

BAD.

ING. - 8

REPUBLIQUE DU SENEGAL

11.300 PRO

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL ET  
DE L'HYDRAULIQUE

MINISTERE DELEGUE CHARGE DE L'HYDRAULIQUE  
DIRECTION DU GENIE RURAL ET DE  
L'HYDRAULIQUE

-----

PROJET DE GESTION DE L'EAU DANS LA ZONE SUD  
(PROGES)

**DOSSIER DESCRIPTIF ET TECHNIQUE**  
(D.D.T.)

PROGRAMME II D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE

VOLUME 1

NOVEMBRE 1992

Financement : USAID

Louis Berger  
International Inc.

CONTENU DU VOLUME 1

Le Volume 1 contient les pièces suivantes :

PIECE 1.1 : Dossier Descriptif du Projet (D.D.P)

PIECE 1.2 : Dossier Technique de la Vallée (D.T.V)

REPUBLIC DU SENEGAL

MINISTRE DU DEVELOPPEMENT RURAL ET  
DE L'HYDRAULIQUE

MINISTRE DELEGUE CHARGE DE L'HYDRAULIQUE  
DIRECTION DU GENIE RURAL ET DE  
L'HYDRAULIQUE

-----

PROJET DE GESTION DE L'EAU DANS LA ZONE SUD  
**(PROGES)**

DOSSIER DESCRIPTIF DU PROJET  
**(D.D.P)**

PROGRAMME II D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE

VOLUME 1

PIECE N° 1.1

NOVEMBRE 1992

Financement : USAID

Louis Berger  
International Inc.

# TABLE DES MATIERES

Page N°

<b>I / <u>AVANT-PROPOS</u></b>	<b>1</b>
<b>II / <u>PRESENTATION DU PROJET</u></b>	<b>2</b>
<b>2.1 / Le projet et ses objectifs</b>	<b>2</b>
a) Genèse	2
b) Le projet	2
c) Ses objectifs	4
d) Résultats attendus	5
<b>2.2 / Données de base</b>	<b>6</b>
a) Le cadre géographique	6
b) L'environnement socio-économique	9
c) Le climat	10
d) Les données géologiques	12
e) La pédologie	12
f) Les vallées	14
<b>2.3 / Documentation disponible</b>	<b>16</b>
<b>III / <u>LES ETUDES PRELIMINAIRES</u></b>	<b>17</b>
<b>3.1/ La topographie</b>	<b>17</b>
<b>3.2/ Les études géotechniques</b>	<b>19</b>
a) Identification et classement des sols	19
b) Caractéristiques mécaniques	19
<b>3.3/ L'hydrologie</b>	<b>21</b>
a/ Préselection de la crue décennale	21
b/ Mise en oeuvre de la méthode Rodier-Auvray	22
c/ Choix des paramètres de dimensionnement.	23

<b>IV / <u>SURVEILLANCE ET ENTRETIEN DES OUVRAGES</u></b>	<b>26</b>
<b>V / <u>GESTION DES OUVRAGES</u></b>	<b>27</b>
<b>5.1 / Objectif et fonctionnement des digues anti-sel</b>	<b>27</b>
a) Salinisation des terres	27
b) Objectifs des digues anti-sel (A.S0	28
c) Fonctionnement d'une digue A.S. et méthode de récupération des terres salées	28
d) Quelques directives sur la gestion des ouvrages	31
<b>5.2 / Objectif et fonctionnement des digues de rétention</b>	<b>33</b>
<b>5.3 / Objectif et fonctionnement des digues de régulation</b>	<b>33</b>
<b>5.4 / Objectif et fonctionnement des diguettes de             régulation</b>	<b>34</b>
<b>5.5 / Objectif et fonctionnement des diguettes             en courbes de niveau</b>	<b>34</b>

## I / AVANT-PROPOS

Les régions de Ziguinchor et de Kolda font partie des zones qui, jadis, étaient les plus arrosées du Sénégal. Ce n'est que lors de ces deux dernières décennies que ces étendues de terre qui étaient très cultivées, ont souffert des aléas pluviométriques et de la sécheresse. Cet état de fait a provoqué l'envahissement des terres par les eaux salées.

Ainsi, la construction de petites digues anti-sel à l'embouchure des vallées permet, d'une part de protéger les terres non encore atteintes par le sel, et d'autre part de récupérer les zones salées, par le biais d'une gestion efficace des eaux de pluie et des sols.

L'aménagement hydro-agricole préconisé dans le cadre du projet concerne des types de vallées assez complexes, souvent rencontrées en Casamance.

Ce dossier constitue une évaluation des facteurs techniques qui entrent en jeu dans plusieurs phases d'intervention du PROGES dans une soixantaine de vallées, consistant en un aménagement de l'amont vers l'aval.

La collecte de quelques données de bases, hydrologiques, topographiques et pédologiques, a conduit à la conception des différents ouvrages hydrauliques projetés et à une évaluation des quantités de matériaux nécessaires.

Les devis estimatifs établis ont permis d'apprécier le rendement de l'aménagement projeté, à partir des coûts de matériaux et des travaux.

## II / PRESENTATION DU PROJET

### 2.1) LE PROJET ET SES OBJECTIFS

#### a) Genèse

Depuis la mise en oeuvre, en Août 1990, du contrat passé en Juin 1990 entre l'USAID et le Bureau Louis Berger International, Inc (LBII) pour l'appui technique au Projet de Gestion de l'Eau dans la Zone Sud (PROGES), le projet a :

- Choisi deux (2) vallées faisant l'objet du Programme I et défini les plans généraux d'aménagement (travaux de construction de digues et autres aménagements en cours),
- Sélectionné six (6) autres vallées à aménager dès le début de 1993 (programme II)
- Procuré de l'assistance à deux (2) vallées, sous forme d'appui aux populations (fournitures d'outils, transport de matériaux et assistance technique).

Chronologiquement, les étapes de travail et de démarches sont les suivantes, depuis le démarrage du projet :

- 1 - Sélection des sites sur base de plusieurs critères, (méthodologie généralisée),
- 2 - Constitution des dossiers d'étude pour leur aménagement,
- 3 - Tests de la capacité de mobilisation des villageois,
- 4 - Préparation des dossiers d'appel d'offre pour les exécutions,
- 5 - Choix des entreprises et surveillance des travaux ainsi lancés,
- 6 - Appui aux vallées aménagées (technique et organisationnel)

#### b) Le projet

Avec une croissance démographique largement supérieure à l'accroissement de sa production agricole, le Sénégal arrive à peine à produire la moitié de ses besoins alimentaires. Il doit, par conséquent, et pour combler son déficit vivrier croissant, procéder chaque année à des importations toujours plus onéreuses de denrées alimentaires.

Les régions du sud du Sénégal (Régions de Ziguinchor et Kolda) offrent pourtant, un potentiel agricole très important qui, non seulement est inexploité, mais est en train de se détériorer, du fait d'un ensemble de facteurs dont le plus important est la baisse et l'irrégularité de la pluviométrie.

Le cycle de sécheresse qui s'est installé au cours de ces vingt dernières années et le déficit pluviométrique qui en a résulté, ont entraîné dans ces régions :

- \* une dégradation et une disparition progressives des mangroves au profit de l'élargissement des tannes qui sont alors le siège d'importantes modifications qui conduisent à l'acidification et la toxicité des sols;
- \* une plus grande et plus intense intrusion du sel marin par le biais de la langue (marée) et du biseau (nappe) salés; une perte progressive mais déjà considérable de terres cultivables, qui fait passer la riziculture, des terres fertiles de bas-fond vers les terres moins fertiles des versants et de plateau, et de la riziculture aquatique plus sûre à la riziculture pluviale plus aléatoire;
- \* une baisse des rendements et du volume de la production agricole qui ne couvre même plus la moitié des besoins céréaliers des populations, autrefois largement auto-suffisantes;
- \* une baisse notable et grandissante de la disponibilité en main-d'oeuvre, du fait que les bénéficiaires provenant de la migration sont plus importants que ceux tirés des activités agricoles.

L'évolution de cette situation a montré que les paysans, livrés à eux-mêmes, n'avaient ni la capacité de récupérer d'une manière significative les terres rendues inexploitablees par le sel et l'acide et de protéger efficacement celles qui risquaient de l'être sous la menace de ces fléaux, ni également la possibilité d'améliorer leurs techniques de maîtrise et de gestion de l'eau douce pouvant être disponible pour l'agriculture.

De plus, les services publics, tout comme le secteur privé, n'avaient pas dans ces deux régions du sud, la capacité institutionnelle nécessaire pour apporter à ces paysans, l'assistance nécessaire à une planification et à une exécution de programme de maîtrise et de gestion des eaux douces et salées.

C'est ce vide aisément perceptible, que le PROGES se propose de combler, dans une perspective de contribution à la sécurisation et au développement de la production céréalière, celle du riz notamment, dans les Régions de Ziguinchor et de Kolda.

Le PROGES se compose de quatre volets :

- La maîtrise et la gestion de l'eau,
- Le renforcement institutionnel,
- La recherche opérationnelle et appliquée,
- Le suivi de l'environnement.

Dans son volet "maîtrise et gestion de l'eau", le PROGES aménagera 15.000 ha de terres de bas-fonds, réparties dans une soixantaine de vallées, situées dans les deux régions de Ziguinchor et Kolda.

Deux vallées sont aménagées dans la cadre du programme I, six autres le seront dès 1993 dans le cadre du programme II et le reste ( ± 12) le sera dans le cadre des programmes ultérieurs.

### **c) Ses objectifs**

La maîtrise et la gestion de l'eau impliquent la récupération et la protection des terres destinées à la production céréalière (rizicole, notamment) selon des plans d'aménagement des vallées. La dégradation des vallées découle de l'intrusion des eaux salées, combinée avec les effets chimiques de la sécheresse qui se sont traduits par l'acidification des sols.

Parmi les autres perturbations ayant affecté l'équilibre des et la production céréalière, on relève l'extension des cultures et pâturages dans les zones de plateaux pour compenser les baisses de production des cultures de bas-fonds, entraînant l'érosion et la réduction de la fertilité.

Le PROGES envisage de solutionner ce problème en mettant en oeuvre des plans d'aménagement détaillés et pluridisciplinaires des vallées avec la pleine participation des agriculteurs, au travers des Comités Villageois et Inter-Villageois de Gestion de l'Eau (CIVGE). Ces plans visent l'accroissement de la production céréalière dans chaque vallée par le biais de la mise en valeur de certaines terres récupérables, la protection et l'amélioration d'autres par l'application de mesures de gestion de l'eau et des sols.

Ces mesures seront accompagnées par des prescriptions agronomiques et des activités de vulgarisation, adaptées aux conditions physiques, socio-économiques et agronomiques de chaque vallée.

Le processus de récupération, de protection et d'amélioration des sols a débuté et s'appuie sur plusieurs types d'ouvrages :

- (i) Des digues anti-sel en aval du bassin versant;
- (ii) Des digues de rétention en amont;
- (iii) Des digues et diguettes de régulation en amont,
- (iii) Des diguettes en courbes de niveau dans la partie amont.

Ces ouvrages sont planifiés et conçus par le PROGES, en rapport avec les CIVGE et sont construits dans le cadre d'un effort conjugué des entreprises locales de construction et des populations villageoises concernées.

Dès le début, le Projet a travaillé étroitement avec les CIVGE pour élever leur compréhension des relations entre la gestion des ouvrages et des ressources sol/eau, dans la cadre de la récupération des terres et de l'accroissement de la production agricole.

L'objectif est de voir les CIVGE assumer leur responsabilité dans la gestion et l'entretien des ouvrages, la poursuite des mesures de conservation du sol et de l'eau et l'augmentation durable de la production céréalière.

Le document de projet (P.P) du PROGES a fixé comme objectif l'augmentation de 50% de la production céréalière, notamment celle du riz, dans approximativement, 60 vallées pour une superficie de 15.000 ha, ceci à l'horizon de 1999.

#### **d) Résultats attendus**

Les 15.000 ha fixés comme objectif dans le document de projet concernent aussi bien les terres améliorées que celles récupérées.

Les estimations des superficies à récupérer concernent les terres actuellement non cultivées du fait des conditions de salinité et d'acidité. Globalement considérées, ces superficies représentent les prévisions du Projet dans la perspective de la réalisation de l'objectif de protection, d'amélioration et de récupération de 15.000 ha.

Le processus de récupération des sols salés ou acides relève d'un effort de longue durée (5 à 10 ans au moins). De même, l'accroissement de la production rizicole dans les terres améliorées et protégées ne devraient pas intervenir de façon immédiate.

Les bénéfices optimaux escomptés du Projet interviendront au delà de la période couverte par le contrat de LBII. Le but du Projet est d'aller le plus loin possible vers ces objectifs, de promouvoir des institutions, des méthodes et des mesures nécessaires à la poursuite de ceux-ci, après la fin du contrat de LBII, en 1995.

L'aboutissement de ces objectifs dépendra de la capacité du Projet à doter l'UGP (Unité de Gestion du Projet) et les ERGES (Equipe Régionale de Gestion de l'Eau dans le Sud) de procédures "standard" permettant la réalisation effective des tâches de sélection, de planification, d'exécution et de suivi des activités.

## 2.2) DONNEES DE BASE

### a) Le cadre géographique

Le projet d'aménagement du PROGES concerne pour les programmes 1 et 2 huit vallées sélectionnées en deux fois (Avril 1991 et Mars 1992) dans les régions de Ziguinchor et Kolda, parmi plusieurs vallées analysées et classées selon différents critères, comme : la topographie, l'hydrologie, l'existence d'infrastructures ou non, la sociologie et l'agro-pédologie.

Les huit (8) vallées ainsi retenues et classées par ordre de priorité d'intervention sont les suivantes :

La localisation de ces huit (8) vallées est renseignée à la figure N°1.

PRIORITE VALLEES	ARRONDISSEMENT	DEPARTEMENT	REGION
Test 1/2 Mayor	Boukiling	Sedhiou	Kolda
Test 1/1 N'Guindir	Djende	Sedhiou	Kolda
Programme 2 Diatang	Sindian	Bignona	Ziguinchor
Programme 2 Balingor	Tendouck	Bignona	Ziguinchor
Progr. 2 Kandion-Mangana	Boukiling	Sedhiou	Kolda
Programme 2 Kounounding	Djiba Bouya	Sedhiou	kolda
Programme 2 Djimande	Tendouck	Bignona	Ziguinchor
Programme 2 Badobar	Tanaff	Sedhiou	Kolda

La sélection des sites a été précédée par une pré-sélection effectuée par l'UGP, avec le personnel des deux équipes de l'ERGES, parmi les cent vingt (120) vallées ciblées par le PROGES. Le programme 1 a retenu les vallées de Mayor et de N'Guindir (sites-test).

