total
	04/1999	12/1999	05/2000	11/2000	01/2001	04/2001	
Auchenoglanis occidentalis	0,041	0,02			0,02		0,081
Barbus macrops			0,09			0,02	0,11
Barbus sacratus		0,06	0,04	0,02	0,02	0,04	0,18
Barbus wurtzi	0,024						0,024
Brycinus longipinnis	0,08	0,02	0,6	0,04	0,07	0,16	0,97
Brycinus macrolepidotus	0,877	0,3	0,34	0,41	0,44	0,4	2,767
Brycinus nurse	1,02	0,02	0,26	0,04	0,03		1,37
Chrysichthys johnelsi		0,06	0,04	0,07	0,02		0,19
Chrysichthys maurus	0,22	0,17	0,26	0,2	0,28	0,35	1,48
Clarias anguillaris				0,02			0,02
Clarias salae			0,03				0,03
Ctenopoma kingsleyae	0,02		0,02		0,04		0,08
Hemichromis bimaculatus	0,04			0,02			0,06
Hemichromis fasciatus	0,096	0,02	0,05		0,02	0,15	0,336
Hepsetus odoe	0,04	0,05		0,04	0,02	0,02	0,17
Heterobranchus isopterus					0,02		0,02
Heterobranchus longifilis	0,04		0,02				0,06
Hippopotamyrus pauglyi	0,085	0,09	0,1	0,02	0,06	0,03	0,385
Hydrocynus forskalii	0,154	0,08	0,16	0,1	0,07	0,14	0,704
Labeo parvus		0,02				0,02	0,04
Labeo rouaneti	0,042	0,02	0,06		0,05	0,06	0,232
Lates niloticus	0,062	0,06	0,08	0,02	0,02	0,1	0,342
Leptocypris guineensis	0,024		0,02			0,02	0,064
Leptocypris konkourensis		0,04	0,18	0,15		0,07	0,44
Marcusenius mento		0,04			0,09	0,02	0,15
Marcusenius thomasi	0,304	0,15	0,33	0,31	0,22	0,48	1,794
Mormyrops anguilloides	0,02	0,02	0,03	0,02		0,08	0,17
Mormyrus tapirus		0,02	0,06	0,08	0,06	0,06	0,28
Nannocharax fasciatus			0,02				0,02
Papyrocranus afer	0,061	0,04	0,05		0,02		0,171
Pelvicachromis humilis	0,028		0,03		0,04		0,098
Petrocephalus tenuicauda	0,345	0,08	0,51	0,09	0,12	0,27	1,415
Polypterus palmas	0,2	0,02			0,08	0,02	0,32
Raiamas senegalensis		0,05	0,11				0,16
Raiamas steindachneri	0,02	0,02					0,04
Schilbe micropogon	0,04	0,14	0,16	0,12	0,16	0,09	0,71
Schilbe mystus				0,22	0,02	0,02	0,26
Synodontis annectens				0,02			0,02

Synodontis levequei	0,073	0,06	0,09	0,02	0,04	0,04	0,323
Synodontis thysi	0,021	0,1	0,02	0,02			0,161
Synodontis waterloti	0,193	0,11	0,12	0,06	0,09	0,12	0,693
Tilapia brevimanus	0,05		0,09	0,04	0,08	0,1	0,36
Tilapia buttikofeni					0,02		0,02
Tilapia guineensis		0,04			0,02	0,07	0,13
Tilapia louka	0,11		0,04				0,15
Tilapia rheophila	0,021			0,02			0,041
Tylochromis jentinki		0,05					0,05
Tylochromis leonenesis	0,14		0,1	0,04	0,09	0,08	0,45
Total	4,491	1,97	4,11	2,21	2,33	3,03	18,141

Tableau 80 : Somme PUE effectif par campagne

IV.3.c. Composition trophique

Dans l'IBI interviennent trois métriques basées sur trois groupes trophiques : piscivores ou grands prédateurs, invertivores ou petits prédateurs (invertivores aquatiques, invertivores terrestres), et omnivores (espèces se nourrissant à la fois de matières végétales et animales). Ces groupes trophiques représentent respectivement 8,33 %, 43,75 % et 29,17 % du nombre total d'espèces. Du point de vue du pourcentage d'individus appartenant à ces groupes trophiques, il apparaît une grande diversité entre stations et une faible variation temporelle, tant interannuelle que saisonnière Figure 115, Figure 116, Figure 117. Une modification de la structure trophique des peuplements semble avoir eu lieu dans la station K4-7, la plus proche du barrage, depuis la fermeture du barrage. On constate une augmentation du pourcentage d'individus invertivores (Figure 115). Cette station mise à part on ne constate pas de différence entre stations perturbées et stations témoins.

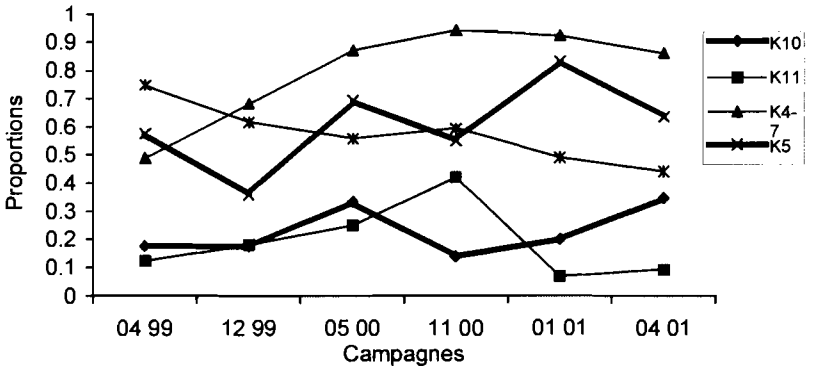


Figure 115: Proportion d'individus invertivores par station et par campagne

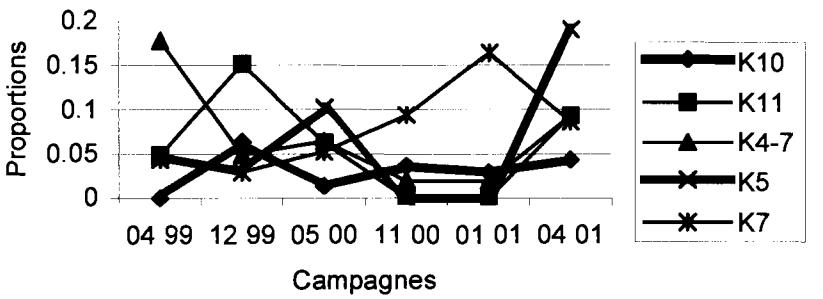


Figure 116 : Proportion d'individus piscivores par station et par campagne

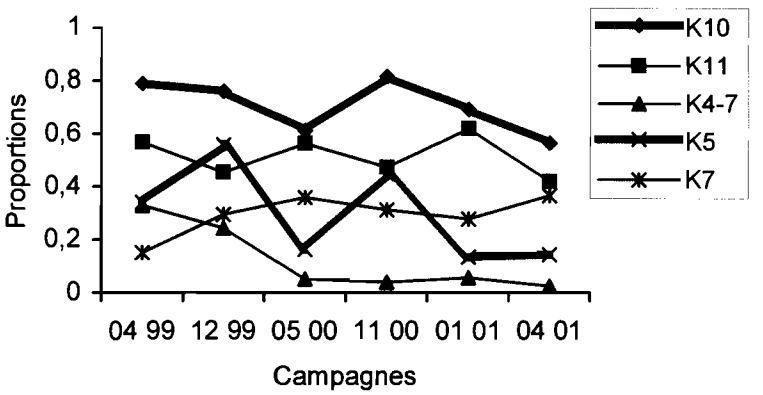


Figure 117: Proportion d'individus omnivores par station et par campagne.

➢ Richesse et composition taxonomique

Le nombre total d'espèces par station et par campagne n'a pas varié sensiblement au cours de la période d'étude, et les stations témoins ne diffèrent pas des stations sous influence du barrage.

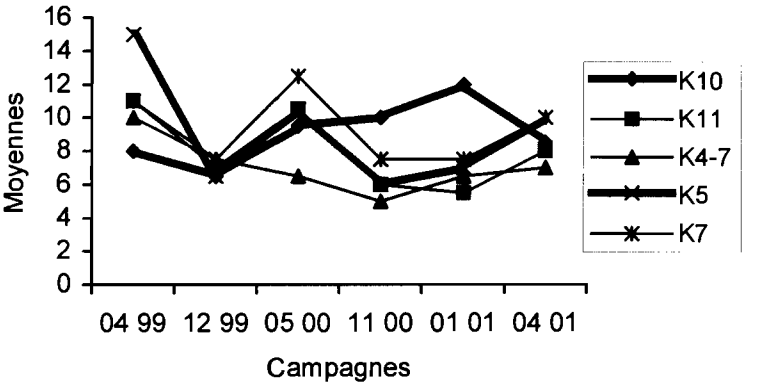


Figure 118: Moyenne du nombre total d'espèces par station et par campagne

Trois métriques représentent la richesse spécifique de trois catégories taxonomiques : les Mormyridés, Cichlidés et grands siluriformes benthiques. La variabilité entre stations est assez elevée et on ne constate pas de tendance temporelle nette pour ces trois métriques (Figure 118, Figure 119 et Figure 120). Les Mormyridés présentent une évolution assez complexe (Figure 119). Une station (K11), semble dépourvue d'espèces appartenant à cette famille, et l'évolution saisonnière de la station K4-7 est en opposition avec celle des autres stations.

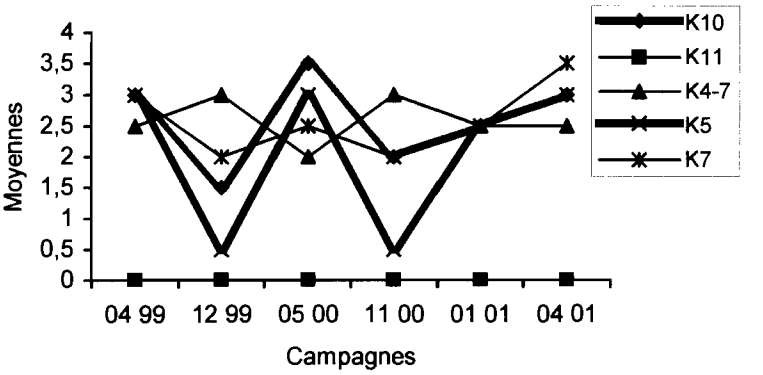


Figure 119: Moyenne du nombre total d'espèces de Mormyridae par station et par campagne

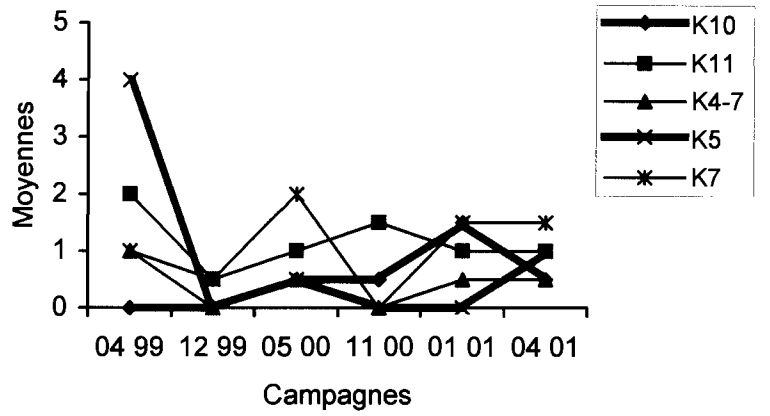


Figure 120: Moyenne du nombre total d'espèces de Cichlidae par station et par campagne

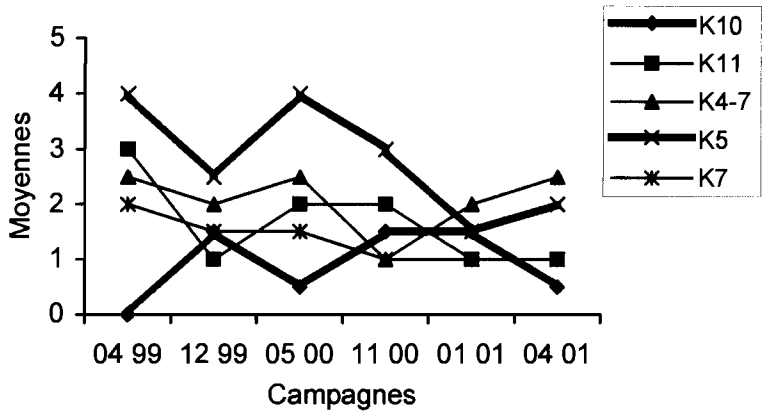


Figure 121: Moyenne du nombre total d'espèces de grands Siluriformes benthiques par station et par campagne

➢ Reproduction, recrutement et condition

La longueur relative moyenne des espèces a légèrement mais régulièrement augmenté au cours de la période d'étude, suggérant un déficit de recrutement en jeunes stades (Figure 122). Une légère variabilité saisonnière est apparente, les individus étant relativement plus grands pendant la saison pluvieuse.

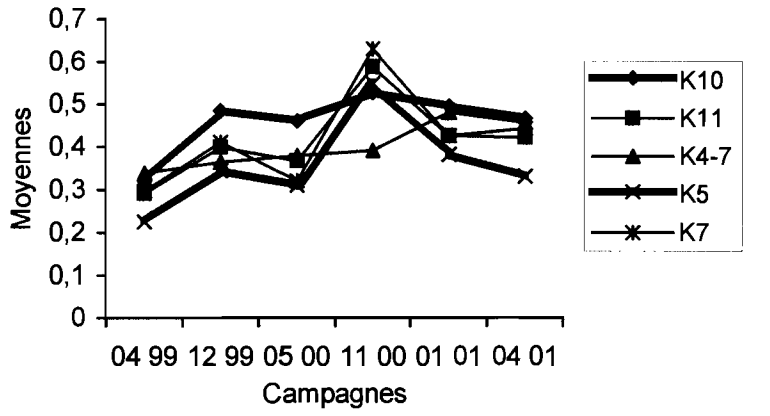


Figure 122: Longueur relative moyenne par station et par campagne

Le coefficient de condition relatif moyen a nettement diminué au cours de la période d'étude, sans différence entre stations témoins et stations perturbées avec des effets saisonniers perceptibles (Figure 123).

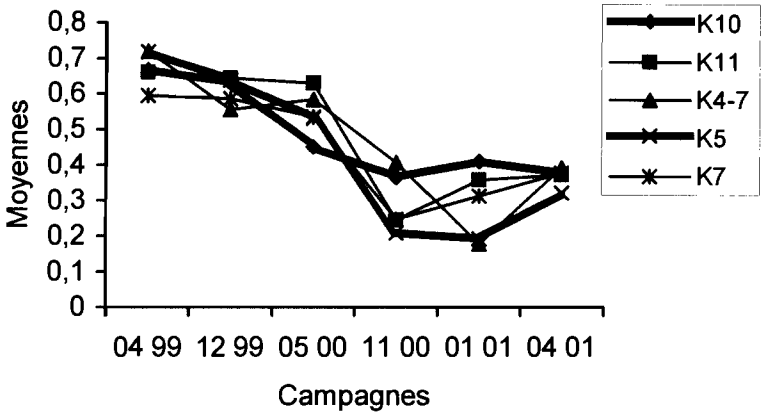


Figure 123 : Coefficient de condition (K) relatif moyen par station et par campagne

Le pourcentage des individus matures est maximum pour toutes les stations (sauf K11 et K4-7) en mai 2000. En dehors de ce pic et de la valeur de K4-7 en avril 1999, toutes les autres valeurs sont nettement plus basses (Figure 124).

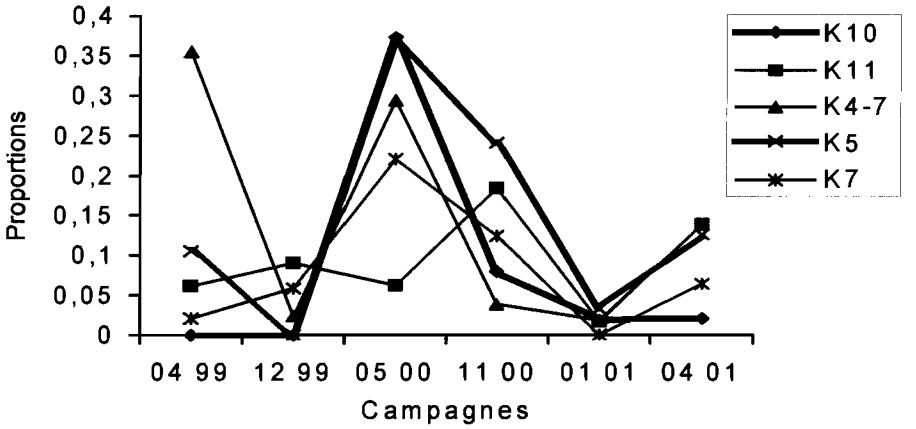


Figure 124: Proportion d'individus matures par station et par campagne

IV.3.d. Indice d'Intégrité Biotique

Les évolutions de l'IBI et de l'IBI2 (avec l'ajout des métriques de longueur relative, de condition et de reproduction) sont portées dans la Figure 125 et la Figure 126). Tous deux présentent une tendance saisonnière très claire avec des valeurs élevées en saison sèche. Par comparaison de campagnes réalisées à la même saison (avril ou mai), les deux indices ont diminué de 1999 à 2001, cette diminution étant plus marquée pour IBI2. Pour les deux indices, l'évolution temporelle des stations sous influence du barrage et des stations témoins est quasiment identique.

