

# UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE



DOCTORAT DE TROISIEME CYCLE DE GEOGRAPHIE

Option : Géographie Physique

Mention: HYDROLOGIE

## LES BAS - FONDS DANS LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU FLEUVE GAMBIE:

(CARTOGRAPHIE, REGIME HYDROLOGIQUE, VALORISATION AGRICOLE ET TYPOLOGIE)

Présenté par

Lamine KONATE

devant un Jury composé de:

Mamadou M. SALL	Professeur UCAD Dakar	Président
Jean ALBERGEL	Directeur de Recherches ORSTOM Tunis	Rapporteur
Amadou A. SOW	Maître Assistant UCAD Dakar	Examineur
Michel ESTEVES	Chargé de Recherches ORSTOM Dakar	Examineur
Jean P. LAMAGAT	Directeur de Recherches ORSTOM Montpellier	Examineur

Avec la collaboration de l'



Institut français de recherche scientifique  
pour le développement en coopération

## REMERCIEMENTS

Il nous est agréable aujourd'hui d'exprimer nos vifs remerciements à tous ceux qui nous ont fait bénéficier de leur expérience scientifique, apporté soutiens et encouragements indispensables à l'achèvement de ce travail :

Monsieur Mamadou Moustapha Sall, Doyen de la Faculté des lettres et Sciences Humaines de l'UCAD, qui a bien voulu accepter la direction scientifique de ce travail malgré ses multiples charges. Nous sommes profondément sensibles à l'intérêt qu'il a toujours attaché à nos travaux. Ses conseils, remarques et suggestions ont beaucoup contribué à améliorer le contenu de ce travail. Aussi tenons – nous à lui exprimer toute notre reconnaissance et à quel point sa confiance a été déterminante dans la conduite de ce cette thèse.

Monsieur Honoré Dacosta Maître – assistant au Département de Géographie dont la contribution dans l'élaboration de ce travail est énorme. Il a suivi avec beaucoup d'intérêt et de patience toutes les étapes de ce travail. A ce titre nous tenons à lui exprimer ici toute notre reconnaissance et nos sincères remerciements pour l'énorme sacrifice qu'il a effectué pour nous lors de la dernière ligne droite et dont nous nous souviendrons longtemps.

Monsieur Amadou Abdoul Sow Maître – assistant au Département de Géographie et Chef du Département de Géographie a guidé nos premiers pas dans la recherche. Il est toujours resté le même professeur pour nous, sensible à tous nos problèmes. Il n'y a jamais eu de barrière étudiant enseignant entre nous. Ce contact facile nous a fait bénéficier auprès de lui des observations, critiques et suggestions pertinentes qui nous a toujours servi dans la recherche. Très sincèrement il y a là une dette de reconnaissance difficile à acquitter.

Monsieur Jean Albergel Directeur de recherche ancien responsable du Laboratoire d'hydrologie de l'Orstom de Dakar – Hann. Il nous a accueilli dans son Laboratoire pour la préparation du stage de D.E.A. à la suite de ce travail ; c'est lui qui nous a proposé et encouragé à prendre ce sujet de troisième cycle. Nous tenons ici à lui exprimer toute notre gratitude, en particulier pour l'énorme effort qu'il a fourni pour lire et corriger très sérieusement ce document malgré ses multiples charges.

Monsieur Michel Estèves Chargé de recherche actuel responsable du Laboratoire d'hydrologie de l'Orstom de Dakar – Hann. Depuis sa prise de fonction, son intérêt pour ce travail a été remarquable, il a suivi de près toutes les étapes. Sa rigueur scientifique nous a permis de corriger et d'éviter beaucoup d'erreurs. Nous lui devons beaucoup non seulement pour la qualité de ce travail mais aussi pour l'expérience acquise dans la recherche.

Monsieur Olivier Planchon Chargé de recherche qui nous a évité de passer de pénibles journées et nuits à raccorder bout à bout de multiples fichiers numérisés pour le calcul des modèles numériques de terrain. Ses programmes qui ont permis de raccorder très rapidement les fichiers numérisés ont eu un impact sur la qualité des cartes produites et sur le délai d'achèvement des travaux. A cet égard, nous tenons à lui témoigner ici toute notre reconnaissance.

Monsieur Jean Marc Lapetite Technicien de recherche dont la disponibilité, son dynamisme et sa gentillesse nous marqueront toujours.

Monsieur Philippe Vauchel Ingénieur de recherche, il a guidé tous nos travaux de terrain. Nous saisissons ici l'occasion de lui exprimer toute notre reconnaissance pour les multiples explications qu'il n'a cessé de nous donner lors des missions de terrain. D'autre part, nous avons appris à nous servir de beaucoup d'outils et de logiciels dans son Laboratoire. Nous tenons à lui exprimer ici toute notre reconnaissance pour la confiance,

l'intérêt et l'aide qu'il nous a toujours accordé dans le cadre de ce travail. A travers lui, nous remercions, tous les Techniciens du Programme « HYDROSEN » Thierry Henri Destureaux et Jean Marc Delfieu avec lesquels nous avons passé d'excellents et sympathiques moments au bureau.

Nos remerciements vont à Mr le Représentant de l'Orstom et à l'ensemble de son personnel pour l'aide multiforme et la disponibilité qu'ils nous ont accordé durant tout notre séjour au sein de l'institution.

Nos sincères remerciements à tout le personnel de la Météorologie Nationale, de la Division des Etudes Hydrologiques ainsi que de l'OMVG.

Nous remercions tout le personnel de la brigade hydrologique de Tambacounda, notamment Mr Kanouté, Djiby Sokhna, Abdourahmane Gaye et Fodéba. A l'issue de ce travail, nous remercions tous ces lecteurs qui fournissent beaucoup d'effort dans la collecte de données sans lesquelles ce genre de travail reste impossible à réaliser.

A tous nos collègues stagiaires, nous disons merci et surtout je souhaite une bonne réussite professionnelle à ceux qui ont fini leur travail comme Adrien Coly, Mohamadane Bassel et beaucoup de courage pour la dernière ligne droite à ceux qui sont en voie de finir notamment Awa Niang, Mame Dagou Diop. Enfin mon esprit va à Alima Laaroubi, Adama Gadiaga et Ismaïla Badji qui frappent actuellement aux portes du monde de la recherche. A ces futurs chercheurs nous souhaitons beaucoup de persévérance et surtout beaucoup de patience et d'esprit d'ouverture.

Ce travail a permis de tisser des relations amicales très solides. Nous n'oublierons jamais, les multiples sacrifices effectués par Gaston Liéno, Abotsi Kokou et Xavier Faucher dans le cadre de cette thèse. C'est en partie grâce au soutien moral et matériel de ce groupe que ce travail a pu voir le jour. Cette thèse restera pour nous un symbole de l'unité et de l'amitié. A ce titre Abotsi Kokou Mensah reste un élément déterminant.

Nous ne serions oublier nos amis Jules Diallo, Kèba Bayo, Vieux Ndiaye, Sy Diop, Mame Aly Konté, Pape Ibrahima Diouf, Alioune Badara Ndiaye, Moussa Kaba.

Il va de soi que c'est grâce aux énormes sacrifices consentis par notre famille toute entière que ce travail a pu être entrepris et achevé. Nous disons merci à nos aînés Alphousseyni, Boubacar et Aboubacar Konaté, à mes cadets Ismaïla, Aliou, Moussa, Lamine, Fatou Kinè, Adama, Diarra, Ndèye Cissé, Ibrahima cissé Konaté.

Nos Neveux Mohamed, Aïcha et Abdou Konaté, doivent trouver ici la réponse à la clef de la réussite dans la vie à savoir le courage et la persévérance dans le travail.

Nous profitons de cette occasion pour renouveler notre amitié à l'ensemble de la famille Fofana notamment Aïssatou dite Mamy, Bébé, Foudia, Assane et Ousseynou. Nous n'oublierons jamais les marques d'amour de sympathie et d'admiration que cette famille qui reste désormais pour nous une seconde famille a toujours témoigné à notre égard.

A nos frères et sœurs du Crédit Foncier nous disons restons unis. A ce propos le soutien moral et matériel de nos chers amis et frères de toujours Sécou Cissé et Jacquinot a permis de débiter ce travail à un moment extrêmement difficile

Plusieurs personnes ont été déterminantes dans la finition de ce travail. Notre pensée va dans ce sens à Ahmeth Ndiaye, étudiant en Anglais qui a corrigé avec beaucoup de sérieux, les fautes de grammaire et d'orthographe du texte; Sabéty Fall stagiaire cartographe à l'ORSTOM qui a activement et consciencieusement participé à la numérisation et au

traitement des données cartographiques de ce document. Qu'ils trouvent à travers ce travail, l'expression de notre profonde gratitude et de notre sincère amitié.

C'est grâce à l'aide apportée par l'ensemble de la famille Diané de Tambacounda que nous avons pu effectuer sans difficulté toutes les missions de reconnaissance de terrain. Nous garderons toujours à l'esprit la gentillesse et le dévouement à notre égard de Maman, Saran, Atou, Junior et de leurs parents

## INTRODUCTION

## 1. CONTEXTE, INTERET ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

### 1.1. Contexte et Intérêt

Les années sèches qu'a connues l'ensemble de la région depuis le début des années 70 (LAMB, 82 ; HUBERT ET CARBONNEL, 1989) ont causé de profondes modifications dans les stratégies paysannes telles que :

- l'introduction de plantes à cycle court pour qu'elles puissent bénéficier de la quantité d'eau nécessaire à leur cycle végétatif ;
- la recherche de zones plus adaptées aux cultures liées à leurs conditions hydriques favorables.

C'est ainsi que les chercheurs et les décideurs ont créé des structures qui doivent servir de cadre de rencontres, de discussions et d'échanges entre les différents partenaires impliqués dans le problème de développement agricole en Afrique de l'Ouest. C'est le cas du réseau de recherche sur la résistance à la sécheresse au Sahel (R3S) dont la nécessité de mise en place est apparue lors d'un colloque à Dakar en 1984. Siégeant à l'INSAH/CILSS à Bamako, l'objectif général de ce réseau est de minimiser le déficit d'alimentation hydrique des productions agricoles. Il sert aussi de cadre d'échange des résultats des travaux qui sont menés par les chercheurs à trois niveaux différents (parcelle - système de production - bassin versant).

Le R3S a réalisé un programme de recherche financé par la Communauté Economique Européenne (C.E.E.) DG XII et coordonné par le C.I.E.H. (ALBERGEL et *al.*, 1993). Le rapport final Mise en Valeur Agricole des bas-fonds au Sahel : Typologie et Fonctionnement Hydrologique, a abouti à la mise au point d'un outil de diagnostic et d'aide à la décision en matière d'aménagement et de mise en valeur agricole des bas-fonds en Afrique de l'Ouest. Ce document à caractère régional est complété par des actions ponctuelles en cours au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal. Celles-ci portent sur plusieurs facettes du paysage dont les principales sont :

- caractérisation morphopédologique des bas-fonds ;
- inventaires des ressources naturelles ;
- étude du fonctionnement hydrologique ;
- étude des conditions techniques et socio-économiques de changement ;
- recherche variétale et mise au point des systèmes de culture ;
- critères d'utilisation des techniques de télédétection pour l'étude de la typologie des bas-fonds.

C'est dans le cadre de ces actions ponctuelles que s'intègre notre thèse, intitulée les bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie: cartographie, régime hydrologique, valorisation agricole et typologie.

Le développement et l'intensification des ressources agricoles des bas-fonds représentent une priorité pour l'économie rurale du bassin de la Gambie. Ils constituent des terroirs à une production de sécurité (culture en jardin ou stock de pâturage par la présence des ligneux). Tant par la qualité chimique des sols que par la disponibilité de l'eau, la mise en valeur agricole des bas-fonds devient une alternative intéressante pour les paysans.

La pression démographique enregistrée sur les versants va se traduire par une surexploitation et un épuisement des terres hautes où les sols minces étaient traditionnellement cultivés en mil et sorgho. Il en résulte un déplacement des activités agricoles vers les bas-fonds où les sols (produits des éléments érodés des plateaux) sont relativement riches et peu exploités.

L'intérêt des bas-fonds dans le bassin de la Gambie réside surtout dans la riziculture pratiquée à plus de 90 %. Un chiffre qui illustre bien l'importance des bas-fonds dans l'objectif d'autosuffisance alimentaire des populations qui repose essentiellement sur le riz.

En plus des aléas physiques (climat, hydrologie, dégradation des sols) et de la pression démographique, le coût relativement bas de l'exploitation des bas-fonds explique l'intérêt qu'ils suscitent auprès des populations. « Le développement de la riziculture et des cultures de rente, pratiquées par la population rurale demande relativement peu de financement extérieur et n'est possible que grâce à la promotion des bas-fonds dispersés un peu partout en Afrique de l'Ouest » (BISSA, 1986).

La nécessité de valoriser les bas-fonds n'exclut pas leur protection pour éviter l'épuisement des terres lié à la multiplication des activités agricoles et pastorales. Cette concentration d'activités expose le bas-fond à divers problèmes dont :

- la perte de leur potentialité liée à une surexploitation agricole continue ;
- la dégradation des versants et des plateaux environnants due à la coupe du bois et de l'élevage qui sont plus intensifs que leur capacité de charge.

La perte de la capacité d'infiltration des bassins versants conduit à des crues qui deviennent plus violentes et plus efficaces dans le transport des sédiments grossiers (sables). Ces crues sont d'autant plus dévastatrices qu'elles peuvent en saison des pluies provoquer des inondations de quelques jours, capables d'emporter ou de noyer les cultures.

La maîtrise des crues est l'enjeu technique de la mise en valeur des bas-fonds. Cette mise en valeur qui est souvent vue, uniquement du point de vue de la riziculture, tend à se diversifier. C'est le cas dans le bassin de la Gambie où à côté des aménagements rizicoles se développent des projets maraîchers et fruitiers.

## 1.2. Objectifs de l'étude

La croissance démographique, la sécheresse et le manque d'infrastructure hydraulique sont les principales raisons qui amènent les paysans et les organismes de développement à s'intéresser à l'agriculture de bas-fond dans le bassin de la Gambie. Pour se faire dans de bonnes conditions, l'agriculture doit être sécurisée et développée en tenant compte des problèmes environnementaux que suscitent toujours la mutation rapide d'un type d'activité.

Nous sommes à la recherche d'une méthode de gestion des potentialités naturelles offertes par les bas-fonds. A cette fin nous nous intéresserons aux aspects suivants :

- ◆ la place des bas-fonds dans le paysage et l'économie rurale du bassin de la Gambie ;

- ◆ le fonctionnement physique des bas-fonds : Etude morphopédologique, bilan hydrologique ;
- ◆ les types de cultures effectuées dans ces bas-fonds et les techniques culturales utilisées ;
- ◆ les types d'aménagement réalisés ou à réaliser ;
- ◆ le comportement des populations par rapport aux bas-fonds (estimation par des enquêtes).

Les conclusions auxquelles aboutiront cette démarche seront de trois ordres

- améliorer la connaissance du fonctionnement des bas-fonds dans le bassin de la Gambie ;
- mettre en évidence des critères pertinents pour une classification des bas-fonds du bassin de la Gambie ;
- montrer la pertinence d'un certain nombre d'aménagements.

Enfin de compte, les recherches axées sur les bas-fonds du bassin de la Gambie doivent aboutir à l'élaboration et à la promotion de stratégies de mise en valeur qui tiennent compte des contraintes éco-climatiques, sociologiques et économiques. Elles seront basées sur un certain nombre de résultats et d'expériences existantes.

A l'échelle régionale, l'étude du CIEH intitulée « Mise en valeur des bas-fonds au Sahel », nous servira de référence ;

A l'échelle locale l'« Etude et Implantation des Périmètres Irrigués dans le bassin de la Gambie » de la SO.DE.FI.TEX et le « Projet Bananier au Sénégal Oriental » de l'OFADDEC serviront de canevas à notre analyse. Ces deux organismes en collaboration avec les populations riveraines de la Gambie ont effectué des aménagements dans des zones inondables du bassin de la Gambie. Les travaux de l'ORSTOM, de l'OMVG, de l'Université etc. seront utilisés comme référence aux études de caractérisation des milieux.

Les expériences ponctuelles d'aménagement effectuées dans certains bas-fonds par la SO.DE.FI.TEX et l'OFADDEC ont été faites sans études ou analyses permettant une extrapolation à l'ensemble du bassin de la Gambie. En plus les différentes études réalisées, bien que très intéressantes sont pour l'instant isolées. Et pourtant, elles mériteraient d'être coordonnées, ce qui devait conduire à l'inventaire des aptitudes agronomiques et hydrologiques des bas-fonds, en vue d'établir une typologie appropriée à leur mise en valeur.

La finalité de la recherche sur le bassin est de procéder à :

- la synthèse des connaissances acquises et l'élaboration d'une typologie générale des bas-fonds de la Gambie. Cette typologie est basée sur des critères physiques (géomorphologie, hydrogéologie, hydrologie, pédologie, végétation) et humains (système agraire, démographie) ;
- la mise à la disposition du développement d'un outil de diagnostic et d'aide à la décision en matière d'aménagement de mise en valeur agricole des bas-fonds.

## 2. ETAT DE LA QUESTION

La région soudano-sahélienne en général et le bassin de la Gambie en particulier connaissent depuis la fin des années 1950 un accroissement des superficies cultivées, lié à plusieurs raisons. Entre autres, on peut citer :

- l'accroissement démographique qui a nécessité la recherche de nouvelles terres souvent aux dépens des jachères et de terroirs délaissés auparavant pour des raisons de salubrité (onchocercose, maladie du sommeil, *etc...*) ou bien de la nature des sols, trop lourds à travailler ou trop souvent inondés ;
- la recherche dans la toposéquence de zones du paysage, plus favorables, d'un point de vue alimentation hydrique des plantes (culture ou fourrage naturel) ;
- la disparition des endémies, la généralisation de la culture attelée auxquelles s'ajoute la péjoration climatique qui rend les cultures et les pâturages sur les versants trop aléatoires ont privilégié l'utilisation des bas-fonds (zones temporairement inondées).

Les problèmes liés à l'aménagement d'un bas-fond sont de deux types : ceux qui existaient avant et ceux qui se présentent pendant ou après l'intervention des projets d'aménagement. La diversité des activités humaines et leur intensité expliquent les problèmes de gestion des terres (modes d'appropriation des terres, problèmes de cohabitation agriculteurs et éleveurs).

Du point de vue techniques, les modes de mises en valeur varient en fonction des ethnies et du contexte socio-économique. Il en est de même pour les rendements et les formes de commercialisation en vigueur. L'exploitation des bas-fonds est donc liée à des contraintes physiques (maîtrise des eaux de ruissellement, écologie, crue) et socio-économiques.

### 2.1. Problématique de l'étude des bas-fonds

Elle s'articule autour de plusieurs points dont les principaux sont : l'absence d'une bonne maîtrise des eaux de ruissellement ; les problèmes écologiques ; les problèmes socio-économiques et la définition des bas-fonds.

#### 2.1.1. Absence d'une bonne maîtrise des eaux de ruissellement

La plus grande contrainte à la mise en valeur des bas-fonds, réside dans la non - maîtrise de l'eau (ALBERGEL et *al.*, 1993 ; RAUNET, 1984).

Les bas-fonds «dits traditionnels» sont plus nombreux dans le bassin de la Gambie. Parfois des problèmes liés à un changement du caractère des crues à cause du défrichement, du déboisement et du surpâturage provoquent une diminution de l'infiltration de l'eau dans le sol. « Les crues par conséquent parcourent très vite les bas-fonds, faisant des dégâts et, très vite après leur passage, le bas-fond tombe à sec » (ALBERGEL, 1987).

La difficulté de bien maîtriser l'eau dans les bas-fonds est liée aux aléas climatiques mais aussi à la qualité des aménagements hydro-agricoles. La mauvaise conception ou l'entretien insuffisant des aménagements est la cause principale de bas rendements sur certaines parcelles.

### 2.1.2. Problèmes écologiques

Ils émanent des effets conjugués de la sécheresse prolongée et de la croissance démographique dans la zone soudano-sahélienne. L'appauvrissement des terres des versants longtemps exploitées par les éleveurs et les paysans a poussé ces derniers à descendre dans les bas-fonds où il existait auparavant un certain équilibre dans l'utilisation des terres.

L'objectif premier de l'aménagement des bas-fonds est d'assurer la possibilité de cultures de rente permanentes. Ce qui peut avoir comme conséquences, d'une part le risque d'une négligence des cultures pluviales par les paysans et d'autre part l'interdiction du bas-fond aux pasteurs. Ces derniers vont tout de même s'installer aux alentours ce qui accroît les risques de dégradation des sols et de la végétation.

A cela s'ajoute l'inondation des terres le long des cours d'eau, suite à la construction d'une retenue d'eau. Cette situation peut obliger les habitants à déménager vers les versants car les terres inondées ne seront plus cultivables.

Dans tous les cas VAN KETEL *et al.*, (1987) ont fait un inventaire des effets écologiques des différents projets hydro-agricoles en Afrique de l'Ouest. Ils ont retenu deux types : les effets directs qui sont liés aux aménagements proprement dits comme le changement du régime hydrique et de la qualité des eaux et les effets indirects relatifs à la migration de la population vers la zone d'intervention des projets. Ce déplacement est du reste le fait de l'inondation ou de l'assèchement des cours d'eau.

### 2.1.3. Problèmes socio-économiques

Ce travail spécifique au bassin se fait sur la base d'une enquête de terrain qui s'articule autour des points suivants :

- Régime foncier (statut des propriétaires fonciers, modes d'acquisition : héritage, achat,...)
- Système de production caractérisé par :
  - les moyens techniques utilisés (outils agricoles, intrants, etc...)
  - les facteurs de production (terre, main-d'œuvre et capital financier) ;
  - le niveau de production atteint (rendements, revenus financiers).
- Gestion de l'aménagement : formes d'organisation des populations pour gérer et entretenir les ouvrages de retenues d'eau
- Commercialisation : degré d'intégration à l'économie de marché.

La mise en œuvre d'aménagements sommaires pour la maîtrise de l'eau va de pair avec la recherche de variétés et d'espèces suffisamment performantes pour être encore économiquement intéressantes. Le choix d'un aménagement doit tenir compte de la rentabilité liée aux techniques culturales.

La densité de la population détermine la place occupée par les bas-fonds dans le système de production du bassin de la Gambie. A cet égard, les enquêtes ont porté sur :

la relation entre l'évolution de la densité de population et l'importance de la place des bas-fonds dans le système de production ;

le degré d'intégration des sociétés paysannes du bassin de la Gambie à l'économie de marché et leur conséquence sur le système de production, les cultures pratiquées dans les bas-fonds, les possibilités d'aménagement et d'intensification des cultures.

#### 2 1.4. Définitions de l'objet d'étude

L'une des difficultés dans l'utilisation du concept bas-fond est lié au fait qu'il a acquis des significations différentes suivant les disciplines qui s'intéressent à son étude (géomorphologie, climatologie, hydrologie, etc...).

En privilégiant les paramètres physiographiques, RAUNET (1985) les définit comme des axes de convergence préférentielle des eaux de surface, des écoulements hypodermiques et des nappes phréatiques. Dans le même ordre d'idée, il a défini le concept central du terme bas-fond en région tropicale comme étant « un vallon, une petite vallée à fond plat où une gouttière peu encaissée, de 20 à 500 m de large, sans cours d'eau important ou pérenne . Le bas-fond draine, pendant une partie de l'année les eaux de ruissellement et les eaux de la nappe phréatique d'un bassin versant peu étendu. Les matériaux et sols hydromorphes du bas-fond sont engorgés une partie de l'année par la nappe phréatique peu profonde ou affleurante. Les bas-fonds constituent les parties amonts "head waters" des réseaux de drainage imprimés dans les épaisses altérations kaoliniques aquifères des surfaces d'aplanissement sur socle cristallin (gneiss, schistes, granites, migmatites, etc.) et couvertures subhorizontales grésosableuses, parfois basaltiques et calcaires ».

Les facteurs climatiques vont servir de support à LEGOUPIL, LIDON, SIMPARA, (1987), dans leur recherche des caractéristiques propres à un bas-fond de la zone soudano-guinéenne :

- ils sont peu encaissés ;
- ils ont un régime hydrologique tamponné ;
- ils sont caractérisés par la présence d'une nappe d'altération permanente logée dans un horizon d'altération importante.

BERENT *et al.* (1988) caractérisent le bas-fond par sa situation topographique sur les bassins et par son régime hydrologique. « Les petites vallées sont les parties les plus amont des bassins versants, là où le cours d'eau a son origine. » Toujours en rapport avec l'hydrologie, KILLIAN et TEISSIER (1973) donnent la définition suivante des bas-fonds qui se rapproche à celle de RAUNET : « [...] les fonds des petites vallées, pas très encaissés allongés, inondés régulièrement en saison des pluies par des marigots à écoulement difficile et temporaire.... ». Il précise plus loin, « ces marigots sont souvent matérialisés par une suite de mares qui tarissent lentement au cours de la saison sèche et qui ont été formées par un écoulement plus concentré aux endroits étroits ».

Les données morphométriques sont également des indicateurs permettant de caractériser et de localiser les bas-fonds sur de petits bassins versants. Elles ont été utilisées par OOSTERBAAN, GUNNEWEG, HUIZING (1987) pour caractériser les petites vallées comme suit :

- pente longitudinale > 0.5 % ;
- longueur du cours d'eau < 10 - 25 Km ;
- source d'eau primaire : ruissellement ;
- transport du sol : négatif (érosion) ;
- fertilité : élevée.

BRINKMAN et BLOKHUIS (1986) partent du critère hydrogéologique pour assimiler, les bas-fonds aux Wetlands. Ils écrivent que « les 'Wetlands' sont des terres qui ont une nappe d'eau libre pendant au moins deux mois pendant une saison agricole ».

La définition de BERTON (1988) basée sur celle de RAUNET (1984) sera adoptée dans le cadre de cette étude. Elle a l'avantage de caractériser les bas-fonds dans le contexte général du paysage et par rapport aux unités morphologiques. « Les bas-fonds sont donc les fonds plats des vallons et de petites vallées. Ils constituent les grands axes de drainage des eaux. Les eaux de ruissellement s'y écoulent, les nappes phréatiques s'y concentrent. Les bas-fonds subissent l'influence directe des versants et des sommets essentiellement par le biais des transports solides et liquides ».

En tenant compte de l'interaction entre les différentes composantes du milieu, la définition la plus large et la plus complète ne peut être envisagée que dans le cadre d'une équipe pluridisciplinaire. A ce propos deux équipes pluridisciplinaires ont travaillé sur le thème des bas-fonds avec des méthodes différentes.

La première équipe est coordonnée par un réseau de recherche anglophone (STIBOKA/ILRI/KIT ) HEKSTRA et *al.*(1983). Elle s'est intéressée d'abord à l'ensemble des zones inondables sans restriction appelées « Wetlands » par les auteurs. Ce sont des terres qui regorgent de sols hydromorphes avec des caractéristiques associées à l'humidité qui manifeste une réduction conséquente pendant une certaine période de l'année.

Les « wetlands » comprennent donc les deltas, les plaines d'inondation, les terres sous influence de la mer, les dépressions et les petites vallées. Certaines parties des wetlands s'apparentent dans leur définition et leurs caractéristiques aux bas-fonds de RAUNET; d'autres aux dépressions et aux petites vallées de HEKSTRA et ANDRIESSE (1983) qui expliquent leur évolution par ces termes : « Ces vallées (en français «marigots») ont été formées dans les parties amont des bassins versants sur une longueur d'environ 25 kilomètres. Leur largeur varie de 10 mètres (à l'amont) jusqu'à 250 mètres (vers l'aval). La pente longitudinale est de 2 à 5 %, la superficie du bassin versant est au moins 2 km<sup>2</sup>. » Le régime hydrologique de ces vallées dépend de la pluviométrie, du ruissellement sur le bassin versant et de l'écoulement des nappes. Cette définition sera reprise plus tard par ANDRIESSE (1986) à l'échelle des petites vallées sur des bassins versants dont la superficie est comprise entre 100 et 2000 hectares.

La seconde équipe, coordonnée par le C.I.E.H. définit les bas-fonds comme suit : « Des fonds plats ou concaves des vallons et des axes d'écoulement déprimés, ne possédant pas de cours d'eau important bien marqués, submergés pendant une période de l'année par une nappe d'eau qui s'écoule. Les sols sont d'origine colluviale. Le bassin versant a une superficie variant de 1 à 200 km<sup>2</sup>. Les parcelles appartiennent au même village ou à quelques villages voisins. Les aménagements de régulation d'eau relèvent d'investissements financiers faibles ou moyens. Ils peuvent être réalisés avec une forte participation paysanne. Leur gestion est compatible avec l'organisation sociale existante » (ALBERGEL *et al.*, 1991).

Cette définition résulte d'un croisement des données physiques (climat, géologie, sol, hydrologie) et sociales (démographie, micro et macro-économie, foncier). Elle intègre tous les paramètres qui entrent dans le fonctionnement d'un bas-fond et permet de le caractériser comme une zone inondable éventuellement aménagée, suivant le contexte local. L'aménagement peut être un ouvrage de protection contre les crues pour les cultures de riz en hivernage, comme il peut être un ouvrage de retenue d'eau qui sert au développement de cultures irriguées de contre saison.

Le bas-fond présente une certaine hiérarchisation qui est liée à celle du réseau hydrographique. Dans le bassin continental de la Gambie, on distingue généralement:

Les drains élémentaires (drain d'ordre 1), selon la méthode HORTON modifié par STRAHLER in TRICART (1977) correspondent aux vallons qui constituent la partie amont, la "tête" du bas-fond. Elle est large de 50 m sans cours d'eau individualisé mais présentant une pente suffisante pour évacuer les eaux. Les sols présentent des caractères hydromorphes;

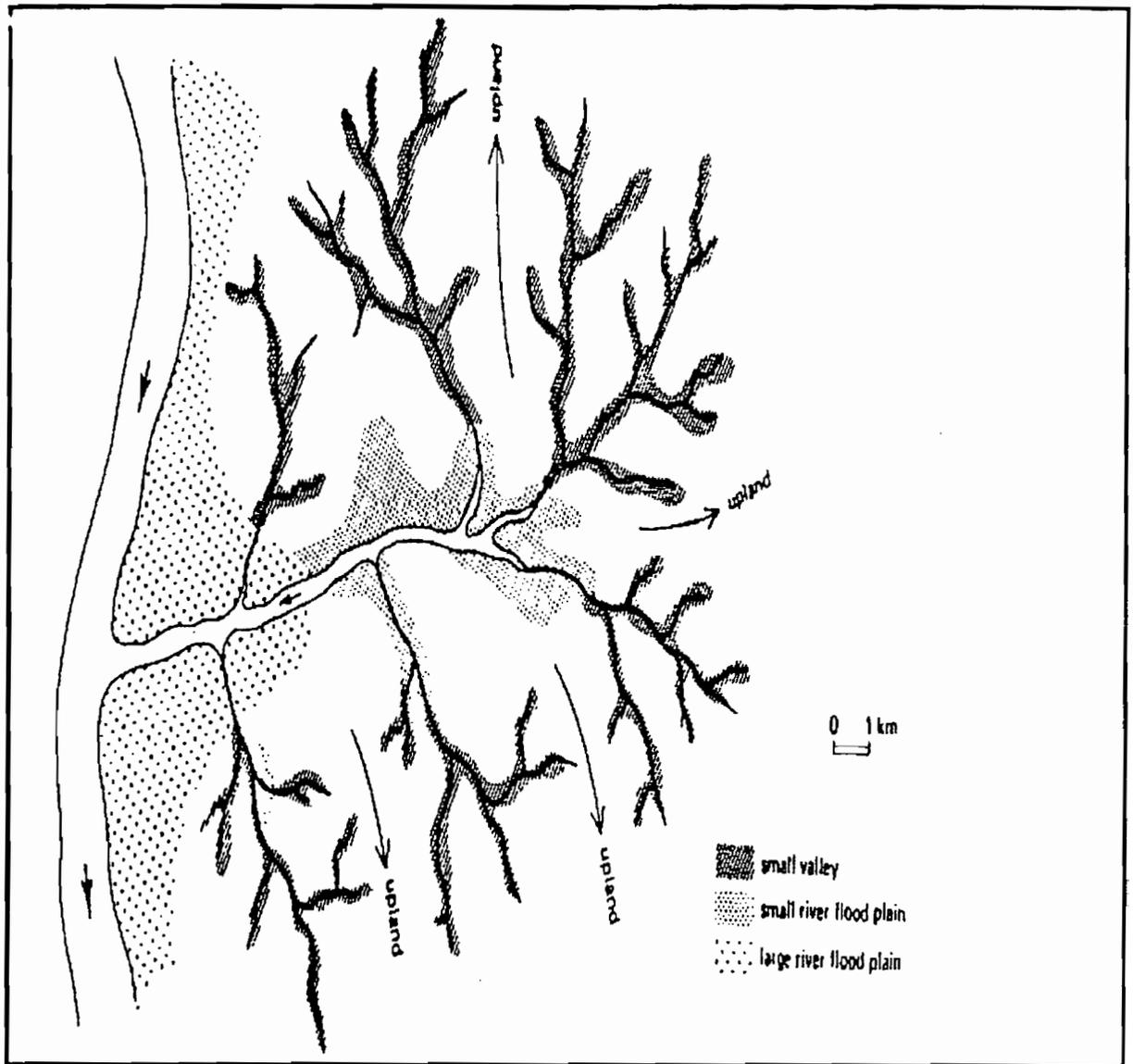
Les drains d'ordre 2, correspondent aux parties moyenne et aval des bas-fonds. C'est la partie la plus large (200 m). Elle draine un cours d'eau bien individualisé. Le matériau alluvial est limono-argileux, parfois sableux, mais possède toujours un caractère hydromorphe;

Les drains d'ordre 3 correspondent aux plaines alluviales qui " s'engraissent" en matériaux alluviaux et passent progressivement, à de larges vallées alluviales (plus de 400 m de large). Nous avons limité notre travail au bas-fond proprement dit donc aux vallées d'ordre 1 et 2. Les plaines alluviales ne sont pas abordées dans ce travail.

Le tableau 1 et la figure 1 illustrent la nette différence entre les « petites vallées » et les « bas-fonds » selon RAUNET (1985)

*Tableau 1 : Différence entre « petites vallées » et « bas-fonds »*

PETITE VALLEE	BAS - FOND
* Régime de débordement de crue par dessus des bourrelets de berge plus ou moins marqué	* Fonctionne par la remontée de la nappe phréatique Pas de transport longitudinal des matériaux
* Dépôts en alluvions stratifiées Transport longitudinal important des matériaux	* Dépôts consistant en apports latéraux des versants voisins
* Modelé du remblaiement varié: terrasse, chenaux de défluence, anciens lits et levées, cuvettes de décantation	



*Figure 1 – Situation des bas-fonds (small valleys) dans un bassin versant (OOSTERBAAN, GUNNEWEG, HUIZING 1987).*

Les recherches effectuées dans les bas-fonds ont pour objectifs de définir les paramètres qui influencent son évolution en vue de procéder à des aménagements susceptibles d'augmenter leur productivité. A cet égard, l'aménagement doit être précédé par une revue de l'ensemble des problèmes concernant le concept « bas - fond » afin de rechercher une méthodologie appropriée à son étude.

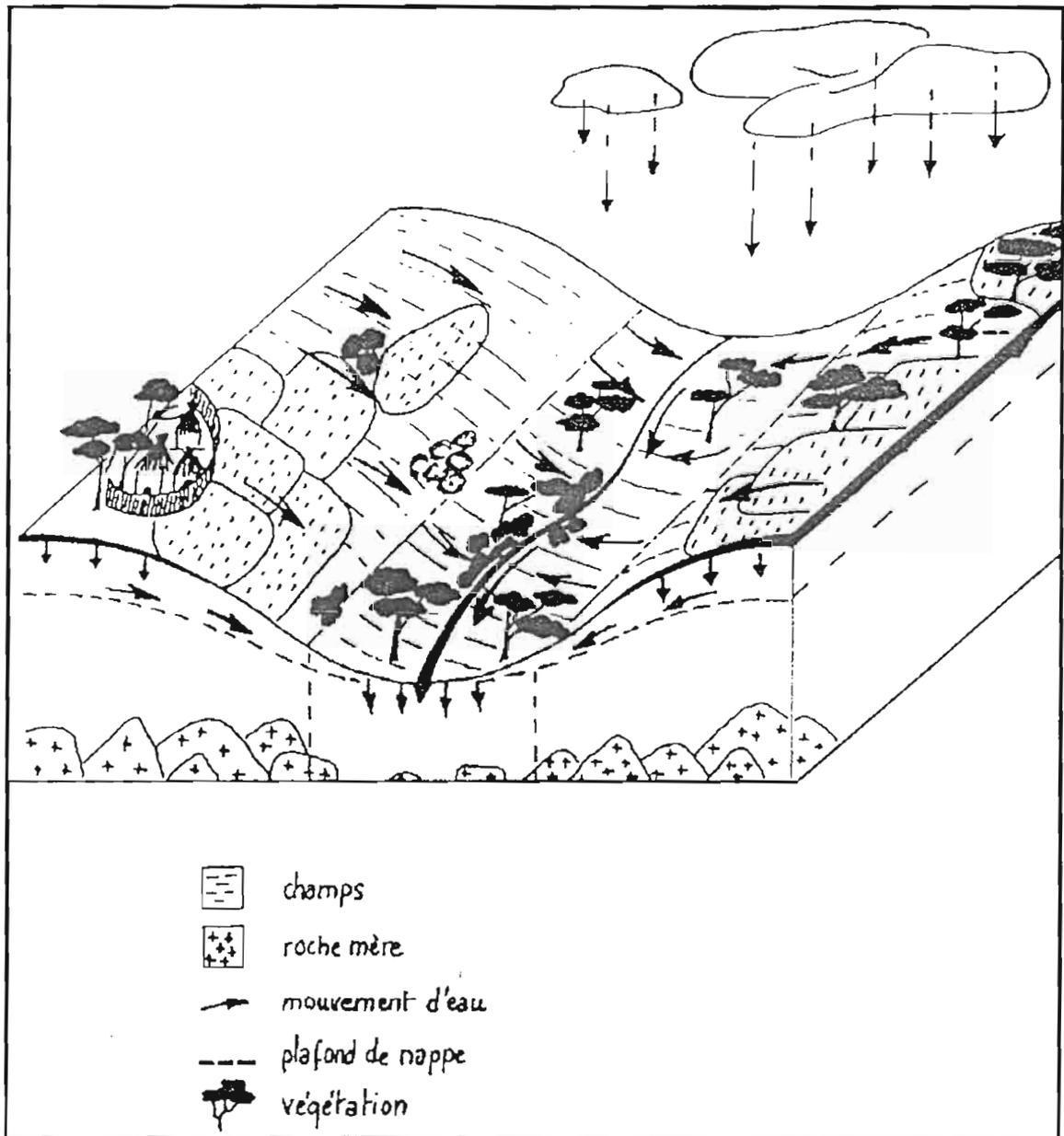


Figure 2- La place du bas-fond dans la toposéquence (ALBERGEL et al., 1993)

## 2.2. Typologie

Trois méthodes : KILIAN et TEISSIER (1973), RAUNET (1982), ALBERGEL et CLAUDE (1988) sont généralement utilisées dans la classification des bas-fonds en Afrique de l'Ouest. La synthèse de ces méthodes (ALBERGEL et al., 1993) sera appliquée aux bas-fonds de la Gambie (Cf. troisième partie).

Dans une première approche on distinguera deux grands types de bas - fonds en fonction de la géologie et du climat. Nous serons amenés à considérer deux sites représentatifs : le Sili au Sud et le Niaoulé au Nord.

### 2.2.1. La classification de KILIAN et TEISSIER (1973).

C'est une classification basée principalement sur des critères morphologiques (pente, largeur du bas-fond, mesure d'encaissement). La démarche à suivre dans ce type de classification repose sur quatre grands axes.

1. donner une description des aspects physiques des bas-fonds :

- bassins versants : superficie, forme, pente (transversale, longitudinale)
- zone centrale : largeur, forme, encaissement
- jonction zone centrale - versants
- substratum : affleurements, seuils rocheux, verrous, etc.
- types de sols et texture
- végétation
- micro - relief
- régime hydrologique actuel : inondation, écoulement
- hydrologie : sec, humide, engorgé

2. mettre en évidence certaines corrélations entre certains paramètres décrits.

3. dégager les clés d'interprétation photo - sol, permettant de déceler rapidement le type de bas-fond.

4. dresser un classement des types de bas-fonds.

Cette méthodologie aboutit à la distinction de 5 types de bas-fonds :

- les bas-fonds étroits et peu marqués: ils sont fréquents en zone granitique et se distinguent par des versants rectilignes présentant de faibles pentes, comprises entre 2 % et 4 %. L'encaissement est peu marqué et les sols y sont sableux.

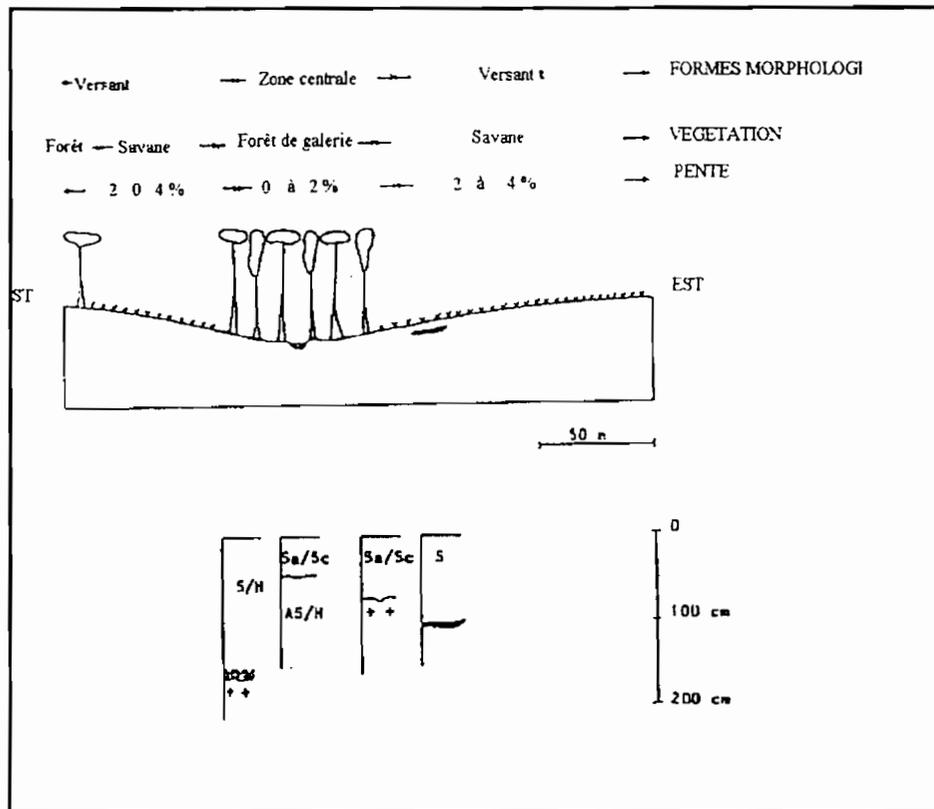


Figure 3- Bas-fonds étroits et peu marqués

- les bas-fonds étroits et marqués ;

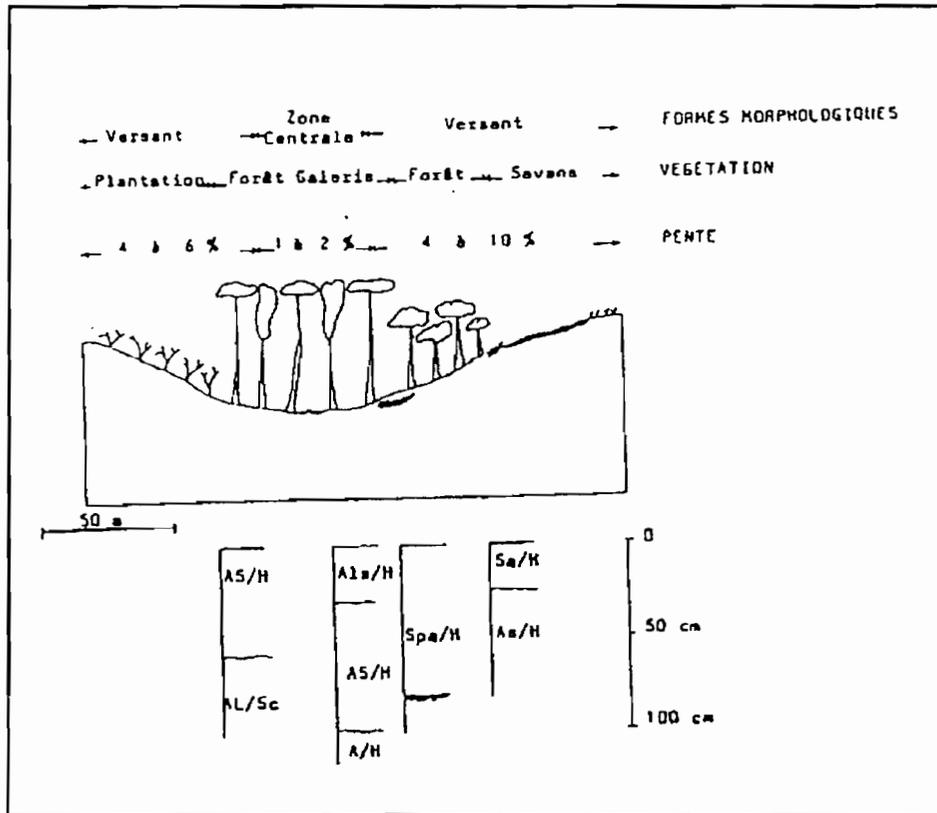


Figure 4- Les bas-fonds étroits et marqués

- les bas-fonds larges et peu marqués ;

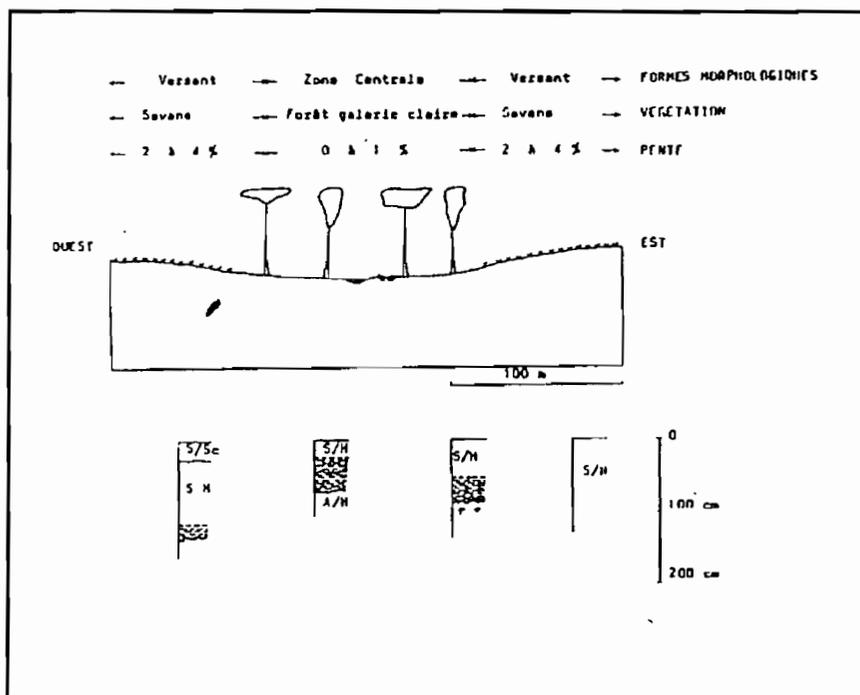


Figure 5- Les bas-fonds larges et peu marqués

- les bas-fonds larges et marqués;

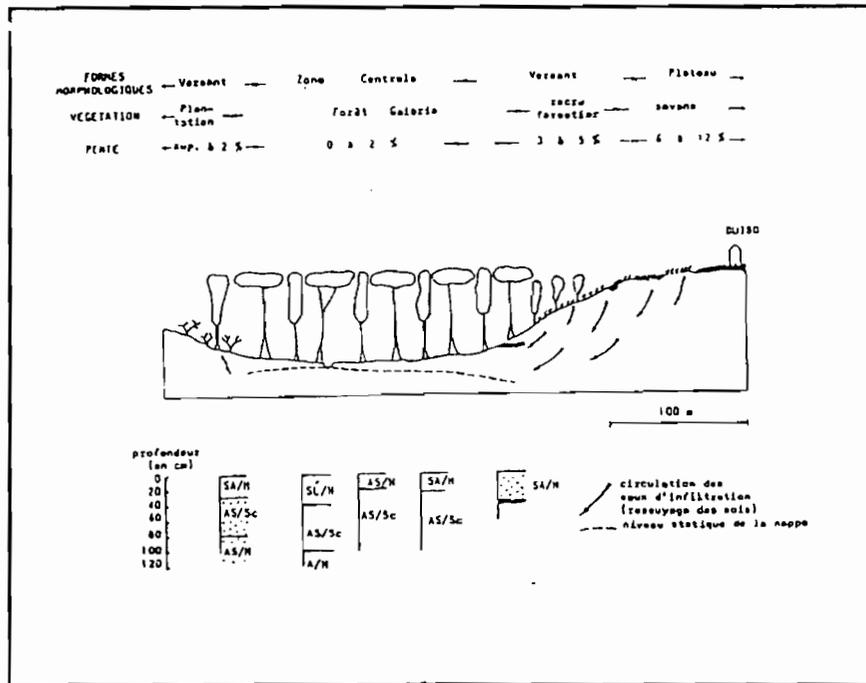


Figure 6- Les bas-fonds larges et marqués

□ les bas-fonds de jonction.

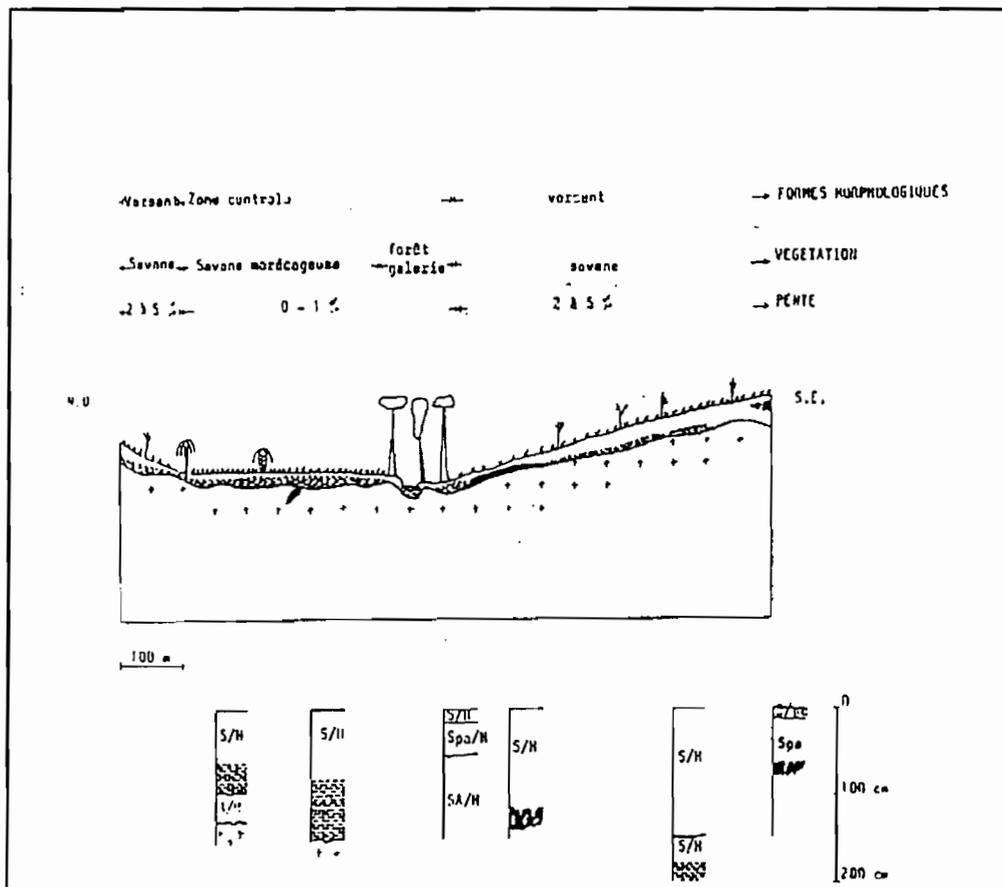


Figure 7- Les bas-fonds de jonction.

## 2.2.2. La classification de RAUNET (1982)

La classification de RAUNET est basée sur des critères morphologiques qui permettent de différencier en Afrique et particulièrement à Madagascar quatre grandes familles de bas-fonds correspondant à la zonalité climatique de l'Afrique intertropicale:

- les bas-fonds du domaine soudano-sahélien
- les bas-fonds du domaine Soudanien et soudano-guinéen
- les bas-fonds de l'Afrique de l'Est à gouttière centrale argileuse, à genèse de montmorillonite ;
- les bas-fonds du domaine de l'Afrique humide

RAUNET associe à chaque type de bas-fonds, une proposition d'aménagement pour lever les contraintes à la mise en valeur.

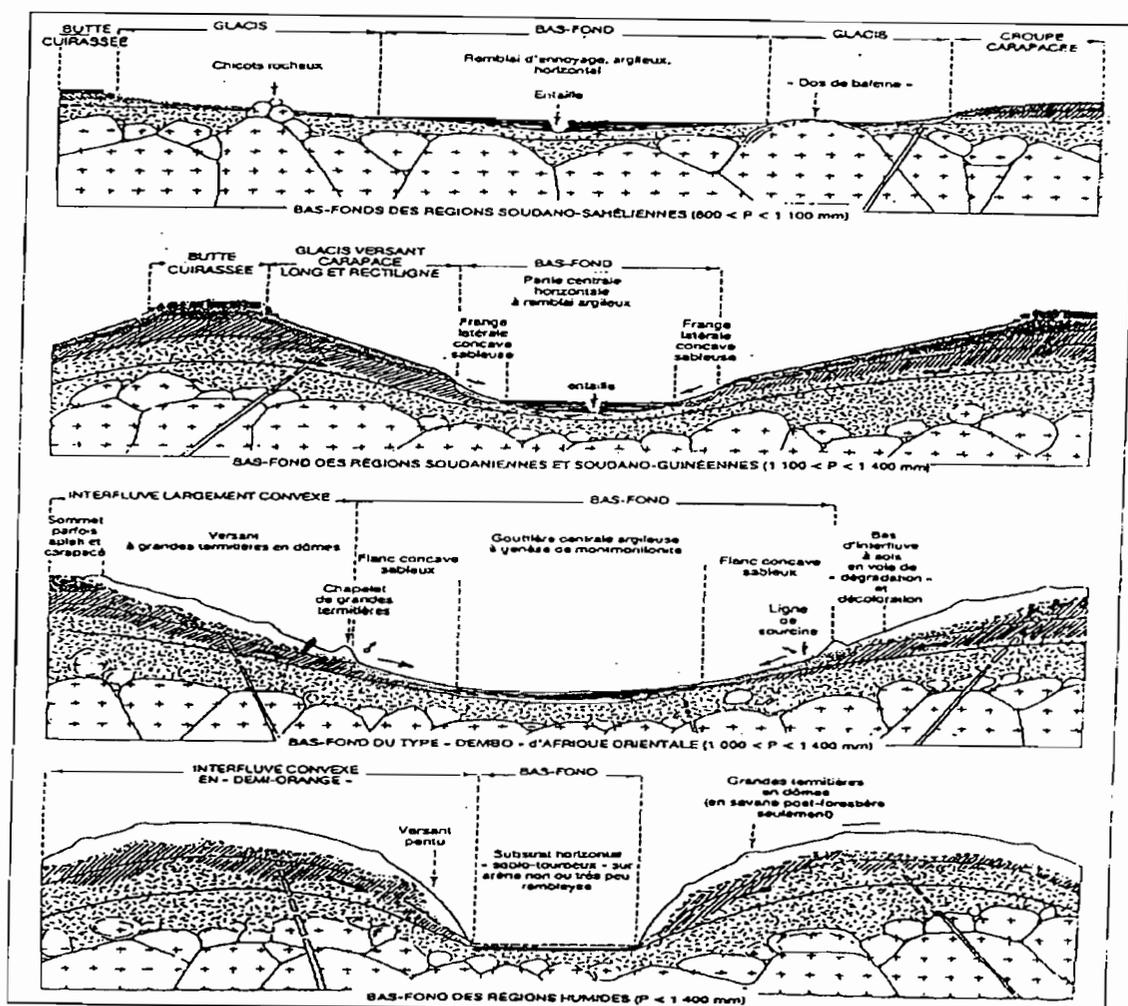


Figure 8- Types fondamentaux de bas-fonds africains ( RAUNET, 1985 )

### 2.2.3. La classification de ALBERGEL et CLAUDE (1988).

A partir des données hydrologiques recueillies par l'ORSTOM sur les bassins versants représentatifs de l'Afrique de l'Ouest (DUBREUIL, 1972), ALBERGEL et CLAUDE (1988) distinguent cinq grandes familles de bas-fonds, dont trois dans la zone du socle ancien :

- les bas-fonds sahéliens (pluviométrie annuelle entre 300 et 700 mm) ;
- les bas-fonds des régions soudano-sahéliennes (pluviométrie annuelle entre 700 et 1100 mm) ;
- les bas-fonds de la zone soudano-guinéenne (pluviométrie annuelle entre 1100 et 1400 mm).

Les deux autres sont identifiés dans les zones sédimentaires tertio - quaternaires :

- les bas-fonds des formations sédimentaires du continental terminal (pluviométrie annuelle entre 300 et 900 mm dans les parties non désertiques des bassins sénégal-mauritanien et Iullemeden) ;
- les bas-fonds des zones fluvio-marines dans les estuaires des fleuves et rivières depuis l'embouchure du fleuve Sénégal (pluviométrie 200 mm) aux rivières de Guinée-Bissau (pluviométrie 1600 mm).

Les différents essais de classification qui ont été élaborés reposent uniquement sur des critères physiques. « Les classifications qui résultent de ces méthodes sont alors peu fines pour être utilisées comme outil décisionnel dans l'optique d'une mise en valeur des zones de bas-fonds. Il est donc évident qu'une classification encore plus fine sera nécessaire pour arriver à une typologie qui permet de déterminer des aménagements types adaptés à chaque classe de bas-fond » (ZEPPENFELDT et VLAAR 1990).

ALBERGEL et *al.* (1993) ont fait la synthèse des différentes classifications. Ils ont intégré dans leur synthèse des critères variables tels que :

- la densité démographique qui détermine la mise en valeur agricole des bas-fonds en zone sèche du domaine cristallin ;
- la taille du bas-fond ou de sa partie cultivable qui définit son utilisation en zone sédimentaire sèche ;
- les formes d'organisation sociale des agriculteurs.

Une telle typologie nécessite l'adoption de la méthodologie suivante :

- 1- Description des aspects physiques des bas-fonds : caractéristiques du bassin versant, pédologie, géologie, morphopédologie, hydrologie, topographie, végétation.
- 2- Mise en évidence d'éventuelles corrélations entre certains de ces paramètres.
- 3- Elaboration de clés d'interprétation photographies aériennes - terrain permettant de déceler rapidement le type de bas-fond.
- 4- classement des types de bas-fonds.

Cette synthèse des classifications sera utilisée sur les bassins de référence pour effectuer une classification assez poussée des bas-fonds.

### **3. METHODOLOGIE DE L'ETUDE**

#### **3.1. Travail bibliographique**

##### **3.1.1. Caractérisation physique des bas-fonds ;**

- Géologie et géomorphologie : détermination des seuils topographiques
- Sols : structure, texture et matières organiques ;
- Végétation naturelle : inventaire des ressources (biomasse végétale, ligneux...).

Ces études vont permettre d'élaborer une carte synthétique qui met en évidence la place des bas-fonds dans le paysage du bassin continental de la Gambie (position géographique et superficie).

##### **3.1.2. Les familles de bas-fonds**

Il s'agit de déterminer les différents critères qui permettent de distinguer les grandes familles de bas-fonds dans le bassin de la Gambie. Après la discrimination par la zonation climatique et géologique interviennent d'autres critères tels que :

- la densité de la population
- la taille du bas-fond
- l'organisation sociale.

#### **3.2. Collecte des données**

Les données climatologiques proviennent de la banque de données de la Météorologie Nationale et hydrométriques des stations gérées par la DGRH. Certaines données ont été homogénéisées au niveau de quatre stations (Kédougou, Wassadou amont, Wassadou aval et Simenti) pour la période 1970-1992 (KONATE, 1993). Les données relatives, à la démographie et à la croissance des villes proviennent de la Direction de la Prévision et de la Statistique du Ministère de l'économie et des Finances. Les cartes de la végétation et de la morphopédologie (1/500000 e) sont extraites des cartes U S A I D (1984). La carte géologique (1/500000 e) est tirée des travaux de BASSOT (1969).

#### **3.3. Traitement des données hydrologiques**

Il est fait à partir des logiciels suivants :

- PLUVIOM qui permet la gestion de diverses données relatives à la pluviométrie ;
- HYDROM pour l'élaboration des données hydrométriques de base ;
- DIXLOIS qui permet l'ajustement aux lois statistiques et leur sortie graphique ;
- EXCEL (calcul statistique, tableaux et graphiques).

### 3.3 1. Risque hydrique

Pour l'estimation des écoulements annuels et des crues exceptionnelles (fréquences décennales), les méthodes de RODIER - AUVRAY (1965), RODIER - RIBSTEIN (1988) et PUECH - CHABI GONI (1984) seront retenues.

L'utilisation de ces méthodes nécessite au préalable une caractérisation des bassins en déterminant des paramètres tels que : la latitude, le type de végétation, la géologie, la carte des sols et le catalogue des états de surface. En somme, un ensemble de paramètres qui permet de rapprocher un bassin d'étude à un bassin représentatif étudié de l'Afrique de l'Ouest.

Le choix entre les méthodes sur le bassin de la Gambie est fonction des caractéristiques physiques qui varient en fonction des deux régions géographiques (Sud et Nord). La méthode de RODIER - AUVRAY (1965) destinée aux bassins de superficies inférieures à 200 Km<sup>2</sup> peut être utilisée au Sud entre Kédougou et Simenti car le réseau de bas-fonds se trouve dans de bassins de faibles superficies, souvent inférieures à 90 Km<sup>2</sup>. Les abaques utilisés et les conditions de validité de ces méthodes sont exposés en annexes. Elles doivent servir aux dimensionnements des ouvrages hydrauliques pouvant être des réservoirs ou des digues de protection contre les fortes crues. Ce type d'aménagement de petite ou moyenne hydraulique connaît un net succès dans le bassin de la Gambie comme ailleurs en Afrique de l'Ouest (BERTON, GRET 1987).

Les aspects hydrologiques de l'aménagement des bas-fonds dans le bassin de la Gambie ont été abordés dans nos travaux antérieurs (KONATE 1993). Ce rapport comprend trois parties :

- la cartographie du bassin versant de la Gambie jusqu'à Simenti avec la description des facteurs conditionnels de l'écoulement
- l'homogénéisation des données hydrologiques sur une période de référence ;
- l'analyse statistique de l'écoulement et l'étude du tarissement.

Nous reprendrons dans ce travail, les principales conclusions faites sur le régime fluvial du haut bassin de la Gambie et nous les adapterons à la problématique de l'aménagement de la Gambie. La banque de données homogénéisées du laboratoire d'hydrologie sera utilisée à cette occasion pour déterminer certains paramètres tels que le bilan hydrologique.

### 3.3.2. Bilan hydrologique

Le bilan est donné par la formule suivante:

$$P(mm) = Q(mm) + DE(mm) + \Delta R$$

P (mm) représente la lame d'eau reçue par le bassin versant

Q (mm) = lame d'eau moyenne écoulée, c'est à dire la somme des écoulements sortants du bassin versant. Elle est calculée suivant la formule suivante:

$$Q(mm) = \frac{Q \text{ m}^3 \text{ S}^{-1} \cdot t(s)}{S(\text{km}^2) \cdot 10^3}$$

t = nombre de secondes dans l'année ou dans le mois

S (Km<sup>2</sup>) = superficie du bassin versant

$Q$  = lame d'eau qui est retournée à l'atmosphère à laquelle s'ajoute la différence entre le stock mis en réserve et le volume qui est restitué.

$$\Delta R = 0 \text{ (différence très faible dans les bassins de référence)}$$

De là, on peut calculer le déficit d'écoulement  $DE$

$$DE \text{ (mm)} = P - Q$$

Connaissant  $P$  (mm) = précipitation et  $Q$  (mm) = lame d'eau écoulée, on a calculé la quantité d'eau que peuvent écouler les bassins à savoir le coefficient d'écoulement ou de ruissellement à l'aide de la formule suivante :

$$Kr(\%) = \frac{Q}{P} * 100$$

L'autre paramètre du bilan est le volume total de l'eau écoulée pendant toute une année ou un mois (appelé indice d'écoulement); il donne une idée des disponibilités annuelles ou mensuelles en eau de surface.

$$V m^3 an^{-1} = Q m^3 s^{-1} * t(s) * an$$

Le débit spécifique est défini par le rapport du débit en l/s sur la superficie en  $km^2$ .

$$Ds = \frac{Q / l / s}{S (km^2)} = l / s / km^2$$

#### 4. ETUDES DES BAS-FONDS SUR LES BASSINS DE REFERENCE

Cette étude est réalisée en deux étapes dont la première consiste à l'inventaire à partir des cartes morphopédologiques des zones inondables sur l'ensemble du bassin d'études. La carte morphopédologique au 1/500000° a été utilisée pour repérer, cartographier et déterminer les superficies des zones inondables. La mise en évidence de ces zones est faite sur la base des critères hydrologiques, pédologiques et topographiques.

La seconde étape, l'extraction des bas-fonds dans les zones inondables, s'est déroulée en plusieurs points qui sont les suivants.

##### 4.1. Choix des bassins de référence

Les deux bassins de référence sont choisis de tel sorte qu'ils reflètent l'essentiel des caractéristiques physiques de la Gambie. Le Sili situé au sud dans les formations du socle et influencé par le climat sud - soudanien est retenu pour caractériser les bas-fonds du socle. Le Niaoulé doit servir de modèle à la caractérisation des bas-fonds du continental terminal. La carte topographique au 1/200000° a servi de support pour délimiter les bassins et les zones inondables.

L'extraction des bas-fonds dans les zones inondables répertoriées est réalisée à partir des orthophotoplans au 1/25000° dont les courbes de niveau ont été digitalisées dans ATLAS DRAW. En admettant que les bas-fonds sont situés entre les courbes de niveau  $n$  et  $n+1$  nous avons pu extraire et calculer les superficies des bas-fond à partir du logiciel SURFER.

#### **4.2. Traitement des données cartographiques et extrapolation des résultats**

Le mode d'acquisition des données graphiques de type carte est la numérisation (ou digitalisation). Le logiciel ATLAS DRAW nous a permis de saisir sur les orthophotoplans au 1/25000 ( MARKHURD, 1984 ) des informations de types points (points côtés), courbes (courbes de niveau), région (sols).

Le module Import - Export permet d'importer des données au format des principaux logiciels de dessin assisté par ordinateur. EXCEL et SURFER ont été utilisés dans ce travail. Les informations obtenues à partir de la numérisation sont stockées sous forme de fichiers comprenant les coordonnées géographiques, les courbes de niveau et les points côtés. Le raccordement des différents fichiers est fait dans Excel à l'aide de petits programmes en vue de leur traitement. L'assemblage et l'élaboration des cartes sont faits dans Surfer. Il a servi de support cartographique sur les bassins de référence.

Les conclusions tirées des questionnaires (voir en Annexe) permettront de déterminer sur les bassins de référence, les systèmes de culture, les pratiques culturales et la place des bas-fonds dans l'économie de bassin. Ce travail aboutit à la mise en évidence de deux types de bas-fonds, caractérisant chacun un espace géographique bien défini. L'extrapolation des résultats obtenus sur chaque bassin à son domaine d'influence va conclure l'étude des bas-fonds dans le réseau hydrographique du fleuve Gambie.

## **PREMIERE PARTIE**

### **ETUDE DES PARAMETRES REGIONAUX**

## CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE

Le bassin du fleuve Gambie est situé sur la façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest et s'étend entre 11°22' et 14°40' de latitude nord et entre 11°13' et 16°42' de longitude ouest (Figure 9). Il est limité au sud par le rebord septentrional du massif du Fouta - Jalon , au nord par les régions du Sine Saloum et du Ferlo Sud - oriental, à l'est par le bassin versant de la Falémé et à l'ouest par l'océan atlantique.

Le fleuve Gambie traverse trois Etats et coule sur 1180 km dont 205 km en Guinée ou il prend sa source, 485 km au Sénégal et 490 km en Gambie. Ce cours d'eau contrôle un bassin versant de 77054 km<sup>2</sup> repartis entre quatre Etats :

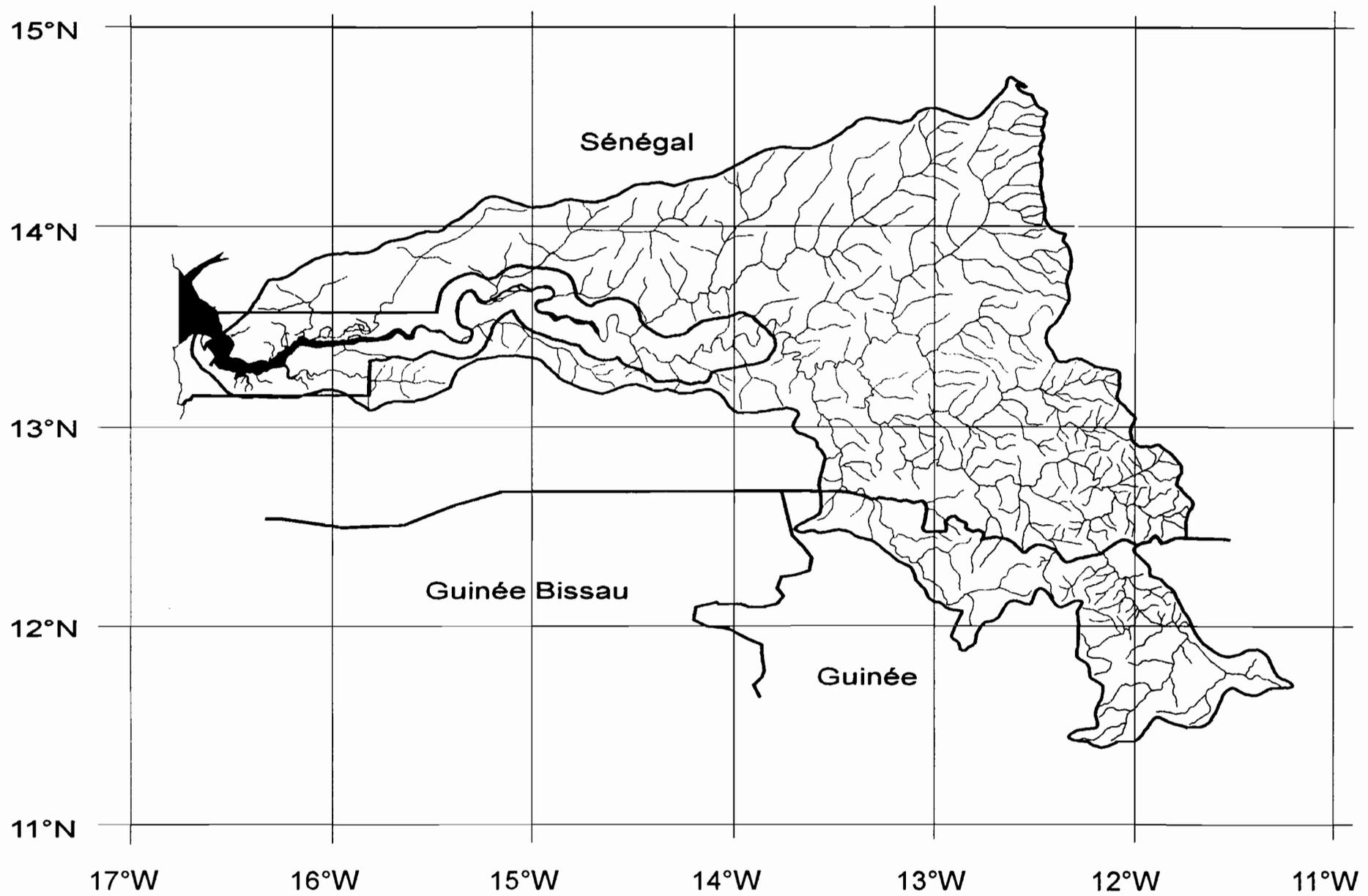
- Guinée : 11866 km<sup>2</sup> soit 15,4% du bassin,
- Sénégal : 54631 km<sup>2</sup> soit 70,9%
- Gambie : 10556 km<sup>2</sup> soit 13,7% du bassin
- Guinée Bissau : 16 km<sup>2</sup> soit 0,021%.