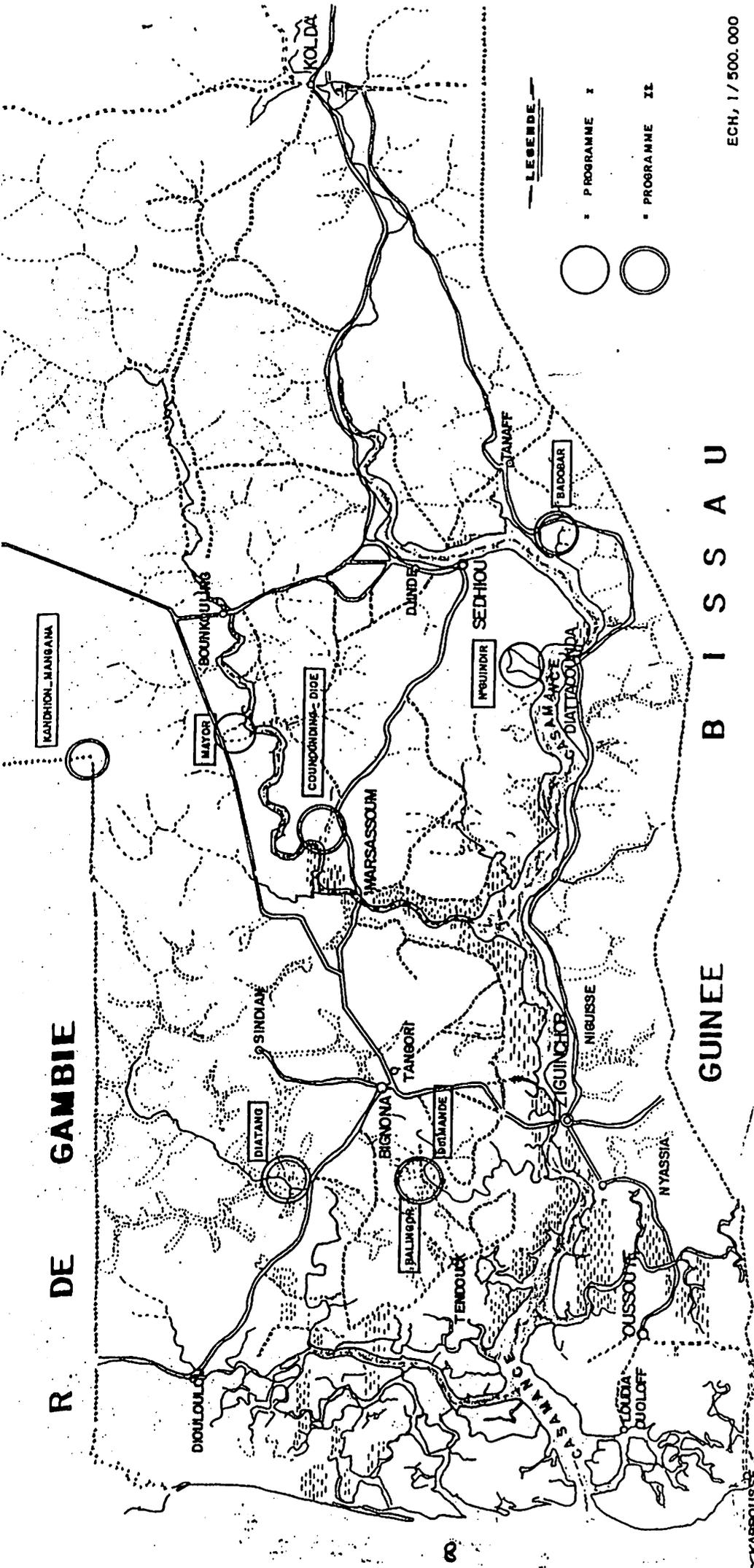
Le programme II a sélectionné six (6) vallées à partir de critères multidisciplinaires appartenant au génie rural, la sociologie et l'agro-pédologie. La première sélection de vallées n'a pas utilisé les critères concernant l'environnement.

Nous renvoyons aux documents suivants pour les détails et le déroulement de cette sélection des vallées à aménager :

- "Rapport de sélection des sites dans la région de Kolda" (ERGES) - Mars 1992.
- "Rapport de synthèse de la sélection des premiers sites" (PROGES/UGP) - Avril 1992.

- "Sélection des sites pour le programme II de la région de Ziguinchor" - Février 1992.
- "Note technique pour la sélection de deux sites-tests" - (ERGES/Ziguinchor et Kolda) - Janvier 1991.

R DE GAMBIE



B I S S A U

GUINEE

FIGURE I

PLAN DE SITUATION DES VALLEES

## **b) L'environnement socio-économique**

Pour les deux sites des vallées sélectionnées pour le programme 1, la section "Sociologie" a appliqué des critères de choix comme : la réceptivité des populations, les conflits fonciers, la disponibilité en main d'oeuvre, l'organisation villageoise et l'encadrement.

Ces informations ont été collectées à la faveur d'investigations (interviews et questionnaires) complémentaires sur le terrain (missions ciblées en deux phases) et rassemblées à partir de données existantes dans le document de projet (comme pour le choix ci-avant).

Les mêmes critères ont été utilisés pour le choix des six(6) vallées à aménager dans le cadre du programme II du Projet.

L'analyse des indicateurs a permis d'évaluer la possibilité de mobiliser les populations pour participer aux travaux et l'impact social découlant de cette participation.

On se réfèrera aux formulaires employés pour les enquêtes sociologiques et aux résultats rassemblés dans les deux rapports de sélection.

Pour les vallées de Mayor et de N'Guindir, on consultera les résultats des enquêtes de socio-vulgarisation menées en 1990.

Beaucoup d'informations ont été rassemblées à partir de la documentation concernant la Casamance, existant à Ziguinchor (SOMIVAC, ISRA) et à Dakar (Unités de Documentation de l'ORSTOM, ISRA, MDRH, DGRH, SONED / AFRIQUE).

On retiendra, entre autres, les études Agro-Socio-Economiques de la vallée du SOUNGROUGROU (SONED - SOGREAH - 1979) et les rapports du Projet Rural Sédhiou (SOMIVAC-1980) .

Le PROGES a rédigé en 1991 un document sur les données de base agro-économiques dans les deux vallées-test.

Pour les six autres vallées, on consultera les monographies, en cours d'élaboration, sur le contexte socio-économique (milieu humain).

### c) Le climat

- i) Pour ce qui concerne les vallées de Mayor et de Kounounding-Djoe, appartenant au bassin versant du Soungrougrou, affluent de la Casamance, le climat dans cette région est du type soudano-sahélien, compte-tenu du glissement des isohyètes observé pendant ces deux dernières décennies.

La pluviométrie est passée de 1.100 mm à 900 mm environ dans la zone de Soungrougrou, lors de la dernière décennie.

Les stations synoptiques de Ziguinchor et de Kolda mesurent depuis, respectivement, 1919 et 1922, la pluviométrie, l'humidité relative, l'insolation, l'évaporation, les températures relatives et les vents.

Les estimations de l'E.T.P. moyenne annuelle par des formules empiriques (Turc et Penman) ont donné 1.400 mm pour le bassin de Soungrougrou.

Dans la même zone, les températures moyennes mensuelles varient de 16° à 32°.

Le climat est caractérisé par une saison des pluies de durée variable (4 à 6 mois) et une saison sèche tout le reste de l'année.

En année moyenne, la pluviométrie est de 1.300 mm dont 1.100 mm pour les trois mois de Juillet à Septembre.

- ii) Les vallées de N'Guindir et de Badobar sont rattachées directement au fleuve Casamance, dans son cours moyen et se situent dans une zone d'interférence entre le climat soudanien et le climat guinéen, d'où une fluctuation des facteurs climatiques entre les limites caractéristiques de ces deux types de climat. En moyenne, la pluviométrie varie de 950 mm (Nord/Est) à 1.400 mm (Sud/Ouest), l'humidité de 50% (Février/Mai) à 80% (Juillet/Octobre), et la température moyenne annuelle se situe autour de 27°C (minimum en Janvier et maximum en Mai-Juin).

L'ETP passe de 1.600 mm (N.E) à 1.400 mm (S.O).

- iii) La vallée de Kandion-Mangana est raccordée à un affluent du fleuve Gambie, le Bitong-bolon (affluent, rive gauche). Le climat régnant est du type sud-soudanien, avec une pluviométrie moyenne annuelle de  $\pm$  1200 mm, selon les stations.

Cette vallée se situe entre les isohyètes 1200 et 1300 mm (moyennes annuelles).

L'isotherme 27°C (moyenne annuelle) passe plus ou moins par cet endroit.

Cette vallée se situe à la limite de la région climatique de Foulalou, avec une saison des pluies s'étendant sur sept mois, avec une bonne répartition des précipitations. Le maximum thermique intervient en Avril.

iiii) Les vallées de Djimande et Balingor se trouvent en rapport avec la vallée de Bignona, affluent de la Casamance, et la vallée de Diatang avec celle de Baila, affluent du Diouloulou.

Le marigot de Baila est à plus ou moins 10 km de Bignona .

A Bignona, les précipitations moyennes annuelles étaient :

- Entre 1953 et 1965 : 1364 mm
- Entre 1968 et 1978 : 1123 mm
- Entre 1979 et 1985 : 1005,6 mm

La saison des pluies se limite généralement à sept mois (Mai à Novembre).

A Bignona, située entre les isohyètes 1300 à 1400, le climat est du type sub-guinéen maritime, défini par une pluviométrie de 1300 mm, une température maximale de 30° et un degré hygrométrique élevé en saison des pluies.

Le total pluviométrique a varié à Bignona de 826,5mm à 1795,1 mm, entre 1965 et 1971.

Durant ces sept années, la répartition mensuelle des pluies (totales et nombre de jours de pluies) a été très irrégulière.

#### d) Les données géologiques

Ces données doivent permettre de s'assurer que le site d'exploitation est favorable à la construction d'une digue et qu'il constitue une bonne assise.

Pour les fondations de la digue, on vérifiera, à partir des données existantes, si elles présentent toutes les garanties de stabilité suffisante. En général, les petites digues en terre s'adaptent aux terrains de fondation variés rencontrés, à condition de prendre toutes les précautions (compactage, drainage etc...).

Pour des ouvrages de petites dimensions (inférieurs à 2 m de hauteur), les fondations ne posent pas de problèmes sérieux à condition de bien connaître les zones d'assises et d'être sûr que les terrains de fondation ne présentent aucun signe d'instabilité et qu'ils sont suffisamment imperméables.

Pour les trois vallées concernées par les bassins versants principaux de Baila et de Bignona, on se reportera aux documents suivants, pour de plus amples informations sur la géologie et la géomorphologie.

- "Etude pédologique sur la vallée de Bignona" Bureau Organisation et Développement - (Septembre 1986) : pages 10 à 16.
- "Programme de développement de la vallée de Baila" Bureau Organisation et Développement - (Janvier 1980) : pages 11 et 12.
- "Etude hydrologique du marigot de Bignona" - ORSTOM - 1981 : page 4.

Les dossiers techniques de la vallée (DTV) élaborés par le Proges/LBII reprennent, en les résumant, ces données pour chacune des vallées.

#### e) La pédologie

i) Le site de Mayor comprend :

- \* En aval, la plaine alluviale du Soungrougrou couverte de sols parasulfatés acides, très évolués en surface, avec des taches rouges d'oxyde de fer, un pH acide (4,5) et une salinité assez faible.

Cependant, l'eau de la nappe phréatique située entre 10 et 20 cm de profondeur est hypersalée, avec une conductivité électrique (C.E) deux fois supérieure à celle de l'eau de mer.

En outre, les mesures de pH, faites sur les horizons situés à plus de 1,40 m de profondeur, ont révélé des valeurs de (2,6), attestant ainsi une acidité très élevée.

Les sols parasulfatés acides sont très argileux et quasi-imperméables. Leur dessalement, avec des techniques de labour pratiquées à Mayor, demandera plusieurs années parce que le sel n'est révélé qu'en surface. Ainsi, la salure réapparaît très vite en surface, sous forme de couche poudreuse, dès l'arrêt des pluies.

- \* En amont, deux vallons, dont l'un situé entre les villages de Mayor et Kandialon et l'autre, bordé par les villages de Massada, Sedeck, Kampila et Barandama, collectent et drainent les eaux de ruissellement vers la plaine alluviale susmentionnée.

Dans ces deux vallons, deux types de sols ont été identifiés:

- Les sols peu évolués d'apport colluvio-alluvial hydromorphes

Situés en tête des vallons et sur la terrasse moyenne Nouakchottienne, ces sols présentent un profil uniformément sableux à limono-sableux, très perméable, dont les horizons sont issus de la sédimentation successive des particules arrachées du bassin versant par les eaux de ruissellement.

- Les sols hydromorphes à pseudogleys d'ensemble et/ou à gleys de profondeur

Ces sols sont typiques des fonds de thalwegs, avec une texture argileuse très compacte et très peu perméable. N'eût été la prédominance de l'hydromorphie, ces sols se classeraient dans les peu évolués, sans horizon diagnostiqué autre qu'un (A) ochrique.

D'une manière générale, une des contraintes communes à ces deux types de sols est le déficit hydrique dû à une perméabilité excessive pour les sols peu évolués d'apport colluvio-alluvial hydromorphes et à un défaut d'infiltration pour les sols hydromorphes à pseudo-gleys d'ensemble et/ou à gleys de profondeur. Cette contrainte pourrait être combattue par des aménagements qui favoriseraient la recharge de la nappe phréatique et l'accumulation des eaux de surface. On consultera à toute fin utile un document récent "ETUDE CARTOGRAPHIQUE DES SOLS DES VALLEES DE MAYOR ET BASSADA" SENAGROSOL SEP. 1992.

ii) Les sols situés dans les terres basses de la vallée de Nguindir se divisent en trois types :

- Les sols potentiellement sulfatés acides, situés en aval du barrage anti-sel de Kindakam.
- Les sols parasulfatés acides assez salés situés entre le barrage anti-sel et les digues 3 et 4. (alignement de pistes)
- Les sols gris hydromorphes en position de terrasses situés en amont des sols parasulfatés acides.

Les premiers sont des sols à haut risque d'acidité et sont donc exclus de toute intervention.

Les seconds sont des sols déjà évolués et posent comme contrainte le lessivage des sels qui y sont accumulés sous les effets conjugués de la marée et de la nappe salée.

Les troisièmes sont des sols doux avec pour contrainte, un déficit hydrique dû à la baisse de la pluviométrie et à une mauvaise rétention de l'eau douce qui ruisselle très rapidement.

La réhabilitation et l'amélioration des ouvrages hydrauliques situés aux différents passages qui traversent la vallée devraient permettre d'accélérer la récupération des sols parasulfatés acides par lessivage des sels et de ralentir le ruissellement pour augmenter les eaux d'infiltration et de retenue de surface (voir aussi l'étude SENAGRASOL Sep. 1992 sur les vallées de N'Guindir).

