

8L12A8/5B

161.A

ok/Nm

NATIONS UNIES

**ETUDE DE PREINVESTISSEMENT POUR LA
REGULARISATION DU FLEUVE SENEGAL**

**PROJET D'UN SYSTEME DE CONTROLE DES
DEBITS DANS LE BASSIN DU HAUT-SENEGAL**

VOLUME 1 A

RAPPORT GENERAL

**SENEGAL-CONSULT
SUISSE**

**SOCIETE GENERALE POUR L'INDUSTRIE, Genève
ELECTRO-WATT INGENIEURS-CONSEILS S. A., Zurich
MOTOR-COLUMBUS INGENIEURS-CONSEILS S. A., Baden
ZINDER INTERNATIONAL LTD., New York**

1970

Table des matières

	<u>Page</u>
1. <u>INTRODUCTION</u>	1 - 1
2. <u>GENERALITES</u>	
2.1. Etudes antérieures	2 - 1
2.2. Etendue et objectifs des études en cours	2 - 4
2.3. Objectifs des études réalisées par SENEGAL-CONSULT	2 - 6
2.3.1. Etat actuel et développement possible de l'agriculture	2 - 7
2.3.2. Etat actuel et possibilités d'amélioration de la navigation sur le fleuve	2 - 9
2.3.3. Contrôle de la crue	2 - 10
2.3.4. Possibilités de production et de consommation d'énergie	2 - 10
2.3.5. Objectifs spécifiques de l'étude de régularisation	2 - 11
2.4. Déroulement des études de SENEGAL-CONSULT	
2.4.1. Organisation de SENEGAL-CONSULT	2 - 12
2.4.2. Adjudication du mandat et début des études	2 - 13
2.4.3. Etudes sur le terrain	2 - 14
2.4.4. Etudes au siège	2 - 21
3. <u>LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL</u>	
3.1. Généralités	
3.1.1. Situation géographique	3 - 1
3.1.2. Demographie	3 - 2
3.1.3. Communications	3 - 4
3.1.4. Economie	3 - 6

	<u>Page</u>
3.2. Géographie	
3.2.1. Situation	3 - 8
3.2.2. Morphologie générale	3 - 10
3.2.3. Affluents du fleuve Sénégal	3 - 10
3.2.4. Profil en long du fleuve Sénégal	3 - 13
3.3. Topographie	3 - 15
3.4. Géologie générale	
3.4.1. Introduction	3 - 17
3.4.2. Morphologie	3 - 17
3.4.3. Unités géologiques	3 - 18
3.4.4. Tectonique	3 - 21
3.4.5. Le bassin du Sénégal	3 - 22
3.4.6. Le bassin de la Falémé	3 - 23
3.4.7. Le bassin du Bafing	3 - 23
3.4.8. Le bassin du Bakoye	3 - 24
3.4.9. Le bassin de la Baoulé	3 - 25
3.5. Météorologie et climatologie	3 - 26
3.6. Hydrologie	3 - 28
3.7. Morphologie du fleuve	3 - 31
3.8. Végétation et déboisement	3 - 32
4. <u>BASES DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES</u>	
4.1. Généralités	4 - 1
4.2. Bases techniques	
4.2.1. Principes généraux	4 - 2
4.2.2. Bases de dimensionnement des barrages	4 - 3
4.2.3. Bases de dimensionnement des ouvrages annexes	4 - 5

	<u>Page</u>
4.2.4. Bases de dimensionnement des centrales hydro-électriques	4 - 6
4.3. Bases économiques de dimensionnement	
4.3.1. Prix unitaires pour les travaux de génie civil	4 - 8
4.3.2. Prix des équipements électriques et mécaniques	4 - 19
4.3.3. Estimation du coût de reconstruction des villages	4 - 20
4.3.4. Coût de construction et investissement total	4 - 23
4.3.5. Charges annuelles	4 - 26

Liste des annexes

- 1.01 Carte générale
- 1.02 Bassin du fleuve Sénégal, carte physique et pluviométrique
- 1.03 Profil en long et caractéristiques du Bafing et du Bakoye
- 1.04 Profil en long et caractéristiques de la Falémé et du Sénégal
- 1.05 Carte géologique générale
- 1.06 Haut-Bassin, réseau climatologique
- 1.07 Caractéristiques hydrologiques du bassin du fleuve Sénégal
- 1.08 Haut-Bassin, réseau hydrométrique
- 1.09 Evaporation moyenne annuelle des stations sélectionnées
- 1.10 Températures moyennes dans le Bassin du Sénégal
- 1.11 Périodicité des fleuves Sénégal et Niger
- 1.12 Caractéristiques hydrauliques à Bakel 1969
- 1.13 Prévision des crues à Bakel
- 1.14 Apports solides en suspension à Kayes, année 1968

Chapitre 1

INTRODUCTION

1. INTRODUCTION

La planification du développement d'une région traversée par un grand fleuve comme le Sénégal doit être conçue en vue d'un objectif final tenant compte dans la mesure du possible de tous les aspects du développement potentiel tant économique que social de la région intéressée. La conception de l'aménagement intégral d'un tel territoire doit rechercher les moyens permettant à l'homme d'acquérir la maîtrise du fleuve pour qu'il puisse en retirer un bénéfice aussi important que possible pour accroître son bien-être et celui des habitants des régions avoisinantes.

A plusieurs reprises des études d'aménagement intégral du bassin du fleuve Sénégal ont été amorcées au cours des dernières décennies mais ce n'est qu'en 1963 que des investigations plus ambitieuses ont débutées. Une mission des Nations Unies a été chargée de définir l'envergure des études à réaliser dans tous les domaines intéressés par l'aménagement intégral du territoire dont l'une des plus importantes concernait la régularisation du fleuve Sénégal.

A la suite de ces travaux préparatoires les Nations Unies, agissant au nom du Comité Inter-Etats remplacé entre temps par l'Organisation des Etats Riverains du fleuve Sénégal, OERS, et groupant les représentants de la Guinée, de la Mauritanie et du Sénégal, ont confié à la communauté d'ingénieurs pour l'aménagement du fleuve Sénégal (SENEGAL-CONSULT) l'étude de régularisation du fleuve Sénégal par le contrat 52/67 du 3 juillet 1967. L'étude de régularisation était initialement subdivisée en deux mandats distincts à savoir :

- L'étude du préinvestissement pour la régularisation du fleuve Sénégal et
- le projet d'un système de contrôle dans le bassin du Haut-Sénégal

SENEGAL-CONSULT est un groupement formé des quatre bureaux d'ingénieurs-conseils suivants :

- Société Générale pour l'Industrie, Genève, Suisse
- Electro-Watt Ingénieurs-Conseils S.A., Zurich, Suisse
- Motor Columbus Ingénieurs-Conseils S.A., Baden, Suisse
- Zinder International Ltd, New-York, USA

Les études qui ont débuté dès la signature du contrat étaient divisées en deux phases dont l'achèvement était marqué par la remise d'un rapport intermédiaire d'une part et d'un rapport final d'autre part. La majeure partie

des prospections sur le terrain concernait la première phase des études et comprenait l'établissement des cartes topographiques des réservoirs et des sites de barrage, une campagne géologique et une campagne hydrologique portant sur plusieurs années. La plus grande partie des travaux sur le terrain a été réalisée entre novembre 1967 et juin 1968. Ces missions se sont poursuivies jusqu'en janvier 1970 dans le but de récolter des données supplémentaires pour le rapport final et ceci en particulier dans le domaine de l'hydrologie.

Le rapport intérimaire marquant l'achèvement de la première phase des études avait pour but principal de permettre la sélection par les Nations Unies

- du ou des sites sur le fleuve Sénégal entre Bafoulabé et Kayes se prêtant le mieux à la réalisation d'un grand bassin de régularisation;
- des sites dans les bassins versants des quatre affluents les plus importants du fleuve Sénégal susceptibles de permettre la création de retenues servant à la régularisation du fleuve Sénégal et à la production d'énergie hydro-électrique.

En raison de circonstances indépendantes de la volonté de SENEGAL-CONSULT, il n'avait pas été possible de procéder aux reconnaissances des emplacements de barrages situés en territoires guinéen en même temps que ceux situés au Mali et au Sénégal. C'est la raison pour laquelle le rapport intérimaire de SENEGAL-CONSULT a été remis aux Nations Unies sous forme de deux rapports distincts dont le premier ne concernait que les sites de barrage situés hors du territoire guinéen.

Les reconnaissances et les prospections en Guinée ont pu être réalisées à partir du mois de décembre 1968, de sorte qu'il a été possible à SENEGAL-CONSULT de procéder aux études nécessaires sur place pour dresser l'inventaire des sites où des retenues d'une certaine importance pourraient être réalisées. Il convient toutefois de relever que les prospections en Guinée ont dû être brusquement interrompues le 26 mars 1969 sur ordre du gouvernement. SENEGAL-CONSULT n'a ainsi pas eu la possibilité de rassembler tous les éléments qui lui auraient été nécessaires pour porter sur les sites guinéens un jugement de même qualité que sur les autres sites retenus au Mali.

La première partie du rapport intérimaire a été remise aux Nations Unies en décembre 1968 et le complément consacré au Bafing supérieur en août 1969.

Les conclusions de la première phase des études et par conséquent des deux rapports intérimaires recommandaient de retenir pour la régularisation du fleuve Sénégal les bassins d'accumulation de Galougo, Manantali, Goubassi et Boureya. Elles recommandaient en outre d'envisager la réalisation du Felou et de Petit Gouina pour accroître la production d'énergie dans le cadre de l'aménagement du fleuve Sénégal.

Ces recommandations ayant reçu l'approbation des Nations Unies, SENEGAL-CONSULT a entrepris la deuxième phase de ses études, consistant à définir la combinaison et la dimension optimum de chacun des ouvrages à réaliser sur le fleuve Sénégal pour assurer la régularisation des débits de ce dernier.

Les résultats de ces études font l'objet du rapport final de SENEGAL-CONSULT dont le présent volume 1-A est consacré aux généralités. L'étude de synthèse fait l'objet du volume 1-B et l'analyse détaillée des différentes études réalisées est présentée dans les volumes no 2 à 9. Ces différents volumes sont consacrés aux points suivants :

- a) Données de base, à savoir : topographie, hydrologie, économie et géologie
- b) optimalisation de la régularisation et de la production d'énergie
- c) description des projets des aménagements prévus pour la régularisation
- d) description des projets des aménagements non retenus.

Chapitre 2

GENERALITES

2. GENERALITES

2.1. Etudes antérieures

Depuis une centaine d'années et tout spécialement durant le dernier demi-siècle, le bassin du fleuve Sénégal a fait l'objet d'un grand nombre d'études qui sont le fait principalement de pionniers, de savants et d'ingénieurs français. Le nombre des livres, des monographies, des études et des articles qui ont été publiés sur le bassin du fleuve Sénégal est tel qu'ils remplissent déjà de nombreux rayons dans les bibliothèques spécialisées.

De la première phase de ces études, SENEGAL-CONSULT a procédé à l'examen de tous les documents qu'il lui a été possible de récolter et a constitué une bibliographie comprenant tous les thèmes directement ou indirectement en relation avec l'étude de régularisation mais concernant principalement la géologie, l'hydrologie et la régularisation du fleuve. Cette bibliographie comprend un total d'environ 2500 titres.

Une grande partie de cette documentation a pu être trouvée dans les archives de la Mission d'Aménagement du Fleuve Sénégal (MAS) à Saint-Louis du Sénégal. D'autres publications et informations ont en outre été recueillies à Dakar, Mouakchott, Bamako et Kati ainsi qu'à Paris et à New York. Parmi les études consacrées au fleuve Sénégal, il convient de mentionner les plus importantes qui ont précédé directement les investigations présentées dans ce rapport. Il s'agit des études suivantes :

- "Régularisation et aménagement du fleuve Sénégal", quatre rapports de la mission qui s'est rendue dans le bassin du fleuve Sénégal en janvier et février 1949, par Messieurs G. Drouhin, M. Gautier, G. Aubert et M. Rossin.
- "Nouvelles propositions pour l'aménagement du fleuve Sénégal", MAS, Saint-Louis, Juin 1955. Cette étude comprend 14 rapports qui ont été soumis au Gouvernement Français.
- "Barrage du Haut Sénégal, mission d'études de février 1955" rapport général par A. Coyne et J. Bellier, ingénieurs-conseils, Paris 1956.
- Rapport de la mission des Nations Unies pour l'étude du bassin du fleuve Sénégal (1963) par Messieurs F. de Macedo Soares Guimaraes, J. Binet, C. le Bourgeois, E. Christoffel, G. Dekker, C. Ferguson, M. Roblot, M. Cassé, M. Roche.
- "Considérations sur la création de la retenue de régularisation et de la centrale hydro-électrique sur le fleuve Sénégal dans la région de Gouina (Mali)" par N.N. Kuznetsov, chef d'un groupe d'experts russes (1963).

- "Monographie Hydrologique du Fleuve Sénégal" par C. Rochette, ORSTOM, Paris 1965-68.
- "Hydrologie du Bassin du Sénégal à l'amont de Bakel, Etude des crues 1965-1966-1967, Campagne hydrologique 1967" par G. Jaccon, O. Djingandé, G. Koi-ta (février 1968).

Le massif montagneux du Fouta Djalou, dans lequel le principal affluent du fleuve Sénégal prend sa source et qui constitue ainsi l'origine de ce fleuve, a fait l'objet ces dernières années de nombreuses et importantes études consacrées principalement aux thèmes suivants :

- Géographie, topographie
- Géologie, morphologie, pédologie, érosion et protection des sols
- météorologie, hydrologie
- Ecologie, végétation, agriculture, zoologie et élevage
- Ethnologie, démographie, droit foncier et statistique
- Economie, développement industriel, évolution sociale et enseignement etc.

Parmi tous les ouvrages consacrés au Fouta Djalou et au Bafing, principal affluent du fleuve Sénégal, seuls les plus importants sont cités dans la liste donnée ci-dessous :

- L'ouvrage du chercheur très connu J. Richard-Molard résume les études effectuées entre 1940 et 1950, consacrées au massif du Fouta Djalou et à sa population (Présence Africaine No 15, Paris)
- L'étude des caractéristiques hydrologiques du bassin du Haut Bafing a pu être réalisée grâce aux données récoltées depuis 1920 environ par le Service de la Météorologie Nationale et grâce aux cartes à l'échelle 1 : 200 000 levées par l'Institut Géographique National (IGN). Le Service de la Conservation des Sols à Mamou, fondé en 1950, s'occupe dans le Fouta Djalou des mesures contre l'érosion, de l'aménagement agricole et forestier, ainsi que de l'hydrologie des cours d'eau. M. Ramette, 1955/56, a tiré dans les rapports d'activité de la subdivision de l'hydraulique fluviale de très intéressantes conclusions des mesures hydrologiques effectuées jusqu'à cette date.
- En 1950, Electricité de France (EdF) a procédé à une prospection des ressources hydro-électriques de la Guinée et a publié un inventaire des chutes d'eau. Pour le haut bassin du fleuve Bafing, EdF avait retenu 6 sites d'usine, à savoir Bafing-Kaga, Ditinn I et II, Tené, Tougué et Boureya.
- La Compagnie des Techniques Hydrauliques et Agricoles (COTHA) a procédé en 1955 à une étude consacrée à l'aménagement hydraulique des terres du bassin de la Kollou, un affluent de la Kioma, elle-même affluent du Bafing. Le rapport de juin 1956 contient un nombre considérable de résultats d'études météorologiques et hydrologiques relatives

à ce bassin.

- Une mission d'ingénieurs bulgares de Technoexport, Sofia, a étudié entre janvier et avril 1961 les possibilités d'aménagement hydro-électrique dans le bassin du Bafing et a publié à ce sujet un rapport techno-économique "Possibilités d'utilisation des ressources hydro-énergétiques du fleuve Bafing", Conakry, février-avril 1961. Ce rapport de 85 pages et qui sera cité par la suite sous la dénomination de "Rapport bulgare" propose en plus des aménagements déjà repérés par EdF un certain nombre de solutions, dont la réalisation ne semble cependant possible que si certaines hypothèses quelque peu optimistes faites par les auteurs du projet se réalisent. Ce rapport a fait en 1963 l'objet d'une expertise par J. H. Edelman, publiée sous le titre "Les problèmes hydrauliques en Guinée" de la Mission de l'Organisation de l'Assistance Technique des Nations Unies auprès du gouvernement de la Guinée.
- Au cours de la troisième conférence inter-africaine des sols, organisée par la Commission de la Coopération Technique en Afrique (CCTA) au sud du Sahara - Lagos, et tenue à Dalaba du 2 au 12 novembre 1959, la délégation guinéenne avait fait état des intentions de son gouvernement d'entreprendre une action dans le massif montagneux du Fouta Djallon. Elle avait rapporté en particulier le désir des autorités guinéennes de réaliser l'aménagement de ce massif en vue de contrôler les eaux et de régulariser leur régime. Une telle action devait avoir des répercussions sur le régime des eaux dans les pays alimentés par les rivières issues du Fouta Djallon. Des études furent entreprises par la suite dans les domaines de l'écologie, de la pédologie et de l'agriculture (Rapport de la mission CCTA-FAMA sur les hauts plateaux du Fouta-Djallon, Guinée, 1961-1962).
- Peu après, en 1962-1963, une mission des Nations Unies pour l'étude du bassin du fleuve Sénégal procéda à des études sur l'aménagement de ce bassin, parmi lesquelles certaines consacrées également aux possibilités offertes par le haut bassin du Bafing.
- Le rapport publié par le Comité Inter-Etats pour l'aménagement du bassin du fleuve Sénégal, Saint-Louis, mars 1966, dans le cadre de l'étude de pré-investissements et réalisations-pilotes en vue de la mise en valeur du Fouta-Djallon, donne également de très nombreux renseignements relatifs aux aspects divers du développement agricole et de l'utilisation du Fouta Djallon.