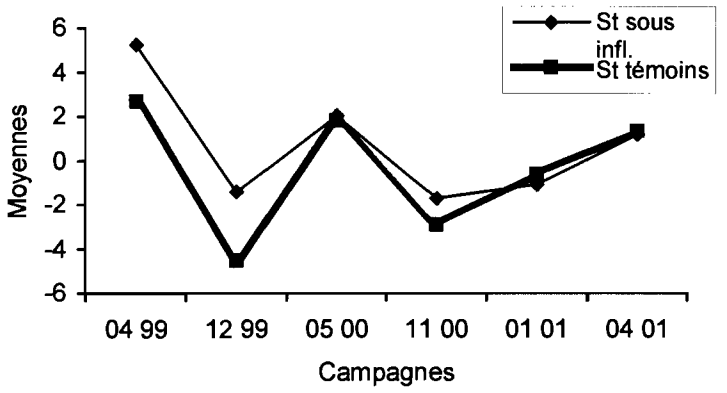


Figure 125 : Moyenne de l'Indice d'Intégrité Biotique par station et par campagne

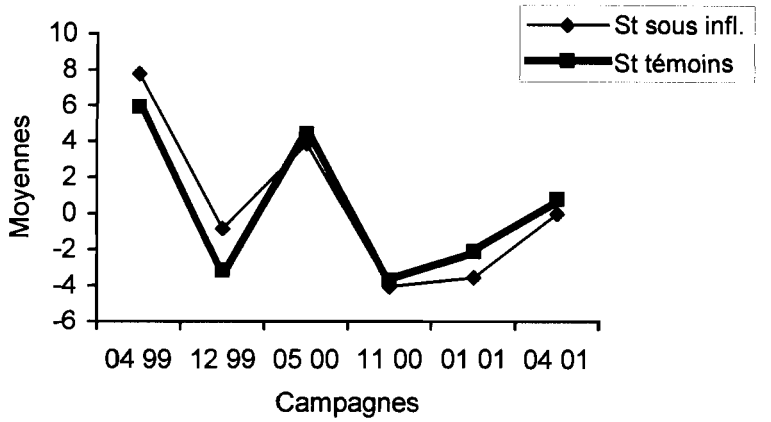


Figure 126 : Moyenne de l'IBI2 par station et par campagne

IV.4. L'ESTUAIRE DU KONKOURE

Comme cela a été montré par Baran (1995) pour l'estuaire de la Fatala en Guinée, la dynamique spatio-temporelle d'un peuplement estuarien repose sur les variables suivantes :

- variables du milieu, et en particulier la salinité, qui se révèlent utiles pour affiner les conclusions tirées en d'autres milieux sur la stratégie vitale que les différentes espèces de poissons peuvent adopter vis à vis de leur environnement,
- variables spatio-temporelles du peuplement, qui consistent à détailler la dynamique du peuplement suivant deux points de vue principaux : celui des occurrences des espèces, c'est à dire de leur présence ou de leur absence dans un échantillon et celui des abondances. La première observation traduit la composition du peuplement. La seconde, qui permet d'estimer la diversité, est ici plus difficile à appréhender du fait de la sélectivité des engins et de la capturabilité des différentes espèces et classes de taille. Ainsi, la présence ou absence d'espèces à certaines périodes dans un milieu donné peut caractériser des phases importantes du fonctionnement du système. Albaret (1994) illustre ce principe par l'arrivée d'espèces continentales occasionnelles en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) au moment de la crue de la Comoë.
- variable spatio-temporelle de la reproduction des espèces, mettant en relief les stratégies de reproduction des espèces en comparaison avec d'autres milieux.

La variable d'environnement retenue ici parmi les données recueillies du PIG, est la salinité (Tableau 81 et Figure 127).

date	K12 min	K12 max	K14 min	K14 max	K15 min	K15 max	K19 min	K19 max
05/04/99	2	20	27	30.9	27.6	30.5	27.2	30.4
28/08/99	0	0	0	0	0	0.1	0	0
04/02/00	0	0.8	0.1	13.5	15.6	27.2	7.2	20.8
05/07/00	0	0			5.7	23.4	0	1.7
27/09/00	0	0	0	0	0.1	14.5	0	0
09/02/01	0	4	1.8	15.1	16.4	27.5	6.4	20.9
26/03/01					25.1	29.9	8.2	21.1

Tableau 81 : Distribution spatio-temporelle de la salinité dans l'estuaire relevée au cours de l'étude.

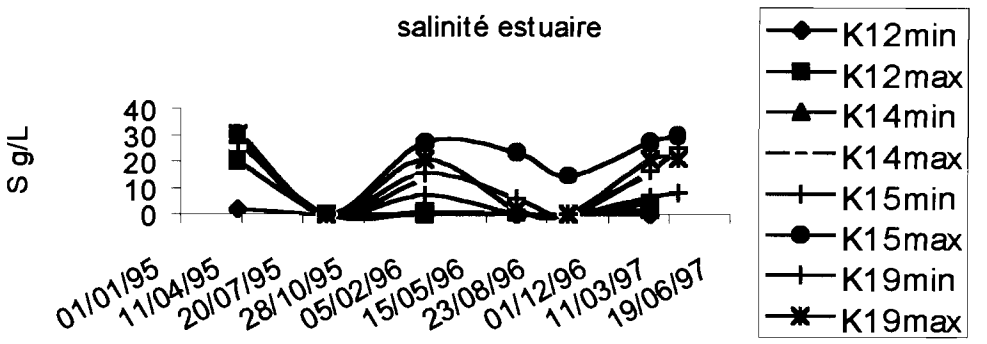


Figure 127: Variation de la salinité dans les stations d'échantillonnage.

De ce tableau et figure, on constate :

- un gradient amont aval avant la mise en eau du barrage en étiage (avril 1999), avec un maximum à la station K14 (Kakounssou) de 30,9‰,
- une diminution de la salinité de l'estuaire pendant l'étiage après la mise en oeuvre du barrage, attribuée à un débit d'étiage supérieur du fait du turbinage,
- une diminution générale de la salinité dans toutes les stations pendant la crue, aussi bien pendant la période de remplissage (août 1999) que l'année suivante (septembre 2000), où elle est de 0,1‰ à la station K15 (Bokhinéné) après la mise en eau du barrage.

IV.4.a. Richesse spécifique par station et par campagne

Dans la zone côtière guinéenne, les études sur lesquelles nous pouvons nous baser pour la comparaison de l'ichthyofaune estuarienne du fleuve Konkouré sont celles de Tamoïkine et al. (1994), Pandaré et al., (1992 et1993), Baran (1995), Domain et al., (1999) et Albaret (1994).

Les données sur le peuplement estuarien du Konkouré de Pandaré et al. (1992 et 1993) et de Tamoïkine et al. (1994) portent sur l'observation préliminaire des peuplements ichtyoplanctoniques des zones d'estuaires et de mangroves de l'Afrique de l'Ouest (cas de la Guinée et du Sénégal). Ces auteurs relèvent la présence de 18 familles dans l'estuaire du Konkouré sans aller au delà dans la détermination. Ces familles, appartiennent aux formes marines estuariennes (Albulidae, Blennidae, Bothidae, Carangidae, Congridae, Clupeidae, Cynoglossidae, Microdesmidae, Moronidae, Mugilidae, Polynemidae, Sciaenidae, Soleidae, Sparidae, Synbranchidae, Synghnatidae) et aux formes estuariennes strictes (Eleotridae, Gobiidae).

Parmi ces 18 familles d'ichtyoplanctoniques signalées, neuf familles figurent dans nos pêches et les neuf autres (Albulidae, Blennidae, Microdesmidae, Moronidae, Congridae, Soleidae, Sparidae, Synbranchidae et Synghnatidae) sont absentes dans les captures. La présence ou l'absence d'une espèce dans nos pêches est due probablement à la tolérance ou non des espèces aux paramètres spatio-temporels de la zone (salinité, turbidité, température, cycle de marée, ...), au choix des stations, et à la différence des engins et techniques d'échantillonnage.

Nous avons recensé dans l'estuaire du Konkouré 64 espèces appartenant à 31 familles diversement réparties entre les stations au cours du temps (Tableau 82) (Tableau 83).

En utilisant les mêmes engins, les filets maillants, Baran (1995) dénombre également 64 espèces dans l'estuaire de la Fatala. Le nombre total d'espèces capturées sur l'estuaire de la Fatala et le bras de mer de Dangara est de 102 en combinant plusieurs méthodes de pêche (senne tournante, filets maillants, roténone, verveux) sur 11 stations d'échantillonnage.

Familles/Espèces	Codes	STATIONS				Effectif total
		K12	K14	K19	K15	
ARIIDAE						
Arius heudeloti	AHE		1		8	9
Arius latiscutatus	AGA		1	17	27	45
BAGRIDAE						
Chrysichthys johnelsi	CJO	402	82	20	82	586
Chrysichthys nigrodigitatus	CNI	252	214	56	267	789
Chrysichthys maurus	CWA	15	2	1	2	20
BATRACOIDIDAE						
Batrachoïdes liberiensis?	BLI			1		1
BELONIDAE						
Strongylura senegalensis	SMA		2	2	2	6
BOTHIDAE						
Citarichthys stampflii	CST	2	9		2	13
CARANGIDAE						
Caranx crysos	CCR				1	1
Caranx senegalus?	CAS				1	1
Hemicaranx bicolor	AAM		1		1	2
Trachinotus teraia	TFA		2		1	3
Chloroscombrus chrysurus	CHL			1	2	3
CARCHARINIDAE						
Rhizoprionodon acutus	RAC				1	1
CENTROPOMIDAE						
Lates niloticus	LNI	5				5
CICHLIDAE						
Hemichromis bimaculatus	HBI		8	2		10
Hemichromis fasciatus	HFA	1		1	1	3
Tilapia guineensis	TGU	5	16	31	11	63
Sarotherodon melanotheron	THE	31	151	17	40	239
CLUPEIDAE						
Ethmalosa fimbriata	EFI		2	9	30	41
Ilisha africana	IAF		8	19	99	126
Pellonula leonensis	PLE	312	735	95	248	1390
Sardinella maderensis	SEB				32	32
CYNOGLOSSIIDAE						
Cynoglossus senegalensis	CYS	16	102	11	24	153
DASYATIDAE						
Dasyatis sp.	Dasyatis				1	1
EPHIPPIDIDAE						
Drepane africana	DAF			2	11	13
ELEOTRIDAE						
Eleotris senegalensis	ESE			2		2
Bostrychus africanus	HAF			1		1
ELOPIDAE						
Elops lacerta	ELA	10	1	1		12
Elops senegalensis	ESN	6	2		5	13
GOBIIDAE						
Bathygobius soporator?	BSO				1	1
Gobioïdes ansorgii	GAN		5		1	6
Parasicydium sp.	PA sp.			1		1
Periophthalmus barbarus	PPA	3			7	10
HAEMULIDAE						
Brachydeuterus auritus	BAU				9	9
Pomadasys jubelini	PJU	6	17	2	10	35

Pomadasys peroteti	PPE	1	44	6	14	65
HEPSETIDAE						
Hepsetus odoe	HOD	1	1			2
LOBOTIDAE						
Lobotes surinamensis	LSU				1	1
LUTJANIDAE						
Lutjanus endecanthus	LEN			2		2
MORMYRIDAE						
Hippopotamyrus paugyi	HIPA	1				1
Mormyrops anguilloides	MAN	2	1	3		6
Marcusenius mento	MME				5	5
Petrocephalus tenuicauda	PTE	4	2			6
MONODACTYLIDAE						
Monodactylus sebae	PSB		1			1
MUGILIDAE						
Liza dumerili	LCA			1	1	2
Liza falcipinnis	LFA	2	4	8	26	40
Liza grandisquamis	LGR	128	878	191	810	2007
OPHICHTHYIDAE						
Myrophis plumbeus	MPL		2	1	1	4
POLYNEMIDAE						
Galoides decadactylus	GDE		9	4	21	34
Polydactylus quadrifilis	POQ	53	200	44	58	355
Pentanemus quinquarius	PQQ		39	15	67	121
RHINOBATIDAE						
Rhinobatos cemiculus	RCE				2	2
SCHILBEIDAE						
Schilbe micropogon	SMI	4	1			5
SCIAENIDAE						
Pseudotolithus brachygnatus	PBR		3	3	52	58
Pseudotolithus elongatus	PEL	32	205	293	132	662
Pseudotolithus epipercus	PEP		19	47	55	121
Pseudotolithus senegalensis	PSN		7		21	28
Pteroscion peli	PTP			1	11	12
Pseudotolithus typus	PTY		3	10	30	43
SPHYRAENIDAE						
Sphyraena afra	SPI	1	2		2	5
TETRAODONTIDAE						
Ephippion guttifer	EGU				4	4
TRICHIURIDAE						
Trichiurus lepturus	TLE			2	3	5
Total	64	1292	2782	923	2243	7243

Tableau 82:Inventaire faunistique et nombre d'individus capturés dans les stations prospectées au cours du programme PIG.

Légende: K12 = Wassou ; K14 = Kakounssou ; K19 = Centre ; K15 = Bokhinéné.

Espèces	Campagnes								
	1	2	2b	3	4	5	6	7	8
	av.	ju.	ao.	nov.	mai	juill.	oc.	mai	jan.
	1999	1999	1999	1999	2000	2000	2000	2001	2002
Groupe 1									
Eleotris senegalensis						1		1	
Bostrychus africanus			4						
Elops lacerta	1			11					
Elops senegalensis							11		2
Bathygobius soporator?		1							
Gobioïdes ansorgii						1		5	
Parasicydium sp.							1		
Periophthalmus barbarus			2		3	1	1	3	1
Sarotherodon melanotheron	48	62	12		7	10	24	28	56
Pellonula leonensis	9	19	1012	109	19	420	278	7	4
Groupe 2									
Arius heudeloti					5	2		1	1
Arius latiscutatus	3	1		22	9	2		9	
Batrachoïdes liberiensis?					1				
Strongylura senegalensis						5		1	
Citarichthys stampflii			2	4			6		2
Caranx crysos			2						
Caranx senegalus?	2								
Hemicaranx bicolor		1		1					
Trachinotus teraia	2						2		
Chloroscombrus chrysurus		1		1		1			
Rhizoprionodon acutus	2								
Ethmalosa fimbriata		20	20	7		3			1
Ilisha africana	14	69		10		18	9		10
Sardinella maderensis						28	1	3	
Cynoglossus senegalensis	38	46	14	1	18	10	1	28	5
Dasyatis sp.	1								
Drepane africana	16	3				1			
Brachydeuterus auritus	6	6							
Pomadasys jubelini	5		4	2	4	9		9	4
Pomadasys peroteti	4	21	18	2	11	1	12	2	2
Lobotes surinamensis						1			
Lutjanus endecanthus			4				1		
Monodactylus sebae	1								
Liza dumerli	3								
Liza falcipinnis	7	13	26	1		6		4	1
Liza grandisquamis	95	231	760	84	270	335	209	255	152
Myrophis plumbeus	2	1		1					
Galoides decadactylus	13	6				14	1	2	
Polydactylus quadrifilis	39	44	48	30	19	52	80	35	29
Pentanemus quinquarius	36	20		18	7	22	6	12	2
Rhinobatos cemiculus	2								
Pseudotolithus brachygnatus	3	15	42	12	2	3			2
Pseudotolithus elongatus	64	70	58	106	66	103	30	146	48
Pseudotolithus epipercus	38	1		8	24	17	2	29	10
Pseudotolithus senegalensis	2	4				12	3	7	

Pteroscion peli		7		5					
Pseudotolithus typus	11	14		6	4	7		3	
Sphyraena afra			4	2			1		
Ephippion guttifer	4	2							
Trichiurus lepturus	3	2						1	
Groupe 3									
Chrysichthys johnelsi		37	116	142	145	66	22	108	8
Chrysichthys nigrodigitatus	111	75	50	39	166	92	85	138	62
Chrysichthys maurus	18		2	1					
Lates niloticus				4			1		
Hemichromis bimaculatus				1				2	7
Hemichromis fasciatus					1			2	
Tilapia guineensis	31		2	2			9	3	18
Hepsetus odoe		1							1
Hippopotamyrus paugyi						1			
Mormyrops anguilloides			6			1	2		
Marcusenius mento				3			2		
Petrocephalus tenuicauda				1		2			3
Schilbe micropogon			6	2					
Total	634	793	2214	638	781	1247	800	844	431

Tableau 83: Distribution et abondance des espèces par campagne au cours du programme PIG.

Légende : les chiffres 1 à 8 désignent les numéros des campagnes ; 2b campagne complémentaire sur les 4 stations. Les effectifs ont été ramenés à une prise par unité d'effort, (U.E.= deux batteries de filets durant deux nuits de pêche).

De ces tableaux nous pouvons faire les observations suivantes :

- Le nombre d'espèces capturées dans les quatre stations décroît de l'aval à l'amont avec respectivement 25 espèces à K12, 38 à K14, 37 à K19 et 49 à la station K15.
- Les abondances dans les captures dépendent largement de quelques espèces en reproduction comme Pellonula leonensis, Liza grandisquamis ou Pseudotolithus elongatus. Les effectifs dans nos pêches ne sont donc pas nécessairement indicatifs des abondances moyennes.
- Onze espèces principales abondantes sont trouvées dans toutes les stations (sauf Ilisha africana, Pintanemus quinquarius et Pseudotolithus epipercus absentes de la K12) avec un nombre d'individus variant de 121 à 2007. Ces espèces ubiquistes dans l'estuaire se repartissent en 7 familles également dominantes, rencontrées dans toutes les stations. Parmi elles, nous classons ci-dessous par ordre d'abondance ces familles et leurs espèces en pourcentage de l'effectif de la capture total.

1) Famille des Mugilidae, elle représente 28,3% des captures totales avec Liza grandisquamis qui occupe la première place avec 27,7%.
2) Famille des Clupeidae, 21,9% avec *Pellonula leonensis* 19,2% deuxième suivi d' *Ilisha africana* 1,7% occupant la neuvième place.
3) Famille des Bagridae, 19,3% représentée par *Chrysichthys nigrodigitatus* 10,9% troisième suivi de *Chrysichthys johnelsi*, 8,1% qui occupe la cinquième place.
4) Famille des Sciaenidae : elle représente 12,8% dont *Pseudotolithus elongatus* 9,1% occupe la quatrième place et la dixième pour le *Pseudotolithus epipercus* avec 1,7%.
5) Famille des Polynemidae, 7 % avec comme représentants *Polydactylus quadrifilis* 4,9%, et *Pintanemus quinquarius* 1,7%, qui prennent la sixième et la dixième place.

6) Famille des Cichlidae, 4,4% avec 3,3% pour *Sarotherodon melanotheron*, occupant la septième place.
7) Famille des Cynoglossidae, représentée par *Cynoglossus senegalensis* avec 2,1% du total, occupant la huitième place d'abondance.