Plusieurs auteurs dont MICHEL (1973), CHAPERON et GUIGEN (1974), HOWARDS *et al.* (1984), LO (1984), MEYBECKS *et al.* (1985), VILLENEUVE (1984), DESCROIX (1986), GAC *et al.* (1987), LAMAGAT *et al.* (1990) et KONATE (1993) ont effectué des études géomorphologiques, pédologiques, géologiques et hydrologiques dans le bassin de la Gambie. A l'issue de ces études, ils ont proposé de subdiviser en fonction du régime hydrologique, le bassin de la Gambie en deux parties limitées par la station de Gouloumbou :

- le bassin estuarien, en aval de la station de Gouloumbou donc sortant du cadre de ce travail est d'orientation générale E - W et couvre près de 36000 km<sup>2</sup> de superficie. Caractérisé par des remontées salines, le bassin estuarien a fait l'objet d'une étude de HOWARDS-UMPHREY et SONS (1977).
- le bassin amont encore appelé "bassin continental" d'orientation générale SE-NW, couvre 41000 km<sup>2</sup>. Il s'étire de la source en Guinée à la station de Gouloumbou au Sénégal. Il comprend le cours supérieur, limité à l'exutoire de Kédougou et le cours moyen localisé entre Kédougou et la station de Gouloumbou.

Contrairement au bassin aval, le bassin amont a fait l'objet de plusieurs études : PNUD, (1982) ; CHAPERON et GUIGUEN, ORSTOM - PNUD, (1974) ; LO (1984) ; GAC *et al.*, (1987) ; KONATE, 1992, KONATE 1993 ; LAMAGAT *et al.*, 1990. Il fait aussi l'objet du présent travail, consistant à définir la typologie des bas-fonds dans la zone comprise entre Kédougou et Sandougou.

# Bassin Versant du Fleuve Gambie



## 1. DE PETITS BASSINS AUX FORMES ALLONGEES

Le bassin de la Gambie entre Kédougou et Sandougou couvre une superficie de 46110 km<sup>2</sup> soit 84,4% du bassin de la Gambie au Sénégal (54631 km<sup>2</sup>) et 59,8% de la totalité du bassin de la Gambie (77054 km<sup>2</sup>). Il s'étire entre 12°12' et 14°42' de latitude nord et entre 14°53' et 14°37' de longitude ouest. Plusieurs sous-bassins se partagent le bassin d'étude.

Tableau 2: Mesures morphométriques des sous- bassins de la Gambie

Gambie et sous-bassins	Stations	Surf. BV	Péri.	K.C.	Rect. équivalent	
		Km <sup>2</sup>	Km		Long	Larg
Gambie à Sandougou		46110	782.5	1.124	233.66	197.33
Gambie	Gouloumbou	42000	1285	1.756	568.8	73.84
Gambie	Kédougou	7525	490	1.58	208	36
Gambie	frontière (Dimma)	6940	430	1.445	175.4	39.57
Diaguéry	confluent	1010	129	1.137	37.82	26.7
Thiokoye	confluent	1264	182	1.433	73.9	17.1
Diarha	confluent	846	129	1.242	46.19	18.31
Niokolo-Koba	confluent	4732	347	1.412	139.5	33.92
Niéri-Ko	confluent	11757	500	1.291	187.1	62.81
Koulountou	confluent	6421	523	1.828	234.2	27.43
Niaoulé	confluent	1356	165	1.254	59.78	22.69
Sili	pont routier	90	41	1.21	10	6.46
Sili	confluent	214	65	1.24	15	7.06
Sandougou	confluent	11668	500	1.296	187.9	62.1

Le Tableau ci-dessus (DESCROIX, 1986) résume les caractéristiques morphométriques de quelques sous - bassins de la Gambie. Le coefficient de compacité du bassin de la Gambie à l'exutoire de la Sandougou est de 1.124, valeur caractéristique des bassins dont la forme est proche de celle d'un carré. Les sous - bassins ont des coefficients de compacité compris entre 1.242 et 1.756 , c'est à dire des valeurs qui expriment un aspect allongé des sous - bassins. Ce coefficient de compacité est calculé à partir de la surface (A) et du périmètre (P) du bassin ; ces données sont obtenues après stylisation des contours (GAC *et al.*, 1987 ; LÔ 1984 ; LAMAGAT *et al.*, 1990 ; DIAL, 1995).

$$K_c = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

K est le coefficient de compacité, P est le périmètre stylisé du bassin versant en km , A représente la superficie du bassin en km<sup>2</sup>. Le coefficient de compacité est un indicateur de la forme du bassin mais aussi un paramètre qui entre dans l'équation permettant de déterminer les dimensions du rectangle équivalent :

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right] \quad l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.12}{K} \right)^2} \right]$$

### 1.1. Un relief accidenté

Le point culminant (485 m) du bassin d'études correspond au sommet du mont Sambangalou situé au sud-ouest de Kédougou. De Kédougou à Simenti, la région est fortement recouverte de latérite avec présence de formations rocheuses fortement plissées et faillées du paléozoïque inférieur. C'est une région assez accidentée suite à la présence de reliefs importants comme la chaîne des collines Bassari, les massifs de roches vertes de Mako et Bransan et les pointements doléritiques de Baraboye et Ndébou.

En aval de Simenti, le modelé passe à de bas plateaux formés dans des roches sédimentaires d'âge géologique plus récente recouvertes de sédiments éoliens, d'alluvions et par endroits d'une croûte latérisée. L'altitude décroît de 485 m au sud de Kédougou à 44 m au niveau de l'exutoire de la Sandougou. Plus de la moitié de la superficie du bassin de la Gambie (53.2 %) est située entre 0 et 100 m ; 25.4% entre 100 et 200 m ; seuls 21.4% se trouvent au dessus de 200 m (Tableau 3 et Figure 10)

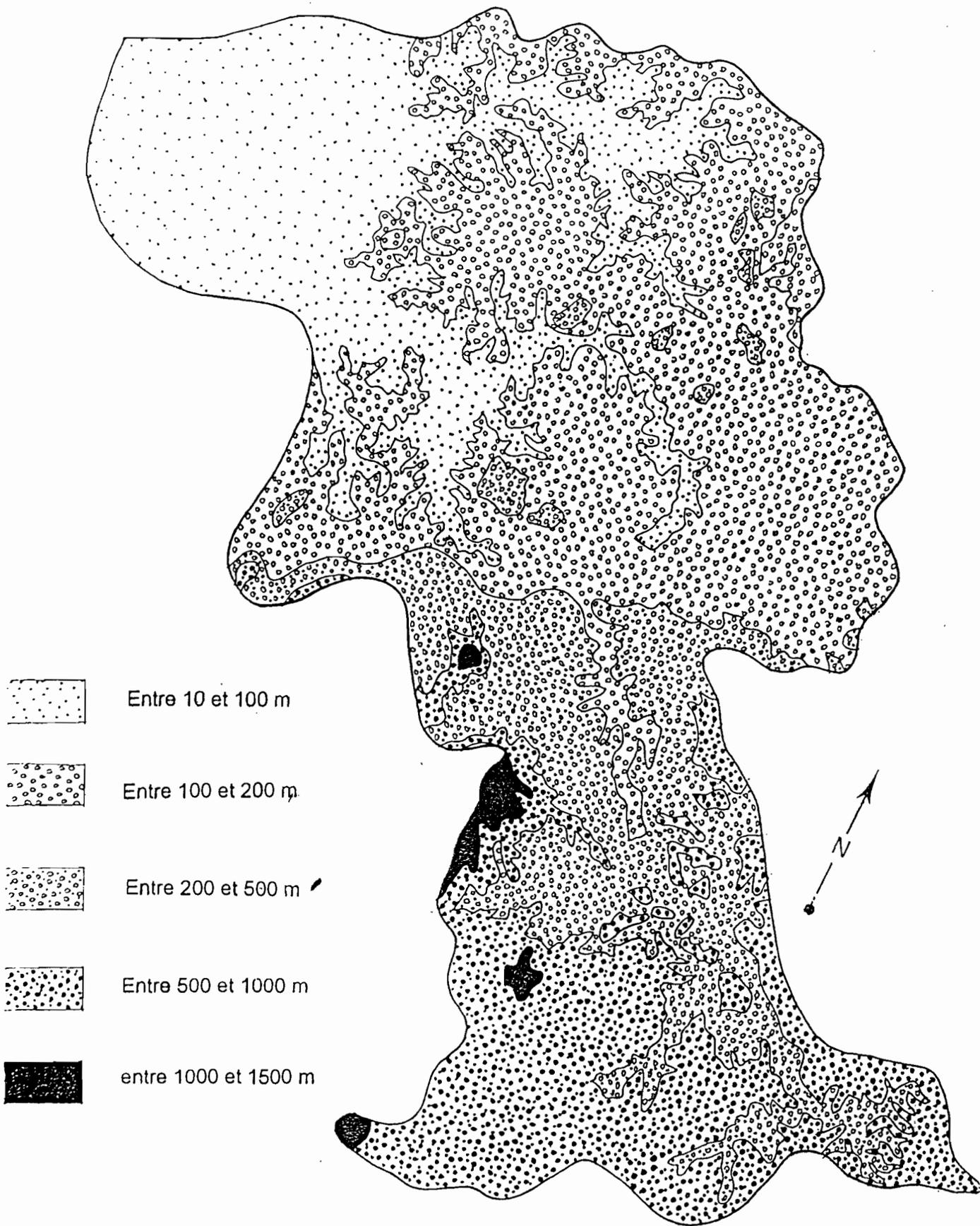
**Tableau 3 : Hypsométrie du bassin de la Gambie à Gouloumbou (CHAPERON et GUIGUEN, 1974)**

Tranches d'altitude ( m )	Superficie partielle ( Km <sup>2</sup> )	% de la surface totale	Surface Cumulée	Altitude à ( m )
1400-1538	22	0.05	22	1400
1300-1400	27	0.06	49	1300
1200-1300	44	0.1	93	1200
1100-1200	66	0.16	159	1100
1000-1100	93	0.22	252	1000
900-1000	250	0.59	502	900
800-900	651	1.54	1153	800
700-800	700	1.66	1853	700
600-700	923	2.2	2776	600
500-600	1280	3.03	4056	500
400-500	1420	3.36	5480	400
300-400	1600	3.79	7080	300
200-300	1955	4.63	9030	200
100-200	10740	25.4	19770	100
0-100	22430	53.2	42200	0

Les valeurs du Tableau 4 traduisent un adoucissement des pentes d'amont en aval. Cet adoucissement est consécutif au changement de la topographie du bassin.

**Tableau 4 : Indices de pentes des sous bassins de la Gambie (LAMAGAT et al., 1990 ; NIANG, 1995)**

Cours d'eau	Stations	IP
Gambie	confluent-Sandougou	0.025
Gambie	Gouloumbou	0.035
Dimma	frontière guinéenne	0.078
Thiokoye	confluent	0.124
Diarha	confluent	0.081
Koulountou	confluent	0.047
Niéri-Ko	confluent	0.023
Niokolo-Koba	confluent	0.044
Sili	pont	0.076
Sandougou	confluent	0.02



Source L. KONATE 1993

Figure 10 – Carte de la répartition des altitudes sur le bassin de la Gambie

## 1.2. Les grands traits de la morphologie

Les vastes plateaux tabulaires cuirassés disposés en gradins successifs constituent l'un des traits morphologiques majeurs du paysage dans le haut - bassin de la Gambie. MICHEL (1973) a mis en évidence cet agencement du modelé. Il distingue trois surfaces d'aplanissement d'âge secondaire et tertiaire :

- la surface de Labé ;
- la surface de Dongol Sigon ;

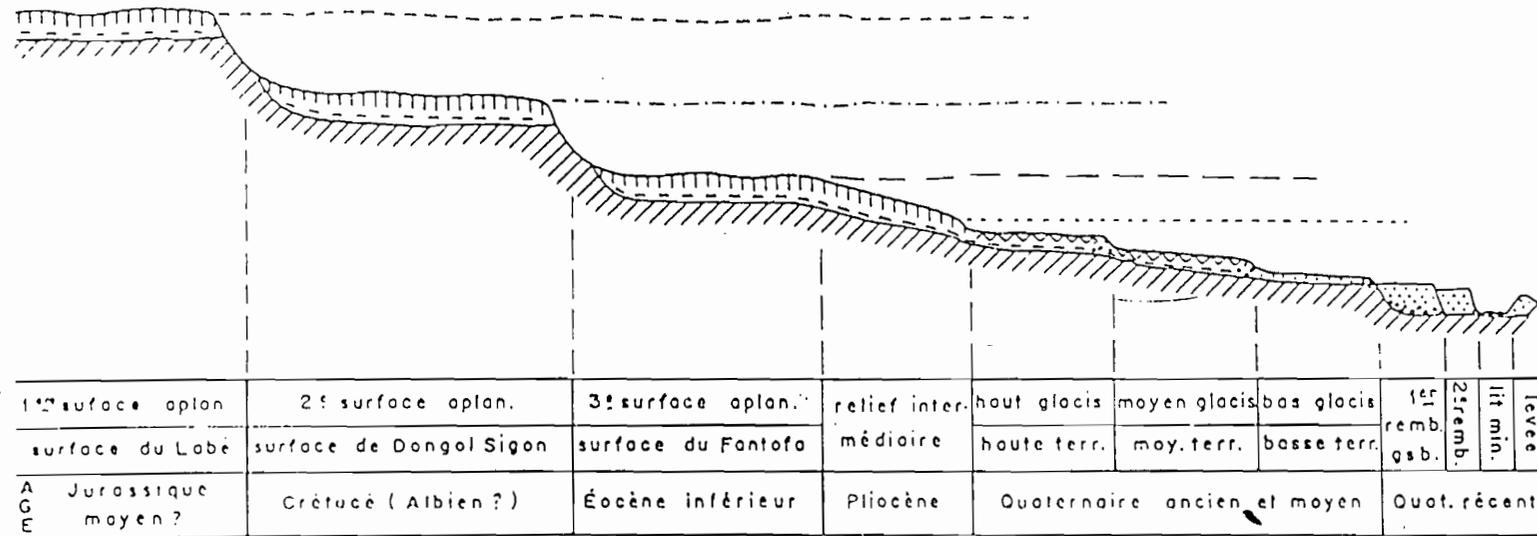
la surface de Fantofa dont les témoins apparaissent sur le bassin d'étude sous forme de plateaux latéritiques dont la hauteur varie entre 550 et 660 m. Il s'agit des monts Bassari et des massifs doléritiques situés aux environs de Kédougou. Ce sont de petits massifs dont l'altitude n'atteint plus que 420 à 445 m (MICHEL, 1973).

Ces trois surfaces d'aplanissement sont séparées par un relief intermédiaire (haut, moyen et bas glacis) qui date du quaternaire (Figure 11).

L'histoire géomorphologique de la région est dominée au quaternaire ancien par la mise en place de glacis résultant de l'érosion fluviale ; ils s'étagent souvent en trois niveaux. Les haut et moyen glacis portent des cuirasses conglomératiques ou gravillonnaires qui permettent de les dissocier des cuirasses antérieures des surfaces d'aplanissement. Le bas - glacis n'est pas cuirassé et selon LÔ (1984), ses niveaux ne sont pas visibles sur le bassin de la Gambie en amont de Gouloumbou.

L'extension des glacis est très variable. Situé entre 350 et 500 m dans les contreforts du Fouta-Jalon, le haut glacis se réduit à quelques lambeaux perchés entre 130 et 250 m en moyenne Gambie. Le moyen glacis jalonne les zones déprimées le long de la vallée de la moyenne Gambie.

Le modelé du bassin d'études est une vaste pénéplaine monotone au nord de Simenti et mollement ondulée au sud où subsistent des plateaux de plus de 300 m. Les cuirasses et terrasses alluviales sont largement répandues dans la région qui repose sur des formations géologiques qui impriment leurs caractères au réseau hydrographique.



Nature des terrains

- ≡≡≡ Produits d'altération
- ▨▨▨ Cuirasse latéritique
- ▧▧▧ Cuirasse ferrugineuse
- ▩▩▩ Roche saine
- ▭▭▭ Sable
- ▮▮▮ Galets et graviers

Abréviations    terr.: terrasse    gsb.: graviers sous berge    rembl.: remblai    aplan.: aplanissement

Figure 11 – Schéma du modelé et de l'évolution géomorphologique du bassin de la Gambie (MICHEL, 1973)

### 1.3. Réseau hydrographique

Le fleuve Gambie prend naissance dans le domaine Guinéen, sous l'appellation de la Dima à 15 km au Nord - Est de Labé. La Gambie parcourt 258 km de la source à Kédougou. Elle coule d'abord vers le Nord-Est et passe de 1125 m d'altitude à la source à 122 m à Kédougou.

Le cours d'eau bénéficie de l'apport de la Silamé (km 69) sur la rive gauche et de celui de l'Oundou (km 111) en rive droite. Il est caractérisé par la présence de nombreuses chutes qui apparaissent entre ces deux confluences. Après avoir décrit de nombreux méandres suivant une direction nord - est, la Gambie passe de 250 m d'altitude au confluent avec l'Oundou à 122 m à la station de Kédougou. Les principaux affluents (Liti et Kanta sur la rive gauche ) sur ce tronçon proviennent des hauteurs du massif du Mali.

En aval de Kédougou, la Gambie reçoit sur sa rive droite le Diaguéry qui draine toute la partie sud de la région de Saraya. Ensuite elle décrit la boucle de Badon autour des collines de Kédougou avec une pente moyenne de 0,27‰ . Coupé de rapides, avec un courant parfois très fort et irrégulier, le fleuve prend la direction générale Est - Ouest jusqu'au coude de Malapa. Il recueille sur sa rive gauche le Tiokoye et le Diarha, affluents provenant des hauteurs du Fouta - Jalon . La violence des crues diminue à partir de Malapa et le fleuve prend une direction franchement Nord-Ouest. Il décrit d'innombrables méandres et reçoit au passage plusieurs affluents :

- le Niokolo - Koba : il prend sa source à 300 m d'altitude dans les collines des massifs métamorphiques du Sénégal Oriental. C'est un cours d'eau qui est long de 203 km avec un bassin versant de 4732 km<sup>2</sup> mais il participe de façon très faible à l'écoulement fluvial de la Gambie en raison de la faiblesse des précipitations et des pentes ;
- le Niéri - Ko, affluent de rive droite est long de 232 km. Il draine un bassin versant de 1757 km<sup>2</sup>. Le Mayel - Samou, son tributaire pénètre sur 132 km dans les roches paléozoïques plus anciennes et forme un réseau dense de type dendritique.
- le Niaoulé, tributaire de rive droite du fleuve Gambie réunit des petits cours d'eau à écoulement temporaire.
- le Sandougou, prend sa source à 80 m sur les plateaux très perméables du continental terminal, au nord de Tambacounda. Contrôlé par deux stations (Sinthiou Malème et Maka) il mesure environ 200 km et délimite un bassin versant de 11668 km<sup>2</sup>. Le réseau hydrographique est discontinu et incertain, surtout dans les territoires sub - affleurants du plateau; ce qui justifie sa faible contribution au débit terminal de la Gambie.

CARTE N°2 : RESEAU HYDROGRAPHIQUE

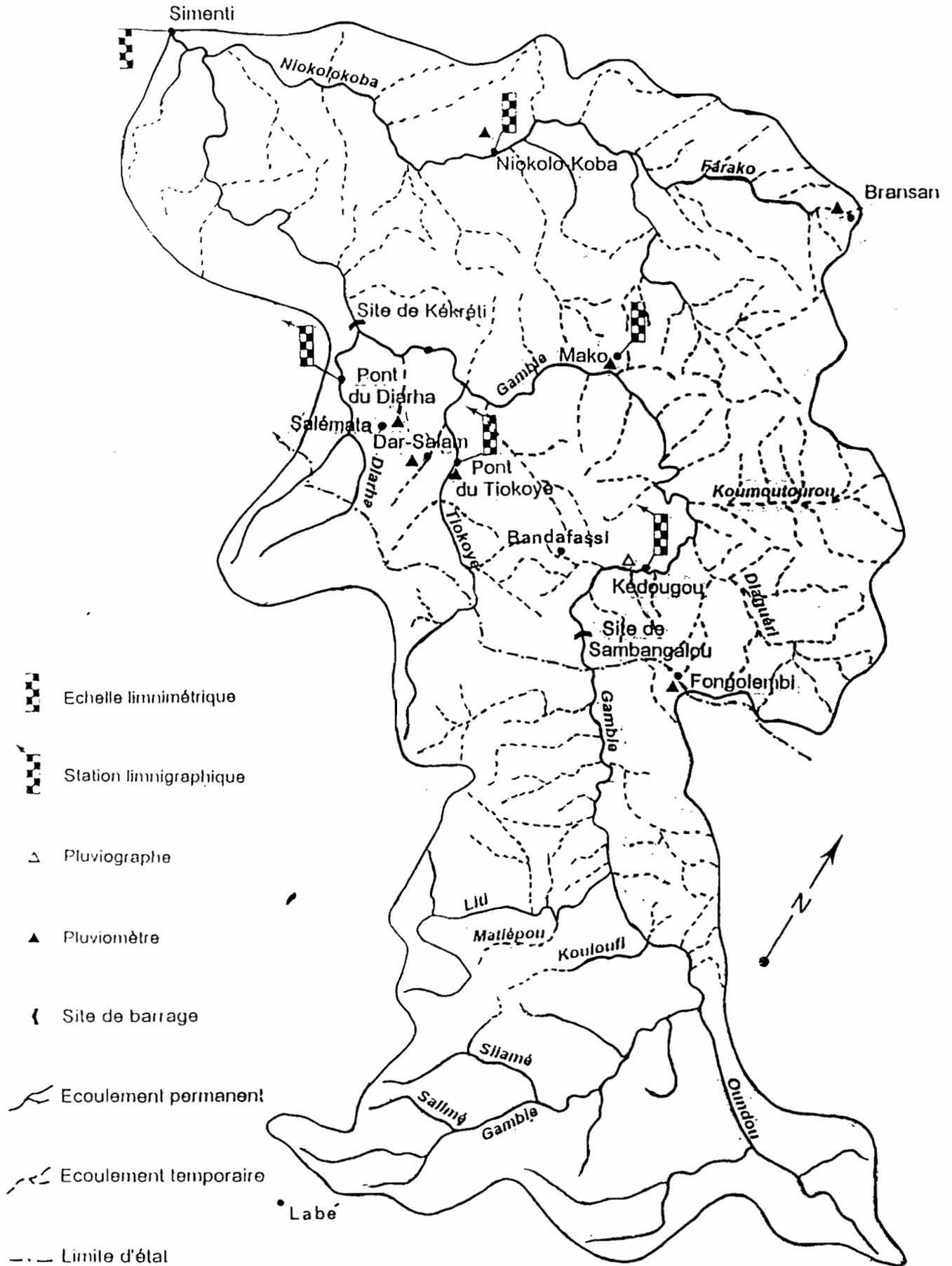


Figure 12- Carte du réseau hydrographique

#### 1.4. Le profil en long

Le profil en long du fleuve Gambie est très irrégulier et très accidenté en amont de Kédougou. Il franchit et dévale en chutes d'importants seuils rocheux. Peu avant l'exutoire de la Silamé, la Gambie descend brutalement de 40 m ( 520 m - 480 m ) ; avant la confluence avec l'Oundou deux séries d'escarpements font perdre à la Gambie une altitude de 50 m (350 m - 300 m). Concernant les principaux affluents, l'Oundou par exemple présente une chute de 16 m (320 m - 304 m) ; la Liti passe de la cote 750 m à la côte 400 m en moins de 20 km.

Les pentes sont très fortes et très raides sur le bassin de la Gambie en amont de Kédougou. Les plus fortes valeurs sont calculées sur les affluents. Descroix (1986 ) a trouvé les valeurs suivantes : 13.5 % pour la Liti, 11.5 % pour l'Oundou. La pente moyenne pour l'ensemble du bassin amont est de 4 ‰.

Les profils en long font alterner les biefs horizontaux et inclinés. Les profils en travers sont caractérisés par des profils convexes dû au fait que la forêt galerie est partout présente sur le bassin amont. La figure 13 (LAMAGAT et *al.*, 1990) montre de façon nette la rupture de pente à la sortie des montagnes guinéennes. La pente décroît de façon très rapide, d'amont en aval. Elle est de 12 ‰ sur le cours supérieur à 69 km de la source et le régime est torrentiel. A l'exutoire de la Liti soit à 160 km de la source, la pente est réduite à 3.6 ‰. La pente est encore plus faible (0.5 ‰) à Kédougou qui est situé à 258 km de la source.

Très faibles à partir de Kédougou à cause de la monotonie du relief, les perturbations deviennent pratiquement nulles en aval de Simenti, ceci est dû au relief quasiment plat. Les sapements latéraux des berges et le creusement du lit mineur prédominent dans ce domaine caractérisé par l'absence de forêt - galerie.

Le régime hydrologique et la structure du réseau hydrographique de la Gambie dépendent en grande partie de la topographie et du climat, mais aussi de la nature des diverses formations géologiques traversées. Ces dernières sont masquées par la couverture latéritique cuirassée ou remaniée jusqu'au niveau de l'axe Badi - Diéoundiala - Massadala - Gamon. De part et d'autre de cet axe, on passe d'un réseau hydrographique dense et bien hiérarchisé au Sud à un réseau hydrographique discontinu et incertain au Nord.



## 2. GEOLOGIE

Le bassin d'étude est situé dans une région où il y a contact entre les formations anciennes, complexes et diverses du socle et de sa couverture paléozoïque et les formations sédimentaires plus récentes du continental (Figure 14).

### 2.1. La région du socle

Les formations du soubassement antécambrien affleurent dans la boutonnière de Kéniéba qui s'étend entre les bassins de la Gambie et de la Falémé. BASSOT (1966, 1969) y a distingué trois séries principales (séries de Mako, du Dialé, et du Daléma qui n'apparaît pas dans le bassin d'études).

#### 2.1.1. La série de Mako

Elle affleure dans le bassin d'études autour de Mako, sous la forme d'une bande quasi continue d'une vingtaine de mètres qui couvre l'axe Mako - Bransan. Il s'agit d'anciennes roches basiques qui, lorsqu'elles forment des masses suffisamment importantes correspondent souvent à des collines ou à des crêtes allongées assez caractéristiques. C'est le cas des massifs de roches vertes de Mako et de Bransan.

La série de Mako est caractérisée par la présence d'anciennes roches volcaniques basiques interstratifiées avec des argiles, tufs, grauwackes, schistes. Les anciennes roches sont des roches éruptives et amphibolites reconnaissables sur le terrain notamment des :

- metabasaltes, roches de couleur vert sombre à grain très fin ; on les rencontre dans les collines qui dominent l'ouest du village de Baafoundou, les massifs de roches vertes de Bransan dans les localités de Makana et de Sabodala ;
- métaandésites, roches à grain fin d'un vert moins foncé que les précédentes sont peu répandues dans le bassin d'études. Elles ont été observées par BASSOT (1966) dans le village de Bongnomba et au Sud-Est de Kanéméré. Localement on trouve dans le bassin des :
- métarhyolites : des roches qui ont subi une recristallisation très nette, avec lits de chlorite, séricite et même biotite. Ce sont des roches qui ont un aspect étiré et qui se présentent en lame d'une vingtaine de mètres sur le marigot Niokolo - Koba et sur la partie sud de la Gambie aux environs de Baandofari ;
- pyroxénites : roches lourdes très sombres et qui dérivent par différenciation magmatique des métadolérites qui les entourent. Elles sont identifiées à l'ouest du gué de Mako.

Ces roches effusives ou intrusives de la série de Mako sont accompagnées dans le bassin d'études par deux catégories de roches.

D'une part des roches purement pyroclastiques, représentées par :

- des brèches volcaniques qui renferment des blocs généralement non roulés mais de dimension variant entre 0.5 et 50 cm et provenant des roches effusives de la série de Mako (métabasalte, métaandésite). Ces brèches sont très répandues le long de la route Kédougou -Mako à la hauteur du village de Batanta.

tufs qui présentent une alternance de lits fins et grossiers de 10 à 20 cm de puissance à l'est de Batanta ;

des cinérites d'aspects vert-clair, à grain très fin qui sont très répandues à 5 km à l'est de Magnankanti au sud de Kanéméré et au nord de Guémou.

D'autre part des roches sédimentaires composées de grauwackes, d'argilites rouges, d'anciens jaspes, des schistes et micaschistes.

Exceptés les schistes et micaschistes qui semblent dériver de pélites ordinaires, les autres roches sédimentaires portent l'empreinte du volcanisme. Les grauwackes de la série de Mako se rencontrent dans le secteur de Sangola, Tiabédji et Etiess où ils peuvent contenir des galets de roches basiques de schistes noirs.

A Baraboye, apparaissent des bancs conglomératiques d'aspect étiré et cimenté par des grauwackes. Les jaspes rouges ; roches dures de couleur rougeâtre ou noirâtre affleurent dans la zone comprise entre Bafoundou et Maragoukoto.

Les schistes et micaschistes peu métamorphisés de couleur verdâtre ne présentent pas les traces de volcanisme, au sud-est de Kanéméré.

Les bas-fonds sont donc creusés dans des formations géologiques constituées essentiellement de schistes, de roches vertes et de quartzites. Les schistes sont en grande partie recouverts de formations latéritiques dont l'altération très poussée aboutit à la formation d'une argile sableuse qui interdit toute infiltration profonde. La présence des quartzites est marquée dans la topographie par de petits reliefs aux pieds desquels naissent de petites vallées formées à la faveur du ruissellement sur un terrain imperméable.

Ces considérations géologiques expliquent la présence de vallées étroites et très encaissées dans le secteur. Les bas-fonds associés à la série de Mako correspondent dès lors à de petites unités isolées situées de part et d'autre de la Gambie au niveau de la boucle de Mako avec des superficies variant entre 10 et 35 km<sup>2</sup>.

### 2.1.2. La série du Dialé

Encadrée par les séries de Mako et du Daléma, elle s'étend de part et d'autre du fleuve Gambie recouvrant au Nord-Est le bassin du Koumoutrou situé sur la rive droite de la Gambie et au Sud-Est, les régions de Bandafassi, Ibel et Dindéfélou sur la rive gauche.

La série est essentiellement formée de cipolins et des roches qui semblent leur être associées (quartzites, schistes graveleux, schistes graphiteux, schistes) : les cipolins de la série affleurent à l'ouest de Kédougou. Il s'agit généralement de roches grisâtres largement cristallisées d'origine sédimentaire ou volcano-sédimentaire.

Ces roches présentent des faciès assez variés et apparaissent à Bandafassi, Ibel et Ndébou sous forme de bancs de cipolins qui forment les petits reliefs au pied des falaises doléritiques de ces villages. Autour de la localité d'Ibel, il y a des cipolins conglomératiques qui peuvent prendre la couleur noirâtre avec des amandes allongées de calcite. Plus au sud, au niveau de la frontière Sénégal - guinéenne des cipolins sont repérés dans deux régions :

- dans la haute vallée du Thiokoye où ils sont marqués par la présence de niveaux épisodiques de quartz et de plagioclases détritiques.
- dans la région comprise entre Walidiala et Goumbanbéré.

Les roches qui accompagnent les cipolins sont :

- les schistes graphiteux et amphibolites, les premiers de couleur noire associés à des cipolins et des schistes graveleux sont observés entre Ibel et Patassi. Les seconds se rencontrent dans le sud du bassin du Diaguéri et vers Vélingara, le long de la frontière Sénégal - guinéenne.
- le complexe « grauwackes - schistes » occupe la presque totalité de la série du Dialé.

Ces séries étudiées sont d'origine sédimentaire ou volcano - sédimentaire ayant subies un léger métamorphisme et traversées de granites syntectoniques et post - tectoniques pendant l'orogénèse éburnéenne (MICHEL, 1973).

Au départ les terrains antécambriens devaient être sédimentaires mais par la suite ces terrains ont été plissés et injectés de granites en particulier par des :

- granites syntectoniques, très répandues dans le bassin s'étalent sous forme de bande continue dans la série de Mako, entre la localité de Badon (au nord de Mako) et l'axe Bransan - Kayan (au Nord - Est du bassin d'études) les hauts bassins du Diaguéry et du Koumoutrou, respectivement en amont et en aval de Fodécounda et de Binbou (Cf. carte géologique) ;
- granites postectoniques affleurent localement au Sud - Ouest de Badon, au nord de Bandofari, au nord et à l'ouest de Kanéméré, autour de Tinkoto. Ces roches sont accompagnées de méta-basaltes ou gabbros, parfois de méta-pyroxénite ou péridopyroxénite comme à Kanéméré ou bien d'aplite, de rhyolite et de granite alcalin en filons, c'est le cas du sud Bandon ;
- granites tarditectoniques plus localisés, apparaissent sur la rive gauche du Diaguéry, au sud du village de Fodécounda. Les produits d'altération de ces roches en particulier les roches vertes se traduisent par la présence d'un horizon argileux de subsurface qui s'oppose aux infiltrations dans une zone où les précipitations sont élevées et le relief très marqué. Ce qui est à l'origine du développement d'un réseau hydrographique plus encaissée dont la très forte hiérarchisation aboutit à une prolifération de petits bas-fonds au nord (Koumoutrou) et à l'ouest de Kédougou (Ibel, Bandafassi, Ndébou).

Les bas-fonds les plus étroits du bassin sont répertoriés dans cette série aux formations recouvertes par des séries détritiques ou marines. Plusieurs séries reposent donc en discordance sur le socle.

## 2.2. Les séries sédimentaires du Paléozoïque

Très étendues en affleurement dans le bassin, elles sont généralement conservées dans des géosynclinaux. Le plus souvent leur faciès est constitué par des grès, ce qui explique la très grande extension des plateaux.

Du point de vue stratigraphique, plusieurs séries s'échelonnent de l'infrcambrien à l'ordovicien. L'infrcambrien est représenté dans le bassin par l'extrémité nord de la série de Ségou - Médina qui affleure au sud de Kédougou de part et d'autre de la Gambie, le long de la frontière Sénégal - guinéenne entre la série de Mali au Sud - Ouest et la limite Sud - Est du bassin.

A partir des travaux de BASSOT (1966) et de TORCHINE (1976), VILLENEUVE (1984) propose une subdivision lithostratigraphique en deux groupes.

Le premier, appelé groupe de Ségou affleure dans la vaste plaine recouverte de latérite située entre Kédougou et Ségou. C'est un groupe qui repose sur un substratum Birrimien (granites et micaschistes) constitué de grès très souvent quartzitiques, très fissurés, de couleur rose à blanc sale. Ces grès se débitent en bancs de 10 à 40 cm en haut de la falaise. Les pendages varient autour de 5° et sont orientés vers le sud-est. Les grès quartzites forment le ressaut de la falaise du Fouta - Jalon, ils sont latérisés peu altérés et pratiquement imperméables. Les niveaux aquifères sont localisés dans les grès tendres et la réserve d'eau qu'ils drainent va percoler à travers les diaclases des quartzites puis diffuse dans les éboulis qui jalonnent le front de la falaise pour s'écouler dans les dépôts qui suivent les petites vallées dont les parties amonts représentent les bas-fonds de la série. Ils sont étroits et étirés, conséquence de l'imperméabilité des roches traversées et de leur situation topographique au pied des reliefs de quartzites. Le second groupe, celui de Médina - Kouta intéresse la partie guinéenne du bassin qui ne concerne pas ce travail de recherche.

Les différentes séries étudiées renferment des roches qui ont été plissées, injectées de granites et par conséquent métamorphisées. Les zones à roches plissées et métamorphiques correspondent à la chaîne panafricaine I des Bassarides qui comprend trois grandes unités lithostratigraphiques étirées en bandes de direction Nord - Sud.

L'unité A (groupe de Termessé) correspond à la série de la Falémé qui est identifiée au Sénégal par BASSOT (1966). Elle couvre le sous bassin de la Gambie (Thiokoye) notamment à Lagordé, à Kadioré et à Neppen - Diakha. Les pélites jaunâtres de ces localités se débitent en plaquettes ovales, souvent horizontales. Parfois elles peuvent être affectées par des plissements locaux présentant alors des pendages de 5 à 10°.

L'unité B (groupe de Guingan) correspond à la série des Bassaris qui renferme surtout des schistes sériciteux dont l'extension se réduit de la frontière Sénégal - guinéenne vers le nord du bassin. A ce niveau la série peut contenir d'anciens Grauwackes, Jaspes rouges et de petits noyaux de roches basiques effusives. Ces différentes roches ont été plus ou moins plissées.

L'unité C est représentée dans le bassin continental de la Gambie par les groupes du Niokolo-Koba et de la Koulountou, à dominantes volcanique et volcano - détritique recouvrant quelques fenêtres du socle.

Le groupe du Niokolo-Koba est essentiellement constitué d'un complexe éruptif acide, enveloppant des massifs granitiques ou granodioritiques et contenant eux-mêmes des enclaves basiques. Ces formations affleurent dans la zone de la confluence de la Gambie avec le Niokolo-Koba.

Le groupe de la Koulountou comprend les trois formations de Pantié (rhyolites et dacites), de Simenti (tufs rhyolitiques, rhyodacites) et de Damantan (tufs schistosés, cinérites et orthogneiss).

La phase d'érosion de la chaîne Panafricaine des Bassarides est suivie du comblement des dépressions disposées en sillons parallèles à la chaîne. VILLENEUVE (1984) a interprété les dépôts de deux ensembles qui intéressent le bassin continental de la Gambie. Il s'agit :

- de la série du Mali qui intéresse le Nord-Ouest de Kédougou (Waldia et la haute vallée du Thiokoye) ; c'est une série essentiellement argileuse et argilo-gréseuse de type flysch ;

- de la série de Youkounkoun qui draine la haute vallée de la Koulountou au Sud (région de Dalaba) ; la Gambie au centre entre Banarhé et Mpantié, le Niokolo-Koba au nord et à l'Ouest de la dite localité (cf. carte géologique). La série est gréseuse avec des conglomérats à teinte dominante rouge ou brun - rouge. Elle forme dans son ensemble une vaste structure synclinale.

Cette région au relief assez marqué est recouverte en grande partie de latérite. Le réseau hydrographique qui décrit de nombreux méandres lors de son passage entre les collines Bassari a dessiné une multitude de petites vallées. Les parties amont de ces vallées correspondent à des bas-fonds très étroits et très marqués à cause de l'ampleur de la dissection sur un substratum peu perméable.

### 2.3. La région du continental terminal

Au nord de l'axe Badi - Diéoundiala - Massadala - Gamon, le bassin est entièrement situé dans des formations de type grès argileux et sables hétérogènes miopliocènes du continental terminal avec une cuirasse ferrugineuse affleurant ou sub-affleurant sur les interfluves et avec des sables limoneux sur les lits des talwegs. Ces formations sédimentaires qui présentent des niveaux de latérites ferrugineuses constitués par la cuirasse démantelée sont marquées par la présence :

- d'une nappe phréatique généralisée dans les grès et sables argileux hétérogènes qui soutient les débits d'étiage de la Gambie et de certains de ses affluents ;
- de nappes temporaires dans les alluvions fluviales de la Gambie et de la Koulountou alimentées par les crues de ces cours d'eau.

Les travaux de MICHEL (1973) permettent d'expliquer les processus de mise en place des formations du continental terminal.

Au secondaire et au tertiaire, des phénomènes de soulèvements et d'affaissements ont affecté les régions littorales du Sénégal et de la Mauritanie. A la suite de ces mouvements, il s'est formée une cuvette qui va du Nord-Ouest de la Guinée Bissau à l'Ouest de la Mauritanie. Cette cuvette sera envahie par les eaux du crétacé supérieur à l'éocène, formant ce qu'on appelle : le bassin sénégalo-mauritanien qui sera le siège de divers types de sédimentations.

Au départ, la sédimentation sera surtout détritique (sables, grès) puis plus fine (argile) et par la suite chimique (calcaire, marne). Durant cette époque diverses séries marines vont se déposer sur les fonds marins. Cette sédimentation va s'achever à la suite d'autres soulèvements à l'éocène et le bassin qui évolue maintenant à l'air libre sera sujet à une nouvelle reprise d'érosion qui met en place une nouvelle nappe détritique appelée continental terminal. Les massifs anciens sont alors soumis à une érosion intense dont les produits de démantèlements donnent un gré argileux qui couvre tout le plateau sénégalo-mauritanien. Les grès du continental terminal sont aujourd'hui largement représentés à l'affleurement dans le bassin de la Gambie, sous des formations quaternaires ou sous une cuirasse ferrugineuse dans le Ferlo Sud-Oriental et dans la partie nord du Sénégal Oriental. Les faciès les plus fréquents sont des sables argileux roses, beiges, jaunes, blancs, bariolés dans lesquels s'intercalent des niveaux argileux ou gréseux.

D'après MAIGNIEN (1966), le bassin Sédimentaire et tertiaire a une grande importance sur la pédogenèse Sénégalaise. Les formations qui le composent suivent les traces de cycles climatiques qui ont joué sur les affleurements orientaux du socle ancien.

De ce fait, les sédiments marneux souvent à attapulgites, marno-calcaire et calcaires du paléocène ainsi que de la mer du lutétien peuvent être associés à l'altération ferrallitique profonde de la deuxième surface d'aplanissement. Les formations détritiques du continental terminal proviendraient aussi de ce déblaiement des produits d'altération de la deuxième surface d'aplanissement.

La plupart de ces formations sédimentaires affleurants ou sub-affleurants, riches en carbonates marquent la pédogenèse de nombreux sols contemporains : vertisols, para vertisols sableux, etc...

Le bassin restera émergé jusqu'au quaternaire, période pendant laquelle des dépôts lacustres ou alluviaux vont s'accumuler le long des fleuves et dans les dépressions. Ces formations quaternaires seront étroitement liées aux sols actuels, en grande partie hydromorphes et généralement développés sur des sédiments marins récents.

### 3. SOLS ET VEGETATION DU BASSIN VERSANT

Dans le bassin amont de la Gambie, la topographie est le facteur dominant de la pédogenèse, son rôle est primordial dans le processus d'érosion des sols. Ensuite, les facteurs climatiques, édaphiques et géologiques interviennent pour différencier les types de sols, leur évolution et leur répartition géographique (LAMAGAT *et al.*, 1990).

La carte morphopédologique classe les sols du bassin suivant plusieurs niveaux physiographiques. Cette étude s'intéresse à trois niveaux correspondant aux sols :

- des plateaux et buttes résiduels ;
- des versants, pentes et glacis d'épandage ;
- des vallées, développés sur dépôts alluviaux et colluviaux.

A ces différents niveaux topographiques correspondent des types de végétations particuliers. La végétation naturelle est représentée par des essences arborées, arbustives et herbacées. D'une manière générale, la forêt sèche et la savane boisée recouvrent les collines tandis que les bourrelets de berge sont envahis par la forêt galerie.

#### 3.1. Sols des plateaux et buttes résiduels

Ils se trouvent sur des surfaces relativement planes mais qui occupent une position généralement élevée dans la topographie du bassin. Ces sols se rencontrent sur les plateaux, collines, buttes résiduelles et glacis cuirassés qui sont développés au Nord sur des grès plus ou moins argileux du « continental terminal » et au Sud sur des formations plus diverses du socle birrimien.

Toute la partie septentrionale du bassin fait partie d'un plateau sillonné par des vallons creusés dans des grès et sables hétérogènes du continental terminal. Plus de la moitié de la surface de ces plateaux est occupée par des régosols sur matériau gravillonnaire et des sols peu évolués d'apport hydromorphes sur le même matériau. Les lithosols sur cuirasse sont réduits aux ruptures de pente où la cuirasse affleure en corniche. Ils apparaissent localement sur les plateaux sous forme de dalles ou de plages de sols jonchés de blocs de cailloux. Cette

association de sols est enrichie en rive droite par des sols à caractères ferrugineux tropicaux et des sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire. Les plateaux issus des affluents de droite de la Gambie représentent un exemple de ce type d'association qui est du reste, très poussée dans la région du continental terminal.

Du point de vue agricole, les sols peu évolués sont cultivables à condition de maintenir leur structure et leur fertilité par des apports organiques et minéraux. Les régosols se dégradent vite mais leur fertilité élevée permet la culture du mil et du sorgho. Plus pauvres, l'exploitation des sols peu évolués hydromorphes nécessite la culture sur billons. C'est dans ces conditions qu'il est possible de les cultiver en sorgho et en arachide.

En amont de Simenti, les formations pédologiques correspondent aux unités morphologiques du socle. Il s'agit des monts Bassari avec des niveaux de collines plus ou moins élevées, des glacis cuirassés et des vallons d'érosion. Une variation de faciès est notée suivant l'importance du relief et la diversité des formations du socle.

Les collines les plus élevées des monts Bassari ( plus de 400 m ) autour de Salémata avec des pentes souvent très abruptes sont dominées par des régosols à faciès bruns eutrophes sur débris de roches basiques diverses (schistes à amphiboles). Ce sont des sols peu profonds et constitués essentiellement de cailloux altérés et de petits fragments de schistes.

Les régosols sur matériau gravillonnaire et les lithosols sur cuirasse couvrent les collines topographiquement situées en position moyenne. C'est le cas du mont Hassirik situé à 300 m d'altitude à l'intérieur du parc de Niokolo - koba. Il est recouvert de régosols sur matériau gravillonnaire et de sols peu évolués d'apport vertiques sur matériau argileux gonflant

Les régosols sur matériau argileux d'altération occupent les collines les moins élevées qui ne dépassent jamais 180 m dans les monts Bassari. Ces collines sont situées entre le Diarha et le Thiokoye affluents de rive gauche de la Gambie.

Les lithosols sur grès ou sur quartzites qui affleurent sur les collines de grès blancs du Niokolo-Koba ont les mêmes caractéristiques que les lithosols sur cuirasse.

Les sols sur roches basiques, communément appelées dans le bassin de la Gambie roches vertes s'étendent en arc de cercle du massif de Bandafassi au sud de Kédougou à la boucle de Mako. Les produits d'altération de ces roches apparentées aux lithosols peuvent donner des sols bruns eutrophes ou des sols vertiques sur matériaux argileux gonflant.

La limite orientale du bassin de la Gambie à Kédougou correspondant approximativement au secteur occidental du massif de Saraya. Elle est constituée d'un ensemble de collines et de croupes peu cuirassées avec des altitudes qui dépassent rarement 200 m. La cuirasse est profondément démantelée sur les sommets de ces collines. Cela favorise la mise en place de sols peu évolués d'érosion sur matériau de démantèlement de cuirasse. Très souvent, il se forme des sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau dérivé des granites aux endroits où la carapace est profonde.

Les sols gravillonnaires sont défrichés et mis en culture car ils présentent un taux moyen de matière organique et une assez bonne fertilité.

Les arbres à feuilles caduques, représentés par deux grandes espèces se partagent les sommets. Le *Combretum glutinosum* (*dokki* en peulh) domine sur les sols peu profonds mais lorsque la situation est plus favorable, les vènes ou acajou du Sénégal, *Pterocarpus erinaceus*, prennent le dessus. Aux niveaux inférieurs, il y a présence de (*tchombé* en peulh), *Feretia apodanthera*, *Oncoba spinosa*, etc. Les longues épines des *Acacia ataxacantha*, protègent ces espèces qui sont généralement associées en fourrés.

### 3.2. Sols des versants, pentes et glacis d'épandage

Provenant des points hauts (collines, buttes, plateaux), les versants présentent des pentes qui s'adoucissent vers les axes de drainage où l'on note trois grands groupes de sols :

- les lithosols sur cuirasse et régosol sur matériau gravillonnaire, ils se limitent à la rive gauche du Niaoulé et à la moyenne vallée du Niéri - ko. Ces formations sont accompagnées par des sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau colluvio-alluvial, le long de la rive gauche du Niaoulé et sur les versants des affluents de la Sandougou ;
- les régosols sur matériau gravillonnaire, les sols ferrugineux tropicaux lessivés, les sols faiblement ferralitiques et les lithosols sur cuirasse occupent les versants des basses vallées de la Gambie et de ses principaux affluents en aval de Simenti.

Les versants des monts Bassari sont recouverts par des régosols ou sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire avec des sols hydromorphes sur matériau colluvio - alluvial.

Dans le secteur granitique du bassin (ouest de Kédougou), les lithosols sur cuirasse occupent les parties hautes des versants et les sols peu évolués d'apport hydromorphes sur arènes granitiques graveleuses dominent sur les basses pentes.

Les lithosols sur cuirasse prédominent sur les glacis cuirassés qui constituent le prolongement des monts Bassari au nord de la Gambie. Le sol est formé de cuirasses en dalles ou est jonché de très nombreux cailloux et blocs, par endroits, il peut être gravillonnaire en surface. Ce type de sol ne présente aucun intérêt agricole car au niveau de ces glacis, l'érosion hydrique est intense par concentration du ruissellement.

La végétation ligneuse, très représentée sur les versants à pente faible se rencontre surtout au sud du bassin. Le néré (*Parkia biglobosa*), caïlcédrat (*Khaya senegalensis*), baobab (*Adansonia digitata*), fromager (*Ceiba pentandra*) composent l'essentiel du paysage végétal dominé par l'espèce ligneuse (*Paninari excelsa*).

La steppe arbustive ou steppe arborée ou savane arborée domine sur les glacis à cuirasse démantelée et présentant des sols ferrugineux tropicaux indurés au nord du bassin. C'est une partie du bassin où le sol est trop mince pour favoriser l'installation de végétaux ligneux. le paysage typique est représenté par des termitières - champignon. La flore, très pauvre est composée d'espèces remarquablement adaptées aux conditions de résistance à la sécheresse comme (*Lepidagathis sericea* et *Indigofera terminali*).

### 3.3. Sols de bas-fonds

Au Sénégal Oriental, ces sols occupent les fonds de vallées qui comprennent des terrasses colluvio - alluviales et des vallons. Fonctionnelles en saison des pluies, ces vallées ne connaissent pas de cours d'eau permanents. Ces systèmes de vallées renferment des associations et des complexes de sols qui ont été caractérisés par Marc STALJANSSENS (U.S.A.I.D., 1984) à partir des critères physiographiques et pédologiques très larges. Il a reconnu sur la base de différences pédologiques majeures fort générales quatre unités sur le bassin de la Gambie :

### 3.3.1. Sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes sur matériau colluvial.

Cette unité, centrée uniquement dans le sud - ouest du bassin d'études apparaît sur la rive gauche de la moyenne Koulountou et la partie Casamançaise du bassin (voir carte morphopédologique). Elle est formée de sols peu évolués d'apport développés sur matériau essentiellement colluvial qui occupent soit les têtes de vallons et les zones en bordure du lit mineur, soit le fond des vallons. Les têtes de vallons et les zones en bordure du lit mineur sont généralement occupées par des sols peu évolués d'apport avec une tendance à la ferruginisation.

Les caractéristiques de ces sols sont décrites par Marc STALJANSSENS. La couleur est relativement uniforme, grisâtre avec un profil assez homogène et friable. Le pseudogley est diffus et peut apparaître à moyenne ou à très faible profondeur. La texture varie du sable au limon sableux avec du limon argilo - sableux en profondeur. Le pH est relativement neutre à légèrement acide, la teneur en matière organique est moyenne, la fertilité chimique moyenne à faible. Ces sols deviennent secs lorsque la nappe tarit; les cultures restent donc fortement dépendantes des périodes d'engorgement.

### 3.3.2. Sols peu évolués d'apport hydromorphes ou Sols Hydromorphes sur Matériau Gravillonnaire.

C'est une unité qui couvre les axes de drainage des glacis de la région de Kédougou (voir carte morphopédologique); le composant majeur est un sol peu évolué d'apport hydromorphe sur matériau gravillonnaire avec carapace à faible profondeur. En fonction de la topographie, on trouve dans les parties les plus basses des sols franchement hydromorphes caractérisés par :

- leur texture qui varie du limon argilo - sableux gris beige clair assez gravillonnaire en surface au limon argileux franchement gravillonnaire jaune pâle légèrement bigarré en profondeur ;
- leur structure massive, la terre fine étant assez fortement à fortement cohésive.
- leurs caractéristiques physiques en général peu favorables comme l'atteste : la teneur en matière organique qui est moyenne, plutôt faible, la fertilité chimique moyenne à faible et le pH légèrement acide à franchement acide. Par ailleurs ces sols perdent une partie de leur potentialité lorsqu'ils sont situés sur les plateaux . Avec l'apport de matières organiques et de fertilisants, l'arachide ou le sorgho peuvent être cultivés dans les zones les mieux drainées et le riz dans les dépressions.

### 3.3.3. Sols Hydromorphes sur Matériau Alluvial.

Cette unité occupe surtout les bas-fonds liés aux affluents de la région du socle (carte morphopédologique). Elle est formée en général de sols hydromorphes à gley de surface et d'ensemble sur un matériau alluvial varié mais souvent argileux, de limon argileux ou d'argile. En surface, ces sols sont de couleur assez foncée tandis qu'en profondeur ils sont gris ou brun clair avec des traînées et des taches diverses selon le degré d'hydromorphie. Moyennement riche en matière organique, la fertilité chimique reste fort variable. Les quantités de potassium et de phosphore restent faibles et le pH relativement neutre à légèrement acide. La riziculture de ces sols nécessite la limitation des risques hydrologiques

(contrôles de la périodicité des crues et de la durée de la submersion) et des apports organiques et minéraux.

#### 3.3.4. Sols Ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches.

Cette unité connaît une grande extension dans la région du Continental Terminal, où elle recouvre la quasi - totalité des fonds de vallées situés sur la rive droite de la Gambie. La même unité est retrouvée dans la zone de contact, socle-continental terminal et le long des petits affluents du Niokolo-Koba.

La composante majeure de l'unité est un sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions et à taches, développé sur matériau colluvio - alluvial. Le plus souvent ces sols sont profonds et présentent une texture variant du sable limoneux ou limon sableux en surface au limon argilo - sableux ou à l'argile sableuse en profondeur. Ils ont une couleur grise ou brune en surface, pâle plus en profondeur et ocre à ocre clair dans les horizons inférieurs. L'horizon supérieur est humifère et peu structuré avec des fentes de dessiccation verticales tandis que l'horizon inférieur peut être parfois gravillonnaire.

Ces sols présentent généralement des traces de pseudogley en profondeur et leur drainage est normal ou modéré. Ils ont une mauvaise structure, une teneur en matière organique faible ou moyenne, une faible fertilité chimique (teneur très peu faible en potasse, nettement carencée en phosphore), un pH relativement neutre à légèrement acide ou même franchement acide en profondeur.

L'apport des amendements minéraux pour palier à la carence en phosphore et la faible fertilité ainsi que celui de la matière organique pour améliorer la structure peuvent favoriser la pénétration des eaux de pluie et diminuer le risque d'érosion, tout en améliorant le pouvoir de rétention en eau du sol. Ils deviennent alors des sols cultivables qui peuvent même présenter, une valeur de pâturages naturels qui est moyenne à bonne en saison sèche.

Dans les vallées alluviales apparaît le plus souvent la savane herbacée avec, par endroits, des peuplements de rôniers (*Borassus flabellifer*) et parfois de bambous (*Oxytenanthera abyssinica*). Les paysages les plus fréquemment représentés dans les vallées et plaines alluviales sont la steppe (arbustive et arborée), la savane arborée (arbustive et arborée), la steppe boisée et non boisée, la forêt sèche et la prairie. La strate arborée atteint son maximum de diversité dans ces vallées de grands arbres comme *Stereospermum kunthianum*, des arbustes comme *Zanha golungensis* ou *Combretum lecardii* ou encore de hautes plantes comme *Hibiscus* à feuilles de *sterculia*, *hibiscus sterculifolius*, ou enfin *Macrosphyra longistyla* aux gros fruits noirs à maturité.

L'étude morphopédologique a mis en évidence trois contraintes majeures au développement agricole des bas-fonds sur le bassin de la Gambie :

- les bas-fonds représentent moins de 4% des 12.2% des zones inondables du bassin de la Gambie. Les sites utilisables excèdent rarement 5 ha. Cette caractéristique régionale doit être prise en compte dans les modes d'intensification proposés et les aménagements nécessaires à leur réalisation. Un aménagement en maîtrise totale de l'eau ( barrage et irrigation gravitaire ) ne pourrait être rentabilisé par les superficies cultivables en aval;
- les sols des bas-fonds sont très filtrants. Pour cette raison, les bas-fonds ne conviennent pas aux cultures inondées. La trop forte perméabilité des sols de bas-fond induit un lessivage minéral important;
- l'érosion des versants apporte des placages de sable sur les sols de bas-fonds. Ce colluvionnement est un handicap à l'agriculture car il stérilise des parcelles.

Parmi les atouts que présentent ces bas-fonds, on note des sols favorables aux cultures supportant l'inondation passagère, aux cultures de décrues et, avec irrigation, aux cultures maraîchères de contre saison. Dans leur état naturel, les bas-fonds sont riches en espèces ligneuses donnant pâturages d'appoint, fruits et feuilles consommés localement, bois de chauffe et de construction.

## CHAPITRE II : CADRE HYDROCLIMATIQUE

Parmi les paramètres étudiés, le climat à travers la répartition spatiale et temporelle des pluies très inégale dans la région est le premier facteur agissant sur l'organisation des cultures et la production agricole dans les bas-fonds. La dégradation des conditions climatiques du sud vers le nord et leurs conséquences sur l'hydrologie des petits bassins retiendra notre attention tout au long de ce travail de recherches.

Pour bien comprendre l'incidence du climat sur le fonctionnement hydrologique des bas-fonds, l'étude climatique est faite à deux échelles :

- les mécanismes généraux qui commandent la circulation des vents en Afrique de l'ouest seront étudiés dans leurs généralités à partir de données bibliographiques ;
- l'étude détaillée des éléments du climat sera faite à partir d'une analyse des données météorologiques que nous avons débuté lors de notre D.E.A. (KONATE, 1993).

### 1. LES MECANISMES GENERAUX DU CLIMAT

Le bassin du fleuve Gambie est situé en pleine zone dite tropicale "humide", caractérisée par l'alternance d'une saison des pluies d'été et d'une saison sèche d'hiver. La modification des conditions climatiques du sud vers le nord est très nette sur le bassin de la Gambie et se matérialise par (DESCROIX, 1986) :

- une saison sèche qui s'allonge entre les deux provinces climatiques passant de 3-4 mois dans le Fouta-Jalon au sud à 7-8 mois dans le Ferlo méridional au nord ;
- une diminution de la quantité des pluies enregistrées qui passent de plus de 1500 mm sur les plateaux du Fouta-Jalon à environ 500 mm dans le sud Ferlo ;
- une augmentation des valeurs de températures moyennes et maximales ainsi que de l'évaporation et l'insolation dans le sens Sud - Nord.

Le bassin de la Gambie entre Kédougou et Sandougou s'étend pour l'essentiel dans le domaine climatique Soudanien avec une précipitation comprise entre 500 et 1250 mm. Par moment, l'influence du climat Guinéen se fait ressentir dans l'extrême sud tandis que le nord acquiert de plus en plus les caractères du climat Sahélien.

Cette "sécheresse", qui provoque une rapide dégradation des milieux (et la célèbre "désertification" ) est de plus en plus accentuée quand on remonte vers le nord, c'est-à-dire vers les régions à l'origine les moins favorisées par les précipitations. Ses conséquences hydrologiques sont énormes, tant au niveau de l'écoulement local, que de celui de l'approvisionnement des nappes phréatiques et du bilan de l'eau au niveau des grands bassins fluviaux (DESCROIX, 1986).

La durée et la rigueur de la saison sèche vont permettre de distinguer les climats du bassin continental de la Gambie. Influencés par certaines variantes des climats Ouest - Africains, les climats du bassin sont dépendants de deux zones de haute pression qui émettent des flux séparés par des fronts.

#### 1.1. Les Centres d'action

Ils comprennent une zone de haute pression subtropicale Nord et une zone de haute pression subtropicale Sud.

La zone de haute pression subtropicale nord est représentée par l'anticyclone permanent des Açores et l'anticyclone saisonnier qui apparaît sur le Sahara en hiver boréal ; il s'agit de l'anticyclone Saharo - Libyen.

La zone de haute pression subtropicale sud représentée par l'anticyclone de Sainte - Hélène est centré sur l'océan. C'est un anticyclone permanent qui se renforce pendant les mois de juillet, août et septembre. En plus de ces grosses masses de haute pression, il y a de petites cellules anticycloniques.

Ces deux zones de haute pression se rejoignent dans la haute atmosphère et forment un V renversé ; on y trouve des vents d'est dominants qui sont généralement appelés des alizés.

## 1.2. Les masses d'air

La nature et les caractères de ces flux diffèrent en fonction de leur origine et de la trajectoire suivie. Trois types de flux influencent le bassin d'études :

- les alizés maritimes, ils proviennent de l'anticyclone des Açores. Ce sont des vents permanents qui n'atteignent le bassin d'études que pendant la saison sèche ;
- l'harmattan, originaire de l'anticyclone Saharo - Libyen apporte des masses d'air très sèches. Il souffle sur le bassin de Novembre à Avril;
- la mousson, provenant de l'anticyclone de Sainte - Hélène se charge d'humidité après avoir parcouru un long trajet maritime. Elle apporte des pluies. Lorsque ces vents arrivent et traversent l'équateur, la mousson va envahir une grande partie du bassin avec la disparition de l'harmattan liée à l'affaiblissement de l'anticyclone Saharo - libyen.

Entre ces différents flux il existe des fronts, c'est à dire des zones de contact où se produisent souvent des perturbations

## 1.3. Les fronts

Deux principaux fronts intéressent le bassin d'études :

- le front des alizés ou front secondaire, situé entre l'anticyclone des Açores et l'anticyclone de Libye est orienté Nord - Sud et suit la côte Sénégal - mauritanienne. C'est le long de ce front que peut se produire la pluie de heug ou pluie des mangues.
- le F.I.T. ( front intertropical ) zone de contact entre la mousson et l'harmattan est une ceinture continue, une zone de basse pression vers laquelle convergent les masses d'air humides qui viennent du Sud et les masses d'air sèches qui viennent du Nord.

Les déplacements du F.I.T. (Figure 17) provoqués par les positions respectives des centres de haute pression (anticyclone des açores, anticyclone Saharo - libyen, anticyclone de Ste - Hélène) conditionnent l'alternance des saisons dans le bassin de la Gambie.

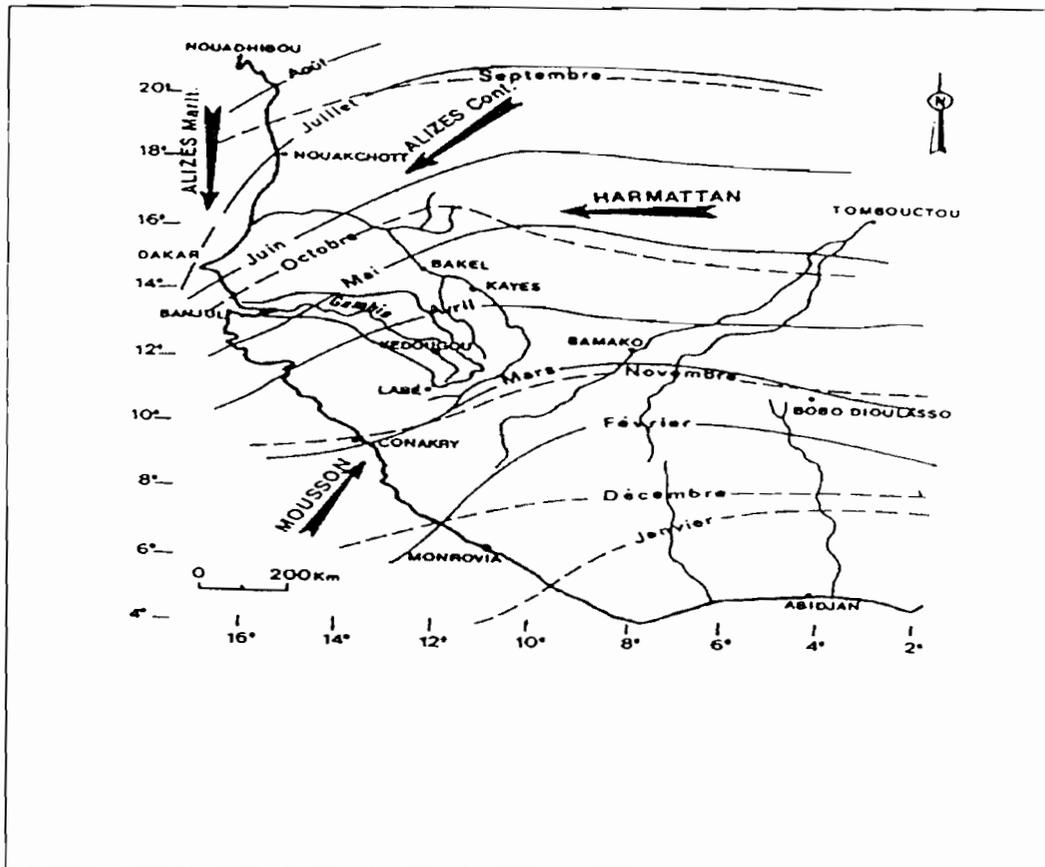


Figure 17 – Les déplacements du front intertropical pendant l'année (MICHEL, 1973)

De novembre à mai, le F.I.T. se situe au Sud du 12<sup>ème</sup> parallèle Nord. Le flux d'air tropical sec et très chaud véhiculé par l'harmattan de secteur Est - Nord - Est prédomine sur l'ensemble du bassin. L'harmattan est parfois précédé par des alizés de natures différentes suivant leur parcours continental ou océanique. L'alizé maritime est de secteur Nord et intéresse la Gambie maritime et estuarienne. Il est frais et humide à cause de son parcours océanique, puis il se réchauffe et s'assèche lors de son passage sur le continent : on dit qu'il se continentalise.

Entre mars et juin, le F.I.T. suit sa progression vers le Nord et les masses d'air tièdes et humides provenant du Sud s'enfoncent sous l'air sec et surchauffé provenant des vents d'harmattan. La fin de cette période marque le début de la saison pluvieuse (mai à octobre) dont la première partie est caractérisée par des tornades violentes qui se déplacent en lignes de grains orageux d'est en ouest (LEROUX, 1987).

Le F.I.T. atteint sa position la plus septentrionale en août, mois qui correspond au maximum pluviométrique dans toutes les stations du bassin. Au mois de septembre, il entame un retrait rapide vers le Sud suivi d'une décroissance de la quantité de pluie sur le bassin. Le bassin de la Gambie sera entièrement situé au Nord du F.I.T. en Novembre, mois qui coïncide avec le début de la saison sèche.

Le balancement annuel Nord - Sud du F.I.T. aboutit à l'apparition de deux saisons contrastées : une saison pluvieuse et une saison sèche. Les caractéristiques climatiques propres à chaque saison dépend de la qualité du réseau d'observations météorologiques présent sur le bassin et dans son pourtour immédiat.

#### 1.4. réseau climatologique

Le bassin de la Gambie est instrumenté par plusieurs stations pluviométriques et deux stations synoptiques (Kédougou et Tambacounda). Le réseau pluviométrique très récent et très lacunaire (Tableau 5) se caractérise par son inégale répartition spatiale. Il est très dense le long de la Sandougou, très discontinu et irrégulier au centre (de Missirah à Simenti) et quasi-inexistant à l'Est et au Sud-Ouest du bassin (Figure 18).

Cette inégale répartition géographique des stations est à l'origine de la présence de zones où les précipitations sont mal connues. Il se pose aussi un problème de qualité et d'homogénéité. Le service de la météorologie nationale demeure cependant le principal gestionnaire de données pluviométriques et météorologiques. Pour des besoins propres en particulier en agronomie, la SODEFITEX et l'ISRA gèrent des stations pluviométriques. L'ORSTOM a également collecté des données sur des périodes d'observations de bassin versant.

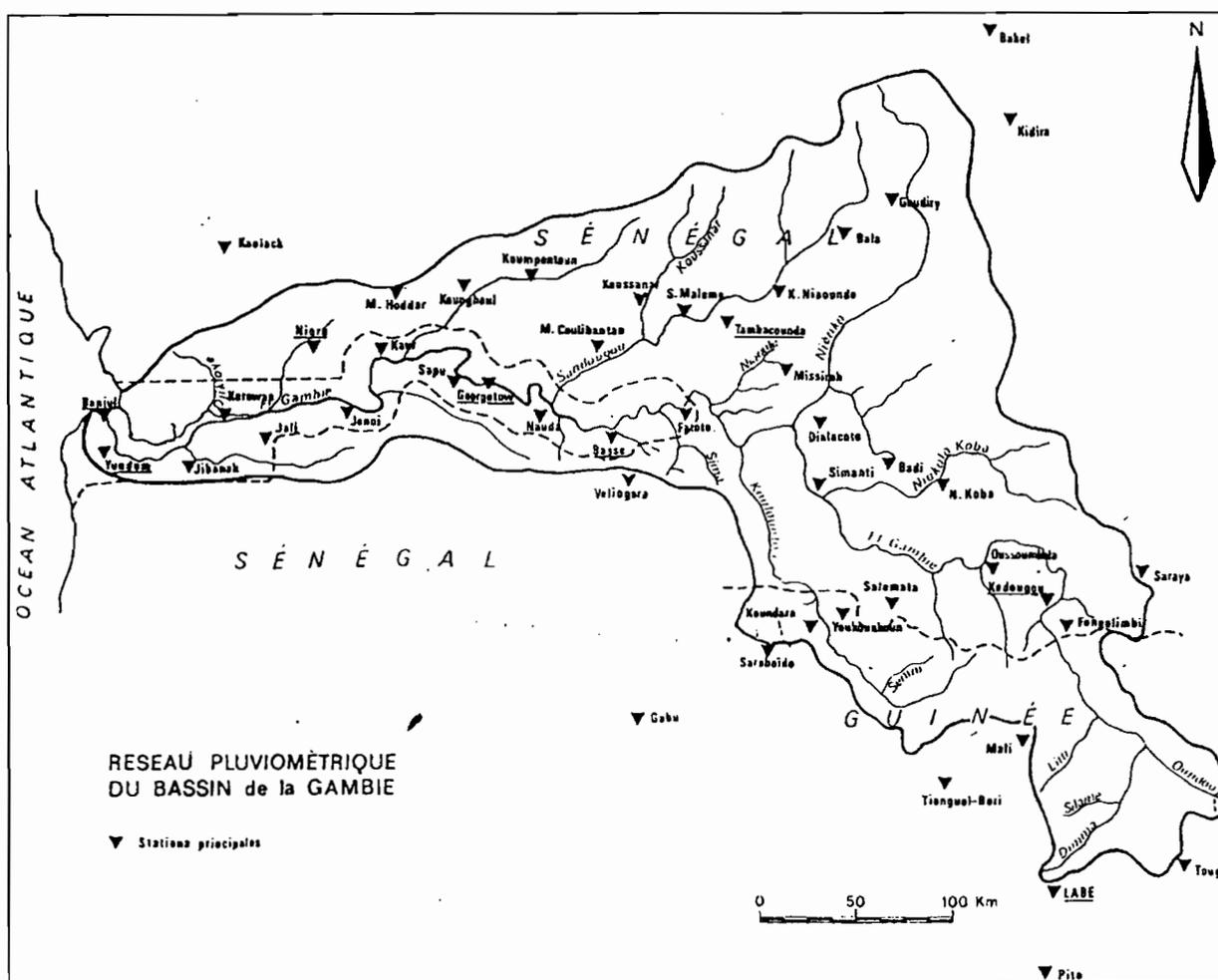


Figure 18 – Carte du réseau pluviométrique

Le Tableau 5 donne les caractéristiques des principaux postes pluviométriques et climatologiques qui influence la zone d'études.