(iii) Pour les vallées de Diatang, Djimande et Balingor on trouvera toutes les informations sur la pédologie dans les deux premiers ouvrages cités ci-avant et dans le :

"Rapport de mission de l'expert en pédologie" - PROGES/USAID - Mai 1992-dans les marigots de Baila, Bignona, Guidel, Soungrougrou, Kamobeulbolon.

Les DTV reprennent, en les résumant, les données pour chacune des vallées.

#### **f) Les vallées**

Les enquêtes agro-pédologiques et leurs résultats ont été rassemblés dans les rapports PROGES de sélection des sites des programmes phases I et II (Avril 1991 et Février/Mars 1992).

En 1991, les enquêtes avaient porté sur les questions suivantes (vallées de Mayor et N'Guindir) :

- Sols difficilement récupérables;

- Tailles et configuration des sites;
- Proportion surface cultivée/surface totale;
- Importance de la riziculture par rapport aux autres céréales.

En Mars 1992, les vallées de Badobar, Kandion-mangana et Kounounding-djoe avaient été enquêtées comme suit, au point de vue agro-pédologique :

- Etats des sols;
- Surfaces cultivées exploitées;
- Mode d'exploitation rizicole;
- Proportions des sols difficilement récupérables dans la vallée;
- Quantité de l'eau de surface;
- Techniques de préparation du sol.

En Février 1992, les trois (3) autres vallées de Diatang, Balingor et Djimande ont été sélectionnées, entre autres à partir des critères agro-pédologiques suivants :

- Etat des sols;
- Pourcentage des sols difficilement récupérables;
- Quantité des eaux de surfaces et de nappe;
- Technique de préparation des sols;
- Mode d'exploitation des terres;
- Pourcentage des terres cultivées par rapport au total.

Pour de plus amples détails sur les vallées de Mayor et Nguindir, on se réfèrera au rapport PROGES sur les données de base agro-économiques (1991) - Section agro-pédologique.

Enfin on pourra examiner les deux ouvrages suivants pour les données agronomiques dans la région de Sédhiou :

- \* Résultats d'enquêtes effectuées au niveau du Projet Rural du Département de Sédhiou.

**Projet PRS - Juillet 1980**

\* Etude de factibilité pour l'aménagement rizicole de la vallée de Soungrougrou.

SONED / SOGREAH - Décembre 1979

### 2.3) DOCUMENTATION DISPONIBLE

#### \*Cartographie générale

- Carte 1/50.000 IGN/AOF (Ziguinchor et Sédhiou) - 1961
- Carte 1/200.000 IGN/AO (Ziguinchor et Sédhiou) - 1971
- Carte administrative PROGES (Mai 1991) - 1/200.000
- Orthophotoplans de l'OMVG (Gambie) - Vallées de Kandion - Mangana - 1/25.000
- Jeu de photos aériennes (Projet PRIMOCA) pour la moyenne Casamance (1989)
- Schéma des bornes repères du nivellement général (vallée de Bignona)
- Idem pour la moyenne Casamance
- Diverses cartes thématiques du milieu naturel, au 1/500.000 (Echelle de travail PNAT)
- Cartographie de Bignona (1986) - 1/20.000 Bureau O. et D.
- Cartographie de Soungrougrou (1980) - 1/20.000 - SOGREAH
- Cartographie de Baila (1980) - 1/20.000 - LBII
- Carte de la Casamance (Trois cartes Ouest) - 1/100.000 - ORSTOM (1986)
- Rive droite de Sédhiou - 1/20.000 - 1978 - ISRA
- Huit vallées de Sédhiou -1982 - BCEOM.

\* Pour des informations sur l'environnement humain et naturel des vallées sélectionnées, on consultera les ouvrages recensés par le Centre de Documentation du PROGES et tous les ouvrages cités dans le présent dossier.

### III / LES ETUDES PRELIMINAIRES

#### 3.1/ LA TOPOGRAPHIE

Les études topographiques permettront de préciser les caractéristiques qui ont été examinées sommairement lors des premières prospections (sélection des sites) et de fournir toutes les données de base pour établir le Programme des aménagements. Ces données ne se limitent pas à l'emprise des digues proprement dites et doivent donner un maximum d'informations pour implanter des ouvrages annexes comme les chenaux d'évacuation, les déversoirs, les pistes de raccordement, les petits aménagements en amont des rétentions, etc...

Le dimensionnement des ouvrages se fait principalement à partir des données topographiques.

Les données rattachées au nivellement général (bornes existantes) conduisent à la confection d'une série de plans, dont les plans cotés, les vues en plan, les profils en travers et en long.

Ci-dessous, on trouvera les termes de référence à respecter pour des travaux topographiques à effectuer dans les cinq (5) des six (6) vallées retenues pour le programme II.

Ces plans sont composés des plans généraux comme la localisation des ballastières, les schémas de principe d'aménagement et les plans de détail des ouvrages, etc..., pour constituer le dossier d'appel d'offres des entreprises.

#### MODELE DE TERMES DE REFERENCE

Pour les travaux topographiques dans les vallées des régions de Kolda et Ziguinchor,

- 1°/ Des levés topographiques du terrain naturel en amont des digues existantes ou projetées sur une bande de 20 ml de largeur avec des points levés dans l'axe et le long des bords, à une équidistance de 20 mètres. (quadrillage de 20/10, échelle 1/1.000).
- 2°/ Des levés topographiques du terrain naturel en amont de cette bande, comprenant un profil en long sur une distance de 400 ml et des profils en travers tous les 50 mètres. Le long de ces profils en travers, des points seront levés tous les 20 mètres. (quadrillage de 20/50, échelle 1/2.500).
- 3°/ Des levés topographiques du terrain naturel en aval de cette bande, comprenant un profil en long sur une distance de 100 ml

et des profils en travers tous les 20 mètres. (quadrillage de 20/20, échelle 1/2.000).

- 4°/ Deux bornes en béton de 45 cm de hauteur de forme rhomboidale seront installées à proximité des bandes de 20 mètres et chacune de chaque coté du lit majeur de la vallée. Ces bornes seront nivelées et rattachées entre elles grâce à une borne de référence installée au niveau du village désigné. Cette dernière sera rattachée au nivellement IGN.
- 5°/ Les levés topographiques d'une superficie de 20 ha chacune seront exécutés dans la vallée sur un ou plusieurs sites qui seront précisés ultérieurement au Bureau. Ce levé s'effectuera pour une restitution au 1/2000 ième. (quadrillage de 20/20, échelle 1/2.000).
- 6°/ Les reports seront effectués sur calques au format A1 dans la mesure du possible, et fournis avec 2 tirages ozalid.

**REMARQUES :**

- Pour les points 1, 2 et 3, les levés doivent remonter sur une distance de 100 mètres, de part et d'autre sur les versants de la plaine,
- Pour les points 1, 2, 3 et 5, les levés indiqueront le plus précisément possible, l'emplacement de tous les détails importants, tels que : bute, mare, lit mineur, gros arbre, etc...et renseigneront les courbes de niveau dont la dénivellée entre elles est de 20 cm.

### **3.2/ LES ETUDES GEOTECHNIQUES**

#### **a) Identification et classement des sols**

Dans les cas qui nous concernent, les reconnaissances géotechniques portent sur les sols de fondation des ouvrages (digues, déversoirs, etc...) et sur les matériaux devant servir à la construction de la digue.

On peut procéder à une reconnaissance rapide des lieux concernant les fondations des digues et les zones d'emprunt de matériaux (ballastières). Celle-ci consiste en quelques tests d'identification rapides pour estimer la granulométrie, la plasticité et la compressibilité, et classer ainsi les terres. (tests d'identification visuelle et sensitive).

Pour des ouvrages limités en hauteur, on vérifiera par quelques sondages à la tarière qu'on ne rencontrera pas dans les fondations des couches montrant des signes d'instabilité (couches compressibles, par exemple).

Les investigations géotechniques, pour déterminer la nature et les propriétés dynamiques des couches superficielles à l'emplacement des ouvrages lors des prospections de terrain, permettent de tirer des conclusions sur la profondeur des couches de vase et celle des horizons sableux.

L'implantation des digues sur les vasières est à éviter car elle provoque un tassement important de l'assise des ouvrages. Les vases des lits de bolongs sont les sols les moins compressibles.

#### **b) Caractéristiques mécaniques**

La prospection de ballastières destinées à fournir, en quantités suffisantes, des matériaux convenables, à proximité des sites de construction retenus, comportera les reconnaissances suivantes :

- Analyse granulométrique,
- Teneur en eau naturelle,
- Poids spécifique,
- Limites d'Atterberg,
- Essai de compacité.

On peut également compléter ces reconnaissances par des essais, en laboratoire, de perméabilité, de compressibilité et de résistance au cisaillement, si besoin en est.

Les matériaux employés dans la construction des barrages doivent satisfaire certaines conditions, notamment :

- Avoir une forte résistance au cisaillement;
- Avoir une granulométrie étendue;
- Avoir une imperméabilité suffisante;
- Avoir une consolidation et une stabilité suffisantes, après compactage;
- Ne pas contenir de particules (de gypses ou de sels) solubles,
- Avoir une très faible teneur en matières organiques (de préférence, être exempts de toutes matières organiques),
- Ne pas présenter de fissures sous l'effet du tassement et de la dessiccation, ce qui entraînerait des voies d'eau privilégiées;
- Etre économiquement exploitables et facilement mis en place.

On choisira pour la construction, des matériaux à granulométrie continue, englobant des diamètres allant de 150 mm jusqu'aux argiles colloïdales. Ils constitueront d'excellents sols à condition de ne pas contenir trop d'argile.

Il faut une terre de haute densité, la stabilité et l'étanchéité, fonctions essentielles, croissant avec la densité.

### 3.3/ L'HYDROLOGIE

Les études hydrologiques et l'amplitude des marées servent à dimensionner l'évacuateur de crue et les hauteurs des digues anti-sel. Il faut se préoccuper du fait que la digue ne constitue pas un obstacle au passage des crues qui risquent de le submerger.

Il faut donc estimer la crue que les ouvrages doivent laisser passer pour pouvoir les dimensionner et protéger ainsi la digue de la submersion.

La détermination de la crue de projet permettra de dimensionner l'évacuateur (largeur, hauteur, profil) pour ne pas causer de dommage à l'ouvrage.

Pour les digues anti-sel, les marées maximum, et une hauteur de sécurité tenant compte du battillage, conditionnent la hauteur du déversoir.

La crue de projet, la forme du déversoir et la lame d'eau déversante qu'on se donne, déterminent la longueur du déversoir. La hauteur de la digue est fixée à partir de la hauteur du déversoir, augmentée de la revanche de sécurité, et de la hauteur de la lame d'eau sur le seuil déversant.

Quant aux digues de rétention, leur hauteur est conditionnée par la quantité d'eau à stocker, suffisante pour lessiver la zone comprise entre cette digue et le barrage anti-sel, placé à l'aval.

Les digues de régulation permettront de maintenir un plan d'eau à l'amont compatible avec les contraintes culturelles.

#### a) Prédétermination de la crue décennale (Q10)

Lors d'une étude d'aménagement rural, le problème du dimensionnement, en fonction des fortes crues (par exemple, le cas du déversoir de crue d'un barrage) se pose fréquemment. Il faut estimer le débit maximum pour une probabilité donnée (décennale, centennale, ...) associée quelque fois à d'autres caractéristiques : volume, forme de l'hydrogramme, temps de montée, etc... Comme il ne s'agit pas d'une crue observée, mais d'une crue estimée, on parlera de prédétermination de crue.

Les bassins versants concernés sont généralement petits (superficie < 200 km<sup>2</sup>) et ne sont jamais intégrés à un réseau hydrométrique.

Ainsi, les différents scénarios peuvent se présenter :

- \* Existence d'une série courte (au moins deux ans) d'observations pluviographiques ou limnigraphiques (associés à des jaugeages).
- \* Le bassin ne possède aucune observation hydrologique.

Dans le premier scénario la méthode de l'hydrogramme unitaire est la plus appropriée, moyennant certaines hypothèses simplificatrices. Elle permet de calculer approximativement l'hydrogramme afférant à une averse donnée.

Comme stipulé plus haut, il est très rare de posséder une série d'observations hydrologiques, même courte, à l'endroit précis où un aménagement est prévu et on se retrouve ainsi dans le deuxième cas.

Pour répondre à ce problème, les hydrologues proposent des méthodes régionales d'estimation des débits de crue élaborées à l'aide d'un outil spécial, le bassin représentatif.

Parmi celles-ci, la méthode Rodier-Auvray qui se base sur l'étude d'une soixantaine (60) de bassins d'Afrique Occidentale, couvrant des superficies de 1 à 200 km<sup>2</sup> et recevant des précipitations moyennes annuelles entre 150 et 1600 mm.

#### **b) Mise en oeuvre de la méthode Rodier-Auvray**

En utilisant les crues décennales estimées avec l'échantillon des 60 bassins, les auteurs proposent des abaques pour estimer le débit maximum, le temps de montée et le temps de base de la crue décennale d'un bassin non jaugé.

Sur l'échantillon des bassins observés, la crue décennale a été prédéterminée en utilisant la technique de l'hydrogramme unitaire que nous ne décrirons pas ici. (voir la littérature spécialisée)

Pour un bassin non jaugé, comme c'est le cas de presque toutes nos vallées, la crue décennale sera estimée en s'inspirant des différentes étapes mise en oeuvre pour la prédétermination sur un bassin observé.

En effet, trois paramètres sont faciles à estimer :

- La superficie du bassin,
- La pluie décennale, P<sub>10</sub>, à un poste de référence proche du bassin,
- Le coefficient d'abattement.

Les autres paramètres intervenant dans la méthode sont obtenus après estimation de deux indices; un indice de relief R et un indice de perméabilité P. A partir de la superficie S, de R et de P, les diagrammes permettent d'estimer le coefficient de ruissellement décennal Cr<sub>10</sub>, le temps de montée et le temps de base de la crue décennale. Le coefficient  $K = Q_{Max10} / Q_{Moy.}$ , rapport du débit maximum de la crue décennale sur le débit moyen, est fonction uniquement de la superficie.

La prédétermination du débit décennal sur un bassin non jaugé ressort donc de l'équation :

$$Q_{10} = (C \cdot P_{10} \cdot C_r \cdot K \cdot S) / T_b$$

avec :

C = Coefficient d'abattement,

P<sub>10</sub> = Pluie ponctuelle décennale de 24h en mm,

C<sub>r</sub> = Coefficient de ruissellement,

K = Coefficient de pointe, égal au rapport du débit maximum de la crue décennale sur le débit moyen,

S = Superficie de bassin versant en m<sub>2</sub> ,

T<sub>b</sub> = Temps de base en seconde,

Q<sub>10</sub> = Débit maximum décennal en m<sub>3</sub>/s.