2.2. Etendue et objectifs des études en cours

Les états riverains du fleuve Sénégal c'est-à-dire la Guinée, le Mali, la Mauritanie et le Sénégal ont défini d'un commun accord une politique générale pour l'aménagement du bassin du fleuve Sénégal. Un Comité Inter-Etats a été fondé en 1964 pour l'application de cette politique. Cet organisme qui a pris par la suite le nom d'Organisation des Etats Riverains du fleuve Sénégal (OERS) a déclaré lors de sa réunion des 20 et 21 août 1964 que la politique d'aménagement général du bassin du fleuve Sénégal devait avoir pour objectif :

- Le développement agricole
- La production d'énergie et le développement industriel
- L'amélioration des conditions de navigabilité

Pour atteindre ces objectifs, la régularisation du débit du fleuve Sénégal et de ses affluents était indispensable.

Une telle régularisation ne peut être réalisée que par la création de bassins d'accumulation très importants dans le bassin supérieur du fleuve Sénégal complété en outre par la mise en place de barrages dans la vallée et le delta du fleuve Sénégal. Les Nations Unies et ses organismes spécialisés, en particulier l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), agissant avec l'accord de l'OERS ont entrepris différentes études comme premier pas vers la réalisation de cette politique. Ces études sont exécutées sur la base d'une part des renseignements récoltés par la mission des Nations Unies de 1963 et d'autre part des requêtes formulées par l'Organisation des Etats Riverains du fleuve Sénégal.

Les études terminées ou en cours en 1970 sont les suivantes :

- Le projet hydro-agricole traitant des possibilités de développement agricole dans la vallée du fleuve Sénégal et tout particulièrement de la possibilité d'une transition graduelle de l'agriculture de décrue, actuellement appliquée, à l'agriculture par irrigation.
- Le projet de régularisation du fleuve Sénégal, étude dont a été chargé SENEGAL-CONSULT et qui fait l'objet du présent rapport.
- L'étude du projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du Haut-Sénégal dont SENEGAL-CONSULT a également été chargé et qui est aussi traitée dans le présent rapport.
- L'étude de navigabilité et d'aménagement des ports qui analyse les conditions techniques et économiques requises pour accroître l'importance du transport fluvial sur le fleuve Sénégal entre Kayes au Mali et l'océan à Saint-Louis du Sénégal. Cette étude comprend entre autres les

recherches de base nécessaires à l'étude future d'un nouveau port de mer à Saint-Louis.

- Le projet de recherches agronomiques de la FAO.

D'autres études sont encore dans leur phase préparatoire. Il s'agit en particulier :

- La seconde phase du projet hydro-agricole comprenant l'installation de casiers-pilotes.

- L'étude de l'aménagement de la région du Fouta Djallon.

- L'étude du développement minier et industriel.

- Le projet d'aménagement de la région des savanes.

- Ainsi que d'autres études principalement d'importance locale.

Il est évident que toutes ces études sont étroitement liées entre elles non seulement du fait qu'elles concernent plus ou moins la même entité géographique mais encore en raison du fait que les possibilités de réalisation technique et économique d'un projet dépendent toujours de celles des autres projets.

Ainsi par exemple la rentabilité de la régularisation du fleuve Sénégal dépend fortement des résultats de l'étude du développement minier et industriel.

En effet, seule l'implantation d'une industrie importante pourra créer la demande suffisante pour l'énergie qui pourra être produite grâce aux barrages envisagés dans le haut bassin. Il est toutefois très probable qu'une telle industrie ne pourra se développer que s'il peut être démontré que de grandes quantités d'énergie à bon marché peuvent être produites. Cette vente d'énergie devra cependant contribuer au financement des barrages qui permettront alors d'assurer un débit régularisé dans le fleuve Sénégal à des conditions financières acceptables aussi bien pour l'irrigation que pour la navigation.

2.3. Objectifs des études réalisées par SENEGAL-CONSULT

L'étude qui fait l'objet du présent rapport était initialement conçue sous la forme de deux études distinctes l'une de l'autre, à savoir :

- Etude de préinvestissement pour la régularisation du fleuve Sénégal concernant le cours supérieur du fleuve Sénégal entre Bafoulabé et Kayes.
- Projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du haut Sénégal concernant les quatre affluents principaux du fleuve Sénégal, c'est-à-dire la Falémé, le Bafing, le Bakoye et la Raoulé.

L'objectif immédiat des deux études susmentionnées est de fournir des données techniques et économiques concernant la régularisation progressive des débits du fleuve Sénégal à Bakel en aval de la confluence du Sénégal avec la Falémé. Cette régularisation a en elle-même les objectifs principaux suivants :

- Garantir dans le lit du fleuve Sénégal en aval de Bakel un débit et une distribution de celui-ci au cours de l'année tel qu'il soit possible de couvrir les besoins de l'agriculture par irrigation dans la vallée du fleuve Sénégal aussi bien en Mauritanie qu'au Sénégal
- garantir un débit minimum permettant d'assurer dans la phase finale de l'aménagement du territoire la navigabilité sur le fleuve Sénégal entre l'océan et Kayes pendant la majeure partie de l'année
- rendre possible la production d'une quantité suffisante d'énergie à bon marché susceptible d'alimenter d'importantes industries à créer dans le haut bassin du fleuve Sénégal en particulier au Mali et en Guinée
- assurer un contrôle adéquat des crues
- repousser la langue d'eau salée remontant actuellement le fleuve durant la saison sèche jusqu'à un point situé à 200 km en amont de l'embouchure du fleuve dans l'océan
- protéger et éventuellement améliorer la pisciculture et la pêche.

Chacun de ces objectifs principaux sera commenté dans les paragraphes suivants.

Le but principal du rapport final de SENEGAL-CONSULT est d'une part de dresser l'inventaire du plus grand nombre possible d'éléments et de données concernant la régularisation du fleuve Sénégal et d'autre part de les commenter et de les analyser. Il est en effet indispensable de chercher à préciser l'interdépendance des différents facteurs de manière à permettre la réduction du nombre énorme des paramètres entrant en ligne de compte lors-

que le problème de l'aménagement du territoire est considéré dans son ensemble.

2.3.1. Etat actuel et développement possible de l'agriculture

On peut considérer qu'actuellement la superficie disponible pour l'agriculture s'élève, dans le bassin du fleuve Sénégal en aval de Bakel, à environ 640 000 ha; il s'agit de 510 000 ha dans la zone dénommée Vallée, c'est-à-dire entre Bakel et Dagana et 130 000 ha dans la région dénommée Delta, c'est-à-dire en aval de Dagana. A l'heure actuelle, la surface réellement cultivée est d'environ 270 000 ha. La superficie de la zone cultivée en décrue est en moyenne de 130 000 ha; elle varie en effet entre 80 000 ha au minimum et 180 000 ha au maximum (1). Sur la surface restante, c'est-à-dire sur 90 000 à 190 000 ha, est pratiquée la culture en sec, c'est-à-dire qu'elle n'utilise que les faibles précipitations qui arrosent ces terrains et qui représentent environ 700 mm par an dans la région de Bakel et env. 300 mm par an dans la région du Delta.

Entre 1950 et 1960, les produits suivants étaient cultivés dans la Vallée et le Delta :

Tableau 2-1 : Production agricole dans la Vallée et le Delta (2)

Genre de culture	Surface cultivée ha	Rendement kg/ha	Production annuelle t
riz	6 000	500 à 3 000	16 800
sorghum	113 000	500 à 600	62 000
millet	96 000	300 à 400	34 000
blé	12 000	750	9 000
fonio	1 000	250	250
arachides	15 000	400	6 000
tubercules	4 000	2 500	10 000
divers	21 000		

(1) Voir "Nouvelles propositions pour l'aménagement du fleuve Sénégal" (1955), chapitre VI, Fig VI-I

(2) MM. Roblot et Cassé, Agronomic Report, U.N. Mission for the Study of the Senegal River Basin, 1963, p. 110

Le rendement agricole actuel est relativement bas. Il pourrait atteindre un multiple de la valeur actuelle par l'application de méthodes de culture adéquates, en particulier grâce aux irrigations. A longue échéance, la culture intensive du riz, du maïs et d'autres céréales de plus grande valeur que le millet et le sorghum sera l'objectif principal du développement agricole. Même la culture du coton, en dépit des résultats négatifs obtenus dans plusieurs casiers-pilotes, comme celle des légumes dans le Delta, pourrait être envisagée.

L'élevage d'animaux pourrait très probablement être amélioré jusqu'à ce qu'il atteigne un niveau quasi industriel.

En 1963, une estimation de l'effectif des troupeaux existant dans la Vallée et le Delta a été effectuée. Les résultats de ce recensement sont indiqués ci-après :

Tableau 2-2 : Animaux existants dans la Vallée et le Delta (3)

Animaux	Nombre de têtes de bétail
Bovins	1 230 000
Chèvres et moutons	1 375 000
Chevaux	6 000
Anes	56 000
Chameaux	42 000

Les premières hypothèses de la mission FAO tiennent compte d'un développement de très longue haleine. Pour les premières étapes concernant des surfaces de 60 000 à 150 000 ha à irriguer dans la Vallée Basse du fleuve Sénégal, le débit moyen annuel requis à Bakel pour cette irrigation est estimé à 60 à 150 m³/s environ.

Au Mali, dans le bassin de la Kolombiné, une zone d'environ 200 000 ha pourrait être développée. Dans la basse vallée du Bafing, à proximité des zones où des bassins d'accumulation pourraient être envisagés, l'irrigation d'environ 100 000 ha a été prévue.

En Guinée, l'influence de la régularisation du fleuve est d'importance secondaire, même si la réalisation d'un bassin d'accumulation pour la régularisation du cours d'eau s'avérait intéressante dans la région. En effet, les surfaces qui pourraient être irriguées sont relativement petites et fortement disséminées.

De toutes les études spécifiques réalisées jusqu'à ce jour, il apparaît qu'un

(3) M. Roblot et M. Cassé, op. cit. p. 125

des plus importants problèmes est d'ordre sociologique, en effet, ce problème découle du fait qu'il est nécessaire de faire abandonner les méthodes traditionnelles de culture et d'élevage à une grande partie de la population et d'apprendre progressivement à celle-ci l'agriculture par irrigation et très probablement également des méthodes plus modernes d'élevage du bétail. Ceci implique des changements fondamentaux dans la manière de vivre et même dans la conception de la vie de ces populations.

L'incidence de ces facteurs sur l'étude de régularisation apparaît dans les deux considérations suivantes :

- la régularisation progressive du débit du fleuve doit tenir compte du fait qu'à côté des quantités d'eau requises pour l'irrigation, il sera nécessaire de disposer pendant longtemps encore d'une crue permettant le maintien dans la Vallée de l'agriculture en décrue, laquelle diminuera d'importance à mesure que se développera l'irrigation, ce qui permettra alors de réduire progressivement l'intensité de la crue.
- cette crue ne devrait pas en année moyenne avoir lieu plus tard que ce n'est le cas actuellement. En effet, la crue a déjà aujourd'hui une certaine tendance à se produire plus tard que ne l'exigerait l'agriculture en décrue. Il serait même souhaitable que le début de la crue puisse intervenir un peu plus tôt qu'en année moyenne.

2.3.2. Etat actuel et possibilités d'amélioration de la navigation sur le fleuve

Actuellement, pendant la saison sèche, seuls des bateaux et des pirogues de moins de 0,65 m de tirant d'eau atteignent Kayes au Mali, à 925 km en amont de Saint-Louis. En revanche des bateaux de 2,60 m de tirant d'eau peuvent naviguer jusqu'à Podor, à 270 km en amont de Saint-Louis.

Avec le développement de l'agriculture et de l'industrie, se présentera la demande d'une possibilité de transport à bon marché sur le fleuve et la nécessité d'améliorer la navigabilité va se faire sentir.

Pour améliorer la navigabilité, on peut envisager diverses combinaisons des quatre mesures suivantes :

- élimination partielle ou totale des barres existant dans le fleuve, élimination qui se ferait par dragages combinés ou non avec des minages
- augmentation du débit minimum

- construction d'une voie navigable avec barrages et écluses
- utilisation de bateaux se prêtant mieux à la navigation sur le fleuve que ceux utilisés à présent.

Le second des points mentionnés ci-dessus représente la principale incidence du problème de la navigabilité sur l'étude de la régularisation. En effet, selon l'opinion préliminaire de l'expert de l'ONU pour la navigabilité, un débit régularisé de 300 m³/s à Bakel représente le minimum nécessaire pour permettre une amélioration sensible de la navigabilité du fleuve entre Kayes et l'Atlantique. Il est nécessaire de noter également qu'étant donné que nombre de barres dans le lit du fleuve sont sablonneuses, le dragage devra être répété périodiquement. Enfin, il est d'une extrême importance dans cet ordre d'idée d'étudier l'influence que la régularisation du fleuve aura sur la stabilité du lit de celui-ci sur son tronçon en aval de Bakel.

2.3.3. Contrôle de la crue

Comme il l'a été mentionné plus haut, la régularisation de la crue est une condition restrictive très importante pour l'étude de la régularisation prise dans son ensemble. Elle caractérise en effet pratiquement la période de transition entre l'agriculture en décrue et l'agriculture par irrigation.

La protection contre les crues est aujourd'hui un facteur économique d'importance mineure. Néanmoins, avec le développement de l'agriculture dans le fond de la Vallée, l'importance des biens et des propriétés valant la peine d'être protégés contre les crues augmentera. Mais en même temps, comme le développement implique la régularisation progressive du fleuve, la probabilité d'apparition d'une crue dévastatrice en aval des bassins de régularisation décroît. Ainsi donc, il apparaît que la protection contre les crues restera très probablement, même dans un avenir assez lointain, un facteur économique d'importance négligeable.

2.3.4. Possibilités de production et de consommation d'énergie

Dans un avenir immédiat, il n'existe aucun marché pour les grandes quantités d'énergie qui pourraient être produites dans les usines hydro-électriques installées au pied des ouvrages créant les bassins de régularisation. L'éventualité que de tels marchés se développent dans un avenir assez proche, dépendra très probablement du coût de cette énergie. Si celui-ci est suffisamment bas, l'existence d'un grand potentiel d'énergie à bon marché pourrait provoquer le développement de l'industrie minière et de l'industrie de transformation de minerais dans le haut bassin du Sénégal. Il est également possible que l'énergie pourrait être utilisée pour la fabrication de phosphore. A longue échéance, l'utilisation de cette énergie pour le pompage de l'eau d'irrigation, l'électrification rurale et l'industrie de transformation de produits agricoles dans la Vallée pourrait s'avérer

également intéressante du fait que les autres sources d'énergie ne pourront fournir pendant longtemps encore que de l'énergie relativement chère. Il est évident que très probablement le taux de développement de la demande d'énergie dans un avenir lointain dépendra fortement du taux de développement de l'agriculture dans la Vallée.

2.3.5 Objectifs spécifiques de l'étude de régularisation

Compte tenu des objectifs généraux visés et des possibilités de développement offertes, les objectifs spécifiques principaux des études de régularisation du fleuve Sénégal sont donc les suivants :

- Dresser l'inventaire des possibilités d'accumulation dans le bassin du haut Sénégal permettant d'assurer une régularisation du fleuve
- déterminer grâce à des prospections sur le terrain et à des études aux sièges des ingénieurs-conseils si la réalisation de barrages et d'usines hydro-électriques est techniquement réalisable aux différents sites envisagés
- estimer le coût des installations nécessaires
- déterminer l'influence des diverses solutions considérées sur le régime du fleuve
- calculer le potentiel de production d'énergie électrique des différentes centrales dont l'installation est prévue au pied des barrages
- définir le prix de revient de l'énergie pour chacune des usines en tenant compte qu'un pourcentage variable des charges annuelles pourrait être supporté par d'autres bénéficiaires de la régularisation telles que l'agriculture et la navigation par exemple
- déterminer la combinaison des bassins d'accumulation la plus intéressante sur les plans techniques et économiques
- analyser différents programmes de réalisation et proposer le programme le plus économique pour la construction des différents ouvrages ou tout au moins définir l'ordre le plus économique dans lequel ces derniers devraient être réalisés

Pour atteindre de tels objectifs, il est évidemment nécessaire de connaître les principaux résultats des études concernant l'agriculture et la navigabilité ainsi que celles consacrées à l'analyse des ressources minières et du développement industriel. Cependant, aucune de ces études n'est actuellement terminées, de sorte que SENEGAL-CONSULT n'a pu disposer que

de quelques résultats partiels et provisoires qui ne lui ont permis que de réaliser une évaluation très grossière des bases économiques nécessaires à l'analyse des différents schémas d'aménagement possible pour réaliser la régularisation du fleuve Sénégal. Les différentes hypothèses que SENEGAL-CONSULT a été contraint de choisir en raison de l'absence de conclusions définitives des autres études en cours devront être révisées après la conclusion de ces dernières. Le programme de réalisation des différents barrages devra être exécuté en harmonie avec celui du développement général de la Vallée et il n'est pas exclu que certaines options ne doivent pas être ultérieurement fondamentalement modifiées.