*Tableau 5 : Stations pluviométriques du bassin d'étude*

Stations	Coordonnées			Périodes observées et Etats des Stations	Types Stat <sup>o</sup>
	Lat.(N)	Long ( )	Alt.(m)		
Kédougou	12°34	12°13	178	depuis 1918, série complète depuis 1922. sauf de 1958 à	SP
Fongolimbi	12°25	12°01	396	Depuis 1963, quelques lacunes	P
Saraya	12°47	11°47	186	1948 quelques lacunes	P
Oussoukalla	12°43	12°23	93	depuis 1963 lacunes en 66, 67, 68	P
Salémata	12°38	12°50		depuis 1973	P
Niokolo - Koba	13°03	12°45		1972	P
Badi	13°08	13°06		1973	P
Dialacoto	13°19	13°18	50	1920 beaucoup de lacunes	P
Missirah	13°33	13°31	45	1963 incomplet	P
Vélingara	13°09	14°06	38	1932 années i en 1933, 58, 59, 60, 61	P
Tambacounda	13°46	13°41	49	1919 années i incomplètes e e	SP
Kotiari - Naoudé	13°53	13°27	27	1963 beaucoup de lacunes	P
Bala	14°01	13°10	61	1962 manques 62, 63, 65, 66, 72	P
Goudiri	14°11	12°43	59	1940 bonne station	S
Koussanar	13°52	14°05	17	1962	P
Koumpéntoum	13°59	14°33	18	1939 lacunes en 1949, 58, 59, 60, 61	P
Koungheul	13°58	14°50	11	1931 bonne station	P
Maka - Coulibanta	13°40	14°18	18	1930 beaucoup de lacunes	P
Nioro du Rip	13°44	15°57	18	1931 années incomplètes 1951, 52, 59, 60, 61	S
Malème - Hodar	14°05	15°18	41	1963 lacunes	P
Kidira	14°28	12°13	35		S
Bakel	14°54	12°27	20		S

SP = Station synoptique principale ; S = Station synoptique secondaire ; P = poste pluviométrique

### 1.5. Sources et état des Données

Les données relatives au climat proviennent du recueil des pluviométries journalières ORSTOM/CIEH pour la période allant de l'origine des stations à 1980. Ces données seront complétées par les originaux disponibles au niveau du service de la Météorologie Nationale pour la période 1981-1994. La donnée de base est la pluie journalière. Les observations recueillies portent sur 22 stations (Tableau 5). En fonction de la durée des périodes d'observation, on peut distinguer sur le bassin deux générations de stations :

- les stations de Bakel, Kédougou, Kidira et Tambacounda observées en continu depuis 1918 ;
- les autres stations, plus récentes installées après 1960 présentent des relevés discontinus et lacunaires.

## 2. ANALYSE DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Les grands traits climatiques du bassin sont dégagés à partir des données des stations synoptiques de Kédougou et Tambacounda. La très forte répartition temporelle et spatiale des paramètres du climat dans la région est en grande partie due à la continentalité (l'éloignement par rapport à la mer).

## 2.1. Les facteurs thermiques

L'évapotranspiration potentielle a été calculée suivant la formule de PENMAN. Les paramètres climatiques permettant d'effectuer ces calculs sont mesurés au niveau des stations climatologiques de Kédougou et Tambacounda.

La Figure 19 donne l'évolution mensuelle de la température moyenne ( $T_m$ ), de l'évaporation ( $Ev$ ), de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et de l'humidité relative moyenne ( $H_{rm}$ ) aux 2 stations). L'évolution saisonnière de l'évaporation Piche (mesurée) et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) est similaire.

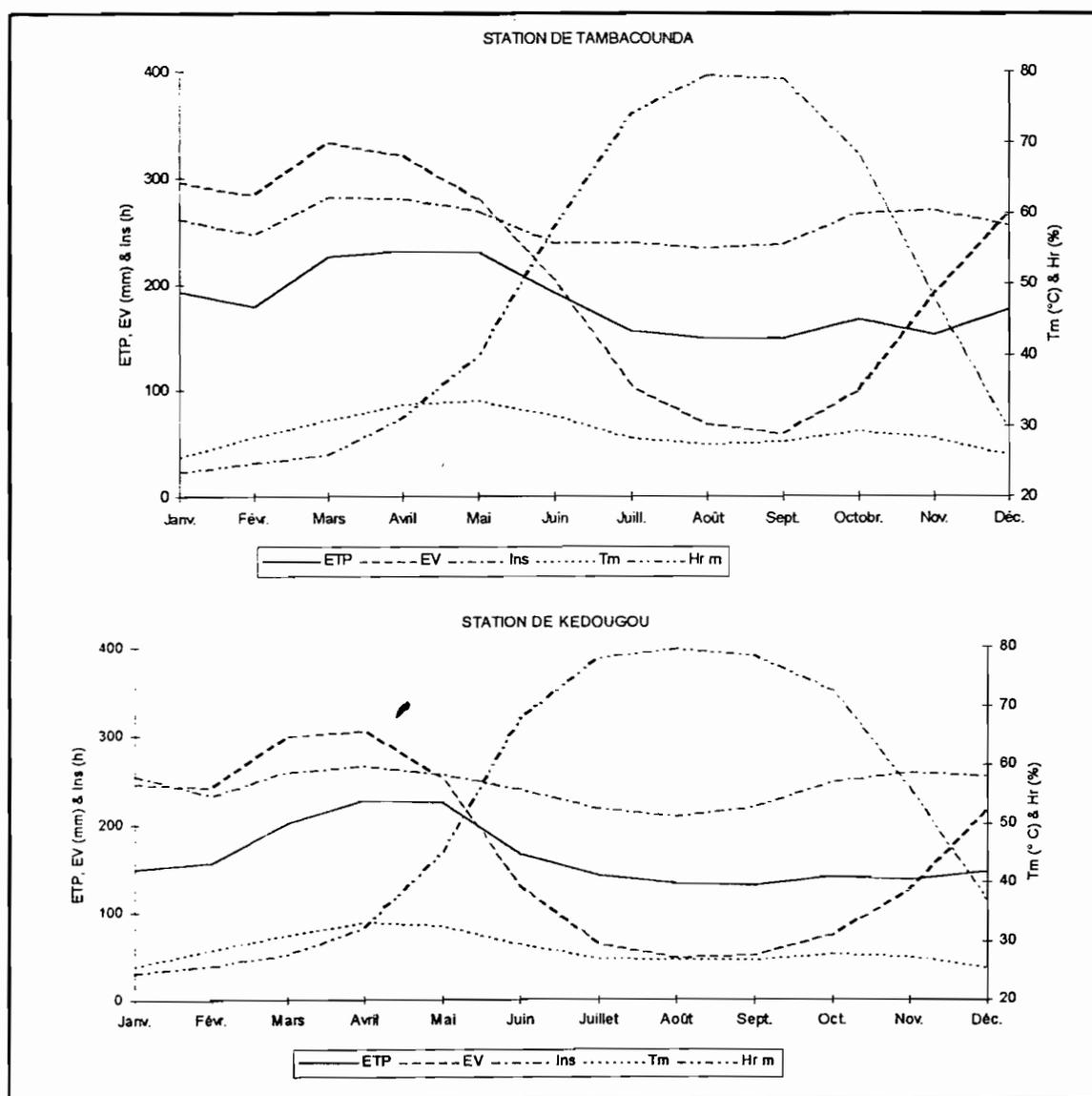


Figure 19 – Evolution mensuelle de la température moyenne  $T_m$ , de l'évaporation ( $Ev$ ), de l'évapotranspiration (ETP) et de l'humidité relative moyenne ( $H_{rm}$ ) aux deux stations

## 2.1.1. Les températures

L'évolution des températures est analysée à partir des valeurs caractéristiques moyennes mensuelles, présentées dans le Tableau 6.

*Tableau 6. Températures moyennes en °C aux stations du bassin (Période 1981-1994)*

Stat.° \ mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
<b>KEDOUGOU</b>													
T <sub>x</sub>	33.8	36.9	38.6	40.2	38.9	34.9	31.6	31.6	32.1	33.8	35.1	33.9	35.1
T <sub>n</sub>	18.0	20.1	23.6	26.4	26.4	24.1	22.4	21.8	21.6	21.8	19.6	17.1	21.9
T <sub>m</sub>	25.88	28.49	31.09	33.27	32.63	29.52	26.98	26.72	26.86	27.77	27.35	25.52	28.5
<b>TAMBACOUNDA</b>													
T <sub>x</sub>	37.8	39.9	41.5	42.2	43.0	40.9	36.4	34.5	35.7	38.7	39.1	38.0	39.0
T <sub>n</sub>	14.2	16.4	19.2	22.2	23.3	21.2	20.5	20.5	20.3	19.8	15.5	13.7	18.9
T <sub>m</sub>	25.5	28.4	30.8	33.1	33.4	31.5	28.2	27.5	27.7	29.2	28.3	25.9	29.1

Les valeurs de températures maximales moyennes mensuelles les plus élevées sont supérieures à 40°C et situées dans la dernière partie de la saison sèche (Tableau 6). Observée à Kédougou au mois d'avril (40.2°C), la température maximale sera légèrement décalée vers le mois de mai à Tambacounda (43°C). Cet accroissement est lié à la poussée des vents d'harmattan. Les températures sont minimales en décembre ou janvier (17.1°C à Kédougou, 13.7°C à Tambacounda). Ensuite elles se relèvent pour atteindre leurs valeurs maximales en début de saison pluvieuse (mai).

Les valeurs maximales des températures moyennes mensuelles sont observées en Avril - Mai et les valeurs minimales, en Décembre - Janvier. La fin de la saison des pluies (Octobre) est marquée par une légère remontée des températures moyennes mensuelles qui sont de l'ordre de 27.8°C à Kédougou, 29.2°C à Tambacounda.

La Figure 19 montre que la tendance est à l'accroissement des températures moyennes mensuelles du Sud vers le Nord du bassin entre les mois d'Avril et Novembre. La clémence des valeurs de Kédougou par rapport à Tambacounda est certainement liée à l'altitude des stations.

## 2.1.2. L'insolation moyenne et les vents

Les données disponibles sur l'ensoleillement, la vitesse et l'orientation des vents dominants sont consignées dans le Tableau 7. Toutes les stations enregistrent leurs périodes d'ensoleillement maximum en saison sèche (Novembre à Avril) et leurs périodes minimales en saison pluvieuse (Figure 19, Tableau 7).

*Tableau 7 : Moyennes mensuelles de l'Evaporation et de l'Insolation*

St\Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
<b>KEDOUGOU</b>													
Évp	246.5	242.0	299.2	305.8	252.2	129.6	63.9	48.3	50.8	74.2	124.0	214.6	170.9
Insol.	254.7	232.4	259.4	264.8	256.8	240.0	217.8	208.5	218.2	247.0	257.8	253.4	242.5
Vent: vitesse	1.1	1.1	1.7	2.6	3.2	2.3	1.5	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.6
direction	NE	NE	NNE	NE	WSW	WSW	WSW	WSW	WSW	NS	N	NE	WSW
<b>TAMBACOUNDA</b>													
Évp	296.1	284.2	333.8	321.0	280.8	204.0	104.2	68.4	59.5	99.7	190.2	267.3	209.1
Insol.	260.9	246.5	281.4	280.1	269.3	238.9	239.1	234.5	237.9	267.3	270.0	255.4	256.8
Vent: vitesse	3.6	3.0	3.0	2.7	2.8	2.6	2.0	1.7	1.0	1.8	1.0	2.5	2.3
direction	E	NE	NE	NE	W	W	WSW	WSW	WNW	W	ENE	ENE	NE

Le régime des vents fait alterner des vents de secteur Est à Nord - Est en saison sèche (Harmattan) et des vents de secteur Sud à Sud - Ouest en saison des pluies (Mousson). Les vitesses moyennes sont faibles (2 à 4 m/s) et présentent une variation spatio-temporelle. Etroitement liées aux saisons, les vitesses moyennes sont plus faibles en saison pluvieuse qu'en saison sèche et elles augmentent du Sud vers le Nord du bassin (1.6 m/s à Kédougou) et (2.2 m/s à Tambacounda). Les vitesses maximales sont enregistrées au mois de Mai avec 2.8 m/s à Kédougou et 3.2 m/s à Tambacounda. Cet accroissement momentané est à mettre en rapport avec les situations géographiques des bassins de référence.

### 2.1.3. Humidité relative

Le Tableau 8 présente les valeurs caractéristiques de l'humidité relative et la Figure 19 montre leur évolution spatio-temporelle sur le bassin.

*Tableau 8 : Humidités Relatives en % dans le bassin de la Gambie (1981-1994)*

St \ Mois	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
<b>KEDOUGOU</b>													
HRx	39.2	40.2	42.5	49.7	64.9	88.3	95.8	97.2	97.7	96.4	85.5	60.0	71.5
HRn	10.3	11.6	13.2	14.8	25.0	47.2	60.8	62.5	59.8	49.0	26.2	13.5	32.8
HRm	24.7	25.9	27.8	32.2	45.0	67.8	78.3	79.9	78.7	72.7	55.8	36.8	52.1
<b>TAMBACOUNDA</b>													
HRx	35.6	37.4	39.8	47.5	58.3	78.6	92.9	97.2	98.4	96.9	75.8	44.5	66.9
HRn	11.6	12.0	12.2	14.9	21.4	37.6	55.1	61.8	59.6	39.9	20.1	13.6	30.0
HRm	23.6	24.7	26.0	31.2	39.8	58.1	74.0	79.5	79.0	68.4	47.9	29.1	48.4

Les valeurs de l'humidité relative moyenne sont sensiblement égales à Kédougou et à Tambacounda avec cependant un léger relèvement pour Kédougou. Ceci en raison d'une part, des précipitations plus abondantes à Kédougou et d'autre part, de l'altitude qui abaisse la température.

Les valeurs maximum de l'humidité relative moyenne sont enregistrées en août dans les deux stations Kédougou (79.9 %) et Tambacounda (73). Les moyennes mensuelles minimales situées en Janvier sont de l'ordre de 24.7 % à Kédougou, 23.6 % à Tambacounda.

L'humidité relative moyenne présente toujours des valeurs supérieures à 50 % durant la saison pluvieuse. Le tableau 26 et la figure 23 reflètent bien cette situation en faisant apparaître : six mois à Kédougou (Juin à Novembre) et cinq mois à Tambacounda (Juin à Octobre).

## 2.2. La pluviométrie

### 2.2.1. Pluviométrie interannuelle

Un ajustement de onze lois a été réalisé sur 77 valeurs à la station de Kédougou et sur 74 valeurs à la station de Tambacounda. La loi qui s'ajuste le mieux au sens du test de BRUNET - MORET (1969) a été retenue pour chaque station. Nous avons réalisé l'ajustement des pluies annuelles au niveau des deux stations de référence. Les valeurs de récurrence sont présentées dans les tableaux 27 et 28.

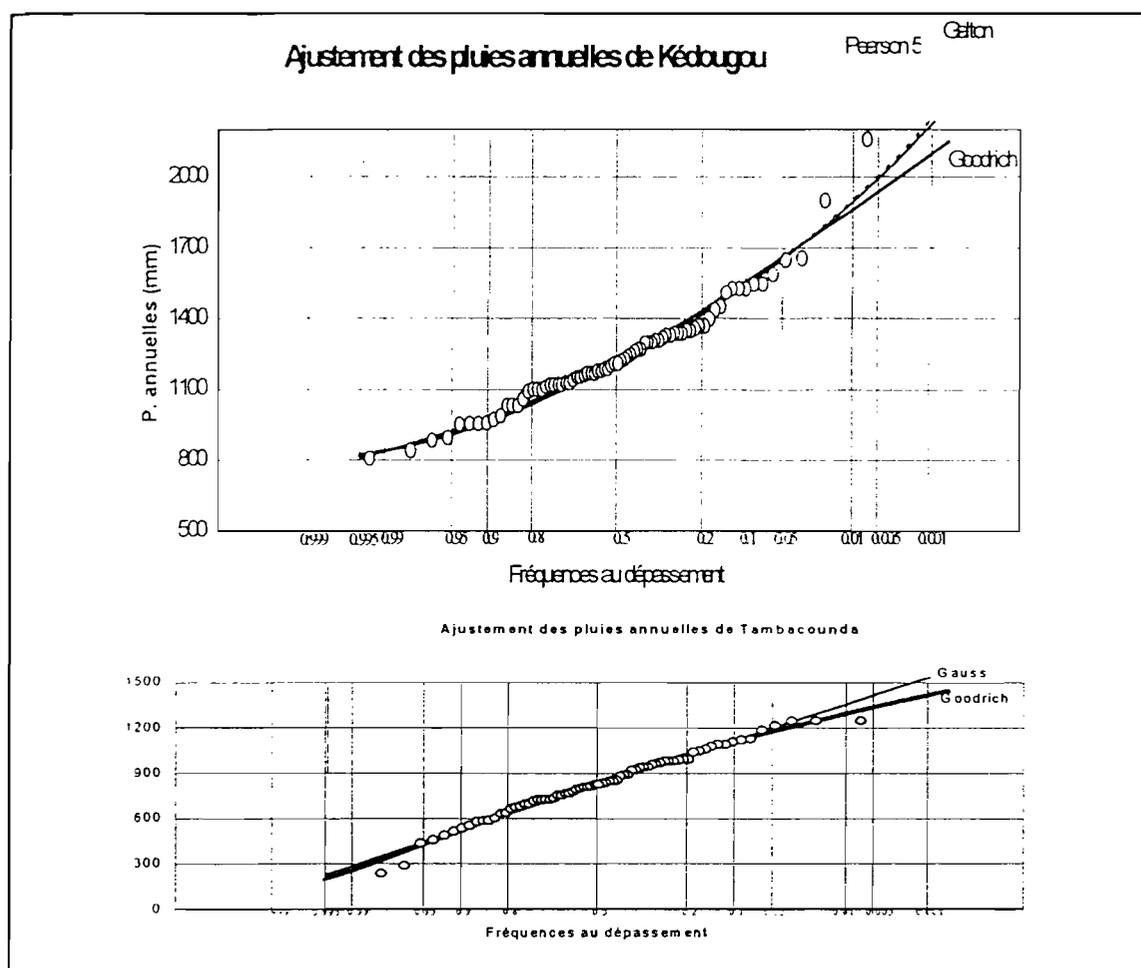


Figure 20 – Ajustement des pluies annuelles aux deux stations de référence

Tableau 9 : Ajustement de la loi de Pearson 5 aux précipitations annuelles à Kédougou (77 valeurs)

Kédougou	Années humides					Médiane	Années sèches					K*
Probabilité	0.99	0.98	0.95	0.9	0.8	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	1.52
Réurrence(an)	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Précipitation(mm)	1903	1801	1660.5	1546	1419	1208.09	1031.3	950.3	888.6	824.1	783.9	

Tableau 10 : Ajustement de la loi de Goodrich aux précipitations annuelles à Tambacounda (74 valeurs)

Tambacounda	Années humides					Médiane	Années sèches					K*
Probabilité	0.99	0.98	0.95	0.9	0.8	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	2.34
Réurrence(an)	100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100	
Précipitation(mm)	1298	1247	1168.2	1094	1000	802.314	584.77	465.88	367.61	259.93	191.55	

La forte pluviosité de Kédougou s'explique par le nombre important d'années humides durant la période ancienne. Par exemple entre 1920 et 1939 on a enregistré sept années où la pluviométrie est supérieure à 1500 mm. L'année 1954 est la plus pluvieuse avec un total de 2160.1 mm qui représente la valeur maximale de la série.

Durant la période de suivi des deux bassins (1974 à 1995), on a observé sur celui du Sili

- trois années proches de la médiane (1975 avec 1271.9 mm, 1984 avec 1222.1 mm et 1986 avec 1177.9 mm) ;
- quatre années nettement déficitaires (1979 avec 958.8 mm, 1982 avec 957.4 mm, 1992 avec 748.3 mm et 1993 avec 935 mm,) ;
- une année excédentaire (1978 avec 1595.3 mm).

A Tambacounda (1972 à 1995), trois années sont proches de la médiane (1975 avec 892.9 mm, 1986 avec 766.8 mm, 1989 avec 755.7 mm. Plus de la moitié de la série est rangée dans la période sèche avec des valeurs extrêmes, enregistrées :

- au début des années 70 avec 632.7 mm en 1972, 602.3 mm en 1977 ;
- le début des années 80 avec 457.4 mm en 1982, 488.7 mm en 1983, 590.1 mm en 1984 et 553.7 mm en 1985 ;
- enfin le début des années 90 avec 675.6 mm en 1991, 576.7 mm en 1992, 433.8 mm en 1993 et 140.2 mm en 1995 ;
- seule l'année 1994, reste franchement excédentaire avec une valeur de 1055.6 mm.

Au niveau des deux stations, les années humides sont peu représentatives. Les extrapolations et les calages des modèles seront donc plus fiables pour les années sèches et moyennes que pour les années excédentaires.

La figure suivante compare la pluviométrie annuelle sur les bassins du Sili et du Niaoulé aux postes pluviométriques voisins pour la durée de l'étude.

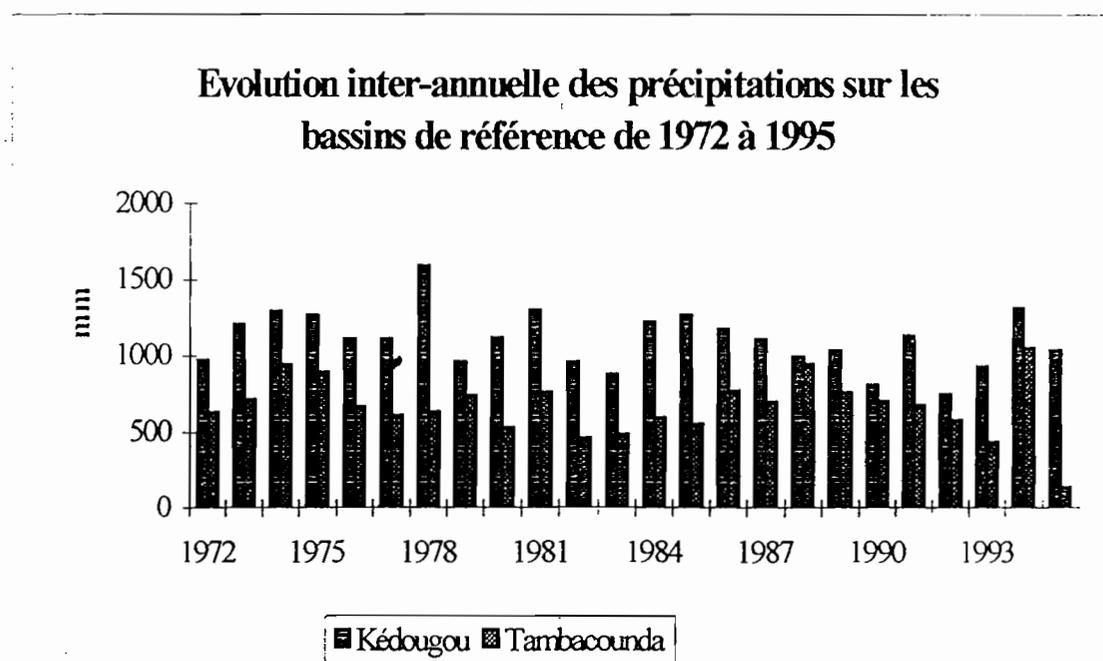


Figure 21- Evolution inter - annuelle des précipitations sur les bassins de référence de 1972 à 1995

## 2 2.2. Pluviométrie mensuelle

La répartition pluviométrique mensuelle est typiquement celle du climat Soudano-guinéen. La saison des pluies débute au mois de Mai et se termine au mois d'octobre. Les mois les plus pluvieux sont généralement juillet, août et septembre. Le maximum se situe toujours durant ces trois mois (Figure 22).

### Répartition des pluies mensuelles de 1972 à 1995

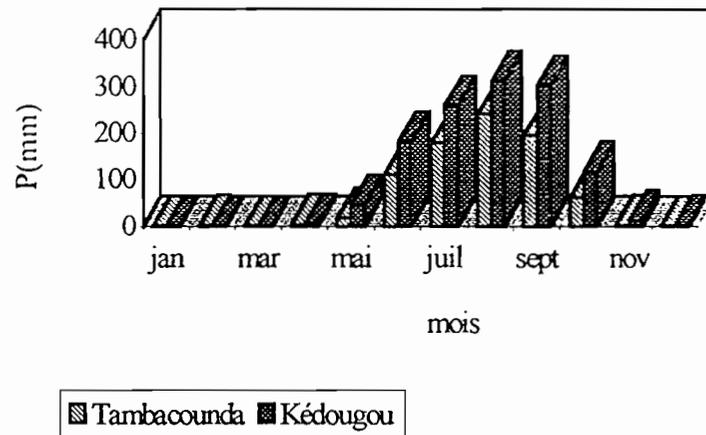


Figure 22– Répartition des pluies mensuelles de 1972 à 1995.

La saison des pluies dure environ six mois (mai à octobre) à Kédougou avec 96 % des précipitations annuelles et cinq mois à Tambacounda avec 97 % des précipitations de juin à octobre. Plusieurs lois ont été appliquées pour ajuster les pluies mensuelles et les meilleures au sens du test de BRUNET - MORET ont été retenues par mois. Nous présentons ci-dessous l'ajustement des lois aux pluies du mois de septembre au niveau des différentes stations (Figure 23). Ceux effectués sur les cinq autres mois sont présentés en annexe 1.

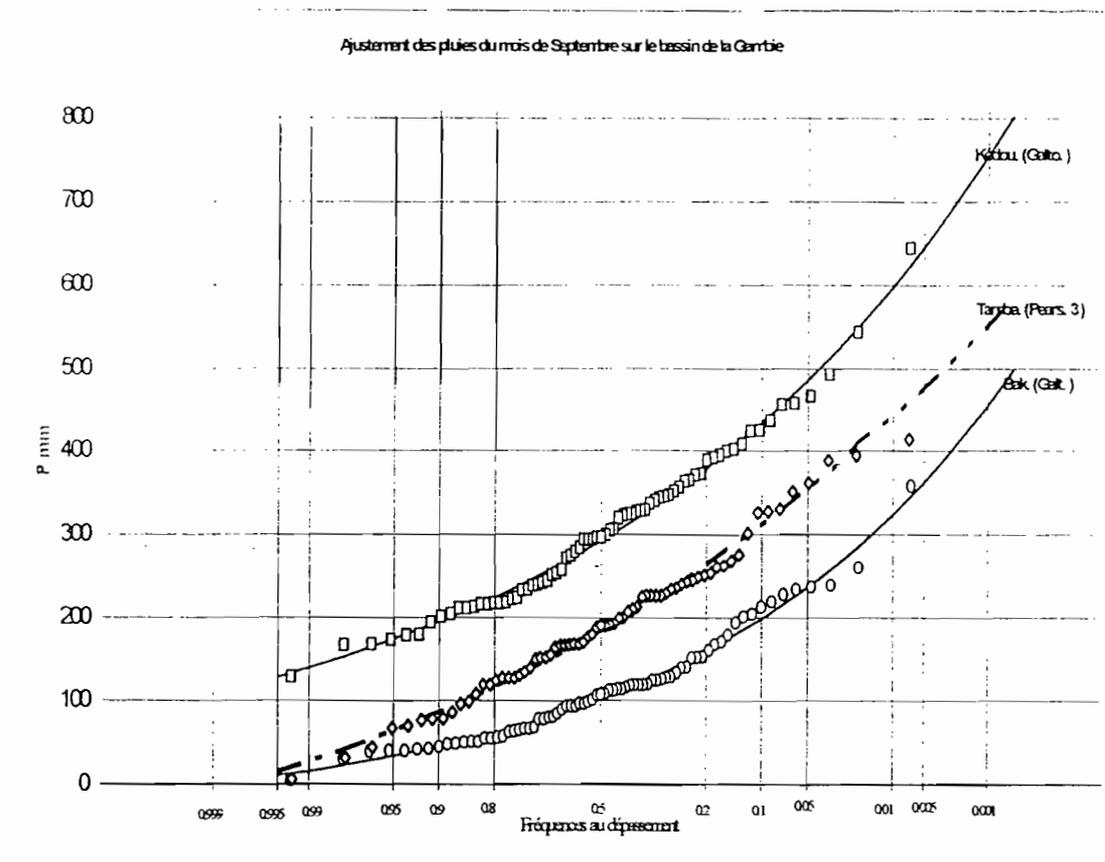


Figure 23– Ajustement des pluies du mois de septembre aux différentes stations de l'étude.

### 2.2.3. La pluviométrie journalière

Le pas de temps journalier est l'information de base des chroniques de précipitations. Il représente un paramètre déterminant dans l'étude et le calcul des crues qui se forment sur les petits bassins versants de la Gambie.

L'analyse statistique a été réalisée sur les pluies journalières de 1972 à 1995 à Tambacounda et de 1974 à 1995 à Kédougou. Au cours de cette analyse, nous avons tenu compte de toutes les averses supérieures à 5 mm. C'est la loi de Pearson 3 tronquée qui s'ajuste le mieux aux échantillons de Kédougou et la loi Gausso - logarithmique tronquée à ceux de Tambacounda. Les résultats sont consignés dans le Tableau 11. Les deux stations présentent les mêmes caractéristiques. Par exemple, l'averse de fréquence médiane est respectivement de 91.6 mm à Kédougou et de 86 mm à Tambacounda ; l'averse de période de retour décennale est de 131 mm à Kédougou et de 128.5 mm à Tambacounda.

Tableau 11 : Hauteur des précipitations journalières pour divers temps de récurrence

Stations	Nombre d'années	Nombre moyen de jours de pluie par an	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans
Kédougou	39	74	77.1	91.6	113.5	131	150.5
Tambacounda	37	67	69.7	86	109	128.5	150

Ces pluies se présentent sous deux formes caractéristiques suivant qu'elles proviennent des lignes de grains ou de la mousson. Les lignes de grains donnent des tornades violentes à fortes intensités tandis que la mousson génère une averse plus longue et moins violente.

### 2.3. Le déficit hydrique

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est calculée selon la formule de PENMANN. La moyenne annuelle est de l'ordre de 163 mm à Kédougou et d'environ 173 mm à Tambacounda.

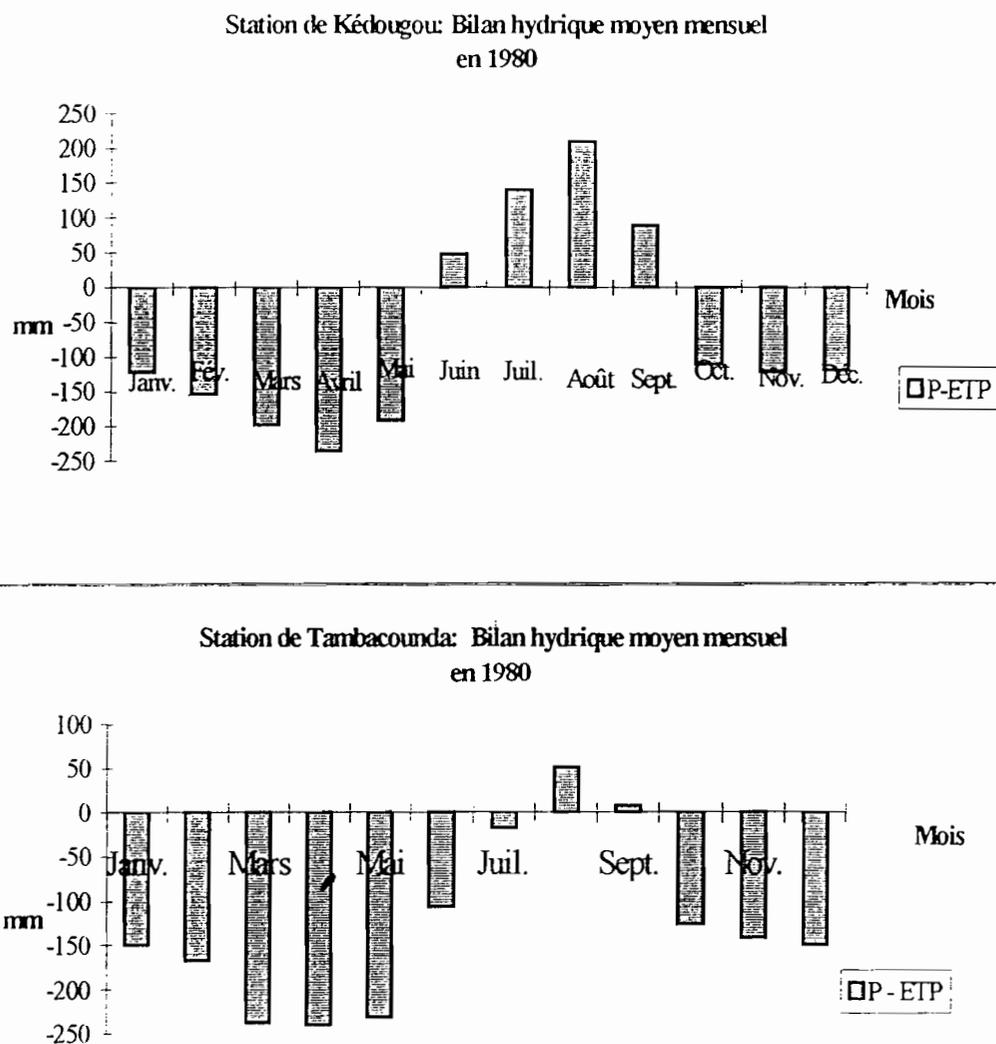


Figure 24 – Bilan hydrique moyen en 1980.

Le bilan hydrique est positif pendant quatre mois à Kédougou (Figure 24) et deux mois seulement à Tambacounda.

### 3. L'HYDROLOGIE DU BASSIN DE LA GAMBIE

Le bassin de la Gambie à l'image de « toute la zone soudano-sahélienne », enregistre ses premières pluies en début d'hivernage ( Mai ) et ses dernières pluies en novembre. Il en ressort une nette inégalité dans la répartition des eaux en fonction des saisons qui seront bien caractérisées sur les bassins de référence. Les pluies sont violentes en général mais de courte durée. Elles exercent une forte influence sur les cultures vivrières et contribuent à la formation des crues des petits affluents de la Gambie.

#### 3.1. Réseau hydrométrique

Le bassin de la Gambie est contrôlé par 56 stations hydrométriques dont 7 en Guinée, 25 au Sénégal et 24 en Gambie. Il y a une forte concentration des stations dans les parties sénégalaise et gambienne du bassin (Figure 25). Les premières mesures hydrométriques effectuées sur la Gambie datent de 1953 à la station du pont Gouloumbou. Les données hydrométriques proviennent de la banque de données du laboratoire d'hydrologie. Elles ont été complétées à la division des études hydrologiques (Ministère de l'hydraulique).

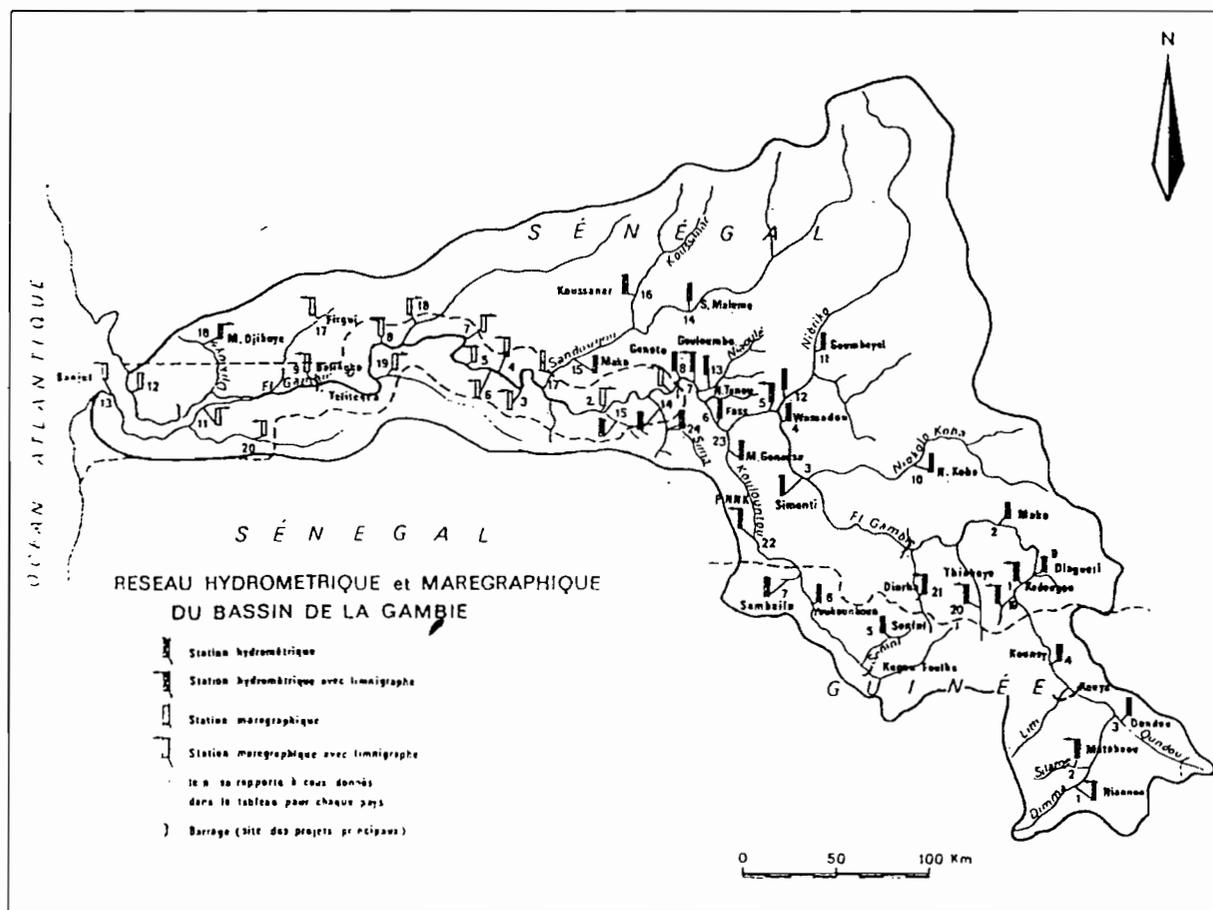


Figure 25 – Réseau de stations hydrométriques et marégraphiques du bassin de la Gambie

Le suivi hydrologique de la Gambie a réellement débuté à partir des années 1970, suite à l'installation des stations hydrométriques sur les cours moyen (Sénégal) et aval (Gambie). Cet effort d'équipement sera étendu au bassin amont (Guinée) à partir de 1975, période qui correspond à l'ouverture de la plupart des stations hydrométriques sur le bassin. La décennie suivante a vu apparaître les premiers travaux monographiques sur la Gambie (LO 1984, GAC *et al.*, 1987, LAMAGAT *et al.*, 1990).

Plus tard dans les années 1990, le Laboratoire de Télédétection de l'Université CHEIKH ANIA DIOP DE DAKAR a mis sur pied un programme de recherches et d'études axé sur la maîtrise et la gestion des eaux de surface du bassin de la Gambie. C'est dans ce contexte que seront réalisés des monographies sur la Gambie et ses principaux affluents du cours moyen (COLY 1991, DIOUF 1991, SAGNA 1991, KONATE 1992).

Ces travaux précités ont utilisé les données brutes pour une caractérisation du régime hydrologique. Ils présentent également des tentatives de bilan. Cependant tous ont la faiblesse de s'appuyer sur des données souvent trop peu critiquées et toujours très lacunaires. Nous avons utilisé des méthodes statistiques et informatiques récentes (BADER, 1992) pour remédier à ce manque. Les caractéristiques de l'écoulement (KONATE 1993) dont les grands traits sont repris dans ce travail sont analysées sur le bassin de la Gambie à partir des données obtenues par ces méthodes.

### 3.2. Caractéristiques de l'écoulement

Les différents facteurs physiques étudiés dans les chapitres précédents ont été mis en relation avec l'écoulement dans les études antérieures (LO, 1984 ; GAC *et al.*, 1987) et plus récentes ( LAMAGAT *et al.*, 1990 ; KONATE 1993 ; DGRH 1993). L'analyse qualitative (GAC *et al.*, 1987) et quantitative (KONATE 1993) de l'écoulement ainsi que leur évolution est connue grâce à ces travaux qui montrent :

- la variabilité des paramètres caractérisant le régime hydrologique (Tableau 12) en fonction du gradient climatique Nord - Sud ;
- la variabilité spatiale et temporelle des écoulements sur la Gambie à différentes échelles (Figure 26) ;
- un régime hydrologique calqué sur le régime hydrologique (Tableau 13) et ( Tableau 14) ;
- le rôle du substrat géologique sur le bilan hydrologique ;
- un régime de tarissement qui définit deux lois de tarissement pour chaque station (KONATE 1993).

Tableau 12 : Les paramètres caractérisant le régime hydrologique (KONATE 1993)

CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES	STATIONS				
	Kéougou	Mako	Simenti	W. amont	W. aval
S (Km <sup>2</sup> ): Superficie	7550	10450	20500	21200	33500
P (m) Périmètre	490	685	965	1020	1242
Kc Indice de compacité	1.58	1.87	1.89	1.96	1.9
L (m) longueur du rectangle équivalent	209	308	435	464	561
l (m) largeur du rectangle équivalent	36	34	47	46	60
Ig (m/Km) indice global de pente	3.9	2.5	1.62	1.52	1.15
Altitude maximale du bassin (m)	1538	1538	1538	1538	1538
Altitude minimale du bassin (m)	105	75	10	5	5
Pente moyenne du cours d'eau (‰)	4.2	3.2	2.2	2	2
Pente du cours d'eau à la station (‰)	1.1	0.35	0.3	0.09	0.09
CARACTERISTIQUES GENERALES					
Structure géologique	socle+paléozoïque		à la limite du socle	4% decont. terminal	63% socle 37%cont. terminal
Perméabilité	faible			bonne	
Imperméabilité	assez bonne			faible	
Capacité de rétention	assez faible			assez forte	
Couvert végétal	forêt dense dégradée + galeries forestières + forêt claire			forêt dense dégradée +forêts claires + savanes forestières	
Pluviométrie	1231		842.5	810.5	

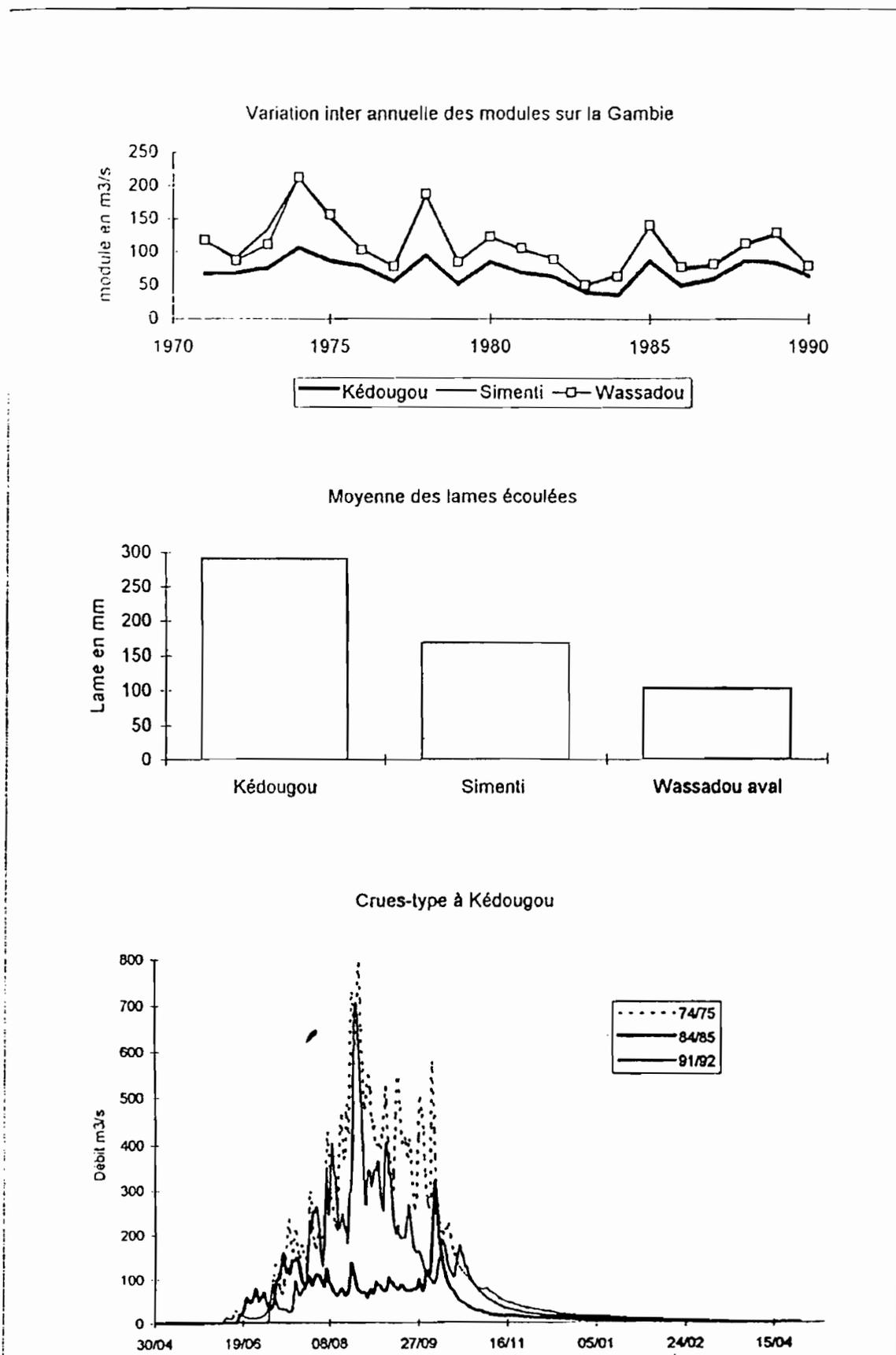


Figure 26— Variation inter - annuelle des modules sur la Gambie (DGRH, 1993)

Les mois de juillet, août, septembre et octobre, concernent 92 % des écoulements à Kédougou ; 93 % à Simenti et à Wassadou amont et aval. Ces valeurs passent environ à 97 % si on ajoute le mois de novembre.

Tableau 13 : Caractéristiques hydrologiques du bassin du fleuve Gambie (KONATE 1993)

Station de contrôle	Kédougou	Simenti	Was. amont	Was. aval
Superficie du B.V. ( Km <sup>2</sup> )	7750	20480	21200	33500
Pluie moyenne annuelle (mm)	1231	842.9	810.5	810.5
Débit moyen annuel (m <sup>3</sup> /s)	68.8	109	109	109
Volume moyen annuel (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	2.17	3.44	3.44	3.44
Débit d'étiage * (m <sup>3</sup> /s)	0.051	0.047	0.621	0.237
Débit de crue ** (m <sup>3</sup> /s)	402	565	639.6	647.2

\* DCE : Débit caractéristique d'étiage non atteint pendant 10 jours dans l'année

\*\* DCC : débit caractéristique de crue atteint pendant 10 jours dans l'année

Tableau 14 : Débits moyens mensuels (m<sup>3</sup>/s) lame d'eau écoulée ( mm) de la Gambie

Période 70-92	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct	Nov	Déc	Le
Kédougou	4.51	1.5	0.367	0.383	8.79	74.8	266	298	129	39.2	16.6	291
Simenti	4.21	1.48	0.49	0.881	7.76	96.6	386	512	233	56.8	21.6	168
Wass. amont	5.52	2	1.01	0.772	6.81	91.8	371	512	248	58.2	22.2	109
Wass. aval	3.9	1.4	0.494	0.351	5.53	88.2	374	515	250	58.2	20.3	103

Les variations inter - mensuels et inter - annuelles exprimées par le Tableau 14 et la Figure 26, très sensibles à la station de Kédougou deviennent moins évidentes à partir de Simenti. Les débits enregistrés sont sensiblement du même ordre de grandeur pour Simenti, Wassadou-amont et aval (Tableau 14).

Le régime de tarissement définit deux lois de tarissement ( $k_1$  et  $k_2$ ) pour chaque station (KONATE, 1993).

La formule généralement adoptée pour le tarissement d'une rivière qui correspond à un débit provenant uniquement de la vidange des nappes et du lit est la suivante :

$$Q(j+n) = Q(j) * e^{(-k)}$$

avec  $Q$  : débit (m<sup>3</sup>/s<sup>-1</sup>)

$j$  : jour

$k$  : coefficient de tarissement (jour<sup>-1</sup>)

$n$  : décalage de temps ( jour )

Les coefficients de tarissement  $k$  ont été calculés dans les quatre stations pour les valeurs suivantes de  $n$  : 30, 20, 15, 10, 5, 2 et 1 (konaté, 1993). Dans chacun des cas, le mode de tarissement varie sensiblement entre basses eaux et très basses eaux, ce qui nous a conduit à calculer deux coefficients de tarissement,  $k_1$  et  $k_2$ .

$k_1$  : correspond à la vidange progressive du (ou des) réservoir(s) du bassin en position haute de la nappe ainsi qu'au ressuyage des sols et petits réservoirs naturels de surface.

$k_2$  plus faible correspond au véritable tarissement c'est à dire la vidange de la nappe alluviale

En valeur absolue, la décroissance du débit est beaucoup plus rapide pour les fortes valeurs de  $k$  et, plus lente pour les faibles valeurs de  $k$ .

Ainsi dans toutes les quatre stations, la vidange des nappes liées à la rivière est beaucoup plus rapide que celle du lit alluvial.

D'autre part, la vidange des nappes liées à la rivière ( $k_1$ ) se fait sensiblement à la même vitesse dans les quatre stations, les valeurs de  $k_1$  sont proches (Tableau 15).

Par contre, la vidange du lit alluvial est beaucoup plus rapide à Wassadou - Amont, Wassadou Aval et Simenti. Ces stations qui présentent les plus fortes valeurs de  $k_2$  (Tableau 15 Etude comparative des coefficients de tarissement dans les stations d'étude) se trouvent dans les mêmes formations géologiques constituées de rhyolites, grauwackes, tufs et roches basaltiques des roches cristallines ou cristallophyliennes susceptibles de renfermer des niveaux aquifères.

La vidange du lit alluvial est très faible à Kédougou avec un coefficient  $k_2 = 0.00155$  liée à la nature géologique des terrains. La rivière traverse des formations totalement imperméables (grés, argilites, sills de dolérites, pélites). La prédominance de ces roches limite l'infiltration et ralentie la constitution de nappes à Kédougou qui est pourtant une région très arrosée.

**Tableau 15 : Etude comparative des coefficients de tarissement dans les stations d'étude**

STATIONS	coefficients de tarissement	
	$k_1$	$k_2$
Kédougou	0.058	0.0155
Simenti	0.052	0.0255
Wass. amont	0.074	0.0208
Wass.aval	0.0685	0.0285

Les tableaux 2, 3 et 4 mettent en parallèle les caractéristiques des bassins versants et celles de l'écoulement, ce qui permet de dégager le régime hydrologique de la Gambie au niveau de ces stations.

### 3.3. Un régime hydrologique calqué sur le régime pluvial

Les essais de caractérisation du régime hydrologique du fleuve Gambie existent dans la littérature scientifique (LO, 1984 ; GAC *et al.*, 1987 ; LAMAGAT *et al.*, 1990). Ils reposent sur les fluctuations que connaissent la Gambie au cours de l'année.

Lô (1984) a déterminé les périodes de hautes et basses eaux de la Gambie à partir des coefficients mensuels de débit (CMD), appelés encore quotients mensuels de débit. Ils représentent le rapport du module d'un mois considéré ( $Q_i$ ) au module moyen annuel ( $Q$ ).

Lorsque le CMD est supérieur à 1, on est en période de hautes eaux et s'il est inférieur à 1, la période est dite de basses eaux.

*Tableau 16 : Les coefficients mensuels de débit à Quelques Stations du Bassin*

STATIONS	PERIODE	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Avr.	R
Kédougou	1970-1981	0.01	0.15	1.05	3.72	4.2	1.77	0.57	0.24	0.13	0.07	0.01	840
Mako	1970-1981	0	0.13	1	3.65	4.39	1.82	0.57	0.23	0.11	0.05	0	2195
Simenti	1970-1981	0	0.07	0.89	3.65	4.51	1.99	0.53	0.18	0.07	0.03	0	9020
Wassadou - amont	1970-1981	0.03	0.06	0.84	3.5	4.48	2.16	0.56	0.2	0.09	0.04	0.01	1493
Gouloumbou	1970-1981	0.02	0.09	0.73	3.15	4.28	2.5	0.73	0.25	0.09	0.05	0.02	214
Niolo-pont	1970-1981	0.01	0.21	1.17	4.12	4.56	1.42	0.22	0.03	0.01	0	0	∞
Tiokoye-pont	1971-1981	0	0.14	1.13	3.49	4.76	1.88	0.4	0.12	0.04	0.01	0	∞
Niaoule-tanou	1972-1981	0.06	1.67	3.17	3.32	3.27	0.27	0.06	0.02	0.01	0	0	∞

(source : LO, 1984)

Le régime combine : une période de hautes eaux qui dure quatre mois de Kédougou à Mako (juillet à octobre) et trois mois (août à octobre) en aval de Mako (Tableau 16) ; une période de basses eaux qui varie de 8 mois entre Kédougou et Mako et 9 mois en aval de Mako.

Pour mettre en évidence les grandes fluctuations des valeurs autour du module moyen mensuel et le manque de pondération des régimes tropicaux. LO (1984) a calculé respectivement des coefficients de variation mensuels et du rapport d'immodération R.

Quant à l'irrégularité relative de ces régimes, elle sera envisagée à partir de la répartition statistique des mois du maximum et du minimum de l'écoulement. Les coefficients mensuels de débit calculés sur une période récente (1970-1992) montre que le régime de la Gambie demeure stable depuis 1970 (Tableau 17).

*Tableau 17 : Calcul des coefficients mensuels de débit et des valeurs de R dans les stations de référence*

Période 70-92	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct	Nov	Déc	R
Kédougou	0.066	0.022	0.005	0.006	0.128	1.09	3.87	4.33	1.88	0.570	0.241	866
Simenti	0.039	0.014	0.004	0.008	0.071	0.886	3.54	4.70	2.14	0.521	0.198	1175
Wass. amont	0.051	0.018	0.009	0.007	0.062	0.842	3.40	4.70	2.28	0.534	0.204	671.4
Wass. aval	0.036	0.013	0.005	0.003	0.051	0.809	3.43	4.72	2.29	0.534	0.186	1573.3

(source : KONATE, 1993)

Le régime hydrologique de la Gambie reste toujours tributaire du régime pluviométrique (Figure 2). La période de hautes eaux (quatre mois) se maintient toujours à Kédougou et correspond aux mois les plus pluvieux (juillet, août, septembre et octobre). Le débit maximal est enregistré en septembre et reste toujours décalé d'un mois par rapport au maximum pluviométrique qui intervient au mois d'août.

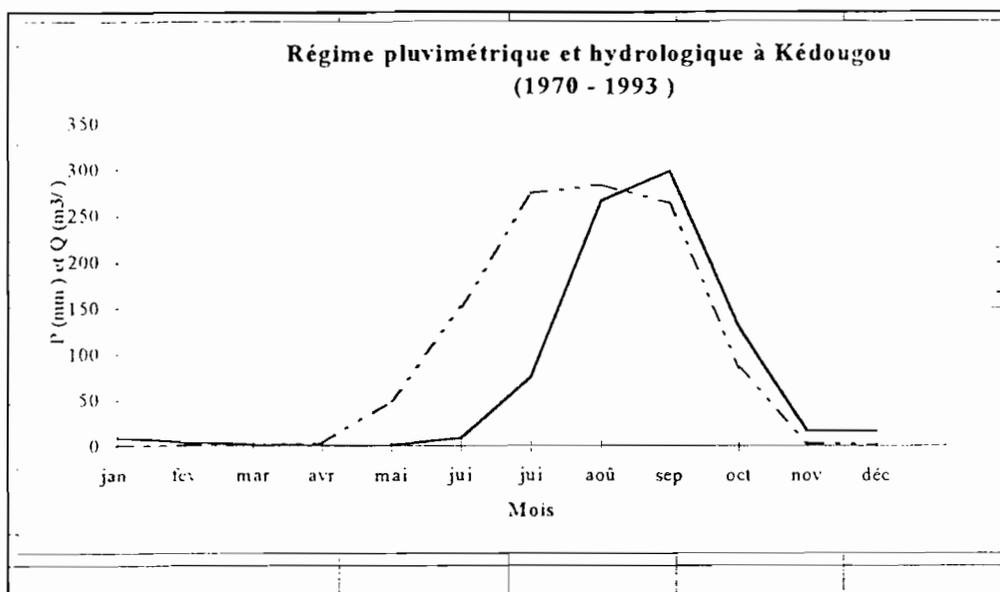


Figure 21 – Régime pluviométrique et hydrologique de la Gambie à Kédougou

Le bassin d'études s'étale sur deux formations géologiques très distinctes et recoupe deux domaines climatiques (nord soudanien et sud soudanien) dont la limite se situe à la latitude de Simenti (LO, 1984). Les caractéristiques de l'écoulement seront dans ces conditions fonction des domaines climatiques et des formations géologiques traversées.

Tableau 18: Les caractéristiques de l'écoulement sur les formations sédimentaires sèches (500 à 900 mm/an de pluie)

Bassin versant	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Pluie (mm)	Le 0.1 (mm)	Le 0.5 (mm)	Le 0.9 (mm)	Qm 0.1 (m <sup>3</sup> /s)	Qm 0.5 (m <sup>3</sup> /s)	Qm 0.9 (m <sup>3</sup> /s)
Sima	495	950	< 0.1	10	25	< 0.1	4	10
Koussanar	2300	900	< 0.1	0.15	0.66	< 0.1	1.05	16
Niaoulé-Tanou	1230	850	< 0.1	5	13	2	6	11
Sandougou	6900	800	< 0.11	0.35	1.08	< 0.1	3	7

Tableau 19 : Les caractéristiques de l'écoulement sur les formations du socle (1000 à 1400 mm/an de pluie)

Bassin versant	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Pluie (mm)	Le 0.1 (mm)	Le 0.5 (mm)	Le 0.9 (mm)	Qm 0.1 (m <sup>3</sup> /s)	Qm 0.5 (m <sup>3</sup> /s)	Qm 0.9 (m <sup>3</sup> /s)
Sili	90	1250	137	202	733	8	21	36
Diarha	760	1250	122	241	467	63	104	156
Thiokoye	950	1250	89	217	380	45	92	128
Diaguéri	1010	1250	62	159	310	23	60	250
Niokolo-Koba	3000	900	11	41	77	30	65	109

(source : DGRH 1993)

La lame d'eau écoulée par les formations du socle est toujours supérieure à celle écoulée par les formations du continental terminal, même pour la même quantité de pluie (Tableau 18) et (

Tableau 19). Le phénomène de ruissellement prédomine sur les formations peu perméables du socle tandis que l'infiltration est de règle sur les formations perméables du continental terminal.

La maîtrise de la lame d'eau écoulée facilite la coordination entre les cultures et les disponibilités en eau. Elle permet aussi de lutter contre l'appauvrissement et la dégradation des sols par les phénomènes de ruissellement et d'érosion. C'est en résolvant ces difficultés que les bassins versants étudiés qui sont des entités physiques peuvent servir de cadres de vie pour les sociétés qui s'adonnent à des activités aussi diverses que l'agriculture, le commerce, le tourisme, etc.

## CHAPITRE III : UNE POPULATION RURALE JEUNE ET DYNAMIQUE

### 1. GROUPES ETHNIQUES ET RELIGIEUX

Le groupe Wolof est composé de Wolof et de Lébou ; celui des Halpoularen est constitué de Foula, de Laobé, de Peulh et de Toucouleur. L'ethnie Mandingue regroupe les Malinké, les Mandingue et les Sarakholé. Les Halpoularen majoritaires dans la région représentent 46,4 % de la population. Ensuite viennent respectivement les Mandingues et les Sarakholés pour 17,4 % et 11,2 %. Les autres ethnies représentent chacune moins de 5 %. Les Halpoularen sont plus nombreux à Tambacounda et les Malinkés plus présents à Kédougou (Tableau 20). Minoritaires, les Sarakholés et les Wolof sont surtout installés à Tambacounda.

Tableau 20 : Répartition de la population selon l'ethnie et par département en (%) (1988)

Ethnies	Kédougou	Tambac.	Ensemble
Poular	41	46.3	46.3
Mandingue	34.2	17.6	25.9
Bambara	0.8	4.1	2.45
Sarakholé	1.8	3.1	2.45
Wolof	1.4	14.4	8.8
Sèrères	0.4	5.6	3
Autres	20.4	8.9	8.9
Total	100	100	100

Les musulmans dominent dans la région (96,3 %) et les 3,7 % restant sont repartis comme suit : chrétiens (2,4 %) et 1,3 % pour les autres composés principalement d'animistes (Tableau 21). Dans cette communauté musulmane, les Tidjanes (56,1 %) sont davantage présents à Tambacounda. Ils sont suivis des Khadir (26,1 %) fortement implantés à Kédougou.

Tableau 21 : Répartition de la population selon les religions et les sectes(1988)

Réligions	Kédougou	Tambac.	Ensemble
Khadir	29.9	26.1	14.075
Layène	0.1	0.2	0.15
Mouride	1.7	12.5	7.1
Tidjane	44	55.5	49.75
Autres musul.	14.6	2.9	8.75
Total musul.	90.3	97.2	93.75
Chrétiens	7.5	1.9	4.7
Autres	2.2	0.9	1.55
Total	100	100	100

## 2. REPARTITION SPATIALE DE LA POPULATION

Les résultats du recensement général de la population et de l'habitat de 1988 créditent la région administrative de Tambacounda d'une population de 395982 habitants représentant 5,7 % de la population du Sénégal. C'est une population autochtone à 97,6 % qui renferme très peu de personnes d'origines étrangères, en majorité composée d'hommes (rapport de masculinité de 128 contre 95 % pour l'ensemble de la population Sénégalaise).

La population étrangère est légèrement plus forte en milieu urbain où elle représente 2,6 %, toutefois on note 2,4 % de population étrangère en milieu rural. Le rapport de masculinité de cette population étrangère est de 126 % en milieu rural contre 138 % en milieu urbain (Tableau 22).

Tableau 22 : Répartition selon la Nationalité, le Milieu de résidence et par Sexe(1988)

Population	Homme		Femme		Total		R M
	Nbre	Pourc.	Nbre	Pourc.	Nbre.	Pourc.	
Pop.Résidente Totale							
Sénégalaise	183868	97.2	192711	97.9	376579	97.6	95
N.Sénégalaise	5275	2.8	4128	2.1	9403	2.4	128
Totale		100	196839	100	385982	100	96
Pop. Résidente Urbaine							
Sénégalaise	29758	97	29428	97.8	59186	97.4	101
N.Sénégalaise	920	3	669	2.2	1589	2.6	138
Totale	30678	100	30097	100	60775	100	102
Pop.Résidente Rurale							
Sénégalaise	154110	97.3	163283	97.9	317393	97.6	94
N.Sénégalaise	4355	2.7	3459	2.1	7814	2.4	126
Totale	158465	100	166742	100	325207	100	95

Le Tableau 22 présente la population du bassin d'étude qui englobe les départements de Kédougou au Sud et de Tambacounda au Nord.

La région de Tambacounda totalise une population évaluée à 395982 habitants dont 270354 habitants vivent dans le bassin d'études. Il en résulte des densités de 6,5 hbts/km<sup>2</sup> pour la région et 5.86 % pour le bassin.

La densité régionale est très faible par rapport à la moyenne nationale (35 hbts/km<sup>2</sup>) mais présente cependant une situation favorable par rapport à la densité du bassin d'études. La faiblesse de la densité du bassin peut être due à l'étalement de celui-ci sur certaines localités de la région de Casamance dépourvues de données démographiques.

Le Tableau 23 illustre la répartition spatiale de la population et la densité dans les départements de Tambacounda et Kédougou. Il montre une concentration de la majorité de la population dans le département de Tambacounda avec 51,7 % alors que Kédougou n'abrite que 18,4 %.

*Tableau 23 . Population du bassin (1988)*

Département	Population		Superficie	Densité
	Nbre	Pourc.	Km <sup>2</sup>	Hbts/Km <sup>2</sup>
Kédougou	71125	18.4	26896	2.64
Tambacounda	199229	51.7	10328	19.3
Ensemble	270354	35.05	37224	7.26

Le poids démographique de Tambacounda est en partie lié à la présence de la capitale régionale. La répartition par sexe de la population indique une certaine homogénéité entre les deux départements ; toutefois l'élément féminin domine à Kédougou tandis qu'il y a quasi équilibre à Tambacounda (Tableau 24).

*Tableau 24 : Répartition de la population par département selon l'âge et le sexe(1988)*

Sèxe	Kédougou		Tambacounda		Ensemble	
	Nbre	Pourc.	Nbre	Pourc.	Nbre	Pourc.
<b>Masculin</b>						
0 - 19	19595	58	58213	58.1	77808	48
20 - 59	13016	38.3	38069	38	51085	38.15
60 et +	1338	3.9	3818	3.9	5156	3.9
Total	33949	100	100100	100	134049	100
<b>Féminin</b>						
0 - 19	20165	54.2	59899	60.4	80118	57.3
20 - 59	15776	42.4	36617	36.9	52393	39.65
60 et +	1235	3.4	2613	2.7	3848	3.05
Total	37176	100	99129	100	136305	100
<b>Ensemble</b>						
0 - 19	39760	56.1	118112	59.25	157926	52.65
20 - 59	30027	40.35	74686	37.45	103478	38.9
60 et +	2573	3.65	6431	3.3	9004	3.475
Total	71125	100	199229	100	270354	100

La répartition par grands groupes d'âge est donnée par le Tableau 24 qui fait ressortir l'extrême jeunesse de la population de la région. Près de 59 % de la population sont âgés de moins de 20 ans. La population en âge d'activité (20 - 59 ans) représente 37 % ; les personnes âgées de 60 ans et plus représentent une proportion relativement faible (3,8 %). Selon les statistiques de la Direction de la Prévision et de la Statistique : au Sénégal Oriental en moyenne 1,6 personnes ne sont pas en âge d'activité (moins de 20 ans et 60 ans et plus).

Il faut noter que la population de Tambacounda est plus jeune (59,3 % de moins de 20 ans) que celle de Kédougou qui compte 56 % . Cette situation favorable de Tambacounda est liée à la forte implantation des établissements scolaires primaires et secondaires.

L'extrême jeunesse de la population de la région explique l'existence d'une pyramide des âges de la population) qui présente une forme "évasée" caractéristique des populations jeunes. Cette allure de la pyramide traduit une fécondité élevée combinée à une mortalité importante surtout aux âges jeunes.

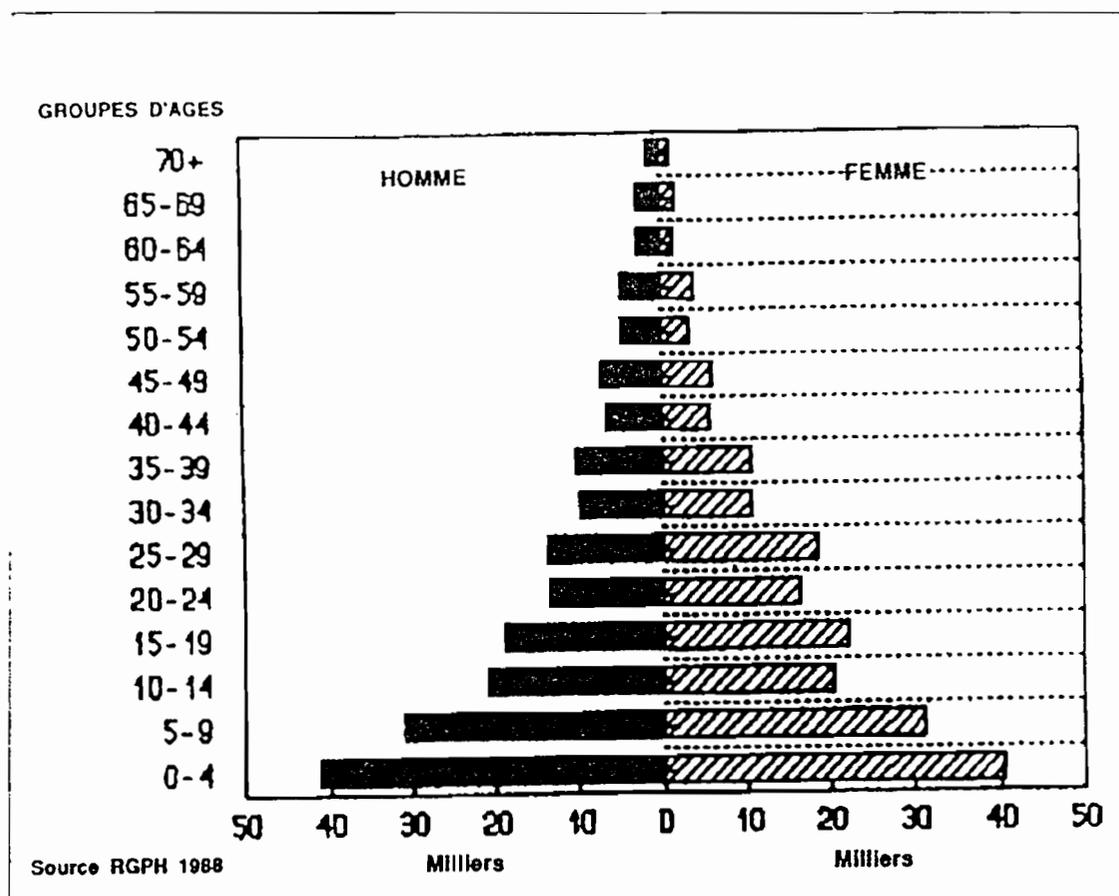


Figure 27 – Pyramide des âges (DSP,1988)

## 2.1. La croissance démographique

Les taux de croissance de la population sont élevés au Sénégal avec 30 - 33 % de moyenne nationale entre 1976 et 1985 ; 38 % pour la région du Sénégal Oriental. Cette hausse s'explique par le croisement d'un certain nombre de paramètres : d'abord, le Sénégal Oriental se distingue par un des taux de fertilité les plus élevés du Sénégal avec 2.8 ‰ par an. Ce pourcentage est une conséquence de la situation matrimoniale des hommes et des femmes.