### c) Choix des paramètres de dimensionnement :

Le choix des paramètres de dimensionnement doit se faire en fonction des besoins d'utilisation des ouvrages hydrauliques, tout en garantissant à ceux-ci une sécurité dans le temps.

L'étude de la sécurité nécessite une approche à deux niveaux:

- Celui du risque,
- Celui de la stabilité de l'ouvrage.

#### Les paramètres :

- La crue de projet.
- Les hauteurs de marées extrêmes (maximales et minimales)

#### \* La crue de projet :

La crue de projet est la crue maximale que l'ouvrage doit être capable d'évacuer. Le passage de cette crue doit se faire sans causer à l'ouvrage de dommage qui pourrait avoir des conséquences graves pour l'aval. En outre, le laminage de la crue pour la retenue ne doit pas provoquer de submersion dommageable à l'amont.

\* Fréquence de la crue de projet

La rupture éventuelle de ces digues peut certes créer des dommages, minimes d'ailleurs, mais ne mettant pas en danger des vies humaines.

Leur durée de vie, même si elles sont bien entretenues, ce qui n'est pas souvent le cas, ne dépasse rarement 10 ans. Rappelons que les calculs sont basés sur une pluie qui se présente en année normale humide alors que la pluviométrie diminue significativement depuis 10 ans dans les régions du projet, ce qui nous donne encore une sécurité de plus.

Le risque minimum en cas de rupture, allié à la possibilité de sécuriser ces petits ouvrages, tout au moins pendant 10 ans, nous amène à choisir la crue décennale comme crue de projet.

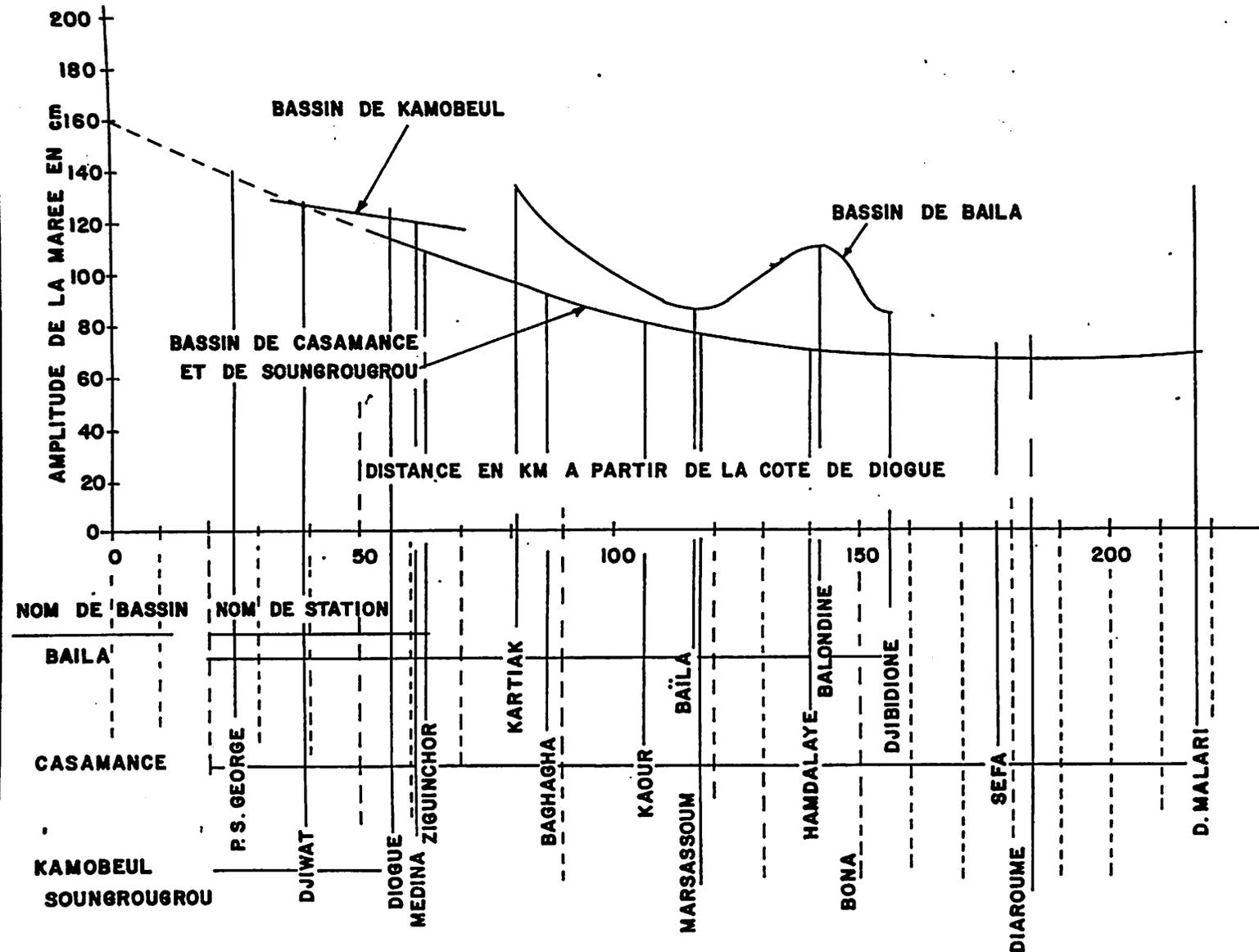
Ainsi, nos ouvrages seront protégés contre une crue qui est susceptible de se produire au moins une fois tous les dix ans.

\* Hauteur de marée

- La hauteur minimale est un facteur plutôt relatif à la "fonctionnalité" de l'ouvrage. Maitrisée, elle permet de situer les moments pendant lesquels on peut procéder à une vidange de la réserve, pour les besoins de lessivage.
- La hauteur maximale permet elle de caler la digue et le déversoir à une cote suffisante pour empêcher une submersion durant la période de stockage de l'eau douce.

L'étude de "Brunet Moret" sur les marées maximales en Casamance, bien que peu actuelle, nous permet d'estimer ces grandeurs à défaut d'observations sur le terrain. L'amplitude des marées est donnée à la figure N°2.

# AMPLITUDE MAXIMALE DE LA MAREE EN FONCTION DE LA DISTANCE DE LA COTE



25

#### **IV / SURVEILLANCE ET ENTRETIEN DES OUVRAGES**

Une fois construites, les digues doivent faire l'objet de surveillance, portant sur les points suivants :

- Contrôle du tassement et détection des causes,
- Contrôle des infiltrations et détection des causes,
- Glissement des talus,
- Griffes d'érosion sur les parements,
- Etat des talus, selon les revêtements,
- Etat de l'évacuateur d'eau après les crues.

La pérennité des ouvrages dépend de la rapidité avec laquelle on peut intervenir pour réparer les dégâts. Il est important de les suivre régulièrement pour détecter immédiatement les mauvais comportements. La surveillance portera sur les fondations, le corps même de la digue et les ouvrages annexes, en béton et en terre.

Les dégâts susceptibles d'être constatés sont :

- Le glissement des talus,
- La submersion du remblai,
- Les dégradations des parements,
- La formation de renards.

La responsabilité de la surveillance et de l'entretien incombe aux bénéficiaires de l'ouvrage (populations villageoises).

Il va de soi qu'une fois les ouvrages construits, le Projet assurera un appui et un encadrement suffisants pour permettre aux bénéficiaires, organisés en comités, de détecter à temps les dégâts et de les réparer dans les délais les plus courts.

## v / GESTION DES OUVRAGES

### 5.1 / OBJECTIF ET FONCTIONNEMENT DES DIGUES ANTI-SEL

#### a) Salinisation des terres

On parle de salinité pour caractériser la concentration de sels dissous dans l'eau. La salinité peut être due à la présence dominante d'un sel, ou à la présence de plusieurs sels à des concentrations diverses. On exprime la salinité en grammes de sels par litre d'eau.

##### a.1) Mode de salinisation

La salure est provoquée par le contact de la mer (salure d'origine marine). Elle se développe comme suit :

- 1 - Submersion des terrains par la mer au cours des marées et dépôts de sel (c'est pourquoi la salinité des bolongs est plus forte en marée haute qu'en marée basse).
- 2 - Infiltration de la mer dans la nappe phréatique littorale (biseau salé). Ce processus s'est aggravé avec la sécheresse, par suite de la mauvaise recharge de la nappe en eau douce. La nappe, engendrée par cette infiltration, étant très salée et peu profonde, on assiste à une évaporation de l'eau et au dépôt des sels minéraux à la surface. De plus, l'eau qui remonte dans le sol par capillarité entraîne avec elle des sels minéraux. A la surface du sol, elle s'évapore et laisse des concrétions.
- 3 - Apport des sels par les embruns que le vent amène sur la terre ou sur la végétation.
- 4 - Au cours de la genèse des dépôts d'estuaire, les sédiments fins (argiles, limons) apportés par les eaux de ruissellement sont flocculés par les électrolytes contenus dans l'eau de mer et ceux-ci restent fixés sur les particules flocculées.

##### a.2) Mouvement de l'eau et des sels

Les mouvements des eaux nous sont familiers : pluie, ruissellement, infiltration, remontée capillaire, évaporation, résurgence aux sources.

Lorsqu'elle se déplace à la surface de la terre ou dans l'espace souterrain, l'eau se charge de matières visibles et invisibles : sable, limon, argile, sels minéraux et substances diverses. Mais ce "qu'elle prend quelque part elle le dépose ailleurs".

Par exemple, l'argile saisie sur une surface d'érosion est déposée dans les bas-fonds lorsque la vitesse de l'eau ruissellante diminue; ou encore, l'eau des rivières chargée en sel dépose ceux-ci dans la mer.

L'eau se charge et se décharge en fonction de diverses circonstances : énergie cinétique, vitesse de ruissellement, acidité ou alcalinité, structure ou texture du sol, contenu du sol en sel minéraux, température etc...

Un phénomène particulier doit retenir notre attention car il est directement en relation avec l'agriculture : la vapeur d'eau ne transporte pas de sel. Lorsque l'eau s'évapore à la surface du sol, elle y laisse sa charge de minéraux.

On le constate aux dépôts blanchâtres ou noirâtres constitués par des cristaux salés à la surface du sol. Corollairement, la vapeur d'eau dissoute dans l'air, qui formera ultérieurement les nuages, ne contient pas de sel.

#### **b) Objectifs des digues anti-sel**

Les objectifs visés sont :

- Arrêter la montée saline;
- Récupérer les sols salés par lessivage;
- Sécuriser au moins une récolte en prolongeant la durée des submersions;

#### **c) Fonctionnement d'une digue anti-sel et méthode de récupération des terres salées**

##### **c.1 Méthode de protection contre les intrusions d'eau salée**

La seule protection efficace contre les intrusions d'eau salée consiste à reconstituer une charge hydraulique suffisante d'eau douce sur l'eau salée à l'emplacement où on veut bloquer l'intrusion.

Le principe de " Ghyben-herzberz " précise que la profondeur de l'interface eau douce - eau salée sous le niveau de la mer est égale à la charge d'eau douce multipliée par l'inverse de la différence des densités des deux liquides. Ce principe est représenté à la figure N°3.

$$hs = \frac{h * p}{ps - p}$$

où

**h** : hauteur d'eau douce au-dessus du niveau moyen de la mer

**hs** : profondeur de l'interface au dessus du niveau moyen de la mer.

**p** : densité de l'eau douce

**ps** : densité de l'eau salée

Le principe se démontre facilement en faisant les hypothèses suivantes :

- Nappe homogène et isotrope;
- Rivage rectiligne;
- Régime permanent;
- Ecoulement lent;
- Fluctuations du niveau de l'eau salée à cause des marées, négligeables.

### c.2 Principe de l'hydrostatique

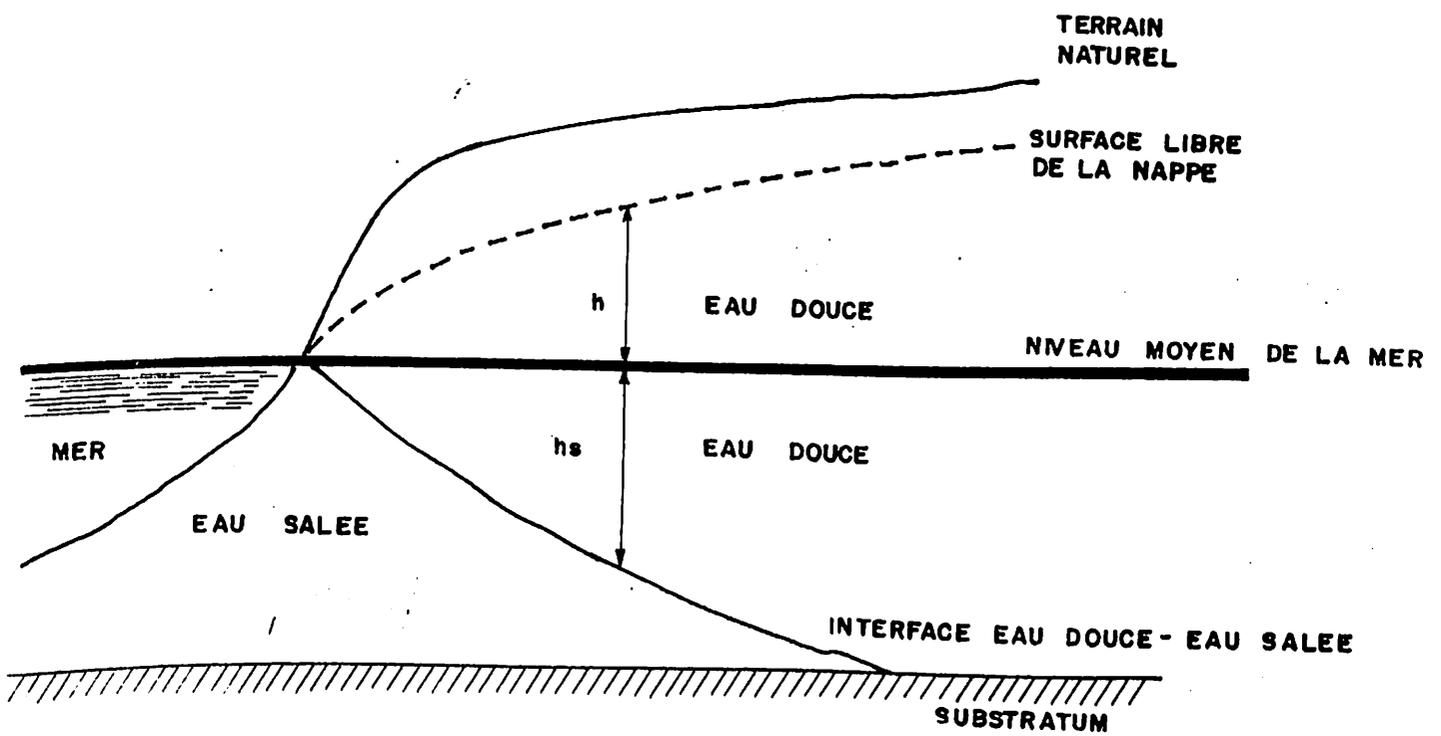
$$hs * ps = (h + hs) * p \quad \text{d'où} \quad hs = \frac{h * p}{ps - p}$$

La vitesse d'avancement de l'eau salée est nulle pour :

$$dhs = dh * \frac{p}{ps - p}$$

FIGURE N°3

REPRESENTATION DU PRINCIPE DE L'INTERFACE



L'eau salée avancera à l'intérieur des terres si :

$$dh < dhs * \frac{ps - p}{p}$$

Elle reculera dans le cas contraire.