Les espèces peu abondantes pour lesquelles nous n'avons pas d'effectifs très représentatifs (nombre compris entre 10 et 65 individus), bien que certaines soient ubiquistes comme *Pomadasys jubelini* et *Pomadasys peroteti* observées toutes deux par leurs juvéniles dans toutes les stations et durant la période couvrant l'étude.

D'autres espèces sont rares dans nos captures, soit parce qu'elles sont inféodées à des habitats particuliers mal prospectés par nos pêches (Gobiidae et Eleotridae, près des berges et dans la mangrove), soit parce qu'elles sont absentes dans la zone de pêche au cours des campagnes. Ces espèces rares appartiennent à 21 familles. La biologie, l'écologie et la systématique de certaines d'entre elles restent à préciser (Albaret, 1994).

L'image du peuplement obtenu à partir des pêches aux filets maillants nous permet de mettre en évidence la composition des peuplements en 3 groupes principaux d'espèces, selon leur origine marine, estuarienne et continentale (Tableau 83) ci-dessus.

➢ Formes estuariennes strictes

Albaret (1994), regroupe dans cette catégorie pour les milieux lagunaires de la Côte-d'Ivoire, les espèces présentes exclusivement en milieu lagunaire où se déroule la totalité du cycle biologique. Certaines de ces espèces totalement euryhalines peuvent exceptionnellement pénétrer assez haut dans le cours des fleuves ou s'aventurer en mer.

Les familles ou espèces estuariennes strictes identifiées par Albaret pour les lagunes ivoiriennes que l'on a également capturées dans l'estuaire du Konkouré sont les suivantes :

- Gobiidae : *Bathygobius soporator*, *Gobioïdes ansorgii*, *Periophthalmus barbarus*.
- Eleotridae :*Eleotris senegalensis* ,et *Bostrychus africanus*,
- Cichlidae : *Sarotherodon melanotheron* et *Tilapia guineensis*.

Cependant, *Tylochromis jentinki*, cité par Albaret comme estuarien strict n'a été capturé qu'à la station K11, en amont de l'estuaire. De même, *T. guineensis* est trouvé dans les stations amont du bassin, K2, K3 et K7. Dans ces familles, s'ajoute : *Parasicydium sp.*, *Elops lacerta* et *Pellonula leonensis*.

➢ Formes estuariennes d'origine marine

Ce sont également des espèces caractéristiques de l'ensemble des milieux estuariens et lagunaires d'Afrique de l'Ouest, où ils constituent un groupe très important tant par le nombre des espèces qui le constituent que par leur biomasse. La différence avec le groupe précédent réside dans le séjour d'individus, d'une population ou d'une écophase, obligée en mer (Albaret, 1994).

C'est dans cette catégorie que nos captures sont les plus nombreuses. Ce sont le représentants des familles suivantes : Ariidae, Carangidea, Carcharhinidea, Mugilidae, Haemulidae, Clupeidae, Sciaenidae, Dasyatidae, Ephippididae, Lobotidae, Lutjanidae, Ophichthyidae, Tetrodontidae, Trichiuridae, Polynemidae, Sphyraenidae, Rhinobatidae, Elopidae, Cynoglossidae, Belonidae, Bothidae, Batracoididae.

➢ Formes estuariennes d'origine continentale

Symétrique du groupe précédent par rapport au type estuarien typique, se trouve un groupe d'espèces d'origine continentale parfaitement adaptées aux milieux lagunaires et estuariens (dans ce cas présent) où elles sont représentées par des populations permanentes, souvent abondantes et omniprésentes. La reproduction peut se faire en lagune (en Côte-d'Ivoire) mais également en milieux continentaux fluviaux et lacustres. (Albaret, 1994).

Ces espèces dans l'estuaire du Konkouré sont largement représentées dans les familles des Bagridae (*Chrysichthys nigrodigitatus*, *Chrysichthys maurus*) et Cichlidae (*Hemichromis fasciatus*) qui sont trouvées effectivement en pleine activité sexuelle. D'autres familles moins abondantes dans nos captures font également partie de cette catégorie. Il s'agit des Centropomidae, Hepsetidae, Mormyridae, Schilbeidae et le Cichlidae (*Hemichromis bimaculatus*).

IV.4.b. Caractéristiques biologiques des principales espèces de l'estuaire du Konkouré

Les stratégies reproductives des poissons estuariens et ceux des eaux continentales diffèrent, en ce sens que les milieux estuariens et lagunaires (MEL) sont considérés souvent comme des lieux de transit, des nourriceries pour les stades juvéniles d'espèces dont les phases adultes et la reproduction se déroulent dans les écosystèmes adjacents, le milieu marin notamment (Albaret, 1999). En effet, seules quelques espèces sédentaires, de petite taille sont capables d'accomplir leurs cycles biologiques complets dans ces milieux dont la forte variabilité et l'imprévisibilité sont parfois considérées comme des obstacles physiologiques au déroulement de la reproduction. Bien que souvent de peu d'importance économique, leur importance écologique est grande du fait de leur participation au réseau trophique.

Les estuaires jouent un rôle important dans le cycle vital de très nombreuse espèces d'importance commerciale (Lindall & Saloman, 1977 ; McHugh, 1980 ; Yañez-arancibia et al., 1985 c), que ce soit à titre de zone de reproduction ou surtout de grossissement (Dando, 1984 ; Blaber & Blaber, 1980 ; Potter et al., 1990 ; Loneragan et al., 1989 ; Whitfeld, 1990).

Les études réalisées en Afrique de l'Ouest (Albaret, 1987 ; Albaret, 1994 ; Albaret & Diouf, 1994 ; Baran, 1995) montrent que les lagunes et les estuaires sont le siège d'une intense activité de reproduction pour une gamme très large d'espèces. L'activité reproductrice est, en général, très étalée dans le temps et dans l'espace avec, cependant des pics d'activité centrés sur la saison sèche ou la saison des pluies selon l'affinité marine ou continentale des espèces. C'est notamment le cas de l'estuaire du Konkouré où l'on a rencontré des proportions variables d'individus reproducteurs en saison sèche ou saison de pluie et d'autres étalés en toutes saisons.

Les données acquises lors de nos pêches dans l'estuaire donnent des indications sur la reproduction de 25 espèces sur les 64 rencontrées à un stade de reproduction dans l'estuaire du Konkouré, soit 39% du nombre d'espèces total. Elles appartiennent à 11 familles sur les 31 représentées dans nos captures. Leur répartition dans le temps et dans l'espace est résumée dans le (Tableau 84) où sont indiqués les numéros et les dates des différentes campagnes.

Baran (1995), observe 39 espèces rencontrées à un stade reproducteur dans l'estuaire de la Fatala sur un total de 102, soit 38% du nombre d'espèces total. Ce nombre est nettement plus élevé qu'en milieu tropical estuarien d'Australie (15% in Blaber et al. 1989 ; 10% in Loneragan et al 1989 ; 9% in Potter et al. 1990), d'Amérique centrale (10% au Mexique in Yañez-Arancibia et al. 1980 ; 12% in Stoner 1986) ou d'Amérique du Sud (4% in Wallace et al. 1984 ; 8% in Potter et al. 1990) mais se rapproche des 20% constatés en lagune d'Ebrié (Côte-d'Ivoire) par Albaret, (1994). Ces proportions dépendent évidemment de l'effort de pêche déployé ainsi que de la dispersion dans l'espace des stations échantillonnées.

Comme pour l'analyse des captures sur le bassin continental, nous proposons ci-dessous une analyse des informations obtenues au moyen des pêches expérimentales, concernant la distribution dans le temps et dans l'espace, la relation longueur-poids et les périodes de reproduction des différentes espèces capturées . Une analyse est faite sur la sélectivité des filets maillants et la structure de taille des captures, pour les espèces les plus abondantes. Ces informations sont complétées par une comparaison avec les données de la littérature pour les régions voisines.

	Campagnes									
Familles/Espèces	1 avr 1999	2 Jui 1999	2b aou 1999	2c oct 1999	3 nov 1999	4 mai 2000	5 juil 2000	6 oct 2000	7 mai 2001	8 jan 2002
BAGRIDAE										
Chrysichthys johnelsi					3	1	1	3	6	
Chrysichthys nigrodigitatus	5	7	1			32	7	3	69	1
Chrysichthys maurus	3									
BELONIDAE										
Strongylura senegalensis							1			
CARANGIDAE										
Chloroscombrus chrysurus					1					
CICHLIDAE										
Hemichromis fasciatus									1	
Tilapia guineensis	16								2	
Sarotherodon melanotheron	8	18	1						22	1
CLUPEIDAE										
Ethmalosa fimbriata		4			1					
Ilisha africana	5	27			4		1			5
Pellonula leonensis		13	498	27	43	3	393	209	6	1
CYNOGLOSSIIDAE										
Cynoglossus senegalensis		1						1	2	
ELEOTRIDAE										
Eleotris senegalensis							1			
Bostrychus africanus			1							
GOBIIDAE										
Bathygobius soporator?		1								
MONODACTYLIDAE										
Monodactylus sebae	1									
MUGILIDAE										
Liza dumerili	2									
Liza falcipinnis	1	6					2		2	1
Liza grandisquamis	3	5				31	3		2	2
POLYNEMIDAE										
Polydactylus quadrifilis						2				
Pentanemus quinquarius	11	8			7	3	8	1	8	
SCIAENIDAE										
Pseudotolithus elongatus	2	1				2	7	1	5	1
Pseudotolithus epipercus	7	1			1	4	4			
Pteroscion peli		2								
Pseudotolithus typus		1				1	7			
Nombre d' espèces 25	64	95	501	27	60	79	435	218	125	12

Tableau 84: Distribution du nombre d'individus mâles et femelles matures par espèce et par campagne.

IV.5. ANALYSE DE L'IMPACT DU BARRAGE SUR LES PEUPLEMENTS DE POISSONS

Les résultats des pêches expérimentales effectuées dans le cadre de l'étude ont fait l'objet d'une analyse en deux volets.

➢ L'impact de la construction du barrage de Garafiri sur la structure des peuplements de poissons du bassin continental à l'aval du barrage : analyse de l'IBI

Les caractéristiques des peuplements considérées dans cette étude, ainsi que les indices synthétiques (IBI et IBI2) sont potentiellement soumis à trois sources de variations : les variations saisonnières (varaibilité intra-annuelle), les variations interanuelles (à saison comparable) et les variations induites par le barrage entre les stations témoins et les stations sous influence (à année et saison identique).

Les caractéristiques des peuplements considérées dans cette étude, ainsi que les indices synthétiques (IBI et IBI2) sont potentiellement soumis à trois sources de variations : les variations saisonnières (varaibilité intra-annuelle), les variations interanuelles (à saison comparable) et les variations induites par le barrage entre les stations témoins et les stations sous influence (à année et saison identique).

Les deux IBI présentent des variations saisonnières marquées avec des valeurs faibles en saison des pluies. Cependant, cette évolution tient vraisemblablement à une combinaison de vrais cycles biologiques et d'efficacité de la pêche. Les PUE obtenues par pêche aux filets maillants sont généralement plus faibles en saison des pluies car le volume d'eau est plus important, d'où une « dilution » des poissons. La reproduction qui a lieu pendant la saison des pluies pour de nombreuses espèces induit une saisonnalité du pourcentage d'individus matures et probablement des pics de recrutement eux aussi saisonniers qui peuvent se traduire par une évolution de la taille relative moyenne des individus.

L'évolution inter-annuelle semble être marquée par une diminution de certaines métriques entre 1999 et 2001, ce qui se traduit par une baisse des deux IBI. Les métriques qui semblent les plus impliquées dans cette baisse sont la PUE, la longueur relative et le coefficient de condition. Dans la mesure où les stations sous influence directe du barrage présentent une évolution parallèle à celles des témoins il est vraisemblable que la tendance observée reflète une variabilité naturelle du milieu affectant l'ensemble des stations. A priori il ne peut pas s'agir de l'hydrologie puisque les stations témoins sont supposées refléter l'évolution naturelle de cette variable, les stations restantes étant soumises à la variabilité hydrologique induite par le barrage. Néanmoins l'examen des débits (voir chapitre "Ecoulement des eaux continentales et transports solides", Tome 1, page 16) montre que l'année 2000 est une année où la crue a été peu importante, quelle que soit la station et donc susceptible d'induire un déficit de recrutement (et une baisse des PUE) l'année suivante ou de mauvaises conditions des individus la même année. C'est ce qui est effectivement observé. Ainsi, on observe une baisse des deux IBI entre 1999 et 2000 qui ne peut être expliquée par l'hydrologie puisque la hauteur des pics de crues est comparable entre 1998 et 1999 pour les stations témoins. La variation naturelle de l'hydrologie n'est donc pas la seule explication à la tendance observée pour les peuplements de poissons.

Les effets du barrage sur les peuplements de poissons en aval peuvent être de trois types : effet sur la variabilité hydrologique sur des pas de temps courts (de l'ordre de l'heure ou de la journée), modification de la saisonnalité (écrêtement des crues, débits d'étiages plus importants) et modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

En ce qui concerne la qualité physico-chimique de l'eau, l'effet du barrage est limité à moins de 26 km du barrage. Toutes les stations que nous avons échantillonnées sont situées en dehors de cette limite.

En saison pluvieuse (juillet à novembre) la diminution du débit moyen mensuel dans les stations échantillonnées par suite de l'écrêtement des crues (notamment sur le tronçon du Konkouré compris entre le barrage de Garafiri et la confluence du Konkouré et de la Kakrima) est due à la présence du barrage. En revanche, en saison sèche (décembre à juin) les écoulements sont très supérieurs aux débits naturels sur l'ensemble des stations du Konkouré situées à l'aval du barrage. Sur les trois années d'observation la saison des pluies la plus importante du point de vue des débits a été 1999 sur l'ensemble des stations. L'année 2000 aura été la moins forte mais avec des débits particulièrement importants et tardifs en octobre. En avril 1999 (fermeture du barrage), il y a eu un arrêt complet des écoulements.

Les arrêts fréquents (débit = 0 m^3/s) et les reprises brutales (phénomène de chasse d'eau) d'exploitation (# 25 à # 100 m^3/s) peuvent modifier probablement le lit mineur du Konkouré en aval du barrage (arrachement des berges, remise en suspension des sédiments...).

Les modifications induites par la variabilité à court terme de l'hydrologie sont susceptibles d'entraîner des modifications de la composition des peuplements en favorisant les espèces capables de supporter des variabilités de vitesse élevées ou capables de se maintenir dans les nouvelles conditions d'habitat. Dans la mesure où rien ne distingue les stations témoins des stations sous influence hydrologique du barrage, que l'on considère les métriques individuellement ou les deux indices synthétiques, on peut conclure que l'impact de la variabilité hydrologique à court terme a été réduit et n'affecte pas la structure des peuplements de poissons, telle qu'elle a été définie ici.

Les seules données qui pourraient laisser penser qu'il existe un effet du barrage sur la composition des peuplements est la modification de la structure trophique de la station K4-7, la plus proche du barrage. En effet, celle-ci a vu augmenter régulièrement le pourcentage d'individus invertivores de 1999 à 2001. Néanmoins nous n'avons pas pour l'instant d'explication permettant de relier cette modification à un effet direct du barrage.

Un des effets du barrage est de diminuer l'amplitude de crue et donc de diminuer éventuellement les effets bénéfiques de celle-ci sur la survie et la croissance (Mérona et al 1988). Nous avons vu que les stations sous influence hydrologique du barrage et les stations témoins ne diffèrent pas quant à la variabilité interannuelle de l'amplitude de la crue : 1998 et 1999 sont comparables et 2000 est déficitaire dans toutes les stations. Il est donc a priori peu vraisemblable dans ces conditions de déceler durant notre période d'étude un effet du barrage sur la biologie des espèces au cours de la saison des pluies, et de ce fait, les stations témoins et celle sous influence du barrage ont une évolution temporelle parallèle de la longueur relative, du coefficient de condition et dans une moindre mesure du pourcentage d'individus matures.

Peut-on néanmoins attribuer la baisse des deux IBI à la fermeture du barrage ? Pour ce faire, puisque les stations témoins ne diffèrent pas des autres, il faut envisager que les effets « locaux » induits par le barrage se répercutent sur les peuplements de l'ensemble du bassin. On peut par exemple envisager que les zones désormais affectées par le barrage se comportaient avant comme des zones de reproduction et/ou de croissance des jeunes avant que ceux-ci ne se dispersent dans l'ensemble du bassin. Cette hypothèse est peu vraisemblable compte tenu de la présence de nombreuses chutes qui s'opposaient déjà avant la construction du barrage à une forte homogénéisation des peuplements de poissons a l'échelle du bassin versant.

Il est d'usage dans un IBI de standardiser les métriques en fonction de certaines caractéristiques de la rivière, en particulier sa taille (Karr 1981). Cette étape n'a pas été retenue dans la présente analyse ni dans la précédente car il a été difficile de trouver des caractéristiques physiques qui soient bien corrélées avec la structure des peuplements. La taille de la rivière est notamment un faible predicteur de la structure des peuplements du Konkouré (ORSTOM/CNSHB 1994). De plus l'accessibilité limitée de la rivière réduit le nombre de points qui pourraient servir à établir ce type de relation. Cependant la forte variabilité inter-station observée pour les métriques liées à la composition taxonomique ou

trophique suggère que certaines caractéristiques locales agissent sur ces métriques. Dans la mesure où l'on s'intéresse dans le cas présent à la variation temporelle relative entre stations sous influence du barrage et stations témoins, cette variabilité inter-station ne pose pas de gros problèmes à condition que les évolutions soient parallèles entre les deux stations « témoins ». La métrique « nombre d'espèces de mormyridés » est celle dont la variabilité inter-station pose le plus de problèmes. En effet une des stations se caractérise par l'absence continue de Mormyridés (K11). Cette localité se situe à quelques km en aval de l'usine de Fria (traitement de la bauxite), et la très faible représentation des Mormyridés juste en aval des rejets a été observée lors d'une étude antérieure (Hugueny et al 1996). Il est possible que l'influence de l'usine se fasse encore ressentir sur les peuplements de poissons de la station K11. La station K4-7, la plus proche du barrage se caractérise par une évolution saisonnière du nombre d'espèces de mormyridés inverse de celle observée pour les autres stations, suggérant que les conditions durant la saison sèche y soient moins favorables aux Mormyridés.