2.4. Déroulement des études de SENEGAL-CONSULT

2.4.1. Organisation de SENEGAL-CONSULT

La communauté d'ingénieurs pour l'aménagement du fleuve Sénégal (SENEGAL-CONSULT) a été créée dans le but de réaliser les études confiées par les Nations Unies et concernant l'analyse des possibilités de régularisation du fleuve Sénégal. Cette communauté d'ingénieurs comprend les quatre sociétés d'ingénieurs-conseils suivantes :

- Société Générale pour l'Industrie, Genève, Suisse
- Electro-Watt Ingénieurs-Conseils S.A., Zurich, Suisse
- Motor-Columbus, Ingénieurs-Conseils S.A., Baden, Suisse
- Zinder International Ltd, New York USA

Le principe de base pour l'organisation de SENEGAL-CONSULT a consisté à subdiviser l'équipe chargée des études en une série de groupes indépendants les uns des autres et s'occupant des sujets suivants :

- hydrologie, hydrométrie et hydraulique fluviale
- travaux topographiques et de cartographie
- problèmes économiques
- géologie et projets de barrages
- usines hydro-électriques

La mission de chacun des groupes a été assignée autant que possible à un seul des partenaires de l'association afin d'assurer la meilleure coordination possible à l'intérieur des groupes.

En règle générale, l'effectif en personnel de SENEGAL-CONSULT demeurant en Afrique pour de longues périodes a été très réduit et les nombreux spécialistes n'ont fait sur le terrain que des visites de courte durée. Ils ont exécuté ensuite au siège les travaux correspondant à leur spécialité permettant ainsi de maintenir pendant la conception du projet la continuité des informations et des données recueillies sur place.

La direction de l'organisation était assurée par le groupe de coordination composé d'un chef coordinateur et de 3 assistants. Ce groupe, comme le dit son nom, coordonne les groupes mentionnés ci-dessus et maintenait le contact avec les Nations Unies et les autres organismes intéressés par les études.

Le groupe de coordination, ainsi que les groupes d'étude qui travaillaient sous sa direction, ont été contrôlés par le Comité Exécutif dont les membres sont des personnes de hautes responsabilités dans les entreprises formant l'association.

SENEGAL-CONSULT s'est également assuré la collaboration d'experts de grand renom tels que le Professeur A. Falconnier pour les problèmes géologiques et le Professeur G. Schnitter pour les problèmes de barrages.

Dans le but de garantir la qualité optimum de certaines prestations particulières spéciales, SENEGAL-CONSULT a fait appel à plusieurs sous-traitants dont les plus importants sont les suivants :

- L'Institut Géographique National (IGN), Paris, pour l'élaboration des cartes de bassins de retenues à l'échelle de 1 : 20 000
- SOLMAROC S.A., Rabat, Maroc, pour les reconnaissances par sondages mécaniques sur les principaux sites de barrages
- Fondazione Lerici, Milan, Italie, pour les prospections géosismiques
- Air-Glacières S.A., Sion, Suisse, pour les transports aériens en Afrique.

2.4.2. Adjudication du mandat et début des études

SENEGAL-CONSULT a été avisé par câble le 17 mai 1967 que l'association avait été choisie pour réaliser conjointement l'étude des projets REG 52 et REG 67, c'est-à-dire :

- l'étude de préinvestissement pour la régularisation du fleuve Sénégal et
- l'étude d'un système de contrôle des débits dans le bassin du haut Sénégal.

Le contrat 52/67 concernant ces études est daté du 3 juillet 1967.

Néanmoins, les travaux préparatoires avaient déjà commencé en juin 1967, lorsque l'ingénieur-résident pour le Mali, M. R. Oberlé a accompagné une délégation des Nations Unies en Afrique.

2.4.3. Etudes sur le terrain

La première phase des études sur le terrain a été réalisée en plusieurs étapes, les principales sont exposées dans les paragraphes suivants :

2.4.3.1. Installation de la mission sur le terrain

L'installation de la mission de SENEGAL-CONSULT sur le terrain a eu lieu entre juillet et octobre 1967. Le camp de base de SENEGAL-CONSULT était prévu initialement à Gouina mais comme les installations telles que la route d'accès au site de Gouina, la piste d'atterrissage ainsi qu'un hangar pour les hélicoptères et la mise en ordre des bâtiments existant à Gouina, ne pouvaient être terminées avant la fin de 1968, SENEGAL-CONSULT a décidé avec l'assentiment du Directeur du Projet des Nations Unies d'installer son camp de base à Kayes.

2.4.3.2. Premières missions de reconnaissance

Sénégal, Mali

La première mission de reconnaissance au Sénégal et au Mali a eu lieu en novembre 1967. Elle a été réalisée en majeure partie par hélicoptère (Alouette 3) et par avion (Pilatus-Porter). Cette mission avait pour but de dresser un inventaire des sites possibles pour la création de retenues importantes ainsi que des sites se prêtant à la construction d'usines hydro-électriques. Cette mission a pu être réalisée sur territoire sénégalais et malien, mais non en Guinée car SENEGAL-CONSULT n'avait pas reçu avant mars 1968 l'autorisation de commencer les travaux dans ce pays. En outre, lorsque cette autorisation a été enfin accordée, et en dépit de l'intervention des Nations Unies, il a été impossible alors d'obtenir les permis de survol du territoire guinéen; aussi SENEGAL-CONSULT a-t-il dû retarder la mission de reconnaissance du Haut-Bafing en Guinée jusqu'à la fin 1968.

Pendant cette première reconnaissance, les différents et principaux affluents du fleuve Sénégal ont été reconnus sur leur cours situé en territoires malien et sénégalais et les sites suivants ont été repérés :

- Galougo, Gouina, Félou, Kayes et Bakel sur le fleuve Sénégal proprement dit

- Moussala, Yaléa et Goubassi sur la Falémé
- Bindougou et Manantali sur le Bafing
- Boudofora, Chutes de Billy, Badoumbé et Dioubéba sur le Bakoye
- Maréla sur la Baoulé

Après une reconnaissance plus approfondie, les sites de Bakel, Yaléa et les Chutes de Billy ont cependant été éliminés.

Guinée

L'autorisation de survol de la Guinée fut accordée par le gouvernement guinéen à la fin de l'année 1968. La première reconnaissance aérienne exécutée à l'aide d'un Pilatus-Porter débuta le 14 décembre 1968. Cette reconnaissance aérienne à basse altitude fut exécutée tout d'abord le long de la Kioma, affluent du Bafing, puis le long du Bafing lui-même jusqu'à la frontière malienne. Cette reconnaissance s'étendit également à la rivière Téné, affluent important du Bafing. Un certain nombre de sites pouvant se prêter à la réalisation d'une retenue intéressante ont pu être identifiés lors de ces reconnaissances. Il s'agit des sites suivants :

Le long du Bafing :

- Boureya, Kela, Morouneya, Diaoya, un site entre Boula et Herako, Koukoutamba, amont des rapides de Balasa, Dar-es-Salam, Miagara et Dinkouré.

Le long de la Kioma :

- un site à l'amont des rapides entre les monts Fello Kungsi et Fello-Bagata.

Le long de la Téné :

- un site à l'amont des chutes de Bélébé et un site situé à 3 ou 4 km en aval de ces chutes.

Toutefois comme le but principal de ces prospections était de définir quels étaient les sites susceptibles de contribuer efficacement à la régularisation du fleuve Sénégal, une grande partie des sites reconnus fut écartée d'emblée. En effet, seuls les sites où existaient d'une part la possibilité de réaliser une accumulation suffisante pour permettre une compensation annuelle des apports et où d'autre part ces apports étaient eux-mêmes importants, pouvaient remplir les conditions requises.

Les études préliminaires réalisées sur la base de la carte IGN à l'échelle 1 : 200 000 ont montré que seuls les sites de Koukoutamba et de Boureya étaient à même de jouer éventuellement un rôle dans la régularisation du fleuve Sénégal.

2.4.3.3. Prospections exécutées à la suite de la première reconnaissance

Sur la base des résultats de la première reconnaissance, les travaux suivants ont été réalisés :

Sénégal, Mali

- Topographie et cartographie

En novembre et décembre 1967, des photographies ont été prises pour l'établissement des cartes à l'échelle 1 : 20 000 des retenues. Comme la cartographie était indispensable et que les vols de prises de vues ne pouvaient être répétés sans une dépense supplémentaire importante, il a été décidé de réaliser ce travail d'emblée bien qu'il ait concerné une surface dépassant de loin celle prévue initialement.

Pour la cartographie au 1 : 2 000 des sites de barrages, SENEGAL-CONSULT a mis en place des topographes spécialisés qui ont été chargés des travaux sur le terrain tels que triangulation, chaînes de nivellement (385 km) pour les sites principaux et profils en travers aux sites de Dioubéba, Maréla, Boudofora, Bindougou et Maoussala. En général, 4 topographes travaillaient simultanément sur le terrain. Ces travaux ont été terminés en mai 1968.

- Géologie

A la suite de la première mission de reconnaissance, un programme d'investigations géologiques a été établi pour les divers sites en tenant compte de la catégorie dans laquelle ils étaient classés, soit sites principaux ou sites secondaires. Deux géologues, MM. Cuénod et Kellerhals, ont été chargés de la réalisation de ce programme. La première partie de celui-ci a été réalisée entre novembre 1967 et mars 1968 et la seconde de mars à fin mai 1968.

Guinée

Les premières études ayant montré que seuls les sites de Koukoutamba et de Boureya pouvaient présenter un intérêt, une vision locale fut organisée à la fin janvier 1969, à laquelle participèrent le directeur du projet et le conseiller technique de l'OERS. Le choix des deux sites retenus fut approuvé alors et les travaux suivants furent entrepris :

- Topographie

Les photographies aériennes pour la cartographie à l'échelle 1 : 2 000 des sites de barrage ont été prises en mars 1969, mais la stéréo-pré-

paration pour permettre les restitutions a été effectuée en janvier et février 1969. Les travaux topographiques au site de Koukoutamba furent terminés le 2 février et ceux concernant le site de Boureya furent achevés le 15 février 1969.

Comme il l'a été mentionné plus haut, il n'avait pas été possible lors de la campagne cartographique de l'hiver 1967-68 de prendre des photographies aériennes en territoire guinéen pour la cartographie au 1 : 20 000. Par gain de temps, il a été décidé d'entente avec les Nations Unies d'utiliser pour la restitution des cartes des bassins d'accumulation les photos aériennes qui devaient servir à l'établissement des cartes IGN à l'échelle 1 : 50 000. Il n'a ainsi pas été nécessaire de procéder à des travaux de stéréo-préparation spéciaux pour la cartographie à l'échelle 1 : 20 000.

- Géologie

A la suite de la première mission de reconnaissance, un programme d'investigations géologiques a été établi pour les deux sites retenus. Des relevés géologiques détaillés furent exécutés aussi bien aux emplacements des barrages qu'à ceux des futures retenues. Ces travaux sur le terrain furent achevés le 22 février 1969.

2.4.3.4. Contrôle des projets sur le terrain

Fin 1967 et début 1968, les premiers avant-projets généraux ont été établis aux sièges des partenaires de SENEGAL-CONSULT. En mars 1968, le professeur Falconnier, expert géologue, accompagné de M. Gilg expert pour les barrages, de M. Sinniger, ingénieur-spécialiste en barrages et des deux géologues MM. Cuénod et Kellerhals, ont inspecté en détail les divers sites de barrages et ont défini le programme d'investigation du sous-sol et celui des reconnaissances géologiques complémentaires. C'est lors de cette visite que ces spécialistes ont décidé que le site de Dioubéba devait être abandonné en faveur de celui de Badoumbé situé sur le Bakoye quelque 30 km plus en amont.

2.4.3.5. Hydrologie et hydrométrie

Parallèlement aux travaux d'installation de la mission en Afrique, un hydrologue de SENEGAL-CONSULT, M. Stamm, accomplissait un important travail en Afrique en réunissant le maximum de données disponibles. Ce travail a été réalisé en plusieurs étapes, tout d'abord à la Mission d'Aménagement du fleuve Sénégal (MAS) à Saint-Louis, Sénégal, et ensuite à Dakar, Nouakchott, et Bamako.

Un programme de mesures hydrométriques a été établi le 24 novembre 1967 lors d'une réunion inter-projets à Bamako. D'après ce programme, SENEGAL-CONSULT a été chargé de réaliser les tarages à Galougo, Kayes et Bakel sur le fleuve Sénégal proprement dit ainsi qu'à Kidira sur la Falémé et à Kabaté sur la Kolombiné.

Le responsable du service hydrométrique de SENEGAL-CONSULT a étudié en février et mars 1968 les différentes stations ainsi que les méthodes à adopter pour les mesures. Par la même occasion ces mesures ont été coordonnées avec les tarages que les brigades de la Direction de l'Hydraulique et de l'Energie de la République du Mali conseillées par M. Jacon, expert de l'UNESCO, doivent réaliser dans le Haut Bassin du Sénégal.

En février et mars également, l'expert en hydraulique fluviale de SENEGAL-CONSULT a étudié d'une part la morphologie du fleuve Sénégal et du cours inférieur de ses affluents principaux et a établi d'autre part un programme de mesures des débits solides. Il était prévu initialement de réaliser ces mesures à l'aide de turbidimètres Neyrpic fournies par les Nations Unies. Ces appareils ne sont malheureusement arrivés au Mali qu'en novembre 1968, c'est pourquoi les mesures de la 1ère campagne ont dû être réalisées suivant une méthode beaucoup plus primitive consistant à immerger une bouteille mise en position adéquate à l'aide de poids disposés convenablement. Par contre, pendant la seconde campagne de mesures hydrologiques de juin 1969 à fin octobre 1969, SENEGAL-CONSULT a pu effectuer des mesures de turbidité à Kayes à l'aide de la turbidimètre NEYRPIE mise à disposition par la direction du projet. Ces mesures ont permis de se rendre compte quantitativement de la distribution dans le profil en travers des matières solides en suspension charriées par le fleuve. En outre, des contrôles de profils en travers ont été faits régulièrement à Kayes au moyen d'une échouette ATLAS, pendant la 2ème campagne de mesures de turbidité.

En juin 1968, les jaugeages en basses eaux et à partir de juillet jusqu'en novembre, les tarages en crues ont été réalisés non seulement aux stations mentionnées plus haut, mais également à Segala, en amont de la confluence de la Falémé avec le fleuve Sénégal, ainsi qu'à Koun-gani environ 8 km en amont de Bakel. D'autre part, à Bakel et à Kidira, on a déterminé également les inclinaisons de plans d'eau. Ces travaux de mesures ont été complétés par ceux effectués durant la seconde campagne hydrologique de 1969-70. Pendant les 2 campagnes, plus de 120 jaugeages ont été effectués aux sections mentionnées ci-dessus.

A Bafoulabé, une station météorologique comprenant bac d'évaporation, pluviographe, anémographe, héliographe, barographe, thermomètres sec et humide a été installée et contrôlée périodiquement par la suite.

Pendant tout le temps de la réalisation de ces travaux, deux spécialistes de SENEGAL-CONSULT au moins étaient simultanément sur place. Ces spécialistes étaient successivement MM. Oberlé, de Spindler, Remund, Moreillon, Zurbuchen et Braissant.

A la fin 1968, La Direction de projet a chargé SENEGAL-CONSULT d'installer et mettre en service deux limnigraphes à bulle NEYRPIC sur la Kolombiné et le Karakoro, tous deux affluents rive droite du fleuve Sénégal. Ces travaux furent exécutés pendant la saison sèche de 1969. En outre SENCO a instruit les ingénieurs hydrologues des différentes brigades hydrologiques du Service Hydraulique Malien sur la façon de procéder au montage du limnigraphe à bulle, de le mettre en service et de l'entretenir.

2.4.3.6. Mission économique

En février et mars 1968, SENEGAL-CONSULT a envoyé une mission économique en Afrique. Cette mission était composée de MM. Jones, Blum et Lanou. Elle avait pour but de réunir toutes les bases nécessaires et les informations disponibles concernant les pays intéressés et qui pourraient aider à la définition de la portée des implications économiques des projets, ainsi que les conditions financières de leur réalisation. Au cours de leur voyage, les trois spécialistes ont visité les quatre pays concernés par le projet d'aménagement du fleuve Sénégal.

2.4.3.7. Sondages

Sénégal, Mali

D'avril à juin 1968, les premiers sondages mécaniques ont été réalisés par SOLMAROC S.A., Rabat (succursale de Solétanche, Paris) en qualité de sous-traitant de SENEGAL-CONSULT. Pendant cette période, les travaux suivants ont été réalisés :

- à Manantali,	six sondages	longueur totale 198 m
- à Gourbassi,	quatre sondages	longueur totale 164 m
- à Gouina,	deux sondages	longueur totale 109 m
- à Galougo,	deux sondages	longueur totale 110 m

Une seconde campagne a débuté en novembre 1968 pour se terminer en mars 1969. Elle concerne les sites de Badoumbé, Gouina, Galougo et à nouveau Gourbassi. Les forages effectués ont été les suivants :

- Badoumbé	quatre sondages	longueur totale 161 m
- Gd et Petit Gouina	trois sondages	longueur totale 136 m
- Galougo	deux sondages	longueur totale 91 m
- Goubassi	trois sondages	longueur totale 121 m
- Koukoutamba	deux sondages	longueur totale 90 m

Guinée

En mars 1969, des sondages mécaniques ont été réalisés également par SOLMAROC en qualité de sous-traitant de SENEGAL-CONSULT au site de Koukoutamba. Deux sondages totalisant une longueur de 90,25 m ont été réalisés. Mais alors que l'équipe de SOLMAROC était prête à commencer le forage du troisième trou, les travaux ont dû être brusquement interrompus le 24 mars 1969 sur l'ordre du gouvernement guinéen et tout le personnel européen et africain de SENEGAL-CONSULT et de SOLMAROC fut prié de quitter immédiatement le territoire de la Guinée. Le matériel de forage a été replié en hâte et le 27 mars les derniers véhicules passaient la frontière avant que le programme des reconnaissances prévu ait pu être accompli. Il n'a ainsi pas été possible ni de terminer le programme de forage prévu pour le site de Koukoutamba, ni de réaliser les prospections par sondages nécessaires au site de Boureya.