Dès l'âge de 15 - 19 ans un pourcentage relativement important d'hommes sont polygames (11.8 %) à Kédougou. Ce pourcentage va croître avec l'âge, entre 40 - 44 ans, 40 % des hommes sont polygames dont 48 % à Kédougou et 37 % à Tambacounda. La très grande précocité du mariage et la proportion élevée de polygamie combinée au faible taux de veuvage expliquent la forte croissance des populations (**Erreur! Référence non valide pour un signet.**)

Tableau 25 : Répartition de la population du bassin suivant la situation matrimoniale et l'âge (1988)

Kédougou						
Tranchées d'âges	Célibataire	Marié	Veuf	Autres	Total	Polygamie
15-19	96.2	3.7	0	0.2	100	11.8
20-24	73.4	25.8	0.4	0.4	100	6.8
25-29	78.6	20.1	0.3	1	100	16.6
30-34	15.3	83.5	0.2	1	100	27.6
35-39	5.2	89.8	1	1.1	100	37.1
40-44	3.5	93	1.8	1.6	100	48
45-49	4	92.8	1.8	1.3	100	51.1
50-54	2.9	93.6	2.2	1.3	100	54
55-59	1.8	93	3.7	1.5	100	51.1
60-64	2.8	91.5	4.7	0.9	100	58.1
65-69	0.8	89.6	8.3	1.3	100	53.1
70 et +	1.9	88.1	8.2	1.9	100	46.9
Total	35.9	61.8	1.3	0.9	100	38.1
Effectif	6257	10753	234	161	100	4100
Tambacounda						
Tranchées d'âges	Célibataire	Marié	Veuf	Autres	Total	Polygamie
15-19	93.7	5.5	0.1	0.8	100	4.4
20-24	72.1	26.6	0.1	1.1	100	6.2
25-29	41	56.9	0.5	1.5	100	12.1
30-34	19.5	78.6	0.6	1.3	100	21.4
35-39	10.5	86.2	0.8	2.5	100	28.5
40-44	6.3	90.5	1.2	2	100	36.9
45-49	4.9	92	1.3	1.9	100	39.4
50-54	4.3	92	1.8	1.9	100	43.9
55-59	3.5	91.4	2.7	2.4	100	43.3
60-64	3.4	92.7	2.5	1.5	100	43.7
65-69	3.1	89	5	2.9	100	42.7
70 et +	4.5	83.1	10	2.4	100	35.4
Total	39	58.4	1.1	1.6	100	28.9
Effectif	18980	28428	522	768	48698	8226

## 2.2. Importance des villes

L'urbanisation est un processus qui intéresse l'ensemble du Sénégal ; elle s'opère à des degrés différents suivant les régions. La définition retenue pour le milieu urbain est toute localité ayant le statut de commune. Le Tableau 26 donne le taux d'urbanisation dans le bassin.

Tableau 26 : Taux d'urbanisation sur le bassin de la Gambie (1988)

Département	RGPH 1976		RGPH 1988	
	Effectif	Taux (%)	Effectif	Taux (%)
Kédougou	7723	12.1	10652	15
Tambacounda	25735	19.2	42059	21.1
Ensemble	16729	15.65	42059	18.05

La région de Tambacounda est peu urbanisée (15.7 %), comparativement au taux national 39% mais surtout par rapport à certaines régions comme Dakar (97%) ou Thiès (66 %).

Une forte évolution du taux d'urbanisation est notée dans le bassin entre 1976 et 1988 cet intervalle le taux est passé de 14 % à 16 % soit 2 points d'augmentation. L'écart le plus significatif se rapportant à cette période a été observé à Kédougou avec 3 points.

L'évolution du taux d'urbanisation connaît une croissance soutenue sous l'effet de l'accroissement naturel et des flux migratoires.

## Le Phénomène migratoire

Les immigrants sont au nombre de 8729 dont 4729 hommes et 3439 femmes tandis que les émigrants s'élèvent à 6660 ; ce qui dégage un solde migratoire positif de 1508 dans la région. Les immigrants (durée de vie) sont en majorité pour 52,2 % des adultes d'âge compris entre 20 et 59 ans. Le département de Tambacounda attire 78 % de ces immigrants contre 6,7 % à Kédougou. Le fort pourcentage de Tambacounda pourrait s'expliquer par la présence de la capitale comme zone de fixation et d'autre part par la présence de la zone dite des Terres Neuves.

### 3. UNE AGRICULTURE EN VOIE DE MODERNISATION

La région de Tambacounda est rurale à plus de 84 %. Le pourcentage des salariés est relativement faible (5 %), ce sont des gens qui travaillent dans les rares unités industrielles dans les centres urbains (SO.DE.FI.TEX. - SERAS) ainsi que dans l'administration et le tertiaire.

Les employeurs sont peu nombreux (0.5 %), plus de la moitié des ruraux (52 %) sont des indépendants. Le pourcentage des chômeurs est plus important chez les hommes (4992) que chez les femmes (2561) ; bien que beaucoup de femmes soient classées femmes au foyer, donc inactive parce que leurs activités semblent être sous-estimée dans la société.

Les principales productions agricoles sont les suivantes :

- l'arachide produite dans les secteurs de Koumpentoum, Koussanar, Maka, Tambacounda et Missirah couvre près de 50 % des terres cultivées au Sénégal et a connu une progression très rapide dans la région. La surface cultivée a doublé depuis 1960. En 1975, elle a atteint 60000 hectares avec une production de 50000 tonnes, soit 5 % de la production du Sénégal. Cette production est passée à 76000 tonnes en 1986 ;
- le coton a été introduit en 1963-1964 par la Compagnie des Fibres Textiles (CFDT) qui sera relayée en 1974 par la Société d'exploitation des Fibres Textiles (SO.DE.FI.TEX.). Sous l'impulsion de cette société, en 1976-1977 18000 hectares de terres cultivées en coton ont produit 18000 tonnes sur un total national de 47250 tonnes. Autrefois très prospère dans la région, la production cotonnière va subir une légère baisse pour se stabiliser à 18000 tonnes en 1988.

Toute la production cotonnière de la région est traitée par l'usine d'égrenage de Tambacounda. En marge de ces deux principales cultures qui mobilisent la majorité de la force productive, on trouve d'autres cultures dont les productions se chiffraient en 1988 comme suit : le mil (65000 t), le riz (10000 t) et le maïs (39000 t).

Les cultures sont pratiquées dans des terroirs traditionnels qui suivent les vallées alluviales au Nord de la région. Ils comprennent des champs de case améliorés par la fumure et cultivés surtout en maïs et une mosaïque de grands champs où l'on sème traditionnellement le sorgho, le mil et le haricot. Au Sud le fonio, le manioc et le riz pluvial sont cultivés sur les pentes des collines et dans les petits vallons délaissant ainsi les grandes vallées insalubres.

L'élevage est pratiqué dans la région en association avec l'agriculture. Le cheptel se composait en 1988 de 450000 têtes de bovins soit 18 % du total national (2500000) et de 1102000 têtes d'ovins - caprins soit 37 % du total national (3000000). Les bovins sont constitués de deux races situées de part et d'autre de la limite Nord de la trypanosomiase au Sud de Tambacounda.

La race zébus, spécifique à l'extrême Nord de la région est enregistrée dans la haute vallée de la vallée de la Sandougou. C'est la zone la plus sèche du bassin où l'on pratique l'élevage pastoral. De gros troupeaux de zébus sont souvent associés à des ovins et à des caprins. Tout cet ensemble est entretenu par des Peulh qui vivent en campements dispersés et en transhumance.

L'élevage sédentaire est pratiqué du haut Niéri - Ko jusqu'à la frontière Guinéenne. Les villageois se consacrent à l'élevage des bovins de race ndama ( bêtes de petite taille ) qui résistent à la trypanosomiase. Ces bêtes dont le fumier fertilisent les champs sont regroupées dans des enclos situés à la périphérie des villages.

#### **4. DES AMENAGEMENTS SOMMAIRES**

Les aménagements hydro-agricoles effectués sur le bassin de la Gambie relèvent de l'action de deux organismes de développement :

la SO.DE.FI.TEX. est une société d'état spécialisée dans la production du coton et des fibres textiles. En 1972, la dite société s'est orientée dans la recherche et la délimitation de sites appropriés à l'implantation de périmètres irrigués ( riz ) dans les zones de Tambacounda et Kédougou.

L'OFADDEC, une ONG Sénégalaise à vocation agricole appuie des projets agricoles le long du fleuve Gambie dans la région de Tambacounda.

Ces deux organismes présentent une similitude dans les formes de mise en valeur des terres le long des rives de la Gambie. Les aménagements réalisés dans les deux cas sont assez sommaires et se limitent à la création de périmètres irrigués au profit des villages environnants. Généralement ceux-ci sont subdivisés en parcelles de taille modeste. Suivant l'organisme exécutant, les parcelles sont équipées de canaux à ciel ouvert ou de conduite PVC en charge. L'approvisionnement en eau est toujours effectué par pompage dans les mares naturelles du lit majeur de la Gambie ou dans le cours principal des fleuves.

En fonction des sites choisis, des cultures, des techniques culturales, de la qualité des aménagements et du degré d'intégration des populations aux programmes, le nombre de parcelles abandonnées varie d'un organisme à l'autre. Une description de leurs modes d'intervention reste donc un élément d'appréciation de la réussite des projets développés par ces deux sociétés.

#### 4.1. Cas de l'OFADDEC

En 1977 l'Office Africain pour le développement et la coopération (OFADDEC) commence son appui dans la zone de Tambacounda. A l'époque, en plus des contraintes climatiques marquées par le déficit pluviométrique (les pluies étaient passées de 988.2 mm en 1971 à 633.7 mm en 1972) et la désertification ; le paysannat était confronté à la monoculture de l'arachide d'exportation faite au détriment des cultures vivrières. C'est dans ce contexte que l'OFADDEC en association avec les paysans s'est donné comme objectif d'aménager des bandes de terre le long de la Gambie.

##### 4.1.1 Zones d'intervention

l'OFADDEC intervient dans dix villages situés entre 40 et 60 km au sud de Tambacounda sur la rive droite du fleuve Gambie (cf. annexe A). Les sites retenus n'ont fait l'objet d'aucune étude antérieure, ce qui avait occasionné une certaine tergiversation dans le choix des cultures et des types d'aménagement à mettre en place.

##### 4.1.2. Types d'aménagements

Les aménagements sont constitués de petites unités simples qui tiennent compte des besoins locaux et sont facilement maîtrisables par les paysans. Ils sont implantés sur des bandes de terre appelées périmètres. Au total, 21 périmètres ont été aménagés sur dix sites (cf. annexe A) ; tous ces sites sont fonctionnels sauf celui de Médina - Kouta (source OFADDEC).

##### 4.1.3. Caractéristiques des aménagements

- les périmètres implantés sont subdivisés en parcelles de 50 x 50 m dont une surface de 1600 m<sup>2</sup> est plantée en bananier ;
- le réseau de distribution d'eau est alimenté par une station flottante et les périmètres équipés de pompes PVC en charge ;
- lorsque les périmètres sont vastes, une motopompe de reprise, installée sur la berge assure la pression adéquate dans le réseau ;
- les conduites PVC utilisées pour acheminer l'eau au niveau des périmètres présentent des diamètres variables :

\*Tuyau primaire----- 200 mm / 160 mm

\*tuyau secondaire----- 125 mm / 90 mm

\*tuyau tertiaire----- 32 mm.

Le tuyau primaire achemine l'eau au niveau de la zone aménagée, le secondaire dessert la totalité des parcelles tandis que le tertiaire les alimente par une crue. Chaque périmètre est équipé d'une valve et d'un boyau (cf. annexe C). Le croquis de l'annexe C montre la configuration d'un périmètre de l'OFADDEC.

##### 4.1.4 Les cultures

La culture de bananiers représente l'activité principale dans les parcelles. Les cultures traditionnelles (mil, arachides, coton, etc.) et maraîchères (piments, tomates etc.) sont pratiquées pour l'autoconsommation.

#### 4.1.5 Résultats encourageants

A l'issue de la phase de tâtonnements, de recherches et de mise en route qui va de 1977 à 1981, les acquis socio-économiques du projet seront perceptibles en deux phases à partir de 1982.

Les acquis de la phase I (1982-1986) :

- 20 périmètres agricoles aménagés en 1191 parcelles de terre individuelle représentant 324 hectares ;
- Mise en place d'une infrastructure d'irrigation adéquate (motopompe + conduite PVC en charge) ;
- amélioration des conditions de production (engrais, équipement, crédit) ;
- organisation de 1493 producteurs (777 hommes et 716 femmes) en vingt groupements structurés en G.I.E. ;
- 2611 tonnes de bananes commercialisés en 1986, correspondant à 30 % des besoins du Sénégal ;
- un revenu annuel moyen passé de 300 à 1000 dollars canadiens (source OFADEC).

L'augmentation du revenu aura pour conséquence :

- une chute de la malnutrition de 47 % en 1972 à 1.5 % en 1986
- 1075 enfants protégés contre les principales maladies ;
- construction de 10 petits bâtiments scolaires totalisant 20 classes et 512 élèves ;
- une grande ouverture entre les ethnies des dix villages bénéficiaires du projet.

Les acquis de la phase II (1986-1992) :

- renforcement des coopératives mise en place de la fédération paysanne APROVAG et transfert de la gestion du projet à celle-ci ;
- sur dix sites aménagés, neuf sont toujours fonctionnels ; ce qui est une preuve de réussite du projet OFADEC.

#### 4.2. Cas de la SO.DE.FI.TEX.

La SO.DE.FI.TEX. procède depuis 1972 à l'étude et à l'implantation de périmètres irrigués dans le bassin du fleuve Gambie. Au total, dix sept périmètres ont été aménagés dans les deux régions. Neuf dans la région de Tambacounda où la prospection a été axée sur trois cours d'eau :

- la Gambie depuis Wassadou à l'amont jusqu'à la frontière Guinéenne à l'aval ;
- la basse vallée de la Koulountou affluent de rive gauche de la Gambie de Missirah au confluent ;
- la basse vallée de la Sandougou affluent de rive droite de la Gambie de Maka à la frontière Gambienne.

Sept dans la région de Kédougou sont implantés le long de la Gambie du village de Itato situé à 8 km en amont de Kédougou à celui de MAKO.

#### 4 2 1 Les aménagements

Sur les sites identifiés et retenus après études du milieu, des périmètres sont créés et aménagés en parcelles. La seconde étape concerne le creusement des canaux d'irrigation et l'installation des stations de pompage.

#### 4 2 2 La configuration des périmètres

Généralement installés à proximité des villages et des mares les périmètres sont subdivisés en parcelles de 40 m sur 30 m et séparés par des canaux à ciel ouvert de dimensions variables. Les périmètres sont équipés d'une station de pompage sur terre exondée en permanence près des mares. Elle assure l'alimentation en eau des périmètres qui sont ceinturés par un canal principal et cloisonnés par des canaux secondaires. Il y a :

- un canal principal (ou 2) qui, suivant une direction sensiblement parallèle aux courbes de niveaux ceinture le périmètre sur sa partie haute ;
- des canaux secondaires sont orientés perpendiculairement au canal principal. L'écartement entre deux canaux secondaires correspond à la longueur des deux casiers contigus et chaque canal alimente des casiers sur les deux rives.

Les canaux sont construits en terre non revêtue. Dans les deux régions d'étude (Tambacounda, Kédougou) les aménagements sont identiques aux niveaux des parcelles et consistent à la distribution de l'eau dans les casiers de forme rectangulaire en courbe de niveau par l'intermédiaire d'un canal principal et des canaux secondaires. Trois modes d'alimentation ont été proposés au niveau des parcelles en fonction de la capacité des mares et de la topographie :

- l'alimentation par pompage dans les mares naturelles du lit majeur de la Gambie après amélioration de leur capacité (fermeture de l'exutoire en période de hautes eaux) ;
- l'alimentation par pompage directement dans la Gambie lorsqu'il n'y a pas de mares ou qu'elles ont une capacité insuffisante ;
- l'alimentation gravitaire à partir de retenues constituées derrière de petits barrages. Si nous avons eu confirmation du fonctionnement des deux premiers modes d'alimentation, l'alimentation gravitaire par contre n'a été repérée sur aucun site.

Ce type d'alimentation semble pourtant être approprié dans la région de Kédougou qui bénéficie de conditions climatiques et topographiques favorables à la concentration des eaux et au ruissellement.

#### 4 2 3 Les cultures

Pour rentabiliser les aménagements les études prévoyaient deux récoltes par an :

- une culture d'hivernage qui concerne le riz soit en semis direct soit en pépinière ;
- une culture de contre - saison entièrement irriguée et concernant le riz ou le maïs

#### 4.2.4 Résultats

La riziculture irriguée est pratiquée sur des périmètres aménagés par les services de la SO DE FI TEX au Sénégal Oriental depuis 1977/1978. Cette pratique culturale a permis la réalisation de 535 hectares irrigables dont la répartition est présentée dans le Tableau 27.

*Tableau 27 : Superficies aménagées (SO.DE.FI.TEX)*

DEPARTEMENTS	Nombre de périmètres aménagés	SUPERFICIES IRRIGABLES		
		Rizières	Autres	Total
TAMBACOUNDA	9	289	96	385
KEDOUGOU	8	73	77	150
TOTAL	17	362	173	535

L'évolution des superficies cultivées en riz pluvial, de la production obtenue et des tonnages commercialisés sont présentés dans le Tableau 28

*Tableau 28 : Evolution des Superficies Emblavées en Riz pluvial*

ANNEES	Superficies (ha)	Tonnage produit (T)	Tonnage commercialisé
1972/1973	8.5	19	4.4
1975/1976	4100	11524	2124
1878/1979	5514	9392	2320
1979/1980	5194	6752	825
1980/1981	2627	2163	195
1983/1984	1145	575	11
1985/1986	494	543	217
1986/1987	723	1150	424
1987/1988	847	1525	366
1988/1989	1018	2545	527
1989/1990	1334	3330	1060
1990/1991	1644	3770	722
1991/1992	515	1287	420

La faiblesse du tonnage commercialisé (Tableau 28) est dû au fait que l'essentiel de la production est auto - consommée. Le riz demeure toujours l'aliment de base dans la région, ce qui explique les difficultés éprouvées par les paysans en cas de déficit pluviométrique.

Le programme compte actuellement deux périmètres fonctionnels (Kirily et Kourientine) sur dix sept. Et pourtant selon la direction technique de la société, tout ce qui était prévu pour la réussite de ce projet a été fait. Il y a même eu des propositions d'aménagement pour l'avenir. Les insuffisances du projet sont liées à la structure des aménagements qui n'est pas adaptée au milieu d'implantation. On notait les difficultés suivantes :

- des pertes d'eau terribles par percolation ;
- les canaux qui ceinturaient les périmètres se bouchaient souvent par ensablement ,

l'abondance des mauvaises herbes accroît le travail des paysans qui doivent alors procéder régulièrement à des opérations de désensablement et de désherbage.

Ces travaux étant pénibles et longs, les paysans ont fini par abandonner les parcelles. Les techniciens ont pensé à bétonner les canaux mais faute de moyens, rien n'a été fait. A ces difficultés s'ajoutent les risques climatiques et hydrologiques tels que : l'inondation dans les bas-fonds qui est parfois responsable des catastrophes au niveau des cultures ; le déficit hydrique responsable de l'état sec du périmètre durant une période de l'année. La difficulté de calage des deux cycles (riz d'hivernage et riz de contre saison) est aussi un facteur réductif des rendements

## 5. AMENAGEMENTS ET CARACTERISTIQUES DES SITES

Pour alimenter les parcelles, la SO.DE.FI.TEX et l'OFADDEC effectuent des pompages dans les fleuves ou dans les mares par des moyens mécaniques qui coûtent chers. Le choix des sites répond à certains critères. Les sites difficiles d'accès, hostiles (onchocercose, maladie du sommeil) ou peu peuplés doivent être éliminés même s'ils présentent des caractéristiques naturelles favorables. Cependant ils peuvent être pris en considération ultérieurement si les conditions d'établissement humains changent.

Le manque d'eau dans les périmètres souligné à Tambacounda peut être résolu par la création de réservoirs d'eau. Pour réduire les pertes en eau stockées liées aux fortes valeurs de l'évaporation ; il est recommandé de prévoir des réservoirs à capacité élevée et d'utiliser l'eau stockée durant les premiers mois de la saison sèche. L'accent doit être mis sur les études climatique, hydrologique, géologique et hydrogéologique qui doivent aboutir à la détermination :

- des volumes d'eau qui peuvent être stockés dans les réservoirs ou à différentes hauteurs des digues ;
- des disponibilités pour l'irrigation déduction faite des pertes par évaporation durant la période d'utilisation ;
- la délimitation des périmètres et leurs superficies doivent être proportionnelles aux disponibilités en eau des réservoirs ou des digues.

L'étude des caractéristiques physiques permet d'assurer une adéquation entre le milieu et le type d'aménagement correspondant.

A Tambacounda, la synergie des paramètres (climat, topographie et géologie) dessine un réseau hydrographique discontinu et incertain. Un ensemble de facteurs qui doit conduire les organismes de développement vers l'option mécanisée pour alimenter les parcelles.

A Kédougou le réseau hydrographique est bien hiérarchisé et très dense à cause du modelé (collines, croupes, glacis et terrasses étagées) et des fortes pluies enregistrées dans une région aux roches plus ou moins imperméables. Des facteurs favorables à la mise en place des ouvrages de type gravitaire, peu coûteux et qui sont facilement maîtrisables par les utilisateurs.

## CONCLUSION

Les précipitations élevées et le relief plus marqué sont à l'origine du développement plus important du réseau hydrographique dans la région peu perméable du socle. Le remplissage alluvionnaire des vallées, des bas-fonds et des mares s'est accrue dans cette région. Les nappes superficielles, bien alimentées et de bonnes capacités fournissent aux cours d'eau des débits suffisants durant une partie de l'année. Ce qui explique l'importance des sols à caractère hydromorphe dans les bas-fonds du socle.

Le passage graduel du climat vers un régime de plus en plus aride lorsqu'on entre dans la région du continental terminal, suivi de l'abaissement général du relief se traduisent par une plus faible densité du réseau hydrographique. En dehors de quelques marigots importants (Sandougou, basse Koulountou), le régime des cours d'eau est discontinu et incertain. Le caractère aléatoire du réseau hydrographique s'est traduit par la présence de sols ferrugineux tropicaux lessivés, à concrétions. Ils supportent une végétation essentiellement formée de forêts sèches et de savanes boisées.

Le régime de la Gambie varie sensiblement suivant les domaines climatiques traversés, à Gouloumbou, le régime présente les caractéristiques suivantes :

- une période de hautes eaux, centrée sur la période pluvieuse avec des pointes de crues à montées et descentes très rapides de juillet à Novembre. Les mois de Juillet, Août, Septembre et Octobre représentent en moyenne 85 % des apports annuels ; avec les apports de Novembre, on arrive à 95 % du total annuel.
- une période de basses eaux, centrée sur la période sèche avec des niveaux d'étiage qui peuvent descendre en dessous de 1 m correspondant à un débit minimal inférieur à 10 m. Durant cette période d'étiage, l'influence de la marée se fera ressentir jusqu'au pont de Gouloumbou (Lamagat et al. 1990).

La hauteur maximale de crue enregistrée au pont de Gouloumbou est de 14,75 m correspondant à un débit d'environ 2140 m<sup>3</sup>/S (S.O.D.E.F.I.T.E.X.). La hauteur d'eau est généralement inférieure à 2,00 m durant la période comprise entre le 10 Novembre et le 10 Juillet comme l'atteste, les hydrogrammes simplifiés tracés pour les années hydrologiques 1970/71 à 1973/74.

Le régime des eaux des principaux affluents de la Gambie reste étroitement dépendant de celui de la Gambie.

La Koulountou à Missirah a un bassin versant de 6200 km<sup>2</sup>, son régime d'écoulement est influencé par le remous de la Gambie qui, en période de crue freine et relève le plan d'eau dans la Koulountou. A Missirah, la cote maximale observée dépasse 10 m pour un débit d'environ 200 m<sup>3</sup>/s, tandis que les basses eaux descendent en dessous de 0,70 m correspondant à un débit de 0,340 m<sup>3</sup>/s. Les hauteurs d'eau sont inférieures à 2,00 m dans la période comprise entre le 10 Novembre et le 20 Juillet (Monographie, 1990).

La Sandougou a un bassin versant de 11000 km<sup>2</sup> à la station de Maka qui est sous l'influence des hautes eaux de la Gambie. L'amplitude des crues se situe en dessous de 2,00 m ; elle est donc faible et la station est à sec dès le mois de Novembre. En période d'étiage, les eaux de la Gambie remontent le cours de la Sandougou jusqu'à Diéndé, situé à 15 km à l'aval de Maka (Monographie, 1990).

La zone Sud est drainée par la Gambie et la basse vallée de ses nombreux petits affluents.

Le lit mineur de la Gambie atteint et dépasse 7 à 10 m de profondeur à Kédougou et 5 à 7 m de profondeur à Mako.

Comme à Gouloumbou le régime de la Gambie à Kédougou présente :

- une période de hautes eaux (de Juillet à Novembre) avec une variation très rapide des hauteurs d'eau en période de crue et des hauteurs maximales enregistrées d'environ 8,10 m à Kédougou et 5,50 m à Mako en 1970.
- une période de basses eaux, plus longue et qui s'étale sur le reste de l'année avec des hauteurs minimales qui sont voisines de 0,70 m à Kédougou et 0,00 m à Mako en 1970.

Les stations de Kédougou et Mako situées dans le domaine climatique sud - soudanien comprennent quatre mois de hautes eaux. La station de Simenti, influencée par le domaine le climat Nord - soudanien comprend trois mois de hautes eaux.

L'évolution du régime hydrologique sur le bassin de la Gambie est calquée sur celle du régime pluviométrique définissant ainsi, un régime pluvial et tropical. C'est un régime unimodal du fait de l'existence d'un maximum en septembre et d'un minimum en mai.

La position géographique du bassin explique l'existence à Kédougou d'un régime pluvial tropical de transition (quatre mois de hautes eaux). Ce régime va progressivement évoluer en aval de Mako, vers un régime pluvial pur (trois mois de hautes eaux).

La description du réseau hydrographique et l'analyse du régime hydrologique montre un réseau hydrographique dont la densité décroît de la frontière Sénégal - guinéenne vers l'exutoire de la Sandougou.

La densité du chevelu hydrographique dans le bassin de la Gambie est donc fonction à la fois des pluies du soubassement rocheux et de l'allure du modelé (P. Michel 1973). Cette remarque explique la dualité de la structure du réseau hydrographique et du régime hydrologique de la Gambie.

Le réseau hydrographique sera dense et très hiérarchisé en amont de Simenti. Une région bien arrosée (800 à 1200 mm de pluie), au relief de collines et de plateaux développés sur des terrains du socle birrimien et de sa couverture paléozoïque, plus ou moins imperméables.

En aval de Simenti, la topographie est plate et ne dépasse jamais 100 m, les formations gréseuses du continental terminal sont plus ou moins perméables en "petit". Des facteurs qui aboutissent à la mise en place d'un réseau hydrographique plus lâche dans ce secteur. En traversant ces deux domaines géographiques, la Gambie présente diverses nuances d'un régime hydrologique tropical.

Les travaux de RODIER (1964) permettent de distinguer dans le bassin d'études deux variantes du régime hydrologique tropical en fonction des hauteurs annuelles des pluies.

En amont de Simenti, le régime est de type tropical de transition car la pluviométrie annuelle est comprise entre 800 et 1200 mm et la période de hautes eaux va de juillet à octobre soit, quatre mois. Ce régime va évoluer progressivement vers un régime tropical Sahélien, en aval de Simenti, où la pluviométrie annuelle est inférieure à 800 mm.

Les calendriers agricoles dépendent de ces deux périodes hydrologiques. La saison pluvieuse est réservée aux cultures pluviales et durant la saison sèche, les cultures irriguées sont pratiquées grâce aux pompages dans la Gambie. C'est dans ce cadre que la SO.DE.FI.TEX et l'OFADDEC ont créé des périmètres irrigués dans le bassin du fleuve

Gambie avec une étroite collaboration avec les populations. Rurale à plus de 80 % la population de la région se caractérise par son extrême jeunesse et son inégale répartition spatiale.

La mise en valeur des vallées le long de la Gambie et ses affluents sont retardés par des contraintes majeures. L'onchocercose freine le peuplement des vallées. Malgré la mise en service de la route bitumée Dakar - Kédougou, l'enclavement reste toujours d'actualité. Les centres urbains (Tambacouda et Kédougou) sont reliés aux zones de production agricole par des pistes qui sont souvent impraticables. Faute d'être acheminées à temps, plusieurs tonnages de production pourrissent sur place.

## **DEUXIEME PARTIE**

# **STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DE DEUX BAS-FONDS REPRESENTATIFS SUR LE BASSIN DE LA GAMBIE**

## CHAPITRE I CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS D'ETUDES

### 1. CHOIX DES SITES DE REFERENCE

Le choix des sites de référence est guidé par le souci de sélectionner des milieux suffisamment représentatifs (climat, géologie, etc.) et facilement accessibles, en vue d'une extrapolation des résultats à l'échelle de du bassin de la Gambie. Le volet photographie aérienne de l'étude a permis de retenir les sites du Niaoulé (Tambacounda) et du Sili (Kédougou)

#### 1.1. Situation géographique

Les bassins versants du Sili et du Niaoulé occupent respectivement l'extrémité sud-ouest et le Centre - Est du bassin de la Gambie. Le Sili draine à 2 km de Kédougou un bassin versant de 90 km<sup>2</sup>. Il est situé sur la route des Bassari, entre 12°32' et 12°38' de latitude nord et 12°15' et 12°22' de longitude Ouest.

Le bassin du Niaoulé, avec un périmètre de 190 km et une superficie de 1230 km<sup>2</sup> se trouve à environ dix kilomètres au sud de la ville de Tambacounda. Il s'étend en latitude entre 13°24 et 13°54 nord et entre 13°12 et 13°44 de longitude ouest à la limite des climats sud-soudanien et nord-soudanien.

Le bassin du Sili reçoit une moyenne de 1231 mm de pluie par an et celui du Niaoulé, 814.3 mm. Cette grande variabilité spatiale des quantités d'eau reçue est due à la situation géographique qui est l'un des principaux facteurs de changement des caractéristiques physiques du milieu.

#### 1.2. Postes climatologiques de référence

Les bassins de référence sont contrôlés par des postes pluviométriques de création récente présentant beaucoup de données lacunaires. Ainsi pour présenter une étude hydrologique complète des bassins, nous nous sommes reportés aux données analysées au niveau des synoptiques de Tambacounda et Kédougou. Ces stations qui disposent d'une série longue et complète ont l'avantage d'influencer l'ensemble du bassin de la Gambie et de se situer à proximité des de référence.

Tableau 29 : Situation des stations synoptiques

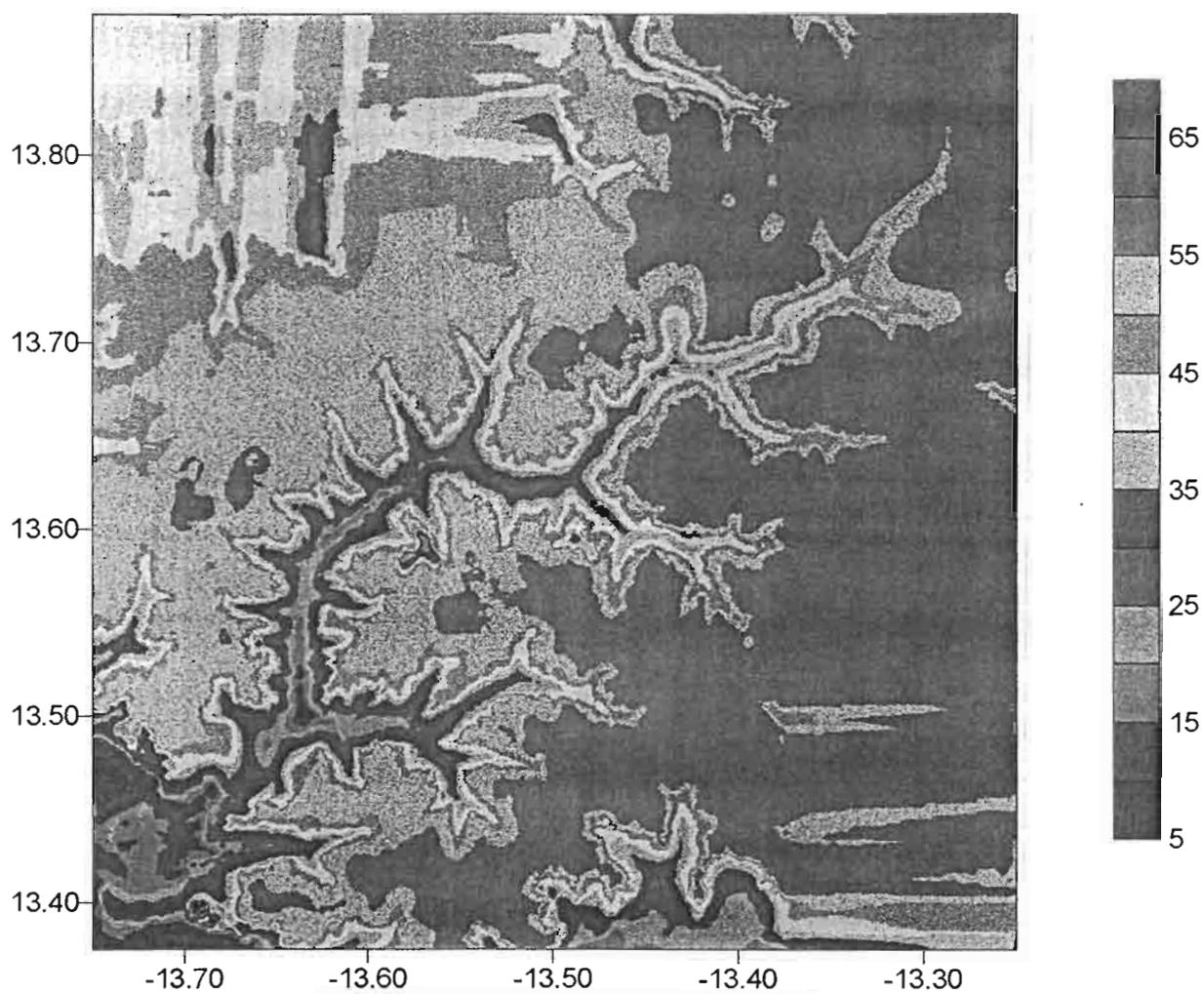
Stations	Coordon. géographi.		Altitude ( m )	Pluie an. ( mm )	Pér. référ	Distance ( km )	
	Long. (W)	Latit. (N)				/Bassin	/Océan
Kédougou	12°11	12°33	122	1231	1918-1995	2	380
Tambacounda	13°40	13°46	44	814.2	1921-1995	8	310

#### 1.3. Le bassin du Sili

La station climatologique de Kédougou est la plus proche du bassin. Située à 5 km du bassin, elle comporte 77 valeurs de précipitations annuelles complètes (1918 à 1995).

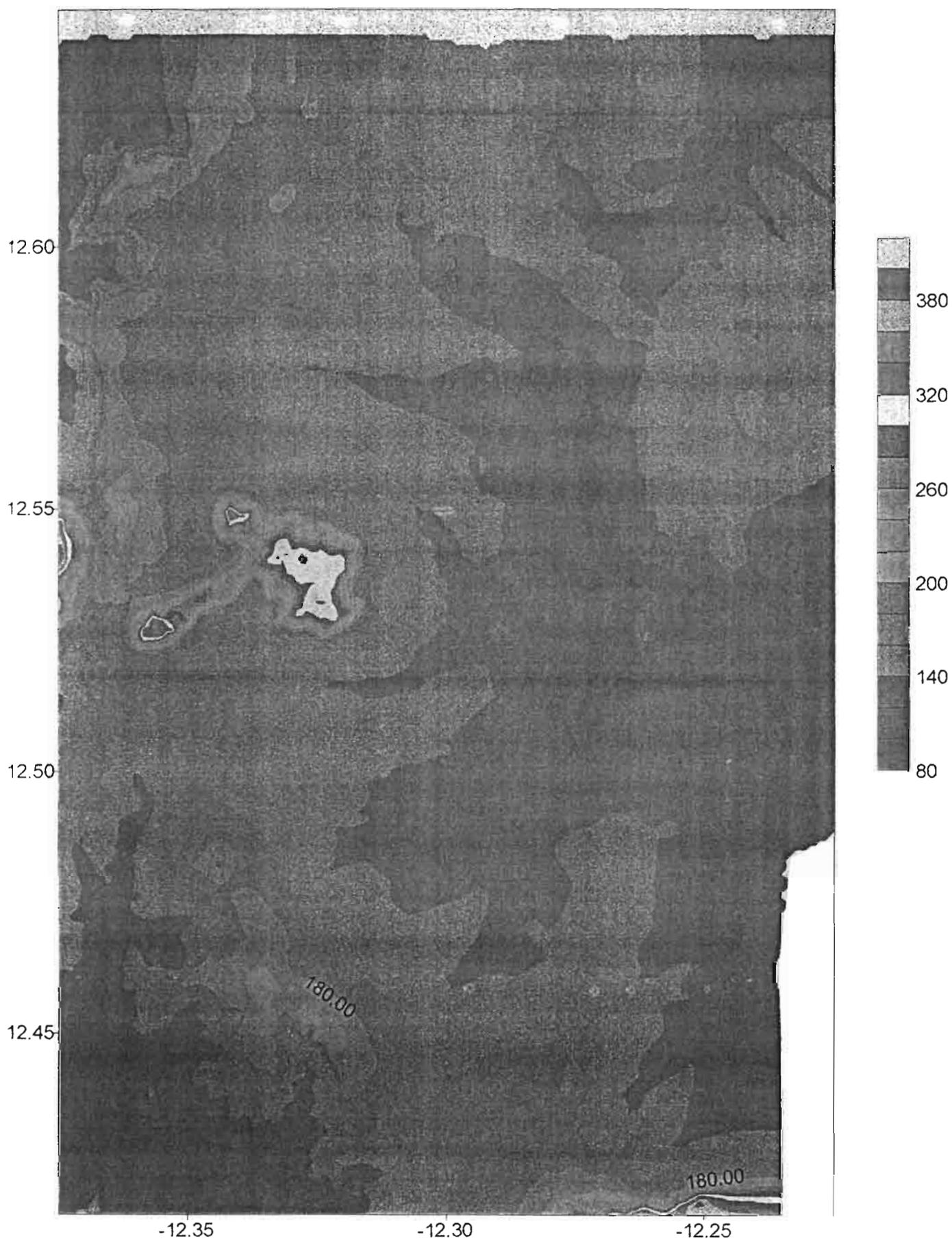
Les études statistiques sur les données climatiques (NIANG, 1993) concernent la période 1974 à 1995. Une période qui coïncide avec l'ouverture de la station hydrométrique du bassin. La moyenne de l'échantillon est de 1231 mm.

Bassin versant du Niaoulé: Carte de la Répartition altimétrique



*Figure 28 – Carte des classes de reliefs du bassin du Niaoulé*  
Ech : 1/450000

# Bassin versant du Sili : Carte de la Répartition altimétrique



Ech : 1/113500



#### 1.4. Le bassin du Niaoulé

La station de Tambacounda est située à environ 8 km du bassin du Niaoulé. L'échantillon comprend 74 valeurs complètes (1921 à 1995). La moyenne calculée sur cette période est de 831 mm.

## 2. LES CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES DES BASSINS

Les formes et le fonctionnement hydrologique des bas-fonds découlent des caractéristiques physiques des bassins versants qui leur servent de support. Aussi faut-il caractériser d'abord les bassins versants avant de descendre dans les bas-fonds.

### 2.1. formes des bassins versants

La surface (A) et le périmètre (P) déterminés après avoir stylisé à plusieurs reprises les contours des bassins versants concernés vont permettre de calculer les indices de forme de Gravelius du Tableau 30.

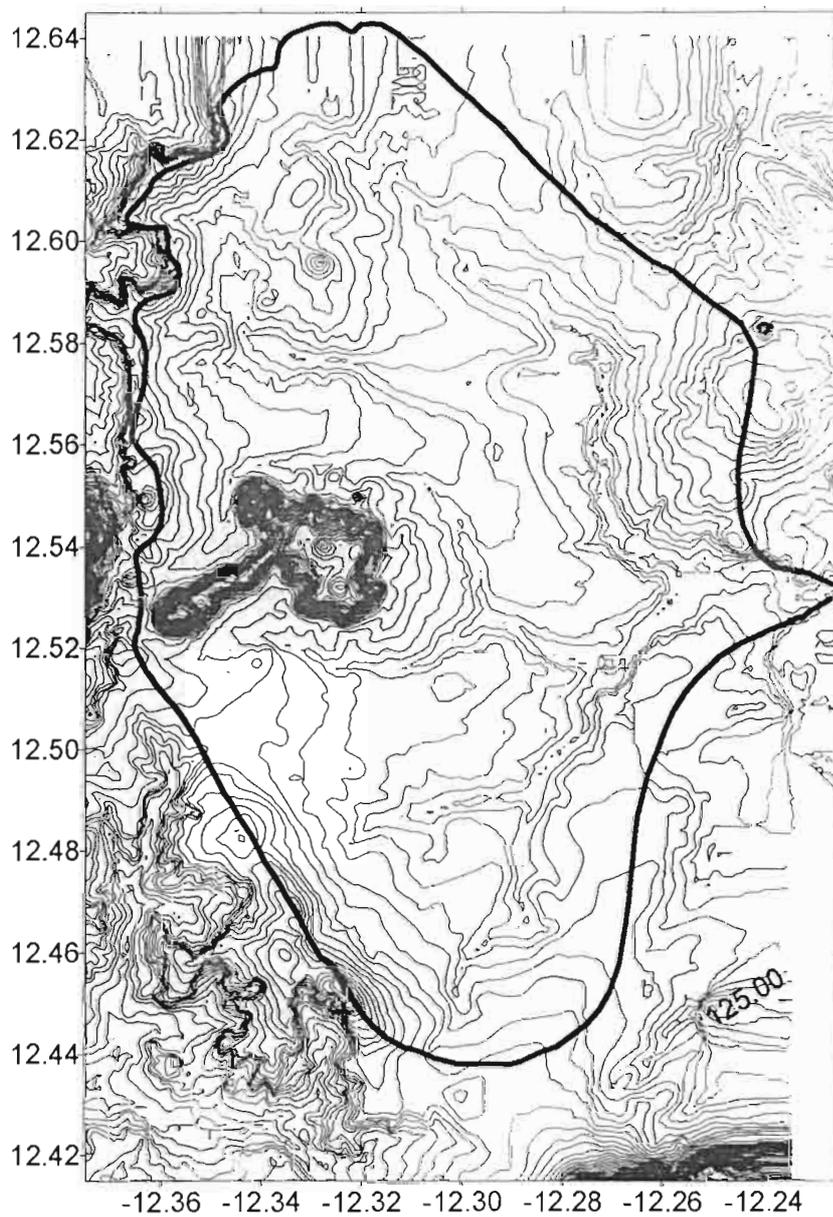
**Tableau 30 : Indices de formes sur les bassins du Sili et du Niaoulé**

Station	Superficie A (Km <sup>2</sup> )	Périmètre ( Km )	I. de forme Kc	Rect. Equivalent ( Km )	
				Longueur	Largeur
Sili au Pont- routier	90	41	1.21	14.3	6.17
Sili à la confluence Gambie	214	66	1.27	23.2	9.84
Niaoulé confluence	1356	135	1.25	59.8	22.7

### 2.2. Relief

Il est uniforme sur le bassin du Niaoulé (Figure 29) et peu accidenté sur le Sili. L'altitude est très faible dans l'ensemble; inférieure à 40 m sur le bassin du Niaoulé, la moyenne est d'environ 224 m sur le Sili (Figure 29). Le bassin du Sili présente cependant une élévation. Il s'agit de la carrière de marbre du massif de bandafassi dont le plateau principal atteint 382 m. Il est situé à l'extrémité ouest du bassin et représente une dominante naturelle au dessus des terrains plats du bassin.

# Bassin versant du Sili : Carte des Classes de Relief



Echelle 1/25000 è

### 2.3. Hypsométrie des bassins

Le bassin du Niaoulé forme un plateau tabulaire. L'altitude maximale est de 63 m et se trouve dans l'extrême nord-est du bassin. La valeur minimale qui correspond à 16 m est enregistrée dans le secteur de l'exutoire. La répartition des altitudes très simplifiée présente donc deux tranches d'altitude exprimée par la courbe hypsométrique (Figure 30)

88 % du bassin se trouve en dessous de 40 m . Ils correspondent aux versants, pentes et glacis d'épandage qui cernent la zone de confluence de la Gambie et du Niaoulé. Les sols qui s'y développent sont très peu évolués, généralement des sols d'érosion, sol alluvial ou colluvial. Ce sont des régosols établis sur roches mères tendres (argile, loess, ...) et qui sont donc exploitables par les racines des végétaux.

- 12 % du bassin se situe entre 40 et 64 m et correspond aux plateaux et buttes résiduels recouverts de lithosols sur cuirasse. Il s'agit de sols très peu épais, souvent rocailleux ou caillouteux qui se développent sur une roche mère dure. Compte tenu de leur situation continentale sur le bassin du Niaoulé, ces sols peu évolués sont constamment rajeunis par l'érosion. C'est sur le bassin du Sili que l'analyse hypsométrique est réellement perceptible.

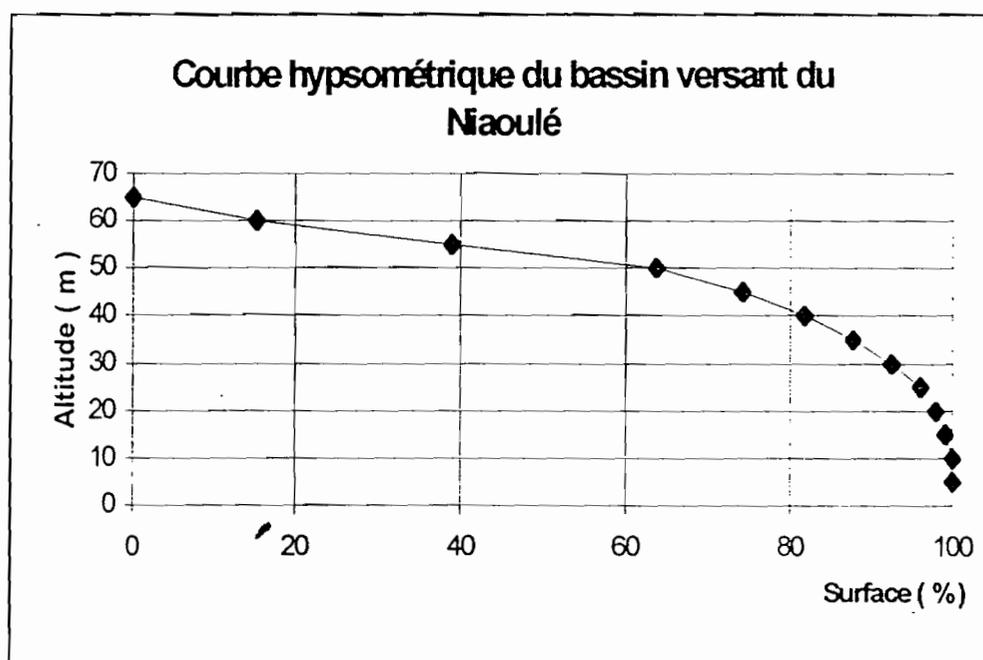


Figure 30 – Courbe hypsométrique du bassin - versant du Niaoulé

La Figure 30 fait apparaître trois grands ensembles correspondant aux trois tranches d'altitude (Tableau 31) suivantes :

- 4.5 % de la superficie du bassin est à plus de 200 m d'altitude. Cette partie constituée de glacis cuirassés formés dans les schistes du birrimien correspond aux inselbergs de Bandafassi. Leur sommet, un témoin de la surface éocène se situe à 382 m ;

- 35.8 % du bassin se trouve entre 160 et 200 m. Cela correspond aux hauts glacis cuirassés qui sont situés au pied de la falaise doléritique du massif de Ndébou ;
- la majeure partie du bassin (96.6 %) est située entre 120 et 160 m. Il s'agit de zones fortement cuirassées, correspondant au moyen glacis dont la surface s'incline en pente douce jusqu'à proximité de l'exutoire ;
- enfin les zones basses, c'est à dire d'altitude inférieure à 120 m représentent (3.36 %) de la superficie du bassin. Elles correspondent aux vallées alluviales qui entourent la zone de confluence.

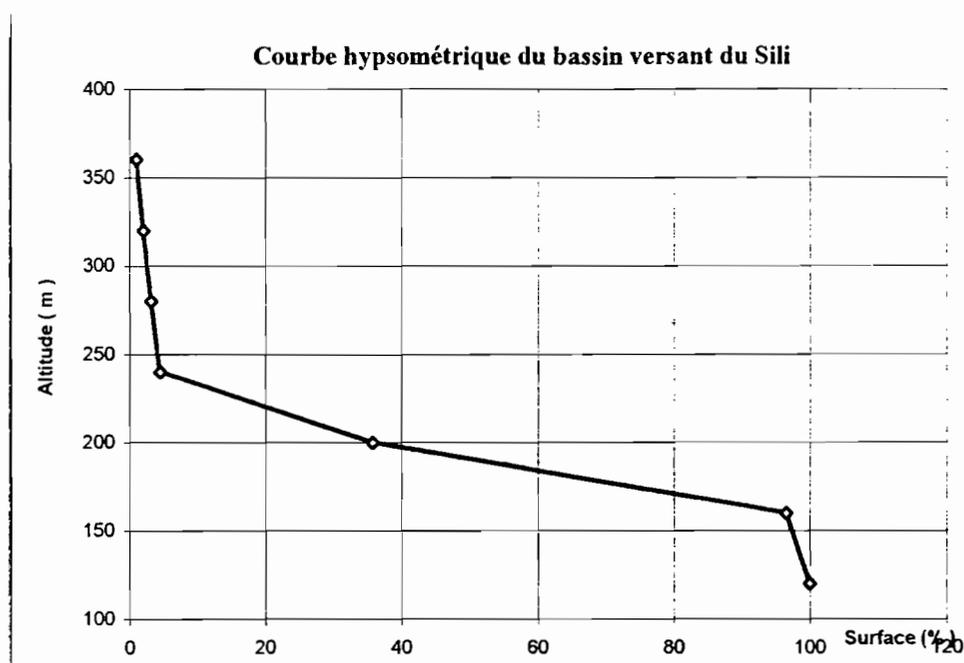


Figure 31– Courbe hypsométrique du bassin - versant du Sili.

Tableau 31: Répartition altimétrique et hypsométrique sur le bassin du Sili

Tranches d'altitudes (m)	Surfaces partielles (km <sup>2</sup> )	% de la superficie totale	Superficie cumulée (Km <sup>2</sup> )	% cumulé
> 360	0.13	0.061	0.13	0.061
320-360	2	0.933	2.13	0.993
280-320	2.27	1.06	4.4	2.05
240-280	2.48	1.16	6.88	3.21
200-240	2.75	1.28	9.63	4.49
160-200	67.2	31.3	76.83	35.8
120-160	130.4	60.8	207.23	96.6
112-120	7.2	3.36	214.43	100

## 2.4. Pente moyenne

La valeur de la pente moyenne ( $I_{moy}$ ) est calculée dans un bassin versant, suivant l'expression :

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}}$$

$H_{max}$  est l'altitude maximale du bassin versant (en mètre) ;  $H_{min}$  est l'altitude minimale du bassin versant (en mètre) et  $A$  est la superficie du bassin versant (en  $km^2$ )

La valeur de la pente moyenne décroît du sud au nord. Elle est de 9.28 m/km dans le bassin du Sili (DIAL, 1993). Les statistiques réalisées sur la carte des pentes donnent les résultats suivants : 35.6 % du bassin présentent des pentes supérieures à 0.5 ‰ et 63.4 % se situent en dessous de 0.5.

## 2.5. Indice global de Pente

Le calcul de l'indice global de pente ( $I_g$ ) nécessite d'abord l'établissement de la courbe hypsométrique du bassin versant considéré. Ensuite, on détermine les dimensions du rectangle équivalent. L'indice global de pente  $I_g$  est défini par le rapport :

$$I_g = \frac{\Delta H}{L} (m / Km)$$

$\Delta H$  = dénivelée qui correspond aux points d'abscisse 5 % et 95 % de la courbe hypsométrique.

$L$  = longueur du rectangle équivalent exprimé en Kilomètre.

## 3. RESEAUX HYDROGRAPHIQUES

Ils sont de type dendritiques, avec concentration des eaux courantes dans des branches de plus en plus grosses et finalement dans un tronc axial. La disposition des branches sur le tronc et l'organisation des confluences montrent qu'il s'agit d'un réseau en chène bien hiérarchisé en amont.

### 3.1. Le Sili

Le réseau hydrographique du Sili est de type radial car le thalweg principal est formé dans son bief aval de la convergence de deux affluents d'égale importance en amont. Ici le réseau est plus ou moins ramifié, plus ou moins chevelu. Il concentre un écoulement qui peut être souterrain (percolation) ou aréolaire (ruissellement diffus). Vers l'aval, tous les apports provenant de l'amont se déversent dans le cours principal pour former un écoulement linéaire, plus rapide et « horizontal » par rapport l'écoulement « vertical » en amont.

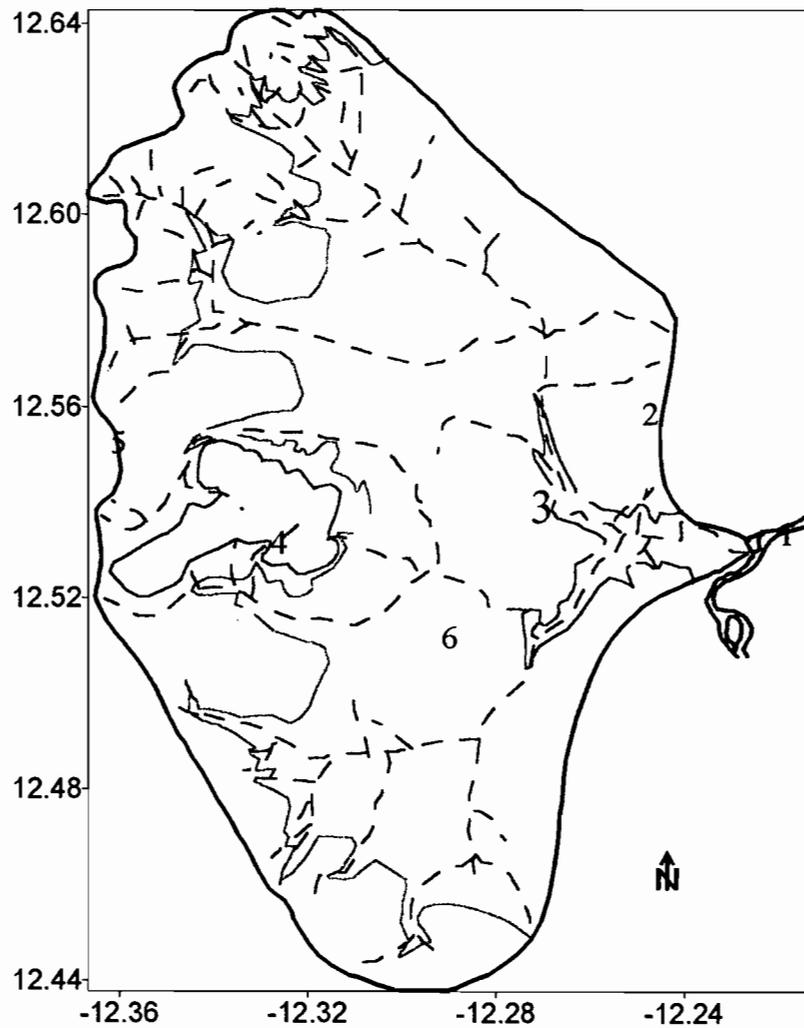
La densité de drainage exprime le rapport entre la longueur totale des cours d'eau du réseau et la superficie du bassin. L'écoulement étant saisonnier dans le Sili et le Niaoulé, nous avons plutôt calculé la densité de drainage saisonnier ( $Dds$ ) qui est donnée par la formule suivante :

$$Dds = \frac{\sum L}{A}$$

La densité de drainage saisonnier correspond à la somme totale des cours d'eau (tableau 30) pendant la saison pluvieuse sur la superficie du bassin versant. La densité de drainage calculée à la confluence est de  $0.4 \text{ km/km}^2$ . NIANG (1993) a trouvé une valeur de  $0.93 \text{ km/km}^2$  au pont - route. Il en découle un accroissement de la densité de drainage saisonnier et du chevelu de l'aval vers l'amont du bassin du Sili.

La densité de drainage est maximale en amont, plus arrosé, plus imperméable, à pentes plus fortes et à roches plus nues. La vitesse de l'eau dans le réseau hydrographique et particulièrement dans son cours principal est donc suffisante pour entretenir un tracé net du lit du Sili. La dégradation hydrographique reste donc très faible dans le bassin du Sili, particulièrement en saison pluvieuse. Premier affluent de rive gauche de la Gambie au Sénégal, le Sili se jette dans ce cours d'eau peu avant Kédougou.

## Bassin versant du Sili au Pont - Routier: Carte du réseau hydrographique



### Légende

- 1 Fleuve Gambie
- 2 Limite du bassin
- 3 Courbe de niveau 120
- 4 Courbe de niveau 160
- 5 Courbe de niveau 200
- 6 Cours d'eau intermittent

Ech : 1/180000

*Figure 32- Carte du réseau hydrographique du Sili*

Tableau 32 : Classification et longueur des thalwegs sur les bassins de référence

Ordre	Nombre		Long. en Km		Longueur moy. en Km	
	Sili	Niaoulé	Sili	Niaoulé	Sili	Niaoulé
1	35	237	46	182.9	1.3	0.772
2	8	48	15	155.9	1.9	3.25
3	3	8	13	46.4	4.3	5.8
4	1	2	10	30.1	10	15.1
5	0	1		41.2		41.2

Comme caractéristique essentielle de ce fleuve, on note son régime torrentiel sur son cours moyen pendant la saison pluvieuse. Les principales causes sont :

- la situation élevée des sources ;
- des intensités pluviométriques élevées.

Parfois des situations particulières renforcent le caractère torrentiel du Sili. Elles rendent à peu près inutilisables des zones alluviales (d'une certaine étendue) par suite du débordement de la rivière du lit mineur. Le plan d'eau monte en ce moment à une vitesse très élevée (plus de 0.50 m/j). Ce qui peut compromettre dangereusement les cultures céréalières dans ces zones.

### 3.2. Le Niaoulé

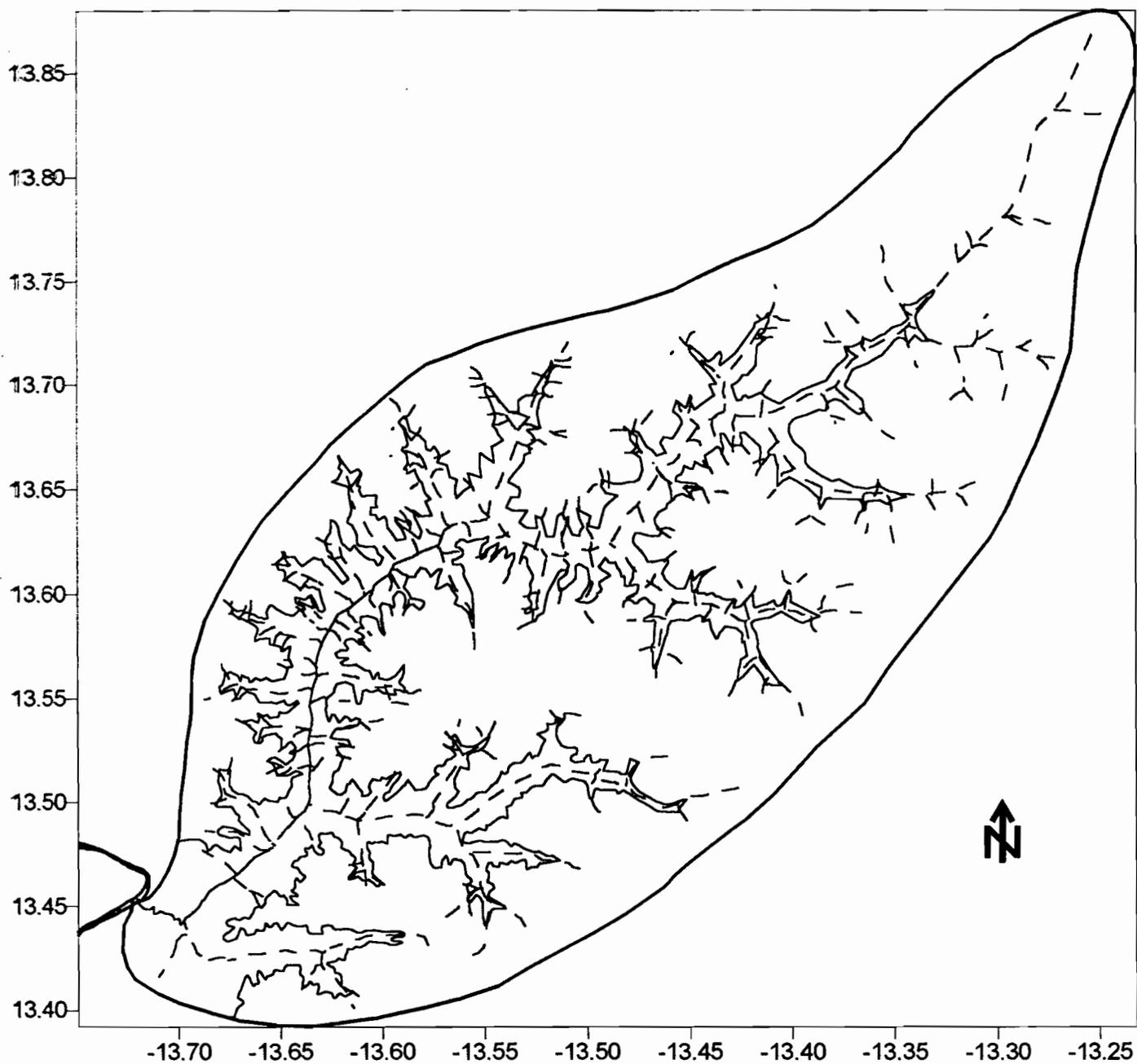
Le bassin du Niaoulé est entièrement situé sur les formations perméables du continental terminal. Le cours d'eau dispose sur ses deux rives d'affluents d'importance secondaire qui convergent vers le thalweg principal. Il se forme alors sur ce bassin au relief très mou, un réseau hydrographique en arête de poisson. (Figure 33).

La densité de drainage calculée dans les mêmes conditions que sur le Sili est égale à 0.41 km/km<sup>2</sup>. Elle est sensiblement égale à celle calculée dans la partie aval du Sili.

Le Tableau 32 donne une idée sur le degré de l'hierarchisation des réseaux hydrographiques. Les longueurs des thalwegs sur le bassin du Niaoulé sont déterminés à partir du logiciel Atlas Draw. Pour le Sili, nous avons emprunté la classification de NIANG (1993). Les modèles numériques de terrain calculés sur les deux bassins font ressortir très nettement, les thalwegs (Figure 34 et Figure 35).

Il y a une nette différence entre les structures des réseaux hydrographique sur les bassins de référence. Le réseau hydrographique est plus hiérarchisé et plus dense dans le Sili situé en altitude et dans des formations peu perméables du socle. Il devient plus lâche dans le Niaoulé situé dans des formations planes et perméables du continental terminal. La structure géologique impose donc sa forme au réseau hydrographique dont l'organisation est commandée par l'histoire géomorphologique des régions concernées.

## Bassin versant du Niaoulé: Carte du réseau hydrographique



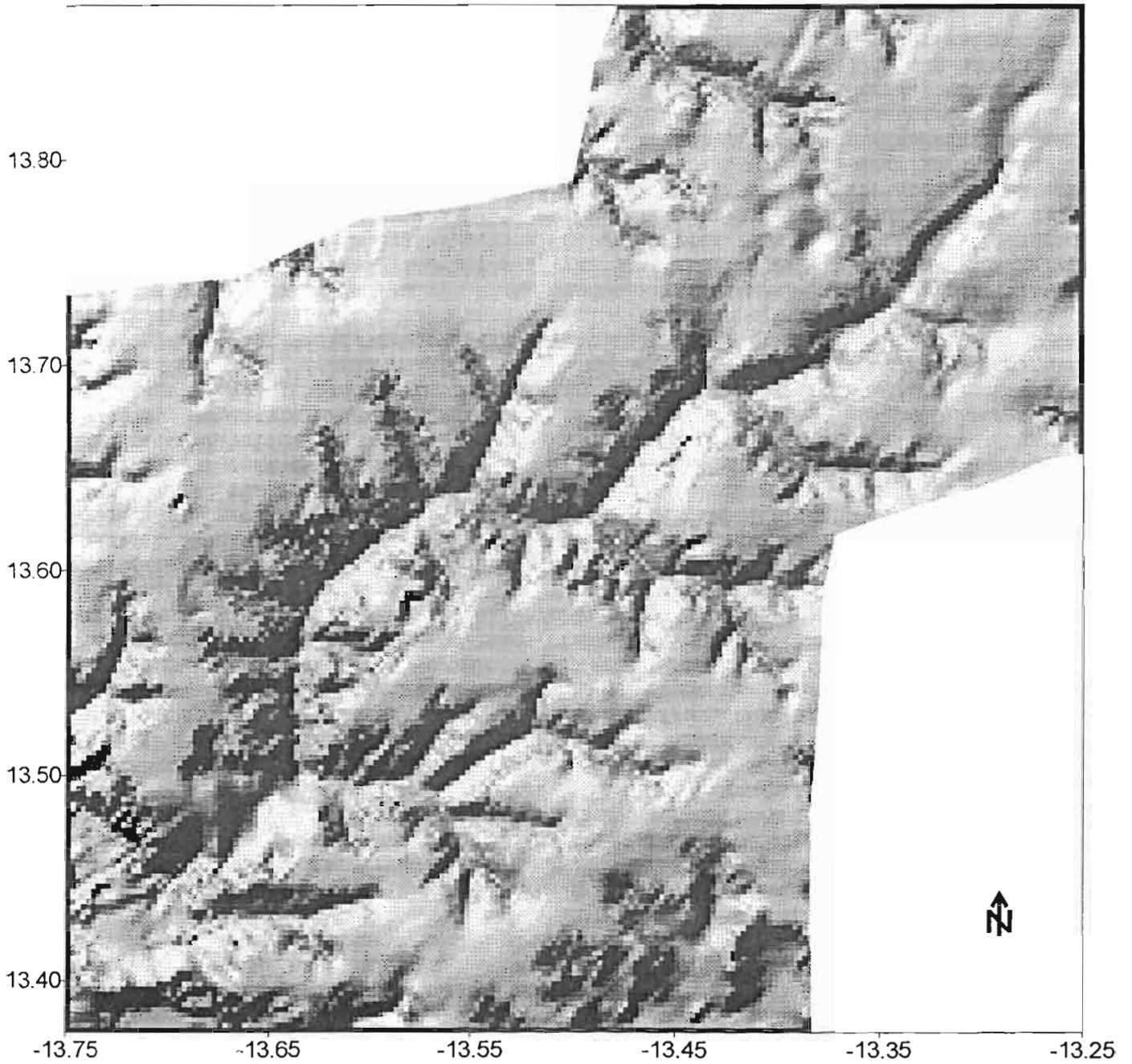
*Figure 33— Carte du réseau hydrographique du Niaoulé*

### Légende

Ech : 1/342000

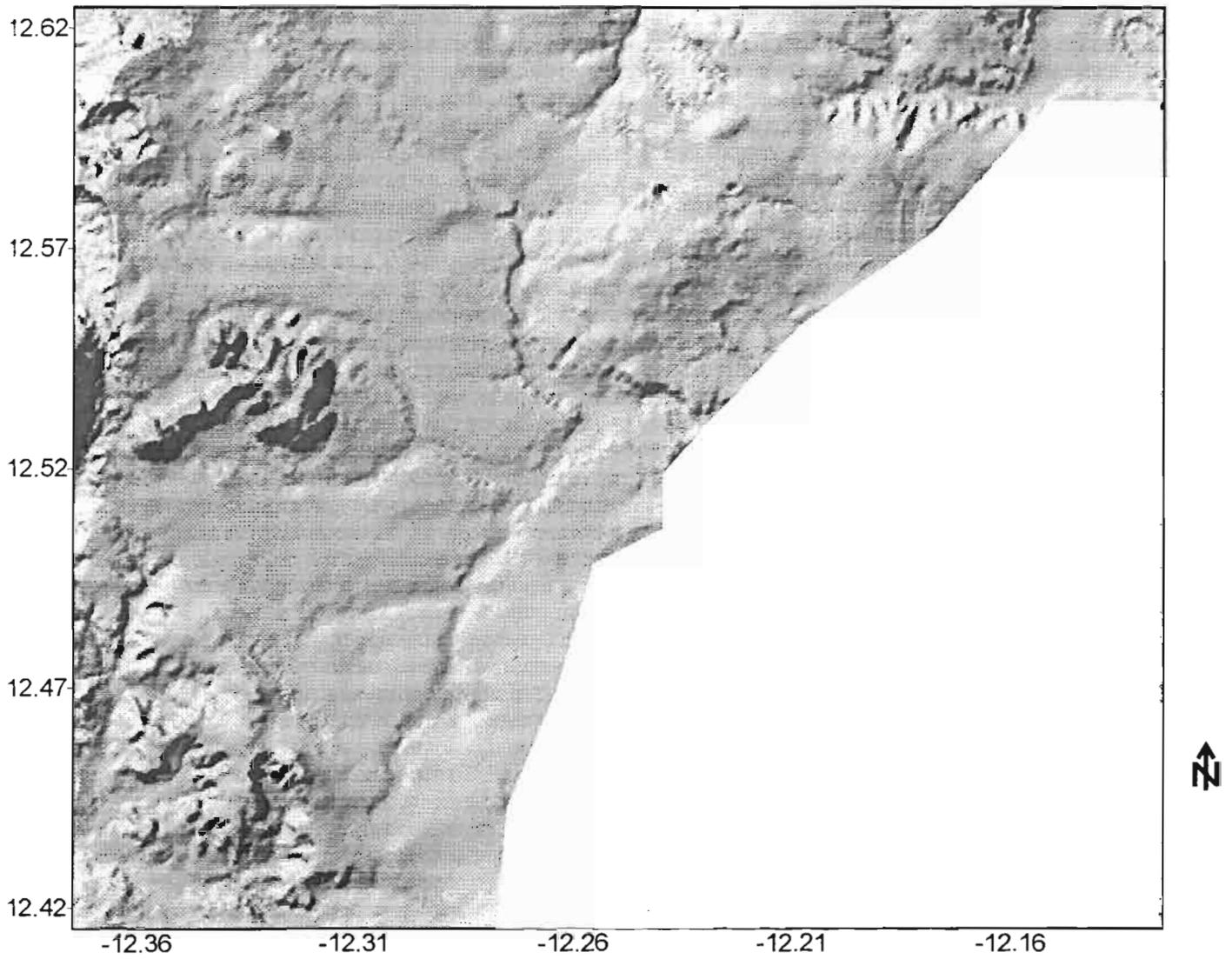
-  Fleuve Gambie
-  Cours principal
-  Cours secondaire
-  Limite principal du bassin
-  Courbe de niveau 40

# Bassin versant du Niaoulé : Modèle Numérique de Terrain



Ech : 1/341000

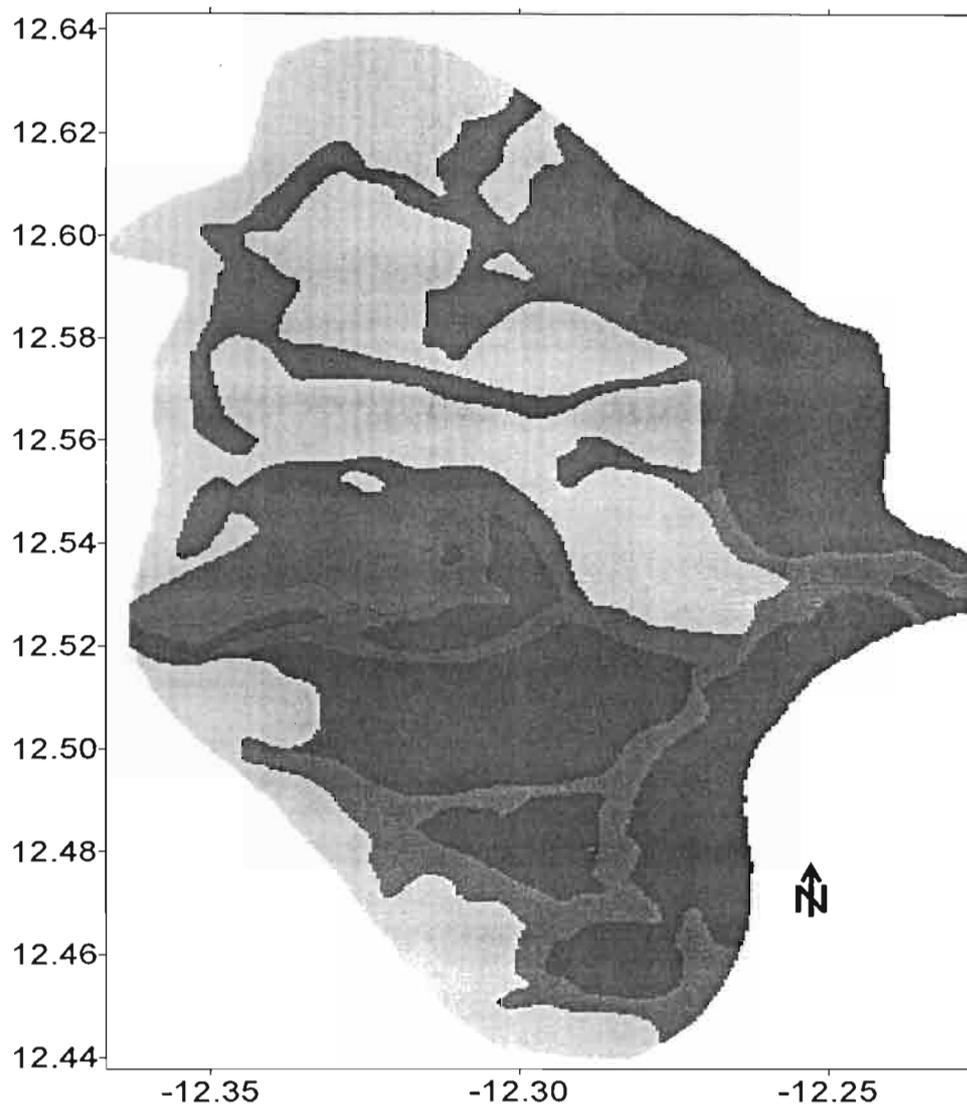
## Bassin versant du Sili : Modèle Numérique de Terrain



Ech : 1/174500

Figure 35 - Modèle Numérique de terrain du bassin versant du Sili

## Bassin versant du Sili : Carte des Sols



### Légende

Ech : 1/166666

- |   |  |
|---|--|
|  | Lithosols sur cuirasses  |
|  | Lithosols sur cuirasses et Régosols sur matériau gravillonnaire  |
|  | Lithosols sur roches basiques diverses et sols bruns eutrophes tropicaux sur altération argileuses de roches basiques diverses |
|  | Vertisols sur matériau argilo - gonflant   |
|  | Sols hydromorphes sur matériau gravillonnaire plus ou moins limoneux des plateaux  |
|  | Sols hydromorphes sur matériau argilo - sableux gravillonnaire des axes de drainage  |
|  | Sols hydromorphes à pseudogley de surface ou d'ensemble sur alluvions argileuses   |

### 4.1.3 Les surfaces bowalisées

Les surfaces bowalisées désignent des sols tropicaux indurés en surface, « cuirasses » ou « carapaces » autochtones. L'agriculture est possible dans les bas-fonds où s'accumule une épaisseur suffisante de gravillons latéritiques résultant de la dégradation de l'horizon induré, ou encore dans les trous creusés dans la cuirasse et remplis de terre arable, véritable « culture en pot » (P. Gourou, Les pays tropicaux). Ces unités sont représentées dans le bassin du Sili par de très grandes extensions de zones plates latéritiques, où le sol est trop mince pour permettre l'installation de végétaux ligneux. Elles se signalent généralement par des termitières - champignon.