Il en ressort que l'évolution des peuplements au cours des années 1999 (construction et fermeture du barrage) et 2000-2001 (fonctionnement du barrage) est la même dans les stations directement affectées par le barrage (K4-7, K7, K11) et dans les stations témoins situées sur des affluents du Konkouré dont le régime n'a pas été modifié (K5 et K10). Il apparaît donc que les variations naturelles du débit résultant des variations climatiques inter annuelles ont plus d'effet sur les peuplements que la construction du barrage de Garafiri, pour ces deux premières années.

Une éventuelle influence du barrage à plus long terme dans le cours aval du Konkouré ne pourra être mise en évidence que par un suivi pluriannuel.

➢ Analyse des données biologiques des pêches expérimentales de 1999-2002 et impact du barrage de Garafiri.

L'analyse des données des pêches expérimentales à été également consacrée à la biologie des espèces présentes, à la mise en place d'un nouveau peuplement dans la retenue et à la distribution des poissons dans l'estuaire en relation avec les conditions de milieu.

La technique d'échantillonnage

Les pêches expérimentales ont été réalisées à l'aide de filets maillants, essentiellement en dehors de la période de crue durant laquelle il n'est pas possible de les utiliser à cause de la vitesse du courant. L'usage d'un seul mode de capture, avec un engin passif, contribue à donner une image biaisée du peuplement. En particulier, la plus petite maille utilisée (10 mm), ne permet pas de capturer les juvéniles des petites formes, ce qui contribue à un biais dans la structure des populations, avec une sous-représentation des classes d'âge les plus jeunes. Mais cette technique permet cependant de mettre en évidence des modifications sur la structure du peuplement.

Les espèces présentes

En ce qui concerne les espèces présentes dans le bassin continental du Konkouré, 52 espèces ont été observées au cours du programme, dont 5 n'avaient jusqu'à présent pas été signalées du Konkouré : Raiamas senegalensis, Schilbe mystus, Clarias anguillaris, Heterobranchus longifilis et Tylochromis leonensis.

Par contre, nous n'avons pas capturé un certain nombre d'autres espèces précédemment signalées du bassin. C'est en particulier le cas de 7 des 10 espèces endémiques signalées par Lévêque et al. (1989).

Il convient donc d'être prudent sur le nombre et la nature des espèces présentes dans le bassin. Le fait qu'aucun des inventaires réalisés précédemment ne soit complet indique clairement la difficulté de l'échantillonnage. Notre inventaire ne se prétend donc ni exhaustif ni définitif, et permet d'estimer à environ 90 le nombre d'espèces de poissons d'eau douce présentes dans le bassin du Konkouré.

Actuellement, le débit d'étiage à l'entrée de l'estuaire est environ trois fois plus élevé qu'avant la construction du barrage. Il en résulte un recul du front salin pendant l'étiage. Quelques espèces d'eau douce sont maintenant capturées dans les pêches expérimentales à la station K12. C'est notamment le cas de *Lates niloticus*, de *Petrocephalus tenuicauda*, *Hippopotamyrus paugyi*, *Mormyrops anguilloïdes*, *Marcusenius mento*, et de *Schilbe micropogon* également présent dans les captures des pêcheurs locaux. D'autres espèces estuariennes d'origine marine, moins euryhalines, semblent désormais se cantonner plus en aval durant l'étiage, telle que *Ethmalosa fimbriata* ou *Ilisha africana.*

La distribution spatiale des espèces

Les données du (Tableau 85) des captures dans la retenue et le bassin versant continental peuvent être regroupées en fonction de la localisation des captures. Il apparaît alors six groupes d'espèces.

Groupe 1 :

Les espèces capturées uniquement dans la partie basse du bassin, aux stations K10 et K11.

Ces deux stations partagent comme caractéristique commune leur proximité de la zone marine et l'absence de seuil rocheux ou de cascade difficilement franchissable (dans le sens aval amont). Elles sont toutes les deux modifiées par rapport à un état naturel. Les débits de la station K10 sont modifiés par l'ensemble hydroélectrique de la Samou, et la qualité de l'eau de la station K11 est perturbée par les rejets de l'usine de Fria. Aujourd'hui cette perturbation est limitée à un très faible accroissement de la conductivité résultant de la teneur en Na et en bicarbonate causée par les rejets liquides. Par le passé, il y avait en plus des argiles en suspension qui rendaient la rivière particulièrement turbide. On peut penser que, pendant une période antérieure à la mise en œuvre du bassin de rétention des déchets de Fria, le cours de la rivière en aval de cette localité a été peu propice à certaines espèces de poissons.

Les espèces strictement inféodées à cette partie basse du bassin ont pour certaines une distribution restreinte aux seuls bassins côtiers de l'Afrique de l'Ouest : *Brycinus longipinnis, Tylochromis leonensis, Chrysichthys johnelsi, Polypterus cf. palmas, Schilbe micropogon, Synodontis annectens, Tilapia buttikoferi, Tylochromis cf. jentenki.*

Mais les autres sont rencontrées aussi dans des parties continentales des grands bassins de l'Afrique de l'Ouest.

Groupe 2 :

Espèces présentes dans l'ensemble du bassin mais absentes de la station K11, et parfois aussi de la station K10.

Les espèces absentes à K11 sont surtout les Mormyridae. Comme indiqué plus haut, il est possible que des rejets de l'usine de Fria aient créé un milieu défavorable, soit par des concentrations locales momentanées d'effluents autour de le station K11, et donc des conductivités trop fortes pour les Mormyridae, soit par une segmentation du fleuve au niveau de K9 perturbant une fonction du cycle biologique de cette famille. La présence des ces Mormyridae à la station K12 de l'estuaire complique cependant l'interprétation de elur absence à la station K11.

Groupe 3 :

Espèces communes dans l'ensemble du bassin du Konkouré, et également présentes dans beaucoup de localités de l'Afrique de l'Ouest, démontrant ainsi une bonne capacité d'adaptation à différentes conditions de milieu.

Groupe 4 :

Deux espèces à distribution particulière. Hydrocynus forskalii est absente de la retenue mais présente dans le reste du bassin où elle participe à l'ensemble bien représenté des ichtyophages de taille moyenne. Et *Tilapia guineensis*, généralement considérée comme estuarienne mais qui est ici distribuée dans l'ensemble du bassin.

Groupe 5 :

Espèces capturées dans des stations diverses mais en faible nombre, ce qui ne permet pas de définir avec sécurité leur répartition, bien que certaines soient absentes de K10 et K11, comme celles du groupe 2.

Groupe 6 :

espèces capturées dans la retenue mais très rares ou absentes dans le reste du bassin.

Espèces	Stations du bassin versant								Effectif total
	K2	K2'	K3	K4-7	K5	K7	K10	K11	
Groupe 1									
Brycinus longipinnis							35	13	48
Tylochromis leonensis							10	35	45
Chrysichthys johnelsi							6	13	19
Polypterus cf. palmas							5	10	15
Hepsetus odoe							9	2	11
Papyrocranus afer							5	3	8
Auchenoglanis occidentalis							2	1	3
Schilbe micropogon							156	17	173
Schilbe mystus							70		70
Marcusenius mento							12		12
Synodontis annectens							1		1
Tilapia buttikoferi							1		1
Tylochromis cf. jentenki								7	7
Groupe 2									
Petrocephalus tenuicauda	67	32	78	52	17	51	35		332
Marcusenius thomasi	9	8	3	83	18	72	36		229
Hippopotamyrus paugyi	17	6	101	8	8	7	2		149
Mormyrus tapirus	1	1	1	4	4	6	2		19
Mormyrops anguilloides			4	4	2	4	1		15
Labeo rouaneti **			1	1	9	6	1		18
Synodontis levequei **	370	74	289	9	11	4			757
Ctenopoma kingsleyae	11	1	9		3	1			25
Barbus sacratus	1	4	3		12	1			21
Pelvicachromis humilis ?	2	2		1	1	2			8
Tilapia louka			1	1	1	5			8
Brycinus nurse	1		35			20			56
Synodontis thysi		6	11		6	4			27
Synodontis waterloti	177	25	3	90	42				337
Labeo parvus	12	5	4	1	1				23

Groupe 3									
Brycinus macrolepidotus	123	51	39	96	66	98	82	110	665
Chrysichthys maurus	147	61	138	90	51	60	5	31	583
Hemichromis fasciatus	86	4	65	1	17	5	1	3	182
Lates niloticus	5	2	1	6	1	11	1	11	38
Leptocypris konkourensis **	78		24		9	16		6	133
Groupe 4									
Hydrocynus forskalii				47	4	15	4	6	76
Tilapia guineensis	6		3			10			19
Groupe 5									
Heterobranchus longifilis					1			1	2
Raiamas senegalensis	5			1	1	5			12
Raiamas steindachneri	1	2		1		1			5
Leptocypris guineensis				1	1			1	3
Barbus wurtzi	5	3			1				9
Nannocharax fasciatus					1				1
Barbus macrops	1							5	6
Clarias salae	4				1				5
Clarias anguillaris	1				1				2
Tilapia rheophila				1				1	2
Hemichromis bimaculatus					1		1		2
Tilapia brevimanus	1					1	4	27	33
Groupe 6									
Heterobranchus isopterus	19	2	1					1	23
Barbus foutensis	20		1						21
Tilapia zillii	21	1							22
Aethiomastacembellus liberiensis			1						1
Synodontis ansorgii	1								1
Total	1192	290	816	498	291	405	487	304	4283

Tableau 85 : Effectifs des espèces dans les captures aux différentes stations d'échantillonnage sur le bassin versant

La reproduction

L'analyse des données disponibles acquises dans le bassin continental et dans l'estuaire du Konkouré ne permet pas d'identifier avec sécurité les périodes et les lieux de reproduction de toutes les espèces capturées. Cela est vrai en particulier pour les espèces rares.

On peut, par contre, situer plus précisément la reproduction de certaines d'entre elles.

Certaines espèces quittent l'estuaire pour se reproduire. Bien que souvent présentes en grand nombre dans les captures, le faible nombre d'individus matures ne permet pas de définir la période de cette reproduction. Quelques espèces, en revanche, présentent une forte proportion d'individus matures qui semble indiquer une reproduction en estuaire.

Reproduction en mer

- *Pseudotolithus elongatus*
- *Pseudotolithus epipercus*
- *Polydactylus quadrifils*
- *Pentanemus quinquarius*
- *Cynoglossus senegalensis*
- *Liza grandisquamis*

Reproduction en estuaire

Pellonula leonensis en période de crue, de juillet à octobre avec un maximum en août,

Sarotherodon melanotheron et *Chrysichthys nigrodigitatus* d'avril à juin, avec un maximum en mai.

Des proportions significatives d'individus matures dans les captures du bassin continental ont été observées sur des périodes plus ou moins longues pour différentes espèces :

Au mois de mai
- *Polypterus palmas*
- *Marcusenius mento*
- *Marcusenius thomasi*
- *Petrocephalus tenuicauda*

D'avril à août avec un pic en mai
- *Brycinus longipinnis*
- *Brycinus nurse*
- *Barbus sacratus*
- *Synodontis wareloti*

De novembre à mai-juin
- *Hippopotamyrus paugyi*
- *Hepsetus odoe*
- *Brycinus macrolepidotus*
- *Chrysichthys maurus*
- *Synodontis levequei*

Toute l'année
- *Hemichromis fasciatus*

En novembre
- *Leptocypris konkourensis*

IV.6. CONCLUSIONS GENERALES SUR LES PEUPLEMENTS DE POISSONS

Les pêches expérimentales effectuées dans le cadre de l'étude permettent de confirmer ou d'étendre les connaissances déjà acquises par le passé sur le bassin et sur l'estuaire.

L'état actuel de nos connaissances sur la diversité spécifique des poissons du bassin versant et de l'estuaire du Konkouré est environ de 116 espèces.

Les espèces trouvées dans nos captures se répartissent comme suit (Tableau 86) :

N espèces	K2	K2'	K3	K4-7	K5	K7	K10	K11	K12	K14	K19	K15
43												
8												
2												
4												
52												

Tableau 86 : Nombre d'espèces dans les différents domaines du bassin et de l'estuaire du Konkouré

Outre la création d'une retenue de 79 km^2, la construction du barrage de Garafiri a créé un certain nombre de conditions nouvelles de milieu dans le bassin du Konkouré. Le débit d'étiage environ est trois fois plus important que par le passé, ce qui crée avec une modification sensible de la répartition de la salinité dans l'estuaire. Ce débit est aussi beaucoup plus variable en fonction des turbinages qui suivent la demande journalière en électricité.

Cette modification du débit à l'aval du bassin versant du Konkouré, suite à la mise en eau du barrage de Garafiri, peut amener de profonds changements au niveau des composantes physiques, chimiques et biotiques de l'habitat des poissons. La réaction des différentes espèces de poissons à ces changements dépend de plusieurs facteurs : caractéristiques générales du nouveau milieu, disponibilité de frayères adéquates, conditions environnementales propices à la reproduction et au développement des juvéniles, disponibilité de ressources alimentaires adéquates, interactions avec les compétiteurs et les prédateurs, etc. Dans une partie du bassin, à l'aval du barrage, la réduction du débit de crue peut, par exemple, réduire l'extension de zones inondables propices à la reproduction.

Il faut cependant prendre en compte des modifications artificielles plus anciennes du régime et de la qualité de l'eau dans le bassin : création dans les années 1960 du complexe hydroélectrique de la Samou, affluent de la Badi, et rejets de l'usine d'alumine de Fria. Ces rejets, autrefois importants en soude et surtout en particules, sont maintenant décantés. On ne sait pas quel impact ces aménagements et activités ont pu avoir dans le passé, mais il faut prendre en compte le fait que la construction du barrage de Garafiri intervient sur un bassin dont la partie aval a déjà subi des modifications dues à l'action humaine.

L'approche synthétique que nous avons choisie pour procéder à l'interprétation des changements observés consiste à comparer l'évolution des peuplements de poissons (richesse spécifique, composition taxonomique et trophique, PUE) par la méthode de l'Indice d'Intégrité Biotique (IBI). Nous avons également considéré le succès de reproduction des espèces et l'indice de condition que nous avons intégré à l'IBI. Deux stations situées sur des affluents du Konkouré, et donc hors influence hydrologique directe du barrage, ont été suivies pour jouer le rôle de "témoins" de façon à prendre en compte la variabilité naturelle saisonnière et inter-annuelle.

Les analyses montrent une baisse de l'IBI depuis 1999 essentiellement due semble-t-il à une baisse du nombre de juvéniles et de l'indice de condition. Néanmoins l'évolution de l'IBI dans les stations témoins et dans celles sous influence du barrage est similaire au cours du temps. Il n'est par conséquent pas possible d'attribuer cette évolution totalement à un effet du barrage. Il est possible, en effet, que de mauvaises conditions hydrologiques naturelles (en 2000 notamment) se soient surajoutées à celles induites par le barrage de telle sorte que les stations témoins se sont comportées fortuitement comme les stations sous influence du barrage. Seul un suivi lors de conditions hydrologiques plus favorables dans les stations témoins permettrait de lever totalement cette ambiguïté.

En ce qui concerne les poissons, trois éléments de conclusion apparaissent à l'issue de l'étude.

1) La création d'un lac de retenue a donné lieu au développement d'un peuplement exploitable par la pêche artisanale avec une production supérieure à ce qu'elle pouvait être auparavant. D'après le rapport d'activité du département pêche continentale du CNSHB, une enquête réalisée en avril 2001, on dénombrait dans le lac de Garafiri 186 pêcheurs dont 75 professionnels (Bozos et Somono) venant du Mali et 111 semi-professionnels (Malinké et Peul), répartis entre 9 débarcadères. Ces pêcheurs disposent de 85 pirogues (monoxyles et membrures), 249 filets maillants, 104 lignes, 14 éperviers et 7 nasses.

La capture dans les trois grands débarcadères entre avril et août 2001 est la suivante :

- *Mélidra : 46155 kg*
- *Guemessoron : 10742 kg*
- *Garafiri : 31783 kg*

Par extrapolation, la production annuelle serait de l'ordre de 215 tonnes par an.

Les principales espèces capturées sont :

- en premier lieu *Chrysichthys maurus* et *Brycinus macrolepidotus*,
- secondairement *Brycinus nurse*, *Labeo rouaneti*, *Labeo parvus*, *Synodontis levequei*, *Synodontis waterloti*, *Tilapia guineensis*, *Hemichromis fasciatus*,*Tilapia zillii* et *Heterobranchus isopterus*.

Dans l'estuaire, l'apparition d'espèces d'eau douce dans la région de la station K12 ne remet pas en cause l'activité traditionnelle de la pêche artisanale.

2) Dans le bassin continental, il n'est pas apparu de modification notable de la structure des peuplements après deux ans de fonctionnement du barrage, bien que le débit en aval du barrage soit perturbé aussi bien dans son module moyen mensuel en étiage que dans ses variations diurnes.

3) Dans l'estuaire, cette augmentation du débit en étiage s'est traduite par un déplacement vers l'aval d'un certain nombre d'espèces d'eau douce. L'amplitude de ce déplacement n'est pas connue avec précision.

Les données acquises au cours des campagnes de pêche expérimentale du PIG forment une base utile pour évaluer les effets à plus long terme du barrage, si des campagnes utilisant le même protocole sont mises en œuvre dans les années futures.

IV.7. BIBLIOGRAPHIE

AGOSTINHO A. A. & ZALEWSKI M. 1995- The dependence of fish community structure and dynamics on floodplain and riparian ecotone zone in Parana River, Brazil. Hydrobiologia 303: 141-148

ALBARET (J.J.), 1982 : Reproduction et fécondité des poissons d'eau douce de Côte-d'Ivoire. Rev. Hydrobiol. trop. 15 (4) : 347-371.

ALBARET (J.J.) 1987: Les peuplements de poissons de la Casamance (Sénégal) en période de sécheresse. Rev. Hydrobiol. trop.; 20 : 291-310.