Les seules reconnaissances géologiques auxquelles il fut possible de procéder au site de Boureya ont consisté en l'exécution de 4 puits d'une profondeur maximum de 3,50 m dans les latérites de la rive gauche.

2.4.3.8. Prospections géosismiques

En avril et mai 1968, la campagne de prospections géosismiques a été réalisée par Fondazione Lerici, Milan, en qualité de sous-traitant de SENEGAL-CONSULT. Les profils sismiques suivants ont été levés :

- à Kayes,	un profil	longueur totale 0,5 km
- à Dioubéba,	trois profils	longueur totale 2,5 km
- à Badoumbé,	trois profils	longueur totale 3,2 km
- à Gouina,	quatre profils	longueur totale 4,0 km

2.4.4. Etudes au siège

Alors que les spécialistes de SENEGAL-CONSULT formaient sur place une seule et unique mission, les études au siège étaient organisées de manière à permettre à chacun des partenaires de SENEGAL-CONSULT de poursuivre ses études d'une manière plus ou moins indépendante aussi longtemps que possible. Ce mode de travail simplifiait en effet, comme il l'a été mentionné plus haut la coordination des études. Les divers champs d'activité selon lesquels les études ont été subdivisées sont traités l'un après l'autre dans les paragraphes suivants :

2.4.4.1. Hydrologie, hydrométrie et hydraulique fluviale

Après avoir dressé l'inventaire de la documentation existante, SENEGAL-CONSULT a procédé à une étude hydrologique préliminaire du haut bassin du fleuve Sénégal sur la base des lectures réalisées pendant les quatorze dernières années. Cette première étude était achevée à la fin de 1967.

En 1968 et 1969, à la suite d'une analyse critique aussi bien des lectures plus anciennes que des barèmes de tarages, l'extension des données existantes ainsi que le remplissage des lacunes ont été effectués à l'aide de corrélations et les données hydrologiques concernant une période de 66 années consécutives (1903-1968) ont été déterminées. L'explication de certaines anomalies est donnée dans le volume No. 3 du présent rapport lorsque cela s'est avéré possible. Les campagnes de jaugeages effectuées en 1968 et 1969 ont contribué à l'explication de ces problèmes bien que la crue de l'année 1969 ait été malheureusement nettement inférieure à la moyenne.

Après avoir dressé l'inventaire de la documentation existante, SENEGAL-CONSULT a procédé à une étude hydrologique du Haut-Bafing guinéen sur la base des observations réalisées ces dernières années. Cette étude était achevée en juin 1969 et a permis de préciser les données hydrologiques nécessaires à l'établissement des projets de barrages ainsi qu'à l'étude de l'influence que ces ouvrages pourraient avoir sur la régularisation du fleuve Sénégal. Il s'agissait en particulier de la définition des apports mensuels à chacun des sites envisagés pour une séquence de 66 ans et de la détermination des débits de crues dont il fallait envisager le passage au travers des organes d'évacuation des crues des barrages prévus.

Pendant la deuxième moitié de l'année 1969, l'ensemble des données hydrologiques a été révisé en prenant en considération les lectures les plus récentes.

Plusieurs centaines d'échantillons d'eau ont été prélevés dans le fleuve Sénégal à Kayes pendant la seconde moitié de 1968 et pendant l'année 1969 et ont été analysés pour déterminer la teneur en matériaux solides en suspension.

Dès septembre 1968, la détermination des effets de la régularisation ainsi que celle du potentiel de production d'énergie électrique décrite en détail dans le volume No. 5 ont été réalisés à l'aide d'un ordinateur électronique de l'un des partenaires de SENEGAL-CONSULT.

2.4.4.2. Topographie et cartographie

Sénégal, Mali

Dans ce secteur, l'activité du siège a consisté avant tout à coordonner la restitution des cartes 1 : 20 000 et 1 : 2 000 des retenues et des sites de barrage.

Comme il l'a déjà été mentionné plus haut, des photographies aériennes ont été prises en vue d'une restitution cartographique à l'échelle 1 : 20 000 de toutes les zones susceptibles d'être noyées par des bassins d'accumulation et les travaux topographiques sur le terrain ont été réalisés. La surface totale des zones couvertes par des vols photographiques s'élève à plus de 17 000 km² ce qui dépasse de loin la surface envisagée initialement.

Les cartes à l'échelle 1 : 20 000 concernant la retenue de Manantali ont été terminées par l'Institut Géographique National en octobre, celles de Gourbassi au début novembre et celles de Badoumbé au commencement de décembre 1968.

Des cartes à l'échelle 1 : 10 000 existaient déjà pour les retenues de Galougo et Gouina, celles-ci ont été réduites à l'échelle 1 : 20 000 et l'altimétrie a été corrigée en tenant compte du système de référence altimétrique de l'Institut Géographique National. Ce travail a été achevé en octobre 1968.

En ce qui concerne les sites secondaires de Moussala, Bindougou, Boudofora et Maréla, seuls des profils en travers de la vallée ont été levés. Toutefois, des photos aériennes au 1 : 8 000 ont également été prises de ces différents sites.

Guinée

Comme il l'a été mentionné plus haut, la restitution cartographique

à l'échelle 1 : 20 000 des retenues a été faite sur la base des photographies aériennes au 1 : 50 000 prises pour l'établissement des cartes IGN. Grâce à la mise en place de points supplémentaires sur les photographies elles-mêmes, il a été possible d'obtenir pour les restitution à l'échelle 1 : 20 000 effectuées de cette manière une précision équivalente à celle qui aurait été obtenue en utilisant des photos aériennes prises à l'échelle de celles utilisées au Mali, soit 1 : 40 000. Cette précision a pu être obtenue au prix d'un travail de restitution beaucoup plus important en raison d'une part de l'échelle des photographies aériennes et d'autre part des nombreux contrôles et vérifications auxquels il a été nécessaire de procéder. Les cartes concernant la retenue de Koukoutamba ont été terminées par l'Institut Géographique National à la fin août 1969 et celles de la retenue de Boureya le 15 septembre 1969.

Lors des discussions qui ont suivi la remise de la deuxième partie du Rapport Intérimaire de SENEGAL-CONSULT consacré aux sites de barrage en territoire guinéen, les Nations Unies ont demandé de compléter la cartographie de la zone de la retenue de Koukoutamba. Ce travail a été réalisé par l'Institut Géographique National au cours de l'été 1970 et les cartes complétées à l'échelle 1 : 20 000 de la retenue de Koukoutamba ont été remises à SENEGAL-CONSULT en octobre 1970.

La restitution cartographique à l'échelle 1 : 2 000 des emplacements des deux barrages envisagés en Guinée a été réalisée au printemps 1969. Les cartes concernant le site du barrage de Koukoutamba ont été terminées en mai 1969 et celles concernant le site de Boureya en juin de la même année.

2.4.4.3. Géologie

Les travaux géologiques au siège étaient effectués entre les diverses missions des géologues sur le terrain et consistaient à la mise au net et à l'interprétation des informations recueillies lors des reconnaissances géologiques, des sondages mécaniques et des sondages géosismiques.

Les géologues ont participé en outre à l'interprétation des résultats des essais de mécanique des sols réalisés sur des échantillons de matériaux prévus pour la construction des digues.

Dès le mois d'août 1968, la carte géologique générale de la région, celles des diverses retenues ainsi que celles des sites de barrage ont été établies.

2.4.4.4. Etude des barrages

Sur la base des résultats de la première reconnaissance sur le terrain et avant d'avoir à disposition les documents cartographiques nécessaires,

SENEGAL-CONSULT a procédé lors d'une première phase à une étude préliminaire sommaire des divers barrages.

Dans une seconde phase, les divers ouvrages considérés ont été étudiés plus en détail à partir de juin 1968 en ce qui concerne les sites au Sénégal et au Mali, et à partir de juin 1969 en ce qui concerne les sites en Guinée, au fur et à mesure de l'établissement des cartes à l'échelle 1 : 2 000 des sites de barrage et à l'échelle 1 : 20 000 des retenues. Les résultats de ces études sont résumés dans les volumes 6, 7 et 8.

2.4.4.5. Usines hydro-électriques

L'étude des usines hydro-électriques correspondant aux divers barrages a été réalisée simultanément. Dans ce secteur également les études ont été menées aussi selon les mêmes deux phases mentionnées au paragraphe précédent.

2.4.4.6. Etudes économiques

Selon les termes du contrat 52/67, l'objet de l'étude de régularisation est le suivant :

"Etudier et définir la manière la plus efficace d'assurer la régularisation des débits du fleuve Sénégal pour, entre autres objectifs, aider le développement de l'agriculture dans la Vallée, améliorer la navigabilité depuis Kayes jusqu'à la mer et fournir de l'énergie hydro-électrique pour l'exploitation des ressources minérales et pour le développement industriel."

Il était donc de la plus haute importance de définir les éléments économiques de base concernant le développement des pays intéressés. La majeure partie de ces éléments sera définie par les diverses autres études en cours concernant le bassin du fleuve Sénégal. Toutefois, comme il l'a déjà été mentionné plus haut, les résultats finaux de ces études ne seront disponibles qu'après l'achèvement de la présente étude.

C'est la raison pour laquelle l'étude économique de SENEGAL-CONSULT a été réalisée sur la base des hypothèses les plus plausibles qu'il a été possible de faire en partant des données disponibles. Certains résultats provisoires et partiels des études actuellement en cours ont toutefois permis de préciser certaines tendances dont l'analyse fait l'objet du volume 4 du présent rapport.

Chapitre 3

LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

3. LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

3.1. Généralités

3.1.1. Situation géographique

Bien que les projets 52/67 touchent également la Mauritanie, seuls la Guinée, le Mali et le Sénégal sont directement concernés et c'est sur ces derniers pays que quelques caractéristiques générales sont données ci-après.

Guinée

Ce pays est situé entre la Guinée dite portugaise au Nord-Ouest, la Côte d'Ivoire à l'Est, le Sénégal et le Mali au Nord et Nord-Est, le Libéria et la Sierra Leone au Sud. Sa superficie est de 245 857 km². Il est divisé en quatre zones naturelles à savoir la Guinée Maritime, la Moyenne Guinée dont fait partie le Fouta Djallon, réservoir naturel alimentant les grands fleuves tels que le Niger, le Bafing à l'Est et le Konkouré à l'Ouest, la Haute Guinée coupée notamment par le Bafing, affluent le plus important du fleuve Sénégal et la Guinée Forestière.

Mali

Ce pays est bordé au Nord par le Sahara, à l'Est et au Sud par le Niger et la Haute Volta, du Sud à l'Ouest par la Côte d'Ivoire, la Guinée et le Sénégal et au Nord par la Mauritanie. Sa superficie est de 1 204 000 km².

C'est surtout dans l'Ouest du pays que se situe la zone intéressée par le projet, zone traversée précisément par le Bakoye, la Baoulé, le Bafing et la Falémé, affluents du fleuve Sénégal. Ce sont les prolongements du massif du Fouta Djallon qui donnent à cette région l'aspect d'un haut plateau s'inclinant progressivement vers le Nord, c'est-à-dire vers la région sahélienne. Entre Bafoulabé et Kayes, la région le long du fleuve Sénégal est parsemée de montagnes tabulaires.

La végétation, dans la zone du projet, se compose de savanes avec quelques arbres dont le karité, le néré et le tamarinier.

Sénégal

Il est situé à l'Ouest du continent africain entre la Mauritanie au Nord, le Mali à l'Est, la Guinée au Sud et l'océan Atlantique à l'Ouest. Sa superficie est de 196 192 km². Le fleuve Sénégal marque sa frontière avec la Mauritanie et son affluent, la Falémé, sa frontière avec le Mali.

Dans cette dernière région, la végétation se compose surtout de savane forestière, de bambous et d'un grand nombre de boababs.

3.1.2. Démographie

Guinée

- Population : 3 781 000 habitants (estimation fin 1968)
- Taux d'accroissement : 2,4 %
- Moins de 15 ans : 42 %
- Composition ethnique : aux quatre régions naturelles correspondent approximativement quatre grands ensembles ethniques. En Guinée Maritime, le groupe Soussou absorbe des groupes résiduels : Nalou, Baga, Landouman. Le Fouta Djallon est le pays des Peulhs, pasteurs venus du Sahel. A l'Est du Fouta Djallon subsiste le groupe des Tenda (Bassari, Coniagui, Badia-ranké).
La haute Guinée groupe en majorité les Malinké et les Foulah (Peulhs) dits de "Ouassoulou". La région forestière est occupée par plusieurs petits groupes animistes : Kissi, Manon, Guerzé, Kono.
- Religions :
: Musulmans : 60 à 65 % (Peulhs, Sarakollé)
: Animistes : 30 % (Régions forestières)
: Chrétiens : 30 000 environ
- Langues : Les langues de tous les groupes ethniques sont reconnues comme langues nationales. Les deux langues dominantes sont le peulh et le mandé (mandétan pour les Malinké et mandéfou pour les Soussou). Le français est la langue officielle.

Mali

- Population : 4 800 000 habitants (estimation fin 1968)
- Taux d'accroissement : 3 %
- Moins de 20 ans : plus de 50 %
- Composition ethnique : charnière géographique entre nomades et sédentaires, le Mali est aussi le point de rencontre des civilisations négro-berbères. Parmi 23 ethnies différentes, les plus représentatives sont
- | | |
|-------------------------|-----------|
| Bambara | 1 000 000 |
| Peulhs | 450 000 |
| Sénoufo | 375 000 |
| Touareg, Maures, Arabes | 350 000 |
| Sarakollé | 280 000 |
| Songhai | 230 000 |
| Malinké | 200 000 |
- La présence étrangère est évaluée à 7 500
- Elle est plus diverse que partout ailleurs en Afrique : Russes, Tchécoslovaques, Yougoslaves, Chinois (rizières du sud), Français, Libanais et Syriens.
- Religions : grande majorité de musulmans (environ 60 %). Le reste de la population est animiste à l'exception de quelques catholiques (20 000).
- Langues : de nombreuses langues ou dialectes - arabe, naga, tamcheq, poular, songhai, sénoufo, bozo, soninké, mandingue - sont utilisés comme véhicules d'échanges commerciaux.

Sénégal

- Population : 3 780 000 habitants (estimation fin 1968)
- Taux d'accroissement : 2,5 %
- Composition ethnique : Principaux groupes : Ouolof, dont le nombre s'élève à 1 360 800. Ils forment 36 % de la population; Peulhs (17,5%). Ils poursuivent leur

métier traditionnel de gardiens de troupeaux ou d'agriculteurs : 500 000; Sérère (16,5%). Bons travailleurs, les Sérère sont sédentaires et pratiquent l'agriculture. On peut les évaluer à 580 000; Mandingue (9%), au nombre de 300 000 environ, peuplent la vallée de la Gambie et la Moyenne-Casamance; Diola (300 000), vivent principalement en Basse-Casamance; Toucouleur (6,5%), occupent surtout le Fouta-Toro, mais ils constituent également une forte partie des immigrants des villes.

La population étrangère non africaine est estimée à 47 000, dont 25 000 Français et surtout des Libanais et des Syriens.

3.1.3. Communications

Guinée

Réseau routier :

10 000 km de voies carrossables dont 6 000 km de routes à grande circulation; l'amélioration de ce réseau est due en grande partie à l'armée populaire guinéenne.

Réseau ferré :

Une voie métrique de 664 km relie le port de Conakry et le complexe industriel de Fria. L'URSS apporte son concours à la modernisation de la voie Conakry-Kankan. L'Office pour l'aménagement de la région de Boké prévoit une ligne de chemin de fer de 140 km.

Transports fluviaux :

Les rivières de la côte sont navigables sur une certaine distance à partir des embouchures. En haute Guinée, le Niger est en principe navigable de Kouroussa vers Bamako sur 320 km du 15 juin au 15 décembre.

Aérodromes :

L'aérodrome de Conakry (piste de 3 300 m) assure le trafic avec l'extérieur. Autres aérodromes : Boké, Kankan, Kissidougou, Nzérékoré. La compagnie nationale Air-Guinée est dotée d'un certain nombre d'appareils offerts par l'Union Soviétique, notamment 3 Ilyouchine-18.

Mali

Réseau routier :

12 000 km de routes dont les deux tiers sont praticables en toutes saisons. Parc automobile : 10 000 véhicules. Les transports routiers sont assurés par la Régie des Transports (RTM) et par des entreprises privées.

Réseau ferré :

voie métrique unique du Dakar-Niger, laquelle comporte 1 288 km dont 645 km au Mali par Kayes, Bamako jusqu'à Koulikoro. Projets de modernisation financés en partie par la Banque Mondiale. La grande réalisation transsaharienne traverserait le Mali dans toute sa longueur avec sa bifurcation Sénégal-Niger.