En prenant  $p = 1$  et  $ps = 1.025$ , nous avons :

$$hs = h \frac{1}{1.025 - 1} = 40h$$

Pour une charge hydraulique d'eau douce d'un (1) mètre, l'interface est envoyée à 40 mètres au-dessous du niveau de la mer. Ceci nous donne une idée sur l'importance de l'effet de l'eau douce stockée et, explique la nécessité de la digue anti-sel qui, par son système de stockage des eaux de ruissellement, augmente la lame d'eau douce et constitue ainsi un véritable barrage de pression.

Nous en concluons que Le rabattement de nappe par pompage est à interdire.

#### d) Quelques directives sur la gestion des ouvrages

Les ouvrages hydrauliques ne joueront efficacement leur rôle que si leur gestion se fait de façon convenable. Cette gestion concerne l'entretien des ouvrages et le fonctionnement des vannes.

L'entretien des ouvrages consiste à la réparation des ouvrages ou des digues suite à l'usure ou à la détérioration, dues à des facteurs divers.

Le fonctionnement des ouvrages consiste à utiliser les vannes (fermeture ou ouverture) selon les besoins en eaux des cultures (digue de rétention) ou selon le besoin de l'évacuation des eaux salées (digues anti-sels), après lessivage.

Pour les entretiens et la maintenance, la section "Génie Rural" est la plus compétente dans ce domaine pour donner des recommandations.

Pour le fonctionnement des vannes, la section "Agro-Pédologique", en faisant le suivi régulier des cultures des parcelles pilotes durant la campagne agricole et en faisant les mesures régulières du  $ph$  et de la conductivité des eaux, est la mieux placée pour conseiller leur manipulation.

Mais, dans les deux cas, les premiers intéressés, ce sont les paysans eux-mêmes, qui devront, à terme, prendre en charge la gestion de ces ouvrages.

Ainsi, la section "Sociologie" devra, en concertation avec les comités villageois, désigner, pour chaque digue, une ou plusieurs femmes, ayant leurs parcelles à proximité de l'ouvrage, pour être responsables de la gestion des vannes et de la surveillance des infrastructures.

Cette responsabilité s'assumera, surtout au cours de la première année, avec l'appui des conducteurs de chantiers. Ces femmes transmettront les consignes aux responsables des comités villageois, s'il y a des réparations à faire.

Les femmes responsables, et les membres des comités villageois recevront avec l'aide du PROGES des formations techniques et organisationnelles et participeront à ensuite, avec les sections "Génie Rural" et "Agro-Pédologique", l'exécution des tâches précises sur le terrain, pendant toute la campagne.

Le fonctionnement de la digue sera suivi régulièrement les premiers temps et les observations récoltées permettront de mieux les gérer par la suite.

C'est ainsi qu'on observera l'évolution de la salinité (prélèvements et mesures de la conductivité), le comportement hydrologique (relevé des échelles placées aux évacuateurs) et en suivra la manipulation des vannes à batardeaux.

En rapprochant toutes ces données, on gèrera plus efficacement les crues ultérieures.

La gestion des eaux comprend le lessivage, la régulation et le stockage en tenant compte de l'hivernage (période, durée, importance) et des facteurs agronomiques.

Rappelons qu'en plus des travaux d'aménagement pour protéger les vallées, il faut prévoir une poursuite de cet aménagement et de la mise en valeur par des techniques mises en place par les populations elles-mêmes (investissement humain) : creusement des fossés pour faciliter l'évacuation des excès d'eau et de sel, diguettes de retenue, aménagement des versants, lutte anti-érosive etc...

En conclusion, le fonctionnement des ouvrages, à savoir la manipulation des vannes selon les besoins en eau de la riziculture et ceux liés à l'évacuation des eaux de lessivage, et la maintenance seront confiés aux paysans bénéficiaires, qui auront à s'organiser en comités et à se former en rapport avec les objectifs de production (technique et organisation).

## 5.2 / OBJECTIF ET FONCTIONNEMENT DES DIGUES DE RETENTION

### a) Objectif

Ces ouvrages en terre compactée sont conçus et prévus pour:

- stocker, en amont, des quantités d'eau suffisantes pour opérer plusieurs lessivages de la zone comprise entre la digue anti-sel et cette digue de rétention où des terres salées devront être récupérées.
- recharger la nappe.
- maîtriser, à l'amont, le plan d'eau au niveau de la zone couverte.

### b) Description

Ils sont situés à l'amont des digues anti-sel et sont généralement réalisés par l'entreprise, avec la participation des populations riveraines (protection des parements, creusement des chenaux, etc...).

Leurs dimensions sont semblables à celles des digues anti-sel. Ces digues sont érigées en remblai de terre compactée et comportent des ouvrages d'évacuation de crue, type déversoir en "bec de canard", associés à des passages busés, munis de plusieurs ouvertures équipées de vannes à batárdeaux. Leur largeur en crête est imposée pour tenir compte de l'utilisation de ces digues comme voies de communication entre les rives des vallées.

## 5.3 / OBJECTIF ET FONCTIONNEMENT DES DIGUES DE REGULATION

### a) Objectif

- Maîtriser à l'amont le plan d'eau pour couvrir les besoins de la riziculture.

### b) Description

Ces ouvrages sont réalisés par l'entreprise, avec la participation des populations, et exécutés en remblai compacté. Ils disposent comme dispositifs d'évacuation de crue; soit un radier submersible avec un déversoir rectiligne, si la digue est utilisée comme piste de communication, soit un déversoir de sécurité en un ou plusieurs éléments, situé au centre ou sur les côtés, selon les besoins, quand la digue n'est pas utilisée pour le franchissement.

Ces digues ont les mêmes profils que les digues de rétention.

#### 5.4 /OBJECTIF ET FONCTIONNEMENT DES DIGUETTES DE REGULATION

##### a) Objectif

Maîtrise du plan d'eau au niveau d'un ensemble de parcelles de riz.

##### b) Description

Il s'agit d'ouvrages en terre de petit gabarit, dont la hauteur ne dépasse pas 50 cm, réalisés par les populations elles-mêmes.

Un tracteur est prévu pour creuser le sol en profondeur et les gens achèvent l'aménagement avec de petits outils. Ces diguettes ne sont jamais utilisées comme voies de passage.

#### 5.5 /OBJECTIF ET FONCTIONNEMENT DES DIGUETTES EN COURBES DE NIVEAU

##### a) Objectif

Maîtrise du plan d'eau pour la riziculture au niveau des parcelles familiales.

##### b) Description

La hauteur de ces ouvrages ne dépasse pas 30 cm et la population, elle-même, les réalise dans le contexte de l'aménagement à la parcelle.

Après avoir tracé les courbes de niveau, un tracteur les aide à creuser le sol en profondeur et ensuite, les paysans érigent les diguettes avec leurs outils. Un labour est réalisé entre les diguettes.

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL ET DE  
L'HYDRAULIQUE

MINISTERE DELEGUE CHARGE DE L'HYDRAULIQUE  
DIRECTION DU GENIE RURAL ET DE  
L'HYDRAULIQUE

-----

PROJET DE GESTION DE L'EAU DANS LA ZONE SUD  
(PROGES)

DOSSIER TECHNIQUE DE LA VALLEE

(D.T.V)

PROGRAMME II D'AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE

VALLEE DE BADOBAR

VOLUME 1

PIECE N°1.2

NOVEMBRE 1992

Financement : USAID

Louis Berger  
International Inc.

## TABLE DES MATIERES

	PAGE N°
<b>AVANT-PROPOS</b>	<b>1</b>
<b>I. <u>GENERALITES</u></b>	<b>3</b>
1.1 Situation géographique et présentation	3
1.2 Aperçu sur les facteurs climatiques et naturels	3
1.2.1 La température	3
1.2.2 La pluviométrie	3
1.2.3 Les autres données	6
1.2.4 Végétation	6
1.3 L'hydrographie générale	6
1.4 La géomorphologie	7
1.5 La pédologie	9
<b>II. <u>LES ETUDES PRELIMINAIRES</u></b>	<b>13</b>
2.1 Les levés topographiques	13
2.2 L'hydrologie	15
2.2.1 Les apports	15
2.2.2 Pertes par évaporation	15
2.2.3 Pertes par infiltration	15
2.2.4 Crue de Projet	16
2.2.5 Les marées	19

2.3 La géotechnique	20
2.3.1 Sols de fondation	20
2.3.2 Sols d'emprunt	20
<b>III. <u>CONCEPTION DE L'AMENAGEMENT</u></b>	<b>22</b>
3.1 Schéma de principe	22
3.2 Choix des sites	24
3.3 Description des ouvrages	25
3.3.1 Les digues	25
3.3.2 Les évacuateurs de crue	25
3.3.3 Les déversoirs	26
3.3.4 Les vannes à batardeaux	26
3.3.5 Les aires de croisement	26
3.4 La fiche technique de l'ouvrage	27

**ANNEXE :**

- 1- Modèle de fiche technique de l'ouvrage

## AVANT PROPOS

Dans le cadre de l'exécution des tâches qui lui sont assignées, le "PROJET GESTION DE L'EAU DANS LA ZONE SUD" (PROGES), entame le Programme II d'aménagement hydro-agricole dans des vallées situées dans la région naturelle de la Casamance.

Ainsi, ce dossier qui est spécifique à la vallée de Badobar est une synthèse des études menées par les équipes multidisciplinaires du PROGES/LBII, en général, et l'Unité du Génie Rural, en particulier, pour la conception et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (digues et évacuateurs de crue).

Ces études ont surtout porté sur les points suivants :

(+) les **généralités**, relatives aux caractéristiques d'ordre général propre à la zone qui englobe le site de Badobar et les environs;

(+) les **études préliminaires menées** par les techniciens qui portent sur la topographie, l'hydrologie, la pédologie, la géotechnique etc...;

(+) la **conception de l'aménagement** qui définit les types d'ouvrages à mettre en place pour assurer une maîtrise des eaux marines et pluviales visant une protection et/ou une récupération des terres menacées ou envahies par le sel;

(+) le **dimensionnement des ouvrages hydrauliques**, facteur déterminant, qui tient compte des aspects technico-économiques pour rentabiliser l'aménagement à l'échelle de la vallée;

(+) la **consistance des travaux** qui permet de cerner d'une manière globale les réalisations à effectuer et une répartition des tâches entre les différents partenaires impliqués;

(+) le **mode d'exécution des travaux** définissant les méthodes de mise en oeuvre des différents matériaux pour un respect des spécifications techniques conformes aux règles de l'art;

(+) l'**estimatif des quantités** de matériaux à mettre en oeuvre servant à évaluer financièrement le coût de l'aménagement;

(+) et le **calendrier prévisionnel** des travaux qui cadre avec la période adéquate (saison sèche) pour la réalisation des digues en terre.

Des plans d'exécution compléteront le dossier d'études de l'aménagement (D.T.A) de la vallée de Badobar.

Ces études concernent quelques sites de digue du programme global d'aménagement de la vallée qui se situent au niveau des axes suivant:

- à hauteur de Binako (1.1)
- Valikounda Douma-Sinafa (2.4)
- Karoumbou Fouladou-Sekonaya (2.5)
- Soumakounda-Beila (2.6)
- à hauteur de Missira Mangaroungou (2.7)

Chaque site constitue un chantier dont les détails sur les différentes rubriques sus-mentionnées font l'objet des dossiers techniques de la vallée (DTV) et de l'Aménagement (DTA).

## **I- GENERALITES**

### **I.1. Situation géographique et présentation**

La vallée de Badobar est localisée dans l'arrondissement de Tanaff, (Département de Sédhiou, Région de Kolda). Elle appartient à un bassin versant d'une superficie de 170 km<sup>2</sup>, contigu à celui du cours moyen du fleuve Casamance.

La vallée est accessible, par la route Tanaff - Ziguinchor jusqu'à hauteur de Simakounda qui joint Badobar par une piste.

Elle se situe en rive gauche sur le cours moyen du fleuve Casamance ( voir figure N° 1 : plan de situation ).

### **I.2. Aperçu sur les facteurs climatiques et naturels**

#### **1.2.1 Température**

La température moyenne annuelle se situe autour de 27°C (minimum en Janvier et maximum en Mai-Juin).

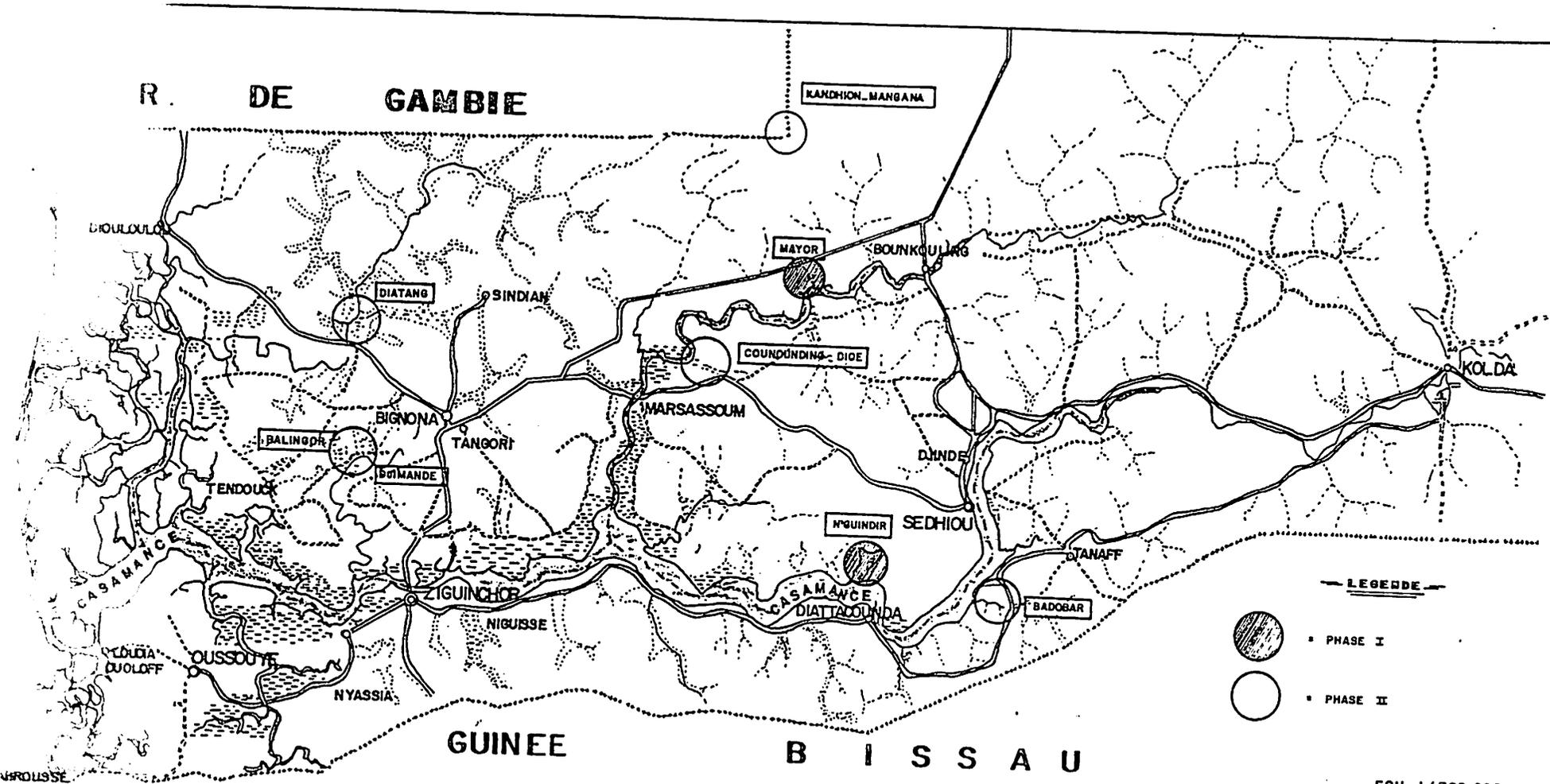
#### **1.2.2 La pluviométrie**

La vallée de Badobar est sous influence du cours moyen du fleuve Casamance et se situe dans une zone d'interférence entre le climat soudanien et le climat guinéen, d'où une fluctuation des facteurs climatiques entre les limites caractéristiques de ces deux types de climat.