ALBARET (J.J.) 1994 : Les poissons: biologie et peuplements; pp 239-279 in Durand, Dufour, Guiral & Zabi (Eds.) : Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II - Les milieux lagunaires. Paris, Editions de l'ORSTOM. 550 p.

ALBARET (J.J.) 1999: Les peuplements des estuaires et des lagunes pp 325-364 in LEVEQUE (C.) & PAUGY (D.) Les poissons des eaux continentales africaines. Paris, IRD. . 521p.

ALBARET (J.J.) & DIOUF (P.S) 1994 :Diversité des poissons des lagunes et des estuaires ouest-africains; p 165-177 in Teugels, Guegan & Albaret (eds.) : Diversité biologique des poissons des eaux douces et saumâtres d'Afrique, synthèses géographiques; Symposium PARADI ; Dakar ; Ann Mus. r. Afr. Centr.,Zool. ; Tervuren (Belgique); vol. 275.

ALBARET (J.J.) & GERLOTTO (F.), 1976 : Biologie de l'ethmalose (Ethmalosa fimbriata Bowdich) en Côte - d'Ivoire. 1. Description de la reproduction et des premiers stades larvaires. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 7 (1) : 113 -133.

ALBARET (J.J.), LEGENDRE (M) 1985: Biologie et écologie des Mugilidae en lagune d'Ebrié (Côte d'Ivoire) intérêt potentiel pour l'aquaculture lagunaire; Rev. Hydrobiol. trop.; 18(4); 281-303 p.

BAIIJOT (E.), MOREAU (J.) & SANA BOUDA 1994 : Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahelienne. ACP/CEE 250 p.

BARAN (E.), 1995 : Dynamique spatio-temporelle des peuplements de poissons estuariens en Guinée, Relation avec le milieu abiotique. Paris, ORSTOM, 236p.

BERTRAND (F.) 1993 : Contribution a l'étude de l'environnement et de la dynamique des mangroves de Guinée - Données de terrain et apport de la télédétection. Collection Etudes et Thèses, ORSTOM, 201 p.

BLABER (S.J.M.), BREWER (D.T.), SALINI (J.P.) 1989 : Species composition and biomasses of fishes in different habitats of tropical northern Australian estuaries : their occurrence in the adjoining sea and estuarine dependance; Est. Coast. Shelf Sci. ; 29 : 509-531.

BLABER (S.J.M.), BLABER (T.G.) 1980 : Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. J. Fish Biol. ;17 : 143-162

BLACHE (J.), CADENAT (J.), STAUCH (A.) 1970 : Clés de détermination des poissons de mer signalés dans l'Atlantique oriental (entre le 20^{e} parallèle N et le 15^{e} parallèle S) ; Faune tropicale XVIII .ORSTOM ; Paris ; 479 p.

BUSLE (J.) 1981 : Sexuality and biology of reproduction in grey mullets. pp 99-154 in Oren (ed.) : Aquaculture of grey mullets, Cambridge Univ. Press.

CHARLES - DOMINIQUE (E) 1982 : Exposé synoptique des données biologiques sur l'ethmalose (Ethmalosa fimbriata S Bowdich) Rev. Hydrobiol. trop., 15 (4) : 373-397

CNSHB - 2001 : Rapport d'activité, Département Pêche continentale . 5 p.

DAGET (J.) 1952 : Mémoire sur la biologie des poissons du Niger moyen. I. Biologie et croissance des espèces du genre Alestes. Bull. IFAN, sér. A 14 (1) : 191-225.

DAGET (J.) 1962 : Les poissons du Fouta Djalon et de la Basse Guinée. Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire n° 66 : 573-600.

DANDO (P.R.) 1984 : Reproduction in estuarine fish; pp 155 -1770 in Potter & Wooton (Eds) : Fish reproduction ; Academic Press; London ; 410 p.

DAY (J.H) 1981 : Estuarine ecologiy with particular reference to South Africa ; Balkema Rotterdam.

DAY (J.W), Hall 1989 (C.A.), KEMP (W.M), YAÑEZ-ARANCIBIA (A.) 1989 : Estuarine ecology ; Wiley et sons ; 558 p.

DIOP (E.), 2000 : Caractéristiques spatio-temporelles de la reproduction de quelques espèces de poissons d'Afrique de l'Ouest. Thèse Univ. Mali, 229p.

DOMAIN (F.) 1989: Rapport des campagnes de chalutage de N. O. André Nizery dans les eaux de la Guinée de 1985 à 1988. Document scientifique du Centre de Recherche Halieutique de Boussoura; 5; 81 p.

DOMAIN (F.), CHAVANCE (P.) & DIALLO (A) 1999: La pêche côtière en Guinée: ressources et exploitation. Paris, IRD, 394 p.

DURAND (R.) & LOUBENS (G). 1970 : Observations sur la sexualité et la reproduction des Alestes baremoze du Bas Chari et du lac Tchad. Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol. 4 (2) :61- 81.

FAIRBRIDGE (R.) 1980 : The estuary : its definition and geodynamic cycle p. 1-35 In Olausson & Cato (Eds.) : Chemistry and biochemistry of estuaries. Wiley, New York.

HEM (S.) 1986 : Premiers résultats sur la reproduction contrôlée de Chrysichthys nigrodigitatus en milieu d'élevage. PUDOC Wageningen (Hollande) Collogue FIS, Aquaculture en Afrique, Ksumu (Kenya) : 7 -11 oct.1985 :189-205.

HOLDEN (M.J.), RAITT (D.E.S.) 1974 : Manuel de science halieutique. Deuxième partie : méthodes de recherche sur les ressources et leur application. Documents Techniques FAO sur les pêches. Rome, FIRS/ 115 Rev. 1), 223 p.

HUGUENY, (B.), 1992 : Recherche sur les eaux continentales de Guinée Maritime. Rôle de l'environnement physique et biologique sur les ressources ichtyologiques en Basse Guinée. Rapport annuel 1992. Document d'archive CNSHB n° 21 Janvier 1994. (30) 36 p.

HUGUENY B., CAMARA S., SAMOURA B. & MAGASSOUBA M. 1996- Applying an index of biotic integrity based on fish assemblages in a West African river. Hydrobiologia 331: 71-78.

IRD-BCEOM-BRLI, 2001 : Etude de l'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire et le bassin versant du Konkouré. Rapport d'étape-mai 2001. IRD, Conakry, 113 p.

KAWALEC (A.) 1977 : Climatologie de la Guinée ; Ministère de la Promotion Rurale I.D.E.C. 96p.

JACKSON P.N.B. MARSHALL B.E. PAUGY D. 1988- Fish communities in man-made lakes. In C.Lévêque, M. N. BRUTON & G. W. SSENTONGO (eds) « Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains », Editions de l'ORSTOM, Paris, pp 325-350

KARR, J.R. 1981 – Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries 6, pp. 326-411.

KOUASSI (N.), 1978 : Données écologiques et biologiques sur les populations d'Alestes baremoze (Joannis), poisson Characidae du lac de barrage de Kossou. Thèse Univ. Abidjan, 278 p. multigr.

KÜNZEL (T.) & LÖWENBERG (U.) 1990 :Studies on the population dynamics of Pellonula leonensis in Cross River, Nigeria. Fishbyte; 8-13

LASSERRE, (G.), 1991 : Cours d'hydrobiologie. Université de Montpellier, 104p.

LEMOALLE. (J.) 1999. Diversité des milieux aquatiques p11-30 in LEVEQUE (C.) & PAUGY (D.) 1999 : Les poissons des eaux continentales africaines.Paris, IRD. 521p

LEVEQUE, (C.), PAUGY, (D.), TEUGELS,(G.G.) & ROMAND (R.), 1989 : Inventaire taxinomique et distribution des poissons d'eau douce des bassins côtiers de Guinée et de Guinée Bissau. Rev. Hydrobiol. trop. 22 (2) : 107-127.

LEVEQUE (C.), PAUGY (D.), TEUGELS (G.G.) 1990 : Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest; Paris, ORSTOM/MRAC; collection Faune tropicale n° XXVIII; tome 1, 384 p.

LEVEQUE (C.), PAUGY (D.), TEUGELS (G.G.) 1992: Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest; Paris, ORSTOM/MRAC; collection Faune tropicale n° XXVIII; tome 2, 902 p.

LEVEQUE, (C.) & PAUGY (D.) 1999. Distribution géographique et affinités des poissons d'eau douce africains. P. 55-67 in LEVEQUE (C.), PAUGY (D.) 1999 : Les poissons des eaux continentales africaines. Paris IRD. . 521p.

LEVEQUE C. 1999- Impacts des activités humaines. In C. LEVEQUE & D. PAUGY (eds) « Les poissons des eaux continentales africaines », Editions de l'IRD, Paris, pp 365-383

LINDALL (W.N) SALOMAN (C.H.) 1977 : Alteration and destruction of estuaries affecting fishery ressources of the Gulf of Mexico ; Mar. Fish Rev. ; 39 ; 1-7.

LONERAGAN (N.R.), POTTER (I.C.), LENANTON (R.C.J.) 1989 : Influence of site, season and year on contributions made by marine, estuarine, diadromous and freshwater species to the fish fauna of temperate Australian estuary ; Marine Biology ; 103 ; 461-479 .

MCHUGH (J.L.) 1980 : Coastal fisheries pp. 323-346 in Lackey & Nilsen (Eds.) : Fisheries management ; Blackwell Scientific Publ.; Oxford.

MERONA B. DE, HECHT T. & MOREAU Y. 1988- Croissance des poissons d'eau douce africains. In C.Lévêque, M. N. Bruton & G. W. Ssentongo (eds) « Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains », Editions de l'ORSTOM, Paris, pp 191-219

MUNRO (A.D.), 1990 : Tropical freshwater fish in MUNRO (A.D.), SCOTT (A.P), LAM (T.J.), éd. : Reproduction and seasonality in teleosts : environnemental influences. Boca Raton (Florida), CRC press : 145-239.

ORSTOM/CNSHB 1994 : Recherche sur les eaux continentales de Guinée Maritime. Rôle de l'environnement physique et biologique sur les ressources ichtyologiques en Basse Guinée. Rapport de fin de convention Orstom-FAC-Gouvernement guinéen, 51p.

PANDARE (D.), TAMOÏKINE (M. Y.), KOIVOGUI (P.), NIANG (S.), BARAN (E.), BOUSSO (T.) 1992 : Observations ichthyologigues au Sénégal et en Guinée - Conakry; Rapport final de l'E.P.E.E.C. : Etudes des estuaires du Sénégal : Sénégal, Saloum, Casamance. Univ. C.A. Diop, Dakar ; 35-51.

PANDARÉ (D.), TAMOïKINE (M.Y.) 1993 : Observations préliminaires des peuplements ichthyoplanctoniques des zones d'estuaires et de mangrove de l'Afrique de l'Ouest : cas de la Guinée et du Sénégal . Série Documentaire COMARAF 10, UNESCO, 43 p

PAUGY (D.) & LEVEQUE (C.) 1999 : Echantillonnage des peuplements de poissons p 227-236 in LEVEQUE (C.), PAUGY (D.): Les poissons des eaux continentales africaines. 521p. éd. IRD.

PAUGY D. & LEVEQUE C. 1999- La reproduction. In C. LEVEQUE & D. PAUGY (eds) « Les poissons des eaux continentales africaines », Editions de l'IRD, Paris, pp 129-151

PAUGY (D.), 1980. Ecologie et biologie des Alestes nurse (Pisces, Characidae) des rivières de Côte D'Ivoire. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrobiol., vol. XIII, n° 3-4 : 143-159.

PLANQUETTE (P.), LEMASSON (J.), 1975. Le peuplement de poissons du Bandama blanc en pays Baoulé. Ann. Univ. Abidjan,sér. Ecologie 8 (1) : 77-121.

PNUE/PNUD/ MTTE/Guinée, 1977 : Monographie Nationale sur la diversité biologique de Guinée.

POTTER (I.), BECKLEY (L.E.), WHITFIELD (A.K.), LENANTON (R.C.J.) 1990 : Comparisons between the roles played by estuaries in the life cycles of fishes in temperate western Australia and southern Africa ; Env. Biol. Fish. ; 28 ; 143-178 .

RIBEIRO M. C. L. B., PETRERE Jr M., & JURAS A. A. 1995- Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia-Tocantins River basin, Brazil. Regulated Rivers: Research and Management 11: 325-350

SAMOURA, (A. B.), DIALLO, (S. T.), SIDIBE (S.), KEITA (F.) & KOIVOGUI (P.), 1999 : Analyse de la Diversité Biologique des écosystèmes des eaux continentales de Guinée. Ministère de Transport, Travaux Publics et de l'Environnement (SNPA-DB) Gui/97/G32/A/1G/99.Rapport 52p.

SRINN (K. Y.), 1976. Biologie d'Hydrocynus forskalii (Pisces : Characidae) du bassin tchadien. Thèse Spéc. Univ.Toulouse, 126 p. multigr.

STONER (A.W.) 1986 : Community structure of the demersal fish species of laguna Joyuda, Puerto Rico ; Estuaries ; 9 (2) ; 142-152 .

TAMOÏKINE (M.Y.) & PANDARE (D.) 1994 : Ichthyoplankton study in Guinean and Senegalese coastal and estuarine waters. Results of surveys 1988-1992. UNESCO Reports in Marine Sciences, n° 65, 69 p

TEUGELS (G.G) & THYS VAN DEN AUDENAERDE (D.F.E.), 1992 : Cichlidae in Lévêque (C.), Paugy (D.), Teugels (G.G), éd. : Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest. Paris, ORSTOM /MRAC, Faune tropicale 28, vol. II : 714-779.

TICHELER (H.) 2000. Conservation de la biodiversité des poissons dans les zones humides de l'Afrique de l'Ouest. Plan d'action régional. 37p.

WALLACE (J.H), KOK (H.M.), BECKLEY (L.E.), BENETT (B.) BLABER (J.M.), WHITFIELD (A.K.), 1984 : South African estuaries and their importance to fishes ; South African Journal of Science ; 80 ; 203-207 .

WHITFIELD (A.K.) 1990 Life-history styles of fishes in South African estuaries Env. Biol. Fish. 28; 295-308.

WINNEMILLER K. O. & ROSE K. A. 1992- Patterns in life-history diversification in North American fishes : implications for population regulation. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49 : 2196-2218

YAÑEZ-ARANCIBIA (A Ribeiro M. C. L. B., Petrere Jr M., & Juras A. A. 1995- Ecological integrity and fisheries ecology of the Araguaia-Tocantins River basin, Brazil. Regulated Rivers: Research and Management 11: 325-350

WINNEMILLER K. O. & ROSE K. A. 1992- Patterns in life-history diversification in North American fishes : implications for population regulation. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49 : 2196-2218

YAÑEZ-ARANCIBIA (A.), SOBERON-CHAVEZ (G.), SANCHEZ-GIL (P.) 1985 : Ecology of control mechanisms of natural fish production in the coastal zone ; p 571-595 in Yañez-Arancibia (Ed.) : Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons; towards an ecosystem integration.UNAM Press, Mexico, 654 p.

V. PEUPLEMENTS EN HUITRES DANS L'ESTUAIRE DU KONKOURE

L'estuaire de Konkouré abrite l'une des plus importantes réserves naturelles d'huîtres de la zone littorale guinéenne. L'espèce rencontrée est *Crassostrea gasar A.* (ou tulipa L.) appartient au type littoral ou intertidal. Les colonies d'huîtres se développent sur les racines et troncs des palétuviers qui bordent les bras de mer.

La construction du barrage de Garafiri se traduit par des modifications de certaines variables de l'environnement dans l'estuaire du Konkouré avec un impact possible sur la vie des organismes aquatiques ; parmi ceux-ci les organismes fixés tel que les huîtres qui ne peuvent s'adapter en se déplaçant, sont particulièrement vulnérables. Les huîtres représentent par ailleurs une ressource naturelle importante pour les populations locales : la chair de l'huître entre depuis longtemps dans l'alimentation des populations riveraines et les coquilles sont utilisées dans le chaulage des sols acides, la fabrication de chaux ou l'aviculture. [Quale. 1975, Camara 1991].

D'où la présente étude de suivi de la variabilité spatio-temporelle des populations d'huîtres dans l'estuaire du Konkouré et dans les zones adjacentes.

D'une manière générale, plusieurs facteurs influencent la formation des colonies d'huîtres.

Un des facteurs écologiques les plus importants en relation avec la vie dans les estuaires et la zone littorale est l'action des marées. En effet, les variations du temps de dessèchement au niveau des différents horizons du littoral déterminent la répartition zonale des huîtres [Marozova et al, 1991].

La salinité joue un grand rôle dans la biologie des huîtres. Les variations de salinité déclenchent certains processus physiologiques comme la maturation sexuelle ou la reproduction, tandis que des valeurs extrêmes entraînent des mortalités à différents stades du développement.

La qualité du substrat influence également le degré de fixation des huîtres. Ces dernières se fixent uniquement sur des substrats durs. Cependant, elles forment aussi des bancs sur le sable et dans la vase à condition qu'il existe au fond des valves et des coquilles sur lesquels les jeunes huîtres se fixent. Les huîtres se fixent également sur les palétuviers appartenant aux genres Rhizophora et Avicenia mais avec une préférence pour le premier. Elles se fixent par contre très rarement sur les palétuviers du genre Laguncularia.

Les présentes études portent sur la dynamique de la croissance et la mortalité des colonies d'huîtres dans l'estuaire du Konkouré ainsi que leur distribution spatiale dans l'estuaire du Konkouré. Elles ont été réalisées au cours de 8 missions réparties sur la période allant de mai 1999 à juillet 2002.