Réseau aérien :

7 aérodromes : Bamako (aérodrome de classe B), Ségou, Goundam, Gao, Mopti, Nioro, Tessalit (base militaire). La compagnie Air-Mali assure les liaisons intérieures et relie Bamako aux principales villes d'Afrique occidentale et à la France par des Ilyouchine 18. Projet : aérodrome accessible aux avions à réaction.

Sénégal

Réseau routier :

Environ 2 000 km de routes asphaltées et à peu près autant de routes en terre. L'ensemble des routes asphaltées, à la suite des travaux en cours, sera porté à plus de 3 000 km. Le parcours des pistes totalise 11 000 km environ.

Réseau ferré :

Près de 1 200 km de voie métrique sur deux axes principaux à partir de Thiès : Dakar à Saint Louis (263 km), Dakar à Kidira (650 km) vers le Mali jusqu'à Bamako et Koulikoro; ces tronçons doublent les axes routiers dans les deux cas. La voie vers le Nord comporte un embranchement de Louga à Linguéré (128 km). La voie vers l'Est est reliée par deux tronçons, d'une part à Touba, d'autre part à Kaolack.

Réseau fluvial :

Il est important. Bien que partiellement navigables, ou seulement en certaines saisons, le Sénégal, le Saloum et la Casamance sont les trois voies principales dont la navigabilité peut être améliorée.

Réseau aérien :

Le principal aéroport du Sénégal est celui de Dakar-Yoff, de classe internationale; viennent ensuite les aérodromes de Saint-Louis, Ziguinchor, Tambacounda et une dizaine de terrains secondaires. Dakar est desservi par de nombreuses compagnies aériennes internationales. Le trafic intérieur est assuré par Air-Afrique et Air Sénégal.

3.1.4. Economie

Guinée

Depuis l'indépendance, la Guinée a nationalisé les secteurs clés de l'économie (agriculture, exportations des produits miniers) et créé une nouvelle monnaie en dehors de la zone franc. Le développement industriel était axé à la fois sur l'exploitation des produits miniers et la transformation des produits agricoles. "L'accumulation nationale" (épargne du secteur privé et public) devait permettre un taux élevé d'investissement mais l'absence de cadres moyens a posé des problèmes de gestion et le pays souffre d'une grave crise économique. Le peu de devises disponibles est consacré au financement de projets à long terme et à l'approvisionnement de la population en riz et autres céréales. Cependant, la Guinée est dotée de richesses naturelles dont la totale mise en valeur devrait permettre une amélioration.

Planification :

Un plan septennal fut adopté par le Conseil National de la Révolution en avril 1961 et fut mis à exécution le 1er mai 1964. Orienté essentiellement vers le développement industriel et agricole, l'infrastructure énergétique et les transports, il fut chiffré à 180 milliards de francs guinéens.

Mali

Le régime, de type socialiste, inspiré par les travaux effectués en Union Soviétique et en Chine Populaire, a accentué la mise en oeuvre des moyens dont il dispose (organisation coopérative de l'agriculture et développement prioritaire du secteur d'Etat) dans un sens de planification contraignante et totale. Celle-ci comporte la centralisation de tous les fonds publics d'origine locale ou extérieure dans un seul compte : budget d'équipement. L'orientation du secteur privé est obtenue par des contrôles classiques (fiscalités, douanes) et, surtout pour les entreprises étrangères non nationalisées, par le système de "conventionnement" (réexportation avec contrat national).

Planification :

Après l'élaboration du projet de plan quadriennal (1961-1964), l'Assemblée Nationale a voté l'adoption d'un plan quinquennal (1961-1966) portant sur le développement économique et social. L'objectif de base du plan était l'élévation du niveau de vie par un accroissement annuel de la production intérieure de 8 %. Ce taux n'a jamais été atteint et le budget national demeure en déficit. Cependant, les récents accords financiers avec la France ouvrent de nouvelles perspectives.

Sénégal

Dans un climat de libéralisme qui tempère l'orientation d'un dirigisme inévitable, le Sénégal doit faire face à un certain nombre de difficultés telles que, par exemple, la "déflation" de la population européenne qualifiée et la suppression des protections pour le placement des arachides. La diversification, l'intégration et la modernisation des activités économiques sont donc comme les trois piliers de l'édifice à construire.

Planification

Le plan quadriennal (1965-1969) accordait une grande place au développement de l'agriculture et à sa diversification. Un effort parallèle devait porter sur l'industrie. Concernant l'agriculture, l'aménagement du bassin du fleuve Sénégal avec une importance prioritaire. L'encouragement à l'enseignement secondaire et technique était conçu en fonction de la formation de cadres.

3.2. Géographie

3.2.1. Situation

Le fleuve Sénégal, long de 1'800 km, compte parmi les grands fleuves d'Afrique. Il prend naissance dans le Nord de la Guinée, traverse la partie occidentale du Mali puis constitue, sur le reste de son parcours, la frontière entre les territoires de la République du Sénégal et de la République Islamique de Mauritanie.

Dans son cours supérieur, le Sénégal est formé à Bafoulabé par la jonction du Bafing - la branche mère du fleuve - et du Bakoye dont la Baoulé est l'affluent principal. La Falémé qui, comme le Bafing et le Bakoye, prend sa source dans la région montagneuse de Guinée (Fouta-Djalou et Plateau Mandingue) est le principal affluent du fleuve Sénégal en aval de Kayes.

Le bassin du fleuve Sénégal a une surface totale d'approximativement 290 000 km² et est situé entre les parallèles 10°30' et 17°30' Nord et les méridiens 7° et 16°30' de longitude Ouest. Il comprend trois régions principales : le Haut-Bassin, la "Vallée" et le "Delta". Ces régions se différencient fortement par leurs conditions géologiques, hydrographiques et climatologiques.

Le point le plus élevé du bassin est à une altitude de 1 372 m (Mont Kavendou près de Dalaba) et l'altitude moyenne de sa partie la plus méridionale est sensiblement voisine de 1000 m (voir annexe 1.02). De là descendent le Bafing et le Téné, premier et important affluent rive gauche du Bafing.

Lorsqu'on se dirige vers le nord, on passe successivement à une série de reliefs subtabulaires d'altitude moindre (800 m environ) et prolongés encore plus au nord par des plateaux culminant à 600 m.

Le massif du Fouta Djallon se situe approximativement entre 11° et 13°00' et entre 10° et 12°30' N. Ces Hauts Plateaux englobent plus de 10 000 km² se situant en grande partie au-dessus de 800 m et comprenant les villes de Dalaba, Pita, Labé et Mali. Le Fouta Djallon est le château d'eau de l'Afrique Occidentale : "tel une immense toiture, il déverse ses gouttières en tous sens en donnant origine aux sources de certaines des plus importantes rivières de l'Afrique de l'Ouest, notamment le Bafing et la Falémé (affluents du Sénégal) et la Gambie vers le Nord, le Koumba (affluent du Corouba), le Kogon, la Fatala et le Konkouré vers l'Ouest, le Kolenté et la Kaba vers le sud et le Tinkisso (important affluent du Niger) vers l'Est" (voir annexes 1.02 et 1.03).

Le Haut-Bassin, depuis le Fouta-Djalou jusqu'à Bakel, fournit la quasi totalité des apports car il est relativement humide, les précipitations annuelles étant de 700 à 2000 mm. Ces pluies tombent entre avril et octobre dans la partie montagneuse de l'extrême Sud du bassin et provoquent la crue annuelle du fleuve qui a lieu entre juillet et octobre. Ainsi le Sénégal vivifie une vaste bande de terres entre les régions désertiques de Mauritanie et la zone sèche du Ferlo (Sénégal).

La Vallée, de Bakel à Dagana, est une plaine alluviale encadrée par des régions semi-désertiques. Elle constitue la zone d'inondation dont la largeur est de 10 à 20 km mais qui peut atteindre jusqu'à 25 km. Ce pays agricole est fertilisé chaque année par la crue du fleuve qui, sous une pente très faible, présente de nombreux méandres, forme tout un système de défluents (marigots) et remplit en sortant de son lit mineur, large de 200 à 400 m, de nombreuses cuvettes argileuses appelées oualos. Les fonds du lit principal sont très variables et coupés par une quarantaine de seuils rocheux ou sableux gênant la navigation en basses eaux.

Le Delta, partie terminale du fleuve Sénégal en aval de Dagana, est apparemment un delta avec de multiples bras mais il n'y a qu'une seule embouchure. Cette vaste zone est complètement plate et pendant la saison sèche elle est envahie par les eaux salées de l'océan. Dans cette partie le fleuve Sénégal est large de 400 à 500 m et est également relativement profond (à certains points jusqu'à 20 m). L'influence de la marée s'y fait sentir notablement.

Les limites du bassin versant du fleuve Sénégal sont assez mal définies au Nord du 15^e parallèle. En effet, l'aridité du climat et l'uniformité du relief font disparaître progressivement le système hydrographique. La distribution du bassin entre les différents pays intéressés est approximativement la suivante :

- République du Sénégal 27 500 km²
- République du Mali 155 000 km²
- République Islamique de Mauritanie 75 500 km²
- République de Guinée 31 000 km²
- Total 289 000 km²

Dans le Haut-Bassin, concerné avant tout par cette étude, il convient de distinguer trois sous-régions qui présentent des différences notables quant au climat, à la végétation et aux sols : les régions fouta-nienne, soudanienne et sahélienne.

3.2.2. Morphologie générale (voir annexe 1.02)

L'extrémité méridionale du bassin est très montagneuse. Elle est bordée sur le territoire de la Guinée par le massif du Fouta-Djalon qui culmine à 1540 m s.m. et sur le territoire du Mali par le Plateau Mandingue qui occupe la région située à l'Ouest de Bamako. Dans le reste du bassin, le relief est moins élevé et l'on ne rencontre des altitudes supérieures à 400 m s.m. que dans le massif de l'Affolé au Nord, sur le territoire de la Mauritanie. En outre, et bien que n'atteignant pas 400 m d'altitude, on peut encore signaler le Plateau Tambaoura entre les vallées de la Falémé et du Bafing, le Plateau Assaba entre les vallées du Karakoro et du Gorgol, enfin, les monts Oua-Oua dans le bassin du Gorgol. A l'Est de Kayes, entre les vallées de la Baoulé et de la Kolombiné, le bassin est formé par un vaste plateau au relief très mou, situé entre 200 et 300 m d'altitude. A l'Ouest du méridien 13°, l'altitude devient très faible et reste inférieure à quelques dizaines de mètres. L'altitude moyenne du bassin du fleuve Sénégal est de 220 m.

3.2.3. Affluents du fleuve Sénégal (voir annexe 1.01)

Le fleuve Sénégal proprement dit, comme il l'a déjà été mentionné plus haut, est formé par la réunion de deux rivières, le Bafing et le Bakoye, près de Bafoulabé au Mali, à 1 055 km de l'océan Atlantique.

Le fleuve Bafing, dont le nom signifie "rivière noire" en malinké, est long de 760 km et constitue le cours supérieur du fleuve Sénégal. Il prend sa source à une altitude de 800 m environ, dans le Fouta-Djalon à 15 km au Nord-Ouest de Mamou en Guinée. Son bassin versant a une surface de 38 500 km², desquels 17 000 km² sont situés en territoire guinéen.

Un affluent important du Bafing est le Téné qui prend sa source près de Dalaba en Guinée à une altitude d'environ 1200 m s.m. Venant de la gauche, il rejoint le Bafing aux environs du village de Boulanko en Guinée. Le Téné a une longueur de 130 km et un bassin versant de 3 900 km². Le cours du Bafing, de sa source jusqu'à sa confluence avec le Téné, a une longueur de 164 km et son bassin versant est de l'ordre de 4 200 km².

Un deuxième affluent important du Bafing est la Kioma qui prend sa source à 30 km à l'Est de Labé, à une altitude approximative de 900 m s.m. La Kioma rejoint le Bafing sur rive gauche près du village de Dalabori en Guinée. Sa longueur est de 83 km et son bassin versant d'environ 1 800 km².

En quittant le Fouta Djalon et la République de Guinée, le Bafing se dirige vers le Nord et traverse les plateaux de la région soudanienne en décrivant un arc de cercle avant d'atteindre Bafoulabé. Ce parcours est caractérisé par la présence de nombreuses chutes et rapides.

Parmi les nombreux affluents du Bafing sur cette partie de son cours, les trois suivants sont à noter :

- le Balé supérieur qui rejoint le Bafing en amont de Bindougou (Mali) sur rive droite à 430 km en aval de la source du Bafing,
- le Balé inférieur qui rejoint le Bafing sur rive droite également en aval de Diba au Mali à 540 km en aval de la source du Bafing,
- le Balinn-Ko, un affluent rive gauche du Bafing dont le bassin versant est d'environ 5 000 km² et qui rejoint le Bafing près de Dibia à 665 km de la source de ce dernier.

Bien que le bassin versant du Bafing ne représente que le huitième du bassin versant total du fleuve Sénégal, il amène plus de la moitié du débit total de ce dernier, c'est-à-dire environ 430 m³/s en moyenne.

Le deuxième affluent principal du Sénégal est le Bakoye qui signifie "rivière rouge" en malinké; il a une longueur de 640 km et un bassin versant d'environ 87 000 km². Les données relatives à la surface du bassin versant varient cependant d'une manière sensible selon la source consultée. Sa source se trouve à environ 80 km au Nord-Ouest de Siguiri en Guinée, à proximité de la limite méridionale du Plateau Mandingue en Guinée, à une altitude d'environ 500 m s.m. Après 520 km, juste en aval de Toukoto au Mali, le Bakoye est rejoint par son seul affluent important, la Baoulé (rivière blanche en malinké). Entre Fangala et Badoumbé, le Darouma et le Kouaga, deux affluents de moindre importance rejoignent le Bakoye. A sa confluence avec le Bafing, le Bakoye a un débit annuel moyen d'environ 170 m³/s. Cette rivière passe également un assez grand nombre de petites chutes et de rapides.

La Baoulé, qui a une longueur d'environ 470 km et un bassin versant de 59 000 km², prend sa source à 42 km au Sud-Ouest de Bamako, à une altitude d'environ 600 m s.m. Son débit annuel moyen de 60 à 70 m³/s est bas comparé à l'étendue de son bassin versant. Ceci est dû évidemment à la diminution progressive des précipitations lorsqu'on se dirige vers le Nord. La Baoulé coule d'abord en direction du Nord et parcourt ensuite un long arc de cercle pour se diriger vers le Sud-Ouest. Les affluents principaux de la Baoulé sont le Kénié, le Kéniéba-Ko

et le Badinn-Ko, tous venant de la rive gauche, et le Dla ainsi que le Dlaba et la Vallée du Serpent venant de la rive droite. La Vallée du Serpent n'apporte pratiquement aucun débit en raison du climat sahélien de la région.

En aval de Bafoulabé, les affluents principaux du fleuve Sénégal venant de la rive droite sont les suivants :

- le Kétiou-Ko qui s'écoule du massif doléritique au Nord de Bafoulabé.
- la Kolombiné qui prend sa source dans le massif de l'Affolé dans la région du Sahel et qui rejoint le Sénégal à 5 km en amont de Kayes, c'est-à-dire à 930 km en amont de Saint-Louis après avoir passé la dépression marécageuse de Magui. Le bassin versant de la Kolombiné, étant donné le caractère désertique de sa partie septentrionale, est difficile à définir. Son étendue devrait néanmoins être comprise entre 20 000 et 50 000 km². Le débit annuel moyen de la rivière peut être estimé à environ 20 m³/s.
- le Karakoro qui rejoint le Sénégal 850 km en amont de Saint-Louis entre Kayes et Bakel. Ce cours d'eau a son origine au Nord de Kiffa en Mauritanie. Son bassin versant devrait être de l'ordre de 25 000 à 40 000 km² et son débit annuel moyen peut être estimé entre 10 et 15 m³/s.
- en aval de Bakel, les affluents principaux sont les oueds Niordé et Ghorfa qui rejoignent le fleuve Sénégal entre Ouaoundé et Matam, le Gorgol qui se jette dans le Sénégal juste en amont de Kaédi et l'oued Savalel qui rejoint le Sénégal à environ 30 km en aval de Kaédi.

Sur rive gauche, le Sénégal n'a qu'un seul affluent important, la Falémé. Cette rivière se jette dans le fleuve Sénégal à environ 50 km en amont de Bakel, c'est-à-dire à 825 km en amont de Saint-Louis. Elle prend sa source dans la partie Nord du Fouta Djallon, à environ 30 km au Nord-Est de Tougué en Guinée, à une altitude d'environ 800 m s.m. La Falémé a une longueur de 650 km et son bassin versant est de 29 000 km². Son débit annuel moyen, à son débouché dans le fleuve Sénégal, est d'environ 200 m³/s. La Falémé n'est rejointe par des affluents d'une certaine importance que dans sa partie supérieure où l'on rencontre entre autres le Kouloun-Ko sur rive droite et le Balinn-Ko ainsi que le Koila-Kabé sur rive gauche.

Près de Bakel, qui est normalement considéré comme la limite entre le Haut-Bassin et la Vallée, le fleuve Sénégal atteint son débit annuel moyen maximum d'environ 780 m³/s. En aval, le module décroît notablement par suite de la forte évaporation pendant l'hivernage (juin à

octobre. Pendant la saison sèche, la langue d'eau salée de l'océan remonte le fleuve souvent jusqu'à un point situé à 200 km en amont de Saint-Louis.