La pluviométrie moyenne annuelle est passée de 950 mm à 900 mm dans la zone de Badobar lors de la dernière décennie marquée par la sécheresse et le caractère aléatoire de la pluviométrie.

Pour caractériser le climat de la vallée de nous avons retenu trois (3) postes où les observations de longue durée font apparaître les moyennes suivantes:

Ziguinchor	:	70 ans	d'observations,	moyenne annuelle	1414 mm
Sédhiou	:	82ans	"	"	1260 mm
Kolda	:	66ans	"	"	1139 mm



R. DE GAMBIE

KANDIOM MANGANA

MAYOR

BOUNKOU LAG

COUNDOUNA-DIOE

IMARSASSOUM

DYNDE

N'GUINDIR

SEDHIOU

TANAFF

BADOBAR

CASAMANCE  
DIATTAOUNDA

NIGUSSE

NYASSIA

OUSSOUTE

NYASSIA  
QUOLOFF

GUINEE

B I S S A U

LEGENDE



PHASE I



PHASE II

ECH. 1/500.000

FIGURE N° 1

CARTE DE SITUATION DE LA VALLEE DE BADOBAR

Pour la période 1931-1960, les isohyètes 950m (N.E)/1400 mm (S.W) qui encadrent la vallée, sont passés à 900/1000 mm pour la période 1961/1990 (voir figure No.2).

#### 1.2.3- Evapotranspiration Potentielle (ETP)

Les estimations de l'ETP moyenne annuelle par des formules empiriques (Turc et Penman) ont donné 1500 mm pour le bassin de Badobar.

#### 1.2.4- Végétation

On note dans la vallée de Badobar la présence d'une végétation arborée et arbustive dont les espèces dominantes sont les suivantes:

- *Eleas guineensis*, *Parkia biglobosa*.....

### 1.3 Hydrographie

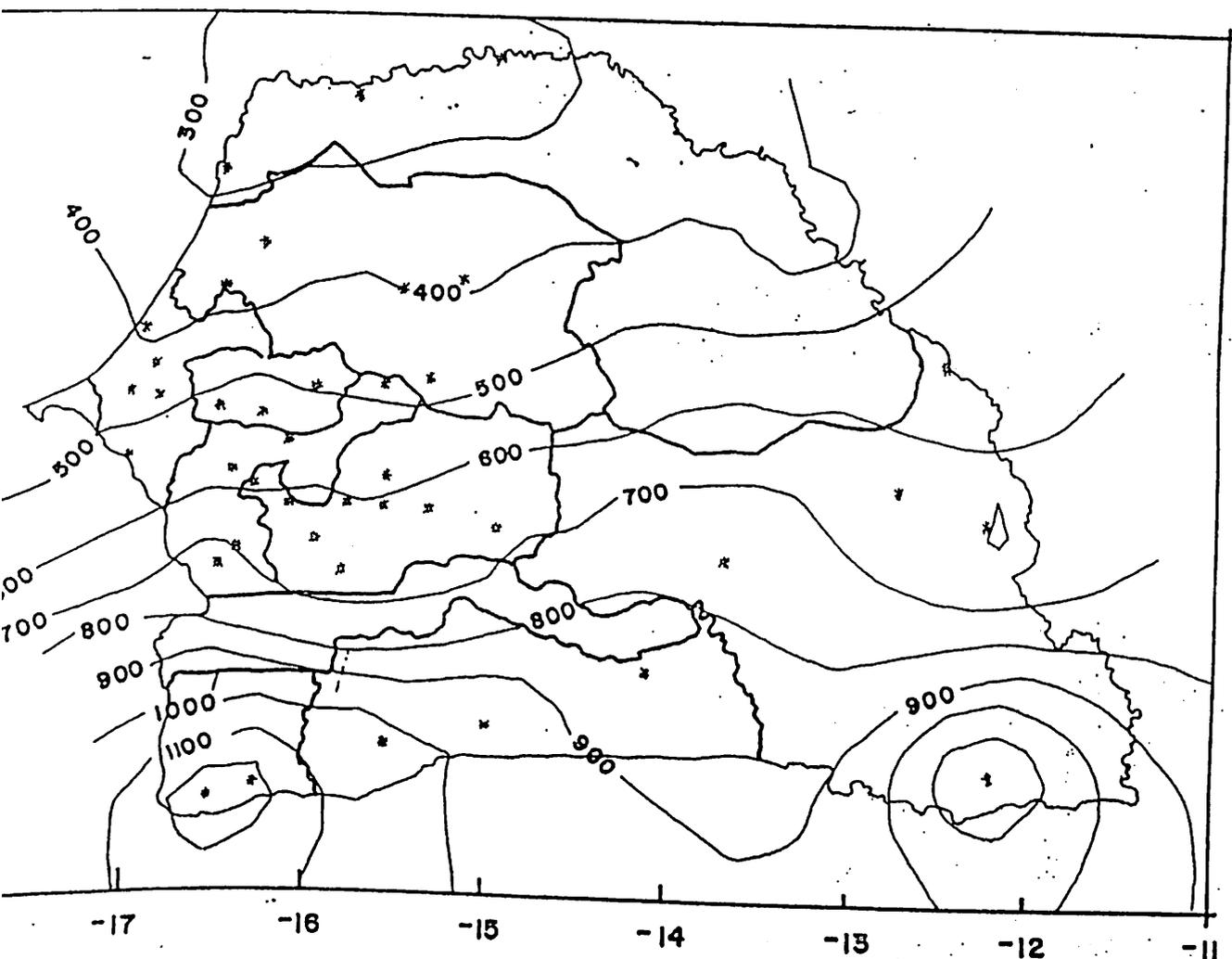
Comme toutes les vallées de la Casamance, celle de Badobar est composée de deux (2) entités distinctes :

- une zone de bas-fond où se concentrent les écoulements sporadiques pendant la saison des pluies;
- les zones périphériques : versants, terrasses et plateaux.

Ainsi, ce relief peu marqué combiné à la sécheresse de la dernière décennie ne favorisent guère un écoulement très important.

De même, les pentes faibles qui caractérisent la vallée favorisent la pénétration de la marée à partir du cours moyen du fleuve Casamance. Cette marée, se mélange aux eaux douces drainées de l'amont à l'aval de la vallée.

PLUVIOMETRIE MOYENNE 1961-90 (mm)



CE : ETUDE DES BESOINS EN EAU DES CULTURES AU SENEGAL  
SENAGROSOL - CONSULT (1992).

#### 1.4 La géomorphologie

L'histoire géomorphologique se résume en une série de transgressions et de régressions marines au niveau du fleuve Casamance et de ses principaux affluents.

Les régressions ont conduit au creusement de vallées en "doigts de gant" dans les plateaux à formation sablo-argileuse du "continental terminal".

Quand aux transgressions, elles ont permis la construction de terrasses sableuses de diverses altitudes (terrasse inférieure, moyenne et supérieure) et le remplissage des vallées par des sédiments sablo-vaseux.

Ce processus géomorphologique explique, les faibles dénivellations relevées dans la vallée et la topographie généralement plate.

Morphologiquement, la vallée présente un fond qui correspond au lit du marigot, des pentes très faibles de part et d'autre de ce fond et une tête de vallée située à Bissakal.

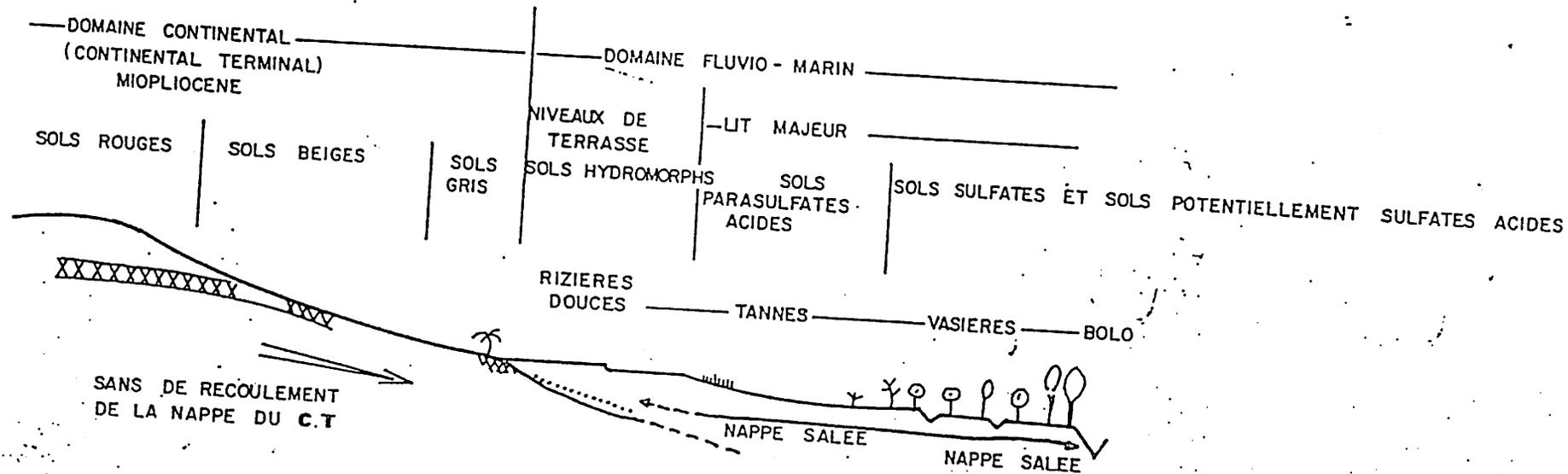
Du fond au plateau, les unités topographiques suivantes sont observées (voir la figure N°3):

- le lit majeur,
- la terrasse inférieure,
- la terrasse moyenne,
- la terrasse supérieure,
- le plateau (continental terminal).

Des ilots de zones hautes correspondant à des élévations peuvent être aussi observés au sein de la vallée.

FIGURE . N° 3

# SCHEMA D'UNE TOPOSEQUENCE CLASSIQUE TRANSVERSALEMENT AU MARIGOT



- XXXX NIVEAU CURASSE
- .... NIVEAU GRAVILLIONNAIRE
- |||| TANNE HERBACE (PASPALUM, SCIRPUS, ELEOCHARIS)
- ↓ TANNE A HALOPHYTERS ( PHYLLORAXUS, SESUVIUM )
- AVICENNIS AFRICANA + RHIZOPHORA MANGLE
- ⊥ MANGROVE DECADENTE
- ⊥ RHIZOPHORA RACEMOSES

### 1.5 La pédologie (Source : section Pédologie)

La vallée de Binako s'étend sur la rive gauche du fleuve Casamance entre :

- les longitudes Ouest : 15°26' et 15° 33'
- les latitudes Nord : 12° 31' et 12° 37'

Sur la totalité de son bassin versant, les terres basses couvrent 4150 ha dont 1000 ha de rizières inondables.