La flore, composée de steppe pure, renferme des espèces remarquablement adaptées aux conditions de résistance à la sécheresse comme *Lepidagathis sericea*, *Indigofera terminalis*. Le *Borassus aethiopium* (rônier) qui trouve dans le domaine soudanien les conditions optimales pour son développement, se rencontre un peu partout dans le bassin.

### 4.2. Le bassin du Niaoulé

Le bassin du Niaoulé est formé d'un plateau tabulaire, entièrement situé dans des sables argileux avec horizons gréseux ou argileux du continental terminal. Ces formations sédimentaires comprennent des niveaux de latérites constitués par la cuirasse démantelée. La présence de ces formations explique l'installation de nappes temporaires dans les alluvions fluviales du Niaoulé. Ces nappes sont alimentées par les crues du cours d'eau. Les sols prédominants appartiennent au groupe des sols à hydromorphie temporaire reposant sur des matériaux argileux à argile sableux.

### 4.3. Les sols des bassins

Les sols sur matériau gravillonnaire prédominent sur les bassins de référence. Ils sont développés sur éboulis de cuirasse accumulés au pied des escarpements rocheux que constitue la cuirasse et représentent 54,48 % sur le Niaoulé (Tableau 33)

et 61,58 % sur le Sili (Tableau 34). Ces sols appartenant au groupe des sols peu évolués d'érosion (sols régosoliques) ou d'apport (sols hydromorphes).

*Tableau 33 Pourcentage des types de sols sur le bassin versant du Niaoumé*

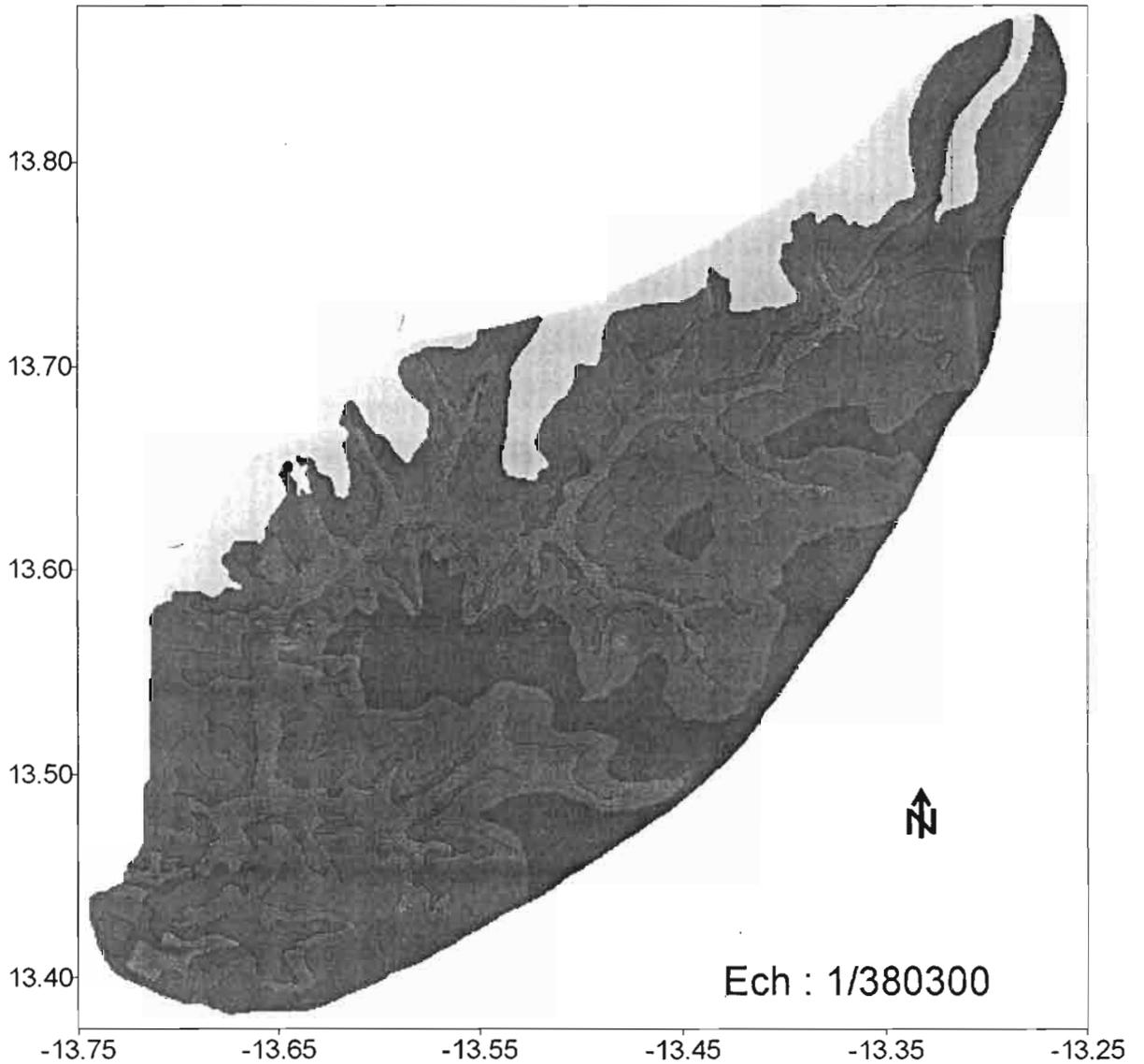
Sols sur matériau gravillonnaire		Sols ferrugineux tropicaux		Régosols	Lithosols
plus ou moins argileux des plateaux	plus ou moins limoneux à argileux des plateaux	sur matériau de colmatage des pentes et sols gravillonnaires plus ou moins argileux des plateaux	sur matériau sablo-argileux et colluvio-alluvial	sur matériau gravillonnaire	sur cuirasses
11,56%	28,05%	14,12%	11,78%	12,34%	21,53%

La répartition de ces sols est fonction des bassins et de la topographie sur les deux bassins. Toutes les familles de sols sur matériau gravillonnaire occupent les plateaux tabulaires du bassin du Niaoulé. Ils sont affectés par le phénomène d'engorgement à cause de la dégradation du réseau hydrographique liée à la topographie plane du relief qui rend difficile, l'écoulement et de la faiblesse de la profondeur de la cuirasse imperméable.

La répartition topographique de ces sols est plus nette sur le bassin du Sili où le type regosolique est situé sur les plateaux et versants et hydromorphe dans les axes de drainage (carte des sols du Sili).

Les lithosols sur cuirasse et régosols sur matériau gravillonnaire occupent les pentes fortes à très fortes qui relient les plateaux cuirassés aux fonds des vallées ou dépressions du Sili. Ces sols qui sont situés en bordure des plateaux cuirassés sont actuellement les plus cultivés en mil à cause de leur richesse matière organique. Ils supportent une végétation caractérisée par sa grande diversité.

# Bassin versant du Niaoulé : Carte des Sols



## Légende

-  Sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire plus ou moins argileux des plateaux
-  Lithosols sur cuirasses et Sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire plus ou moins limoneux à argileux des plateaux
-  Sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire plus ou moins argileux des plateaux + Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et taches sur matériau de colmatage des pentes
-  Lithosols sur cuirasse
-  Régosols sur matériau gravillonnaire
-  Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et taches de pseudogley sur matériau sablo - argileux et et argilo - sabl colluvio - alluvial
-  Marais

Tableau 34 : Pourcentage des types de sols sur le bassin versant du Sili

Lithosols		Régosols	Verisols	Sols hydromorphes		
sur cuirasses	sur roches basiques diverses	sur matériau gravillonnaire	sur matériau argilo-gonflant	sur matériau gravillonnaire plus ou moins limoneux des plateaux	sur matériau argilo-sableux gravillonnaire des axes de drainage	à pseudogley de surface sur alluvions argileuses
31.70%	3.90%	36,44%	2,85%	11,89%	10,40%	3,21%

Les lithosols sur roches basiques diverses se rencontre uniquement sur le bassin du Sili et occupent une surface très réduite (3.9 %) sur les collines de Bandafassi (Carte des Sols du Sili). Le mil, l'arachide et le coton se développent bien sur ces sols qui sont parfois caillouteux et peu profonds. Les risques d'érosion par ruissellement sur ces sols sont limités par sa perméabilité liée à la présence de cailloux et à sa bonne structure.

Les axes de drainage du Sili sont occupés par les sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau pouvant être :

- plus ou moins limoneux à argileux (11.89 %) occupent les surfaces qui se raccordent aux axes de drainages du Sili. L'utilisation de ces sols est limitée par leur structure massive, leur faible profondeur et leur mauvais drainage externe. L'arachide et le sorgho nécessitent une culture sur billon.
- argilo - sableux gravillonnaire des axes de drainage (10.04 %) : ils sont plus argileux en profondeur et légèrement moins limoneux sur l'ensemble du profil. Produits de démantèlement des cuirasses qui colmatent les axes de drainage, ils présentent une bonne aptitude pour la culture d'arachide ou de sorgho dans les zones les mieux drainées et l'aménagement de petites rizières au fond des dépressions.

Vertisols sur matériau argileux gonflant (2.85 %) : situés en bas de pente au pied de la colline de Bandafassi. Les vertisols disposent d'un potentiel très « élevé, ils conviennent bien en culture traditionnelle au sorgho.

Sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions de pseudogley : On les rencontre sur le bassin du Niaoulé subdivisés en deux familles :

- famille sur matériau sableux - argileux à argilo - sableux colluvio - alluvial : ils sont développés sur les produits remaniés du continental terminal par le réseau hydrographique. Très répandue sur tous les axes de drainage du Niaoulé, ils représentent 11.78 % du bassin. Ils présentent une texture sableuse qui facilite leur exploitation en cultures de toutes sortes dont les principales sont l'arachide, le mil et le coton.
- famille sur matériau argilo - sableux à argileux plus ou moins limoneux de colmatage des plateaux : ils sont associés aux sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire plus ou moins argileux des plateaux. L'ensemble représente 14.12 % des sols du bassin du Niaoulé et occupent les plateaux (carte des sols du Niaoulé). Ils sont développés sur un matériau à texture variable correspondant probablement aux sables du continental mis en affleurements par disparition de la couverture cuirassée (BARRETO, 1966). L'arachide, le mil, le sorgho et le coton sont exploités sur ces sols à cause de leur texture fine.

Tableau 35 : Caractéristiques physiques des bassins versants

PARAMETRES	Coordonnées Géographiques	
	SILI	NIAOULE
	12°32 et 12°38 N	13°23 et 13°52 N
	12°15 et 12°22 W	13°15 et 13°43 W
	station	station
S : Superficie ( km <sup>2</sup> )	90	1356
P : Périmètre ( Km )	41	165
A : Altitude du zéro de l'échelle IGN (m)	112.51	9.68
K <sub>c</sub> : Indice de compacité	1.21	1.254
L : Longueur du rectangle équivalent (Km)	14.33	59.78
l : largeur du rectangle équivalent (Km)	6.17	22.69
Altitude maximale (m)	382	65
Altitude minimale (m)	112	10
Pente moyenne du cours d'eau	9.28 %°	0.5%°
Pente moyenne à la station	1.5 %°	0.1%°
I <sub>g</sub> : indice global de (entre 5% et 95% de de S) (m/Km)	5.37	0.719
I <sub>p</sub> : Indice de pente de ROCHE	0.098	0.004
Paramètres climatiques		
Stations de référence	Kédougou	Tambacounda
Pluviométrie moyenne (mm)	1231	831
Réseau Hydrographique	radial	arêtes
Dégradation hydrographique	très faible	forte
Paramètres morphologiques		
Classe du relief ( méthode RODIER - AUVRAY )	R3	R1
Classe de perméabilité (OSTOM 1965)	P3	P5
Classe de couverture végétale (OLIVRY)	Tropical de transition	Sahélien

Le Tableau 35 résume les caractéristiques physiques des bassins versants qui influencent la formation et l'évolution des écoulements dans les bas-fonds.

## CHAPITRE II : L'ÉCOULEMENT DANS LES BAS-FONDS

L'alimentation en eau du bas-fond se fait soit directement par la pluie, soit par le ruissellement des versants après une forte averse, soit par un drainage des versants saturés quand la saison des pluies est bien avancée et que la nappe phréatique se trouve à son maximum. Le dimensionnement d'éventuels petits ouvrages dans les bas-fonds nécessite d'abord l'estimation de la quantité d'eau écoulee à différentes échelles (annuelle, mensuelle et journalière).

Le cours moyen de la Gambie est hydrologiquement bien suivi. Les différentes stations hydrométriques qui le contrôlent fournissent des données complètes et fiables (cf. ch. partie 2). Les affluents drainent de petits bassins versants pouvant servir de cadre à notre étude. Ils sont tous dotés d'appareils de mesure (limnigraphes, limnimètres) mais leur manque de suivi met à la disposition du concepteur des données inutilisables car présentant trop de lacunes.

La station du Niaoulé - Tanou, ouverte depuis juillet 1972 est l'exemple typique de ce genre de situation. L'étude hydrologique du bassin sera donc faite à partir des années qui présentent des données de meilleures qualités. Une attention particulière sera portée sur 1974, 1980 et 1983 qui correspondent aux trois années caractéristiques (humide, moyenne et sèche).

Le bassin du Sili a fait l'objet d'un mémoire de fin d'études d'ingénieur (NIANG 1993). Il dispose d'une série complète. Ainsi dans le cadre de ce travail nous avons calculé les écoulements de base, les coefficients de ruissellement et les coefficients de tarissement dans le Sili. Quant au bilan hydrologique, nous avons emprunté celui de (NIANG 1993).

### 1. SILI

#### 1.1. Écoulements Annuels et Mensuels

Le tableau 36 montre l'importance des écoulements de surface sur le bassin du Sili. Les années 1974, 1978 et 1979 se caractérisent par des coefficients d'écoulement supérieurs à 29 %. Les valeurs élevées des années 1974 et 1978 correspondent aux années d'abondantes pluviométries et surtout de plus grands nombres de fortes précipitations. Les fortes pluies enregistrées entre 1974 et 1978 expliquent la hausse du coefficient (29.5 %) en 1979 même si c'est une année déficitaire avec 950 mm de pluie.

Tableau 36: Bilan hydrologique annuel du Sili pour la période, 1974 à 1993

Année	P mm	Q m <sup>3</sup> /s	Ve 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	le mm	Ke %	DE mm	r %
1974/75	1296.2	1.1	34.5	385	29.7	911	70
1975/76	1282.5	0.855	27	300	23.4	983	77
1976/77	1111.4	0.626	19.7	219	19.7	892	80
1977/78	1109.1	0.595	18.8	209	18.8	901	81
1978/79	1595.4	1.34	42.3	470	29.5	1126	71
1979/80	959	0.799	25.2	280	29.2	679	71
1980/81	1115.8	0.468	14.8	164	14.7	952	85
1981/82	1295.1	0.669	21.1	234	18.1	1061	82
1982/83	960	0.348	11	122	12.7	838	87
1983/84	884.4	0.179	5.6	63	7.1	822	93
1984/85	1247.7	0.641	20.2	225	18.0	1023	82
1985/86	1256	0.718	22.6	252	20.1	1004	80
1986/87	1167	0.29	9.1	102	8.7	1065	91
1987/88	1081.5	0.392	12.4	137	12.7	944	87
1988/89	986.2	0.31	9.8	109	11.1	878	89
1989/90	1031	0.533	16.8	187	18.1	844	82
1990/91	795.9	0.242	7.6	85	10.7	711	89
1991/92	1124.7	0.253	8	89	7.9	1036	92
1992/93	941.4	0.146	4.6	51	5.4	890	95

P (mm) = pluviométrie annuelle; Q (m<sup>3</sup>/s) = module annuel ; Ve (m<sup>3</sup>) = volume écoulé; le (mm) = lame totale écoulée; Ke (%) = rapport de la lame écoulée à la pluviométrie annuelle; DE (mm) = déficit d'écoulement; r (%) = rapport du déficit d'écoulement à la pluviométrie annuelle.

Le Tableau 37 donne à titre d'exemple les termes du bilan mensuel sur trois années. Il s'agit d'une année excédentaire (1974), une année moyenne (1980) et d'une année déficitaire (1983).

Tableau 37: Les termes du bilan mensuel de trois années exceptionnelles dans le Sili

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	An. 1974/75
P	0	0	0	0	24.8	135.9	396.3	362.9	284	88.6	4.2	0	1296.2
ETP	117	166	194	226	217	166	136	128	130	135	136	140	1891.3
Ec	0	0	0	0	0	0	25.8	87.4	141	79.4	49.6	0	383.2
Ru	0	0	0	0	0	0	16.2	54.9	88.6	49.9	31.2	0	240.8
													An. 1980/81
P	0	0.3	0	0	51.4	212	280.9	337.3	211	23.2	0	0	1116.1
ETP	127	144	205.2	235	250	165	145.7	131.4	123	139.7	122	124	1911.3
Ec	0	0	0	0	0	0	18.56	90.17	37.1	15.91	0	0	161.77
Ru	0	0	0	0	0	0	11.84	57.53	23.7	10.15	0	0	103.21
													An. 1983/84
P	0	0	2.7	0	40.6	155.4	254	217.8	178	34	0	0	882.5
ETP	162	161	209.3	204	185	151	133.3	128	135	153	142	130	1893.2
Ec	0	0	0	0	0	0	4.62	7.98	34.9	11.3	0	0	58.8
Ru	0	0	0	0	0	0	2.42	4.18	18.2	5.95	0	0	30.75

Pour une année humide, 20 à 40 % des écoulements sont concentrés en un seul mois et 50 à 60 % sur trois mois (août, septembre et octobre).

Pour l'année moyenne 12 à 56 % des écoulements sont concentrés sur un mois et 90 % sur les trois mois.

L'année sèche concentre 14 à 60 % de ces écoulements sur un mois et 92 % sur les trois mois.

Les lames écoulées mensuelles (Ec) et les lames ruisselées (Ru) ont été calculées après avoir déterminé les écoulements de base à partir des hydrogrammes des débits journaliers (Figure 36)

**Tableau 38: Débits spécifiques du Sili au pont - routier (1974-1993)**

74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
12.2	9.50	6.96	6.61	14.9	8.88	5.20	7.43	3.87	1.99	7.12	7.98	3.22	4.36	3.44	5.92	2.69	2.81	1.62

Les débits spécifiques élevés du Sili sont à mettre en rapport avec les caractéristiques du bassin. Il est situé sur des formations du socle à dominante imperméable, au relief plus accentué et mieux arrosé. Plus tard nous verrons que le Niaoulé dont le bassin évolue sur des formations plus perméables dans une région plate et peu arrosée va présenter des valeurs plus faibles.

## 1.2. Ecoulements journaliers

L'étude porte sur les débits maxima instantanés et journaliers ainsi que leur période de retour.

**Tableau 39: Débits maxima instantanés et journaliers du Sili au pont - routier**

(1974-1993)

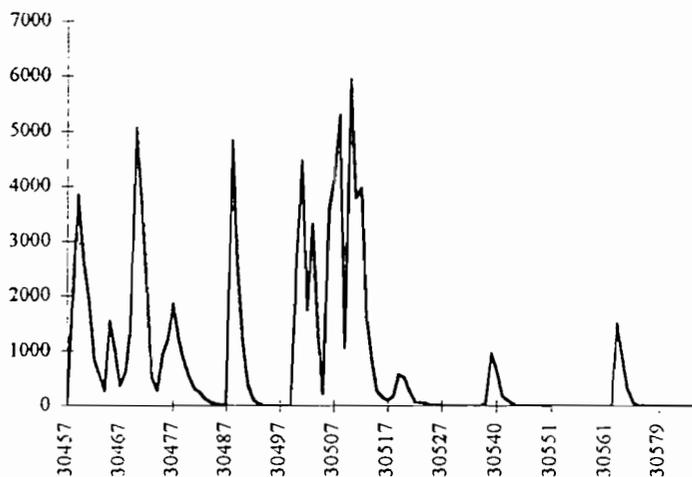
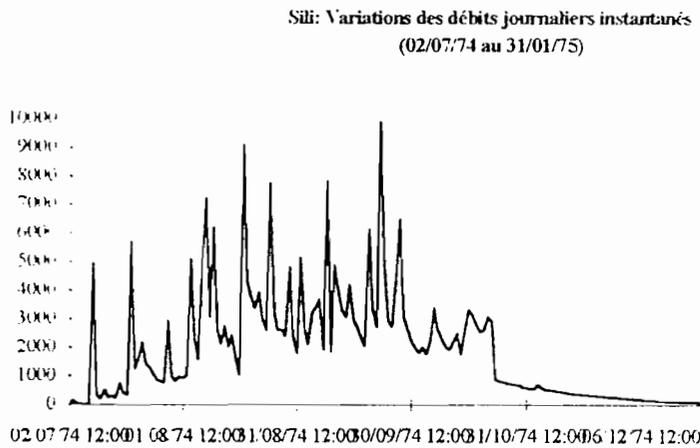
Années	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93
max. inst.	25	36	38	22	31	16	16	18	18	4.9	11	36	33	12	25	21	4.6	6.2	3.6
max. journ.	17	26	29	16	27	8.7	7.1	13	13	2.9	3.8	23	19	9.1	12	15	3.8	4.8	2.8

Il y a une coïncidence entre les périodes d'apparition des valeurs maximales et minimales des débits maxima instantanés et journaliers. Les valeurs des débits augmentent des basses fréquences vers les hautes fréquences.

**Tableau 40: Périodes de retour des débits maxima instantanés et journaliers**

Fréquence (%)	99	95	90	75	50	25	10	5
Période de retour (ans)	100	20	10	4	2	4	10	20
Débits(m <sup>3</sup> /s)								
maxima inst.	58.6	42.9	36	26.4	18	11.3	6.44	3.91
Débits journ.	39.9	29.1	24.3	17.6	11.8	7.18	3.82	2.07

Les débits journaliers instantanés ont servi d'une part à tracer des hydrogrammes de crue (Figure 36) et d'autre part, à déterminer les écoulements de base (cas du Sili).



*Figure 36 – Sili Variation des débits journaliers instantanés (07/07/80 au 01/01/81)*

La Figure 36 représente la variabilité journalière de l'écoulement dans le bassin du Sili pour trois années exceptionnelles : l'année la plus humide (1974 - 1975) et l'année la plus sèche (1983 - 1984).

L'allure générale des hydrogrammes présente une succession de pics qui expriment la très forte irrégularité des écoulements journaliers. Cette irrégularité est surtout perceptible en période humide (1974-1975).

Pour l'année la plus humide (1974-1975) : l'écoulement commence au Sili, le 1er juillet et l'arrêt intervient 227 jours plus tard soit le 12 février. Le débit de pointe (9920 m<sup>3</sup>/s), atteint le 22/09/74 est décalé par rapport au maximum pluviométrique (50.6 mm) qui est enregistré le 07/07/74. Le débit maximal est généré par le cumul des averses, des 21 (21 mm) et 22 septembre (20.4 mm) 1974. Il représente le point le plus haut de l'hydrogramme dont l'évolution sera suivie d'une baisse générale, jusqu'à l'arrêt total de l'écoulement.

Pour l'année la plus sèche (1983 -1984) : il y a un décalage de deux mois entre le début de la saison pluvieuse (Mai) et le début de l'écoulement (01 Juillet). Cela est une conséquence de la faiblesse du nombre de jours de pluies enregistrées par mois Mai (4 jours) Juin (15 jours). La pluie maximale (40.5 mm) est enregistrée le 20 Août et le débit maximal (0.981 m<sup>3</sup>/s) un mois plus tard, c'est à dire le 21 Septembre.

### 1.3. Ecoulement de base et relation avec la nappe alluviale

La zone d'étude comprend deux domaines climatiques séparés par l'isohyète 1050 mm. Au nord de l'isohyète, l'essentiel de l'écoulement provient du ruissellement pendant la crue et l'immédiat après - crue. C'est ce qui se passe sur le bassin du Niaoulé où on ne peut pas parler d'écoulement de base (Figure 37). Entre 1200 et 1050 mm, l'écoulement est quasi permanent pendant toute la saison pluvieuse dans les bas-fonds. Cet écoulement peut être très faible lorsqu'apparaît une période de 10 jours sans pluies. Il est rare qu'il persiste plus d'un mois après la dernière pluie de l'hivernage.

Le mois de mai correspond au début de la saison pluvieuse sur le bassin du Sili (Tableau 37). L'écoulements de base se manifeste par un écartement entre la base des hydrogrammes et l'axe des abscisses. Il commence toujours en juillet, mois qui se situe au milieu de la saison pluvieuse, période où la nappe phréatique est complètement saturée. La surface concernée par l'écoulement de base va suivre une évolution assez discontinue jusqu'au mois de septembre qui correspond à la valeur maximale avant de décroître légèrement pour se stabiliser en novembre.

Le débit de base représente près de 38 % de l'écoulement total du Sili. Les apports en provenance des nappes de versants, très superficielles sont relativement modestes. Les tarissements en l'absence de précipitations sont en effet extrêmement brefs (Tableau 41)

**Tableau 41: Caractéristiques des tarissements**

Bassin	Dates		Débits (m <sup>3</sup> /s)		Durée (jours)	Coefficients k (jour <sup>-1</sup> )
	Début ( t <sub>0</sub> )	Fin ( t <sub>t</sub> )	Début ( Q <sub>0</sub> )	Fin ( Q <sub>t</sub> )		
SILI						
1974/75	22/10/1974	12/02/1975	0.821	0.002	113	0.053
1975/76	24/10/1975	31/01/1976	0.98	0.015	99	0.042
1976/77	07/11/1976	26/01/1977	0.98	0.002	80	0.077
1977/78	20/10/1977	16/12/1977	0.991	0.002	57	0.109
1978/79	11/11/1978	17/12/1979	0.991	0.004	98	0.056
1979/80	01/11/1979	21/12/1979	0.49	0.004	61	0.079
1980/81	04/10/1980	09/01/1981	0.94	0.001	97	0.071
1981/82	17/10/1981	30/01/1982	0.686	0.002	105	0.058
1982/83	22/10/1982	21/01/1983	0.94	0.002	91	0.068
1983/84	21/09/1983	10/12/1984	0.981	0.002	80	0.077
1984/85	03/11/1984	01/12/1985	0.508	0.005	90	0.051
1985/86	16/10/1985	03/02/1986	0.602	0.002	110	0.052
1986/87	05/10/1986	01/02/1987	0.907	0.001	119	0.057
1987/88	20/10/1987	12/02/1988	0.988	0.003	115	0.050
1988/89	09/10/1988	27/01/1989	0.679	0.002	110	0.053
1989/90	02/11/1989	31/01/1990	0.722	0.003	90	0.061
1990/91	26/10/1990	11/12/1990	0.092	0.003	46	0.074
1991/92	26/09/1991	11/12/1991	0.786	0.003	76	0.073
1992/93	08/10/1992	23/12/1992	0.508	0.002	76	0.073

L'écoulement de base varie suivant la lame d'eau reçue sur le bassin (Tableau 42) Il est maximal en année très humide (142.52 et 149.13 mm) respectivement en 1974 et 1978; moyenne en année intermédiaire (59.52 mm) en 1980 et très faible en année sèche (29.6 mm) en 1983. C'est un écoulement qui est quasi permanent pendant toute la saison pluvieuse (mai à octobre) et qui s'arrête un mois après (novembre).

**Tableau 42: Ecoulement de base, lames d'eau écoulée et ruisselée (Sili)**

SILI	P mm	le mm	Ec. base mm	lr mm	Kr %	ETP(mm) Penman
1974/75	1296.2	383.33	142.52	240.81	18.6	1891.3
1975/76	1282.5	300	105.97	194.02	15.1	1922
1976/77	1111.4	218.88	66.51	152.37	13.8	1918
1977/78	1109.1	208.88	98.82	110.06	9.9	1915.2
1978/79	1595.4	470	149.13	320.86	20.1	1957.8
1979/80	959	280	17.08	262.91	27.4	1911.9
1980/81	1115.8	164.44	59.52	104.92	9.4	1839.5
1981/82	1295.1	234.44	125.43	109.01	8.4	1885.1
1982/83	960	122.22	52.8	69.42	7.2	1886.6
1983/84	884.4	62.22	29.6	32.62	3.7	1901.2
1984/85	1247.7	224.44	73.06	151.37	12.1	1915.2
1985/86	1256	251.11	121.6	129.51	10.3	1928.4
1986/87	1167	101.11	96.48	4.62	0.4	2022.5
1987/88	1081.5	137.77	24	113.77	10.5	1957.8
1988/89	986.2	108.88	94.52	14.36	14.6	2241.9
1989/90	1031	186.66	80	106.66	10.3	1891.3
1990/91	795.9	84.44	16.64	67.8	8.5	1922
1991/92	1124.7	88.88	35.1	53.78	4.8	1918
1992/93	941.4	51.11	48.63	2.47	0.3	1626

P (mm) = pluviométrie annuelle; le (mm) = lame totale écoulée; Ec = écoulement de base; Lr = lame d'eau ruisselée; Kr (%) = coefficient de ruissellement; ETP (mm) = valeur annuelle de l'évapotranspiration Penman.

Il semble exister d'assez bonnes relations entre les différentes formes d'écoulement (lame totale écoulée, écoulement de bases, lame ruisselée) et la pluviométrie (Tableau 42).

## 2. LE NIAOULE

### 2.1. Ecoulements Annuels et Mensuels

Le Tableau 43 présente les débits moyens mensuels et annuels de quelques années complètes de la station du Niaoulé - Tanou. Ces données serviront à calculer les termes du bilan hydrologique mensuel et annuel.

Les tableaux ci suivants regroupent tous les termes du bilan annuel et mensuel dans le bassin du Niaoulé. Les débits moyens mensuels et annuels sont exprimés en m<sup>3</sup>/s.

Tableau 43: Débits moyens mensuels et annuels

Ann	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1972	0	0	0	0	0	0.159	1.45	0.367	0.283	0.108	0	0	0.197
1973	0	0	0	0	0.011	1.38	1.57	0.676	0.173	0	0	0	0.318
1976	0	0	0	0	0	0.092	0.129	0	0.082	0.002	0	0	0.025
1977	0	0	0	0	0	0.125	1.11	0.42	0.257	0	0	0	0.159
1980	0	0	0	0	0	0.139	0.002	0.211	0.088	0	0	0	0.036
1981	0	0	0	0	0	0.228	0.152	1.16	0.125	0.155	0	0	0.152
1982	0	0	0	0	0.042	0.528	0.198	1	0.185	0	0	0	0.163
1983	0	0	0	0	0.504	0.982	1.8	0.065	0.093	0	0	0	0.287
1984	0	0	0	0	0	0.106	0.245	0.32	0.623	0.035	0	0	0.111
1988	0	0	0	0	0	0	0	0.143	0	0	0	0	0.011
nb. Jrs	31		31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

Le déficit d'écoulement (DE mm) est un paramètre qui a une grande signification climatique; il est plus important au Sili qu'au Niaoulé. En plus à l'intérieur de chaque bassin, le déficit d'écoulement augmente avec la pluviométrie (Tableau 44).

Tableau 44: Déficit d'écoulement

Ann.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1972	0	0.3	0	0	5.3	60.0	252	151	75.7	83.6	0.4	0	628
1973	0	0	0	0	43.0	130	235	206	69.1	27.7	0	0	710
1976	0	0	0	1.4	44	130	170	67.9	164	57.0	26.5	3.7	665
1977	0	0	0	0	0	102	172	83.6	225	15.7	0	0	598
1980	0	8.6	0	0	0	80.6	90.5	186	123	31	0	3	523
1981	0	1.9	0.9	66.5	21.4	203	278	153	31.0	2.66	0	0	759
1982	0	0	0	0	0.309	62.1	79.2	192	95.5	24.6	0	0	453
1983	0	0	3.1	0	20.4	91.6	137	143	78.2	7.80	0	0	481
1984	0	0	0	0	19.8	125	162	72.7	150	56.8	0.1	0	587
1988	0	0	0	16.7	60	60.1	189	450	126.6	48	0	0	950

Les coefficients d'écoulement les plus élevés appartiennent au bassin du Sili et les plus faibles à celui du Niaoulé. Le Sili plus arrosé se distingue par des pentes fortes, des lits relativement étroits avec des berges très nettes. La dégradation hydrographique est négligeable dans ces conditions et il arrive que l'ensemble du bassin ruisselle à la fois. C'est ce qui explique l'importance du ruissellement sur le Sili, matérialisé par des coefficients de ruissellement élevés. En aval, on ne retrouve plus des lits avec des berges très nettes dans le bassin du Niaoulé dont le sol ruisselle moins bien à cause du recouvrement sableux en surface, de la présence de sols trop perméables, des zones d'éboulis et des pentes très faibles. Le réseau hydrographique présente alors des traces de dégradations très marquées, parfois les berges présentent des zones de débordement couvertes de végétation à l'état naturel qui ralentissent l'écoulement et contribuent à atténuer la valeur du coefficient de ruissellement (Tableau 45).

**Tableau 45: Coefficients de ruissellement**

Ann	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1972	-	0	-	-	0	0.556	1.24	0.528	0.782	0.281	0	-	0.810
1973	-	-	-	-	0.056	2.19	1.44	0.711	0.525	0	-	-	1.14
1976	-	-	-	0	0	0.149	0.165	0	0.105	0.068	0	0	0.098
1977	-	-	-	-	-	0.258	1.39	1.08	0.240	0	-	-	0.687
1980	-	0	-	-	-	0.362	0	0.246	0.150	0	-	0	0.180
1981	-	0	0	0	0	0.236	0.119	1.62	0.842	11.3	-	-	0.516
1982	-	-	-	-	22.9	1.76	0.542	1.12	0.407	0	-	-	0.919
1983	-	-	0	-	5.10	2.21	2.78	0.099	0.250	0	-	-	1.52
1984	-	-	-	-	0	0.178	0.328	0.949	0.866	0.134	0	-	0.482
1988	-	-	-	0	0	0	0	0.069	0	0	-	-	0.033

**Les débits spécifiques**

Le bassin du Niaoulé qui est sub - horizontal et situé sur les formations perméables du continental terminal est caractérisé par des débits spécifiques plus faibles que sur le Sili (Tableau 38 et Tableau 46).

**Tableau 46: Débits spécifiques**

Ann.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1972	0	0	0	0	0	0.129	1.18	0.298	0.230	0.088	0	0	0.160
1973	0	0	0	0	0.009	1.12	1.28	0.550	0.141	0	0	0	0.259
1976	0	0	0	0	0	0.075	0.105	0	0.067	0.002	0	0	0.020
1977	0	0	0	0	0	0.102	0.902	0.341	0.209	0	0	0	0.129
1980	0	0	0	0	0	0.113	0.002	0.172	0.072	0	0	0	0.029
1981	0	0	0	0	0	0.185	0.124	0.943	0.102	0.126	0	0	0.124
1982	0	0	0	0	0.034	0.429	0.161	0.813	0.150	0	0	0	0.132
1983	0	0	0	0	0.410	0.798	1.46	0.053	0.076	0	0	0	0.233
1984	0	0	0	0	0	0.086	0.199	0.260	0.507	0.028	0	0	0.090
1988	0	0	0	0	0	0	0	0.116	0	0	0	0	0.009

La pluie débute très tôt dans le bassin du Niaoulé (Tableau 47) mais seule une pluie supérieure à 20 mm peut générer un écoulement sur le bassin. C'est pour cette raison que l'écoulement demeure très faible en début de saison pluvieuse (Mai) et fin de saison (octobre)

**Tableau 47: Pluies (mm)**

Ann.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1972	0	0.3	0	0	5.3	60.3	255	151	76.3	83.8	0.4	0	633
1973	0	0	0	0	43	133	238	207	69.5	27.7	0	0	718
1976	0	0	0	1.4	44	130.5	170	67.9	165	57	26.5	3.7	666
1977	0	0	0	0	0	102	174	84.5	226	15.7	0	0	602
1980	0	8.6	0	0	0	80.9	90.5	186	124	31	0	3	524
1981	0	1.9	0.9	66.5	21.4	204	279	156	31.3	3	0	0	763
1982	0	0	0	0	0.4	63.2	79.6	194	95.9	24.6	0	0	457
1983	0	0	3.1	0	21.5	93.7	141	143	78.4	7.8	0	0	489
1984	0	0	0	0	19.8	126	163	73.4	152	56.9	0.1	0	590
1988	0	0	0	16.7	60	60.1	189	450	127	48	0	0	950

### Lames d'eau écoulées (mm)

Les lames d'eau écoulées augmentent proportionnellement avec pluie (Tableau 47 et Tableau 48). Les lames d'eau, les plus élevées sont enregistrées dans le Sili et durant les périodes les plus pluvieuses. Le bassin du Niaoulé est perméable et à faible pente, il présente un écoulement nul durant la majeure partie de l'année.

**Tableau 48 : Lames d'eau écoulées**

Ann	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1972	0	0	0	0	0	0.335	3.16	0.799	0.596	0.235	0	0	5.12
1973	0	0	0	0	0.024	2.91	3.42	1.47	0.365	0	0	0	8.19
1976	0	0	0	0	0	0.194	0.281	0	0.173	0.004	0	0	0.652
1977	0	0	0	0	0	0.263	2.42	0.915	0.542	0	0	0	4.137
1980	0	0	0	0	0	0.293	0.004	0.459	0.185	0	0	0	0.942
1981	0	0	0	0	0	0.480	0.331	2.53	0.263	0.338	0	0	3.94
1982	0	0	0	0	0.091	1.11	0.431	2.18	0.390	0	0	0	4.20
1983	0	0	0	0	1.10	2.07	3.92	0.142	0.196	0	0	0	7.42
1984	0	0	0	0	0	0.223	0.534	0.697	1.31	0.076	0	0	2.84
1988	0	0	0	0	0	0	0	0.311	0	0	0	0	0.311

### L'indice d'écoulement

Le volume d'eau à écouler varie suivant la répartition temporelle des pluies. Les disponibilités mensuelles et annuelles en eau de surface se posent avec beaucoup d'acuité dans le bassin du Niaoulé. La quantité d'eau ( $10,1.10^6$  mm) véhiculée chaque seconde en année humide (1973) est sensiblement égale à celle drainée par le Sili en période sèche.

**Tableau 49: Volumes moyens mensuels ( $10^6$ m3)**

Ann.	Janv.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
1972	0	0	0	0	0	0.412	3.88	0.983	0.734	0.289	0	0	6.30
1973	0	0	0	0	0	3.58	4.21	1.81	0.448	0.000	0	0	10.1
1976	0	0	0	0	0	0.238	0.346	0	0.213	0.005	0	0	0.802
1977	0	0	0	0	0	0.324	2.97	1.12	0.666	0.000	0	0	5.09
1980	0	0	0	0	0	0.360	0.005	0.565	0.228	0.000	0	0	1.16
1981	0	0	0	0	0	0.591	0.407	3.11	0.324	0.415	0	0	4.84
1982	0	0	0	0	0.112	1.37	0.530	2.68	0.480	0.000	0	0	5.17
1983	0	0	0	0	1.35	2.55	4.82	0.174	0.241	0.000	0	0	9.13
1984	0	0	0	0	0	0.275	0.656	0.857	1.61	0.094	0	0	3.50
1988	0	0	0	0	0	0	0	0.383	0	0.000	0	0	0

A partir des relations entre la pluie et l'écoulement annuel sur les bassins représentatifs Rodier (1975) a construit des abaques qui donnent, une estimation de la distribution statistique de l'écoulement annuel. Cette estimation se fait sur un bassin versant en fonction de la superficie et d'une typologie faite sur des paramètres physiographiques simples des bassins.

**Tableau 50: Ecoulements annuels pour diverses récurrences du Niaoulé**

Précipitation (mm )		Écoulement (mm )	Coeff. ruissellement Kr (%)
P médiane	800	24	3
P 0.10	1030	90	8.7
P0.90	605	6.5	1.1

Les écoulement médian et décennial sec sont extrêmement faibles par rapport à ceux du Sih, cela est dû à la faiblesse de la pente et à la forte perméabilité du bassin du Niaoulé.

## 2.2. Ecoulements journaliers

La variabilité journalière de l'écoulement est mise en évidence dans le bassin du Niaoulé à partir de la figure qui regroupe les hydrogrammes de l'année la plus humide du point de vue hydrologique (1973-74), et l'année la plus sèche (1983-1984).

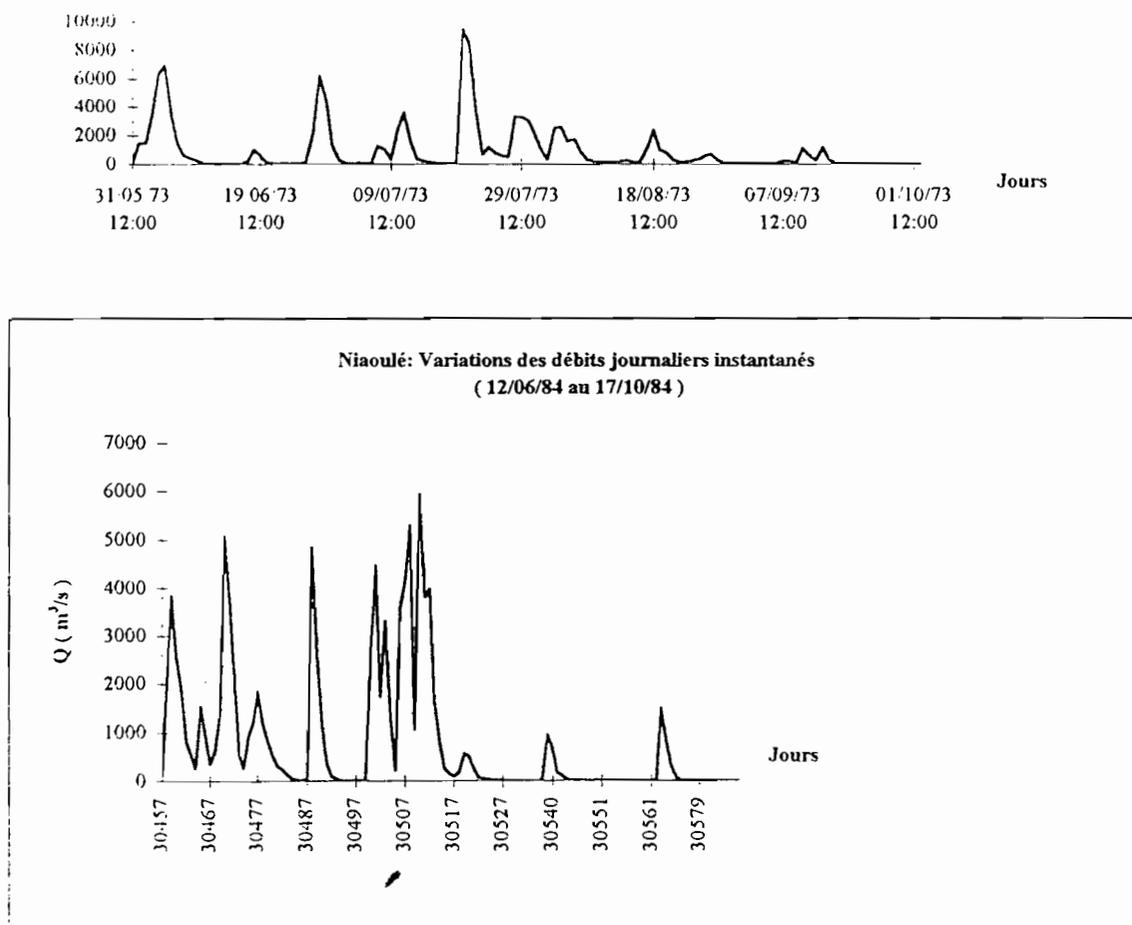


Figure 37 – Niaoulé Variations des débits journaliers instantanés

Pour l'année la plus humide (1973-1974) : il y a eu 121 jours d'écoulement (01/06/73 au 01/10/73) et la pointe est atteinte le 20/07/73 avec une valeur de 9430 m³/s. Elle est enregistrée un jour où il n'y a pas eu de pluie sur le bassin. Cependant 12 jours plus tôt (08/07/73) est intervenu le maximum pluviométrique sur le bassin avec une valeur de 76.1 mm.

Pour l'année la plus sèche (1983-1984) : l'écoulement dure 87 jours au Niaoulé - Tanou, il commence le 20/05/83 pour s'arrêter le 09/09/83. La pluie maximale (62.3 mm) est enregistrée le 18/06/83 et le débit de pointe (5940 m³/s) le 12/07/83. Ce dernier est consécutif aux 30.4 mm de pluie enregistrée sur le bassin le 11/07/83.

L'écoulement est toujours plus précoce au Niaoulé - Tanou mais plus long au Sili - pont. Ceci est à mettre en rapport avec la saison pluvieuse plus longue au Sili. La structure géologique formée de roches peu perméables du socle et de sa couverture paléozoïque au Sili est aussi un facteur favorable au développement de l'écoulement dans le Sili par rapport au Niaoulé qui est situé dans les sables et grés perméables du continental terminal.

### 3. ETUDE COMPARATIVE DU DEVENIR DE L'ÉCOULEMENT SUR LES DEUX BASSINS

#### 3.1. Ruissellent immédiat

Le bassin du Niaoulé est situé dans une zone où la pluviométrie est comprise entre 500 et 900 mm. La lame d'eau déposée sur le bassin est immédiatement absorbée par infiltration ou ruisselé sur le bassin (Figure 37). C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas identifié d'écoulement de base dans le bassin. La lame d'eau écoulée est donc égale à la lame d'eau ruisselée.

Le bassin se caractérise par des pentes très faibles et par la très grande infiltrabilité des sols. Les coefficients de ruissellement sont très faibles sur le bassin du Niaoulé (Tableau 45) avec des valeurs annuelles qui sont comprises entre 0.001 et 0.059 % .

Les très fortes averses du début et de la fin des années 1970 ont contribué à augmenter la part du ruissellement sur le bassin du Sili (Tableau 42). La valeur maximale du coefficient de ruissellement (27.4 %) est enregistrée en 1979/80, c'est-à-dire l'année qui suit immédiatement la plus pluvieuse (1978/79). Cette forte pluviométrie couplée à la structure géologique et à la morphométrie du bassin va générer un ruissellement relativement important sur le bassin du Sili. Par exemple le ruissellement va passer de 18.6 % des écoulements en 1974 à 27.4 % en 1979.

Le ruissellement est partout supérieur à l'écoulement de base sur le bassin du Sili, sauf pour les années très sèches comme 1986/87, 1988/89 et 1992/93. En 1986/87 le bassin du Sili a reçu 101.11 mm d'eau dont 96.48 mm constitue l'écoulement de base et 4.62 mm seulement sont ruisselées soit 0.4 % de la lame d'eau reçue. Durant la période 1988/89, le Sili a enregistré 108.88 mm d'eau dans lesquelles 94.52 mm représentent l'écoulement de base et 14.36 mm sont ruisselées soit 14.6 % de l'écoulement total. La situation devient plus critique en 1992/93 qui est très déficitaire où le bassin n'a reçu qu'une lame d'eau de 51.11 mm dont l'essentiel représente l'écoulement de base (48.63 mm) et une faible part destinée au ruissellement.

Les valeurs mensuelles sont relativement plus fortes que les valeurs annuelles. Dans le bassin du Niaoulé, les valeurs mensuelles sont fortes en début et en fin de saison pluvieuse (Tableau 45) à cause de la dégradation du couvert végétal et du réseau hydrographique. Les coefficients de ruissellement mensuels très élevés du Sili sont liés à la pluviosité, aux fortes pentes et à la nature peu perméables des sols. Ils augmentent avec la pluviosité pour atteindre leurs valeurs maximales au milieu de la saison pluvieuse c'est à dire en août ou septembre (Tableau 37). Les coefficients de ruissellement sont dès lors très sensibles aux conditions d'humidité, à l'état des sols et à la nature du couvert végétal.

### 3.2. Infiltration

Les précipitations comprises entre 20 et 45 mm sont très nombreuses sur les bassins de référence. Par exemple on a enregistré 30 pluies de ce genre en 1981 ; 21 en 1986 et 16 en 1992. Pour le Niaoulé ces pluies sont estimées à 14 mm en 1974; 13 mm en 1981 et 5 mm en 1993. Ces précipitations, faibles et continues vont jouer un rôle important dans l'alimentation des nappes. Par ailleurs, l'infiltration dépend de la nature du sol et surtout de son état de surface, des paramètres qui varient avec l'occupation du sol et des pratiques culturales.

### 3.3. Evaporation

L'évaporation mesurée sur bac dans le bassin de la Gambie passe d'une valeur moyenne de 171 mm/an à Kédougou à 201 mm/an à Tambacounda. En période d'inondation, c'est le phénomène d'évaporation qui prédomine dans les bas-fonds, il n'en est pas de même sur les versants où l'évaporation résulte essentiellement de la transpiration des plantes.

Les bassins de référence se caractérisent d'une part par la très grande extension des formations latéritiques qui recouvrent les roches et d'autre part par les facteurs anthropiques. Le plus souvent la cuirasse affleure dans ces zones par suite du décapage hydrique (cas du bassin du Sili) ou de la déflation éolienne (bassin du Niaoulé).

### **Chapitre III : La Prédétermination des crues**

La crue décennale utilisée pour l'aménagement d'un bas-fond est définie comme une crue provoquée par une pluie décennale (hauteur de pluie égalée ou dépassée une fois tous les dix ans en moyenne); toutes les autres conditions étant moyenne : saturation du sol, forme de la pluie, état de la végétation (RODIER - AUVRAY, 1965)

Il existe deux méthodes de prédétermination de la crue de projet en Afrique de l'Ouest pour le dimensionnement des aménagements hydro - agricoles sur des bassins qui ne disposent d'aucune mesure hydrologique.

La méthode de RODIER - AUVRAY (1965) permet de déterminer les paramètres de la crue de récurrence décennale sur un bassin versant tropical de superficie comprise entre 10 et 200 km<sup>2</sup>. La méthode repose sur une estimation globale de la capacité d'infiltration du bassin, organisée en six classes. Cette capacité associée à un domaine climatique, à une classe de relief et à la surface, permet à l'utilisateur de se référer à des abaques pour estimer l'ensemble des paramètres de la crue de projet (volume ruisselé, débit de pointe, temps de monté, temps de base). Cette méthode peut être appliquée sur le bassin du Sili dont la superficie est de 90 km<sup>2</sup>

La méthode PUECH - CHABI GONI (1984) : est la seule utilisable pour un bassin de superficie supérieure à 200 km<sup>2</sup>. La surface et l'indice global de pente sont des facteurs déterminants de la méthode. Les auteurs ont tracé des abaques pour une superficie de 1000 km<sup>2</sup> maximum, ce qui nous permet de l'appliquer pour déterminer la crue décennale sur le bassin du Niaoulé.

Toute l'information indispensable sur le choix de la méthode à utiliser est disponible dans l'ouvrage « Le point sur la maîtrise des crues dans les bas-fonds ». GRET, CF, ACCT (1987). Ce choix est fonction des caractéristiques physiques du bassin à étudier (Tableau 35).

#### **1. METHODE DE RODIER-AUVRAY**

L'application des six étapes de la méthode donne les résultats suivants:

##### **1.1. Pluies moyennes de fréquence décennale sur les bassins versants**

Kédougou se trouve à l'extrême sud-est du Sénégal. Cette position géographique place la ville, légèrement au dessus de l'isohyète 1250 mm et lui confère un climat tropical de transition. La moyenne pluviométrique annuelle est de l'ordre de 1300 mm. La hauteur de précipitations décennale, calculée sur le bassin est égale à 131 mm. Cette valeur est sensiblement égale à la hauteur de précipitation décennale (130 mm), lue sur les cartes du CIEH. La superficie planimétrée sur la carte topographique au 1/20000 est de 90 km<sup>2</sup>.

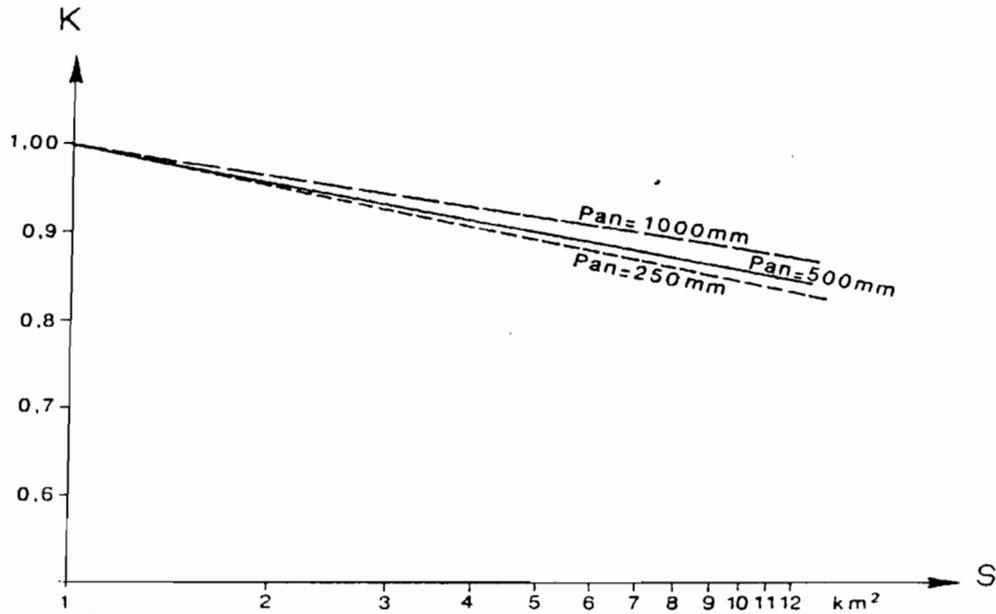


Figure 38 : Coefficient d'abattement pour la pluie décennale au sahel en fonction de la surface (s) (d'après VUILLAUME, 1979)

La Figure 38 donne la valeur du coefficient d'abattement qui est égal à 0.78. Il s'agit du coefficient de réduction qu'il faut appliquer pour passer d'une hauteur de pluie ponctuelle à une hauteur moyenne sur une surface donnée.

La hauteur de précipitation moyenne sur le bassin sera :

$$131 \text{ mm} \times 0.78 = 102 \text{ mm}$$

## 1.2. Classification des bassins versants

Les paramètres permettant de calculer les crues décennales sur les bassins versants d'études sont résumés dans le Tableau 35.

De très vastes glacis cuirassés s'étendent sur des roches (schistes, grés, pélites) imperméables dans l'ensemble depuis les inselbergs de Ndébou et Bandafassi jusqu'aux abords de la vallée de la Gambie dans la zone de Kédougou.

Tableau 51: Classification des bassins versants

Bassins	Superficie Km <sup>2</sup>	Régime	Classe de relief	Classe de perméabilité
Sili	90	tropical	R3	P3
Niaoulé	1235	sahélien	R1	P5

Le bassin du Sili est donc situé dans une région où le relief n'est pas trop accentué. On peut supposer que la pente correspond à la catégorie R3. Suite aux conclusions géologiques et géomorphologiques, on peut admettre que le terrain n'est pas trop perméable, le bassin peut être classé en P3.

PERMEABILITE P3  
 Régimes tropéens et tropicaux de transition  
 (Épaisseur de 300 à 1600 mm)

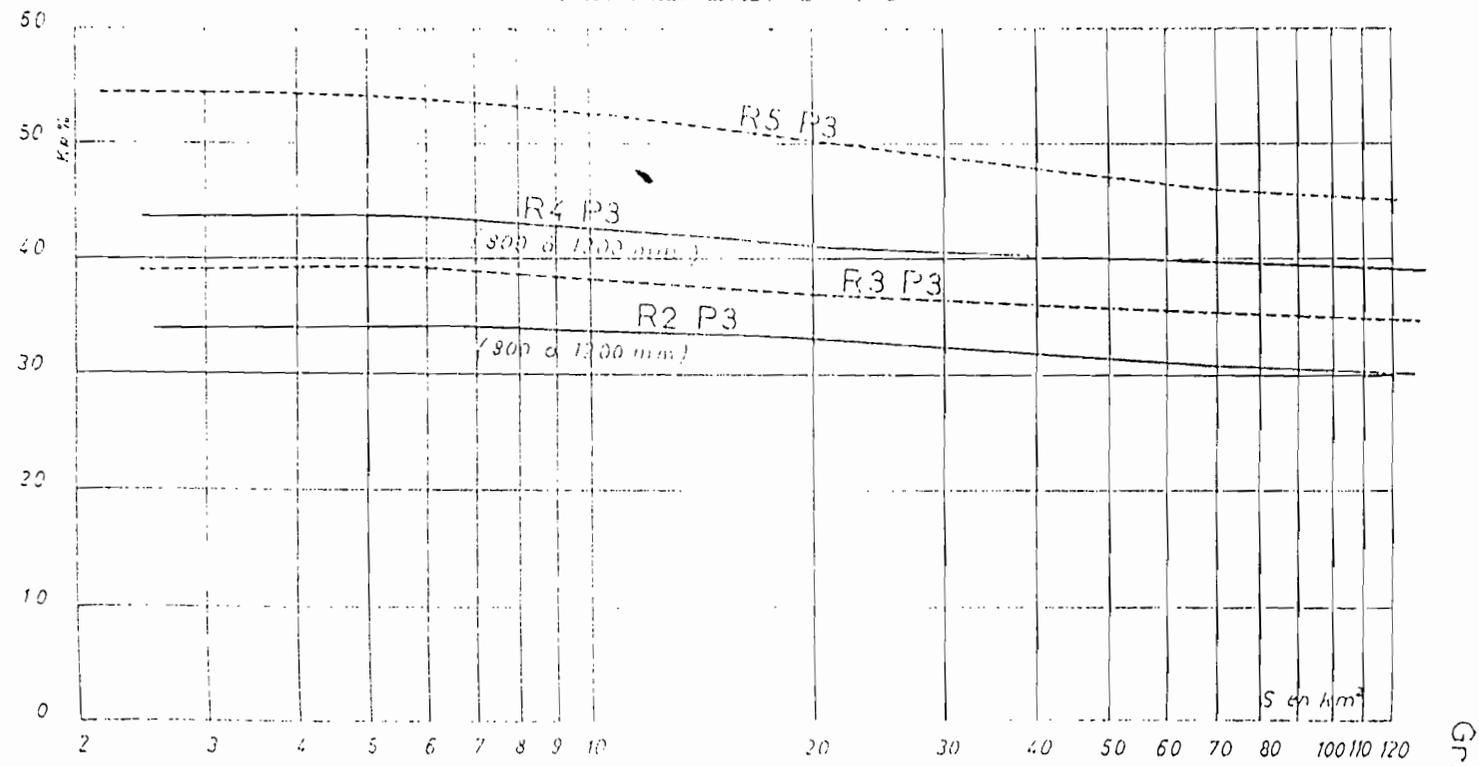


Figure 39 : Coefficient de ruissellement

Gr-6

### 1.3. Etude du coefficient de ruissellement

La valeur du coefficient de ruissellement pour les régimes tropicaux et tropicaux de transition (pluie entre 800 et 1600 mm) est lue sur la Figure 39. L'intersection de la droite  $S = 90 \text{ km}^2$  et de la courbe R3P3 correspond à notre bassin au point d'ordonnée 35 % : c'est la valeur du coefficient de ruissellement pour la crue décennale du Sili. Le volume de la crue se calcule à partir de ce coefficient et de la pluie décennale moyenne sur le bassin.

La lame d'eau ruisselée est de :

$$102 \text{ mm} \times 0,35 = 36 \text{ mm}$$

Le volume ruisselé pour  $90 \text{ km}^2$  sera de :

$$36 \times 10^{-3} \times 90 \times 10^6 = 36 \times 90 \times 10^3 = 3240000 \text{ m}^3$$

### 1.4. Les temps de base et de montée

Les temps de base et de montée sont déterminés sur des abaques (Figure 40) à partir de trois critères physiographiques : la zone climatique dans laquelle le bassin est situé, les classes de relief et de sol.

**Tableau 52: Temps de montée et temps de base**

Bassin	Estimation Rodier et Auvray		
	Surface Km <sup>2</sup>	Temps de montée (h)	Temps de base (h)
Sili	90	5.5	17.8

Dans ces conditions pour une superficie de  $90 \text{ km}^2$ , le temps de base est égal à :

$$17.8 \times 3600 \text{ s} = 64080 \text{ s}$$

le temps de montée est de 5 h 52 mn, soit 21100 s.

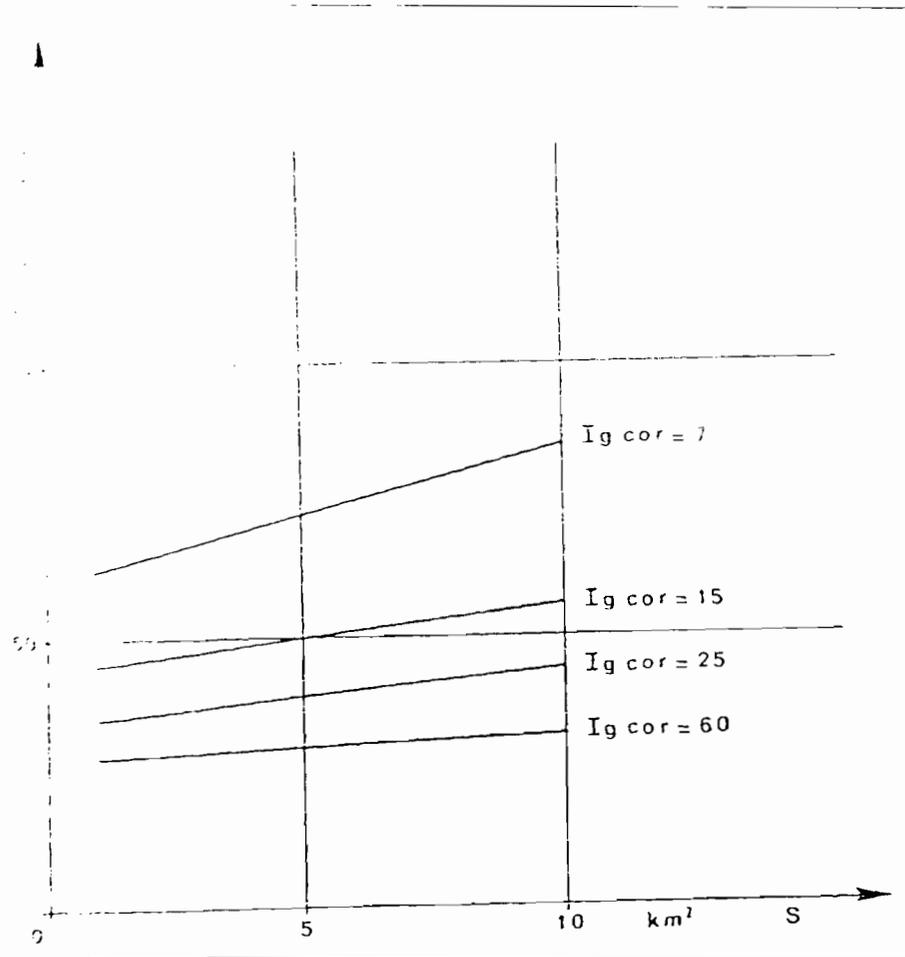


Figure Temps de montée ( $T_m$ ) en fonction de la surface

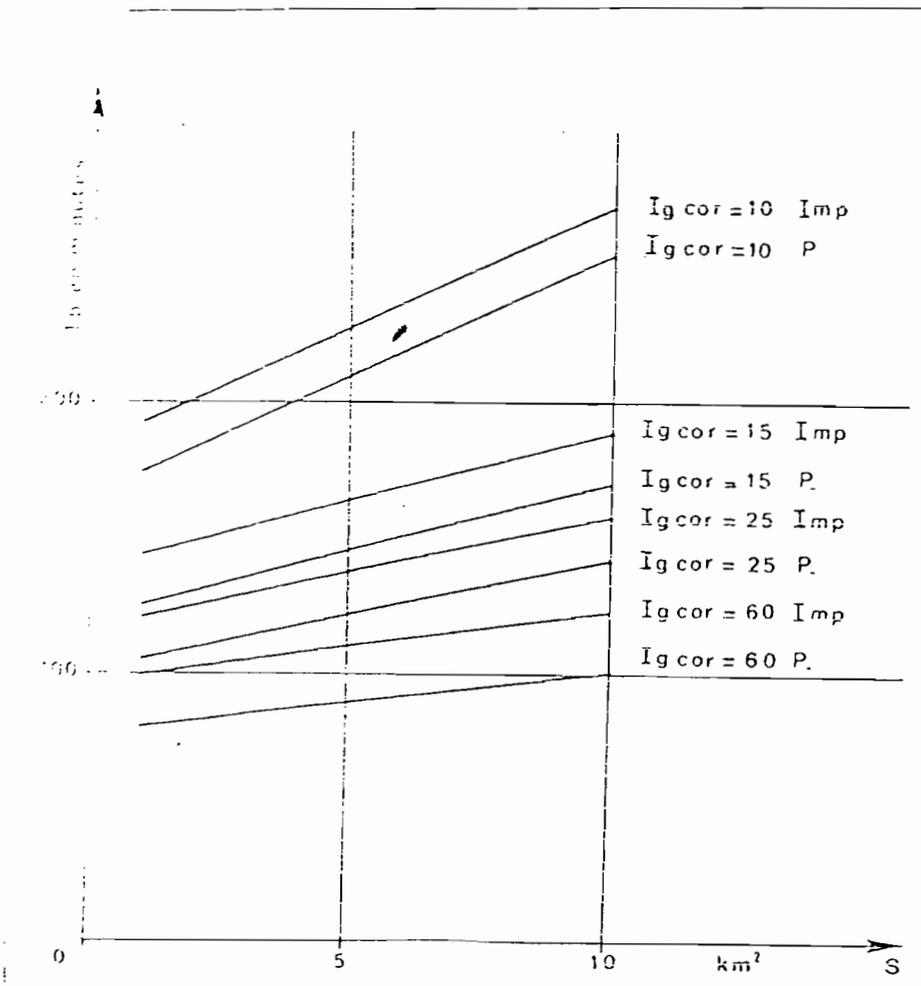


Figure 40 : Temps de base et temps de montée

### 1.5. Forme de la crue décennale

Le débit moyen ( $Q_m$ ) de la crue est obtenu à partir du rapport du volume ruisselé sur le temps de base. Le débit de pointe ( $Q_{max}$ ) est déduit de la relation  $Q_{max} = K Q_m$  où  $K$ , coefficient de forme est donné en fonction des caractéristiques géomorphologiques. A cette valeur il faut ajouter un débit de base de  $3.96 \text{ m}^3 / \text{S}$ , calculé à partir des surfaces planimétrées sur les hydrogrammes du Sili.

Tableau 53: Forme de la crue

Bassin	Estimation Rodier et Auvray				Détermination par l'étude hydrologique
	Surface $\text{Km}^2$	$Q_m$ $\text{m}^3/\text{s}$	Coeff. de forme	$Q_{max}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{max}$ $\text{m}^3/\text{s}$
Sili	90	51	3	157	151
	CIEH				
Niaoulé	1235			230	

La valeur du débit maximal obtenu en appliquant directement l'équation de la méthode ORSTOM est très voisine de celle trouvée à partir de l'utilisation des abaques (Annexes).

## 2. METHODE CIEH (PUECH - CHABI GONI)

Appliqué sur le bassin du Sili, la méthode CIEH (Puech - Chabi Goni in Berton) par utilisation des abaques donne les résultats suivants :

- $Q_{10} = 118 \text{ m}^3/\text{S}$  abaque A (sans estimation de  $K_{r10}$ )
- $Q_{10} = 114 \text{ m}^3/\text{S}$  abaque D avec  $K_{r10} = 35 \%$ .

Il y a peu d'écart entre les résultats de l'ORSTOM ( $157 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et ceux du CIEH ( $122 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Les caractéristiques du bassin du Niaoulé ne donnent pas d'autres alternatives que d'utiliser la méthode CIEH (Puech - Chabi Goni in Berton) pour effectuer la prédétermination des crues sur le bassin.

Les auteurs ont tracé des abaques pour une superficie de  $1000 \text{ km}^2$  au maximum. Comme le bassin fait  $1230 \text{ km}^2$  de superficie, nous avons extrapolé l'échelle pour pouvoir déterminer le débit décennal.

La méthode CIEH (Puech - Chabi Goni in Berton) par utilisation des abaques donne les résultats suivants :

- $Q_{10} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$  abaque B (sans estimation du  $K_{r10}$ )
- $Q_{10} = 260 \text{ m}^3/\text{s}$  abaque D avec  $K_{r10} = 9.2 \%$

La crue d'étude est calculée par utilisation de la méthode OPSTOM (Rodier - Auvray) pour le bassin du Sili et la méthode CIEH (Chabi - Goni) pour le Niaoulé. Pour ces deux méthodes, la crue de projet est définie par la récurrence de l'événement pour lequel l'aménageur estime devoir protéger les infrastructures mises en place et qui est au moins décennale.