3.2.4. Profil en long du fleuve Sénégal (voir annexe 1.04 et 1.05)

Le fleuve Sénégal proprement dit conserve dans son cours supérieur entre Bafoulabé et Kayes les caractéristiques qui sont celles de ses affluents principaux dont les vallées sont constituées par une succession de bassins séparés par des seuils rocheux formant des chutes ou des rapides.

Dans le Haut-Bafing, en amont de la frontière entre le Mali et la Guinée, la pente moyenne varie entre 2 m par km et environ 50 cm par km. Elle a tendance à décroître en aval bien qu'il y ait dans cette partie plusieurs rapides en amont de Dibia (en particulier ceux de Tina). Plus à l'aval, entre Dibia et Bafoulabé, la pente est d'environ 25 cm par km.

La pente moyenne du Bakoye supérieur est de 1 à 2 m par km, tandis que celle de la Baoulé décroît de 2 m par km en amont, à environ 30 cm par km près de sa confluence avec le Bakoye. Ce dernier cours d'eau a une pente nettement plus importante sur toute la longueur de son cours en amont de ce point. En revanche, entre la confluence de la Baoulé et Bafoulabé, la pente moyenne du Bakoye diminue jusqu'à environ 40 cm par km.

Après la jonction du Bafing et du Bakoye, le fleuve Sénégal proprement dit franchit des bancs durs de grès infra-cambrien par des rapides comme ceux de Talari et des chutes comme celles de Gouina et de Félou. Ainsi le Sénégal perd environ 70 m de chute jusqu'à Kayes, c'est-à-dire sur une longueur de 130 km, ce qui correspond à une pente moyenne de 55 cm par km.

Entre Kayes (module 636 m³/s, altitude 23,4 m s.m. IGN) et Bakel (module 780 m³/s, altitude 15,6 m s.m. IGN), la pente moyenne diminue progressivement jusqu'à 6 cm par km sur une longueur de 130 km. On note quelques bancs rocheux émergeant à l'étiage et rendant la navigation difficile sur cette partie du fleuve.

En aval de Kayes, le fleuve Sénégal a une largeur d'environ 400 m et coule dans un lit assez bien marqué avec des berges de 10 à 12 m de hauteur.

La Falémé, dernier affluent important du Sénégal, a une pente assez forte de 9,5 m par km dans son cours supérieur. Néanmoins, ce gradient diminue progressivement pour atteindre environ 15 cm par km près de la confluence de la Falémé et du Sénégal.

En aval de Bakel, la pente diminue encore plus. Ainsi elle n'est plus que de 3 cm par km entre Bakel et Matam, de 1 cm par km dans le tronçon Podor - Richard-Toll et de 0,6 cm par km dans le Delta. Pendant la crue, le gradient augmente sensiblement. Ainsi, sur le tronçon Bakel-Matam, des pentes jusqu'à 5 cm par km et dans le Delta jusqu'à 1 cm par km peuvent être observées.

3.3. Topographie

SENEGAL-CONSULT a utilisé les cartes existantes de l'Institut Géographique National (IGN) au 1 : 500 000 et 1 : 50 000 pour ses premières reconnaissances sur le terrain dans la zone des projets et pour les premières esquisses d'avant-projet qui devaient permettre de recenser les sites à cartographier à plus grande échelle. La Direction du projet avait également mis à disposition les cartes existantes au 1 : 10 000 et 1 : 1 000 du bassin d'accumulation et du site de Gouina.

SENEGAL-CONSULT a sous-traité à IGN, Paris, la cartographie au 1 : 20 000 des principaux bassins pouvant entrer en ligne de compte pour une régularisation totale du fleuve. A cet effet, IGN a réalisé, en territoire malien, sur la Falémé, le Bafing et le Bakoye, une couverture aéro-photogrammétrique au 1 : 40 000 et des profils APR. Des restitutions au 1 : 20 000 avec équidistance de 5 m ont été effectuées pour les bassins d'accumulation de Gourbassi (667 km²), Manantali (846 km²), Ba-doumbé (682 km²) et se sont étendues au total sur 2 195 km².

La couverture aérophotogrammétrique de la région guinéenne existait déjà dans les dossiers du sous-traitant. Les surfaces de bassins d'accumulation restituées au 1 : 20 000 sont : Koukoutamba (129 km²) et Boureya (354 km²) soit au total 483 km². Comme il l'a été dit au paragraphe 2.4.4.2 la zone restituée dans le bassin de Koukoutamba a été agrandie ultérieurement à la demande des Nations Unies. Pour le Mali et la Guinée, c'est au total de 2 678 km² qui ont été restitués en vue de l'étude finale.

SENEGAL-CONSULT a effectué la stéréopréparation et la couverture aéro-photogrammétrique des sites de barrage. Pour les sites maliens, cette couverture au 1 : 8 000 a porté sur 140,5 km² avec stéréopréparation et sur 116 km² sans celle-ci.

En Guinée, la couverture aérophotogrammétrique a été faite sur un total de 404,5 km², soit 31 km² au 1 : 8 000 avec stéréopréparation, 95 km² au 1 : 10 000 et 278 km² au 1 : 20 000 sans stéréopréparation.

La couverture aérophotogrammétrique représente au total, pour le Mali et la Guinée, 661 km². Elle a été faite avec des recouvrements de photos dans la ligne de vol entre 60 et 70 %; il en est de même pour la couverture aérophotogrammétrique IGN au 1 : 40 000.

Les restitutions au 1 : 2 000, avec équidistance de 1 et 2 m, des sites se sont étendues, pour le Mali, sur 30,05 km² et pour la Guinée sur 3,92 km², soit au total 33,97 km².

Pour la cartographie au 1 : 2 000 qui a été faite en coordonnées relatives, SENEGAL-CONSULT a appliqué le système de transformation Halmeret pour les ramener aux coordonnées du système IGN.

3.4. Géologie générale

3.4.1. Introduction

La région étudiée comprend le bassin du Sénégal à l'amont de Bakel et ceux de ses affluents, les rivières Falémé, Bafing, Bakoye et Baoulé.

L'interprétation de la géologie générale est basée essentiellement sur la carte du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Dakar (BRGM), publiée en 1960 à l'échelle 1 : 2 000 000. Cette carte est une synthèse de tous les travaux antérieurs effectués généralement à l'occasion de recherches minières ou pétrolières, notamment par H. Hubert, L. Baud, R. Dars, M. Zimmermann, C. Bense, J.P. Bassot, M. Arnould, J. M. Aymé et R. Guillaume.

Dans le domaine plus restreint des aménagements hydro-électriques, il faut mentionner les études de L. Renaud, M. Gautier, J. Archambault, J. Delpy, J. Tricart de la mission Technoexport, ainsi que celles de P. Michel sur la morphologie et de S. Pereira-Barreto sur la pédologie.

3.4.2. Morphologie

Les données géographiques générales sont décrites dans le chapitre 3.2.

P. Michel distingue quatre grandes zones morphologiques, à savoir :

- des reliefs anté-quaternaires non érodés,
- un haut glacis cuirassé,
- *moyen glacis cuirassé*
- un bas glacis non cuirassé.

Les glacis sont des plaines d'érosion faiblement inclinées vers le thalweg. Le cuirassement ou formation d'une cuirasse latéritique correspond à un arrêt dans l'abaissement de la nappe phréatique pendant une période climatique humide. Le haut glacis a été entièrement érodé dans la région et ne subsiste que très localement ailleurs. Le bas glacis, de formation récente, n'a subi qu'une faible latéritisation sans cuirassement.

H.C. Albert

- Les reliefs anté-quaternaires forment le Plateau Mandingue s'étendant d'une part au Sud du fleuve Sénégal jusqu'au Fouta Djallon et d'autre part entre Kayes et Nioko au Nord du fleuve Sénégal. Ils s'élèvent d'un jet à quelques centaines de mètres au-dessus de la plaine en une corniche rectiligne. Leur surface très légèrement ondulée a subi une latéritisation au cours du Secondaire et du Tertiaire.
- Le moyen glaciais cuirassé est visible dans le bassin de la Falémé et partiellement dans ceux du Bafing et du Bakoye. Il caractérise les hautes régions situées en bordure des reliefs antéquaternaires. Après son cuirassement, le moyen glaciais a été érodé dans le bas pays où il est graduellement remplacé par le bas glaciais.
- Le bas glaciais couvre le Haut-Bassin du fleuve Sénégal jusqu'à Bakel, le Bas-Bassin de la Falémé ainsi que les vallées moyennes et inférieures des affluents du Sénégal.

3.4.3. Unités géologiques

Le bassin du fleuve Sénégal et de ses affluents est compris dans des unités géologiques anciennes. A l'exception de certaines roches éruptives, aucun dépôt important ne s'est fait postérieurement au Paléozoïque Moyen.

Les unités géologiques sont les suivantes, par ordre chronologique :

- Le socle précambrien
 - Birrimien, faciès schisteux
 - Birrimien, faciès à roches vertes
 - Granite syntectonique
 - Granite posttectonique
- L'Infra-Cambrien
 - Grès quartzeux, pélite
- Le Cambrien
 - Tillite, dolomie, pélite
- L'Ordovicien
 - Grès

- Les intrusions post-ordoviciennes

Dolérite

- Les dépôts récents

Latérite et alluvions

La carte générale (voir annexe 1.05) illustre la disposition de ces unités dans le bassin du Sénégal.

- Le socle précambrien

Il affleure dans le bassin de la Falémé et du Bafing guinéen. Dans le bassin de la Falémé il est bordé au Sud par le massif Cambrien du Fouta Djalou et, à l'Est, par la falaise Infra-Cambrienne de la Tambourra. Dans le bassin du Bafing, il affleure au Sud et à l'Est où il est limité par le massif Infra-Cambrien et Cambrien du Fouta-Djalou.

Ce sont des séries sédimentaires et volcaniques métamorphosées, orientées du SSO au NNE et comprenant des schistes, des quartzites, des pélites et des calcaires d'une part, des métaandésites et des ophiolites d'autre part. Ces séries métamorphiques ont été traversées à l'Ouest et au Sud par deux intrusions granitiques syn et post-tectoniques. Au cours du Birrimien, une orogénèse a surélevé les séries métamorphiques qui formèrent une chaîne importante. Par la suite, cette chaîne a été pénéplainée par l'action des rivières locales qui ont entraîné leurs alluvions sur le pourtour du socle. Dans le bassin du Bafing guinéen, il est représenté par des gneiss et des granites syntectoniques.

- L'Infra-Cambrien

Les roches détritiques de l'Infra-Cambrien forment tout le Plateau Mandingue et s'étendent sans interruption de Kayes à Bamako. Elles sont limitées au Nord par la grande faille de Kayes-Foukoto et au Sud par le Fouta Djalou.

Cette unité est caractérisée par une puissante épaisseur de grès quartzeux et feldspathiques à stratification entrecroisée. Des grauwackes, des pélites et des jaspes s'intercalent fréquemment dans la série quartzreuse sous forme de lits peu épais.

L'Infra-Cambrien forme actuellement un plateau subhorizontal fracturé par un réseau de fissures rectilignes. Après une émergence générale

la région a subi un refroidissement qui marqua une grande partie du continent africain.

- Le Cambrien

Une moraine pétrifiée s'étendit sur la région pendant cette période glaciaire; par sa continuité et son extension, elle représente un remarquable niveau-repère qui définit la limite inférieure du Cambrien.

A la suite de cette période froide, le climat s'est normalisé, permettant la sédimentation de dépôts marins classiques. On trouve une succession de dolomies, de jaspés et de pélites s'accumulant sur une grande épaisseur. Ces dépôts affleurent surtout au Nord du fleuve Sénégal et dans le massif du Fouta Djalon. Tout comme l'Infra-Cambrien, les séries cambriennes n'ont subi aucun plissement mais en revanche, de nombreux déplacements verticaux. Morphologiquement, ces séries forment des collines molles à flancs ravinés contrastant fortement avec les corniches verticales des tables de l'Infra-Cambrien. Dans le massif de Kaarta, qui sépare la région de Niore du fleuve Sénégal, ces collines sont protégées de l'érosion par d'importants "sills" doléritiques. Dans le Fouta Djalon, ces roches ont été très vivement latéritisées et n'affleurent que très localement.

- Les intrusions doléritiques

Des roches filoniennes, généralement des dolérites, se sont intercalées dans les séries sédimentaires et métamorphiques sous la forme de "sills" parfois très étendus ou, moins fréquemment, de petits "dikes". Ces intrusions sont disséminées dans toute la région par amas dont les plus importants forment le Fouta Djalon et le massif de Kaarta. Dans le Plateau Mandingue, elles affleurent en petits "sills" ou en "dikes" dirigés selon les fractures de la roche encaissante.

Ces dolérites sont souvent quartzifères; leur structure est isophitique ou microgrenue (norites). Elles contiennent des plagioclases, de l'augite chloritisée et épidotisée, de la biotite, des oxydes de fer, du quartz et, parfois, de l'hypersthène.

Les intrusions n'ont provoqué qu'un très léger métamorphisme de contact qui n'affecte sélectivement que les séries pélitiques ou calcaires. D'après des corrélations faites en Guinée, il semble qu'elles soient mises en place postérieurement à l'Ordovicien.

- Les dépôts récents

La latérite et les alluvions fluviatiles constituent les formations récentes les plus importantes.

Le terme de latérite est employé ici dans son sens large qui comprend les altérations du bedrock avec accumulation de fer. Granulométriquement, la latérite se présente sous diverses formes, argile à concrétions, gravillon et croûte résistante appelée cuirasse. La succession varie en fonction du milieu physico-chimique, le terme ultime de l'évolution étant très fréquemment le cuirassement.

Les dépôts alluviaux consistent généralement en sables argilo-limoneux accumulés le long du lit apparent. Ils forment souvent des berges surhaussées ou levées, dominant le thalweg de 2 à 5 m. Les dépôts alluviaux graveleux sont rares et sont localisés dans le lit des fleuves à l'amont des seuils rocheux ou dans les surcreusements du thalweg.

3.4.4. Tectonique

Le Haut-Bassin du Sénégal dessine un immense synclinal orienté NE-SO, c'est le synclinal guinéen, d'âge post-cambrien et limité à l'Ouest et à l'Est par deux fenêtres découvrant le socle précambrien dans le cours de la Falémé d'une part et en Guinée, dans le cours supérieur du Bafing d'autre part.

L'histoire tectonique de cette région se caractérise par une intense orogénèse d'âge birrimien, suivie de petits mouvements, généralement verticaux et provenant du socle, qui ont affecté les unités géologiques jusqu'à la fin du Primaire. De plus, il existe des preuves morphologiques de mouvements plus récents d'âge quaternaire, trop faibles pour provoquer des fractures mais suffisants pour modifier le régime des rivières.

Progressant du NO au SE, l'orogénèse birrimienne a intensément replissé le socle précambrien. L'orientation des plis est NE-SO et les pendages des couches sont fortement inclinés, ce qui contraste avec les pentes subhorizontales des séries postérieures.

Par la suite, de nombreux mouvements verticaux se sont produits en affectant l'Infra-Cambrien et le Cambrien. De ces mouvements est résultée la formation du massif du Fouta Djallon dont l'élévation s'est accompagnée d'importantes intrusions doléritiques.

Au Nord, le grand accident de Kayes-Toukoto est un témoin visible de ces mouvements. Le compartiment NE de cette faille normale s'est enfoncé par rapport au bloc SO, mettant ainsi en regard les grès de l'Infra-Cambrien et les schistes du Cambrien.

Les séries subhorizontales montrent souvent de nets basculements à proximité de cet accident. Le Haut-Sénégal et la Basse-Baoulé s'écoulent parallèlement à cette faille qui se poursuit sans interruption de Kayes à Toukoto.

Au Sud de Kayes, l'accident se subdivise en deux branches dont l'une orientée à l'ENE, s'éteint après 90 km. La branche principale se poursuit, en passant au Sud du site de Félou et au NE des sites de Gouina et de Galougo; peu à l'amont du site de Dioubéba, elle s'incurve au Sud et traverse le Bakoye à Oualia en laissant le site de Badoumbé à l'Est. Quelque 15 km au Sud de ce site, la faille reprend sa direction Est-Ouest jusqu'à Toukoto au-delà duquel elle n'a pas été reconnue.

D'après les observations de terrain et les données bibliographiques, la faille n'a pas rejoué postérieurement à sa formation.

En conclusion, la région peut être considérée comme très stable, n'ayant pas subi de déformation tectonique depuis la fin du Paléozoïque.

3.4.5. Le bassin du Sénégal

Le profil du Sénégal entre Bafoulabé et Kayes est intimement lié à la géologie. En effet, on peut distinguer successivement :

- des plateaux gréseux, légèrement inclinés vers l'amont, que le fleuve traverse selon une suite de rapides à Gouina et à Félou, alternant avec
- des plaines recouvertes d'alluvions sableuses formées soit par le sommet de la dalle gréseuse de l'Infra-Cambrien à Bafoulabé, soit par les séries tendres du Cambrien à l'amont du Félou et dans la région de Kayes. Notons en passant que le seuil de Kayes est dû à une intrusion granodioritique attribuée à la série birrimienne.

La dalle gréseuse de Félou ne se prête qu'à un aménagement très modeste du même type que l'usine actuelle en raison de sa morphologie très plate. Toute élévation du plan d'eau excédant quelques mètres noierait une zone latérale étendue où des pertes importantes seraient à craindre, soit par évaporation, soit par infiltration le long des zones de fractures des grès.