Huit campagnes d'observation ont été effectuées dont la première avant la mise en eau du barrage de Garafiri :

N° Camp.	Date	Observation
1	7 au 10 mai 1999	Avant mise en eau du barrage
2	12 au 15 mars 2000	
3	3 au 5 juin 2000	
4	18 au 21 septembre 2000	
5	14 au 16 mai 2001	
6	21 au 28 décembre 2001	
7	14 au 20 mars 2002	
8	21 au 24 juillet 2002	

Tableau 87 : Inventaire des campagnes d'observation sur les huîtres

V.1. METHODE DE TRAVAIL

Les travaux d'observation s'effectuent à bord d'une barque motorisée à marée basse, lorsque les racines sont complètement émergées. Au total 7 stations d'étude ont été identifiées pour les prélèvements d'échantillons au cours des missions, dont quatre situées sur le bras principal du Konkouré (stations 1, 2, 3 et 4) ; deux dans les zones d'influence possible de Konkouré (stations 5 et 6), et enfin la station 7 de Sonfonia située en dehors de l'estuaire Konkouré qui sert de station de référence (Figure 128).

La station 1 est située à côté du port de Kakounssou. Elle connaît une dynamique de marée complexe en raison de la convergence des ondes provenant du bras principal du Konkouré et de la Sankiné. La deuxième est placée à l'opposé de la première, au niveau de la station hydrologique K14. La zone est influencée par les eaux du fleuve Konkouré et par la marée dynamique [IRD- BCEOM-BRLi, novembre, 1999].

La station 3 située en aval de la station hydrologique K19 à l'extrémité Nord de l'île Bokhinènè, à la confluence des bras Nord et sud du Konkouré est une zone de turbulence.

La station 4 située en sur le bras sud du Konkouré juste en face de la station 3 se situe dans une zone dont la profondeur est plus importante, le courant y est fort, occasionnant une érosion côtière localisée.

La station 5 placée non loin de l'interconnexion Bouramaya - Konkouré face à la station hydrologique K16 est sous l'influence de ces deux cours d'eau.

La station 6 placée non loin du port de Tougoussouri subit l'influence du Konkouré et du Bouramaya. Cependant l'action du second serait plus marquée.

A chaque station, une racine constituant un échantillon représentatif de population d'huîtres est prélevé, pour mesurer la taille des huîtres qui y sont fixées et déterminer le taux de survie. La taille (plus grande dimension de la coquille, en cm) est mesurée et la proportion d'huîtres mortes est évaluée. La hauteur sur laquelle sont fixées les huîtres dépend de la situation de la station. Mais pour chacune des stations, cette hauteur reste fixe au cours du temps : les variations relatives du nombre d'huîtres à une station sont donc un indicateur quantitatif de leur densité, dans la mesure où chacune des racines est représentative de la station.

La cartographie du gisement huîtrier de l'estuaire à été réalisée grâce à des campagnes d'observations au cours desquelles, les zones de forte, moyenne et faible densité d'occupation d'huîtres, ainsi que celles qui en sont complètement dépourvues, ont été géoréférencées à l'aide d'un GPS.

Pour apprécier la distribution des huîtres dans la biocénose côtière, nous avons tenu compte de deux variables : la densité des huîtres (nombre par m2), et la largeur de la bande des palétuviers colonisés. La densité est évaluée par la quantité moyenne de racines aériennes au-dessus d'un m^2 d'eau et la quantité moyenne d'huîtres fixées par racine pour trouver la quantité moyenne d'huîtres par m^2 d'eau. Dans l'appréciation visuelle nous avons tenu compte de trois espèces de palétuviers, sur les racines et branchettes desquelles vivent les colonies d'huîtres. La densité de fixation des huîtres est généralement plus élevée sur les peuplements à Rhizophora. Elle est moyenne sur ceux à Avicenia et généralement nulle sur les peuplements à Languncularia.

La quantité d'huîtres a été appréciée à l'aide de la graduation suivante :

- pas d'huîtres ;
- peu d'huîtres, épaisseur de la bande 1 m environ ;
- quantité moyenne, bande d'occupation large de 3 m environ ;
- beaucoup d'huîtres, épaisseur de la bande supérieure à 3 m.



Figure 128 : Localisation des zones d'échantillonnage

V.2. RESULTATS

Les résultats présentés dans ce document sont le fruit de huit missions dont une réalisée en mai 1999 au moment de la fermeture du barrage. Les observations effectuées au cours de ces 8 missions ont permis de suivre les modifications survenues dans le temps et dans l'espace au niveau des populations d'huîtres.

Pour interpréter les données, il faut se reporter au cycle biologique normal de l'espèce dans la région, avec maturation et reproduction centrée principalement sur la saison des pluies. La taille moyenne du peuplement varie donc en fonction de l'apparition des juvéniles fixées et de la mortalité des adultes. Il faut, de plus, considérer les importantes variations saisonnières et inter-annuelles du débit et de la salinité dans l'estuaire. Les huîtres se sont adaptées à ces variations en se développant préférentiellement dans certaines zones, ce qui n'exclut pas des mortalités accidentelles lors d'évènements particulièrs.

V.2.a. La distribution des structures de taille dans le temps et dans l'espace

La variation spatiale des tailles moyennes des huîtres au cours des différentes missions est résumée sur la (Figure 129). Sur cette figure, les variations des tailles moyennes résultent de mortalités et de naissances dans des classes de taille différentes, qui peuvent être détectées grâce à l'examen des structures en classe de taille représentées (Figure 130, Figure 131 et Figure 132).

Notons que plus aucune huître vivante n'a été retrouvée aux stations 1 et 2 dès la deuxième mission de mars 2000, alors qu'elles y étaient présentes avec des densités comparables à celles des stations 3 et 4 au mois de mai 1999.

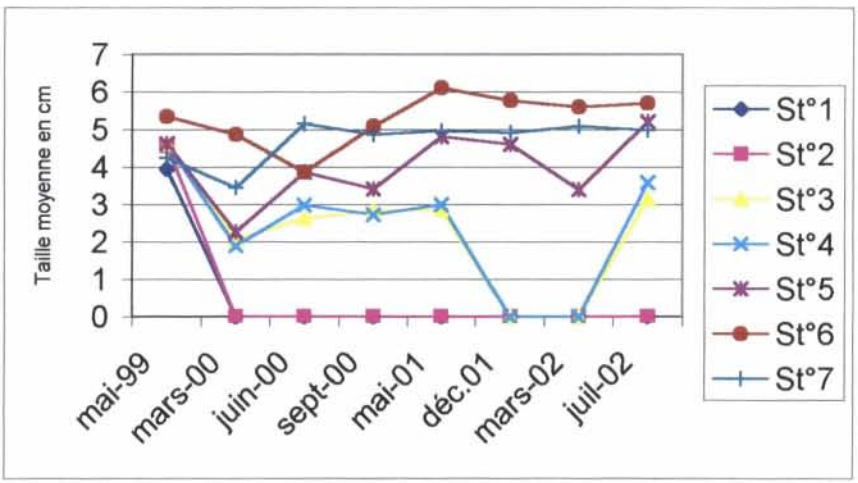


Figure 129 : Distribution de la taille moyenne des huîtres dans l'estuaire du Konkouré dans les différentes stations au cours du temps..

Les petites huîtres (classe 1-3 cm) ont progressivement disparu des stations amont de l'estuaire. Toujours absentes de la station 1, présentes à la station 2 seulement en mai 1999, elles ont disparu des stations 3 et 4 après mai 2001. A noter qu'elles sont également très rares à la station témoin (7) depuis septembre 2000 (Figure 130). Nous avons regroupé les classes de taille 3-5 et 5-7 cm, pour prendre en compte l'ensemble des huîtres adultes, avec des effectifs plus représentatifs (Figure 131). En mai 1999, ces huîtres étaient partout nombreuses avec des densités particulièrement fortes aux stations 4, 5, 6 et 7. Les effectifs ont ensuite diminué de façon durable sur toutes les stations y compris sur les stations situées en aval de l'estuaire (stations 5 et 6 et la station témoin 7). Ces huîtres adultes ont disparu progressivement de la partie amont de l'estuaire, d'abord aux stations 1 et 2 dès mars 2000,

puis à partir de mai 2001 jusqu'en mars 2002 aux stations 3 et 4 pour réapparaître en juillet 2002 avec des individus de très faibles tailles.

Malgré la forte variabilité observée, y compris dans la station témoin, il apparaît que les quatre stations situées à l'amont de l'estuaire (stations 1 à 4), ont vu leurs peuplements d'huîtres diminuer puis disparaître : d'abord au début de l'année 2000 aux stations 1 et 2 puis fin 2001 aux stations 3 et 4. Dans la partie aval de la zone étudiée, la station 6 semble la plus stable, avec des individus de toutes les classes de taille présents tout au long de l'étude.

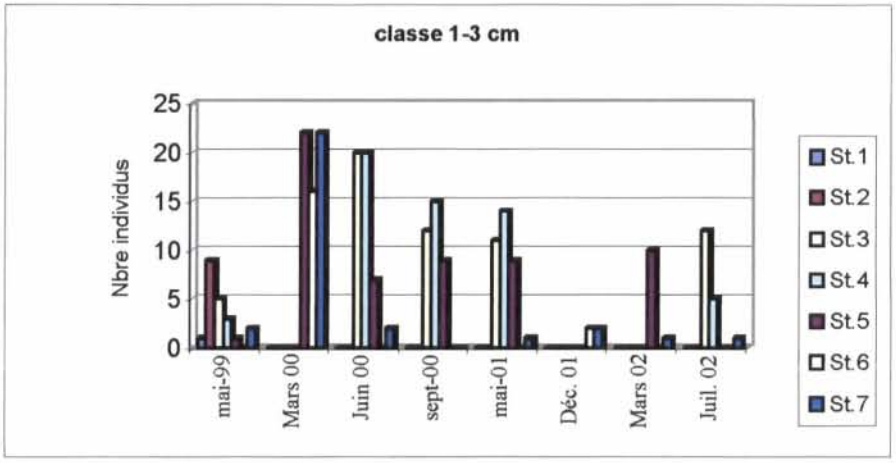


Figure 130 :. Distribution des huîtres de petite taille (classe 1-3 cm) au cours des dfférentes campagnes 1 à 8

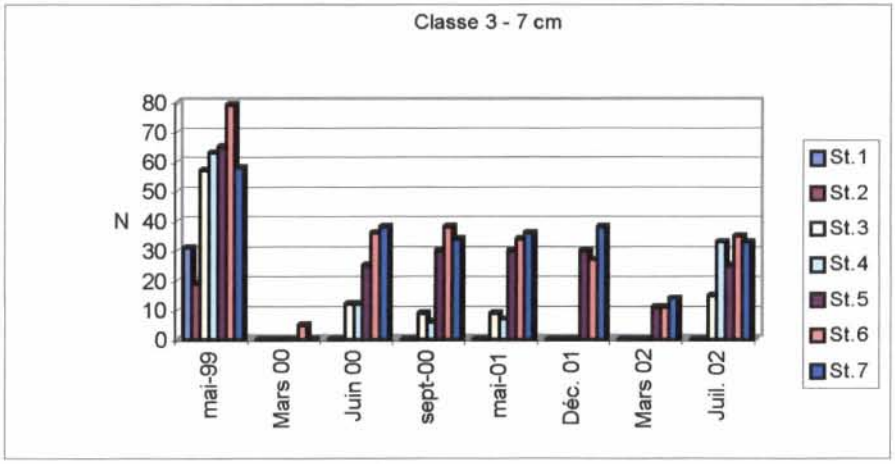


Figure 131 :Distribution des huîtres (classe 3 - 7 cm) au cours des différentes campagnes 1 à 8

Les huîtres adultes de grande taille (7–9 cm) n'ont été rencontrées qu'au niveau des stations 6 et 7 avec une abondance plus marquée en juin 2000 et décembre 2001.

Les différences observées entre les stations 6 et 7 soulignent la forte variabilité spatiale et temporelle de la distribution des huîtres. La variabilité est également nette quand on considère les effectifs observés à toutes les stations en mai 1999 par rapport aux observations faites par la suite : les densités à toutes les stations ont diminué de plus de la moitié. L'observation des taux de survie est utilisée en complément de celle des structures de population pour interpréter les processus en jeu.

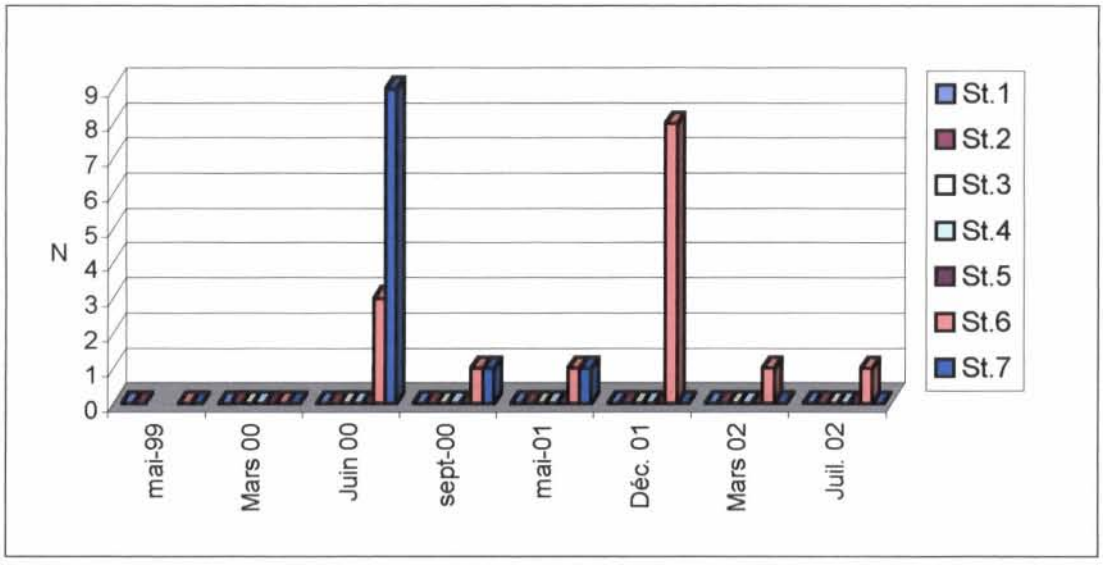


Figure 132 :Distribution des huîtres adultes (classes 7- 9 cm) au cours de différentes campagnes.

V.2.b. La distribution des structures de taille dans le temps et dans l'espace

Le taux de survie est exprimé par la proportion (%) des individus vivants par rapport au nombre total des coquilles collées sur la racine échantillonnée. Les résultats des observations sont donnés dans le (Tableau 88).

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
mai 1999	94	92	92	96	97	98	98
mars 2000	0	0	11	72	97	97	98
juin 2000	0	0	99	98	100	98	98
septembre 2000	0	0	50	56	95	98	97
mai 2001	0	0	96	97	96	98	98
décembre 2001	0	0	0	0	65	96	97
mars 2002	0	0	0	0	96	98	98
Juillet 2002	0	0	85	85	97	98	98

Tableau 88 : Dynamique du pourcentage d'huîtres vivantes dans les stations d'étude de l'estuaire du Konkouré.

Les résultats de la première mission (mai 1999) montrent que sur le bras principal du Konkouré, les colonies d'huîtres se rencontrent à l'amont de Kakounssou jusqu'à l'embouchure. Le taux de survie des huîtres observé était supérieur à 90% sur toutes les stations au cours de cette première mission.

Les taux de survie diminuent ensuite de l'amont vers l'aval. Les stations 1 et 2, puis 3 et 4 s'appauvrissent progressivement en huîtres vivantes. Au cours de toute la période d'échantillonnage, le nombre d'huîtres mortes est resté très faible sur toutes les racines examinées aux stations 5, 6 et 7. Les variations observées au niveau de l'effectif des huîtres adultes dans ces stations sont plutôt dues à la pression anthropique. En effet, les zones sus citées sont périodiquement fréquentées par les pêcheurs d'huîtres. Notons que ces stations sont situées non loin des concentrations humaines. La station 5 non loin de Rabanki est également placée à proximité d'une zone de pénétration des bûcherons qui s'intéressent également aux huîtres. La station 6 est située à proximité du village de Tougoussouri connu dans la collecte des huîtres. La station témoin, plus proche de Conakry est régulièrement fréquentée par les riverains du bras de mer de Sonfonia.

Les stations 3 et 4 placées dans la partie médiane de l'estuaire sont très instables quant à la présence des huîtres. Les colonies d'huîtres qui se retrouvent par moment sont constituées généralement de juvéniles qui s'adoptent temporairement aux conditions du milieu. Ils ont cependant très peu de chance de se développer car, devant traverser une période peu favorable à leur croissance.

V.2.c. Cartes de la distribution des huîtres dans l'estuaire : comparaison mai 1999-décembre 2001.

Les observations réalisées sur l'ensemble de l'estuaire permettent de dresser des cartes détaillées de répartition des huîtres pour les périodes de mai 1999 et décembre 2001.

➢ Situation de mai 1999, avant la mise en fonction du barrage de Garafiri

Les observations réalisées au cours de la première mission (mai 1999) indiquent que les colonies d'huîtres se développaient bien dans tout l'estuaire du Konkouré. Les parties dépourvues d'huîtres étaient en général les zones rizicoles, les campements de pêcheurs ainsi que les zones d'accumulation de vase en front de mer et celles où prédominent les palétuviers du genre Laguncularia. Le taux de mortalité naturelle enregistré dans l'estuaire ne dépassait pas 3%.

Dans les zones de forte abondance d'huîtres, il a été enregistré en moyenne 35 racines aériennes par m^2 d'eau, qui portaient au total en moyenne près de 1800 huîtres adultes. Dans les zones où l'abondance des huîtres est moyenne ces valeurs étaient respectivement estimées à 23 racines et 1500 huîtres par m^2 d'eau, tandis que dans les zones à faible abondance d'huîtres on notait en moyenne 10 racines aériennes comportant en moyenne 500 huîtres par m^2 d'eau.

La carte de distristribution des colonies d'huîtres dans l'estuaire du Konkouré avant la mise en fonction des turbines du barrage de Garafiri, en mai 1999, est commentée ci-dessous.

Dans le Bouramaya, la distribution des colonies d'huîtres est très variée. Les premières colonies se rencontrent en aval sur la rive gauche en face de Kalaya. De ce point au pont de Touguissouri on traverse deux zones d'accumulation de vase complètement dépourvues d'huîtres. La première mesure près de 500 m tandis que la seconde non loin du port ne dépasse pas 50 m de long. Toujours sur la rive gauche, du port de Tougoussouri au Konkouré en passant par Kognikéren, on remarque quelques zones dépourvues d'huîtres. Sur cette rive la taille moyenne des huîtres observées était de 4,6 cm. La valeur maximale enregistrée était de 6,5 cm.