Les valeurs trouvées (157 m<sup>3</sup>/s pour le Sili et 280 m<sup>3</sup>/s pour le Niaoulé) représentent des indicateurs statistiques. En effet selon Gret 1987 une crue de débit supérieur au débit décennal estimé peut très bien apparaître un an après la réalisation de l'ouvrage; 30 ans après on peut l'attendre encore.

Pour sécuriser les infrastructures, il faut retenir pour le Sili un débit décennal dont la valeur est comprise entre 120 m<sup>3</sup>/s et 195 m<sup>3</sup>/s. Pour le Niaoulé, les valeurs doivent évoluer entre 240 m<sup>3</sup>/s et 325 m<sup>3</sup>/s.

## CONCLUSION

Les précipitations élevées et le relief plus marqué sont à l'origine du développement plus important du réseau hydrographique dans les bas-fonds du socle. Le remplissage alluvionnaire des vallées et des fonds de mares s'y est effectué avec des puissances plus élevées. Les nappes superficielles, bien alimentées et de bonnes capacités, donnent des débits suffisants durant la majeure partie de l'année. Ce qui explique l'existence d'un écoulement de base sur le bassin du Sili.

L'évolution du climat vers un régime de plus en plus aride lorsqu'on passe la latitude de Simenti et l'abaissement général du relief se traduisent par une plus faible densité du réseau hydrographique.

Le bassin du Sili (90 km<sup>2</sup>) a un débit annuel de 1.1 m<sup>3</sup>/s en 1974. Il contribue pour 1.03 % des apports annuels de la Gambie à Kédougou (106 m<sup>3</sup>/s) pour une fraction correspondant à 0.1% de la superficie totale du bassin de la Gambie (77054 km<sup>2</sup>). Cet apport décroît suivant les années de 0.5 % en 1980, il passe à 0.4% en 1984.

Le bassin du Niaoulé (1230 km<sup>2</sup>) représente 1.6 % du bassin de la Gambie. Il a contribué pour environ 0.2% aux apports annuels de la Gambie à Gouloumbou en 1972 (120 m<sup>3</sup>/s) et 1973 (168 m<sup>3</sup>/s).

En terme de bilan hydrologique, les apports des bassins de référence sont très variables d'une année à l'autre et très négligeables dans le débit terminal de la Gambie.

En dehors des plaines alluviales de la Gambie et de quelques bassins issus de ses affluents, les nappes alluviales sont généralement de très faible importance.

Les bassins de référence se caractérisent d'une part par la très grande extension des formations latéritiques qui recouvrent les roches et d'autre part par l'ampleur du phénomène de déboisement pratiqué par les paysans à la recherche de bois de chauffe. Ce phénomène contribue pour une grande part à la dégradation du milieu. Le plus souvent la cuirasse affleure dans ces zones par suite du décapage hydrique (cas du bassin du Sili) ou de la déflation éolienne (bassin du Niaoulé).

En ce qui concerne la mise en valeur agricole, les sols sur matériau garvillonnaire prennent une extension considérable sur les bassins à cause du phénomène de démantèlement de la surface cuirassée du moyen glaciaire. Les environs immédiats des marigots à savoir les zones inondables qui répondent aux caractéristiques de bas-fonds présentent donc des situations favorables en ce qui concerne la mise en valeur agricole des sols.

## **TROISIEME PARTIE**

### **LA DYNAMIQUE DE LA MISE EN VALEUR DES BAS-FONDS**

## CHAPITRE I : ZONES INONDABLES ET FAMILLES DE BAS-FONDS

### GENERALITES

Le bassin d'études traverse deux formations géologiques très différentes (cf. géologie). Le passage d'une formation à l'autre explique la très grande diversité des paramètres physiographiques qui se traduit dans la région par l'existence de paysages très variés. Les petits massifs aux versants abrupts et les inselbergs font place en franchissant l'axe Simenti - Badi à de vastes plateaux gréseux du continental terminal. Il s'agit de plateaux très uniformes qui ont été profondément entaillés par les réseaux permanents de la Gambie qui contribuent à la mise en place de zones qui sont périodiquement inondées.

La situation et les caractéristiques des bas-fonds par rapport à l'ensemble des zones inondables ont été précisées dans la définition (introduction). Les critères de distinction entre bas-fonds et plaines alluviales sont définis suivant les auteurs dans le même paragraphe. Les zones inondables qui sont liées au cours principal de la Gambie correspondent aux larges plaines alluviales. Les bas-fonds se trouvent dans les parties les plus amonts des affluents de la Gambie. Ils correspondent aux drains d'ordre 1 et 2 (cf. définition des bas-fonds)

Les zones inondables représentent une superficie de 9437.5 km<sup>2</sup> sur l'ensemble du bassin d'étude. Elles correspondent à 12.25 % de la superficie totale de la Gambie et 21.34 % de celle du bassin de la Gambie entre Kédougou et Sandougou. Ces zones sont réparties sur les deux rives avec 8405 km<sup>2</sup> sur la rive droite et 1032.5 km<sup>2</sup> sur la rive gauche. Cette inégale répartition s'explique par deux faits :

- 1) la rive droite dénombre six affluents contre quatre sur la rive gauche ;
- 2) les affluents de rive droite drainent des bassins de superficies plus importantes. Il y a donc une étroite dépendance entre la structure des bas-fonds et celle du réseau hydrographique qui est en partie liée à la nature des terrains traversés (socle et continental terminal) comme l'atteste la superposition des cartes géologique, morphopédologique et du régime hydrologique.

A priori les dispositions structurales permettent de distinguer dans le bassin d'étude deux grandes familles de bas-fonds, à savoir : les bas-fonds de la région du socle et les bas-fonds de la région du continental terminal. Par la suite, en fonction du contexte local (topographie, climat, végétation, géologie et géomorphologie, hydrologie et hydrogéologie), il sera aisé de rechercher les facteurs de discrimination à l'intérieur d'une même famille pour en extraire les petites unités de bas fonds. L'objectif final étant l'identification, la description et l'extraction de ces petites unités à l'intérieur de ces deux grandes familles.

Tableau 54: Caractéristiques physiques des zones inondables situées dans les parties hautes du socle

Cours	Zones inondables			Altitude Morphologie	Végétation	Types de Sols	Géologie Hydrogéologie		
	Nombre	Affluents	Sup (Km <sup>2</sup> )						
E1	Koumbourou Kédougou Sambangalou Sili Sahicounda & Samécouta		122.5	Plus de 400 m à Fongolembi et au sud de l'Indéfieou	<i>Anogeissus leiocarpus</i> (bouleau d'Afrique): refuge à proximité des mares et dans les dépressions	Sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire	Schistes, gres cipolins et roches vertes		
			32.5					Ce sont des sols argilo-sableux gris avec affleurement de nappe	Formations masquées par la cuirasse latéritique entre Kédougou et Simenti
			65						
			17.5						
			42.5						
			2.5						
			15						
			22.5						
			62.5						
			7.5						
15									
7.5									
E3 E1 E2	Monts Bassari	Thiokoye et Diarha	332.5	Inférieures à 80 m à proximité des cours d'eau et supérieures à 200 m à Salémata	<i>Erythrophloeum guineensis</i> (galeries forestières) là où l'écoulement est pérenne	Sols peu évolués d'apport hydromorphes, ou sols hydromorphes sur matériau gravillonnaire.	Substratum gréseux ou volcanique.		
			5					Le long des affluents même végétation que dans les bas-fonds précédents	Région à recouvrement latéritique.
			15						
Relief formé par la chaîne des collines Bassari									
E1 E2 E4 E5 E6 E7 E8 E9	Boucle de Mako Rive droite Rive gauche		25	Entre 10 et 100 m au voisinage des rivières pour atteindre 400 m à Marougokoto et à Tiabédji	<i>Pterocarpus erinaceus</i> <i>Bombax costatum</i> (kapotier) <i>Pterocarpus erinaceus</i> <i>Borassus aethiopicum</i> (rônier) <i>Diospyros mespiliformis</i> <i>Anogeissus leiocarpus</i>	Sols peu évolués d'apport hydromorphes, ou sols hydromorphes sur matériau gravillonnaire.	Région à substratum schisteux, ressources en eau sporadiques et très faibles sous la zone d'altération superficielle		
			17.5						
			22.5						
			12.5						
			35						
			20						
			35						
			22.5						
			Zone à reliefs: massifs de roches vertes de Mako, pointements doléritiques de Baraboye et Ndébou						
			52.5						
17.5									
17.5									
10									
25									
E5	Maroukoundi		52.5			Sols hydromorphes sur matériau alluvial			
E4	Tomboronkoto		17.5						
E5	Maragoukoto		17.5						
E6	Maragoukoto		10						
E7	Sangola		25						

## 1. LES BAS-FONDS DU SOCLE

Les zones inondables couvrent 3055 km<sup>2</sup> dans la région du socle (de la frontière à Simenti) soit 6.9 % de l'ensemble des zones humides du bassin d'études. C'est la partie la plus accidentée du Sénégal.

En contrebas des plateaux tabulaires décrit par MICHEL (1973), le moyen glacis s'est façonné aux alentours de Kédougou ; tandis que le haut glacis cuirassé apparaît localement sous forme de lambeaux dans les hautes vallées du Thiokoye et du Diarha, ainsi qu'au Nord et NW de Ndébou. Les versants de ces glacis présentent une forte pente rectiligne d'environ 35° à 45°, ainsi un creusement linéaire a pu se produire au pied même des reliefs dans les roches altérées où les eaux ruisselant sur les fortes pentes se concentrent pour former des zones inondables appelées bas-fonds.

Les données topographiques et structurales permettent d'identifier deux classes de bas-fonds associés aux zones inondables il s'agit :

- des bas-fonds des terres hautes, situés à une altitude de 200 m et plus dans des formations géologiques du socle (cf. géologie). Ils regroupent l'ensemble des petits bas-fonds circonscrits autour de la ville de Kédougou de la boucle de Mako et du Thiokoye - Diarha
- des bas-fonds des zones basses, situés à une altitude inférieure à 100 m ; là où les formations du socle sont recouvertes par celles du paléozoïque : ce sont les bas-fonds du Niokolo-Koba.

### **1.1. Les Bas-fonds des Parties hautes**

Les bas-fonds de la zone sont encastrés dans les petits bassins issus des affluents de la Gambie (Sili, Thiokoye - Diarha, Koumoutrou, Diaguéry) situés entre 200 et 400 m d'altitude. Ils reçoivent une pluviométrie moyenne annuelle de 1250 mm répartie entre les mois de Mai et Octobre. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 28.2°. Le reste de l'année est marqué par une saison sèche, très rigoureuse.

Le réseau hydrographique est plus dense et plus disséqué dans les secteurs où il y a contact entre les formations schisteuses et granitiques du socle birrimien. C'est le secteur des petits bas-fonds de superficies oscillantes entre 2,5 km<sup>2</sup> à Ségou et 122,5 km<sup>2</sup> sur le bassin du Koumoutrou.

Le tableau 1 caractérise les bas-fonds de la zone haute. Le bas-fond du triangle Ségou - Bandafassi-Kédougou est le plus représentatif du secteur avec une superficie de 62.5 km<sup>2</sup>. Encastré entre les collines et les plateaux à 400 m de hauteur à l'Ouest de Dindéfélou, il est creusé dans des granites syntectoniques dont l'altération donne une arène sablo-argileuse. Quant à la rive droite, elle concentre les bas-fonds les plus étroits du secteur. Cela est due à la présence de petites vallées très encaissées qui leurs servent de support et du caractère torrentiel des petits cours d'eau qui les drainent.

### **1.2. Les bas-fonds des parties basses**

Situé dans le domaine des savanes boisées soudaniennes sous 950 mm à 1000 mm de pluie annuelle, le parc national du Niokolo-Koba met en relief les paysages classiques des plateaux cuirassés de basse altitude du Sénégal Oriental. Ce relief est composé de larges plateaux cuirassés ("bowés" en peulh) et subdivisés en :

- plateaux à cuirasse affleurante ou sub - affleurante et glacis cuirassés avec en affleurement des lithosols, sols gravillonnaires sur cuirasse. Ces sols supportent une végétation de steppe pure qui est caractéristique des surfaces « bowalisées ». Par endroits on rencontre de la steppe arbustive, la forêt sèche apparaît sur le revers de la cuirasse.
- plateaux à cuirasse peu profonde ou démantelée avec des sols gravillonnaires sur cuirasse servant de support à une steppe arbustive.
- glacis à cuirasse démantelée, avec des sols ferrugineux indurés et une steppe arbustive ou arborée ou savane arborée.
- glacis à couverture meuble, épaisse où on trouve des sols ferrugineux tropicaux lessivés profonds et une végétation de savane arborée.

En contrebas de ces glacis, se situent des vallées à remblaiement colluvio-alluvial caractérisées par des sols peu évolués hydromorphes et une savane arborée ou forêt sèche.

Le parc est bien irrigué par un réseau permanent (Gambie et Koulountou) ou semi-permanent (rivière Niokolo-Koba) ; ce qui justifie la présence d'une prairie de décrue sur environ 2 à 3% de la surface totale (enquêtes D.P.N.1991) et de nombreux petits bas-fonds.

Le bassin du Niokolo-Koba avec une superficie de 4732 km<sup>2</sup> contient 2005 km<sup>2</sup> de zones inondables soit 4.3 % du bassin ; 42.3 % du bassin de la Gambie entre Kédougou et Sandougou et 2.6 % du bassin de la Gambie. Le réseau de bas-fond est plus dense dans le cours supérieur du Niokolo-Koba où le réseau de vallées sur cuirasse latéritique du glacis inférieur, creusé dans les granites syntectoniques et post - tectoniques de Tinkito et de Badon recourent les terrains birrimiens (méta - andésites, méta - pyroxénites). Plus en aval aux alentours du village de Niokolo-Koba les bas-fonds traversent les formations gréseuses et pélitiques du cambrien. L'altération de ces roches granitiques forme une arène sablo - argileuse à éléments de quartz détritique pouvant présenter des niveaux indurés dans une région très arrosée. Cette situation est à l'origine d'une prolifération de petits bas-fonds dans les cours supérieur et moyen du Niokolo-Koba. Ce sont des bas-fonds marqués par une très forte hiérarchisation en amont.

Le cours principal du Niokolo-Koba fonctionne comme un collecteur central qui reçoit tous les écoulements provenant des différents petits bas-fonds issus des affluents et sous affluents (Figure 41). Avec une superficie de 332.5 km<sup>2</sup> soit 11% du bassin, il correspond aux plaines alluviales c'est à dire les drains d'ordre 3, selon la méthode de HORTON modifiée par STRAHLER in TRICART (1977).

Les bas-fonds tels que définis par RAUNET sont liés aux affluents du Niokolo-Koba La carte des bas-fonds montre une concentration de petits bas-fonds dans la partie amont du bassin, où l'altitude est parfois supérieure à 100 m et leur quasi - inexistence dans la partie avale située à moins de 100 m. Dans l'ensemble, les zones inondables couvrent une superficie de 1672.5 km<sup>2</sup> soit 55.7% du bassin dans lequel la topographie et le fonctionnement hydrologique identifient deux niveaux périodiquement inondés.

Le premier, situé à moins de 100 m est formé de zones inondables liées aux affluents dans la partie avale du Niokolo-Koba. Cette zone basse de 57.5 km<sup>2</sup> de superficie est recouverte de sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à tâches. Elle correspond en fait aux larges plaines alluviales.

Le second comprend les zones inondables liées aux affluents et sous affluents des cours supérieur et moyen du Niokolo-Koba. La structure hiérarchisée de cet ensemble le subdivise de fait, selon la méthode de HORTON en plusieurs sous-ensembles : ainsi, suivant le drain occupé (drains d'ordre 1, 2, 3 etc...) par les bas-fonds, on constate un accroissement des superficies de l'ordre inférieur vers les ordres supérieurs.

Enfin de compte, la partie du bassin de la Gambie située entre Kédougou et Simenti évolue dans des formations géologiques anciennes. La nature de ces formations (schistes, quartzites, cipolins, roches vertes) conditionne les zones de perméabilité dans la région.

Ainsi les bas-fonds de la zone de Kédougou se trouvent dans une région à recouvrement latéritique avec remplissage des latérites en saison pluvieuse suivie d'une vidange rapide en saison sèche. Toujours dans la zone de Kédougou, l'extrême Est du bassin est localisé dans une région à substratum granitique qui contient des ressources en eau sporadiques dans des poches d'arènes. Vers l'ouest (Thiokoye-Diarha) prédomine un substratum gréseux ou volcanique, largement recouvert de latérite dont la fissuration donne des ressources en eau sporadiques.

Au niveau du bassin du Niokolo-Koba, la diversité des zones de perméabilité s'explique par l'alternance entre les différentes formations géologiques dans les différents compartiments du bassin avec toutefois une prédominance de substratum gréseux ou volcanique. Les alluvions fluviales apparaissent dans le haut bassin du Niokolo-koba où les nappes sont alimentées par les crues des cours d'eau.

A part les sols ferrugineux tropicaux lessivés, à concrétion et à tâches, qui occupent les affluents à écoulement intermittent du Niokolo-koba, tous les bas-fonds de la région du socle sont occupés par des sols à caractères hydromorphes.

La végétation des bas-fonds, caractéristique des milieux fréquemment inondés comprend :

- le bouleau d'Afrique (*Anogeissus leiocarpus*) réfugié à proximité des mares ;
- le rônier (*Borassus aethiopicum*) ;
- *Diospyros Mespiliformis* « sounsoun » suit le cours d'eau permanent ou temporaire ;
- *Mitragyna inermis*, encore appelé *Mitragyna Africana*, situé dans les vallées herbeuses inondées et autour des mares ;
- *Dichrostachys glomerata* qui se tient dans des terrains lourds, argileux et sablo-argileux ; parfois on les rencontre autour des mares semi-permanentes.

La plupart de la zone concernée par les bas-fonds du socle se trouve dans le parc naturel du Nokolo - Koba. Il se pose alors un problème de données pour procéder à une classification très poussée des bas-fonds dans la zone. Les critères locaux, relatifs à l'organisation sociale et foncière, la technicité des populations vis à vis de la maîtrise de l'eau et les possibilités d'accès aux sources de financement sont pas encore disponibles. Pour palier à cette carence, il serait plus rationnel d'envisager pour l'instant une classification partielle à deux paramètres de ALBERGEL et CLAUDE (1988).

Les caractérisations géologique et climatique de ces auteurs permettent de distinguer dans la région du socle ancien deux grandes familles de bas-fonds :

- 1- les bas-fonds de la zone Soudano-guinéenne avec une pluviométrie moyenne annuelle entre 1100 mm et 1300 mm, les bas-fonds de la zone de Kédougou font partie de cette famille.
- 2- les bas-fonds des régions Soudano-sahélienne (pluviométrie entre 700 mm et 1100 mm), les bas-fonds du Niokolo-Koba sont rangés dans cette famille.

Tableau 55: Caractéristiques physiques des zones inondables du socle situées dans les parties basses

Sites	Zones inondables			Altitude Morphologie	Végétation	Types de Sols	Géologie Hydrogéologie
	Gambie	Affluents	Sup. (Km <sup>2</sup> )				
S15		Niéko-koba		Plateau tabulaire 80 m d'altitude	Les affluents sont occupés par: <i>Anogeissus leiocarpus</i> (bouleau d'Afrique): réfugié à proximité des mares et dans les dépressions <i>Borassus aethiopicum</i> (Rônier): trouve dans le domaine soudanien des conditions optimales pour son développement <i>Diospyros mespiliformis</i> (Sousou) suit les cours d'eau permanents ou temporaires <i>Mitragyna inermis</i> <i>Mitragyna africana</i> , dans les vallées herbeuses inondées et autour des mares. <i>Dichrostachys glomerata</i> arbustes épineux économique en raison de la vigueur de ses racines. Il se tient dans les terrains lourds, argileux et sablo-argileux en bordure des mares semi-permanentes. Le cours principal est couvert de <i>Erythrophleum guineensis</i> (galeries forestières): espèces typiques et abondantes dans les galeries forestières de la zone soudano-guinéenne	Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et à taches occupent tous les affluents à écoulement intermittent du Niéko-koba et de la partie du Niéri-ko située sur le socle.	Alternance entre région à substratum gréseux ou volcanique (exutoire Niéko) et région à substratum granitique sur le cours principal
S13							
S12							
S10							
S7							
S6		Partie socle du Niéri-ko					
S2							
S11							
S19							

## 2. LES BAS-FONDS DU CONTINENTAL TERMINAL

Les bas-fonds sont souvent encastrés dans des bassins-versants de superficies variables, ils sont recensés dans les endroits suivants :

- la basse vallée de la Gambie de Simenti à l'exutoire du Sandougou (bas-fonds lié au cours principal) ;
- le long du Niéri-Ko et de ses affluents ;
- le bassin du Niaoulé ;
- le long de la Sandougou et de ses affluents ;
- la basse vallée de la Koulountou, affluent de rive gauche de la Gambie.

A la limite des climats Sahélo-soudanien et Soudano-guinéen, le régime climatique se caractérise dans la région par l'alternance d'une saison des pluies de fin mai à fin octobre et d'une saison sèche rigoureuse. La pluviométrie moyenne interannuelle est voisine de 1000 mm.

Une grande partie de cette région consiste en grès argileux et sables hétérogènes du continental terminal du mio-pliocène. Dans le secteur Sud - Est au contraire, on trouve de l'Ere primaire : grès argileux, calcaires, pélites et quartzites. Près de l'extrémité sud affluent aussi des granites et des roches effusives.

La plupart des interfluves sont intéressés par une cuirasse ferrugineuse, tandis que les lits des cours d'eau sont tapissés par des sables et limons alluviaux. Parfois, on trouve des affleurements de schistes et quartzites, en particulier vers la limite Est.

La région est modelée en un vaste plateau cuirassé, sillonné par des vallons en V. Le secteur Sud-Est par contre est formé par des glacis.

Le réseau hydrographique discontinu et incertain imprime aux bas-fonds du continental terminal leurs caractères. Il se forme alors deux catégories de bas-fonds qui se distinguent par leur situation et leur superficie.

**Tableau 56: Caractéristiques physiques des zones inondables du Continental Terminal**

N. Site	Zones inondables			Altitude Morphologie	Végétation	Types de Sols	Géologie Hydrogéologie
	Gambie	Affluents	Sup. (Km <sup>2</sup> )				
D G i M N O K H I		Niéri-ko		Les altitudes sont voisines de 40 m à proximité des cours d'eau.	<i>Cordyla pinnata</i> <i>Pterocarpus erinaceus</i> <i>Terminalia macroptera</i> <i>Acacia macrostachya</i>	Sols hydromorphes dans la zone de l'exutoire du Niéri-ko et de la Gambie. A l'intérieur ces sols font place aux sols ferrugineux tropicaux lessivés.	Région située sur les formations sédimentaires du continental terminal à sables argileux avec horizons gréseux et niveaux de latérites ferrugineuses constitués par la cuirasse démantelée
		Niaoule		La région fait partie d'un vaste plateau tabulaire dont les sommets ne dépassent pas 80 m.	<i>Mitragina inermis</i> et <i>Anogeissus leiocarpus</i> au niveau du cours principal du Niaoulé et de la Sandougou	à concrétions et à taches qui couvrent toute la région du continental terminal sauf l'exutoire de la Kou-lountou (sols hydromorphes sur matériau alluvial) sur la rive droite de la Gambie la partie aval du cours principal de la Sandougou (sols peu évolués d'apport hydromorphes).	Deux types de nappes existent dans cette région: une nappe phréatique généralisée dans les grès et sables argileux hétérogènes. Cette nappe soutient les débits d'étiage de la Gambie et de ses affluents.
		Sandougou à Maka					des nappes temporaires dans les alluvions fluviales de la Gambie et de ses affluents.

## 2.1. Les bas-fonds liés au cours principal

En marge de la plaine alluviale de la Gambie, on trouve des bas-fonds de petites tailles. Entrent dans cette catégorie les bas-fonds de la basse vallée de la Koulountou et ceux de la partie casamançaise du bassin (de l'exutoire de la Koulountou à la limite Ouest du bassin). Ils se présentent sous une forme plus ou moins arrondie, le long des rives de la Gambie entre Simenti et la rivière Niaoulé. La forme devient allongée parfois même dendritique dans la basse vallée de la Koulountou et dans la partie casamançaise (Cf. carte bas-fonds).

Du point de vue pédologique on distingue deux groupes de bas-fonds liés à la Gambie. Le premier groupe est formé par une concentration de petits bas-fonds situés entre Simenti et Koular. Ce sont des bas-fonds qui se différencient par leur situation topographique qui détermine le type de sols qu'ils renferment. Les dépressions de plateaux sont occupées par des sols hydromorphes, c'est l'exemple des deux bas-fonds au nord de Simenti (20 km<sup>2</sup>), de celui de l'ouest de Tabadian (32.5 km<sup>2</sup>) et du sud de Hamdallaï Diapaldi (50km<sup>2</sup>).

Les parties qui sont toujours inondées (115 km<sup>2</sup>) renferment des sols hydromorphes sur matériau alluvial (bas-fond de Badi, de la basse vallée du Niokolo-Koba et du sud de Koular). Il arrive que des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches (257.5 km<sup>2</sup>) prennent le relais avec le retrait des eaux (bas-fonds du nord et sud-ouest de Tabadian, de Hamdallai Diapaldi et de Koular)

Le second groupe est formé par les petits bas-fonds étirés et présentant des ramifications. Ils sont situés dans des sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes sur matériau colluvial des terrasses colluvio-alluviales.

## **2.2. Les bas-fonds liés aux affluents**

la région du continental terminal se caractérise par un réseau hydrographique très lâche, lié à la structure géologique et à la topographie plane. Les affluents de rive droite de la Gambie décrivent de très nombreux méandres formant par endroits de très vastes plaines inondables.

Ces zones inondables de bas de toposéquence qui contiennent des bas-fonds sont situées sur des axes de drainage qui ne sont fonctionnels que pendant la saison des pluies. Toutefois ils peuvent conserver un peu d'eau mais plutôt stagnante que courante dans les lits mineurs jusqu'à la fin de la saison sèche. La fluctuation du régime hydrologique explique l'existence en toute saison à l'échelle des bassins-versants (Niéri-Ko, Niaoulé, Sandougou) des bas-fonds de formes et de superficies variables.

Les bas-fonds liés aux affluents de la Gambie sont caractérisés par la généralisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches. Ces sols occupent les fonds de vallées à écoulement intermittent de la Sandougou, du Niaoulé et de la haute vallée du Niokolo-Koba. Seule la basse vallée de cette rivière à écoulement pérenne est localisée dans des sols hydromorphes sur matériau alluvial.

Les bassins de la Sandougou, du Niaoulé et du Niéri-Ko sont situés dans une région recouverte dans toute son étendue par une cuirasse ferrugineuse. Cette cuirasse forme une vaste surface plane qui se termine en gradins dans les parties basses où se trouvent les bas-fonds. Ceux qui sont situés en aval de Simenti sont rangés dans la famille des « bas-fonds des formations du continental terminal ».

## **3. LES BAS-FONDS SUR LES BASSINS DE REFERENCE**

### **3.1. Localisation et parties de bas-fonds**

Les bas-fonds sont localisés sur les deux bassins de référence à partir des cartes topographiques et des photographies aériennes. Ils sont situés dans des zones inondables, particulièrement le long du réseau hydrographique. Cette situation justifie l'option d'une étude des bas-fonds à l'échelle des bassins versants.

Les bas-fonds du Niaoulé sont situés entre 30 et 40 m (carres des classes de relief) dans de très grandes plaines alluviales à fond plat et très peu encaissé. Les versants sont parfois symétriques avec des pentes moyennes douces. L'ensemble repose sur les sables argileux avec horizons gréseux ou argileux du continental terminal.

Les bas-fonds du Sili sont de petites unités assez encaissées avec un fond plat et étroit. Ils sont taillés dans le manteau d'altérite qui recouvre le socle précambrien. Le bassin versant repose entièrement sur le socle birrimien et contient plusieurs buttes collinaires avec des sommets cuirassés.

### 3.1.1 Le bassin du Niaoulé

Au total, il a été recensé 155 km<sup>2</sup> de zones inondables sur le bassin du Niaoulé. Elles correspondent à 12.6% du bassin dont 5.65 % de bas-fonds. Ils sont repartis sur quatre sites :

au nord-est, dans la partie la plus amont du bassin est situé le bas-fond de Hamdallaï. C'est le bas-fond le plus important par sa longueur (2.9 km) et sa superficie (41.4 km<sup>2</sup>). Il comprend une partie amont de 17 km<sup>2</sup> qui s'étire sur 1.5 km. Cette partie appelée par RAUNET tête du bas-fond se trouve dans les localités de Godioyél et Noumouyé. Elle est certainement exploitée par les populations de ces localités et des villages voisins. Elle correspond aux fonds des petites vallées, environ 10 m de large, pas très encaissés qui se terminent en amphithéâtre ou en spatule. C'est le premier tronçon du bas-fond qui est situé dans les parties les plus amonts des bassins versants. Il est mal drainé, sans cours d'eau individualisé, les pentes y sont très fortes (1.2 à 3%) et la nappe phréatique sub-affleurante.

L'écoulement qui se fait latéralement fonctionne par la remontée de la nappe phréatique. Les sols gris hydromorphes sableux lavés surmontent un manteau d'altération sur ce premier tronçon. Ce sont des sols qui sont fortement engorgés du fait de la présence d'une nappe phréatique permanente subsuperficielle.

La partie moyenne, située dans le village de Makayaya est long de 1.84 km et couvre 17.6 km<sup>2</sup>. Cette extension est due au fait que le bas-fond se caractérise par une ramification de 1.04 km de long et de 9.6 km<sup>2</sup> de superficie vers Bambadinka. Large de 10 à 200 m, cette partie représente le deuxième tronçon du bas-fond, encore appelé tronçon moyen. De pentes plus faibles (0.52 à 1.2 %), il est situé en contrebas du premier. La forme est concave à horizontale. On observe un début d'entaille lié au suintement d'un petit cours d'eau peu encaissé avec un régime hydrologique encore peu turbulent.

Les sols argilo-sableux renferment des matériaux issus des versants. L'eau qui inonde le centre du bas-fond et qui peut persister jusqu'en début de saison sèche, provient de la nappe de surface. RAUNET (1984) note la présence de deux nappes superposées dans cette partie :

- une nappe profonde dans l'axe du bas-fond située dans les altérites ; elle provient des infiltrations sur les versants ;
- une nappe d'eau libre saturante, plus saturante se trouve perchée dans la couche superficielle argilo-sableuse plus ou moins perméable.

Ces deux nappes superposées engendrent un ruissellement de surface qui se concentre dans le centre du bas-fond. Les ravines d'érosion venant des versants disparaissent dans la zone de raccordement et créent des zones d'inondation et d'écoulement de sub-surface (PEANCHON *et al.*, 1987). Le régime pluviométrique et la perméabilité des versants commandent la violence des crues dans le bas-fond. Ce dernier est généralement perméable en début de saison pluvieuse mais, une fois gorgé d'eau, il devient imperméable.

La partie avale qui concerne le village Hamdallaï couvre 6.8 km<sup>2</sup> pour 600 m de long. Elle constitue le troisième tronçon du bas-fond. C'est un vallon à fond plat avec des flancs concaves. Le réseau apparaît à ce niveau matérialisé par un petit cours d'eau net et encaissé (Figure 39).

Peu avant l'exutoire du Niaoulé, se trouve le bas-fond de Missirah ; il mesure 2.1 km et couvre une superficie de 24.4 km<sup>2</sup>. C'est un bas-fond moyen par sa superficie, ce qui nous a permis de procéder à l'identification de ces différentes parties. La tête est située dans le village de Missirah, elle mesure 1.4 km et couvre 13 km<sup>2</sup> ; plus en amont se trouve un centre professionnel agricole. La partie moyenne traverse les villages de Guinguiné et Madiali ; elle s'étale sur 400 m de long et couvre 6.4 km<sup>2</sup>. La partie avale localisée à Touba fait 2.5 km<sup>2</sup> de superficie et 300 m de longueur.

A l'exutoire, on note la présence d'un petit bas-fond de 7.4 km<sup>2</sup> qui contient les villages de Madina Yoro et Makabing Séni. Ce bas-fond fait 900 m de long et se jette dans le cours principal du Niaoulé par une large plaine alluviale.

Le cours principal du Niaoulé, entre les villages de Niaoulé et Niaoulé Mbayégu se distingue par une prolifération de petits affluents de longueur variant entre 1 et 640 m. Les parties les plus amonts de ces affluents correspondent à des fonds plats ou concaves des vallons. Ces petites vallées constituent des axes d'écoulement déprimés qui ne possèdent pas de cours d'eau bien marqué. Ces endroits qui sont assimilables au bas-fond de Raunet sont submergés pendant la saison pluvieuse. Après celle-ci la submersion est assurée par une nappe d'eau à écoulement. Ils couvrent une surface de 22 km<sup>2</sup> dont 18.2 km<sup>2</sup> sur la rive droite et 3.8 km<sup>2</sup> sur la rive gauche. C'est un ensemble de petits bas-fonds de superficie comprise entre 0.2 km<sup>2</sup> et 4.4 km<sup>2</sup>.

### 3.1.2. Le bassin du Sili

Le bassin du Sili contient 17 km<sup>2</sup> de zones inondables soit 18.9% de la superficie du bassin. Ils sont repartis sur deux sites qui se distinguent par la topographie :

- le premier site (4.5 km<sup>2</sup>) concerne les bas-fonds situés au pied des falaises doloritiques du mont Baraboye et des massifs de marbre de Ibel et Bandafassi. Il s'agit de deux petites unités de 1.3 et 3 km<sup>2</sup>, situées à plus de 160 m entre les villages de Landiéné au sud et Batanta au nord ;
- le second site (12.5 km<sup>2</sup>) correspond aux bas-fonds qui se trouvent dans la partie centrale, relativement plate (entre 120 et 160 m) du bassin. Ils totalisent 12.5 km<sup>2</sup> et concernent les villages de Habibou et Itato.

Ces différentes parties des bas-fonds des bassins de référence se retrouvent facilement dans le schéma général élaboré par RAUNET (1984). Celui-ci délimite les différentes parties du bas-fond et présente par la même occasion un modèle synthétique et idéal d'un bas-fond de la zone Soudano-sahélienne.

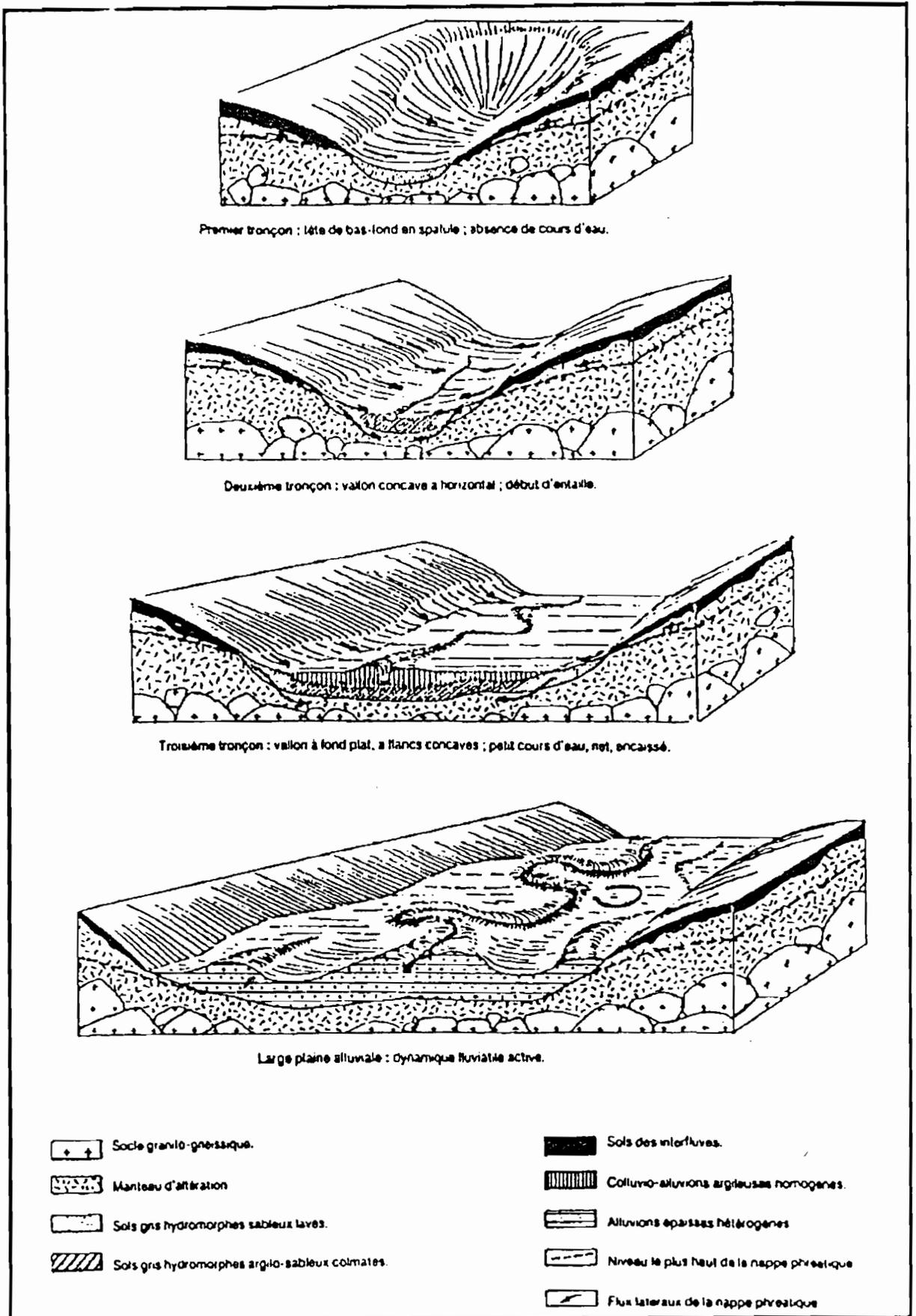


Figure 41: Vallées tropicales (différenciation morphopédologique schématique d'amont en aval (RAUNET 1985 b). Seuls les deux premiers stades peuvent être considérés comme des bas - fonds.

### 3.2. Formes des bas-fonds

La forme du bas-fond est calquée sur celle du réseau hydrographique qui, à son tour est étroitement liée à la géologie et à la géomorphologie. La différence de structure est très nette entre les réseaux hydrographiques sur les bassins de référence. Le réseau est lâche sur les sables et grés qui dominent sur le bassin du Niaoulé. Il est organisé en chène, les affluents sur les deux rives sont d'importance secondaire et convergent vers le thalweg principal. Cette disposition en arête de poisson donne une forme plus ou moins allongée aux bas-fonds qui sont associés au Niaoulé et à ses affluents (cf. model numérique de terrain).

Le Sili est situé sur des formations très variées du socle (schistes, grés et pélites). La zone est accidentée, il y a les haut et moyen glacis et le massif de Bandafassi qui culmine à 382 m. La dissection au pied de ces reliefs par le Sili est intense. Ceci explique la mise en place de petites vallées arrondies ou allongées et très encaissées.

Il se produit au pied de ces reliefs un creusement linéaire dans des roches altérées où les eaux ruisselant sur de fortes pentes se concentrent. Le Sili formé dans son bief aval de la convergence de deux formations d'égale importance en amont (radial) va décrire d'innombrables méandres entre ces collines. L'étroitesse des bas-fonds du Sili et leur confinement est à mettre en rapport avec les nombreuses collines qui colonisent la partie amont du bassin.

### 3.3. Sols de bas-fonds

La morphologie des bas-fonds privilégie le ruissellement diffus qui est capable d'entraîner vers le bas du versant des particules argileuses, limoneuses et même sableuses. Il se forme alors aux points bas du versant appelé bas-fond des terrasses colluvio - alluviales. Cette unité n'est fonctionnelle qu'en saison pluvieuse, même sur un même bassin, son composant majeur varie suivant les sites de bas-fonds.

Des rivages de la Gambie à Kédougou jusqu'au pied des monts Ibel et Bandafassi, les sols sont peu évolués d'apport hydromorphes ou sols hydromorphes sur matériau gravillonnaire (carte des sols du Sili). Ils deviennent hydromorphes sur matériau alluvial dans les bas-fonds situés au pied des massifs de Baraboye. Au delà de la région du socle, sur le bassin du Niaoulé, il se développe sur ce matériau colluvio - alluvial un sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions et à tâches.

Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à tâches importants sur le Niaoulé (carte des sols) présentent localement des cuirasses. Elles sont liées à l'enrichissement en fer apporté par les nappes de profondeur ou de versant. Dans ce dernier cas, il se produit en général dans le bas-fond du Niaoulé un lessivage oblique.

Les observations les plus récentes sur les caractéristiques physico-chimiques de ces sols ont été faites par THIOUBOU (1995) dans le cadre d'un mémoire de maîtrise. Les résultats qu'elle a obtenu sont consignés dans le tableau ci - dessus

Tableau 57 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de bas-fonds (THIOUBOU, 1995)

Types de sols	Sols alluviaux			Vertisols				Sols gravillonnaires		
	A	B	C	A	B	C	D	A	B	C
Horizons										
Profondeur (Cm)	0 - 30	30 - 70	70 - 130	0 - 17	17 - 24	24 - 64	64 - 100	0 - 23	23 - 59	59 - 120
Argile %	30,4	52,7	45,7	28,5	17,9	36,2	36,1	16,9	9,7	15,8
Limon %	26,2	31,5	39	43,3	35,5	39,1	47,5	25,5	17,6	24,3
Sable %	42,5	19,1	21,5	30,1	49,9	27,6	20,3	58,5	73,7	60,5
Coef. Humidité	1,032	1,056	1,07	1,043	1,035	1,048	1,047	1,024	1,029	1,023
Azote total	2,86			0,52				1,93		
Capacité échange	28,29			34,34				20,73		
Ca	19,83			20,57				13,8		
Mg	7,81			13,73				5,05		
Na	0,44			0,09				0,05		
K	0,44			0,2				0,21		
Carbone	3,3			0,78				1,98		
% Mat. Organique	5,7			1,3				3,4		

En général, ces sols sont franchement hydromorphes, avec des caractéristiques physiques souvent peu favorables (teneur en matière organique : moyenne plutôt faible, fertilité : chimique moyenne à faible et le PH légèrement acide à franchement acide). La texture varie du sable limoneux ou limon sableux en surface au limon argilo-sableux ou à l'argile sableuse en profondeur.

L'apport de matières organiques et de fertilisants minéraux peut permettre la culture de l'arachide ou du sorgho dans les zones les mieux drainées et le riz dans les dépressions. En saison sèche, ces sols disposent d'une valeur de pâturages naturels qui est moyenne à bonne.

Les sols de bas-fonds se caractérisent par une dynamique hydrologique qui est plus complexe dans la partie avale, suite à l'apparition d'un vrai régime fluvial. Sans endiguement, le cours d'eau peut déborder en hivernage et alimenter la vallée en alluvions fines de décantation. Il y a présence fréquente de lits sableux, consécutive à la mise en place d'une topographie alluviale assez marquée, discontinue, changeante et hétérogène. « La perméabilité globale de ces sols, mesurée sous pluie simulée et à l'état saturé est toujours inférieure à 10 mm/h » (ALBERGEL, 1987).

Les meilleurs sols à blé de contre saison se rencontrent dans cette partie grâce à l'homogénéité granulométrique qui favorise la remontée capillaire jusqu'au système racinaire. Il est donc normal que la plupart des cultures de bas-fond soit située dans cette partie qui sera soumise à des formes d'organisations particulières.

## CHAPITRE II : L'AMENAGEMENT DES BAS-FONDS

### UNE DEMARCHE D'ENSEMBLE FINALISEE SUR LA MISE EN VALEUR

#### 1. LOCALISATION SPATIALE DES ACTIVITES HUMAINES

Le Tableau 58 donne une idée sur l'évaluation de la charge humaine sur les sites (nombre de concessions, de ménages agricoles et d'habitants par village). L'habitat est de type dispersé dans les petits villages à regroupé dans les grands centres comme Missirah. Les constructions sont en matériaux finis, semi-finis (ciment, tôles en zinc, ondulées) et les cases en terre battue, coiffées de chaume.

Les caractéristiques climatiques de la zone, une basse pluviométrie concentrée en une seule période, ainsi que la perméabilité des sols déterminent des phénomènes d'aridité qui causent des rendements très bas dans les productions. Celles-ci sont axées sur les cultures vivrières céréalières. Strictement centrée sur le coton, la production industrielle occupe des superficies plus importantes au nord du bassin. Cependant la rareté des facteurs de production tels que engrais, semences sélectionnées, pesticides, etc. contribue à aggraver la situation.

*Tableau 58 : Répartition des villages des deux bassins d'étude*

Bassins de référence	Localités	Nbre de concess.	Nbre de ménages	POPULATION		
				Masc.	Fém.	Total
Niaoulé ( continental terminal )	Godioyé	8	8	31	28	59
	Guinguinéo	29	30	113	130	243
	Hamdallai tessang	61	68	381	433	814
	Kéléounda	10	10	47	42	89
	Kodiam	11	11	40	42	82
	Kouar I	7	7	30	39	69
	Kouar II	18	19	70	67	137
	Kouar III	1	1	1	0	1
	Kouar projet OFADEC	33	33	89	60	149
	Madialy	29	30	139	140	279
	Madina Yéro	19	19	97	79	176
	Missirah	174	212	1159	1270	2429
	Missirah T. B. Soucoutoto	36	36	242	254	496
	Mountob	11	13	70	49	119
	Néma Hamady	23	23	100	107	207
	Néma I	6	6	14	13	27
	Niaoulé Mbaygou	24	24	111	101	212
	Niaoulé Tanou	49	50	203	214	417
	Oundoundou I(O. Amérou)	5	5	36	33	69
	Oundoundou Diakha	7	7	40	39	79
	Oundoundou Makan	7	7	32	25	57
	Oundoundou Médina Ndiaye Bâ	1	1	10	9	19
	Oundoundou Samba Kouthia	5	5	46	31	77
	Pakaly	7	7	30	14	44
	Saby Moulessy	24	27	184	220	404
	Salifou I	18	18	108	137	245
	Salifou II	17	17	99	114	213
	Taliboulou Finanké	20	20	66	60	126
	Touba	21	22	168	209	377
	Vélingara Oumar	3	3	24	21	45
	Vélingara Pont	10	10	24	35	59
	Vélingara Bidiankoto	71	79	385	443	828
	Vélingara Yaya (Sitaoulé)	21	26	75	68	143
Vélingara Léguel (Makab boubou)	17	17	98	124	222	
Sili ( Soele )	Bandafassi peulh	49	50	137	134	271
	silly	21	15	49	29	78
	Bandafassi Tenda	18	19	64	80	144
	indara	5	5	24	21	45
	Patassi	10	10	34	44	78
	Boundoukondi	25	25	67	105	172
	nathia	25	22	52	42	94
	Habibou	3	12	50	50	100
	Itato	22	23	62	53	115
thiancoumalal	37	38	71	80	151	

### 1.1. Les cultures et leurs besoins en eau

Initialement pratiquée sur les plateaux et sur les versants, la culture du riz pluvial s'est progressivement déplacée vers les bas-fonds du bassin de la Gambie. Ces endroits qui sont inondés durant une période de l'année recèlent des conditions hydriques favorables au développement de la riziculture.

#### 1.1.1 Surfaces cultivées

*Tableau 59: Superficie moyenne par exploitant dans le bas-fond de Missirah*

Cultures	Riz	Maïs	Sorgho	Mil	Niébé	Arachide	Campagne
Superficies	0,013	0,584	0,746	1,329	0,141	0,318	1996/1997

La taille moyenne des exploitations est de 3,13 ha à Missirah et la superficie moyenne par exploitant est indiquée dans le tableau. Pour avoir la superficie cultivée par village, il suffit de multiplier la superficie moyenne par exploitant au nombre de ménages du village.

Les bas-fonds du Sili bien arrosés concentrent l'essentiel des activités agricoles et pastorales. Les rendements encourageants sont à l'origine de la construction d'une rizerie à Kédougou.

*Tableau 60: Superficies cultivées et tonnage des productions à Kédougou*

Cultures	Riz	Maïs	Sorgho	Mil	Fonio	Arachide	Campagne
Superficies	2311,000	7545,000	3979,000	878,000	1130,000	3138,000	1995/1996
Tonnage	3268	9703	3446	694	5225	2721	

L'introduction des cultures irriguées de contre - saison et l'utilisation des intrants n'ont pas encore modifié la place accordée au riz comme culture essentiellement vivrière. C'est une situation qui est particulièrement perceptible au niveau des cultures du riz dans les bas-fonds où, dès que la pluviométrie est déficitaire, les producteurs éprouvent des difficultés à couvrir leurs charges d'exploitation.

#### 1.1.2. Les besoins en eau

*Tableau 61 : Potentialités en eau de surface sur le bassin du Sili à l'échelle mensuelle (1974-1993)*

Sili	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril
Q ( m <sup>3</sup> /s )	0	0.207	0.615	1.46	2.51	1.45	0.273	0.079	0.02	0.002	0	0
V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	0	0.537	1.65	3.91	6.51	3.88	7.08	2.12	0.536	0.484	0	0

### *1.2.1. Les Cultures d'hivernage*

Les périodes de préparation des terres en début de cycle, de levée de semence surtout en fin de végétation sont des moments où les besoins en eau se posent avec beaucoup d'acuité. Ces besoins sont estimés dans le bassin de la Gambie par les services de la S.DEFITEX. Ils sont compris entre 2500 et 3000 m<sup>3</sup> par hectare. L'irrigation en début de cycle est fonction du mode d'approvisionnement en eau des périmètres. Le pompage dans les mares, très répandu dans le bassin de la Gambie ne permet pas toujours de pratiquer un arrosage en début de cycle, faute de disponibilité en eau.

### *1.2.2. Les Cultures de Contre Saison*

Concernant les cultures du riz de contre - saison, les besoins de pointe sont de 7 mm par jour soit 70 m<sup>3</sup>/ha/jour. Pour un cycle d'une durée de 130 jours et une efficacité de l'irrigation de 65%, les besoins totaux peuvent être estimés à 14000 m<sup>3</sup>/ha.

Le débit fictif continu de pointe avec la même efficacité est de 1.25 l/s/ha. Comme l'irrigation est pratiquée 6 jours sur 7 et 12 heures sur 24, le calcul du débit spécifique de pompage devra être de 2.5 l/s/ha.

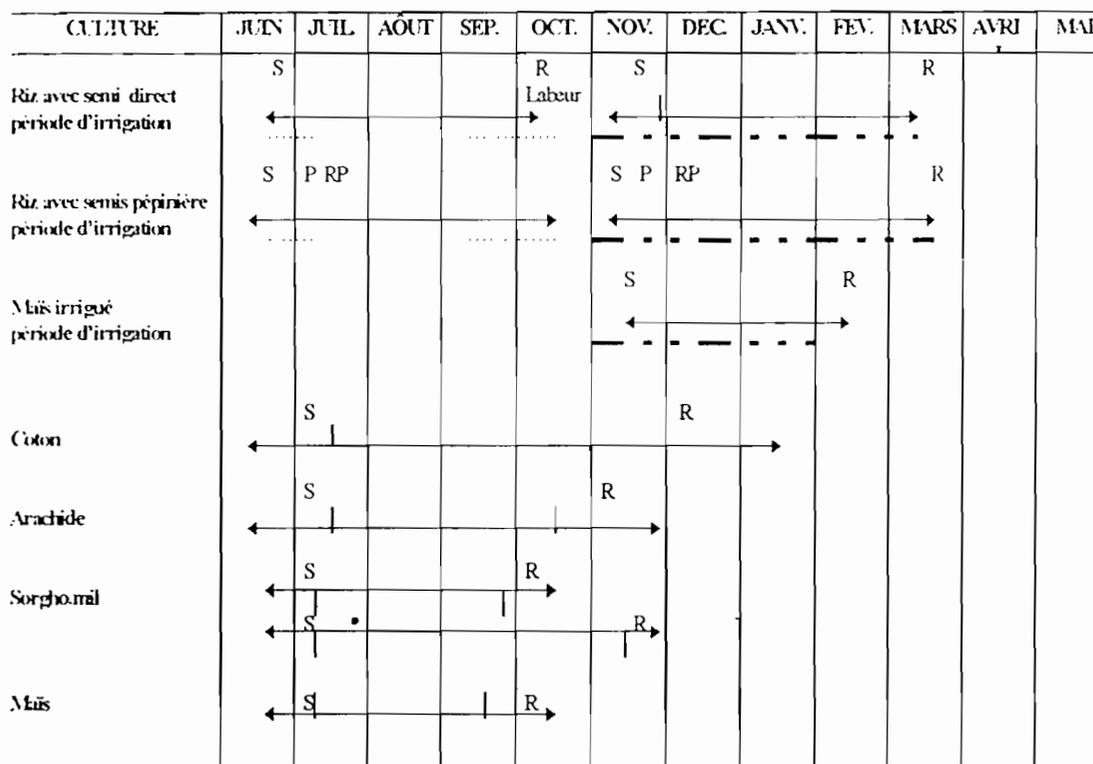
La fourniture des besoins totaux estimés à 14000 m<sup>3</sup>/ha nécessitera dès lors une durée de pompage d'environ 1500 heures.

Les besoins en eau du maïs cultivé en contre - saison sur les périmètres irrigués sont inférieurs à ceux du riz. Le maïs a un besoin de pointe de 6 mm/j et sa durée de cycle est d'environ 90 jours. Les infrastructures hydrauliques étant prévues pour la culture du riz dont le besoin se chiffre à 7 mm/ jour. Il est évident que celui du maïs sera entièrement satisfait.

Les besoins totaux qui doivent couvrir tout le cycle du maïs peuvent être estimés à 10000 m<sup>3</sup>/ha. La valeur de l'efficacité étant de 65 %, cette quantité d'eau ne peut être disponible sur les périmètres qu'après 1100 heures de pompage.

### 1.1.3 Les Calendriers cultureux

Figure 42 : Positions des cycles du riz et du maïs sur les périmètres irrigués



S: Semis  
 R: Récolte  
 P: Pépinière  
 RP: Repiquage  
 ..... Irrigation d'appoint  
 - - - - Irrigation obligatoire

La Figure 42 comprend également les périodes d'irrigation ainsi que la position approximative des cycles des autres cultures pratiquées traditionnellement par les paysans.

L'analyse du graphique présente deux périodes où la demande en main d'oeuvre est excessivement importante. La première période qui se situe entre fin juin et début juillet correspond au début de la saison pluvieuse. La seconde période située en Octobre/ Novembre, représente la belle saison des récoltes dans les campagnes.

Le cycle peut commencer par le semis de riz en pépinière qui comparé au semis direct demande peu d'eau. Le semis en pépinière se fait du 15 au 20 juin avec nécessité d'irrigation et le repiquage doit avoir lieu 25 jours plus tard. Il coïncide avec la fin de la période de semis des autres cultures (coton, arachide, sorgho, mil, maïs). Le semis direct démarre entre le 15 et la dernière décade de juin, il demande une irrigation d'appoint au début et à la fin du cycle (fig). La récolte se fait aux environs du 15 octobre.

Le premier cycle du riz dure quatre mois, il va de la mi - juin à la mi - octobre. Il sera suivi de la période de labour et de préparation des terres qui se situe entre mi - octobre et le 10 novembre. C'est la période où commence le second cycle. Il comprend également les deux types de semis, toutefois le semis en pépinière semble plus avantageux pour le paysan. Il lui offre une période assez longue pour effectuer la préparation des terres et il réduit la quantité d'eau nécessaire à l'irrigation des cultures.

La Figure 42 donne les modes et calendriers culturaux des autres cultures sur le bassin de la Gambie. L'étude des calendriers culturaux permet de déterminer les temps de travaux et d'évaluer la superficie qu'un paysan peut cultiver par irrigation.

## 1.2. Les Techniques culturales

Les pratiques culturales dépendent de la régularité des écoulements dans les bas-fonds et du degré d'évolution de la technicité des paysans. Les bas-fonds sont inondés en saison pluvieuse mais après l'arrêt des pluies en octobre, ils s'assèchent. Deux types de culture s'y pratiquent, les cultures pluviales et les cultures de contre saison.

### 1 2 1. Les Cultures d'hivernage

Le premier cycle de culture démarre avec le début de l'hivernage. Le riz sera cultivé soit en semis direct qui a l'avantage de réduire le cycle végétatif de la plante soit en pépinière. Le semis direct intervient durant la dernière décade de juin. Il peut être mécanique ou manuel. Le semis mécanique se fait à l'aide d'un semoir (disque 8 ou 16 trous), en poquets avec un interligne de 45 Cm. Pour le semis manuel, la paysanne met les graines dans de petits trous qu'elle referme à l'aide ses pieds.

Le semis en pépinière, la paysanne choisie un lopin de terre où elle sème ses graines entre le 15 au 20 juin. Le repiquage de la parcelle aura lieu 25 jours plus tard et la récolte aux environs du 10 Octobre. En général les déficits hydriques peuvent se faire ressentir en début ou en fin de cycle, principalement à Tambacounda. Les cultures doivent donc recevoir une irrigation d'appoint durant ces périodes, s'il y a des ressources en eau disponible.

L'un des intérêts du semis en pépinière avec repiquage réside dans le fait que l'irrigation des pépinières peut se faire avec très peu d'eau, ce qui permet de fixer la date de démarrage du cycle. D'autre part cette méthode simplifie les sarclages et accroît les rendements. Pour améliorer la qualité chimique des sols, la SO.DE.FI.TEX. utilise sur ses parcelles 250 Kgrs d'engrais par hectare. Les rendements escomptés varient suivant la technique de semis utilisée (semis direct ou repiquage).

### 1 2 2. La Culture de contre - saison

La récolte de la culture d'hivernage doit être immédiatement suivie de celle de contre saison. L'installation précoce de cette culture permettra aux plantes d'utiliser au maximum l'humidité du sol. Ce qui conduit à une réduction de la hauteur de pompage ainsi qu'à une limitation des pertes par évaporation dans les réservoirs. Les cultures de contre - saison concernent le riz, le maïs ou le blé. Les dates de semis doivent intervenir avant les grands travaux de récolte de l'arachide et du coton. Elles tiennent compte du calendrier agricole et sont généralement situées aux environs du 10 novembre.

La date de culture du maïs devrait coïncider avec celle préconisée pour le riz de contre - saison. Plus court, le cycle du maïs se termine le 10 février. La culture du maïs demande aussi une irrigation complète et environ 200 kgrs d'engrais par hectare (engrais composé et urée) Elle peut se faire sur billon avec arrosage. Les rendements sont estimés à 4 tonnes à l'hectare

Le blé, le tabac et les cultures maraîchères font éventuellement l'objet de culture de contre - saison mais à petite échelle. L'essor de ces cultures est ralenti par l'inexistence d'un marché local important et d'une structure de gestion. Les récoltes sont pour l'essentiel destinées à la consommation locale.

Les températures minimales de décembre (inférieures à 15°C) peuvent allonger le cycle du riz de contre - saison. Ce cycle prend place entre le 10 novembre et le 20 mars. Il bénéficiera d'une irrigation complète et de la même fumure que le riz d'hivernage. La récolte est manuelle, les tiges sont séchées, égrainées et mise en sac ; en moyenne le rendement est voisin de 3.5 par hectare.

### 1.2.3. L'entretien des parcelles

Il est recommandé de faire un sarclo - binage 15 jours après la levée, la paysanne passe la houe - sine (golo à Missirah). Le sarclo - binage a l'avantage d'arrêter l'évaporation dans les sols en fermant les pores. Quinze jours après le premier sarclo - binage, un deuxième est recommandé. Le troisième n'intervient que sur la demande c'est à dire si c'est nécessaire.

Comme les paysannes pratiquent le semis manuel en poquets désordonnés, le plus souvent c'est au moment où la parcelle est complètement enherbée qu'elles commencent le sarclage. Généralement, elles rencontrent beaucoup de difficultés et finissent par abandonner une bonne partie de la parcelle.

## 1.3. Les Types de Culture

Les aménagements préconisés dans les bas-fonds de la Gambie ont pour principal rôle d'assurer une meilleure répartition de l'eau sur les parcelles. Pour rentabiliser au mieux ces aménagements, il est indispensable que les paysans procèdent à deux récoltes par an au niveau de chaque parcelle.

### 1.3.1. Culture céréalière

C'est une culture d'autoconsommation, le plus souvent pratiquée avec de faibles moyens (peu ou pas d'intrants) sur des sols de versants superficiels, faciles à travailler. Les parcelles sont généralement de petite taille (25 à 50 m<sup>2</sup>) avec des formes géométriques quelconques. Les associations variétales sont fréquentes et l'assolement est très variable d'une année à l'autre. Parfois il y a présence d'une végétation ligneuse dont les principales sont *Vitellaria paradoxa* (Karité), *Parkia biglobosa* (Néré) ou *Borassus aethiopium* (Rhonier).

### 1.3.2. Culture cotonnière

Pratiquée sur les versants comme production de rente, la culture cotonnière a bénéficié de certaines innovations techniques (culture attelée) et introduction d'intrants. Contrairement aux cultures céréalières, les parcelles sont ouvertes et ne contiennent pas de végétation ligneuse.

### 1.3.3 Culture du riz

Topographiquement elle s'organise dans les bas-fonds, le long des cours d'eau. C'est une culture qui relève uniquement du domaine des femmes sur les bassins de référence. La plupart des rizières supportent des cultures maraîchères ou sont en repos en saison sèche.

Deux types de maraîchage :

- le maraîchage d'hivernage avec le gombo, les piments, les aubergines et les tomates. A part le gombo, toutes ces plantes sont cultivées en pépinière. Le semis intervient au mois de Mai et le repiquage en Juillet - Août.
- le maraîchage de contre saison avec des laitues (salades, choux, pommes, oignons, piments, aubergines, pastèques, le manioc, la banane, les patates douces, le haricot, les grenades).

### 1.3.4. Jachères

Ce sont des zones anciennement cultivées que les paysans ont laissé au repos depuis trois ou quatre ans. Elles se différencient des cultures de l'année par un taux de couverture plus élevé et plus homogène des herbacées.

### 1.3.5. Plantations artificielles

Il s'agit de peuplements végétaux introduits par les hommes. C'est le cas des plantations de rôniers (*Borassus aethiopicum*) ou de manguiers (*Mangifera indica*), oranger, citronnier, mandarinier, anacardier, papayer, bananier, goyavier.

L'anacardier forme un rideau qui entoure la parcelle. Il sert à briser, l'élan du vent.

## 2. LA FAIBLESSE DU REVENU DES PAYSANS

Les paysans s'approvisionnaient en intrants agricoles et en matériels de cultures attelées par le biais des organismes de développement agricole (AFVP, SO.DE.FI.TEX, OFADEC, GADEC, etc...). La SO.DE.FI.TEX. par exemple, Jusqu'à une période très récente (campagne 1990/1991) avait mis en place un système de crédit agricole qui permettait aux paysans de s'équiper avec un certain taux de subvention. Le rôle des sociétés de développement est d'équiper et d'assurer l'encadrement des paysans. En contre partie, la masse monétaire issue de la commercialisation des productions collectées devait servir à compenser les charges de productions. Il se trouve que sur les périmètres de la SO.DE.FI.TEX. la faiblesse des productions collectées (21.2 % de la production totale sur une période de 19 ans) ne génère pas assez de ressources permettant aux paysans de faire face aux charges d'exploitation.

La pauvreté enregistrée au niveau des paysans s'explique par l'évolution progressive du coût des facteurs de production et du caractère aléatoire du prix d'achat aux producteurs.

### 2.1. Coûts des facteurs de production (riz pluvial)

Le tableau ci - dessous donne une idée sur l'évolution du coût des facteurs de production sur le bassin de la Gambie. Ces coûts sont calculés sur les périmètres exploités en culture pluviale dans le cadre des actions de la SO.DE.FI.TEX entre 1990 et 1992.

Tableau 62: Evolution du prix des facteurs de production (SO.DE.FI.TX. 1993)

Années	Prix au producteur (F/Kg)	Semence ( F/Kg )	Engrais complexe (F/Kg)	Urée ( F/Kg )	Herbicide ( F/l )
1972/73	41,5	58	25	25	2300
1975/76	51,5	70	25	25	2350
1978/79	60	85	25	25	2350
1980/81	60	85	52	45	2350
1981/82	66	110	52	45	2350
1982/83	85	125	70	70	2350
1983/84	85	125	88	50	2800
1984/85	85	125	88	50	4125
1985/86	85	125	88	50	4125
1986/87	85	125	88	50	4125
1987/88	85	125	88	50	4125
1988/89	85	125	88	50	4125
1989/90	85	125	88	50	4125
1990/91	85	125	88	50	4125
1991/92	65	125	88	50	4125

Le prix du kilogramme de semence paddy a connu une hausse de 58 F à 125 F. Le prix de cession de l'engrais complexe est passé de 25 F à 88 F le kilogramme, soit environ le triple du prix initial. Le prix de l'Urée est passé de 25 F à 72 F et celui de l'herbicide de 2300 F à 4125 F le litre.

La hausse généralisée des prix des facteurs de production, cumulée à l'étroitesse des superficies cultivées et à l'importance de l'auto - consommation sont des signes indicateurs d'un appauvrissement continu dans les campagnes.

La croissance du tonnage commercialisé dépend à la fois des superficies cultivées et du tonnage produit. La SO.DE.FI.TEX. a démarré sa campagne 1972/1973 par la mise en valeur de 8.5 hectares qui ont produit 19 tonnes de riz dont 4.4 tonnes commercialisées.

Tableau 63: Superficies de riz, tonnages produits et commercialisés (SO.DE.FI.TX. 1993)

Années	Superficies ( ha )	Tonnages produits ( T )	Tonnages commercialisés ( T )
1972/73	8,5	19	4,4
1975/76	4100	11524	2124
1978/79	5514	9392	2320
1979/80	5194	6752	825
1980/81	2627	2163	195
1983/84	1145	575	11
1985/86	494	543	217
1986/87	723	1150	424
1987/88	847	1225	366
1988/89	1018	2545	527
1989/90	1334	3330	1060
1990/91	1644	3770	722
1991/92	515	1287	420

Les superficies cultivées et les tonnages produits et commercialisés vont connaître une évolution très rapide pour atteindre leurs valeurs maximales en 1978/79. Les valeurs ont chuté de plus de la moitié durant les deux campagnes suivantes 1980/1981 et 1983/1984. Les plus faibles valeurs sont enregistrées en 1985/1986 avec un accroissement régulier des valeurs jusqu'à la campagne 1990/1991. La dernière campagne, 1991/1992 est créditée des valeurs les plus faibles enregistrées lors des six dernières campagnes

Les rendements moyens faibles au début deviennent par la suite satisfaisants avec des valeurs moyennes annuelles qui gravitent autour de 2 tonnes à l'hectare et une valeur moyenne annuelle de 1.863 pour les 12 années.

*Tableau 64 : Evolution du rendement moyen/ha*

Années	Rendements ( T/ha )	Poids collectés ( Kg )	% Récoltés
1980/81	0,823	74	9
1981/82	2,25	461	20,5
1982/83	2,424	296	12,2
1983/84	0,502	2	0,4
1984/85	1,347	407	30,2
1985/86	1,099	439	40
1986/87	1,591	586	37
1987/88	1,8	432	24
1988/89	2,5	518	20,7
1989/90	2,496	795	32
1990/91	2,293	439	19,1
1991/92	2,2	815	37
Rendement moy. sur 12 ans	1,863	439	24,7

Les rendements sont corrects mais seuls 25 % du tonnage produit sont commercialisés. Les superficies individuelles sont tellement étroites (0.7 à 0.9 ha) que l'essentiel du poids de riz collecté est destiné à l'auto - consommation.

## **2.2. Des Prix aux Producteurs faibles et Aléatoires**

L'évolution du prix des facteurs de production est suivie de celle du prix au producteur qui atteint 85 F en 1990/1991. Cette somme sera revue à la baisse en 1991, lorsque les activités d'achat seront transférées à des organisations paysannes qui vont fixer le prix à 65 F par kilogramme.

Par ailleurs, le nombre assez limité des équipes d'achat de la SO.DE.FI.TEX. et leurs passages parfois tardifs ont une incidence sur le prix aux producteurs. Les paysans se dessaisissent d'une bonne partie des récoltes au profit de commerçants qui offrent des prix au dessous du prix officiel. Ils achètent le kilogramme de riz à 45 F contre 85 F, soit une perte d'environ 47 % sur le prix de collecte. Cette pratique réduit le pouvoir d'achat du paysan même si le tonnage collecté est suffisant pour couvrir les crédits de campagne et d'équipement. Finalement, de nombreux agriculteurs seront contraints à l'abandon de la culture du riz parce que se trouvant dans l'incapacité de régler leurs dettes.

### 2.3. Les Périmètres irrigué

L'exploitation des périmètres irrigués est limitée par les contraintes suivantes :

- la préparation du sol ;
- le 'calage' des deux cycles ;
- le faible taux de remboursement de la dette paysanne.

Le pourcentage important d'argile dans les terres retarde la préparation des sols en culture attelée. Le souci de sortir de cette difficulté a nécessité auprès de certains organismes de développement l'utilisation d'engins motorisés. Ces prestations motorisées sont onéreuses mais la plupart du temps, elles sont subventionnées. La SO.DE.FI.TEX. par exemple, subventionne les prestations sur ses périmètres jusqu'à la hauteur de 50 % . L'entretien des périmètres, le réseau de pompage et travaux post - récolte sont également réalisés par la dite société. Ce travail est facturé aux producteurs à des prix partiellement subventionnés comme mentionné dans le tableau.

*Tableau 65: Nature et Coûts des Prestations sur les périmètres de la SO.DE.FI.TEX.*

Nature des Prestations	Coûts des prestations ( X 1000 f/CFA )			Taux de subvention ( % )
	Réels	Facturés	Subventionnés	
Personnel d'encadrement	3600		3600	100
Entretien périmètres	2626		2626	100
Pompage	8497		1778	21
Préparation du sol	1460	6719	582	40
Battage	336	878		
Transport récolte	4805	336	4805	100
Fournitures d'intrants	2240	1858	382	17
Total ( x 1000 F CFA )	23564	9791	13773	58,4
Coût à l'hectare ( 58 ha )	46275	168810	237465	58,4

Les coûts du pompage représentent pour les organismes de développement 55 à 60 % des charges d'exploitation des périmètres irrigués. Ce coût est très élevé parce que le m<sup>3</sup> d'eau est calculé sur coûts réels. Comme exemple, le prix du m<sup>3</sup> d'eau est passé de 2 Francs à 5.95 Francs entre 1977 et 1991.

Les résultats techniques et financiers observés sur les périmètres irrigués de la SO.DE.FI.TEX. sont consignés dans le tableau n°26.

*Tableau 66: Résultats sur deux périmètres de la SO.DE.FI.TEX. (1991)*

Périmètres	Superficies(ha)		Nbr de producteurs	Sup. expl.(ha)		Résult.estimés		Résult.collectés ( T )		
	Irrig-ables	Rizi-ères		Riz	Irrig-ables	produc-tion	T/ha	produc-tion	T/ha	%
Kirili	67	55	70	30,8	45,6	239,8	7,8	144	4,68	60
Kourientine	68	55	62	27,2	40	187	6,86	94,3	3,46	50,4
Total	135	110	132	58	42,8	426,9	7,36	238,3	4,11	55,8

Ils concernent

le taux d'occupation des périmètres irrigués de KIRILI et de KOURIENTINE est de 42.8 % ;

les rendements sont estimés à 7.360 t/ha, ce qui fait preuve d'une bonne maîtrise de la culture du riz repiqué ;

la taille des exploitations individuelles est faible de l'ordre de 0.44 ha ;

le taux des subventions directes est très élevé. Il est d'environ 55.8 %.