Les renseignements pédologiques, obtenus à l'issue de la reconnaissance de terrain et de l'étude des sondages à la tarière et/ou à la pelle à vase, se présentent comme suit :

#### a) Salinité et Acidité de l'Eau de Surface

Il convient de souligner que, dans l'ensemble, le paysage géomorphologique de la vallée de Binako est hétérogène avec, par endroits et successivement à travers tout le long de la vallée, des levés internes entourés d'eau. Les mesures "in situ" de la salinité (CE en ms/cm), de l'acidité (PH) et du potentiel - redox (EH en mV) de cette eau, ont donné, d'aval en amont, les valeurs suivantes :

##### Aval de la digue de Binako

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 93,2
+ Acidité (PH)	= 7,57
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 34

##### Amont de la digue de Binako

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 114,5
+ Acidité (PH)	= 4,62
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 148

##### En moyenne vallée

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 90
+ Acidité (PH)	= 6,34
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 0,18

##### A 200m en aval de la route du Sud (Ziguinchor-Kolda)

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 97
+ Acidité (PH)	= 5,48
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 0,84

Au niveau des levés internes les mesures " in situ " de la salinité, de l'acidité et du Potentiel Redox de l'eau de surface donnent les résultats suivants :

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 1-2
+ Acidité (PH)	= 8,72-9,12
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 0,69

En amont de la route du sud (Ziguinchor-Kolda) l'eau de surface indique les valeurs ci-après :

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 3
+ Acidité (PH)	= 6,09
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 0,49

#### b) Les types de sols

Dans la vallée de Binako la superficie totale des terres salées et acides est d'environ 500 ha, soit 50 % de la superficie des rizières inondables. Les types de sols dominants sont :

##### b<sub>1</sub>) Les sols hydromorphes à pseudogley d'ensemble et/ou à gleys de profondeur salés :

Ils sont fréquemment localisés sous les tannes vifs des bas-fonds et des terrasses sableuses et moyennes du lit majeur. Ils présentent un profil granulométrique argileux avec, en profondeur, des tâches de gleys. Alors l'argile devient collante et présente une consistance molle; sous ces sols, la nappe phéatique plus ou moins profonde (entre 30 cm et 1 m) est très acide avec des valeurs moyennes de :

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 93,2
+ Acidité (PH)	= 2,9
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 228

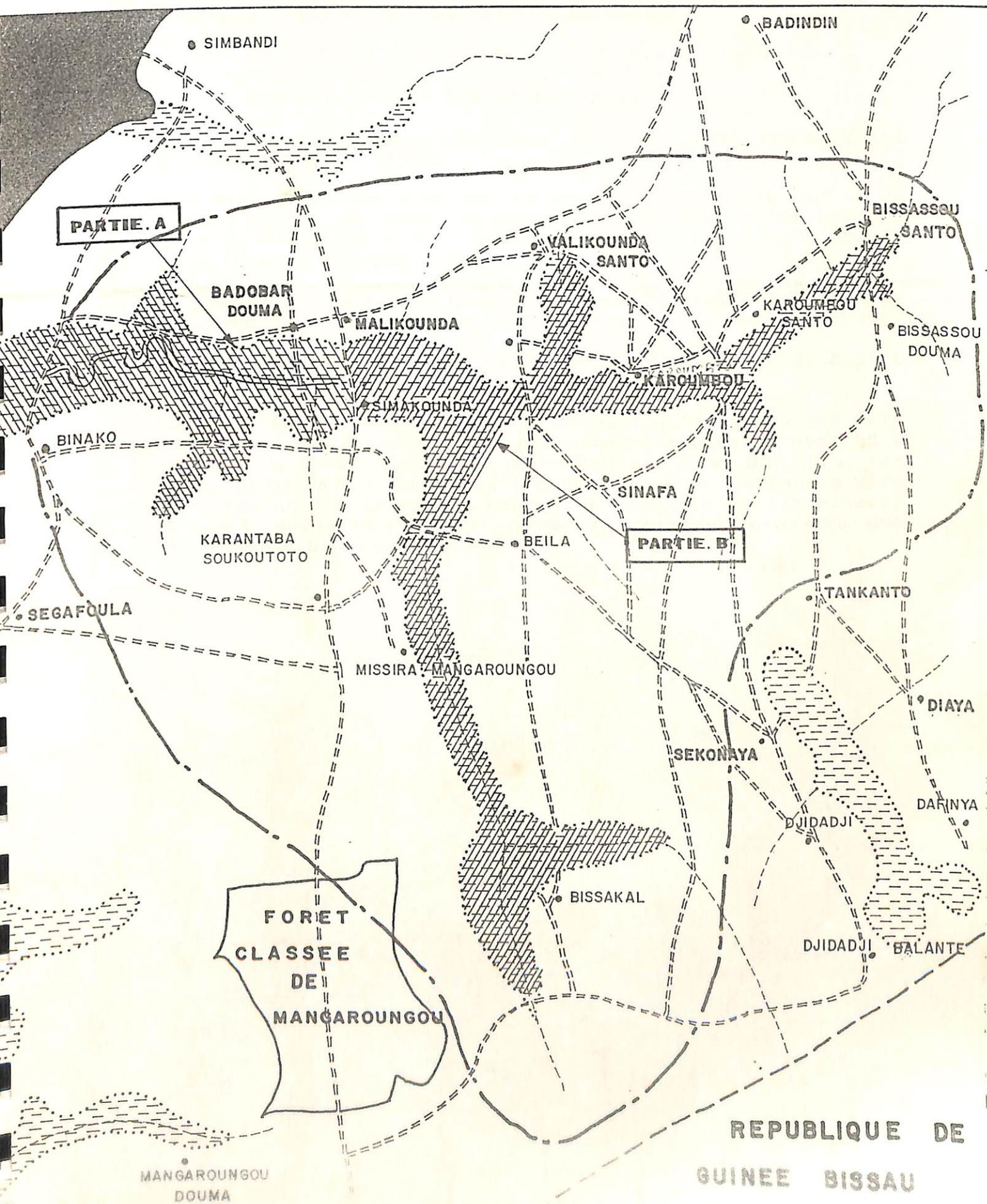
Cette salinité excessive et ce PH très acide, ont sans doute, été à l'origine de l'abandon de la riziculture, anciennement pratiquée sur ces sols, comme en attestent d'ailleurs les vestiges de diguette qu'on y voit.

##### b<sub>2</sub>) Les sols hydromorphes à pseudogleys et/ ou à gleys de profondeur peu ou pas salés :

Ils comblent les levés internes et, la plupart des drains de collature des vallons et des terrasses moyennes hors de l'influence des sels et des courants d'eau pluviaux.

Ils ont un profil granulométrique argileux avec, en profondeur des tâches rouges ou brunes évoluant en carapace ou des tâches de gleys. Toute la riziculture à l'intérieur de la vallée de Binako,

VALLEE DE BADOBAR



PARTIE A = SOLS ARGILEUX PLUS OU MOINS SALES  
PARTIE B = SOLS SABLO-ARGILEUX A LIMONO-SABLEUX

REPUBLIQUE DE  
GUINEE BISSAU

est pratiquée actuellement sur ces sols. Leur nappe phréatique, plus profonde (+1m) donne les valeurs suivantes :

+ Salinité (CE en ms/cm)	= 18,5
+ Acidité (PH)	= 3,61
+ Potentiel Rédox (EH en mV)	= 1,89

b<sub>3</sub>) Les sols peu évolués d'apport colluvo-alluvial hydromorphes.

Ils se rencontrent sous les terrasses moyennes et hautes du lit majeur, où ils abritent une association de végétation arborée et arbustive à dominance de : *Eleas guinéensis*, *Parkia biglobosa*, *Mitracyne inermis*, *Borassus flabelifera*.....

Il présentent un profil granulométrique inversé : argileux en surface (jusqu'à environ 60 cm) puis sableux ou limono-sableux.

C'est le domaine exclusif de la riziculture pluviale, à plat ou sur des micro bassins de rétention d'eau.

Des résultats sus-présentés, il ressort qu'à Binako les sols affectés par le sel, occupent une proportion importante avec 50 % de la superficie totale des rizières inondables. Parmi ces sols, les plus sales (hypersalés) sont ceux inventoriés sous les tannes vifs des bas fonds et les terrasses basses et moyennes du lit majeur, où, la nappe phréatique, plus ou moins profonde, présente une salinité moyenne excessive de 86 ms/cm.

## II. LES ETUDES PRELIMINAIRES

Les études préliminaires ont eu pour but de collecter les données de base concernant la topographie ( pour localiser et dimensionner les digues), l'hydrologie (pour dimensionner les évacuateurs de crue) et la géotechnique (localisation des zones d'emprunt et identification des sols de fondation).

### 2.1 Les levés topographiques

#### \* But des travaux topographiques

Les travaux topographiques effectués dans la vallée de Badobar ont pour objectifs principaux :

- L'établissement des plans altimétriques et planimétriques,
- La connaissance de la configuration de chaque site,
- La mise à disposition des données de base pour la définition des caractéristiques des ouvrages hydrauliques.

En vue de l'établissement des plans topographiques, des documents établis à cet effet ont été utilisés, à savoir :

- Les plans topographiques d'une bande de 20 ml de large en amont des digues existantes ou projetées à l'échelle au 1/1.000;
- Les plans topographiques en amont de cette bande sur une distance de 400 ml (profil en long sur les 400 ml et profil en travers tous les 50 m) à l'échelle au 1/2.000.

Pour ce qui est des travaux pratiques de topographie, l'ordre d'exécution sur le terrain est le suivant :

1. des levés topographiques du terrain naturel en amont des digues existantes ou projetées sur une bande de 20 ml de large avec des points levés dans l'axe et le long des bords à une équidistance de 20 mètres ( quadrillage de 20/10, échelle 1/1000 );

2. des levées topographiques du terrain naturel en amont de cette bande comprenant un profil en long sur une distance de 400 ml et des profils en travers tous les 50 m. Le long de ces profils en travers des points sont levés tous les 20 mètres ( quadrillage de 20/50, échelle 1/2500 );

3. deux (2) bornes sont installées à proximité des bandes de 20 mètres et chacune de chaque côté du lit majeur de la vallée. Ces bornes sont nivelées et rattachées entre elles grâce une borne de référence installée au niveau du village de Badobar. Cette dernière est rattachée au nivellement IGN;

4. les levés topographiques d'une superficie de 20 ha sont exécutés dans la vallée plus précisément au niveau des villages de Bissakal, Walikounda Santo. Ce levé s'effectue pour une restitution au 1/2000 ième avec des courbes de niveau dont la dénivellée entre elles est de 20 cm ( quadrillage de 20/20, échelle 1/2000 ).

côtes des Bornes installées dans la vallée

Digues	Côtes bornes (m) IGN	
	Rive droite	Rive gauche
(1.1)	6.26	3.20
(2.4)	4.31	8.71
(2.5)	7.46	13.33
(2.6)	6.97	6.67
(2.7)		

La côte de la borne de référence IGN N°6, qui se trouve au niveau du village de Soukoutoto est de : 34,71 IGN.

## 2.2 L'hydrologie

L'hydrologie concerne cinq points :

- \* les apports en eau provenant de la pluie directe,
- \* les pertes par évaporation,
- \* les pertes par infiltration,
- \* la détermination de la crue de projet,
- \* les hauteurs maximales et minimales de marée.

### 2.2.1 Les apports

Concernant les apports, on utilise le plus souvent un coefficient d'écoulement annuel qui permet la détermination du volume ruisselé en fonction de l'isohyète où l'on se trouve et de la superficie du bassin versant.

La surface du bassin versant (en amont de la digue anti-sel) est de : 170 Km<sup>2</sup>.

La vallée se trouve entre l'isohyète 1000 et 900 mm (cf carte pluviométrie moyenne 1961-90-SENAGROSOL, figure N.2)

$$\text{ainsi } V_r = 0,09 \times 0,950 \times 170 \times 10^6 = 14.535 \text{ m}^3$$

### 2.2.2 Pertes par évaporation

L'évaporation réelle est maximale au mois de Mai (322 mm) et minimale au mois de Septembre (45 mm) dans la zone de Badobar (par analogie avec la vallée de Nguindir également sous influence du cours moyen du fleuve Casamance).

### 2.2.3 Pertes par infiltration

En ce qui concerne les pertes par infiltration, on connaît assez peu de choses en détail. Néanmoins, la classification de l'ORSTOM selon les types de sols rencontrés (cf étude pédologique) nous amène à classer le bassin de Badobar dans la catégorie P4 (bassin assez perméable).

#### 2.2.4 Crue de projet

L'estimation du débit de crue est l'un des points les plus délicats lors de la conception d'une digue.

Actuellement, deux méthodes sont principalement utilisées pour estimer la valeur des débits prévisionnels :

- la plus ancienne est la méthode déterministe étudiée par l'ORSTOM qui permet, à partir d'un certain nombre de paramètres (pluie décennale, coefficient d'abattement, superficie du bassin versant, coefficient du ruissellement, temps de base, coefficient de pointe) calculés ou estimés par des abaques ou des critères de classification des différents bassins, de trouver l'hydrogramme de la crue décennale.
- celle, publiée par le CIEH, basée sur des calculs statistiques.

L'absence de chronologies de données assez importantes pour la mise en oeuvre de la seconde méthode nous amène à utiliser la première méthode qui s'établit comme suit :

$$Q_{10} = (K \times C_r \times C \times S \times P_{10}) / T_B$$

où

K = rapport débit décennal maximum sur débit décennal moyen

= 2.50 (coefficient de sécurité)

$C_r$  = coefficient de ruissellement de la pluie décennale de 24 heures (mm)

C = coefficient d'abattement

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

$P_{10}$  = Pluie décennale maximum de 24 heures (mm)

$T_B$  = Temps de base (secondes)

\* Détermination de la crue de projet (O 10 ans)

La crue de projet est la crue maximale que l'ouvrage doit être capable d'évacuer. Le passage de cette crue doit se faire sans causer à l'ouvrage de dommage qui pourrait avoir des conséquences graves. En outre, le laminage de la crue pour la retenue ne doit pas provoquer de submersion dommageable à la digue.

Fréquence de la crue de projet

La rupture éventuelle de ces digues peut certes créer des dommages, minimes d'ailleurs, mais ne pas mettre en danger des vies humaines.

Leur durée de vie, même si elles sont bien entretenues, ce qui n'est pas souvent le cas, ne peut dépasser 10 ans. Rappelons que les calculs sont basés sur une pluie qui se présente en année normale humide alors que la pluviométrie diminue significativement depuis 10 ans dans la zone du projet, ce qui nous donne encore une sécurité de plus.

Le risque minimum en cas de rupture, allié à la possibilité de sécuriser ces petits ouvrages, tout au moins pendant 10 ans, nous amène à choisir la crue décennale comme crue de projet.

Ainsi nos ouvrages seront protégés contre une crue qui est susceptible de se produire au moins une fois tous les dix ans. Les crues aux différents emplacements de digue sont renseignées dans le tableau suivant :

N. SB.	1	2	3	4	5
P10(mm)	143	143	143	143	143
S km2	170	102,92	62,17	65	55.5
C abatt.	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Classe bassin	R2P	R2P4	R2P4	R2P4	R2P4
Cr	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Vr (m3)	3464175	2097252	1266869	1324538	1130951
Tb(h)	75	60	48	50	47
Qmoy (m3)	12.83	12.58	11.40	7.36	6.68
Tm(h)					
K=Q/Qm	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Qmax(m3)	32.08	24.28	18.32	18.4	16.70

N.S.B= Numéro des sous-bassins

Remarques:

- 1 : bassin en amont de la digue anti-sel (Binako) (1.1)
- 2 : sous bassin en amont de l'axe Valikounda Douma - Sinafa (2.4)
- 3 : sous bassin en amont de l'axe Karoumbou Fouladou-Sekonaya (2.5)
- 4 : sous bassin en amont de l'axe Simakounda-Beila (2.6)
- 5 : sous bassin en amont de la digue de régulation de Missira Mangarungou (2.7).

### 2.2.5 Les marées

- La hauteur minimale est un facteur plutôt relatif à la fonctionnalité de l'ouvrage.

Maîtrisée, elle permet de situer les moments pendant lesquels on peut procéder à une vidange de la réserve, pour les besoins de lessivage.

- La hauteur maximale permet de caler la digue et le déversoir à une cote suffisante pour empêcher une submersion durant la période de stockage de l'eau douce.

L'amplitude maximale de marée relevée à partir des levés et des informations recueillies auprès des populations riveraines est de : 0,40 m.

## 2.3 La Géotechnie (matériaux d'emprunt et sols de fondation)

Les études géotechniques ont pour but de définir les caractéristiques et les comportements mécaniques et hydrodynamiques des sols, c'est à dire leur aptitude à fournir les matériaux nécessaires à la construction des digues ou à constituer des fondations suffisamment stables et imperméables.