Sur la rive droite du Bouramaya les colonies d'huîtres ne se rencontrent qu'après l'embouchure de la rivière Singueli, non loin de Solonyiré. Dans cette même zone nous avons identifié un dépôt de coquilles d'huîtres mesurant environ 20 m de long sur 5 m de large. Il n'était pas rare de rencontrer à la surface des coquilles vides atteignant 10 cm. Signalons que les huîtres de cette taille ne se rencontrent plus dans l'estuaire du Konkouré. De Solonyiré à l'interconnexion Bouramaya – Sankinè on traverse une zone d'abondance d'huîtres s'étendant sur plus de 500 m, suivie d'une autre complètement dépourvue d'huîtres sur près de 300 m, colonisée par des palétuviers du type Avicenia et Laguncularia. Sur la rive droite du Bouramaya, à l'exception de quelques rares zones d'accumulation de vase, les colonies d'huîtres sont bien développées du carrefour Sankinè au Konkouré.

Du carrefour Sankiné - Bouramaya jusqu'en face du port de Touguissouri, à l'exception de deux zones d'accumulation de vase, les huîtres sont abondantes sur tout le trajet.

Du port à l'interconnexion Bouramaya – Konkouré on traverse des zones où les colonies d'huîtres sont très développées. La taille des huîtres est assez appréciable sur ce bras de mer. Comme indiqué sur la carte, on y rencontre cependant quelques rares zones d'accumulation de vase dépourvues d'huîtres.

Au niveau de l'interconnexion Bouramaya - Konkouré, on ne rencontre pas d'huîtres sur la rive droite à cause de l'effet dévastateur des vagues qui déracinent les pieds d'Avicenia en front de mer. Cependant sur la rive gauche les colonies d'huîtres s'observent aux environs de Rakanki.

Dans la Sankiné, des colonies d'huîtres sont enregistrées sur la rive gauche presque tout le long tronçon. Les zones de dépôt de vase se rencontrant surtout sur la partie sinueuse aux environs de Kakounssou. Sur la rive droite, de l'interconnexion Bouramaya - Sankinè au campement Komboyé / Kakidy on traverse une zone s'étendant sur près de 300 m ne renfermant pratiquement pas huîtres. De Kakidi jusqu'au niveau de Tabaya situé à l'opposé, les colonies d'huîtres sont bien développées. Au-delà jusqu'à la station hydrologique K18 on rencontre une zone d'accumulation de vase dépourvue d'huîtres sur près de 2000 m. Aux environs de Kakounssou les populations d'huîtres sont peu développées.

Dans le bras principal du Konkouré, les huîtres se rencontraient abondamment en saison sèche de l'île Bokhinéné jusqu'aux environs de Gomézia (à partir de la confluence Konkouré-rivière Maniakoun). Cependant, au-delà de Kakounssou, on notait une diminution progressive de la taille des huîtres.

Au niveau du bras de mer de Sonfonia (zone témoin), on n'observe les premières colonies d'huîtres qu'à près de 2000 m de l'embouchure. Les populations d'huîtres sont plus ou moins développées. Elles sont régulièrement exploitées par les populations riveraines.

➢ Situation de décembre 2001, après la mise en fonction du barrage de Garafiri

Dans le Bouramaya, suite aux 4 premières missions de suivi de l'impact du barrage Garafiri, réalisées entre 2000 et 2001, aucune perturbation n'a été enregistrée dans la distribution des colonies d'huîtres. C'est au cours de la mission réalisée en décembre 2001 consacrée à la cartographie du gisement huîtrier de l'estuaire du Konkouré qu'il a été enregistré quelques perturbations à certains endroit du Bouramaya. Les premières modifications dans la structure des colonies d'huîtres ont été notées au niveau de l'interconnexion entre le Bouramaya – et le bras de mer Diguidigui qui mène au Konkouré. Dans cette zone il avait été enregistré un taux de mortalité variant entre 25 et 40%. Aux alentours de l'interconnexion entre Bouramaya et le bras de mer Kognikéren le taux de mortalité oscillait entre 60 et 100%. Un phénomène identique à été enregistré au niveau de l'interconnexion Bouramaya – Konkouré la mortalité était surtout accentuée au niveau de la rive droite du Bouramaya.. La valeur maximale enregistrée était de 98%. Sur la rive gauche, aux environs de Rakanki on remarquait des colonies abondantes d'huîtres.

De la confluence du Bouramaya avec le Konkouré jusqu'à l'embouchure, on ne rencontre pas d'huîtres à raison des vagues qui déracinent les pieds d'Avicenia en front de mer.

Sur la rive gauche du Konkouré sud, au niveau de la confluence avec le Bouramaya, de rares colonies d'huîtres sont présentes. Juste en face, sur près de 1000 m, on observe une forêt homogène d'Avicenia de grande taille. Au-delà de cette zone comme indiqué sur la carte on ne rencontre pratiquement plus d'huîtres dans le bras principal du Konkouré.

Sur la rive droite, le long de l'île Bokhinènè, il a été observé de rares poches d'huîtres de faible densité.

Sur la rive gauche du Konkouré Nord, le long de l'île de Bokhinéné on ne rencontre pas (ou peu) d'huîtres. Des colonies d'huîtres de faible densité et de taille moyenne ne dépassant pas 4 cm dans les petits chenaux. L'absence relative d'huîtres dans cette zone serait due à une accumulation de vase qui crée une configuration impropre à leur développement.

Sur la rive droite du Konkouré Nord, de l'embouchure jusqu'au bras qui mène à Koba les dépots de sable sont importants. Cette zone est dépourvue de palétuviers et par conséquent non propice à la fixation des huîtres. On observe en face du port de Bokhinéné l'apparition de faibles colonies d'huîtres dont la taille moyenne oscille autour de 2 cm. Plus vers l'amont, on ne rencontre plus d'huîtres dans le bras principal du Konkouré.

Sur le Sankiné au-delà de la station hydrologique K18 et jusqu'à Kakounssou on ne rencontrait pas d'huître en fin d'année 2001.

Dans le bras de mer Mèla-mèla qui relie la Bouramaya à l'île Khonibombo, à l'exception de quelques zones d'accumulation de vase ne s'étendant pas sur des distances importantes, on observe des colonies abondantes d'huîtres sur les Rhizophora. Il n'est pas rare d'observer des huîtres atteignant 8,5 cm.

Sur le bras de mer de Sonfonia, les huîtres ne s'observent qu'après 2000 m de parcours. Il a été constaté une dégradation progressive des réserves d'huîtres de mai 1999 à juillet 2002. Selon les riverains, ce fait serait imputable à l'exploitation anarchique des populations d'huîtres de la zone et à l'intensification de la coupe des Rhizophora constituant le principal substrat des huîtres

Sur Mendabon (bras secondaire du Sankinè) qui communique à Diguidigui, la densité de fixation des huîtres est variée.

Dans le bras de mer Diguidigui reliant la Bouramaya au bras principal du Konkouré, hormis les zones non propices à la fixation des huîtres, le développement des colonies d'huîtres est normal jusqu'aux environs du campement Föfiyayiré. Au-delà duquel on enregistre une mortalité progressive des populations d'huîtres jusqu'à leur disparition totale aux environs du bras principal Konkouré.

Au niveau du bras mer Konyikéren, on observe des colonies abondantes d'huîtres On y rencontre des individus dépassant 8 cm par endroit. De l'avis des riverains, cette situation d'abondance d'huîtres se poursuivrait bien au-delà.

Dans le bras mer de Khanfori Fakha, on note une faible présence d'huîtres. La zone subit une forte pression de la part des exploitants traditionnels d'huîtres venant de Arabanti et de Yatagui. La faible présence des Rhizophora sur les rives et les nombreuses courbures influant sur le régime hydrologique de la zone, ainsi que l'exploitation intense des huîtres par les riverains sont les causes probables de la faible densité d'huîtres dans ce bras de mer.

V.3. CONCLUSION

Nous rappellerons que les observations réalisées dans le Konkouré par des chercheurs du CERESCOR en 1992 montraient que les huîtres vivantes étaient présentes dans l'ensemble de l'estuaire au mois de juillet ; période pourtant critique pour leur survie [CERESCOR, 1992]. La répartition des huîtres au cours de la période 1999-2002 est différente. La question était donc de savoir si la modification du débit du Konkouré résultant de la mise en œuvre du barrage de Garafiri est la cause principale de cette évolution.

Le suivi de la colonisation des racines dans les différentes stations fournit des indications sur la fixation des juvéniles et leur possibilité de se développer dans différentes parties de l'estuaire. Outre la variabilité d'une population au cours du temps, il existe également une forte variabilité à l'intérieur d'une même station, entre les différentes racines (non étudiée dans le cadre de l'étude). Si certaines différences d'effectifs observées au cours du temps dans une station ne sont pas toutes statistiquement significatives, le passage d'une colonie bien développée à une absence d'huîtres vivantes est, par contre, sans ambiguïté. La répétition des campagnes a permis de préciser la persistance dans les temps des observations réalisées. A ce titre, le suivi des stations a permis de reconnaître trois zones principales :

- la zone amont où les huîtres ont disparu dès mars 2000 (stations 1 et 2),
- la zone intermédiaire où elles sont rapidement devenues rares avant de disparaître en décembre 2001 (stations 3 et 4),
- et la zone aval de l'estuaire (stations 5 et 6) qui ne semble pas avoir été affectée par les changements.

Les cartes réalisées donnent une image de deux situations instantanées. Elles viennent en complément du suivi des stations et illustrent l'extension des modifications observées ponctuellement. Il résulte de la comparaison que les changements n'ont été enregistrés qu'au niveau de la Sankiné supérieure dont les populations d'huîtres connaissent une baisse considérable de taille et un taux élevé de mortalité par endroit. Sur le Bouramaya les zones affectées en fin d'année 2001 sont celles qui subissent l'influence directe du Konkouré à travers les bras secondaires. C'est le cas du bras de mer Diguidigui et des environs de Kognikèren où le petit bras de mer Kanka venant du Konkouré déverse ses eaux.

La présence d'huîtres sur les racines de palétuviers résulte d'un équilibre dynamique entre mortalité et fixation de juvéniles. Les conditions de milieu propres à la station jouent un rôle important dans les fluctuations d'une population d'huîtres. Parmi les conditions de milieu importantes pour les huîtres figurent la nature et la densité du substrat, la turbulence des eaux, les variations du niveau et de la salinité de l'eau, et la disponibilité en nourriture. Ces conditions de milieu peuvent varier pour des causes naturelles, climatiques ou des modifications du milieu dues à l'activité humaine.

La disparition en mars 2000 des huîtres de la zone amont de l'estuaire, au niveau des stations 1 et 2 serait une conséquence de la baisse de salinité dans cette zone au cours de la saison sèche ; baisse de salinté due au fonctionement l'aménagement hydroélectrique de Garafiri. Ainsi :

- En avril 1999 en vive eau, dans l'estuaire supérieur au niveau de la station hydrologique K12 à Wassou, le taux de salinité enregistré atteignait 20‰ en pleine mer au moment du flot. Au jusant cette valeur chutait jusqu'à 0‰. Au niveau de la station K14 correspondant à notre station d'étude 2, le taux salinité variait entre 22‰ et 28‰. A la station K19 proche des stations d'étude 3 et 4, les valeurs enregistrées oscillaient entre 27‰ et 30‰. A la station K16 située à l'embouchure du Konkouré, non loin de notre station 5, la salinité observée était proche de celle de l'eau de mer (31‰ et 34‰). En août 1999 en crue et vive eau, au niveau des stations hydrologiques K12, K14, K13, K19, K 18 la salinité était presque nulle. Les traces de sel n'ont été observées qu'à la station K16 [IRD- BCEOM-BRLi, novembre, 1999].
- En avril 2000 (étiage), après la mise en fonction du barrage la situation moyenne en vive eau était la suivante : K12 (0‰), K19 de 11‰ à 14‰, K13 (0‰) [IRD- BCEOM-BRLi, novembre, 2000].
- En septembre 2001 (crue) et en morte eau de K12 à K19 la salinité était nulle. A la station K16 la salinité variait entre 0‰ et 18‰ [IRD- BCEOM-BRLi, novembre, 2001].

La baisse de la salinité en étiage résulte du fonctionement du barrage de Garafiri, avec une augmentation du débit entrant dans l'estuaire et un déplacement du front salin vers l'aval. Si l'on analyse le peuplement en termes de présence/absence, il apparaît que l'augmentation du débit d'étiage du Konkouré et donc la diminition de la salinité joue un rôle dans la disparition des huîtres dans les parties amont et médiane de l'estuaire.

Le suivi à plus long terme de la localisation de la population d'huîtres devrait permettre de vérifier si celle-ci a effectivement migré vers l'aval en fonction des nouvelles conditions de milieu.

V.4. BIBLIOGRAPHIE

CAMARA Selly. – Perspectives de développement de l'ostréiculture en Guinée, son rôle dans la résolution du problème alimentaire en Afrique ; Yamoussoukro, Côte d'Ivoire Juillet 1989. PP 833-837. Dakar, Breda . 1991.

CERESCOR, - Rapport annuel 1992.

IRD- BCEOM-BRLi ., - Etude de l'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire et le bassin versant du Konkouré ; rapport technique novembre, 1999

IRD- BCEOM-BRLi ., - Etude de l'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire et le bassin versant du Konkouré ; rapport technique novembre, 2000.

IRD- BCEOM-BRLi ., - Etude de l'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire et le bassin versant du Konkouré ; rapport technique novembre, 2001.

IRD- BCEOM-BRLi ., - Etude de l'impact du barrage de Garafiri sur l'estuaire et le bassin versant du Konkouré ; rapport d'étape 3 ère Année May, 2002.

Marozova, A. L, Camara S. & autres, 1991 - L'ostréiculture en milieu de mangrove (étude de cas en Guinée et au Sénégal). Série doc. .N° 7, 146 p..

Quale D.B. 1975. - Tropical oyster culture a selected bibliography. IDRC. 052 e/ International Development Research Centre Ottawa. Canada.

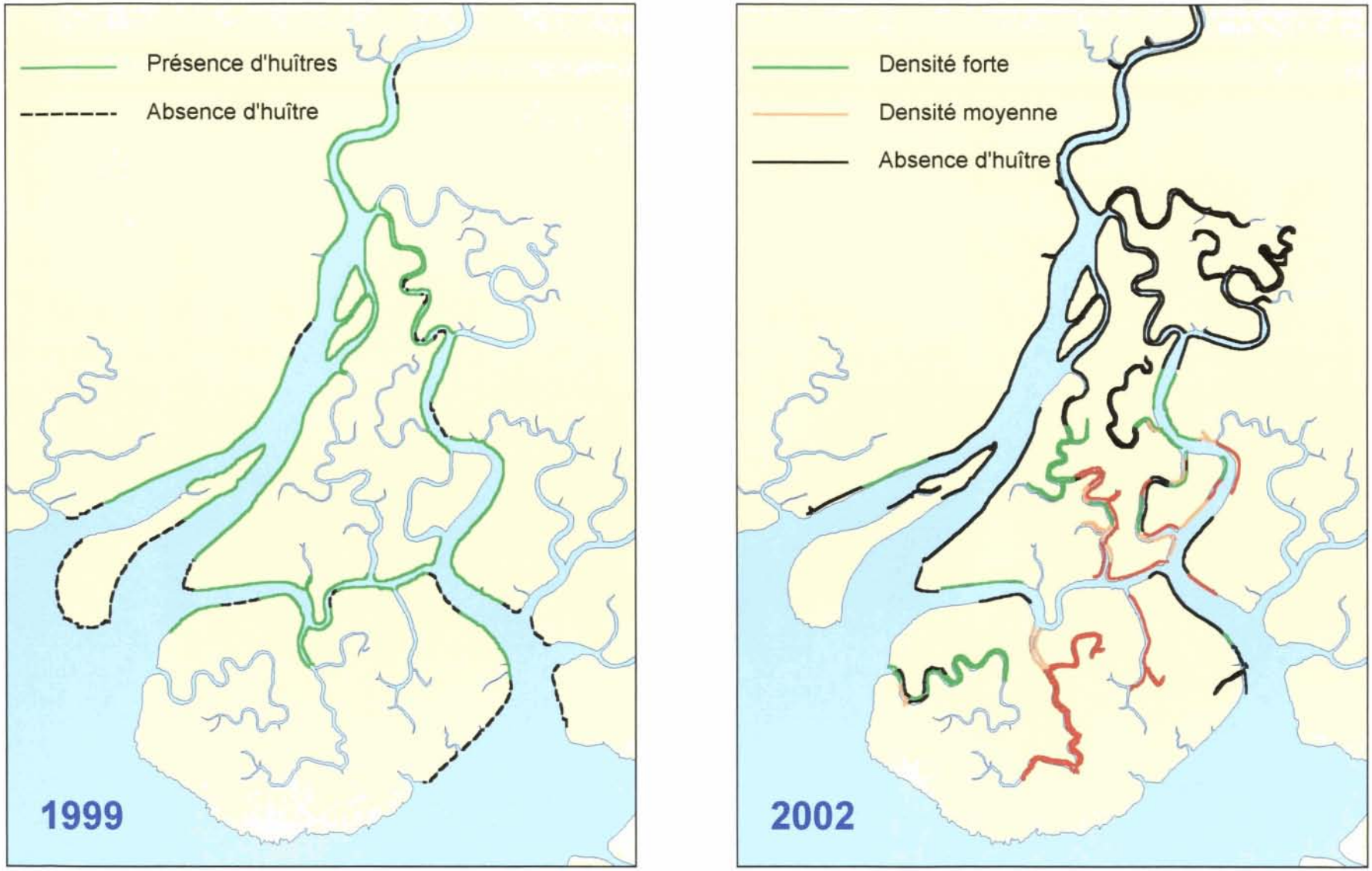


Figure 133 : Cartes de distribution des colonies d'huîtres en 1999 et 2002

INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES ANNEXES SUR CD-ROM

I. ZONE CONTINENTALE

Chemin d'accès : Continent

Code stations continentales — fichier Word

I.1. TRANSPORTS SOLIDES ET LIQUIDES

I.1.a. Historique, jaugeages et tarages des stations hydrologiques

Chemin d'accès : Continent\Transports liquides et solides\Historique, jaugeages et tarages des stations

Historique des stations hydrométriques — fichier Word

Jaugeages — fichier TXT

Le fichier des jaugeages comporte 8 colonnes :

- Code PIG
- Code IRD
- Date début du jaugeage (jj/mm/aaaa)
- Heure début du jaugeage (hh:mm)
- Date fin du jaugeage (jj/mm/aaaa)
- Heure fin du jaugeage (hh:mm)
- Hauteur d'eau (H.E. en m)
- Débit (Q en m3/s)

Etalonnages — fichier TXT

Chaque étalonnage est représenté par des tronçons de droite suffisamment courts et nombreux pour épouser au mieux possible la forme de la courbe qui correspond au barème. Les points extrêmes (HI et Q) de ces tronçons sont conservés dans le fichier des étalonnages qui comporte 8 colonnes :

- Code PIG,
- Code IRD,
- Date début de validité de l'étalonnage (jj/mm/aaaa),
- Heure de validité de l'étalonnage (hh:mm),
- Date fin de validité de l'étalonnage (jj/mm/aaaa),
- Heure fin de validité de l'étalonnage (hh:mm),
- Hauteur d'eau (H.E. en m),
- Débit (Q en m3/s).