La SO.DE.FI.TEX avait octroyé des subventions à un groupe de 133 paysans qui exploitaient environ 58 ha de terres. Ces subventions sont réparties comme suit :

- par exploitant	(132)	= 104341 Francs CFA
- par ha repiqué	(58)	= 237465 Francs CFA
- par tonne de paddy produit		= 32255 Francs CFA
- par tonne de paddy collecté		= 57870 Francs CFA

### 3. CONTRAINTES AU DEVELOPPEMENT DES CULTURES DE BAS-FONDS

Les résultats obtenus aussi bien en culture du riz pluvial, qu'en culture de contre saison ont permis de mesurer les limites liées à chaque type de culture. Celles-ci se traduisent par la baisse continue des superficies cultivées. Les contraintes liées aux déficits pluviométriques successifs et les fluctuations de la production agricole qui en ont découlé, sont les facteurs explicatifs de la baisse de la production. Les contraintes relevées peuvent se situer à deux niveaux. Elles sont soit d'ordre physique soit d'ordre humain.

#### 3.1. Contraintes Physiques

Les contraintes physiques à la mise en valeur agricole des bas-fonds d'Afrique de l'Ouest ont été bien identifiées par l'étude « Mise en valeur agricole des bas-fonds du Sahel » initié par la CORAF et le R3S (ALBERGEL *et al.*, 1993).

##### 3.1.1. Contraintes hydriques liées aux écoulements

L'intensité de ces contraintes varie en fonction des domaines climatiques considérés. Entre Simenti et l'exutoire de la Sandougou, domine le climat nord - soudanien avec une pluviométrie inférieure à 1000 mm/an. Les fortes crues qui peuvent provenir de ces précipitations couplées à des pentes assez fortes des bas-fonds, de l'ordre de 2 à 5 mètres par Kilomètre, conduisent à des vitesses supérieures à 0.6 m/s. De telles vitesses provoquent l'arrachage des jeunes plants de riz ou de sorgho en début de saison des pluies et leur verse en fin de saison.

Les pluviométries annuelles sont supérieures à 1000 mm entre Kédougou et Mako. Ces averses successives sur plusieurs jours peuvent provoquer la submersion, parfois même l'asphyxie des cultures implantées dans les zones basses. Certaines plantes comme Le riz et le sorgho peuvent résister à une submersion inférieure à 3 jours. Au delà cette durée, les conséquences peuvent être catastrophiques pour les plantes.

### 3.1.2. Contraintes hydriques liées aux variations climatiques

Les contraintes liées aux déficits pluviométriques successifs ont entraîné des fluctuations de la production agricole dans les bas-fonds de la Gambie.

En début de cycle végétatif, les besoins en eau des jeunes plantules sont très limités et sont généralement satisfaits par les pluies. Lorsqu'elles sont en phase de tallage, ces plantes deviennent particulièrement sensibles au stress hydrique. A ce stade les besoins en eau restent encore limités et la probabilité d'occurrence des pluies demeure assez forte, les risques de stress sont faibles. La fin du cycle correspond aux phases de floraison, de fructification et de maturation. Durant ces phases, les besoins en eau des plantes croissent puis deviennent légèrement inférieurs à l'ETP et les risques de stress hydrique augmentent. Ces risques sont d'autant plus importants que l'on progresse vers le nord du bassin d'étude où la pluviométrie annuelle moyenne est faible (zone de Tambacounda).

L'introduction dans les bas-fonds du nord, de plantes provenant du sud (guinéenne et sud-soudanienne) accroît le stress hydrique.

Enfin de compte :

- au nord, les bas-fonds du continental terminal sont situés en zone nord - soudanienne, peu pluvieuse (800 à 1000 mm). La faiblesse de la pluie entraîne l'absence de crues qui complètent traditionnellement l'alimentation hydrique des bas-fonds ;
- au sud les bas-fonds du socle sont relativement plus arrosés avec plus de 1231 mm. Ils connaissent cependant un tarissement précoce des écoulements et une baisse rapide des niveaux des nappes aquifères.

Ces deux derniers phénomènes sont particulièrement remarquables au nord où les bas-fonds sont installés sur des sols plus sableux du continental terminal.

### 3.1.3. Contraintes écologiques

Aux contraintes hydro - pédologiques déjà énumérées, s'ajoute la croissance rapide des mauvaises herbes des bas-fonds cultivés de la Gambie. Elle constitue un facteur limitant car pouvant entraîner un surcroît de travail pour les paysans et parfois même un abandon des parcelles trop enherbées. Cette contrainte, très sensible au sud (bas-fonds du socle) représente un élément d'explication de l'échec du projet SO.DE.FI.TEX.

Le désherbage constitue un travail dur et pénible. A titre d'exemple, la durée du désherbage d'une parcelle de 0.25 ha est de l'ordre de 6 jours. Cette durée, variable de 3 à 13 jours pour une personne, entraîne un coût de production plus élevé en main d'oeuvre pour les cultures de bas-fonds que pour les cultures de haute - terres.

## 3.2. Contraintes Humaines et marginalité des bas-fonds

Aux contraintes physiques peuvent se greffer des contraintes humaines. Il est admis pour diverses raisons que les cultures de bas-fonds tiennent une place marginale dans les systèmes de culture Ouest - Africains. Cette marginalisation croît du nord (zones à faible pluviométrie) vers le sud (zones à forte pluviométrie).

La marginalité des bas-fonds du bassin de la Gambie se caractérise par une forte proportion de la main d'oeuvre féminine. La division sexuelle du travail y est très prononcée : la culture pluviale du riz reste un domaine exclusivement réservé aux femmes tandis que celle du maïs aux hommes. Les bas-fonds changent donc d'utilisateurs en fonction des spéculations. Ils représentent une source de revenus monétaires sûre pour les hommes qui y pratiquent des cultures commerciales. C'est aussi une zone de sécurisation alimentaire pour les femmes occupées par les cultures vivrières.

Le regain d'intérêt pour les cultures commerciales est à l'origine de la marginalisation des bas-fonds sur le bassin de la Gambie. Les paysans ont toujours eu la possibilité de pratiquer sur les terres hautes des cultures de rentes comme l'arachide mais surtout, le coton qui leurs rapportent des revenus non négligeables. Sur cette base, on comprend assez facilement le peu d'intérêt offert par les cultures d'hivernage dans les bas-fonds de la Gambie. Cependant, cette partie du bassin retrouve un certain intérêt lorsque les paysans peuvent y pratiquer des cultures maraîchères et fruitières.

### 3.2.1. Contraintes économiques

Elles sont liées à la fois aux modes de gestion des productions mais aussi aux conditions d'attribution et d'utilisation des terres.

### 3.2.2. Poids de l'auto - consommation

Le taux d'auto - consommation chiffré à près de 80%, laisse une faible part à la commercialisation. Le faible pouvoir d'achat des populations dans les campagnes s'explique par cette situation. Dans ces conditions, les producteurs ne disposent pas suffisamment de liquidités pour se doter en équipement pouvant leur permettre d'accroître leur productivité.

La vulgarisation du riz des périmètres irrigués devait amortir le taux d'auto - consommation et permettre l'obtention d'un excédent de production commercialisable. Elle sera cependant limitée par le faible taux d'occupation et l'étroitesse des superficies individuelles. Le taux d'occupation oscille entre 30 et 45% et les superficies des parcelles individuelles sont voisines de 0.44 ha.

Ces deux paramètres qui demeurent toujours très faibles dans le bassin de la Gambie, justifient le taux très élevé de l'auto - consommation et la faiblesse de la masse monétaire dans les campagnes.

### 3.2.3. Filières céréalières autonomes

La seconde catégorie de contrainte est liée au mode de gestion des produits agricoles. Par exemple, l'adoption d'une dynamique portant sur la création récente de filières céréalières autonomes s'est traduite par le transfert aux producteurs des activités de transformation des céréales et de commercialisation des produits finis dans un marché où les céréales importées occupent une place prépondérante.

#### 3.2.4 Régime foncier

Le régime foncier représente à son tour une contrainte de taille à la mise en valeur agricole des bas-fonds. Les restrictions observées dans l'attribution et la gestion des terres du bassin de la Gambie sont semblables à celles appliquées dans toute l'Afrique de l'Ouest. Les paysans sont rarement propriétaires de la terre au sens occidental du terme. Ils en ont, le plus souvent, l'usufruit avec des contraintes d'autant plus fortes qu'ils se trouvent au bout de la chaîne des prêts en terres successifs qu'ils ont l'habitude de s'octroyer.

OGEDRACKO (1991) a mis en évidence au Yatenga, trois modes d'appropriation des sols :

- l'appropriation par antériorité ;
- l'appropriation par conquête ;
- l'appropriation par occupation prolongée.

L'avis des maîtres de la terre est indispensable et même obligatoire au dernier exploitant s'il doit nécessairement modifier la gestion de la parcelle. La modification du régime foncier est très souvent source de conflits car la parcelle est généralement octroyée pour un usage bien précis sans possibilité de le modifier.

C'est l'appropriation par antériorité qui est pratiquée dans les bas-fonds de la Gambie. Le bas-fond appartient au premier défricheur. Il le partage aux membres de sa famille à savoir ses femmes et ses sœurs. Actuellement, les bas-fonds sont légués aux membres de la familles ou prêtés à des proches très sûrs mais jamais vendus.

## CHAPITRE III : TYPOLOGIE DES BAS-FONDS

L'inventaire et la caractérisation physiographique des bas-fonds sont réalisés sur le bassin de la Gambie, à partir des cartes et des photos aériennes. Ces deux informations sont à la base de l'élaboration d'une typologie permettant de classer les bas-fonds de la Gambie en fonction des caractéristiques déterminant leurs potentialités de mise en valeur

### 1. LIMITES DES METHODES DISPONIBLES

La première étape sera consacrée à l'exposition des méthodes existant en Afrique de l'Ouest (cf. méthodologie) et la seconde, à l'examen des conditions de validité en fonction des caractéristiques des bassins versants.

La revue des différentes méthodes appliquées en Afrique de l'Ouest montre que chacune de ces classifications est basée sur des critères bien déterminés.

Les critères morphométriques (pentes, largeur du bas-fond, mesure d'encaissement) qui constituent la base de la classification de KILLIAN et TEISSIER (1973) aboutissent à la distinction de deux types de bas-fonds sur les bassins de référence :

- les bas-fonds étroits et marqués sur le bassin du Sili. Ils se caractérisent par une partie centrale qui est occupée par la forêt galerie et les franges par une forêt plus claire ;
- les bas-fonds larges et peu marqués sur le bassin du Niaoulé. Ils présentent une partie centrale qui est occupée par la forêt galerie claire et les franges par une savane herbacée.

Recoupant deux régions très différentes du point de vue géologiques et climatiques, les bas-fonds du bassin de la Gambie entrent très facilement dans la classification de Claude et Albergel (1988). Celle - ci met en relief deux familles de bas-fonds sur le bassin de la Gambie :

- dans la région du socle ancien, les bas-fonds qui intéressent notre zone d'étude sont ceux de la zone Soudano-guinéenne. Ils reçoivent une pluviométrie annuelle comprise entre 1100 et 1400 mm. Les bas-fonds du Sili ainsi que ceux du pays Bassari entrent dans cette catégorie ;
- dans les zones sédimentaires

les bas-fonds des formations sédimentaires du continental terminal (pluviométrie annuelle entre 300 et 900 mm). Les bas-fonds du Niaoulé et du nord de Simenti entrent dans cette famille. En effet en aval de Simenti, les formations sédimentaires du continental terminal commencent à apparaître et la pluviométrie devient inférieure à 900 mm sur le bassin de la Gambie.

RAUNET (1982, 1985 a, 1985 b) a traité en détail de la morphologie et de la morphodynamique des différentes familles. Il montre que la morphologie des bas-fonds ainsi que leur fertilité dépendent fortement de la roche sur laquelle ils se sont développés.

Une typologie des bas-fonds peut être réalisée en fonction de la nature des roches rencontrées sur le bassin de la Gambie. Sur le socle du précambrien inférieur, ce sont des granites et des roches métamorphiques (schistes, amphibolite) ; sur les sédiments du précambrien supérieur, nous avons des grès et sur les sédiments du tertiaire (continental terminal) des grès et des calcaires.

Parmi ces roches les granites, les schistes, amphibolites, les grès et les calcaires sont très répandus dans le bassin de la Gambie.

Les granites relativement acides donnent des sols à texture grossière (argilo - sableux à sableux) et à basse fertilité. L'argile rencontrée est surtout kaolinitique. Ce sont des sols durs et « acides » sur lesquels se développent un réseau hydrographique moins encaissé et peu hiérarchisé.

La très grande extension des schistes et amphibolites sur le bassin du Sili se traduit par le développement des sols basiques, plus fertiles avec une texture plus fine. Ces endroits se caractérisent par la présence de sols montmorillonitiques. Dans ce milieu « basique » (schistes, amphibolites), le réseau hydrographique est très hiérarchisé et dendritique avec des bas-fonds encaissés.

En mettant en parallèle les méthodes proposées, on s'aperçoit que les paramètres retenus pour élaborer ces différentes typologies sont à caractère zonal (climat) ou régional (géologie). Il en résulte deux régions géographiques, contenant chacune une famille de bas-fonds. La présence de ces deux familles est confirmée par le fait que dans le bassin de la Gambie, les régions géologiques se superposent aux domaines climatiques.

Cette démarche conduit à la mise en relief de deux grandes familles de bas-fonds sur l'ensemble du bassin de la Gambie; elle représente la première étape de notre classification. La seconde consiste à extraire de petites unités de bas-fonds sur chaque famille. Cette extraction pose problèmes à l'échelle régionale ou zonale parce que tous les paramètres de discrimination ne sont pas définis. Pour remédier à cette carence ALBERGEL *et al*, (1993) ont mis au point une synthèse des différentes typologies exposées. Aux critères physiques, ils ont intégré des critères agronomiques et surtout socio-économiques propres à chaque terroir ou village. C'est cette méthode qui sera retenue sur les bassins de référence.

## 2. SYNTHESSES DES CRITERES

Ils résultent d'un croisement des données physiques, humaines et socio-économiques. Les paramètres de discrimination y sont plus importants et plus précis. Ce qui met à la disposition des aménageurs un éventail d'informations permettant de classer les bas-fonds de toutes catégories.

Cette méthode comprend deux ensembles de critères : les critères régionaux et les critères locaux. Le Tableau 67 donne la liste des paramètres à étudier ainsi que leur degré de dépendance par rapport aux différents critères retenus pour classer les bas-fonds.

**Tableau 67 : Critères pour la typologie des bas-fonds et relation avec les paramètres de la mise en valeur**

Paramètres à étudier pour la mise en valeur des bas-fonds	Critères régionaux				Critères locaux			
	Zonation climatique	Géologie et relief	Démographie	Intégration à l'économie de marché	Tailles des bassins et morphologie des bas-fonds	Organisation sociale et foncière	Technicité des cultures à la maîtrise de l'eau	Possibilité d'accès aux sources de financement
Fonctionnement hydrologique	**	**	0	0	**	0	*	0
Fonctionnement hydro-géologique	**	**	*	0	*	0	*	0
Sels	**	**	*	0	*	*	*	0
Végétation	**	*	*	*	*	*	0	*
Système de cultures dans le bas-fond	**	*	*	**	*	*	**	**
Place du bas-fond, système de production	**	*	*	**	**	**	**	**
Possibilité d'intensification	**	0	**	**	*	**	**	**
Niveau technique de l'aménagement	*	*	*	*	**	**	**	**

\*\* très dépendant ; \* dépendant ; 0 pas dépendant

## 2.1. les critères régionaux

Ils comprennent deux critères physiques (la zonation climatique, le substrat géologique et le relief) et deux critères socio-économiques (la démographie et le degré d'intégration à l'économie de marché).

### 2.1.1. La dégradation des conditions climatiques

La zonation climatique (Tableau 68) se caractérise par une décroissance nord - sud de la pluviométrie. Ce déficit croissant aura des conséquences sur le milieu naturel des bas-fonds et sur les systèmes agricoles traditionnels.

**Tableau 68 : La zonation climatique et ses conséquences dans les bas-fonds**

Précipitation annuelle (mm)	Pluviométrie annuelle (mm)	Sols	Végétation	Cultures pluviales	Système agricole traditionnel	Régime hydrologique	Sites
1250	1232,9	Sols peu évolués d'apport hydromorphe sur matériau alluvial	continue forêt galerie Savane très boisée	Céréales 120 jours	Elevage, agriculture, sorgho ou maïs, riz, maraîchage.	Écoulements semi-pérennes Écoulements de base	(Sili site1)
950	953,1	Sols hydromorphes sur matériau alluvial.	Forêt claire			Écoulements Intermittents	(Sili site2)
850	842,9	Sols hydromorphes sur matériau alluvial. Sols peu évolués d'apport hydromorphe sur matériau alluvial. Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches	Savane arbustive forêt sèche			Écoulements Intermittents	Nikolo-Joba
700	613,6	Sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches	Steppe arborée et arbustive. Savane arborée. Savane herbeuse Forêt sèche	Mil et Sorgho 70 à 90 jours	Agriculture, riz très rare, maraîchage, arboriculture	Écoulements brefs et intermittents	(Niaoulé) 1, 2, 3, 4

Entre 1250 et 950 mm, les sols sont peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau alluvial ou sols hydromorphes sur matériau alluvial. La végétation est continue et formée de forêt galerie ou de savane très boisée, parfois même de forêt claire. Du point de vue hydrologique, les écoulements semi - pérenne avec présence d'écoulement de base (exemple Sili) permettent aux paysans de cultiver des céréales de 120 jours de cycle végétatif

En dessous de 850 mm apparaissent des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches. La végétation est représentée par la steppe arborée et arbustive qui passe en aval de Simenti à des savanes arborées ou savane herbeuse et même à des forêts sèches. Les écoulements brefs et intermittents imposent des céréales à cycle court (70 à 90 jours de cycle végétatif).

### 2.1.2. le substrat géologique et le relief

Le substrat géologique et le relief (Tableau 69) changent à partir de la latitude de Simenti. Ils mettent en évidence une région relativement élevée en amont (332 m) située dans des formations birrimiennes (cipolins, schistes, granites), dans les plaines (80 m) dominant les formations du paléozoïque (grès, pélites argileuses, calcaires, dolomie, jaspes). En aval de Simenti sur de vastes plaines, le socle fait place au continental terminal (sables argileux, horizons gréseux et niveau de latérites ferrugineuses formés de cuirasses latéritiques).

Tableau 69 : Caractéristiques géologiques et altimétriques

Formations géologiques	Substratum	Altitudes ( m )	Localisation	Sites
Birmien	gneiss ou rocs schistes, micaschistes )  granites	332	Bassin du Sili Ndébou Landiéné Ibel Bandafassi	Site2
Paléozoïque Cambrien inférieur	conglomérat calcaro-argileux: grés, pélites plus ou moins argileuses, calcaires ou dolomie, jaspes.		Ibel Landiéné Baraboye	Site1 et 2
Paléozoïque	Granites, schistes	80	Simenti	
Continental terminal	sables argileux, horizons gréseux et niveau de latérites ferrugineuses formés de cuirasses latéritiques	65	Bassin du Niaoulé	Site1, 2, 3, 4

### 2.1.3. La démographie :

La situation démographique est mentionnée dans le tableau.

La place des bas-fonds dans un système de production est d'autant plus grande que la densité de population est forte. La réalisation des aménagements et la mise en culture des bas-fonds nécessitent une population assez nombreuse et surtout jeune (20 à 45 ans). L'émigration croissante des plus jeunes vers les centres urbains ou l'étranger, bien que génératrice de capitaux parfois investis dans la réalisation des aménagements demeure un handicap de taille pour la valorisation des bas-fonds.

### 2.1.4. Le degré d'intégration à l'économie de marché :

Les paysans pratiquent dans les bas-fonds de la Gambie, des productions céréalières de saison des pluies et des productions de contre saison. Les premières sont destinées à l'auto-consommation tandis que ; les secondes sont plutôt commercialisées. L'essor de la commercialisation est lié à la présence de certains facteurs comme la proximité de centres urbains, l'existence de coopératives ou de centres touristiques. C'est le cas de Missirah et Tambacounda pour le Niaoulé et Kédougou pour le Sili.

D'autre part des sociétés rurales (SO.DE.FI.TEX ; ) et de multiples ONG (AFVP, OFADEC, GADEC) encadrent des paysans et encouragent la vulgarisation des circuits de commercialisation dans les campagnes

Les critères démographiques et le degré d'intégration à l'économie de marché sont traduits dans le tableau.

## 2.2. les critères locaux :

Ils sont au nombre de quatre : la taille des bassins versants et la morphologie des bas-fonds, l'organisation sociale et foncière, la technicité des populations vis à vis de la maîtrise de l'eau et les possibilités d'accès aux sources de financement.

Les trois autres critères relatifs à la l'organisation sociale et aux formes de mise en valeur relèvent des enquêtes de terrain.

La taille des bassins versants et la morphologie des bas-fonds sont consignés dans le tableau 60. Ce dernier met en évidence deux classes de caractères (caractères liés au bassin versant et caractères liés au bas-fond).

La première classe de caractères sert à décrire les bassins versants en vue de prévoir leur fonctionnement hydrologique. La seconde permet de décrire sommairement le site d'un bas-fond.

**Tableau 70: Typologie du milieu naturel**

Distribution des pluies	Caractères régionaux				Caractères liés au bassin versant				
	Localités	Pluviométrie annuelle (mm)	Géologie	Altitude (m)	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Classes de Relief	Classes de Perméabilité	Réseau hydrographique	
une saison de pluie	Kédougou	1232.9	epolins, schistes, micaschistes, granites	122	90	R3	P3	radial dendritique (Sili)	
					1356	R1	P5	arête de poisson (Niakoulé)	
	Bandafassi	953.1	conglomérat calcaire-argileux grés, pélites plus ou moins argileuses, calcaires ou dolomie, jaspes; Granites, schistes	162	Caractères liés au bas-fonds				
					Largeur de la zone centrale en m	Sites	Pente longitudinale m/km	Etat d'engorgement	
	Simenb	842.9	sables argileux, horizons gréseux et niveau de latérites ferrugineuses formés de cuirasses latéritiques	80	Sili < 50	2	5.4	Format. argileuses (altération des schistes)	
					50 et 100	1	5.4	7.78 à 17.22 7.44 à 12.19	
Tambac	813.6		65	Niakoulé < 20	4	0.7	grés et sables argileux hétérogènes		
				20 à 180	1 et 4	0.7	nappe généralisée		
				180 à 220	2 et 3	0.7	alluvions fluviales nappes temporaires		

L'organisation sociale et foncière se matérialise par des tentatives de regroupement des jeunes et des femmes en vue d'exploiter les bas - fonds.

Le G.I.E. des jeunes appelé « G.I.E. BADIMA » est formé de 11 personnes dont 6 hommes et 5 femmes. Ils disposent d'une parcelle dans le bas - fond de Madiali situé à 2.5 km au SW de Missirah. Durant la saison des pluies, la riziculture est pratiquée dans la partie centrale du bas - fond et le maraîchage d'hivernage sur des zones topographiquement plus élevées. Le maraîchage de contre saison est pratiqué en saison chaude grâce à l'eau provenant des puits, les produits de la récolte sont écoulés sur le marché de Missirah et Tambacounda.

Le groupement des femmes de Missirah exploitait jusqu'à une période récente, un bas - fond situé à environ 1 km de Missirah sur la route Missirah - Kédougou. Ce projet, orienté sur la culture maraîchère (salade, choux, oignons, tomate), s'est soldé par un échec parce que la parcelle était trop grande. Il s'est posé un problème d'alimentation en eau qui se fait essentiellement à partir des puits répartis un peu partout dans la parcelle. L'utilisation des puits artisanaux pour alimenter les parcelles explique la modestie de leur superficie et parfois leur abandon. C'est pour répondre à cette situation que des groupements se sont formés en vue de faciliter, la recherche de financement pour l'achat de motopompe et matériels agricoles. Pour le moment, ces demandes sont restées sans suite. Ce qui est un facteur limitant au développement des bas-fonds.

**Tableau 71 : Typologie du milieu humain**

Localisation	Caractères régionaux					
Bassin	Démographie			Intégration économique		
	Densité ha/km <sup>2</sup>	Taux d'occupation des sols ou de mise en culture	Déplacement de population	Importance des cultures de rente	Structure d'encadrement	Accès aux sources extérieures de financement
	0,7 à 1,24	Faible	Saisonnier (Navétanes)	faible	inexistante	nulle
	Caractères liés au village ou au terroir					
	Organisation sociale, technicité, capacité de travail			Organisation foncière		
	Disponibilité en main d'œuvre	Concurrence entre les cult.	Groupes Sociaux	Technicité hydraulique et agricole	Taux de mise en culture du bas - fond (%)	Taille des parcelles (ha)
	moyenne	Non constatée	Diakanké	Faible	Faible	3,13

Les trois premières méthodes permettent une classifications des bas-fonds à partir des critères strictement physiques. Elles sont surtout adaptées, aux bas-fonds non aménagés.

Les critères locaux et régionaux se complètent et facilitent la distinction entre les petits bas-fonds issus de la même zone (climat) ou de la même région (géologie). Cette méthode (ALBERGEL et al., 1988) permet de décrire, de comparer et de regrouper dans des classes appropriées les bas-fonds qui présentent les mêmes caractéristiques car la diversité des bas-fonds est liée à celle des bassins de support.

### 3. CONCLUSION

La mise en parallèle des différents paramètres de l'écoulement étudiés dans les deux premières parties ont permis de mettre en évidence l'ensemble des zones inondables sur le bassin continental de la Gambie. Cette deuxième est destinée à la recherche d'outil permettant, la description et l'extraction des bas-fonds dans les zones inondables. A cet effet la photographie aérienne nous a été d'un grand apport.

Les bas-fonds du bassin de la Gambie sont généralement destinés à la riziculture. Cette dernière est pratiquée sans aménagement par les femmes sur des parcelles de faibles superficies (25 à 50 km<sup>2</sup>). Les techniques culturales dépendent des localités et du niveau de l'eau dans les bas-fonds. Au Sili, pas de semoir, on pratique le labour manuel et le semis à la volée. A Missirah s'il y a beaucoup d'eau, les femmes pratiquent le labour manuel et le semis en pépinière qui se fait très tôt avec la première ou deuxième pluie.

Actuellement avec l'assèchement des bas-fonds, il est possible de pratiquer le labour mécanique et d'utiliser le semoir. Cette mécanisation ne réduit pas pour autant le temps de travail car l'avantage d'un bas-fond en eau est qu'il ne contient pas d'herbes contrairement au bas-fond à sec dans lequel, le phénomène d'enherbement demeure un facteur limitant.

La principale culture de bas-fond reste le riz en saison pluvieuse car il supporte bien l'excès d'eau et l'humidité. Le maïs par exemple, jaunit et finit par disparaître. C'est au retrait des eaux que les paysans cultivent le maïs et le riz de contre saison au Sili. Le facteur limitant au développement de ces cultures reste les animaux en divagation qui pénètrent dans les parcelles à la recherche de points d'eau et de pâturages. Cette situation est souvent source de conflits entre éleveurs et agriculteurs.

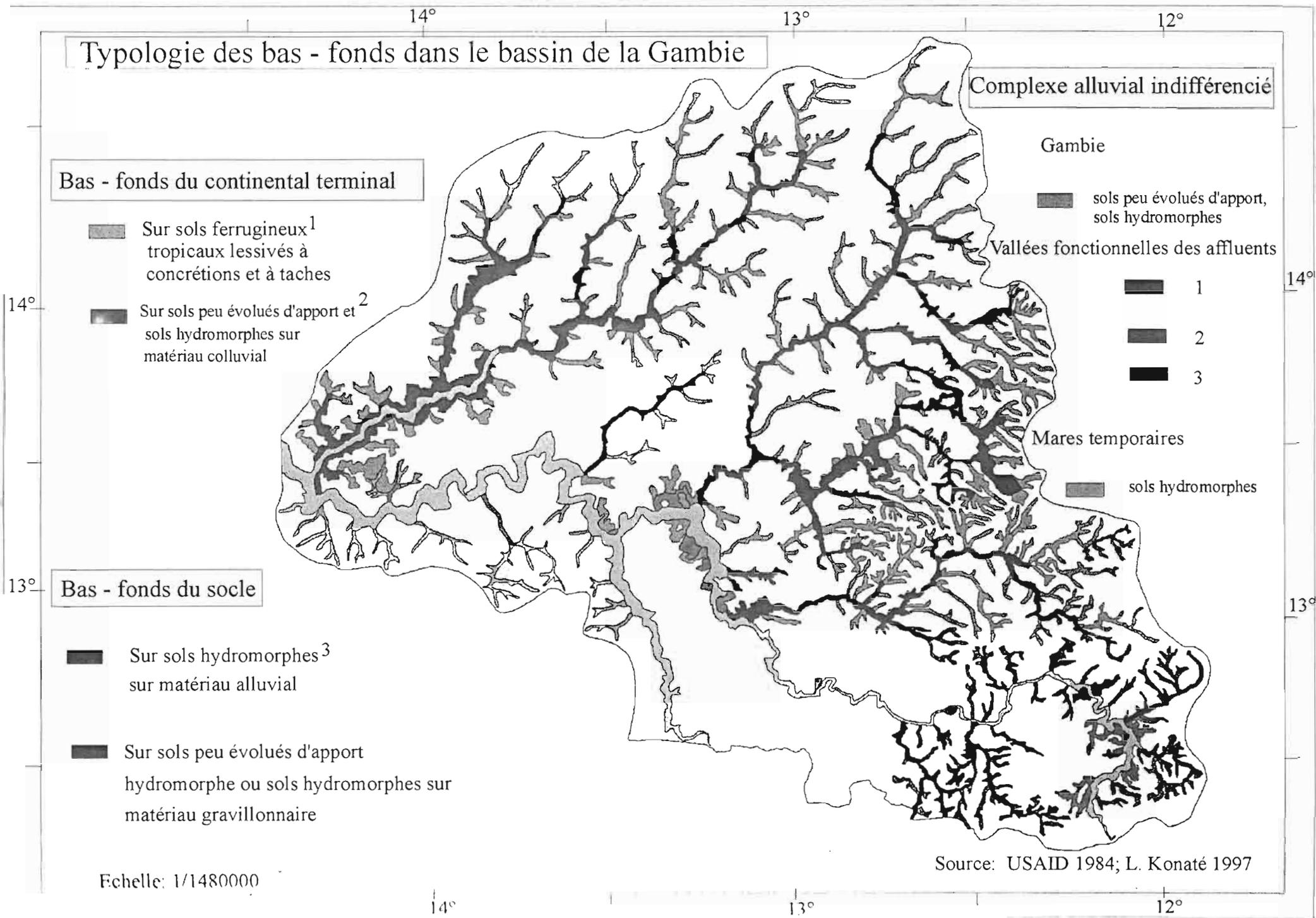
L'eau utilisée dans les bas-fonds pour la riziculture provient essentiellement de la pluie, les digues servent à délimiter les parcelles et de refuge aux mauvaises herbes. Les cultures de contre - saison sont alimentées à partir de l'eau provenant des puits creusés dans les parcelles. Nous n'avons rencontré aucune parcelle équipée de motopompe. Malgré l'introduction d'autres variétés, la dépendance des cultures à la pluie a une double conséquence dans les bas - fonds sur les bassins de référence :

- le cycle du riz ne doit pas dépasser 60 jours ;
- la détresse des plantes contribue à la réduction des productions et des superficies

L'étroitesse des superficies et la rareté de l'eau expliquent la faiblesse des rendements qui sont de l'ordre de 400 kg par parcelle sur les bassins de référence. La production de riz est réservée aux jours de fêtes et à l'accueil des étrangers, le mil cultivé par les hommes étant utilisé pour le repas quotidien.

C'est la superposition des données physiques et humaines explique l'option pour l'application d'une synthèse des méthodes de classification des bas-fonds sur le bassin de la Gambie (ALBERGEL et CLAUDE, 1988).

# Typologie des bas - fonds dans le bassin de la Gambie



## Bas - fonds du continental terminal

- 1 Sur sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches
- 2 Sur sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes sur matériau colluvial

## Bas - fonds du socle

- 3 Sur sols hydromorphes sur matériau alluvial
- Sur sols peu évolués d'apport hydromorphe ou sols hydromorphes sur matériau gravillonnaire

## Complexe alluvial indifférencié

- Gambie
- sols peu évolués d'apport, sols hydromorphes
- Vallées fonctionnelles des affluents
  - 1
  - 2
  - 3
- Mares temporaires
- sols hydromorphes

Echelle: 1/1480000

Source: USAID 1984; L. Konaté 1997

## CONCLUSION GENERALE

Partant des relevés des stations climatologiques et hydrométriques du Sénégal Oriental, on constate que l'acuité et la fréquence des besoins en eau augmentent du sud vers le nord. Ces besoins qui sont atténués, en amont de Simenti deviennent importants en aval. La plupart des nombreux petits affluents et sous affluents dont les parties amonts correspondent aux bas-fonds sur le bassin de la Gambie manquent d'eau en saison sèche sinon disposent d'un excès d'eau en saison pluvieuse. Le déficit hydrique provoque le stress des plantules dans la région et l'excès d'eau leur arrachage. Il s'agit donc d'un ensemble de problèmes parfois difficiles à résoudre. Les ressources importantes sont très rares dans la région, elles varient suivant les caractéristiques physiques des milieux étudiés dans la première partie.

L'étude de caractérisation qui a précédé la typologie a porté sur deux niveaux. Dans un premier temps, l'étude consiste à la description des unités hydrologiques sur le bassin de la Gambie entre Kédougou et Sandougou. Ce qui a permis de mieux cerner le fonctionnement physique du bassin. A l'issue de ce travail, les cartes de la géologie, de la morphopédologie, du couvert végétal, de la répartition des altitudes et du régime hydrologique ont été dressées. L'intérêt de l'étude des caractéristiques générales, c'est de mettre en valeur les paramètres de discernement entre les différentes parties du bassin. En effet pour bien appréhender le fonctionnement physique des bas-fonds, l'option d'une étude à l'échelle de petits bassins versants a été retenue. Il est donc nécessaire de disposer des éléments pertinents qui permettent de guider le choix des bassins sur lesquels les bas-fonds sont caractérisés. C'est sur cette base que les deux régions géographiques très différentes par la morphopédologie et le bilan hydrologique ont été identifiées (socle et continental terminal). Une caractérisation plus poussée a permis mettre en relief, les différences de fonctionnement physique dans chacune de ces régions. Les résultats obtenus (superficies et caractéristiques) sont consignés dans des tableaux pour chacune des régions.

En définitive le fonctionnement physique de la région du socle se distingue par sa très grande diversité, ce qui est à l'origine de l'isolement de deux grandes catégories de zones inondables. Il n'en est pas de même pour la région du continental terminal dont la monotonie du paysage se traduit par l'uniformisation de son fonctionnement physique. Dans le souci de faire une étude plus précise, le choix des bassins représentatifs devaient être faits sur la base des résultats obtenus à partir des caractéristiques des zones inondables.

La monotonie du paysage du continental terminal a facilité le choix du bassin du Niaoulé pour caractériser le fonctionnement hydrologique des bas-fonds du continental a été facilitée par la monotonie du paysage. En ce qui concerne le bassin du Sili, la diversité de ses formations géologiques, du couvert végétal et de la topographie devaient conduire à étudier deux ou trois bassins représentatifs. Ceci n'est pas fait à cause des moyens matériels et financiers qu'il représente. En effet si l'on est sûr que tous les bas-fonds du continental terminal ont un fonctionnement physique semblable à celui du Niaoulé, il n'est pas de même pour le socle dont la diversité des formations ne se limite pas au bassin du Sili.

La très bonne caractérisation des bassins représentatifs est complétée par l'application des modèles numériques de terrain qui ont mis en évidence de façon très nette les thalwegs sur les deux bassins représentatifs. A cet égard, les zones concernées par les bas-fonds ont été extraites de façon très précises et leurs superficies calculées. C'est à la suite de ce travail que nous nous sommes intéressés à l'étude socio-économique des bas-fonds sur les deux bassins représentatifs.

Les enquêtes effectuées sur le terrain sur la base d'un ensemble de questionnaire élaboré au laboratoire. Leur dépouillement donne les types de cultures effectués dans les bas-fonds ainsi que les techniques culturales utilisées. Les cultures de bas-fonds sont surtout auto-consommées, ce qui réduit du coup sa place dans l'économie rurale du bassin. La faiblesse du niveau d'aménagement dans les bas-fonds est de règle dans les bas-fonds étudiés. Auparavant, le bas-fond était strictement réservé aux femmes, les hommes ne s'y rendaient que pour effectuer les premiers labours mais depuis un certain temps, il attire des regroupements de jeunes dans les villages et dans les zones péri-urbaines.

L'amélioration de la connaissance du fonctionnement des bas-fonds dans le bassin de la Gambie est faite à le croisement des données physiques et humaines très variées du socle et de sa couverture paléozoïque avec une pluviométrie annuelle comprise entre 1200 et 800 mm. Ces formations qui associent des roches dures (quartzites filoniens, granites) et tendres (pélites, schistes). Le déblaiement de ces roches (MICHEL, 1973) explique la présence de nombreux reliefs résiduels dont certains dépassent 400 m ; des formations sédimentaires (grès argileux et sables hétérogènes) peu arrosée (800 mm de pluie moyenne) du continental terminal dont l'altitude est toujours inférieure à 100 m

L'étude portant sur la typologie des bas - fonds dans le réseau hydrographique du fleuve commence par une caractérisation de l'ensemble des zones inondables situées entre les isohyètes 600 et 1300 mm. Ensuite deux bassins représentatifs ont été choisis sur le bassin de la Gambie en fonction des différences géologiques et climatiques.

Les surfaces de bas-fonds répertoriées sur les bassins représentatifs à partir orthophotoplans tournent autour de 5%. Les caractéristiques de ces bas - fonds sont connues à partir du croisement de l'ensemble des facteurs conditionnels de l'écoulement avec comme paramètre de base la zonation climatique et géologique. Les sols à caractère hydromorphe recouvrent les zones humides du bassin de la Gambie depuis Kédougou jusqu'à Simenti. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et taches commencent à apparaître sur les affluents à écoulement temporaire.

La caractérisation des bassins et des bas-fonds est faite dans un premier temps à partir des cartes topographiques, géologiques, pédologiques et du régime hydrologique. Ceci a permis de déterminer la superficie des zones inondables sur le bassin de la Gambie. L'extraction des bas-fonds à l'intérieur des zones inondables est faite par l'utilisation du support photographique. C'est sur cette base que deux grandes familles de bas-fonds ont été identifiées et décrites sur le bassin de la Gambie à savoir :

- les bas-fonds de la région du socle qui referment les bas-fonds des parties hautes et les bas-fonds des parties basses ;
- les bas-fonds de la région du continental terminal. Ces deux grandes familles de bas-fonds sont d'une part liées à la nature du sol mais aussi à la quantité de pluie enregistrée sur le bassin.

La latitude de Simenti représente la zone discrimination des bas - fonds sur le bassin de la Gambie pour les paramètres physiques. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés, à concrétions et à taches apparaissent lorsqu'on dépasse la latitude de Simenti et que la pluie devienne inférieure à 850 mm. Ils supportent une végétation de steppe arbustive ou arborée. C'est la zone du continental terminal (sables argileux, horizons gréseux et niveau de latérites ferrugineuses formées de cuirasses latéritiques). Les écoulements sont brefs et intermittents.

Le système agricole de type traditionnel repose sur des plantes à cycle court (mil, sorgho) au nord de Simenti et plus long (60 à 120 jours) au sud. La concurrence entre culture de rente et culture vivrière n'est pas notée dans les bas - fonds réservés à la riziculture en saison pluvieuse et aux cultures maraîchères de contre saison. Le coton est répandu sur les bassins mais il est cultivé sur les plateaux et les versants.

La faible technicité hydraulique des utilisateurs de bas - fonds explique l'étroitesse des superficies cultivées et l'uniformité des formes de mise en valeur. Le même schéma se retrouve partout :

- riziculture en saison pluvieuse ;
- culture maraîchère de contre saison.

La technicité vis à vis de la maîtrise de l'eau est rudimentaire. Les puits creusés dans les parcelles sont reliés à un collecteur central à partir d'un canal. L'eau puisée est déversée dans le canal qui la conduit au collecteur central. Les exploitants arrosent les parcelles à partir du collecteur central.

L'aménagement d'un bas-fond doit viser une production de sécurité avec quelques céréales comme le riz et le maïs et des cultures de type « jardin » pour les marchés locaux. Il doit s'intégrer dans un dispositif prenant en compte les problèmes de dégradation des sols, de redistribution de l'eau et de déséquilibre du système de culture de versant.

Ce travail doit servir de document de synthèse sur tout le référentiel technique des bas-fonds du bassin continental de la Gambie ; depuis la caractérisation, leur fonctionnement hydrologique jusqu'aux types d'aménagements et mise en valeur en fonction des contraintes du milieu et de la société.

Cette étude hydrologique devait être complétée par une étude hydro - géologique mais malheureusement par faute de moyens nous n'avons pas réussi à faire suffisamment d'études de terrain pour suivre périodiquement le fonctionnement des puits. En effet la différenciation géologique entraîne un changement du comportement des eaux souterraines. La nature spécifique du sous-sol (composé par des formations géologiques peu perméables) du socle au sud de Simenti, limite toute possibilité d'existence d'une nappe généralisée. Le bassin du Sili (socle) par exemple ne contient que de faibles nappes superficielles là où la roche est fissurée ou altérée. Les formations sédimentaires du continental terminal, produit de l'érosion par suite de l'érosion progressive de la mer couvrent la partie du bassin située au nord de Simenti. Ce sont des sables et des grés argileux, bariolés avec des couches d'argile qui contiennent des nappes souterraines de profondeur variant entre 30 et 100 m.

Toutefois l'étude complète du fonctionnement des bas-fonds a été faite dans un bassin du continental terminal (bassin de Thyssé - Kaymor). Ce genre de travail devait être envisagé dans le Sénégal Oriental, en particulier dans les formations très anciennes et très variées du socle et de sa couverture paléozoïque.

- ALBERGEL (J.), 1988. — Mission d'appui en hydrologie auprès du BSD Conakry du 20/01/88 au 03/02/88, 27p.
- ALBERGEL (J.), 1990. — Une méthode "expert" pour la conception des barrages " anti-sel" dans des bas-fonds de basse et moyenne Casamance. Séminaire "conservation et utilisation durable des ressources naturelles du bassin hydrographique de la Casamance", 22-26 octobre 1990, Ziguinchor (Sénégal), 13p.
- ALBERGEL (J.), 1992. — Programme bas-fond : Technologies appropriées pour un développement durable en zone semi-aride de l'Ouest Africain. Exemple du barrage souterrain de KAMBO au MALI. Séminaire de L'ICID international variation and sustainable development in semi-arid regions. Fortaleza, 27 janvier-1er février 1992.
- ALBERGEL (J.), BERNARD (A.), BRUNET (D.), MONTOROI (J.P.), 1991. — « Projet pilote Casamance ». Bas-fond de Djiguinoum. Rapport de synthèse : morpho-pédologie. Multigr., ORSTOM/ISRA/R3S/IRAT, 27p.
- ALBERGEL (J.), BERNARD A., DACOSTA (H.), DUBEE (G.), PEPIN (Y.), SAOS (J.L.), 1991. — Projet pilote "Sine-Saloum" Bas-fond de Thyssé-Kaymor. Rapport de synthèse : Hydrologie-Hydrogéologie multigr., ORSTOM/ISRA/R3S/IRAT, 32p.
- ALBERGEL (J.), BERNARD A., DACOSTA H., PEREZ P., VALENTIN C. (1991). Projet pilote "Siné-Saloum". Bas-fond de Thyssé-Kaymor. Rapport de synthèse. Volet Morpho-pédologie. Programme CEE/CIRAD N° TS2A 0017 F CD, ORSTOM Dakar.
- ALBERGEL J., BERNARD A., RUELLE P., TOUMA J. (1989). Hydrodynamique des sols. Bassin versants expérimentaux de Thyssé-Kaymor. Rapport de campagne des mesures février-avril 1988, Dakar.
- ALBERGEL J., BRUNET D., DUBEE G., DUPREY J.L., MARIEU B., MONTOROI J.P., ZANTE P. (1990). Rapport hydrologique 1989. Vallée de Djiguinoum (Casamance). Multigr.. ORSTOM Dakar, 73p.
- ALBERGEL J., BRUNET D., DUBEE G., MARIEU B., MONTOROI J.P., PEPIN Y., ZANTE P. (1991). Projet pilote "Casamance". Bas-fond de Djiguinoum. Rapport de synthèse Hydrologie- Hydrogéologie. Multigr., ORSTOM/ISRA/R3S/IRAT, 42p.

- ALBERGEL J., BRUNET D., DUBEE G., MONTOROI J.P., ZANTÉ P., (1991). Gestion d'un barrage anti-sel en basse Casamance(Sénégal). In A KERGUIS et J. CLAUDE (éd.), "utilisation rationnelle de l'eau des petits bassins versants en zone aride", Ed AUPELF-UREF, n John Libbey Eurotext, Paris, pp.275-2835.
- ALBERGEL J., CLAUDE J. (1988). Fonctionnement hydrologique des bas-fonds en Afrique de l'Ouest. in Proc of the Sahel Forum on The state-of-the-art of hydrology and hydrogeology in the arid and semi-arid areas of Africa. Unesco. ed. Misganaw Demissie and Glenn E. Stout : Int. Water. Res. As. Urbana, Illinois pp. 212-223.
- ALBERGEL J., DIATTA M., JUNCKER E., PEREZ P., RUELLE P., SENE M. (1990). Méthode pour améliorer l'infiltration et réduire le ruissellement. Présentation du cas du Siné-Saloum. Réseau érosion bulletin n°10., journées érosion de Montpellier 1989.
- ALBERGEL J., PEPIN (Y.), (1990). Etude d'évaluation et d'inventaire des ressources en eau de la Guinée -Bissau, rapport de synthèse, projet GBS/87/002, PNUD, DAKAR. 132p
- ALBERGEL J., PEPIN (Y.), (1991). Etude des ressources en eau des îles du CAP VERT, Projet CVI/87/001/90, ORSTOM, PNUD, DAKAR.
- ALBERGEL J., PEPIN (Y.), (1991). Fonctionnement hydrologique et problèmes d'aménagement des bas-fonds des formations, sédimentaires du continental terminal. Exemple du bassin arachidier du Sénégal. Com. Séminaire int. Bas-fonds et riziculture, Madagascar 1991, 12p.
- AUBREVILLE, (1949). Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale. Soc. ed. Géogr Mari. et col., Paris. 351 +figures et tableaux.
- ALTISSIER V., MONIN L. (1987). Place et rôle du maraîchage dans les exploitations agricoles du Yatenga. Etude de cas. Rapport de stage. 250p+annexes.
- BARRY B., BOIVIN P., BRUNET D., MONTOROI J.P., MOUGENOT B., TOUMA J., ZANTÉ P (1989). Evolution des stratégies d'aménagement hydro-agricoles des sols salés en basse Casamance. in actes des deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, UCAD, Dakar pp104-117

- BERTON S.(1988). La maîtrise des crues dans les bas-fonds, petits et micro-barrages en Afrique de l'Ouest, dossier n°12. GRET. 474p.
- BIDJOCKA J.P. (1990). Étude hydro-dynamique de la nappe aquifère du bas-fond de Gourga-Bidi, Yatenga. Mémoire de fin d'études E.I.E.R. 40p+figures.
- BLANCHET F (1992). Étude hydrologique et agronomique d'un bas-fond de la région de Sikasso. CNEARC-ETARC-CIRAD-CA.
- BOUVIN P. (1991). Caractérisation physique des sols sulfatés acides de la vallée de Katouré (basse Casamance, Sénégal), Études de la variabilité spatiale et relation avec les caractéristiques pédologiques. Thèse ENSA de Paris Grignon. ORSTOM, Collection Études et Thèses. 226p.
- BOUVIN P., BRUNET D. (1990). Bilan de quatre années de suivi de la salure d'une vallée aménagée anti-sel par conductivimétrie électromagnétique et krigeage. Multigr. ORSTOM/Dakar/Bondy, 12p.
- BOLLET R., FAUCK R., KALOGA B., LEPRUN J.C., RIQUIERT J., VIELLEFON (1971). Atlas international de l'Ouest Africain, Planche 9, pédologie. Une carte au 1/500000 avec notice explicative. 23p.
- BRASSER M., VLAAR J.C.J. (1990). Aménagement de conservation des eaux et des sols par digues filtrantes : expérimentations dans la région de Rissiam, Burkina Faso (1986-1989). Tome 1 CIEH/AFVP/UAW, Ouagadougou.
- BRASSER M., VLAAR J.C.J. (1990). Aménagement de conservation des eaux et des sols par des digues filtrantes : aspects socio-économiques CIEH/AFVP/UAW, Ouagadougou.
- BRUNET D. (1990). Principales caractéristiques des eaux des nappes de la vallée de djiguinoum (Basse Casamance). Bilan d'une année de suivi d'un réseau piézométrique (juin 1988 à juin 1989), multigr. ORSTOM / Dakar, 40 p.
- BRUNET D., DOBOS A., FALL M., MONTOROI J.P., ZANTE P. (1991). Projet pilote "Casamance". Bas-fond de djiguinoum. Rapport de synthèse : Agronomie. Multigr ORSTOM/ISRA/R3S/IRAT., 20p.

- BENNET-MORET, Y (1963). Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale , République de Haute-Volta. ORSTOM PARIS 23 p
- BENNET-MORET, Y (1963). Étude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale , République du Mali. ORSTOM PARIS 23p.
- BENNET-MORET, Y (1970) Études hydrologiques en Casamance, rapport définitif. 52p +figures & tableaux
- BENASOLS (1990). Manuel pour l'évaluation des terres. Documentation technique n°6. 181p.
- CARBONNEL J.P., HUBERT P. (1985). Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina-Faso (ex Haute-Volta) C.R. Acad. des Sciences tome 301 n°13 pp 941-944.
- CARLIER P., FAVIN H., LEGER C. (1992). Étude de la recharge naturelle et artificielle des nappes du bas-fond de la région de Bidi, Yatenga, Burkina-Faso. Rapport provisoire. BRGM. R34447-EAU-45-92. 66p+ annexes.
- CASENAVE A. ET VALENTIN C. (1989). Les états de surface de la zone sahéenne. Ed .de l'ORSTOM, Collection didactique 227p.
- CHAPERON P., DANLOUX J., FERRY L. (1993). Fleuves et Rivières de Madagascar ORSTOM, DMH, CNRE, Paris 874 p.
- CHEVALIER (1938). Flore vivante de L'Afrique Occidentale française. Muséum. Nato. Hist. Natur., Paris. 360p + fig + carte.
- CHEVALIER P.(1983). L'indice des précipitations antérieures, Évaluation de l'humectation des sols de bassins versants représentatifs. Cah ORSTOM, ser. Hydrologie, Vol XX n° 3, 4 pp 179-90.
- CIEH (1974). Les aménagements de bas-fonds en Haute-Volta. Bul. de liaison du CIEH, n°18, Sept. 1974.
- CIEH (1985). Études des pluies journalières de fréquence rare dans les états membres du CIEH. Rapport de synthèse. CIEH, Ouagadougou.

- CHÉH (1992) Programme de recherche en vue de la mise en valeur des bas-fonds au Sahel  
Projet pilote Comoé-volets morpho-pédologie, hydrologie et hydrogéologie. 47 p
- CHÉH J., GROUZIS M., MILLEVILLE P. (1991). Un espace sahélien. La mare d'Oursi  
Burkina-Faso. Ed de l'ORSTOM. 241p.
- CHÉH J., GUALDE R. (1980). Écoulements de la léraba Orientale dans la plaine de Douna-  
Goindougouba ORSTOM, Ouagadougou. 56 p.
- COULIBALY A.(1992). La réalimentation de la nappe aquifère du bas-fond de Gourga-Bidi.  
Yatenga. Mémoire de fin d'études, d'ingénieur des sciences et techniques de l'eau  
Université de Ouagadougou, Fa. S.T. 44p + annexes.
- COURREL M.F. (1984). Étude de l'évolution récente des milieux Sahéliens à partir des mesures  
fournies par les satellites.Thèse de doctorat d'état es Lettres et Sciences Humaines  
Université de Paris I, 407p.
- DACOSTA H. (1989).Précipitations et écoulements sur le Bassin de la Casamance.Thèse  
UCAD.
- DACOSTA H.(1992).Économie de l'eau-DRS sur les bassins versants de Thyssé-Kaymor.  
Synthèse hydrologique 1983-1988, multi. ORSTOM, Dakar.
- DEPREUIL P.(1972).Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux.  
Années 1951-1969. ORSTOM PARIS. 916p.
- DEPREUIL P., VUILLAUME G.(1975). Influence du milieu physico-climatique sur l'écoulement  
des petits bassins intertropicaux Symposium AISH Tokyo, Déc.75, in Les  
caractéristiques des bassins fluviaux, Publication AISH N°117.
- DEPREUIL P., & BRUNET-MORET, Y (1960). Aménagement de la plaine de Loulouni (Région  
de Sikasso). Étude Hydrologique du Kobafini., ORSTOM, Ministère de l'Agriculture.  
Service du génie Rural.
- Edijatno, Michel C. (1989). Un modèle pluie débit à trois paramètres. Houille blanche N°2.  
1989, pp.114-121

- FERRE J VAN (1972). Le changement du régime foncier par l'influence d'un aménagement dans la plaine de Kawara, Burkina-Faso. CIEH/UAW. Ouagadougou
- FERRE J (1971) (esquisse géologique de l'Afrique de l'Ouest)
- FERRE J (1983) (Éditeur). Afrique de l'Ouest. Introduction géologique et termes stratigraphiques. Lexique stratigraphique international. Nlle série 1. Pergamon press.
- FAO (1977) Directive pour la classification des sols. 2ème édition.
- FAKATS A (1991). Place du riz dans les dynamiques de production et de commercialisation agricoles des cercles de Sikasso et Kadiolo, (Mali sud). CNEARC-ESAT/IRAT.
- FARIENTES ARINET J.L., PEREZ P., RUELLE P., (1991). Projet pilote "Siné-Saloum". Bas-fond de Thyssé-Kaymor. Rapport de synthèse. Volet Aménagement et Génie Rural. Programme CEE/CIRAD N° TS2A 0017 FCD. ORSTOM Dakar.
- FOKER R., WILLE M. (1988). La gestion de l'eau et l'exploitation des plaines rizicoles de Kawara et de Maodougou ; les conséquences d'une intervention pour les exploitantes. CIEH/UAW, Banfora. 102p.
- FOREST F. (1984). Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales, présentation et utilisation du logiciel BIP-IRAT-DEVE.
- FOREST F., REYNIERS F.N.(1985). Propositions en terme de bilan hydrique de situations agro-climatiques de riziculture pluviale. Communication à la conférence internationale de Djakarta, mars 1985. 17p.
- Gac J.Y, Bouchez J.M., (1987). Géochimie des Eaux du Fouta<sup>a</sup>jallon Flux dissous et particuliers en haute Gambie (Kédougou et Gouloumbou). 141p + 31 tabl. + 50 fig.
- Gadelle F. (1989). Développement de la riziculture en haute Guinée. CEMAGREF. 82p + 47p + 33p
- Gallaire R (1980) Étude hydrologique du marigot de baïla. Multigr ORSTOM, Dakar 104p.

- Girard G. (1982) Modélisation des écoulements de surface sur des bassins hydrologiques équipés de réservoirs-modèle MODLAC. Cah. ORSTOM, série Hydro., vol.XIX n°2, 1982, pp55-72
- GIRARD M.C. & GIRARD C.M. (1989). Télédétection appliquée, zones tempérées et zones tropicales. Ed. Masson.
- GIBEN N. (1991). Bassin versant de Kambo. Région de Kadiolo au Mali. Rapport de campagne 1990. Synthèse des observations 1988-1989-1990. ORSTOM/IER/CIRAD Bamako, 72p + annexes.
- HEBIE S. (1986). Rapport d'évaluation du projet 400-033-30-23" développement de la riziculture dans l'ORD de la Comoé". Ministère de l'agriculture et de l'élevage, Banfora.
- HUSSON O. (1990). Mise en valeur des bas-fonds et plaines inondables, le projet riz inondé IER/IRAT Sikasso. Volet agronomie CNEARC/ESAT-IRAT 49p.
- ILACO (1967). Aménagements hydro-agricoles en Casamance. Rapport de gestion des casiers pilotes de Médina et Diéba, juillet 1965-juillet 1967. Ministère de l'économie rurale, Sénégal 126p.
- IWACO & CIEH (1990). Étude des nappes du Yatenga pour la direction de la DEP du Ministère de l'Eau du Burkina-Faso.
- JAEGER, (1968). Divisions phyto-écologiques de la zone soudanienne.
- JOFFRE G. (1990). Étude du stockage-déstockage d'un petit barrage. Réalisation d'un programme informatique. Rapport stage de 2ème année de E.N.S.H.M.G. (Grenoble). 69p.
- JOLLY C.M., KAMUANGA M., SALL S., POSNER J.L. (1985). Situation céréalière en milieu paysan en basse Casamance: résultats d'une enquête de terrain. Multigr ISRA/Djibelor. 36p.
- KILLIAN J. & TEISSIER J.(1973). Méthode d'investigation pour l'analyse et le classement des bas-fonds dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest. Proposition de classification d'aptitude des terres à la riziculture. Agro. Trop. pp 156-172.

- KENATE L. (1992) Le Bassin versant du Diarha au pont-routier. Étude hydrologique. Mémoire de maîtrise, 131 P, cartes, tabl. + fig. UCAD, Dakar.
- KENATE L. (1993) L'étude du Tarissement dans le Bassin Versant du Diarha. Mémoire du D.E.A., 36 p ; cartes, tabl. + fig. UCAD, Dakar.
- KENATE L. (1993) Étude statistique des paramètres caractérisant le régime hydrologique de la Gambie à Simenti. Rapport de stage du D.E.A. ORSTOM/UCAD, Dakar.
- KRIER D. (1991). Le fonctionnement hydraulique des bas-fonds au Mali (région sud). Ministère de la coopération, IRAT, IER, R3S. 20p.
- KRIER D., SIMPARA M. (1990). Résumé des résultats obtenus sur le fonctionnement hydrique des bas-fonds au Mali. IER/CIRAD Bamako.
- LAMACHERE J.M. (1987). Développement de la riziculture dans l'ORD de la Comoé, phase II, étude hydrologique. Burkina-Faso, ORSTOM Ouagadougou.
- LAMACHERE J.M. LAMACHERE J.M. (1991). Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Soil water balance in the Sudano-Sahélian zone. Proceedings of Niamey Workshop, February 1991. IAHS publ. N° 199 pp 109-119.
- LAMACHERE J.M. (1992). Les états de surface des bassins de Thyssé-Kaymor, Siné-Saloum, Sénégal. Programme FAO/IEH/ORSTOM/CEMAGREF pour la détermination des apports et des crues des petits bassins versants d'Afrique de l'Ouest.
- LAMACHERE J.M., Maizi P., SÉRPANTI G., ZOMBRE P. (1991). Un petit bas-fond en zone tropicale sèche. Fonctionnement et aménagement (Bidi, Yatenga, Burkina-Faso). Séminaire international Tananarive, 9-14 Décembre 1991, Bas-fond et riziculture. 24p.
- LAMACHERE J.M., SERPANTI G. (1991). Riziculture, hydrologie et aménagement d'un petit bas-fond sahélien en zone tropicale sèche (Burkina- Faso, Yatenga, Région de Bidi). Séminaire international Bas-fond et riziculture.
- LAMAGAT J.P. (1979). Région de Sikasso, Le Kobafini à Loulouni, débits journaliers, apports annuels, crue de projet, ORSTOM Bamako.

- MAMAGAT J.P., LOYER J.Y. (1980). Aménagements des petits bas-fonds de Casamance. in Actes de la 11ème table ronde sur les barrages anti-sel, 12-15 juin, Ziguinchor.
- MAMAGAT J.P., MONTOROI J.P., PEREAUDEAU M. (1989). Traitement informatique des données limnimétriques et conductivimétriques d'une centrale " CHLOE" (ORSTOM-ELSYDE) à deux sondes SPI. Programme CHLODAK pour micro-ordinateur. Notice d'utilisation Multigr., 16 p + annexes.
- MAMAGAT J.P., ALBERGEL LBERGEL J., BOUCHEZ OUCHEZ J.M., DESCROIX L. (1990). Monographie Hydrologique du Fleuve Gambie ORSTOM. Dakar. 247p.
- LEPLAIDEUR A. (1991). L'enjeu socio-économique de la dynamique rizicole des bas-fonds en Afrique de l'Ouest. Communication au séminaire international "bas-fond et riziculture", Madagascar, 9-14 Déce. 1991.
- LEPRIOLE (1983). Synthèse hydro-géologique de la basse Casamance. Ministère de L'hydraulique, Dakar.
- LEROUX M. (1983). Le climat de l'Afrique Tropicale. Ed. Champion, PARIS, 633 p.
- LIDON B. & SIMPARA M. (1987). Projet "Eau-Sol-Plante". Mise en valeur des bas-fonds, résultats de la campagne 1986-1987 et proposition de programme 1988. SRCVO/IER/Bamako, 40p.
- LIDON B., SIMPARA M.,COURTESSOL P.(1989).Rapport de Campagne de mesures et d'expérimentations 1987-1988. Volet "Mise en valeur des bas-fonds". Projet Eau-Sol-Plante, IER/SRCVO. 47p.
- LIDON B., SIMPARA M.,COURTESSOL P (1989). Rapport de Campagne de mesures et d'expérimentations 1988-1989. Volet "Mise en valeur des bas-fonds". Projet Eau-Sol-Plante, IER/SRCVO 1989.
- MAIZI P.(1991). Étude sociologique d'un aménagement hydro-agricole à Gourga, Bidi, Nord Yatenga. ORSTOM Ouagadougou. 48p.
- MALOU R. (1992). Étude des Aquifères Superficiels en basse Casamance : bilan hydrique. Thèse UCAD, Dakar/ORSTOM. 116p.

- MARIEU B., DUBRE G., PEPIN EPIN Y. (1991). Bassin versant de la vallée "Le Brusq". Résultats de la campagne hydrologique 1990. Multigr., ORSTOM/Dakar.
- MARIEU C. (1980). Les mangroves du Sénégal : écologie, pédologie et utilisation. Ed. ORSTOM, série travaux et documents n° 193
- MARIEU P. (1973). Les Bassins des Fleuves Sénégal et Gambie : Étude Géomorphologique Tome 1, Tome2, Tome3, 752p, 91photos, 9 planches, 6 cartes. ORSTOM, Dakar
- MOKADEM A.I., NONGUIERMA A., DAUTREBANDE S. (1991). L'imagerie satellitaire pour l'étude des bas-fonds en Afrique de l'Ouest. Sécheresse n°3 vol.2 Sept 1991, UREF, AUPELF, John Libbey Eurotext pp 195-198.
- MOKADEM A.I., NONGUIERMA A., (1991). Critères d'utilisation de la télédétection pour la typologie des bas-fonds du Sahel. Rapport scientifique final, sous la direction du S. Dautrebande. Faculté des sciences Agronomiques de Gembloux. 150p + annexes.
- MOKADEM A.I., NONGUIERMA A., (1992). Critères d'utilisation de la télédétection pour la typologie des bas-fonds du Sahel. Rapport de synthèse.
- MONTOROI J.P. (1991). Programme MRES n°121 : "Réhabilitation des sols salés et acides de la basse Casamance". Rapport final. Multigr., 16p. et annexes.
- MUSY A., SOUTTER M. (1991). Physique des sols - 6. Collection Gérer l'environnement. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, Suisse. 331p.
- NASH J.E., SUTCLIFFE J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models, 1, A discussion of principales, J.Hydrol., 10 pp 282-290.
- Nijssen O. (1989). La riziculture féminine de bas-fond dans la région de Sikasso. IER/DRSPR. 13 p.
- NEGTEREN H. (1991). Les systèmes de production à Konadougou et Damana, Burkina-Faso : agriculture pluviale et riziculture de bas-fond. CIEH/UAW, Wageningen.
- OLIVRY J.C. & CHOURET A. (1981). Étude hydrologique du marigot de Bignona, quelques aspects intéressants des mesures réalisées en 1970-1971. 93p.

- OLEVRY J.C., DACOSTA H. (1984). Le marigot de Baila, bilan des apports hydriques et évolution de la salinité, campagne 1980-1983. 145p.
- OOSTERBAN R.J., GUNNEWEG H.A., HUIZING A. (1987). Water control for rice cultivation in small valleys of West-Africa. annual report, 1986. IIRI star in 31/102.
- OUEDRAOGO E. (1990). Étude socio-économique concernant les exploitants touchés par le projet "Opération Riz Comoé". SNV, Ouagadougou.
- OUEDRAOGO M. (1990). La dynamique des pouvoirs locaux au Yatenga (Burkina -Faso) Formation et évolution à Améné. Mémoire de Maîtrise en Sociologie et développement. Université de Provence. Aix-Marseille I. 130p.
- OUEDRAOGO M. (1991). Mode d'appropriation, droits fonciers et organisation des parcellaires autour des bas-fonds de Bidi et Améné. Nord Yatenga, Burkina-Faso. ORSTOM Ouagadougou. 45p.
- PARIENTE P. (1990). BV de Kambo, synthèse des observations hydrologiques 88-90. Propositions d'une approche agro-hydraulique, Programme mise en valeur des bas-fonds, Réseau R3S ENGREF, IRAT-CIRAD, IER, DRA, SRCVO, 12/90. Mastère spécialisé en maîtrise de l'eau pour le développement, Montpellier.
- PELISSIER (1966). Les paysans du Sénégal. Imprimerie Fabrègue, St Yrieux.
- PEPIN Y. (1989). Bassin versant de Kambo, région de Kadiolo (Mali). Synthèse des observations hydrologiques 1988 et 1989. Programme Bas-fonds ORSTOM, IER, CIRAD. Dakar. 24p.
- PEREZ P., BERNARD A., ALBERGEL J. (1992). Suivi de l'infiltration d'une culture d'arachide en fonction de la couverture végétale au sol. Utilisation de la simulation de pluie ORSTOM/CIRAD/ISRA (à paraître).
- PEREZ P., SARR P.S., SENE M. (1991). Projet pilote "Siné-Saloum". Bas-fond de Thyssé-Kaymor. Rapport de synthèse. Volet Agronomie. Programme CEE CIRAD N° TS2A 0017 F CD ORSTOM Dakar.
- PEREZ P. & SEGUIS L. (1991). Essai de caractérisation des bas-fonds par l'utilisation de la télédétection spatiale, Siné-Saloum, Sénégal, ISRA/ORSTOM. 24p.

- PLANCHON O., FRISTSCH E., VALENTIN C. (1987). Rill development in wet savannah environment catena supplement 8 Braunschweig, pp 55-70.
- PIEGE C., CHABI G.D. (1984). Méthode de calcul des débits de crue décennale pour les petits et moyens bassins en Afrique de l'Ouest et centrale CIEH, OUAGADOUGOU. 91p.
- RAO A.M. (1990) La gestion de l'eau pour la riziculture des bas-fonds dans la région de la Comoé, Burkina-Faso. Etude de cas dans trois bas-fonds : Damana, Moadougou et Kawara CIEH/UAW, Wageningen.
- RAUNET M. (1982). Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar. Formation, caractères morphopédologiques, hydrologie, aptitudes agricoles. IRAT, service de pédologie, Montpellier
- RAUNET M. (1985). Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative. *Agronomie Tropicale* 40-3, pp 181-200.
- ROCHE M. (1963). Hydrologie de Surface ORSTOM Paris 430p.
- RODIER J.A. (1975). Évaluation de l'écoulement dans le Sahel tropical Africain. Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris. 121 p.
- RODIER J.A. & AUVRAY C. (1965). Estimation des débits des crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 Km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale ; Paris, ORSTOM-CIEH, 44p.
- RUELLE P., SENE M., JUNCKER E., DIATTA M., PEREZ P. (1990). Fiches techniques Défense et Restauration des Sols. ISRA/UNIVAL, Collection Fiches Techniques. 7 fiches + photos.
- SALL S. (1990). Analyse des conditions socio-économiques de la riziculture dans la vallée de Djiguinoum. Rapport d'avancement. Multigr., ISRA/Djibelor. 5p.
- SALL S., DIOP O., (1991). Bas-fond de Casamance. Aspects socio-économiques de l'exploitation de la vallée de Djiguinoum : Synthèse des résultats de la campagne 1990/1991. Multigr., ISRA DSRA. 12p.

- SALL J.L., DACOSTA H., LE TROQUER Y., OLIVRY J.C. (1987). Le marigot de Baïla (basse Casamance), pluviométries et écoulements (résultats des campagnes 1983-1986). 49p.
- SARR D. (1991). Projet pilote "Siné-Saloum". Bas-fond de Thyssé-Kaymor. Rapport de synthèse. Volet socio-économie. Programme CEE / CIRAD N° TS2A0017 F CD / ORSTOM Dakar.
- SARBAIXO G.P. (1990). Caractéristiques morpho-pédologiques et aménagements des Bas-fonds dans la Comoé : cas des bas-fonds de Kawara et de Moadougou. CIEH, Ouagadougou. 93p.
- SCHEEPRES P. (1989). Rapport de stage du projet, Guéckédou, Guinée Conakry.
- SENE M. (1991). Contribution à l'étude pédo-agronomique de la vallée de Djiginoum (Casamance).
- SENNEMA B. (1983). Travaux d'aménagements, note sur le comportement hydraulique des plaines de Kawara et Badini. Ministère du développement Rural, Banfora, Burkina-Faso.
- SERPANTIE G. (1988). Aménagements des petits bas-fonds soudano-sahéliens. Éléments pour le choix de priorités et de techniques. Séminaire sur les techniques d'aménagement des bas-fonds. Ouagadougou 25-27 Avril 1988. 12p.
- SERPANTIE G. (1992). Les petits bas-fonds soudano-sahéliens ont-ils un rôle dans une stratégie vivrière ? Séminaire de l'ICID international variation and sustainable development in semi-arid regions. Fortaleza 27 janvier - 1er février 1992. 18p.
- SERPANTIE G., MERSADIER G., TEZENAS DU MONTCEL L. (1985). Dynamique des rapports agriculture/élevage en zone soudano-sahélienne du Burkina-Faso. Diminution des ressources, organisation collective et stratégies d'éleveurs paysans au nord du Yatenga. Cahiers de la recherche développement, n°9. jan 1986.
- SERPANTIE G., MERSADIER G., TEZENAS DU MONTCEL L., MERSADIER Y. (1987). Transformation d'un système agro-pastoral soudano-sahélien (Bidi-Yatenga-Burkina Faso). Colloque dynamique des "systèmes agraires" MRES. Paris 16-18 nov 1987.

- SEPPANTIE G., TEZENAS DU MONTCEL L., SABATIER S. (1991). Cartographie des ressources végétales au nord Yatenga (Burkina-Faso). Programme SALT : ORSTOM MAA/ENGREF, ORSTOM Montpellier. 40p.
- SEPPANTIE G., TEZENAS DU MONTCEL L., VALENTIN C. (1992). La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral soudano-shélien. L'aridité, une contrainte au développement. Coll. Didactiques, ORSTOM éditions. pp 420-447.
- SIRCOULON J. (1985). La sécheresse en Afrique de l'Ouest. Comparaison des années 1982-1984 avec les années 1972-1973 ; Cah. ORSTOM, sér. Hydro. vol XXI n°4 pp 75-86.
- SIRCOULON J. (1986). Contribution de l'ORSTOM à la connaissance des précipitations en Afrique de l'Ouest et centrale. Hydrologie continentale vol11 n°2, pp 161-163.
- SIRCOULON J. (1989). Bilan hydro-pluviométrique de la sécheresse 1968-1984 au Sahel et comparaison avec les sécheresses 1910 à 1916 et 1940 à 1949. in les hommes face aux sécheresses, B. BRET, coord., EST IHEAL ed, pp 107-114.
- SOMIVAC/USAID/ISRA (1985). Actes de la 2ème table ronde sur les barrages anti-sel, Ziguinchor, 12-15 juin 1985.
- TEZENAS DU MONTCEL L. (1987). Utilisation pastorale d'un terroir villageois. Bidi-nord Yatenga. Séminaire national sur les essences forestières locales. Ouagadougou, 6-10 juillet 1987.
- Thioubou A. (1995). Fonctionnement, Perception et Dynamique des Ecosystèmes de bas – fond en pays Bassari. Mémoire de Maîtrise, 122 P, cartes, tabl. + fig. USL, St - Louis.
- TEJINA J. (1992). Relation pluies-débits sur le bassin de Bidi-Gourga. Mémoire de fin d'études d'ingénieur des sciences et techniques. Université de Ouagadougou, Fa. S.T. 79p + annexes.
- VACHAUD G., ANCETTE C., SONKO S., THONY J.L. (1978). Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol saturé. Application à deux types de sols du Sénégal en vue de la détermination des termes du bilan hydrique. Ann. Agron. 29-1, pp1-36.
- VAKSMAN M. (1990). Modèle de bilan hydrique BIPODE, IRAT/CIRAD Bamako, Logiciel & manuel d'utilisation.