Les chutes de Gouina et le site de Galougo forment tous deux un resserrement de la vallée, le premier étant plus large et moins marqué que le second. Les deux sites se trouvent dans le complexe infra-cambrien qui, à Galougo, est formé uniquement de grès très homogènes, alors qu'à Gouina la série gréseuse et pélitique a subi une intrusion de dolérite et un léger métamorphisme local.

3.4.6. Le bassin de la Falémé

Du pied du Fouta Djalon à sa confluence avec le Sénégal, la Falémé s'écoule en dessinant de grands méandres dans une plaine d'érosion parsemée de petits inselbergs ou de buttes latéritiques, témoins des glacis cuirassés. Des études géologiques récentes ont mis en évidence de nombreux surcreusements du bedrock cachés par une couverture uniforme d'alluvions limonosableuses. Le bedrock appartient en grande partie au Birrimien avec des intrusions granitiques syntectoniques. L'altération a intensément attaqué les roches qui n'apparaissent à l'état frais que dans le lit des rivières. En conséquence, aussi bien du point de vue morphologique que géologique, le bassin de la Falémé présente de sérieux inconvénients à tout projet de barrage. Le site de Gourbassi est le seul emplacement du bas bassin où la morphologie s'y prête tant soit peu. Dans le bassin supérieur, le site de Moussala ne paraît pas particulièrement favorable alors que plus à l'amont, les conditions géologiques semblent nettement meilleures.

3.4.7. Le bassin du Bafing

Le cours du fleuve se caractérise par une alternance de biefs et de seuils rocheux que le Bafing n'a pas eu la puissance d'éroder et qui forment des rapides ou de petites chutes.

Ce bassin se situe dans sa partie supérieure, dans le socle birrimien et, dans sa partie inférieure, dans le complexe infra-cambrien subhorizontal qui forme l'immense Plateau Mandingue.

Il est caractérisé par des alternances de massifs gréseux épais et résistants d'une part, formant des reliefs tabulaires dominant la plaine de quelques centaines de mètres et, d'autre part des séries de roches plus friables et plus altérables, telles que pélites, grauwackes

et jaspes qui sont recouvertes par des dépôts superficiels ou de la latérite et qui n'apparaissent donc pas dans la morphologie. Des intrusions éruptives, généralement des dolérites, traversent parfois ce complexe notamment dans la partie guinéenne. Dans cette zone-ci, émergent de la plaine des buttes-témoins arrondies en inselbergs provenant généralement des granites birrimiens.

Les sites de Koukoutamba et Boureya ont été choisis parmi d'autres pour la qualité des affleurements rocheux sur rive droite et dans le lit du fleuve.

Le bas bassin se trouve au Sud de la grande faille de Kayes-Toukoto et aucun mouvement tectonique important n'a affecté le complexe infra-cambrien. De grandes fissures élargies par l'altération sillonnent le bedrock selon des réseaux très réguliers.

Le site de Manantali se trouve dans un rétrécissement de la vallée du Bafing; il est situé à la limite septentrionale de l'érosion du relief tabulaire. Plus à l'amont, on peut observer de nombreux seuils rocheux du même type que les chutes de Félou qui ne présenteraient d'intérêt que pour des aménagements du même genre à l'exception d'un site relativement étroit à Bindougou.

3.4.8. Le bassin du Bakoye

Il est caractérisé par deux zones distinctes soit, d'une part le plateau gréseux infra-cambrien à l'amont de Toukoto et d'autre part, deux plaines d'érosion séparées par le massif doléritique de Kaarta à l'aval.

La plaine supérieure s'étendant de Toukoto à Badoumbé est comprise dans la partie inférieure de la série cambrienne qui a été par endroits érodée jusqu'au soubassement infra-cambrien.

La plaine inférieure a été formée au dépend du complexe infra-cambrien qui présente quelques variations lithologiques locales.

Le Bakoye traverse donc deux fois l'accident tectonique majeur de Kayes-Toukoto, premièrement peu à l'amont de celui-ci puis à l'aval de Badoumbé.

A l'amont de Toukoto, le Bakoye est freiné par de nombreux seuils gréseux appartenant à l'Infra-Cambrien. Le site de Boudofora a été pris en considération malgré l'absence de bases topographiques ce qui rend l'étude aléatoire. En dépit de tout, les observations du terrain montrent que le site est compris dans une série gréseuse homogène. Cette série a subi une assez forte altération qui s'est développée spécialement dans les nombreuses fractures. L'étude détaillée de ce site exigerait de nombreuses investigations souterraines.

Situées entre Toukoto et Badoumbé, les chutes de Billy présentent les mêmes conditions topographiques que celles de Félou et conviendraient éventuellement à un petit aménagement. Géologiquement, ces chutes sont situées dans une série conglomératique qui se place stratigraphiquement à la partie inférieure du Cambrien. La tillite située 15 km à l'amont matérialisant le contact avec l'Infra-Cambrien.

Le site de Badoumbé est très favorable au point de vue géologique. Le bedrock subhorizontal est composé de pélites et grauwackes. Le bedrock subhorizontal est composé de pélites et grauwackes cambriennes surmontées d'un "sill" doléritique très étendu. Cependant, il présente l'inconvénient morphologique d'avoir une section transversale de plus de 2,5 km.

3.4.9. Le bassin de la Baoulé

Le cours inférieur de la Baoulé présente seul quelque intérêt pour une retenue importante. La Baoulé a creusé un lit encaissé mais peu élevé dans le plateau gréseux infra-cambrien jusqu'à la hauteur de Maréla. A l'aval de ce point, elle traverse une vallée largement ouverte où affleurent les pélites tendres du Cambrien et rejoint le Bakoye à l'aval de Toukoto.

Les possibilités de barrage sont donc limitées au tronçon de 135 km compris entre l'embouchure de la rivière Koya à l'extrême Nord et le village de Maréla au Sud-Ouest.

C'est aux environs de Maréla que les conditions topographiques semblent les meilleures. Le fleuve est bordé de collines plus élevées qu'à l'amont, ce qui permettrait l'édification d'un ouvrage important. Géologiquement, on se trouve en présence de roches très diverses ce qui est dû à une intrusion doléritique ainsi qu'à la proximité du contact entre le Cambrien et l'Infra-Cambrien. De plus, la situation est compliquée par la présence d'une faille traversant le site en son milieu.

3.5. Météorologie et climatologie

Le bassin du Sénégal est caractérisé par trois régions bien distinctes : la région foutanienne où règne un climat tropical et dans laquelle les principaux affluents du fleuve ont leur source, la région soudanienne, située plus à l'Est et la région sahélienne qui recouvre la partie Nord du bassin avec un climat semi-aride. Le réseau climatologique est présenté dans l'annexe 1.06.

La température moyenne annuelle varie, selon les régions, entre 23 et 29° C, s'accroissant légèrement du Sud vers le Nord. Les températures mensuelles maximales sont observées généralement en avril-mai, c'est-à-dire dans le mois qui précède la saison des pluies. (voir annexe 1.10)

Les vents dominants viennent en général du secteur Nord à Nord-Est. L'alizé, maritime, frais et humide et longeant la côte, se fait sentir par intermittence à l'intérieur du continent et fait place au sol, à partir de mars, au vent continental de l'Est, l'harmattan, chaud et très sec. Ce vent se heurte aux courants de mousson, tièdes et humides, soufflant du Sud. Il domine au mois d'août sur l'ensemble du bassin.

Les valeurs annuelles moyennes de l'humidité relative se situent généralement entre 50 et 60 % alors que les plus fortes valeurs mensuelles dépassent le plus souvent 90 % et les plus faibles atteignent 10 à 20 % selon les régions.

Le bassin du fleuve Sénégal fait l'objet des mesures d'évaporation depuis une vingtaine d'années. L'évaporation potentielle annuelle varie selon les régions, entre 1 500 mm (dans la zone guinéenne) et plus de 3 000 mm dans le Nord du bassin. À Kayes, elle atteint une moyenne de 2 400 mm environ (voir annexe 1.09).

Le bassin est équipé d'un réseau d'observations pluviométriques relativement dense et bien distribué qui a permis de recueillir des mesures de précipitations de bonne qualité. La carte des isohyètes de la pluviométrie annuelle moyenne a ainsi pu être tracée; elle montre que la pluviosité varie considérablement à l'intérieur du bassin, passant de 2 000 mm sur le flanc méridional à 250 mm seulement sur la limite septentrionale (voir annexe 1.02).

Les précipitations qui sont souvent de caractère orageux varient également fortement d'une saison à l'autre. Alors qu'elles atteignent leur maximum mensuel de juillet à septembre, elles sont pratiquement nulles en dehors de la saison des pluies. Cette dernière est plus longue dans le Sud (avril-novembre) que dans le Nord où elle se limite à une durée de 3 mois environ. Il est à remarquer aussi une autre caractéristique climatique qui réside dans l'augmentation de l'irrégularité des pluies à mesure que l'on s'approche de la zone désertique, alors que la pluviosité diminue. La hauteur des précipitations peut varier d'une année à l'autre dans le rapport 1 : 4 ou même 1 : 6.

3.6. Hydrologie

Contrairement à ce qui s'est passé pour les caractéristiques climatologiques (évaporation, précipitations) qui n'ont fait l'objet d'observations que relativement récemment, les débits du fleuve Sénégal et ceux de ses principaux affluents ont été mesurés, bien qu'avec certaines interruptions, dès le début du siècle et cela en relation avec la navigation fluviale. A la suite de l'installation de nouvelles échelles par différents organismes, un nombre considérable de mesures ont été effectuées, dont certaines cependant ne peuvent être utilisées qu'avec une certaine prudence, étant donné les méthodes de jaugeage employées, parfois incorrectes. Cependant l'étude hydrologique peut s'appuyer sur la base relativement solide que représente une douzaine de stations importantes. (voir annexes 1.07 et 1.08) La station la plus intéressante se trouve être celle de Bakel sur le Sénégal, en aval des principaux affluents du fleuve, pour laquelle des lectures complètes existent sur 65 années consécutives.

L'analyse détaillée des débits moyens mensuels et annuels et le contrôle des variations relatives de ces valeurs pour l'ensemble, effectués par SENEGAL-CONSULT en collaboration avec le Service de l'Hydraulique, ont permis de mettre en évidence un certain nombre d'anomalies et de procéder à une correction correspondante dans la mesure où cela était possible. Des lacunes de lecture ont pu être comblées et les périodes d'observation étendues à 65 années grâce à des calculs de corrélation. Les valeurs des débits moyens sur une longue période à disposition pour une douzaine de stations ont pu ainsi constituer la base de l'étude préliminaire de la régularisation. Un contrôle des débits a été entrepris par examen du bilan des apports relatifs à un certain nombre de stations. Cette partie d'étude n'a pas abouti, du moins pour certaines stations, aux résultats escomptés, des différences assez importantes étant en effet apparues dans les bilans examinés (cela a été en particulier le cas pour Bakel où un déficit de l'ordre de 6 % a été calculé). Les divergences obtenues proviennent essentiellement du caractère non univoque des courbes de tarage et des phénomènes de modifications des caractéristiques du lit du fleuve qu'engendre le passage des crues (voir annexe 1.12). Une tentative d'explication du déficit à Bakel a été faite par une méthode empirique faisant intervenir les courbes de hauteurs - débits de certaines années au cours desquelles les mesures ont été nombreuses.

En ce qui concerne le bilan des écoulements, un certain retard de la pointe de crue de même que des discordances apparaissent par rapport au maximum d'intensité des précipitations. Le coefficient d'écoulement, dont la valeur moyenne atteint 18,2 % à Bakel, varie considérablement selon l'importance, la durée et la fréquence des averses et dépend

également de l'état de saturation des terrains. Bien que la variation des précipitations ne dépasse pas + 20 % entre les années humides et les sèches, des fluctuations du débit total allant jusqu'à + 60 %, comparées à la moyenne, ont été mesurées à Bakel. A cette station le volume moyen annuel d'eau écoulée s'élève à 24 milliards de m³ environ (débit correspondant : 771 m³/s) alors que le volume moyen des pluies tombant sur le bassin actif du Sénégal (140 000 km²) peut être estimé à 133 milliards de m³ ce qui correspond à une perte, essentiellement due à l'évapotranspiration, de 103 milliards de m³.

Parmi les 65 années d'observation, un certain nombre d'années sont particulièrement humides (1906, 1922, 1936, 1950, 1958) alors que d'autres (1902, 1913, 1944, 1968) ont une hydraulicité exceptionnellement faible. Tant les unes que les autres ont été défavorables pour la population, provoquant soit des dégâts d'inondation, soit réduisant tragiquement le rendement agricole dans la Vallée.

La détermination des volumes d'apport des différentes années en fonction de leur fréquence d'apparition a été basée sur la méthode statistique de Gauss, avec un contrôle dans certains cas par application des lois de Pearson. C'est ainsi qu'ont pu être calculés les volumes pour des années caractéristiques de fréquence 1/100 et 1/1000.

L'hydrogramme général des crues présente d'année en année des irrégularités notables tant par l'amplitude de l'onde que par la date du maximum et la vitesse de propagation. Cette irrégularité inter-annuelle constitue une véritable plaie pour la Vallée (variation de la surface cultivable, date de la décrue, etc.). L'amplitude de la crue est généralement atteinte à Bakel en septembre. Le temps de propagation de l'onde dépend des caractéristiques du lit du fleuve et de ses affluents et varie entre 80 et 170 km/jour. La série de biefs étagés qui jalonne le profil en long du Sénégal représente une capacité de rétention non négligeable puisqu'entre Galougo et Bakel, le volume accumulé peut atteindre 1 milliard de m³ pour une crue de 7 000 m³/s.

Les caractéristiques des crues observées depuis 1903, données dans les annexes du volume No 3 sont à considérer avec une certaine réserve puisque les mesures effectuées quotidiennement, à heure fixe, ne captent pas forcément l'amplitude maximum et qu'elle requièrent une extrapolation des barèmes de tarage.

L'examen des hydrogrammes des crues observées simultanément aux stations les plus importantes du Sénégal et de ses affluents fait apparaître une similitude des hydrogrammes de la Falémé et du Bafing. De même la superposition de l'ensemble des hydrogrammes des 3 affluents principaux recouvre relativement bien celui du Sénégal à Bakel.

Les caractéristiques des crues exceptionnelles et en particulier celles de la crue millénaire ayant servi au dimensionnement des évacuateurs de crues, ont été obtenues également par la méthode de Gauss.

Une périodicité dans la succession des débits annuels ne semble pas pouvoir être mise statistiquement en évidence bien que quelques groupements d'années sèches et d'années humides puissent être constatés. En effet, une succession d'années hydrauliquement riches a été observée durant les 40 dernières années avec une fréquence de 10 à 12 ans, alors que les années sèches sont apparues tous les 25 à 30 ans environ.

En appliquant le module mouvant de cinq années, les fleuves Sénégal, Niger et Nil ont été comparés (voir annexe 1.11). On constate que la période d'environ 30 années mentionnée ci-dessus peut être observée au Niger également tandis que le Nil semble avoir d'autres caractéristiques.

La MAS a mis en place un dispositif de prévision des crues qui devrait permettre aux riverains, aux agriculteurs et aux navigateurs de prendre les mesures nécessaires en temps utile. Il s'avère cependant particulièrement hasardeux de tirer des conclusions statistiques trop hâtives des résultats de mesures recueillis à ce jour, étant donné que le nombre d'années d'observation reste encore relativement limité. Rien n'empêche cependant de perfectionner d'année en année le dispositif mis en place en réajustant chaque fois les prévisions aux observations réellement effectuées. En complément de l'étude de la MAS, SENEGAL-CONSULT a effectué une analyse comparative des crues mesurées dans la partie haute du bassin versant et des crues mesurées à Bakel pour obtenir un moyen permettant la prévision des crues à court terme. Le but principal de cette analyse était de trouver un décalage de temps bien déterminé et le plus grand possible entre les mesures faites dans la partie haute et la partie basse du bassin versant. La meilleure corrélation a été trouvée entre le total des débits des crues mesurées simultanément à Dibia, Oualia et Fadougou et les crues mesurées à Bakel. Le résultat est présenté dans l'annexe 1.13. Il en ressort que pour les hautes crues on peut observer un décalage constant de temps de 16 jours entre les mesures à Dibia, Oualia et Fadougou et l'arrivée de la crue à Bakel. Les débits maximums à Bakel peuvent ainsi être calculés approximativement selon la formule suivante :

$$Q_{\text{Bakel}} = 2,63 \times (Q_{\text{Dibia}} + Q_{\text{Oualia}} + Q_{\text{Fadougou}}) - 1450$$

(16 jours plus tard)

Les débits étant exprimés en m³/s.

3.7. Morphologie du fleuve

Un élément important dans l'établissement d'un projet de retenue peut être constitué par le volume d'apport solide que transitent les eaux du fleuve aménagé. Aussi, des mesures de transport solide en suspension et par charriage sur le fond sont-elles souvent entreprises afin de procéder à une évaluation de la masse des transports solides.

Pour le Sénégal, seules des mesures de transport en suspension ont été effectuées, le charriage sur le fond étant considéré comme n'ayant pas d'influence prépondérante sur la morphologie du lit. Il s'avère que la concentration des sédiments atteint son maximum au début de la crue (avec une valeur de l'ordre de 300 gr par m³). La grandeur des particules en suspension est très faible et semble ainsi ne pas être en rapport avec la morphologie même du lit.