I.1.b. Hauteurs d'eau instantanées

Chemin d'accès : Continent\Transports liquides et solides\Hauteurs d'eau instantanées (HI)

Le nom des fichiers de hauteurs d'eau instantanées commence par "HI" suivi du code PIG.

Les fichiers sont des fichiers texte comportant 6 colonnes :

- Code PIG (10 caractères),
- Code IRD (11 caractères),

- Date (jj/mm/aaaa),
- Heure (hh:mm),
- Hauteur d'eau (en m),
- Lacune (les lacunes sont indiquées par le code "LLLLLLLLL").

HI-K01	fichier TXT
HI-K02-B	fichier TXT
HI-K04-A	fichier TXT
HI-K04-E	fichier TXT
HI-K04-O	fichier TXT
HI-K05	fichier TXT
HI-K06	fichier TXT
HI-K07	fichier TXT
HI-K08	fichier TXT
HI-K09-A	fichier TXT
HI-K10	fichier TXT
HI-K11	fichier TXT

I.1.c. Débits instantanées

Chemin d'accès : Continent\Transports liquides et solides\Débits instantanés (QI)

Le nom des fichiers de débits instantanées commence par "QI" suivi du code PIG.

Les fichiers sont des fichiers texte comportant 6 colonnes :

- Code PIG (10 caractères),
- Code IRD (11 caractères),
- Date (jj/mm/aaaa),
- Heure (hh:mm),
- Hauteur d'eau (en m3/s),
- Lacune (les lacunes sont indiquées par le code "LLLLLLLLL" ; les cotes hors barèmes d'étalonnage lors de la traduction en débit sont indiquées par le code "HBHBHBHBHB")

QI-K01	fichier TXT
QI-K02-B	fichier TXT
QI-K04-A	fichier TXT
QI-K04-E	fichier TXT
QI-K05	fichier TXT
QI-K06	fichier TXT
QI-K07	fichier TXT
QI-K08	fichier TXT
QI-K09-A	fichier TXT
QI-K10	fichier TXT
QI-K11	fichier TXT

I.1.d. Débits journaliers

Chemin d'accès : Continent\Transports liquides et solides\Débits journaliers (QJ)

Le nom des fichiers de débits journaliers commence par "QJ" suivi du code PIG.

Les fichiers sont des fichiers texte comportant 6 colonnes :

- Code PIG (10 caractères),
- Code IRD (11 caractères),
- Date (jj/mm/aaaa),
- Heure (hh:mm),
- Hauteur d'eau (en m),
- Lacune (les lacunes sont indiquées par le code "LLLLLLLLLL").

QJ-K01	fichier TXT
QJ-K02-B	fichier TXT
QJ-K04-A	fichier TXT
QJ-K04-E	fichier TXT
QJ-K05	fichier TXT
QJ-K06	fichier TXT
QJ-K07	fichier TXT
QJ-K08	fichier TXT
QJ-K09-A	fichier TXT
QJ-K10	fichier TXT
QJ-K11	fichier TXT

I.1.e. Matières en suspension (MES)

Chemin d'accès : Continent\Transports liquides et solides\Matières en suspension

Concentrations MES	fichier Excel

I.2. QUALITE DES EAUX

Chemin d'accès : Continent \Physico-chimie

Observations et analyses physico-chimiques	fichier Excel
Observations et analyses physico-chimiques par station	fichier Word
Conductivités	fichier Excel

II. ZONE ESTUARIENNE

II.1. BATHYMETRIE

II.1.a. Générale

Chemin d'accès : Estuaire \ Bathymétrie\générale

- BathyKonkouré — fichier Excel

II.1.b. Konkouré juin 2000

- bth0600 — fichier Excel
- images des profils à l'échosondeur — fichier JPEG

II.1.c. profils de référence

- coordonnées_pr_ref — Fichier Excel

II.1.d. Zone littorale

- Antea (profondeur du plateau continental face à Conakry) — Fichier Excel

II.2. COURANTOMETRIE

II.2.a. Aanderaa

Chemin d'accès : Estuaire\Courantométrie\Aanderaa

- AA_salinités — Fichier Excel
- 2000_04
  - AA_0400_me — Fichier Excel
- 2000_09
  - AA_0900_me — Fichier Excel
- 2001_02
  - AA_0201 — Fichier Excel
- 2001_03
  - AA_0301_me — Fichier Excel
- 2001_04
  - AA_0401_mve — Fichier Excel

II.2.b. ADCP

Chemin d'accès : Estuaire\Courantométrie\ADCP\

- Amplitude-VO — Fichier Excel
- Confluence_Konkouré_Sankiné
  - CME30702 — Image JPEG
  - CVE100702 — Image JPEG
  - CVE80702 — Image JPEG
  - Répartition Flux — Image JPEG

VOconf0307	Fichier Excel
VOconf0807	Fichier Excel
VOconf1007	Fichier Excel
VOsank0407	Fichier Excel
VOsank0707	Fichier Excel
VOsank1102	Fichier Excel
Volumes Oscillants Embouchure	
VO CME sept01	Image JPEG
VO CVE oct01	Image JPEG
VO EME avr01	Image JPEG
VO EME janv02	Image JPEG
VO EME fév02	Image JPEG
VO EVE juin02	Image JPEG
VO EVE mars01	Image JPEG
Juin2000	
juin00	Fichier Excel
Mars2001	
aK15MEadcp	Fichier Excel
aK15VEadcp	Fichier Excel
aK16MEadcp	Fichier Excel
aK16VEadcp	Fichier Excel
aK20MEadcp	Fichier Excel
aK20Veadcp	Fichier Excel
Septembre2001	
VO_ME_0901	Fichier Excel
VO_VE_0901	Fichier Excel
Octobre2001	
VO_Oct01	Fichier Excel
Janvier2002	
VO_janv02	Fichier Excel
Février2002	
VO_fév02	Fichier Excel
Juin2002	
K150602	Fichier Excel
K160602	Fichier Excel
K200602	Fichier Excel

II.2.c. Breystock

Chemin d'accès : Estuaire\Courantométrie\Breystock

1997_04

- K12
  - ME150497 — Fichier Excel
  - VE070497 — Fichier Excel
- K13
  - ME170497 — Fichier Excel
- K14
  - ME160497 — Fichier Excel
  - VE090497 — Fichier Excel
- K19
  - VE100497 — Fichier Excel

1998_06

- K12
  - ME040698 — Fichier Excel
  - VE270698 — Fichier Excel
- K13
  - ME020698 — Fichier Excel
  - VE220698 — Fichier Excel
- K14
  - ME050698 — Fichier Excel
  - VE260698 — Fichier Excel
- K17
  - ME010698 — Fichier Excel
  - VE240698 — Fichier Excel
- K18
  - ME030698 — Fichier Excel
  - VE250698 — Fichier Excel
- K19
  - ME060698 — Fichier Excel
  - VE280698 — Fichier Excel

1998_09

- K12
  - VE100998 — Fichier Excel
- K13
  - ME270998 — Fichier Excel
  - VE080998 — Fichier Excel
- K14
  - VE090998 — Fichier Excel
- K17
  - VE060998 — Fichier Excel

K18
VE110998 Fichier Excel
K19
VE070998 Fichier Excel

1998_11

K12
VE101198 Fichier Excel
K13
VE071198 Fichier Excel
K14
VE061198 Fichier Excel
K15
VE151198 Fichier Excel
K16
VE141198 Fichier Excel
K17
VE121198 Fichier Excel
K18
VE131198 Fichier Excel
K19
VE081198 Fichier Excel

1999_04

K12
ME020499 Fichier Excel
K14
ME050499 Fichier Excel
K15
ME070499 Fichier Excel
K16
ME080499 Fichier Excel
K19
ME060499 Fichier Excel

1999_08

K12
VE280899 Fichier Excel
K13
VE270899 Fichier Excel
K14
VE290899 Fichier Excel
K15
VE300899 Fichier Excel

K16	
VE310899	Fichier Excel
K17	
VE250899	Fichier Excel
K18	
VE260899	Fichier Excel
K19	
VE010999	Fichier Excel
1999_11	
K12	
ME051199	Fichier Excel
K13	
ME031199	Fichier Excel
K14	
ME041199	Fichier Excel
K15	
ME011199	Fichier Excel
K16	
ME311099	Fichier Excel
K17	
ME071199	Fichier Excel
K18	
ME061199	Fichier Excel
K19	
ME021199	Fichier Excel
2000_02	
K12	
VEm040200	Fichier Excel
K13	
VEm030200	Fichier Excel
K14	
VEm020200	Fichier Excel
K15	
VEm060200	Fichier Excel
K17	
VEm100200	Fichier Excel
K18	
VEm090200	Fichier Excel
K19	
VEm070200	Fichier Excel

2000_04

K12	
ME010400	Fichier Excel
K13	
ME020400	Fichier Excel
K14	
ME030400	Fichier Excel
K15	
ME060400	Fichier Excel
K16	
ME050400	Fichier Excel
K17	
ME300300	Fichier Excel
K18	
ME310300	Fichier Excel
K19	
ME040400	Fichier Excel

2000_07

K12	
VE050700	Fichier Excel
K14	
VE030700	Fichier Excel
K15	
VE300600	Fichier Excel
K16	
VE010700	Fichier Excel
K17	
VE080700	Fichier Excel
K18	
VE060700	Fichier Excel
K19	
VE020700	Fichier Excel
K20	
VE070700	Fichier Excel

2000_09

K12	
VE280900	Fichier Excel
K14	
VE270900	Fichier Excel
K15	
VE240900	Fichier Excel

K16	
VE250900	Fichier Excel
K17	
VE021000	Fichier Excel
K18	
VE300900	Fichier Excel
K19	
VE260900	Fichier Excel
K20	
VE011000	Fichier Excel
2001_02	
K12	
VE120201	Fichier Excel
K14	
VE110201	Fichier Excel
VEm140201	Fichier Excel
K15	
VE080201	Fichier Excel
K16	
VE100201	Fichier Excel
K17	
VE170201	Fichier Excel
K18	
VE150201	Fichier Excel
K19	
VE090201	Fichier Excel
K20	
VE160201	Fichier Excel
2001_04	
K15	
ME010401	Fichier Excel
VE260301	Fichier Excel
K16	
ME020401	Fichier Excel
VE270301	Fichier Excel
VEm300301	Fichier Excel
K19	
VEm310301	Fichier Excel
K20	
ME030401	Fichier Excel
VE280301	Fichier Excel

II.3. GRANULOMETRIE

Chemin d'accès : Estuaire\Granulométrie

cart_granu_8	Image GIF
Data & graph	Fichier Excel
Guinéesédim	Fichier Excel
stat.modes	Fichier Excel
1998_09	
Gr0998a	Fichier Excel
1999_04	
Gr070499	Fichier Excel
1999_12	
Gr1299a	Fichier Excel
2000_04	
GR020400	Fichier Excel
K12c0400	Fichier Excel
K12G0400	Fichier Excel
K13C0400	Fichier Excel
K13G0400	Fichier Excel
K14D0400	Fichier Excel
K15C0400	Fichier Excel
K15G0400	Fichier Excel
K16C0400	Fichier Excel
K17D0400	Fichier Excel
K18C0400	Fichier Excel
K18G0400	Fichier Excel
K19C0400	Fichier Excel
K19G0400	Fichier Excel
2000_11	
cart_granu_1100	Image GIF
K15b_1100	Fichier Excel
K16b_1100	Fichier Excel
K16d_1100	Fichier Excel
K16f_1100	Fichier Excel
pOeb_1100	Fichier Excel
p12a_1100	Fichier Excel
p12b_1100	Fichier Excel
p12c_1100	Fichier Excel
p14a_1100	Fichier Excel
p14c_1100	Fichier Excel
p15b_1100	Fichier Excel

p23a_1100	Fichier Excel
p25b_1100	Fichier Excel
p3eb_1100	Fichier Excel
p3ec_1100	Fichier Excel
p3ed_1100	Fichier Excel
p4eb_1100	Fichier Excel
p4ec_1100	Fichier Excel
p4ed_1100	Fichier Excel
p6wa_1100	Fichier Excel
p7ec_1100	Fichier Excel

II.4. MAREGRAPHIE

Chemin d'accès : Estuaire \ Marégraphe

MaréeXtideGuinée (Fichier des données de marée issues du logiciel Wxtide 32)	Fichier Excel

4 fichiers d'enregistrements marégraphiques

HI-K12	Fichier Texte
HI-K14	Fichier Texte
HI-K15	Fichier Texte
HI-K18	Fichier Texte

II.5. MINERALOGIE (RX)

Chemin d'accès : Estuaire \ Minéralogie

cart_miné_c	Image GIF
cart_miné_d	Image GIF
cart_miné_e	Image GIF
cart_miné_x	Image GIF

II.5.a. MES Yékémato

Chemin d'accès : Estuaire \ Minéralogie\MES Yékémato

K11mp0701	Image GIF
K11mp0801	Image GIF
K11mp0901	Image GIF

II.5.b. Sédiments

Chemin d'accès : Estuaire \ Minéralogie\Sédiments

2000_04

K12fc_0400	Image JPEG
K12cp0400	Image JPEG
K12dp0400	Image JPEG
K12gp0400	Image JPEG
K13ca0400	Image JPEG

K13dp0400	Image JPEG
K13gp0400	Image JPEG
K14ca0400	Image JPEG
K14cp0400	Image JPEG
K15ca0400	Image JPEG
K15cp0400	Image JPEG
K15gp0400	Image JPEG
K16ca0400	Image JPEG
K16cp0400	Image JPEG
K16gp0400	Image JPEG
K18ca0400	Image JPEG
K18cp0400	Image JPEG
K18dp0400	Image JPEG
K18gp0400	Image JPEG
K19ca0400	Image JPEG
K19cp0400	Image JPEG
2000_07	
K12ca0700	Image JPEG
K12cp0700	Image JPEG
K13ca0700	Image JPEG
K14ca0700	Image JPEG
K15ca0700	Image JPEG
K16ca0700	Image JPEG
K17da0700	Image JPEG
K18ca0700	Image JPEG
K19ca0700	Image JPEG
K20ca0700	Image JPEG
2000_11	
K12ca1100	Image JPEG
K14ca1100	Image JPEG
K15ca1100	Image JPEG
K16dp1100	Image JPEG

II.6. SALINITE

Chemin d'accès : Estuaire \ Salinité

Mesures en continu	
K14_2001_07	Fichier Excel
K14_2002_07	Fichier Excel
K15_2002_09	Fichier Excel

- Profils longitudinaux
  - Diagramme profils de salinité — Fichier Word
  - 1999_10_VE — Fichier Excel
  - 2000_03_VE — Fichier Excel
  - 2000_08_VE — Fichier Excel
  - 2000_08_VE2 — Fichier Excel
  - 2000_12_VE — Fichier Excel
  - 2001_02_VE — Fichier Excel
  - 2002_05_VE — Fichier Excel
  - 2002_08_VE
- Stations fixes
  - Diagramme de salinité — Fichier Word
  - 2000_09 — Fichier Excel
- Zone littorale
  - 1998_09 — Fichier Excel
  - 1999_12 — Fichier Excel
  - 2000_06 — Fichier Excel
  - 2000_08 — Fichier Excel
  - 2000_10 — Fichier Excel
  - 2001_06 — Fichier Excel
  - 2001_10 — Fichier Excel
  - Diagramme de salinité — Fichier Word

II.7. TURBIDITE

Chemin d'accès : Estuaire \ Turbidité

- Classes — Fichier Excel
- Filtrations 10Aout02 — Fichier Excel
- tab_Secchi — FichierExcel
- tab_Secchi — Fichier Word
- tab_turbs — Fichier Excel
- Turbidata — Fichier Excel
- Profils longitudinaux
  - Diagramme profils — Fichier Word
  - dsks0302 — Image JPEG
  - tdkk280502 — Image JPEG
- Stations fixes
  - Diagrammes de turbidité — Fichier Word

II.8. SOCIO-ECONOMIE

Chemin d'accès : Estuaire\Socio-Economie

Extraction Sel	Fichier Word
Production Riz	Fichier Word
Occupation Sols	Fichier Word

III. VIE AQUATIQUE

III.1.a. Huîtres

Chemin d'accès : Vie aquatique (continent et estuaire)\Huitres

h_030600	Fichier Excel
h_070599	Fichier Excel
h_120301	Fichier Excel
h_140302	Fichier Excel
h_140501	Fichier Excel
h_180900	Fichier Excel
h_210702	Fichier Excel
h_231201	Fichier Excel
huîtres	Fichier Excel

III.1.b. Poissons

Chemin d'accès : Vie aquatique (continent et estuaire)\Poissons

1999_08	Fichier Excel
1999_11	Fichier Excel
2000_04	Fichier Excel
2000_07	Fichier Excel
2000_10	Fichier Excel
POISSONS ESTUARIENS	Fichier Word