- VAN DRIEL W.F., RAN AN A.M., FRAVAL P. (1991). Risques et contraintes pour l'intensification de la riziculture dans deux bas-fonds aménagés de la province de la Comoé, Burkina-Faso. Communication pour le séminaire international Bas-fonds et riziculture, Madagascar, 9-14 Décembre 1991. CIEH/UAW, Ouagadougou.
- VAN AN DRIEL W.F., VLAAR J.C.J. (1991). Impact des digues filtrantes sur le bilan hydrique et sur les rendements agricoles dans la région de Rissiam, Burkina Faso, IAHS publ. N°199 (Atelier Biland d'Eau au Sahel, Niamey, février 1991).
- VEILLEFON J.(1977). Les sols des mangroves et des tannes de basse Casamance. Mémoire ORSTOM n°83, PARIS 291p.+ cartes.
- VLAAR J.C.J., WESSALINK (1990). Aménagement de conservation des eaux et des sols par digues filtrantes ; expérimentation dans la région de Rissiam, Burkina Faso (1986-1989). Tome 1 : Aspects techniques et Agronomiques CIEH/AFVP/UAW, Ouagadougou.
- VOLKERT P., WIT IT L. de (1991). La commercialisation des céréales à Konadougou. Étude pour la production, la consommation et la commercialisation des céréales au niveau des ménages et analyse du marché céréalier. CIEH/UAW, Ouagadougou.
- VILLAUME G. (1974). L'abattement des précipitations journalières en Afrique intertropicale, variabilité et précision du calcul. Cah. ORSTOM, ser hydro .vol XI n°3 pp 205-240.
- ZEPPENFELDT T., VLAAR J.C.J. (1990). Mise en valeur des bas-fonds en Afrique de l'Ouest : synthèse préliminaire de l'état des connaissances. CIEH/UAW, Ouagadougou.
- ZERBO. L. (1991). Contribution à la caractérisation morpho-pédologique et structurale de trois bas-fonds de la province du Yatenga. Contraintes et aptitudes rizicoles. Mémoire de fin d'études I.S.N.-I.D.R. Université de Ouagadougou. 132p.
- ZIDA M. (1992). Conditions hydriques dans un Bas-fond Sahélien, incidences sur les cultures vivrières-Bidi-Yatenga. Mémoire de fin d'études d'ingénieur I.D.R. Université de Ouagadougou 107p.
- ZOMBRE P. (1991). Caractérisation morphopédologique des bas-fonds dans la province du Yatenga. Rapports techniques 1 et 2. Rapport IDR-R3S-ORSTOM, Ouagadougou.

ZIMBRE P. (1992). Caractérisation morpho-pédologique des bas-fonds de la province du Yatenga. Rapport n°2. Monographie des sols de Bas-fonds. ORSTOM, Ouagadougou. 176p + 10 cartes

## Table des Phtos

## L'EAU DANS LES BAS - FONDS



Puits pour assurer l'alimentation en eau dans les parcelles



Canal de transmission d'eau entre le puits et le collecteur central

## LES CULTURES DE CONTRE - SAISON



Parcelles en cultures maraîchères et fruitières du GIE « BADIMA » dans le bas - fond de Madiali



## BAS – FOND DANS LE BASSIN VERSANT DU SILI



Habitations dans le bas – fond du Sili



Situation du bas – fond par rapport aux versants

Figure 29- Bassin versant du Sili : Carte des classes de reliefs.....	92
Figure 30 – Courbe hypsométrique du bassin - versant du Niaoulé.....	93
Figure 31– Courbe hypsométrique du bassin - versant du Sili.....	94
Figure 32– Carte du réseau hydrographique du Sili.....	97
Figure 33– Carte du réseau hydrographique du Niaoulé.....	99
Figure 34 – Modèle Numérique de terrain du bassin versant du Niaoulé.....	100
Figure 35 – Modèle Numérique de terrain du bassin versant du Sili.....	101
Figure 36 – Sili Variation des débits journaliers instantanés (07/07/80 au 01/01/81) ...	110
Figure 37 – Niaoulé Variation des débits journaliers instantanés.....	116
Figure 38 : Coefficient d'abattement pour la pluie décennale au sahel en fonction de la surface (s) (d'après VUILLAUME, 1979).....	120
Figure 39 : Coefficient de ruissellement.....	121
Figure 40 : Temps de base et temps de montée.....	123
Figure 41: Vallées tropicales (différenciation morphopédologique schématique d'amont en aval (RAUNET 1985 b). Seuls les deux premiers stades peuvent être considérés comme des bas - fonds.....	196
Figure 42 : Positions des cycles du riz et du maïs sur les périmètres irrigués.....	202

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Différence entre « petites vallées » et « bas-fonds » .....	11
Tableau 2 : Mesures morphométriques des sous- bassins de la Gambie .....	27
Tableau 3 : Hypsométrie du bassin de la Gambie à Gouloumbou (CHAPERON et GUIGUEN, 1974).....	28
Tableau 4 : Indices de pentes des sous bassins de la Gambie (LAMAGAT et al., 1990 ; NIANG, 1995) ..	28
Tableau 5 : Stations pluviométriques du bassin d'étude.....	55
Tableau 6 : Températures moyennes en °C aux stations du bassin (Période 1981-1994) ..	57
Tableau 7 : Moyennes mensuelles de l'Evaporation et de l'Insolation .....	57
Tableau 8 : Humidités Relatives en % dans le bassin de la Gambie (1981-1994 ).....	58
Tableau 9 : Ajustement de la loi de Pearson 5 aux précipitations annuelles à Kédougou (77 valeurs) .....	59
Tableau 10 : Ajustement de la loi de Goodrich aux précipitations annuelles à Tambacounda (74 valeurs) .....	59
Tableau 11 : Hauteur des précipitations journalières pour divers temps de récurrence ....	62
Tableau 12 : Les paramètres caractérisant le régime hydrologique (KONATÉ 1993) .....	66
Tableau 13 : Caractéristiques hydrologiques du bassin du fleuve Gambie (KONATÉ 1993).....	68
Tableau 14 : Débits moyens mensuels (m <sup>3</sup> /s) Lambe d'eau écoulée ( mm) de la Gambie ..	68
Tableau 15 : Etude comparative des coefficients de tarissement dans les stations d'étude.....	69
Tableau 16 : Les coefficients mensuels de débit à Quelques Stations du Bassin.....	70
Tableau 17 : Calcul des coefficients mensuels de débit et des valeurs de R dans les stations de référence .....	70
Tableau 18: Les caractéristiques de l'écoulement sur les formations sédimentaires sèches (500 à 900 mm/an de pluie).....	71
Tableau 19 : Les caractéristiques de l'écoulement sur les formations du socle (1000 à 1400 mm/an de pluie) .....	71
Tableau 20 : Répartition de la population selon l'ethnie et par département en (%) (1988).....	73
Tableau 21 : Répartition de la population selon les religions et les sectes(1988).....	73
Tableau 22 : Répartition selon la Nationalité, le Milieu de résidence et par Sexe(1988).....	74
Tableau 23 : Population du bassin (1988).....	75
Tableau 24 : Répartition de la population par département selon l'âge et le sexe(1988).....	75
Tableau 25 : Répartition de la population du bassin suivant la situation matrimoniale et l'âge (1988) .....	77
Tableau 26 : Taux d'urbanisation sur le bassin de la Gambie (1988) .....	77
Tableau 27 : Superficies aménagées (SO.DE.FI.TEX) .....	83
Tableau 28 : Évolution des Superficies Emblavées en Riz pluvial .....	83

Tableau 29 : Situation des stations synoptiques.....	89
Tableau 30 : Indices de formes sur les bassins du Sili et du Niaoulé.....	91
Tableau 31: Répartition altimétrique et hypsométrique sur le bassin du Sili.....	94
Tableau 32 : Classification et longueur des thalwegs sur les bassins de référence.....	98
Tableau 33 Pourcentage des types de sols sur le bassin versant du Niaoumé.....	103
Tableau 34 : Pourcentage des types de sols sur le bassin versant du Sili.....	105
Tableau 35 : Caractéristiques physiques des bassins versants.....	106
Tableau 36: Bilan hydrologique annuel du Sili pour la période, 1974 à 1993.....	108
Tableau 37: Les termes du bilan mensuel de trois années exceptionnelles dans le Sili ..	108
Tableau 38: Débits spécifiques du Sili au pont - routier (1974-1993).....	109
Tableau 39: Débits maxima instantanés et journaliers du Sili au pont - routier.....	109
Tableau 40: Périodes de retour des débits maxima instantanés et journaliers.....	109
Tableau 41: Caractéristiques des tarissements.....	111
Tableau 42: Ecoulement de base, lames d'eau écoulée et ruisselée (Sili).....	112
Tableau 43: Débits moyens mensuels et annuels.....	113
Tableau 44: Déficit d'écoulement.....	113
Tableau 45: Coefficients de ruissellement.....	114
Tableau 46: Débits spécifiques.....	114
Tableau 47 : Pluies (mm).....	114
Tableau 48 : Lames d'eau écoulées.....	115
Tableau 49: Volumes moyens mensuels ( $10^6\text{m}^3$ ).....	115
Tableau 50: Ecoulements annuels pour diverses récurrences du Niaoulé.....	115
Tableau 51: Classification des bassins versants.....	120
Tableau 52: Temps de montée et temps de base.....	122
Tableau 53: Forme de la crue.....	124
Tableau 54: Caractéristiques physiques des zones inondables situées dans les parties hautes du socle.....	185
Tableau 55: Caractéristiques physiques des zones inondables du socle situées dans les parties basses.....	190
Tableau 56: Caractéristiques physiques des zones inondables du Continental Terminal	191
Tableau 57 : Caractéristiques physico-chimiques des sols de bas-fonds (THIOUBOU, 1995)	197
Tableau 58 : Répartition des villages des deux bassins d'étude.....	199
Tableau 59: Superficie moyenne par exploitant dans le bas-fond de Missirah.....	200
Tableau 60: Superficies cultivées et tonnage des productions à Kédougou.....	200
Tableau 61 : Potentialités en eau de surface sur le bassin du Sili à l'échelle mensuelle (1974-1993).....	200

Tableau 62: Evolution du prix des facteurs de production (SO.DE.FI.TX. 1993).....	206
Tableau 63: Superficies de riz, tonnages produits et commercialisés (SO.DE.FI.TX. 1993) .....	206
Tableau 64 Evolution du rendement moyen/ha.....	207
Tableau 65: Nature et Coûts des Prestations sur les périmètres de la SO.DE.FI.TEX ...	208
Tableau 66: Résultats sur deux périmètres de la SO.DE.FI.TEX. (1991).....	208
Tableau 67 . Critères pour la typologie des bas-fonds et relation avec les paramètres de la mise en valeur .....	215
Tableau 68 La zonation climatique et ses conséquences dans les bas-fonds.....	216
Tableau 69 : Caractéristiques géologiques et altimétriques.....	217
Tableau 70: Typologie du milieu naturel.....	218
Tableau 71 : Typologie du milieu humain .....	219

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	1
INTRODUCTION.....	3
1. Contexte, Intérêt et objectifs de l'étude .....	4
1.1. Contexte et Intérêt .....	4
1.2. Objectifs de l'étude.....	5
2. Etat de la question.....	7
2.1. Problématique de l'étude des bas-fonds.....	7
2.1.1. Absence d'une bonne maîtrise des eaux de ruissellement.....	7
2.1.2. Problèmes écologiques.....	8
2.1.3. Problèmes socio-économiques.....	8
2.1.4. Définitions de l'objet d'étude .....	9
2.2. Typologie.....	13
2.2.1. La classification de KILIAN et TEISSIER (1973).....	13
2.2.2. La classification de RAUNET (1982).....	18
2.2.3. La classification de ALBERGEL et CLAUDE (1988).....	19
3. Méthodologie de l'étude .....	20
3.1. Travail bibliographique.....	20
3.1.1. Caractérisation physique des bas-fonds ;.....	20
3.1.2. Les familles de bas-fonds .....	20
3.2. Collecte des données.....	20
3.3. Traitement des données hydrologiques .....	20
3.3.1. Risque hydrique.....	21
3.3.2. Bilan hydrologique .....	21
4. Etudes des bas-fonds sur les bassins de référence .....	22
4.1. Choix des bassins de référence.....	22
4.2. Traitement des données cartographiques et extrapolation des résultats.....	23
<b>PREMIÈRE PARTIE .....</b>	<b>24</b>
<b>ETUDE DES PARAMÈTRES RÉGIONAUX.....</b>	<b>24</b>
CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE.....	25
1. De petits bassins aux formes allongées .....	27
1.1. Un relief accidenté.....	28
1.2. Les grands traits de la morphologie .....	30
1.3. Réseau hydrographique.....	32
1.4. Le profil en long .....	34
2. Géologie .....	36
2.1. La région du socle .....	36
2.1.1. La série de Mako .....	36
2.1.2. La série du Dialé.....	38
2.2. Les séries sédimentaires du Paléozoïque.....	39
2.3. La région du continental terminal .....	41
3. Sols et végétation du bassin versant.....	42
3.1. Sols des plateaux et buttes résiduels .....	42
3.2. Sols des versants, pentes et glacis d'épandage.....	47
3.3. Sols de bas-fonds.....	47
3.3.1. Sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes sur matériau colluvial.....	48
3.3.2. Sols peu évolués d'apport hydromorphes ou Sols Hydromorphes sur Matériau Gravillonnaire.....	48
3.3.3. Sols Hydromorphes sur Matériau Alluvial .....	48
3.3.4. Sols Ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et à taches.....	49
CHAPITRE II : CADRE HYDROCLIMATIQUE .....	51
1. Les mécanismes généraux du climat .....	51
1.1. Les Centres d'action .....	51
1.2. Les masses d'air .....	52
1.3. Les fronts.....	52
1.4. réseau climatologique .....	54
1.5. Sources et état des Données .....	55
2. Analyse des données climatologiques.....	55
2.1. Les facteurs thermiques .....	56
2.1.1. Les températures.....	57
2.1.2. L'insolation moyenne et les vents.....	57

2.1.3. Humidité relative .....	58
2.2. La pluviométrie .....	58
2.2.1. Pluviométrie interannuelle .....	58
2.2.2. Pluviométrie mensuelle .....	61
2.2.3. La pluviométrie journalière .....	62
2.3. Le déficit hydrique .....	63
3. <i>l'hydrologie du bassin de la gambie</i> .....	64
3.1. Réseau hydrométrique .....	64
3.2. Caractéristiques de l'écoulement .....	65
3.3. Un régime hydrologique calqué sur le régime pluvial .....	69
CHAPITRE III : UNE POPULATION RURALE JEUNE ET DYNAMIQUE .....	73
1. <i>Groupes ethniques et religieux</i> .....	73
2. <i>Répartition spatiale de la population</i> .....	74
2.1. La croissance démographique .....	76
2.2. Importance des villes .....	77
3. <i>Une agriculture en voie de modernisation</i> .....	78
4. <i>Des aménagements sommaires</i> .....	79
4.1. Cas de l'OFADDEC .....	80
4.1.1. Zones d'intervention .....	80
4.1.2. Types d'aménagements .....	80
4.1.3. Caractéristiques des aménagements .....	80
4.1.4. Les cultures .....	80
4.1.5. Résultats encourageants .....	81
4.2. Cas de la SO.DE.FI.TEX. ....	81
4.2.1. Les aménagements .....	82
4.2.2. La configuration des périmètres .....	82
4.2.3. Les cultures .....	82
4.2.4. Résultats .....	83
5. <i>Aménagements et caractéristiques des sites</i> .....	84
CONCLUSION .....	85
<b>DEUXIÈME PARTIE .....</b>	<b>88</b>
<b>STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DE DEUX BAS-FONDS</b>	
<b>REPRÉSENTATIFS SUR LE BASSIN DE LA GAMBIE .....</b>	<b>88</b>
CHAPITRE I : CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS D'ÉTUDES .....	89
1. <i>choix des sites de référence</i> .....	89
1.1. Situation géographique .....	89
1.2. Postes climatologiques de référence .....	89
1.3. Le bassin du Sili .....	89
1.4. Le bassin du Niaoulé .....	91
2. <i>Les caractéristiques physiographiques des bassins</i> .....	91
2.1. Formes des bassins versants .....	91
2.2. Relief .....	91
2.3. Hypsométrie des bassins .....	93
2.4. Pente moyenne .....	95
2.5. Indice global de Pente .....	95
3. <i>Réseaux hydrographiques</i> .....	95
3.1. Le Sili .....	95
3.2. Le Niaoulé .....	98
4. <i>Description morpho-pédologiques des bassins</i> .....	102
4.1. Le bassin du Sili .....	102
4.1.1. Les vallées .....	102
4.1.2. Plateaux à cuirasse affleurante ou sub - affleurant et glacis cuirassés .....	102
4.1.3. Les surfaces bowalisées .....	103
4.2. Le bassin du Niaoulé .....	103
4.3. Les sols des bassins .....	103
CHAPITRE II : L'ÉCOULEMENT DANS LES BAS-FONDS .....	107
1. <i>Sili</i> .....	107
1.1. Ecoulements Annuels et Mensuels .....	107
1.2. Ecoulements journaliers .....	109
1.3. Ecoulement de base et relation avec la nappe alluviale .....	111
2. <i>Le Niaoulé</i> .....	112
2.1. Ecoulements Annuels et Mensuels .....	112
2.2. Ecoulements journaliers .....	116

3. Etude comparative du devenir de l'écoulement sur les deux bassins .....	117
3.1. Ruissellent immédiat .....	117
3.2. Infiltration .....	118
3.3. Evaporation .....	118
CHAPITRE III : LA PRÉDÉTERMINATION DES CRUES .....	119
1. Méthode de Rodier-Auvray .....	119
1.1. Pluies moyennes de fréquence décennale sur les bassins versants .....	119
1.2. Classification des bassins versants .....	120
1.3. Etude du coefficient de ruissellement .....	122
1.4. Les temps de base et de montée .....	122
1.5. Forme de la crue décennale .....	124
2. Méthode CIEH (Puech - Chabi Gori) .....	124
CONCLUSION .....	126

## TROISIÈME PARTIE..... 127

### LA DYNAMIQUE DE LA MISE EN VALEUR DES BAS-FONDS..... 127

CHAPITRE I : ZONES INONDABLES ET FAMILLES DE BAS-FONDS .....	184
GÉNÉRALITÉS .....	184
1. Les bas-fonds du socle .....	185
1.1. Les Bas-fonds des Parties hautes .....	186
1.2. Les bas-fonds des parties basses .....	186
2. Les bas-fonds du continental terminal .....	190
2.1. Les bas-fonds liés au cours principal .....	191
2.2. Les bas-fonds liés aux affluents .....	192
3. Les bas-fonds sur les bassins de référence .....	192
3.1. Localisation et parties de bas-fonds .....	192
3.1.1. Le bassin du Niaoulé .....	193
3.1.2. Le bassin du Sili .....	194
3.2. Formes des bas-fonds .....	196
3.3. Sols de bas-fonds .....	196
CHAPITRE II : L'AMÉNAGEMENT DES BAS-FONDS .....	198
UNE DÉMARCHE D'ENSEMBLE FINALISÉE SUR LA MISE EN VALEUR .....	198
1. Localisation spatiale des activités humaines .....	198
1.1. Les cultures et leurs besoins en eau .....	200
1.1.1. Surfaces cultivées .....	200
1.1.2. Les besoins en eau .....	200
1.1.3. Les Calendriers culturaux .....	202
1.2. Les Techniques culturales .....	203
1.2.1. Les Cultures d'hivernage .....	203
1.2.2. La Culture de contre - saison .....	203
1.2.3. L'entretien des parcelles .....	204
1.3. Les Types de Culture .....	204
1.3.1. Culture céréalière .....	204
1.3.2. Culture cotonnière .....	204
1.3.3. Culture du riz .....	205
1.3.4. Jachères .....	205
1.3.5. Plantations artificielles .....	205
2. La faiblesse du revenu des paysans .....	205
2.1. Coûts des facteurs de production (riz pluvial) .....	205
2.2. Des Prix aux Producteurs faibles et Aléatoires .....	207
2.3. Les Périmètres irrigué .....	208
3. Contraintes au développement des cultures de bas-fonds .....	209
3.1. Contraintes Physiques .....	209
3.1.1. Contraintes hydriques liées aux écoulements .....	209
3.1.2. Contraintes hydriques liées aux variations climatiques .....	210
3.1.3. Contraintes écologiques .....	210
3.2. Contraintes Humaines et marginalité des bas-fonds .....	210
3.2.1. Contraintes économiques .....	211
3.2.2. Poids de l'auto - consommation .....	211
3.2.3. Filières céréalières autonomes .....	211
3.2.4. Régime foncier .....	212
CHAPITRE III : TYPOLOGIE DES BAS-FONDS .....	213
1. Limites des méthodes disponibles .....	213
2. Synthèses des critères .....	214

2.1. les critères régionaux .....	215
2.1.1. La dégradation des conditions climatiques .....	215
2.1.2. le substrat géologique et le relief .....	216
2.1.3. La démographie : .....	217
2.1.4. Le degré d'intégration à l'économie de marché : .....	217
2.2. les critères locaux : .....	217
3. Conclusion .....	219
CONCLUSION GÉNÉRALE .....	221

## **ANNEXE A**

### 1.1. Méthode de Rodier et Auvray

La méthodologie consiste à bien caractériser le bassin d'étude afin de le classer dans un groupe de bassins dont les caractéristiques physiographiques sont proches et de définir par abaques (annexes) les paramètres de la crue décennale.

L'application de cette méthode se fait en six étapes :

- estimation de la hauteur de l'averse décennale ponctuelle, nous avons utilisé le diagramme du coefficient d'abattement pour la pluie décennale au Sahel en fonction de la surface S
- estimation de la hauteur de précipitation moyenne sur le bassin de fréquence décennale; les statistiques sur la pluie moyenne concerne la période allant de 1974 à 1995.
- classification du bassin suivant ses caractéristiques ; elle est fait à partir des éléments du tableau
- étude du coefficient de ruissellement ; la détermination du domaine climatique auquel appartient notre bassin, de la classe de perméabilité et de la surface nous a orienté sur un diagramme précis pour calculer le coefficient de ruissellement ;
- détermination du temps de ruissellement et du temps de montée ; ils sont déterminés sur abaques (annexe) après avoir défini la zone climatique d'appartenance du bassin, des classes de relief et de sol ;
- détermination de la forme de la crue décennale.

Pour tenir compte de la forme de l'hydrogramme, nous avons calculé le facteur :

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_m} \text{ où } Q_{\max} \text{ est la valeur maximale de l'hydrogramme de ruissellement unitaire et } Q_m \text{ le débit}$$

moyen de la crue supposée uniformément reparti sur toute la durée du temps de base  $T_b$ .

La valeur de  $K = \frac{Q_{\max}}{Q_m}$  pour ce bassin tropical de transition ( Sili ) devrait être égale à 2.5. Cependant compte

tenu du caractère radial du réseau hydrographique, la méthode ORSTOM recommande de prendre un coefficient  $K = 3$ .

On en déduit

$$Q_{\max} = K \times Q_m$$

La méthode ORSTOM peut donner directement le débit maximal en utilisant l'équation suivante :

$$Q_{\max} = \frac{\alpha \cdot S \cdot K \cdot P_{10} \cdot K_{r10}}{T_b}$$

$Q_{\max} \text{ (m}^3/\text{s)} = 151 = \text{débit maximal}$

$\alpha = 3 = \text{rapport du débit maximum sur le débit moyen}$

$K = 0.78 = \text{coefficient d'abattement}$

$P_{10} \text{ (mm)} = 131 = \text{pluie décennale à un poste de référence (Kédougou)}$

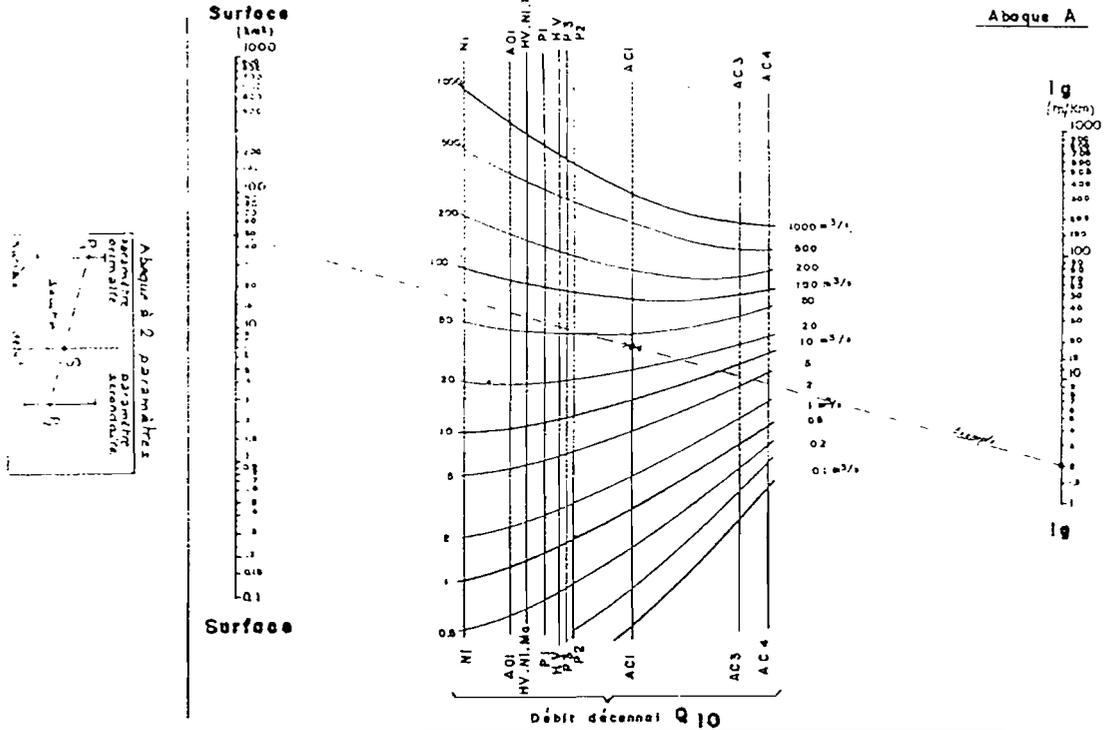
$K_{r10} \text{ (\%)} = 35 = \text{coefficient de ruissellement décennal}$

$T_b \text{ (s)} = 64080 = \text{temps de base}$

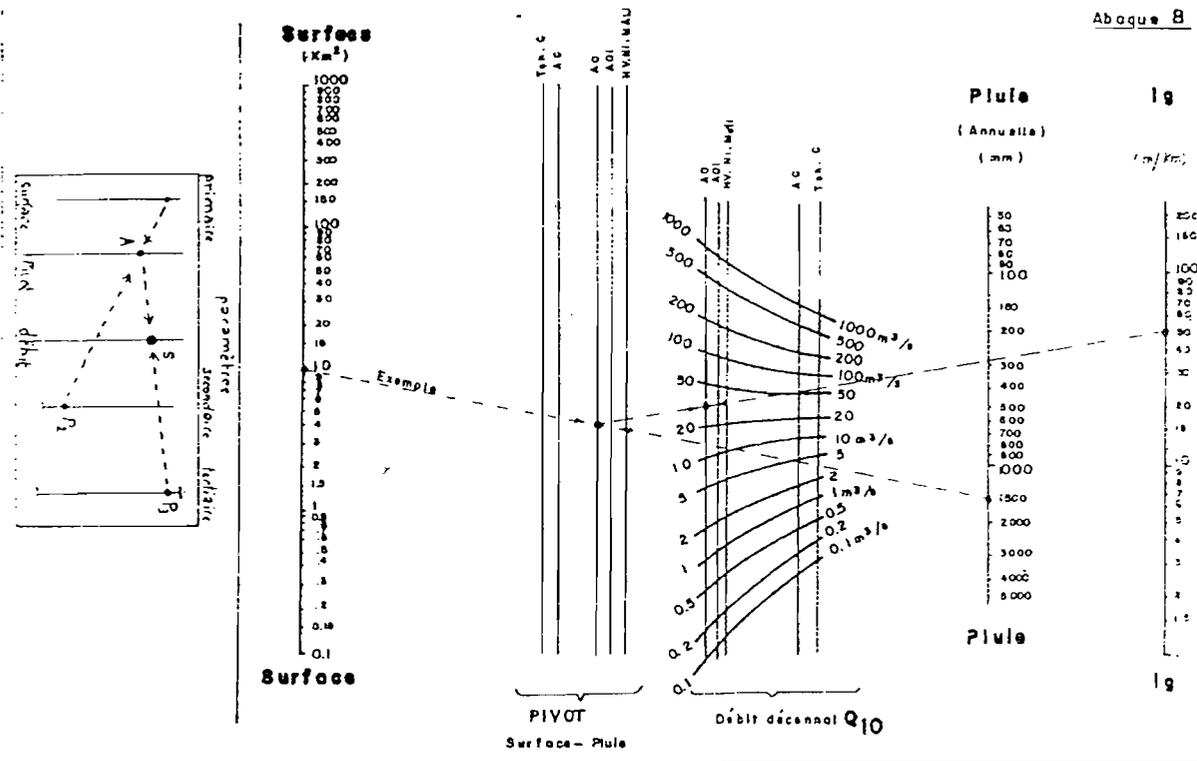
### 1.2. La Méthode de PUECH et CHABI GONI (1984)

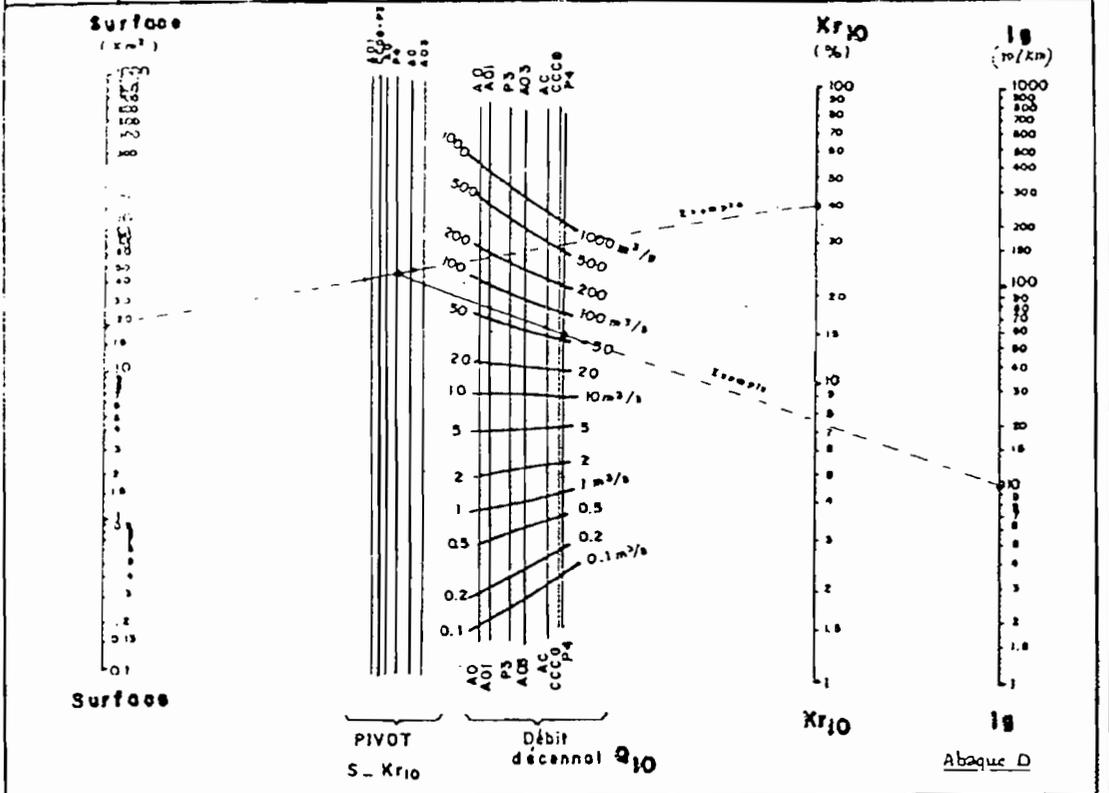
Elle est applicable au nord où les bas-fonds sont cartographiés dans des bassins versants dont les superficies sont toujours supérieures à 200 Km<sup>2</sup>. La méthode CIEH (Puech - Chabi Goni in Berton) repose sur des abaques après caractérisation du bassin.

ABAQUE DE CALCUL DU DEBIT DE CRUE DECENNAL



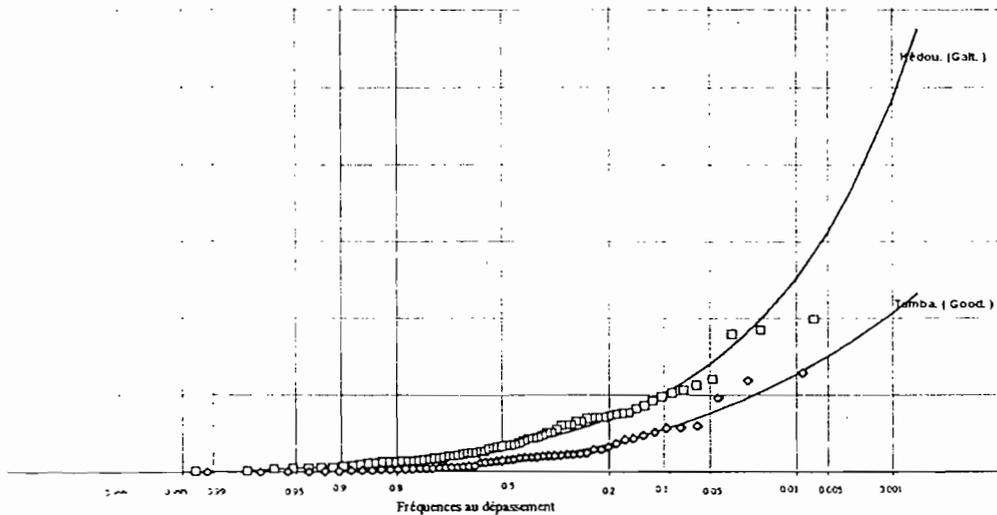
ABAQUE DE CALCUL DU DEBIT DE CRUE DECENNAL



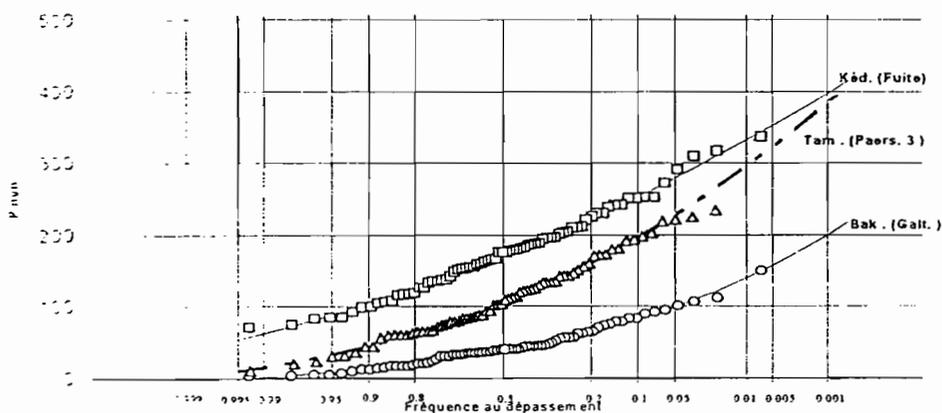


ABOQUE DE CALCUL DU DEBIT DE CRUE DECENNAL

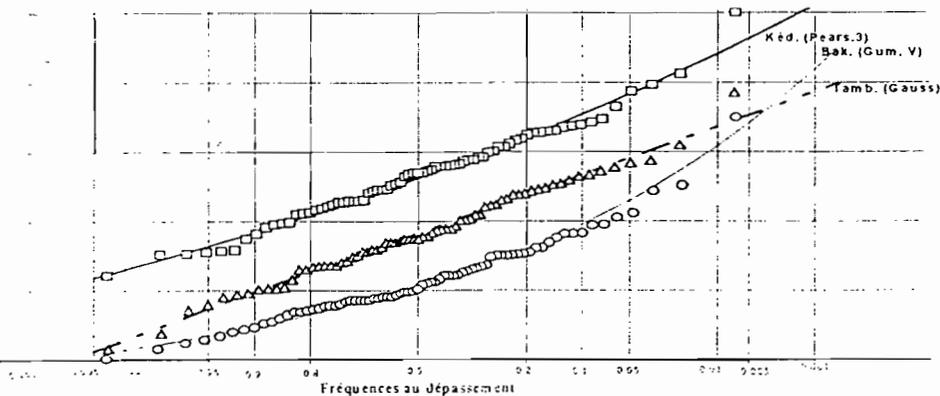
Ajustement des pluies du mois de Mai sur le bassin de la Gambie



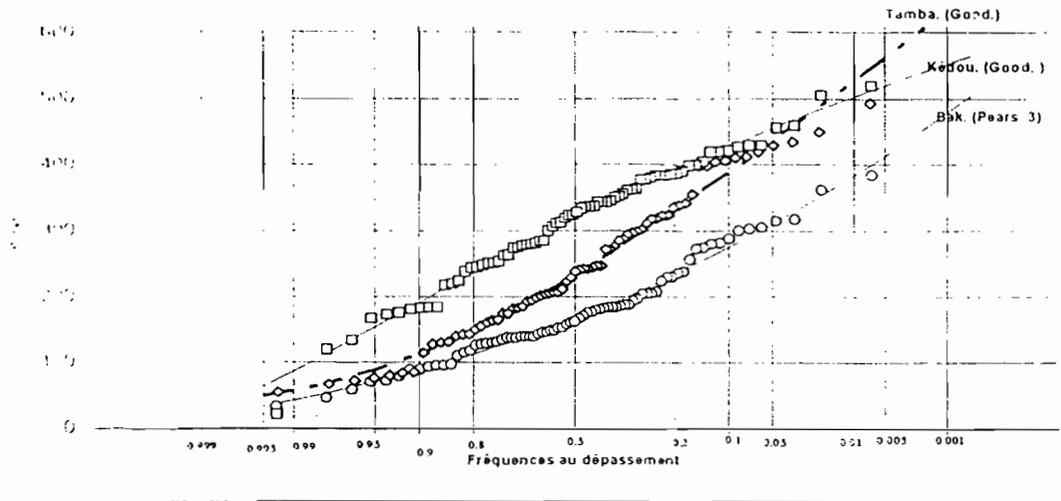
Ajustement des Pluies du mois de juin sur le bassin de la Gambie



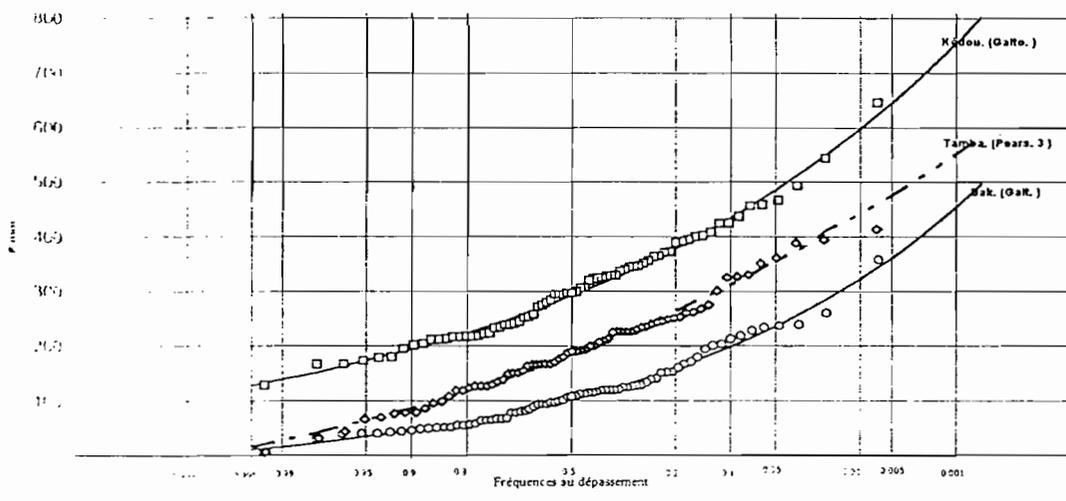
Ajustement des Pluies du mois de Juillet sur le bassin de la Gambie



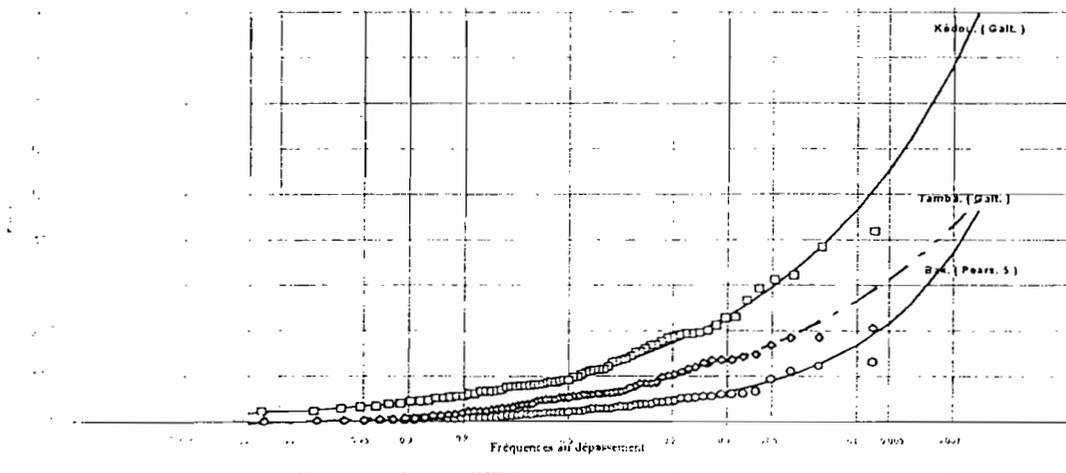
Ajustement des pluies du mois d'août sur le bassin de la Gambie



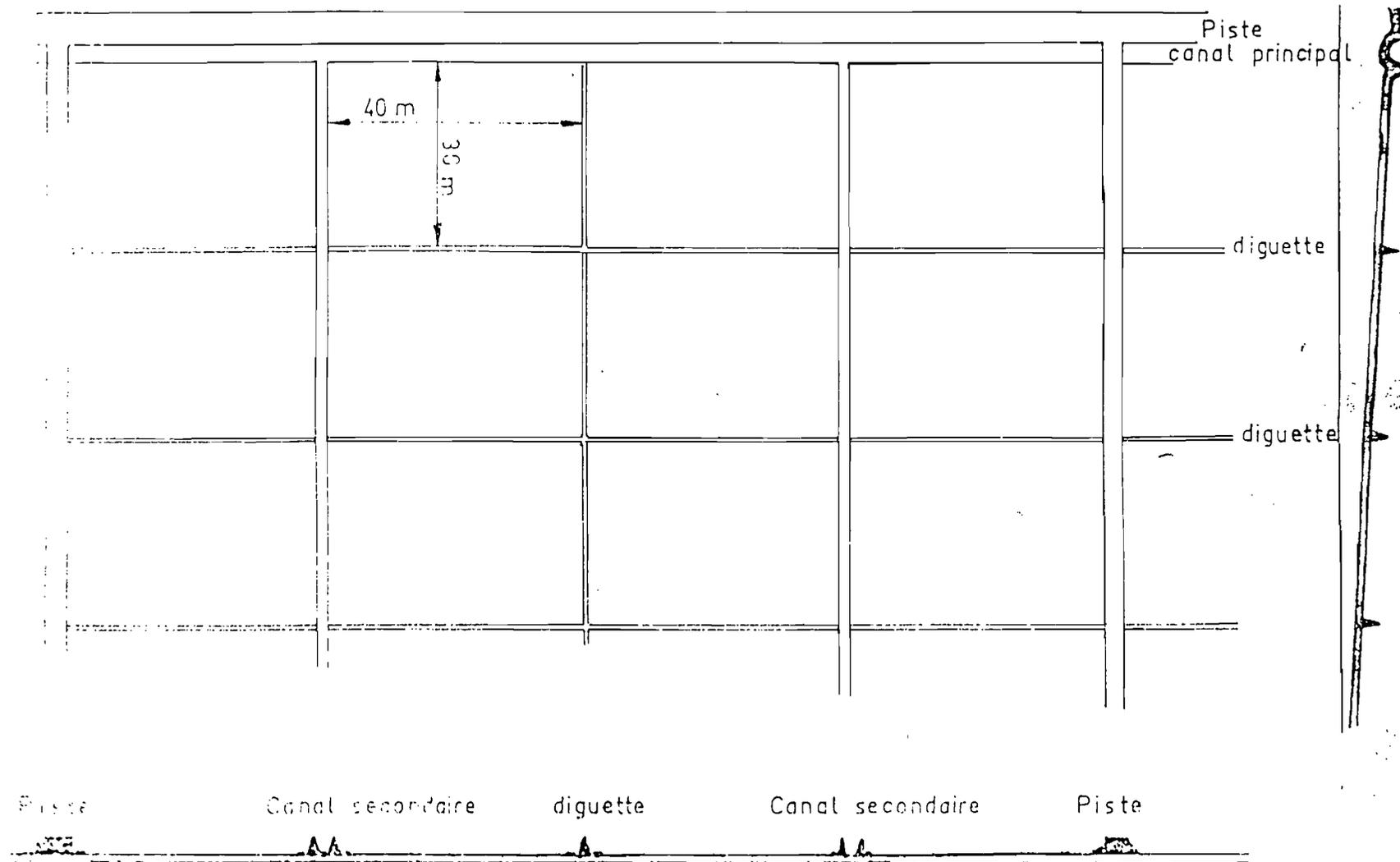
Ajustement des pluies du mois de Septembre sur le bassin de la Gambie

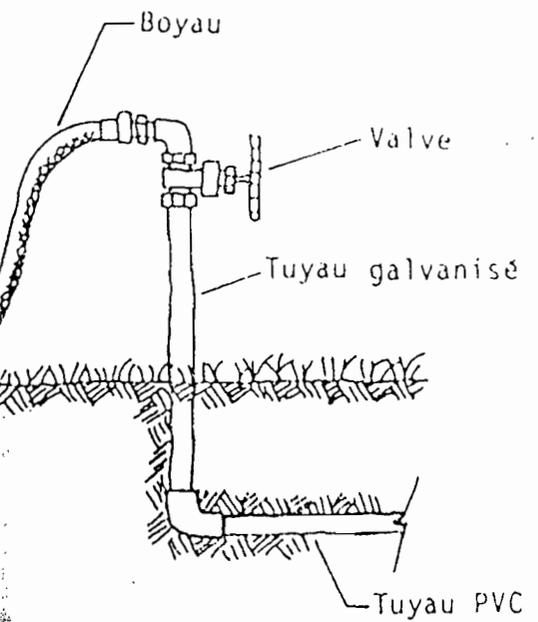


Ajustement des pluies du mois d'Octobre sur le bassin de la Gambie

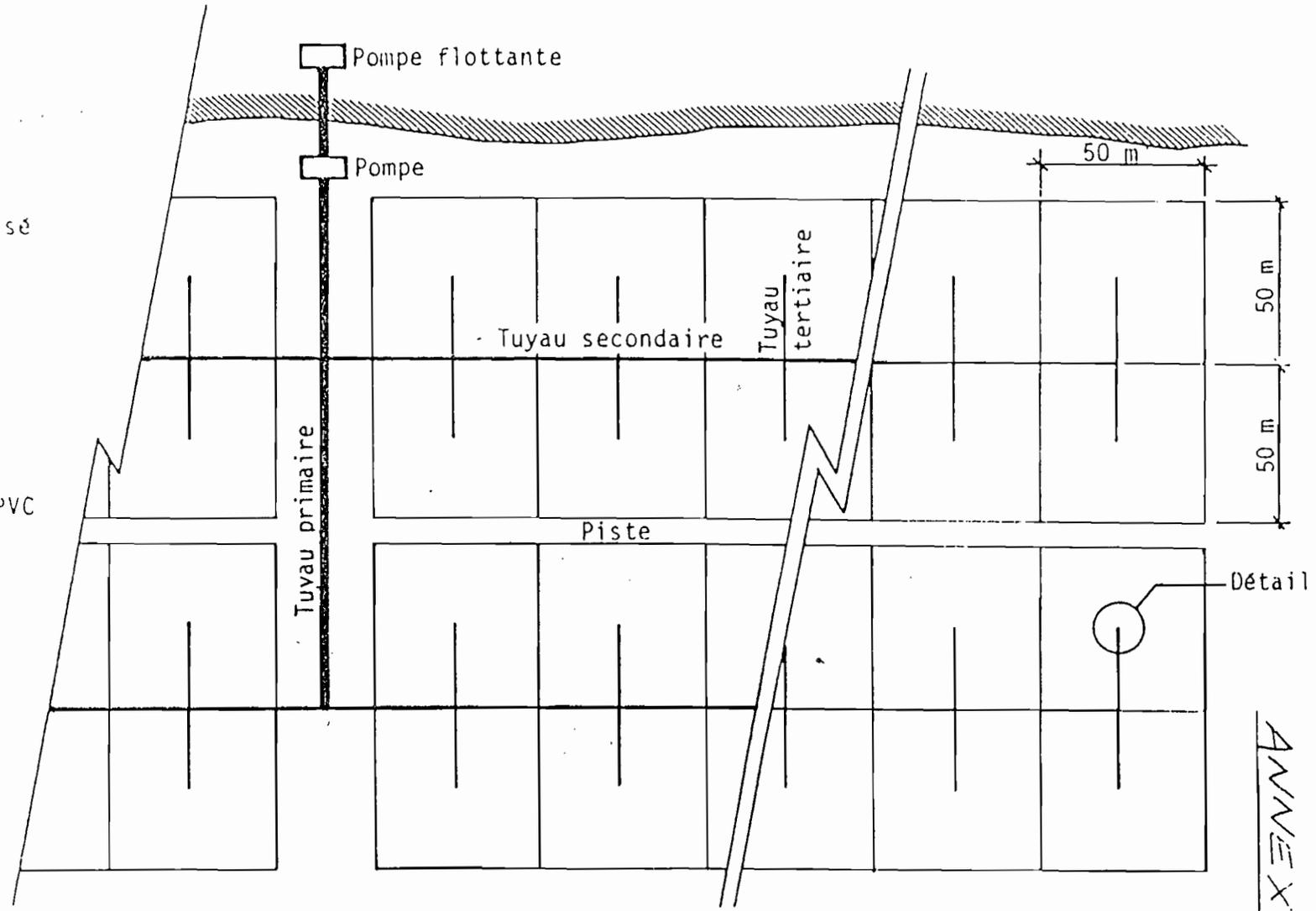


# SCHEMA GENERAL D'AMENAGEMENT ( SO.DE.FI.TEX )





DETAIL



Réseau de distribution en conduites PVC

ANNEXE C

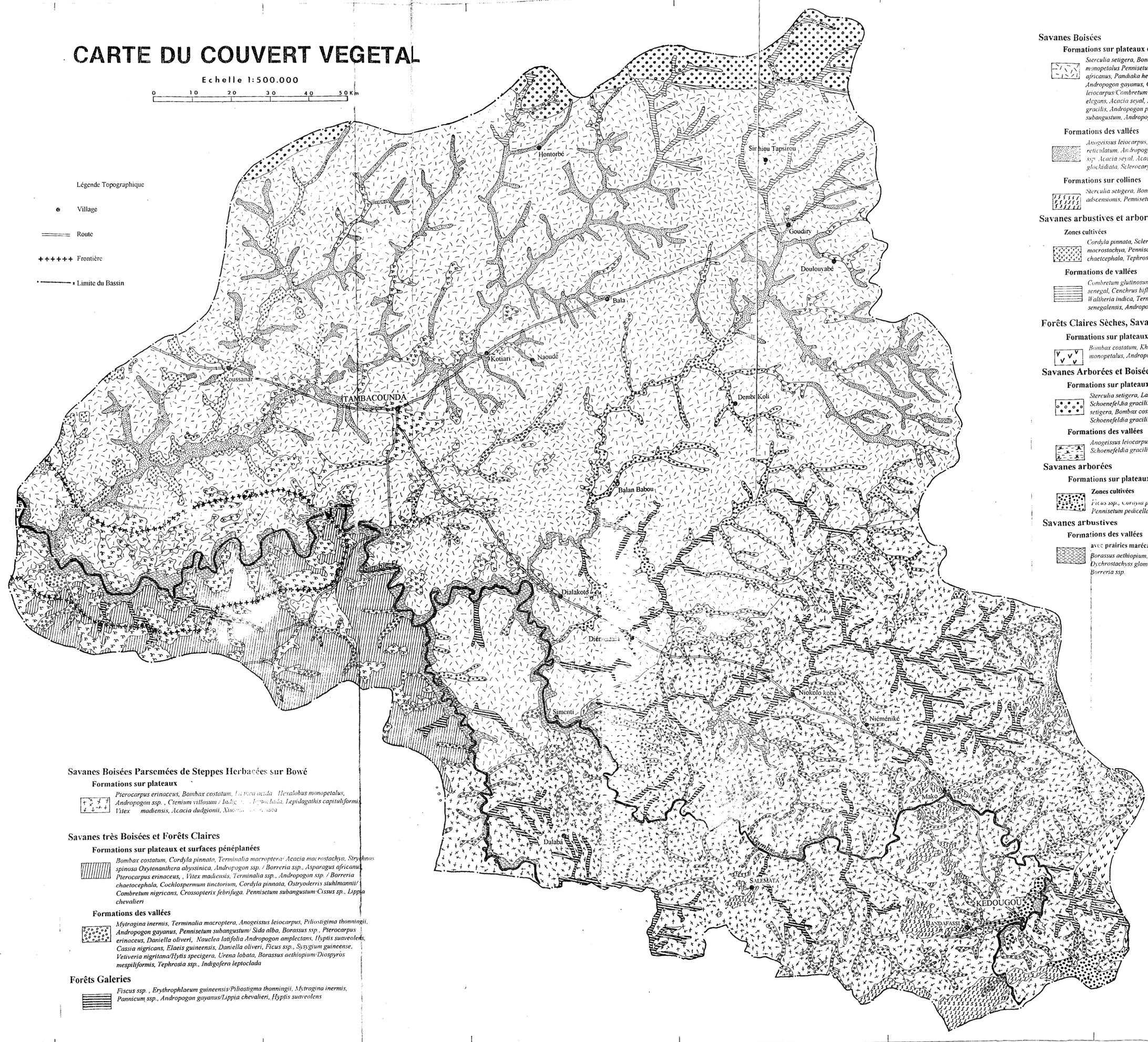
# CARTE DU COUVERT VEGETAL

Echelle 1:500.000



### Légende Topographique

- e Village
- Route
- +++++ Frontière
- Limite du Bassin



### Savanes Boisées

#### Formations sur plateaux et surfaces pénéplanées

*Sterculia setigera, Bombax costatum, Cordyla pinnata, Acacia macrostachya, Hexalobus monopetalus, Pennisetum pedicellatum, Andropogon ssp., Borreria chaetcephala, Asparagus africanus, Pandiaka heudelotii, Pterocarpus erinaceus, Lannea acida, Heeria insignis, Andropogon gayanus, Cissus rufescens, Pterocarpus lucens, Anogeissus leiocarpus, Combretum micranthum, Combretum nigricans, Louletia togoensis, Elinurus elegans, Acacia seyal, Anogeissus leiocarpus, Combretum glutinosum, Schoenefeldia gracilis, Andropogon pseudapricus, Borreria ssp., Hexalobus monopetalus, Pennisetum subangustum, Andropogon amplexans, Monechma ciliatum, Terminalia macroptera.*

#### Formations des vallées

*Anogeissus leiocarpus, Terminalia macroptera, Pterocarpus erinaceus, Ptilostigma reticulatum, Andropogon ssp., Pennisetum pedicellatum, Eragrostis ssp., Sida alba, Indigofera ssp., Acacia seyal, Acacia senegal, Ziziphus mauritiana, Andropogon pseudapricus, Zornia gluchidata, Sclerocarya africana.*

#### Formations sur collines

*Sterculia setigera, Bombax costatum, Combretum micranthum, Grewia bicolor, Aristida adscensionis, Pennisetum subangustum, Tephrosia ssp., Indigofera leptoclada.*

### Savanes arbustives et arborées

#### Zones cultivées

*Cordyla pinnata, Sclerocarya birrea, Anogeissus leiocarpus, Ptilostigma reticulatum, Acacia macrostachya, Pennisetum pedicellatum, Andropogon ssp., Hibiscus asper, Borreria chaetcephala, Tephrosia linearis.*

#### Formations de vallées

*Combretum glutinosum, Balanites aegyptiaca, Adansonia digitata, Grewia bicolor, Acacia senegal, Cenchrus biflorus, Schoenefeldia gracilis, Eragrostis tremula, Cassia nigricans, Waltheria indica, Terminalia macroptera, Cordyla pinnata, Ptilostigma reticulatum, Grewia senegalensis, Andropogon pseudapricus, Schyzachyrium ruderale, Borreria ssp.*

### Forêts Claires Sèches, Savanes Boisées et Steppes Herbacées sur Bowés

#### Formations sur plateaux et surfaces pénéplanées

*Bombax costatum, Khaya senegalensis, Daniella oliveri, Vitex madensis, Hexalobus monopetalus, Andropogon ssp., Lepidagathis anobrya, Waltheria indica.*

### Savanes Arborées et Boisées

#### Formations sur plateaux et surfaces pénéplanées

*Sterculia setigera, Lannea acida, Sclerocarya birrea, Grewia bicolor, Acacia macrostachya, Schoenefeldia gracilis, Andropogon ssp., Asparagus africanus, Pterocarpus lucens, Sterculia setigera, Bombax costatum, Combretum micranthum, Andropogon pseudapricus, Schoenefeldia gracilis, Borreria ssp., Lepidagathis anobrya.*

#### Formations des vallées

*Anogeissus leiocarpus, Myrtagina inermis, Acacia seyal, Ptilostigma reticulatum, Schoenefeldia gracilis, Pennisetum pedicellatum, Alysicarpus ovalifolius, Zornia gluchidata.*

### Savanes arborées

#### Formations sur plateaux et surfaces pénéplanées

*Zones cultivées*  
*Ficus ssp., Cordyla pinnata, Parkia biglobosa, Cassia siamea, Combretum glutinosum, Pennisetum pedicellatum, Andropogon pseudapricus, Borreria ssp., Pandiaka heudelotii.*

### Savanes arbustives

#### Formations des vallées

*avec prairies marécageuses*  
*Borassus aethiopicus, Pterocarpus erinaceus, Ptilostigma ssp., Myrtagina inermis, Dychrostachys glomerata, Pennisetum subangustum, Andropogon gayanus, Ipomoea ssp., Borreria ssp.*

### Savanes Boisées Parsemées de Steppes Herbacées sur Bowé

#### Formations sur plateaux

*Pterocarpus erinaceus, Bombax costatum, Lannea acida, Hexalobus monopetalus, Andropogon ssp., Ctenium villosum, Indigofera leptoclada, Lepidagathis capituliformis, Vitex madensis, Acacia dudgeonii, Ximenesia africana.*

### Savanes très Boisées et Forêts Claires

#### Formations sur plateaux et surfaces pénéplanées

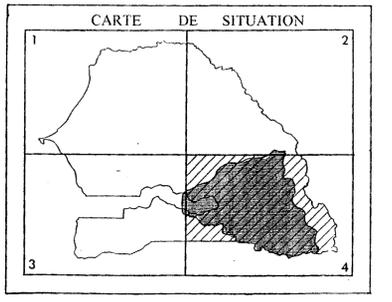
*Bombax costatum, Cordyla pinnata, Terminalia macroptera, Acacia macrostachya, Strychnos spinosa, Oxycanthus abyssinica, Andropogon ssp., Borreria ssp., Asparagus africanus, Pterocarpus erinaceus, Vitex madensis, Terminalia ssp., Andropogon ssp., Borreria chaetcephala, Cochlospermum tinctorium, Cordyla pinnata, Ostrya dennis, Stuhlmannii, Combretum nigricans, Crossopertis febrifuga, Pennisetum subangustum, Cissus ssp., Lippia chevalieri.*

#### Formations des vallées

*Myrtagina inermis, Terminalia macroptera, Anogeissus leiocarpus, Ptilostigma thonningii, Andropogon gayanus, Pennisetum subangustum, Sida alba, Borassus ssp., Pterocarpus erinaceus, Daniella oliveri, Nauclea latifolia, Andropogon amplexans, Hyptis suaveolens, Cassia nigricans, Elaeis guineensis, Daniella oliveri, Ficus ssp., Syzygium guineense, Vetiveria nigriflora, Hyptis specigera, Urena lobata, Borassus aethiopicus, Diospyros mespiliformis, Tephrosia ssp., Indigofera leptoclada.*

### Forêts Galeries

*Ficus ssp., Erythrophlaeum guineensis, Ptilostigma thonningii, Myrtagina inermis, Panicum ssp., Andropogon gayanus, Lippia chevalieri, Hyptis suaveolens.*

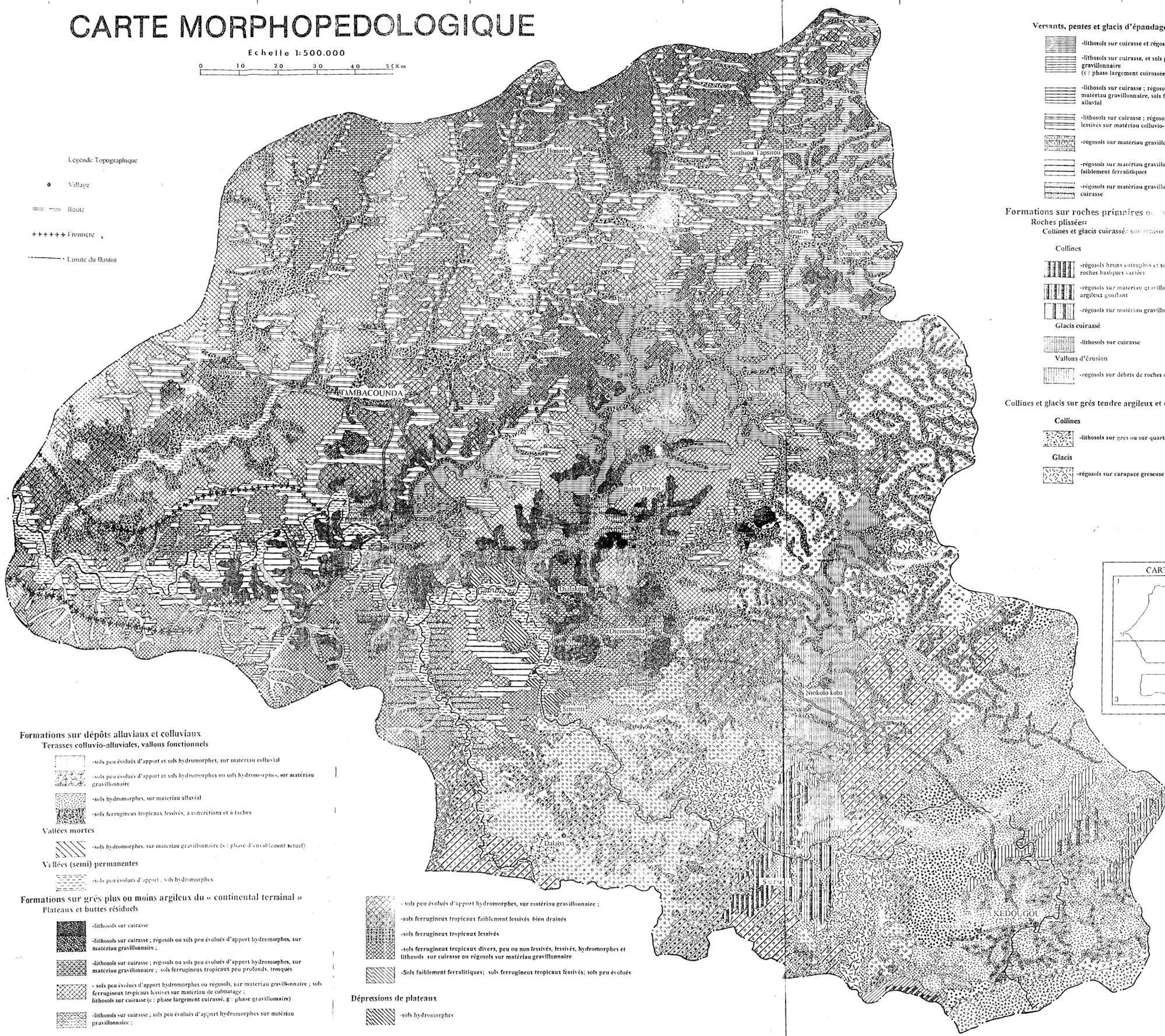


# CARTE MORPHOPÉDOLOGIQUE

Echelle 1:500.000



- Legende Topographique
- Village
  - Route
  - Frontière
  - Limite du Bassin



### Versants, pentes et glaci d'épandage

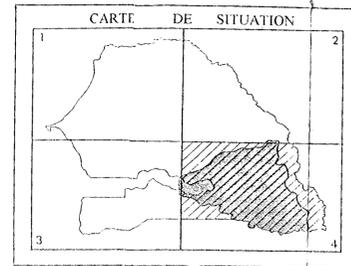
- lithosols sur cuirasse et régosols sur matériau gravillonnaire
- lithosols sur cuirasse, et sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire (c : phase largement cuirassée, g : phase gravillonnaire)
- lithosols sur cuirasse ; régosols ou sols peu évolués d'apport hydromorphes, sur matériau gravillonnaire, sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau colluvio-alluvial
- lithosols sur cuirasse ; régosols sur matériau gravillonnaire, sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau colluvio-alluvial
- regosols sur matériau gravillonnaire
- regosols sur matériau gravillonnaire ; sols ferrugineux tropicaux lessivés ; sols faiblement ferrallitiques
- regosols sur matériau gravillonnaire ; sols faiblement ferrallitiques ; lithosols sur cuirasse

### Formations sur roches primaires ou roches volcano-sédimentaires anciennes

- Roches plissées:  
Collines et glaci cuirassés sur schistes durs, faciès paléovolcanique (Monts Bassari)
- Collines
- regosols bruns eutrophiés et sols bruns eutrophiés, sur matériau d'altération argileuse de roches basiques variées
  - regosols sur matériau gravillonnaire et sols peu évolués d'apport vertiques sur matériau argileux gonflant
  - regosols sur matériau gravillonnaire et sur matériau argileux d'altération
- Glaci cuirassé
- lithosols sur cuirasse
- Vallons d'érosion
- regosols sur débris de roches diverses

### Collines et glaci sur grés tendre argileux et quartzites

- Collines
- lithosols sur grés ou sur quartzites
- Glaci
- regosols sur carapace gréseuse



### Formations sur dépôts alluviaux et colluviaux

- Terasses colluvio-alluviales, vallons fonctionnels
- sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes, sur matériau colluvial
  - sols peu évolués d'apport et sols hydromorphes ou sols hydromorphes, sur matériau gravillonnaire
  - sols hydromorphes, sur matériau alluvial
  - sols ferrugineux tropicaux lessivés, à concrétions et à taches
- Vallées mortes
- sols hydromorphes, sur matériau gravillonnaire (s : phase d'ensablement actuel)
- Vallées (semi) permanentes
- sols peu évolués d'apport ; sols hydromorphes

### Formations sur grés plus ou moins argileux du « continental terminal »

- Plateaux et buttes résiduels
- lithosols sur cuirasse
  - lithosols sur cuirasse ; régosols ou sols peu évolués d'apport hydromorphes, sur matériau gravillonnaire ;
  - lithosols sur cuirasse ; régosols ou sols peu évolués d'apport hydromorphes, sur matériau gravillonnaire ; sols ferrugineux tropicaux peu profonds, troques
  - sols peu évolués d'apport hydromorphes ou régosols, sur matériau gravillonnaire ; sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau de colmatage ; lithosols sur cuirasse (c : phase largement cuirassée, g : phase gravillonnaire)
  - lithosols sur cuirasse ; sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire ;

### Dépressions de plateaux

- sols peu évolués d'apport hydromorphes, sur matériau gravillonnaire ;
- sols ferrugineux tropicaux faiblement lessivés bien drainés
- sols ferrugineux tropicaux lessivés
- sols ferrugineux tropicaux divers, peu ou non lessivés, lessivés, hydromorphes et lithosols sur cuirasse ou régosols sur matériau gravillonnaire
- sols faiblement ferrallitiques ; sols ferrugineux tropicaux lessivés ; sols peu évolués
- sols hydromorphes

### Glaci étagé et plaines sur grés argileux et pélites

- Interfluvés, glaci étagés :
- lithosols sur cuirasse
  - lithosols sur cuirasse et régosols sur matériau gravillonnaire (c : phase cuirassée ; phase gravillonnaire)
  - regosols sur matériau gravillonnaire
  - lithosols sur cuirasse et sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire (c : phase cuirassée ; g : phase gravillonnaire)
  - lithosols sur cuirasse ; sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire ; sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau de colmatage

### Vallons, basses pentes

- regosols ou sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire ;
- sols hydromorphes sur matériau colluvio-alluvial

### Roches subhorizontales

- Cuesta schisteuse
- Côte
- lithosols sur schistes et sur cuirasse
- Piedmont
- sols peu évolués d'apport intergrades vertiques sur matériau argileux gonflant
- Cuesta gréseuse
- Côte
- lithosols sur grés ; sols peu évolués ferrugineux tropicaux sur matériau dérivé des grés ; lithosols sur cuirasse
- Piedmont
- sols peu évolués d'apport hydromorphes sur matériau gravillonnaire et sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau dérivé des grés

### Formations sur roches essentiellement métamorphiques (Birrimien)

- Roches basiques diverses et matériau argileux gonflant d'altération
- Collines
- lithosols sur roches basiques diverses et régosols bruns sur débris de roches basiques diverses
- Glaci
- regosols sur matériau gravillonnaire et sur matériau argileux d'altération
- Roches acides, migmatitiques
- Glaci étagé
- lithosols sur cuirasse ; régosols sur matériau gravillonnaire ; sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau dérivé des migmatites

### Matériau résiduel gravillonnaire, Cuirasse

- Glaci étagé
- sols peu évolués d'apport hydromorphes ou régosols sur matériau gravillonnaire ; lithosols sur cuirasse
  - lithosols sur cuirasse et régosols sur matériau gravillonnaire (c : phase cuirassée ; phase gravillonnaire)

### Formations sur roches de type granitique (granites d'anatexis)

- Buttes et interfluvés
- regosols sur matériau gravillonnaire et sols ferrugineux tropicaux sur granites
- Vallons et bas de pentes
- lithosols ou sols peu évolués ferrugineux tropicaux sur granites
  - lithosols sur cuirasse et sols peu évolués d'apport hydromorphes sur granites

### Formations sur roches ignées microgrenues

- Granites post tectoniques)
- Collines
- sols ferrugineux tropicaux lessivés sur matériau dérivé des granites et lithosols sur cuirasse
- Diorites et metabasites collines
- lithosols sur roches basiques diverses et sur cuirasse ; sols bruns eutrophiés divers ; régosols bruns eutrophiés, vertiques ou sur matériau gravillonnaire ; sols vertiques