### 2.3.1 Sols de fondation

D'une manière générale, l'horizon sableux se situe entre 0.80m et 1 m au dessous des vases ou des sols argileux. Si la cote de fond de l'ouvrage atteint l'horizon sableux, la fouille peut s'y arrêter, sinon, descendre la fouille jusqu'à 0.30m au dessous de la cote du fond de l'ouvrage puis remblayer avec du sable de bonne qualité jusqu'à la cote du fond de l'ouvrage.

### 2.3.2 Sols d'emprunt (voir le plan de localisation des ballastières volume 4).

Avant le démarrage des travaux de construction, l'étude des matériaux d'emprunt sera effectuée sur des échantillons prélevés dans les zones présumées, favorables à la fourniture des matériaux, déjà localisées dans les environs de la vallée de Badobar.

Entre autres dispositions techniques, l'étude des échantillons consiste en premier lieu à identifier les sols et à les classer. Ceux qui ne se révèlent pas aptes à la construction des digues sont éliminés. On procède ensuite à la détermination des caractéristiques mécaniques des sols retenus.

Aucune mesure n'a été réalisée sur les sites identifiés. Toutefois, les matériaux qui seront utilisés devront au préalable faire l'objet de mesure afin de répondre aux normes de compacité renseignés dans le tableau suivant :

NORMES DE COMPACTAGE

(terre et latérite)

Pourcentage retenu au tamis de 4.75 ou 5mm	Compacité Proctor Normal Minimum	Compacité Proctor Normal désirable	Teneur en eau de compactage par rapport à l'optimum
0-25	95	98	- 2 à + 2%
26-50	92.5	95	- 2 à + 2%
> 50 (1)	90	93	- 2 à + 2%

(1) Les sols contenant plus de 50 % devront être vérifiés pour leur perméabilité.

### III. CONCEPTION DE L'AMENAGEMENT

#### 3.1 Schéma de principe

Pour la vallée de Badobar, fortement influencée par le cours moyen du fleuve Casamance par lequel transite la marée avant son entrée par l'embouchure de la vallée, nous avons conçu un schéma d'aménagement global dans le but de :

- protéger la vallée contre l'intrusion de la langue salée (digue anti-sel),
- rétentionner de l'eau en vue de procéder au lessivage des sols salés en val (digue de rétention),
- réguler le plan d'eau en amont pour contrôler les débits qui s'écoulent au sein de la vallée (digue de régulation) et améliorer de ce fait l'approvisionnement en eau des rizières (par conséquent augmenter les rendements de riz).

Dans le cadre de l'aménagement global de la vallée de Badobar, le schéma ainsi conçu se présente de l'aval à l'amont selon le scénario suivant : (voir figure N°5)

(une) (1) digue anti-sel (1.1)

(une) (1) digue de rétention (1.2)

(Sept) (7) digues de régulation (2...)

- onze (11) diguettes de régulation (réparties entre les différentes digues le long de la vallée)

- des diguettes suivant courbes de niveau sur soixante (60) hectares pour améliorer la maîtrise de l'eau au niveau des parcelles rizicultivées créant ainsi des conditions d'exploitation propices à l'accroissement des rendements.

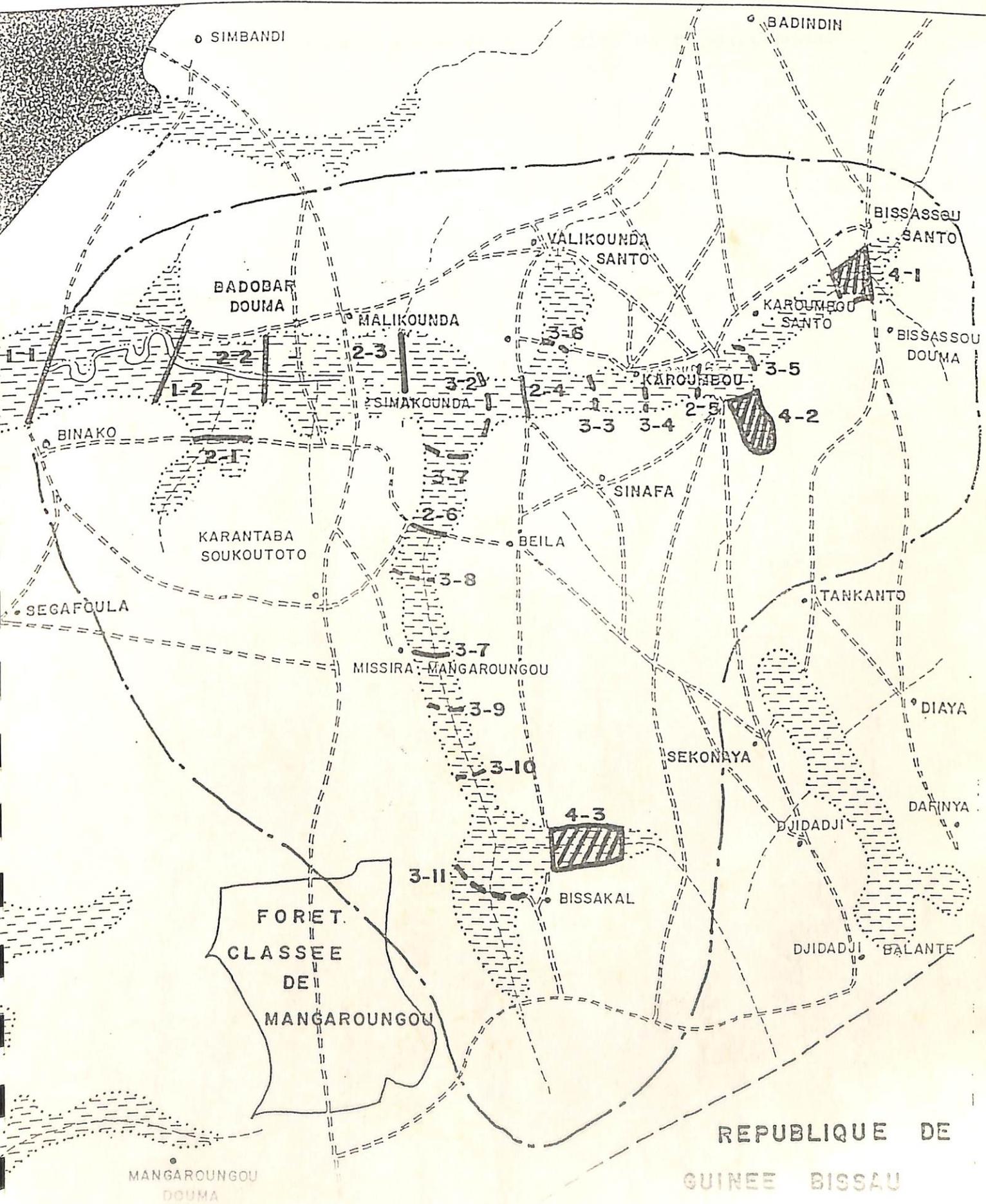
Pour des raisons essentiellement financières, une partie de ces ouvrages seront réalisés (programme essentiel). Il s'agit des ouvrages suivants:

- la digue anti-sel(1.1) de Binako

- la digue de régulation (2.4) sur l'axe Valikounda Douma-Sinafa

- la digue de régulation (2.3) sur l'axe Karoumbou Fouladou-Sekonaya

VALLEE DE BADOBAR



- la digue de régulation (2.6) sur l'axe Simakounda-Beila
- la digue de régulation (2.7) de Missira Mangaroungou.

### 3.2 Choix des sites

Au niveau strictement technique, le meilleur site pour une digue est en général un endroit qui permet d'inonder la plus grande surface de terre avec la digue la plus courte et donc la moins coûteuse.

On a choisi les emplacements où le marigot se rétrécit. En amont du rétrécissement, le bas fond est souvent évasé, argileux, et de faible pente pour permettre un large impact de l'ouvrage.

La réalisation des digues inventoriées sur le plan, tant du point de vue des caractéristiques techniques propres à chacun des sites, que de leurs avantages relatifs, au regard du plan d'aménagement de la vallée et de leur insertion dans l'environnement physique et humain, permettent de mettre en évidence le rôle majeur que joueront les ouvrages hydrauliques (digues et évacuateurs) projetés.

Ainsi se justifie davantage l'opportunité de mettre en place ces différents ouvrages aux endroits renseignés pour disposer d'un plan d'eau "en escalier" de l'amont vers l'aval, en vue d'une meilleure maîtrise de l'eau dans la vallée de Badobar.

### 3.3-Description des ouvrages

#### 3.3.1 Les digues

Les digues sont en général constituées d'un apport de remblai en terre, provenant du plateau ( des ballastières ), compactée, imperméable. Les couches de protection de la plate-forme et des talus se font de la manière suivante :

##### pour les digues anti-sel

- plate-forme et talus amont couverts d'une couche latéritique,
- talus aval couvert de moellons,

##### pour les digues de rétention

- plate-forme et talus amont et aval couverts d'une couche latéritique,

La digue barre la vallée de part et d'autre, et se repose sur les versants. Elle a une hauteur et un dispositif d'évacuation qui la mettent à l'abri de tous risques de submersion de la marée ( digue anti-sel ) ou de crue. Au niveau de la digue anti-sel, le déversoir avec à batardeaux, fermés, empêche aux eaux marines de pénétrer à l'intérieur des terres.

La majeure partie des digues projetées auront comme support d'anciennes pistes, au travers de la vallée, reliant les villages.

#### 3.3.2 Les ouvrages évacuateurs de crue

Les évacuateurs de crue sont des ouvrages d'art en béton armé. Les évacuateurs associés à la digue sont des passages busés, de 3, 4 ou 6 rangées de buses carrées, de 0.80 m de côté intérieur et de 0.10 m d'épaisseur, équipés de déversoirs en forme de "bec de canard" ou de radier submersibles avec déversoir. Ces buses posées sur un radier en béton, sont associées et complétées par des murs en retour et d'aile et par un tablier de pont, équipé de petits parapets.

### 3.3.3 Les déversoirs

Les déversoirs sont :

- soit, des murets en béton armé, élevés à partir d'une semelle de fondation enfouie dans le sol. Ces déversoirs, en forme de "bec de canard", sont solidaires des ouvrages évacuateurs sur lesquels ils viennent se refermer, au niveau des murs en retour ( passage busé ).

- soit, des murets en béton armé, élevés à partir d'une dalles de fond qui viennent se refermer sur les rampes d'accès. (radier submersible).

Ces déversoir en forme de "bec de canard" ont pour avantage principal de remplir leur fonction hydraulique du point de vue de la longueur nécessaire pour un débit et une charge hydraulique donnés sans occuper d'espace le long de la digue.

Compte tenu de la stratification sel (eau plus chargée au fond), une vidange de fond est aussi assurée par des batardeaux à manipuler.

### 3.3.4 Les vannes à batardeaux

Dans les murets des déversoirs, sont pratiquées des ouvertures à glissières de forme rectangulaire. Dans les glissières, coulissent des vannes à batardeaux, constituées de planches en bois, renforcées par des cadres métalliques.

### 3.3.5 Les aires de croisement

Etant donné les longueurs des digues projetées ( 550 m en moyenne ), il est prévu des aires de croisement, celles-ci étant destinées à permettre, à certain endroit, le croisement des charrettes.

### 3.4 La fiche technique de l'ouvrage

Aux termes des travaux, une fiche technique donnant les caractéristiques de chaque ouvrage par vallée sera établie.

Cette fiche technique, dont le modèle figure en annexe 1, donnera succinctement les données générales de base sur la conception de l'ouvrage et les caractéristiques définitives de sa réalisation.

Nous entendons par ouvrage, l'ensemble intégrant à la fois les travaux de terrassement et de génie civil constituant la digue.

Ces fiches ont pour objectif essentiel; la constitution d'une banque de données ouverte à tous les projets et institutions oeuvrant dans la zone et souhaitant obtenir des informations complètes et concises sur les ouvrages réalisés par le PROGES.

## ANNEXE 1

# LA FICHE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

FICHE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE (N° .....)

DESIGNATION. . . . . . DESTINATION. . . . . .

REALISE EN : . . . . .

Description succincte :

CARACTERISTIQUES	DONNEES	REMARQUES
- Vallée concernée		
- Alimentée par		
* Affluent de		
- Localisation sur		Carte / Plan N°
- coordonnées géographiques		
- Distant de	Km	Entité administrative la plus proche (ou village)
-		
-		
-		

<p><b><u>ETUDES</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Importance des marées</li> <li>- Batillage</li> <li>- Volume nécessaire pour le lessivage</li> <li>- Débit de crue (de projet)</li> <li>- Surface B.V</li> <li>- Charge sur seuil - crue de projet</li> </ul>		<p>( Sources )</p> <p>m3, tous les.....</p> <p>Qp m3 / seconde (Formule de .....)</p> <p>Km2 (Précision)</p>
--	--	--

<u>IDENTIFICATION</u>		
- Type de digue		Nature
- Hauteur Max. au dessus du T.N	m	(*)
- Longueur en crête	m	Lc
- Fruits des parements		
* Amont		H / V
* Aval		H / V
- Protection parements		Nature (matériaux) et épaisseur (cm)
* Amont		
* Aval		
- Bajoyers		Nature
- Largeur en crête	m	
- Volume digue		Par matériau
*	m3	
*	m3	
- Hauteur revanche	m	/ Seuil déversoir
- Niveau normal de l'eau	m	NNE
- Niveau plus hautes eaux	m	NPHE
- Cote crête	m	(Cote T.N + *)
- Type de chaussées (digue piste)		Revêtement (épaisseur et pente)
- Système de vannage		Matériau
* Commande		
* Emplacement		
* Dimensions	m	
* Compension		
- Présence d'un écran		
* Etanche	m	
* Profondeur	m	
* Largeur		

<p><b><u>OUVRAGES ANNEXES</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Déversoir <ul style="list-style-type: none"> <li>* Cote crête</li> <li>* Cote T.N</li> <li>* cote fondation</li> <li>* Longueur</li> </ul> </li> <li>- Passages sur digue <ul style="list-style-type: none"> <li>* Buses</li> <li>* Dallots</li> </ul> </li> <li>- Radier submersible avec déversoir</li> <li>- Chenaux de raccordement <ul style="list-style-type: none"> <li>* Longueur</li> <li>* Section</li> <li>* Plafond</li> <li>* Pente en long</li> <li>* Inclinaison talus</li> <li>* Profondeur</li> </ul> </li> <li>- Voies d'accès <ul style="list-style-type: none"> <li>* Longueur</li> <li>* Gabarit</li> <li>* Types</li> </ul> </li> </ul>	m	<p style="text-align: center;">Ld</p> <p>Cote radier / T.N + dim. Id.</p> <p>Cote / T.N Cote crête / T.N + long.</p> <p>Rives gauche et droite</p>
<p><b><u>DONNEES AGRONOMIQUES</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Salinité</li> <li>- Cultures</li> <li>- Végétation spontanée</li> </ul>		