Le résultat des mesures antérieures, corroboré par ceux des mesures de SENEGAL-CONSULT, permet d'affirmer que la quantité annuelle moyenne des apports solides dans le Sénégal à Kayes ne dépassera pas 2 à 3 millions de tonnes. Le volume correspondant à ce tonnage ne représente qu'une infime partie de la capacité des retenues projetées.

Il ne semble pas non plus que les modifications du régime hydraulique qui interviendront après la construction des aménagements puissent influencer sensiblement la morphologie du fleuve et de ses affluents et engendrer une augmentation sensible du volume charrié sur le fond.

3.8. Végétation et déboisement

La végétation dans l'emprise des bassins d'accumulation de Manantali, Galougo et Gourbassi diffère assez peu d'un bassin à l'autre. Partout on rencontre la savane avec des arbres de 10 à 15 m de haut dont la densité est très variable. Ces bouquets d'arbres, assez dense près des cours d'eau sont clairsemés sur les hauteurs. Comme arbres, on trouve le karité (arbre à beurre), le néré, le tamarinier, des baobabs, différentes espèces d'acacias et des bambous, ces derniers plus particulièrement dans la vallée de la Falémé.

La surface des bassins cités ci-dessus varie entre 500 et 1 800 km². Il serait impensable de déboiser mécaniquement ou manuellement de telles surfaces parce que trop onéreux. Dans les grands bassins créés au Katanga (Congo-Kinshasa) et celui de Cariba (Rhodésie), le déboisement a été fait par le feu. En effet, par ce moyen on arrive à brûler les grandes herbes de la savane et à calciner les arbres. Ce travail peut être exécuté par la population locale qui peut surveiller et diriger la progression du feu par l'établissement de coupe-feu.

Chapitre 4

BASES DE DIMENSIONNEMENT
DES OUVRAGES

4. BASES DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

4.1. Généralités

Une étude de l'ampleur de celle qui fait l'objet du présent rapport exige la mise au point préalable d'un certain nombre d'options de base tant techniques qu'économiques. Il s'agit en effet de comparer entre elles diverses possibilités d'aménagement et il est indispensable que chacune des variantes soit conçue selon des critères identiques. Il est donc nécessaire, avant de procéder à la définition des caractéristiques des différents ouvrages, de fixer d'une manière rigoureuse les critères à appliquer pour le dimensionnement de ceux-ci. Une telle définition présente obligatoirement un certain caractère tant soit peu arbitraire. Il est évident qu'une certaine souplesse dans l'utilisation des critères permettrait parfois d'imaginer des solutions plus séduisantes et plus économiques. Il importe toutefois de ne pas perdre de vue le but de l'étude qui consiste à rechercher la solution optimale parmi un très grand nombre de variantes possibles. La validité d'une telle analyse n'est effective que dans l'hypothèse d'une similitude rigoureuse des bases de dimensionnement. Il sera en revanche souhaitable et même indispensable de réviser fondamentalement certains critères lors de la mise au point des caractéristiques définitives de la solution retenue. Cette manière de faire permettra d'adapter mieux encore les dimensions de l'aménagement retenu aux objectifs spécifiques auxquels devra tendre ce dernier.

Il convient de relever d'ailleurs qu'une modification des critères de dimensionnement pour autant qu'elle concerne toutes les solutions, n'est pas à même d'entraîner un bouleversement complet de l'ordre des valeurs des diverses solutions. Les tests de sensibilité auxquels le modèle mathématique utilisé pour l'analyse comparée des diverses variantes a été soumis, ont démontré en effet le peu d'influence d'une modification même importante dans les bases de dimensionnement choisies. Il a été constaté en particulier que l'ordre des valeurs des solutions était pratiquement indépendant des prix unitaires choisis pour le calcul des coûts relatifs des différents ouvrages, pour autant évidemment que ces prix unitaires soient appliqués à toutes les solutions.

Les bases de dimensionnement sont de plusieurs natures, il s'agit tout d'abord des critères techniques utilisés pour le dimensionnement des différents ouvrages, il s'agit ensuite des critères économiques. Ceux-ci s'appliquent d'une part lors de la détermination des coûts des diverses variantes et d'autre part pour l'estimation des frais annuels d'exploitation, d'entretien et d'amortissement.

4.2. Bases techniques

4.2.1. Principes généraux

Chacun des sites de barrage reconnu sur la base de caractéristiques topographiques favorables au cours des premières prospections a fait l'objet d'un examen critique de ses autres aspects. Il convenait en effet d'éliminer le plus rapidement possible les emplacements où la réalisation d'un ouvrage se serait, pour des raisons techniques, révélée très difficiles. Actuellement la notion d'impossibilité sur le plan technique tend en effet à disparaître en raison des moyens toujours plus perfectionnés que la science moderne met à la disposition des ingénieurs. C'est pourquoi il est souvent imprudent d'écarter d'emblée certaines solutions sans avoir procédé au moins à une analyse préalable sommaire de leur coût d'exécution. L'élimination d'un site n'a été décidée dans le cas de l'étude du bassin du Haut Sénégal que lorsqu'il existait une possibilité de remplacement plus intéressante et qui aurait été exclue par le choix du premier site.

Il n'est pas possible d'accroître indéfiniment la taille d'un ouvrage de retenue. Les dimensions de ce dernier sont dans les cas les plus favorables limitées par les contraintes dans l'ouvrage ou sur la fondation. Dans la majorité des cas cependant, la taille limite d'un ouvrage dépend des conditions topographiques et morphologiques du site. En effet, en cas de dépassement d'une certaine cote elles impliquent un allongement considérable du couronnement du barrage ou la construction d'ouvrages secondaires coûteux. Dans d'autres cas, la surface de la retenue croît d'une manière telle qu'en raison de l'influence de l'évaporation à la surface du plan d'eau, l'effet régularisateur de la retenue diminue avec l'accroissement du volume accumulé.

La capacité des bassins d'accumulation envisageables dans le bassin du Haut Sénégal est limitée physiquement très au-delà des valeurs maximums que les apports naturels aux différents sites permettraient de choisir. En effet, la régularisation totale du fleuve Sénégal à Bakel à la valeur de son débit moyen inter-annuel nécessite la création de retenues d'une capacité totale de 70 à 80 milliards de m³. Les conditions géologiques et topographiques permettraient techniquement et physiquement la réalisation d'une telle accumulation au moyen du seul et unique barrage à Galougo par exemple. La rentabilité d'un tel aménagement serait cependant inférieure à celle de la combinaison des différentes retenues en raison principalement de la plus faible productibilité énergétique d'un seul aménagement.

Il n'est donc pas nécessaire, dans le cas des bassins d'accumulation réalisables dans le Haut du Sénégal, d'en définir les limites physiques car toutes les variantes envisagées sont en-deçà de ces dernières.

4.2.2. Bases de dimensionnement des barrages

La détermination du type de l'ouvrage de retenue le mieux adapté à un site donné dépend d'un grand nombre de facteurs. Parmi les plus importants, il faut retenir la topographie du site, les caractéristiques géologiques et géotechniques du sol, les matériaux de construction disponibles et l'économie du projet. Ce dernier facteur est influencé d'autre part, plus ou moins fortement par la proximité ou l'éloignement des zones d'emprunt des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage, ainsi que par l'importance de la distance séparant le site des centres de ravitaillement pour les matériaux de construction. L'économie du projet est également influencée par l'importance des débits de crue à évacuer pendant la construction de l'ouvrage d'une part et durant l'exploitation d'autre part. Les débits de crues définissent en effet le choix du mode de dérivation des eaux pendant la construction ainsi que les dimensions et le type des évacuateurs de crues.

Dans le cadre de l'étude des sites de barrage réalisables dans le bassin du fleuve Sénégal, un premier choix a été dicté par les conditions topographiques. La forme des vallées éliminait en effet d'emblée la solution d'un barrage-voûte mais permettait d'envisager soit la réalisation d'un ouvrage en béton type barrage-poids ou à voûtes multiples soit une digue en terre ou en enrochements soit encore la combinaison de ces différents types d'ouvrage.

L'étude de la géologie de surface à chacun des emplacements ainsi que les résultats des prospections géophysiques ou par sondages ont permis ensuite de préciser davantage le choix du type d'ouvrage susceptible d'être réalisé. Il a été ainsi possible, dans certains cas d'écarter d'emblée des solutions prévoyant un ouvrage uniquement en béton en raison de la mauvaise qualité du terrain de fondation. Dans d'autres cas, en revanche, ces prospections ont montré que les conditions géologiques ne réduisaient pas le nombre des solutions envisageables sur la base des conditions topographiques.

La recherche des zones d'emprunt des matériaux nécessaires à la construction des ouvrages et les essais géotechniques effectués en laboratoire par les soins de SENEGAL-CONSULT sur des échantillons prélevés dans ces zones, ont permis ensuite de réduire dans certains cas le nombre des solutions techniquement envisageables. En effet, par exemple, l'absence totale de matériaux imperméables à proximité du site élimine les solutions prévoyant une digue avec noyau central.

Sur la base des données et renseignements fournis par la topographie du site, sa géologie et les caractéristiques géotechniques des matériaux de construction, il a été possible dans une première phase d'établir pour les divers sites envisagés un avant-projet sommaire pour chacun des types d'ouvrage de retenue techniquement réalisables. Au cours de l'établissement de ces avant-projets, il est apparu que l'importance des débits des rivières à évacuer durant la construction était telle, principalement durant la période des crues, qu'elle excluait pour des raisons économiques, la construction de galeries de dérivation. C'est la raison pour laquelle SENEGAL-CONSULT a estimé nécessaire d'envisager à chacun des sites de retenue une partie d'ouvrage en béton, susceptible d'être submergée sans dommage lors du passage des crues pendant la construction.

Pour chacun des sites, un devis estimatif sommaire a été établi pour chaque type d'ouvrage envisagé, de manière à permettre la comparaison entre elles des diverses solutions sur des bases économiques identiques. Il n'est cependant pas évident que si un type de barrage s'avère plus économique qu'un autre pour une hauteur donnée, ce fait se vérifie également pour un ouvrage d'autres dimensions. C'est pourquoi la comparaison économique des différents types d'ouvrage possibles a été faite pour différentes hauteurs de barrage. Les résultats de cette comparaison ont été présentés dans les Rapports Intérimaires que SENEGAL-CONSULT a remis aux Nations Unies en décembre 1968 et août 1969.

Pour le dimensionnement des ouvrages de retenue, il a été tenu compte des hypothèses de base suivantes :

- Les fondations d'un barrage en béton comme celles du noyau ou du masque amont d'une digue doivent s'enfoncer de 2 à 3 m dans le rocher sain. En revanche, les corps d'appui amont et aval d'une digue peuvent reposer sur des matériaux meubles ou sur de la roche altérée pour autant que les caractéristiques de ces matériaux le permettent.
- Les organes de dérivation provisoire, pendant la construction, ont été dimensionnés pour permettre le passage d'une crue d'un débit correspondant à une période de récurrence de l'ordre de 20 ans.
- La revanche au-dessus du niveau maximum atteint lors de la crue millénaire a été fixée à 2 m dans le cas d'un barrage en béton et à 3 m dans celui d'une digue en terre ou en enrochements.
- Le niveau maximum atteint lors d'une crue exceptionnelle est défini dans chaque cas en fonction de l'hydrogramme de la crue entrant dans la retenue, des dimensions de cette dernière et des caractéristiques de l'évacuateur de crues envisagé.

- Chaque ouvrage de retenue est complété par un rideau d'injections dont les caractéristiques ont été estimées sur la base des résultats des prospections géologiques. Un voile de drainage est également prévu en aval du rideau principal d'injections et des injections de consolidation et de contact seront réalisées aussi bien sous la partie d'ouvrage en béton que sous le noyau des digues ou au pied du masque amont d'étanchéité.
- Une route de 6 m de largeur est prévue sur le couronnement de chacun des ouvrages. La largeur totale du couronnement est de 10 m dans le cas des digues en terre ou en enrochements et de 6 m sur les parties d'ouvrage réalisées en béton.

4.2.3. Bases de dimensionnement des ouvrages annexes

De manière à pouvoir comparer, d'une part les différentes solutions envisageables à un même site entre elles et d'autre part les différents sites entre eux, les ouvrages annexes, c'est-à-dire évacuateur de crues et vidange de fond, ont été dimensionnés sur des bases identiques.

Les organes d'évacuation des crues des ouvrages de retenue envisagés ont été, dans la première phase des études, dimensionnés de manière à pouvoir évacuer au maximum les 60 % du débit de pointe de la crue millénaire définie pour le site de barrage considéré. Cette condition doit être remplie, si l'évacuateur de crues est équipé de vannes, pour le cas où la plus grande vanne reste accidentellement bloquée en position fermée lors du passage d'une crue. Ce laminage était rendu possible par l'accumulation au-dessus du niveau de retenue normale d'un volume correspondant à un apport égal aux 40 % du débit de pointe de la crue millénaire durant 6 jours. Dans la seconde phase des études, après que les caractéristiques optimums des bassins d'accumulation aient été définies, les évacuateurs de crue des ouvrages retenus ont fait l'objet d'une étude plus précise, basée sur les hydrogrammes des crues déterminés à chaque site. Un des objectifs à atteindre par la réalisation de bassins d'accumulation sur le fleuve Sénégal et ses affluents consiste à protéger la vallée basse en aval des barrages, contre les inondations catastrophiques. C'est la raison pour laquelle Les Nations Unies avaient prescrit à SENEGAL-CONSULT d'écrêter suffisamment les crues dans les ouvrages de retenue pour que, lors d'une crue de fréquence centenaire, le débit maximum à Bakel ne dépasse pas, après la réalisation des ouvrages de régularisation, le débit enregistré actuellement lors d'une crue décennale. Cette condition ne peut être réalisée avec l'aménagement de Gourbassi seul, qui ne peut contrôler que les crues de la Falémé. En revanche, les organes d'évacuation des crues des ouvrages de retenue de Galougo et de Manantali ont été dimensionnés de manière à remplir cette condition.

Les organes de vidange de fond ont été dimensionnés de manière à permettre le passage sous la chute minimum d'exploitation d'un débit correspondant au débit équipé de l'usine hydro-électrique. Cette condition permet d'assurer la dotation du cours d'eau en aval de l'usine même si l'exploitation de cette dernière est totalement interrompue.

4.2.4. Bases de dimensionnement des centrales hydro-électriques

L'idée générale qui a présidé au choix des caractéristiques des centrales hydro-électriques prévues dans cette étude consistait à assurer une production d'énergie de base garantie au moins 8 000 heures par an.

De manière à permettre une comparaison valable des divers aménagements envisagés, la puissance installée de chacune des centrales hydro-électriques a été admise égale à 1,5 x la puissance garantie. En dépit de son caractère arbitraire, cette hypothèse permet de tirer des conclusions valables de la comparaison. En effet, le choix d'une puissance installée plus faible ou plus forte ne pourrait modifier l'ordre de valeur des différentes solutions car la production d'énergie de chacune d'elles n'est que très faiblement influencée par la puissance installée.

Les aménagements hydro-électriques envisagés dans le cadre de l'étude réalisée par SENEGAL-CONSULT peuvent être classés dans trois catégories différentes à savoir :

- aménagement à accumulation dont le but principal est la régularisation du fleuve en aval
- aménagement à accumulation dont le but est la production d'énergie
- aménagement au fil de l'eau destiné à la production d'énergie.

Les bassins d'accumulation réalisés en vue de la régularisation des débits du fleuve Sénégal sont conçus de manière à assurer à Bakel l'écoulement d'un débit plus ou moins constant tout au long de l'année. Compte tenu de cette sujétion l'équipement de l'usine hydro-électrique située au pied du barrage a été dimensionné de manière à permettre la production d'énergie à la puissance constante la plus élevée possible. Cette puissance, nommée puissance garantie, doit être disponible 8000 heures par an et au moins 9 années sur 10. Les équipements des usines ont été prévus pour fournir sous la chute moyenne d'exploitation une puissance égale à 1,5 x la puissance garantie.

Les aménagement à accumulation destinés essentiellement à la production d'énergie comprennent les bassins d'accumulation dont la capacité était insuffisante pour leur permettre de jouer un rôle important dans la régularisation du fleuve Sénégal. Ces aménagements sont situés pour la plupart sur le cours supérieur des divers affluents du fleuve Sénégal. Ces retenues ont été dimensionnées de manière à assurer une production d'énergie répartie uniformément sur 8 000 h par année en année moyenne. Les équipements électromécaniques des usines sont dimensionnés dans ce cas comme dans le précédent de manière à assurer sous la chute d'exploitation moyenne une puissance égale à 1,5 x la puissance garantie.

Les aménagement au fil de l'eau tels que Felou et Petit Gouina sont en général des aménagement à faible chute qui sont dimensionnés de manière à pouvoir produire sous la chute d'exploitation moyenne une puissance égale à 1,5 x la puissance garantie pendant 8000 heures et 9 années sur 10. Un dimensionnement tenant compte de la chute minimum conduirait dans le cas particulier des aménagements au fil de l'eau à un surdimensionnement inutile compte tenu du supplément de production d'énergie qu'il serait possible de réaliser.

Les principes de dimensionnement exposés ci-dessus permettent diverses possibilités d'exploitation des aménagements hydro-électriques. Il permettent en particulier :

- d'assurer la puissance garantie quelque soit le niveau amont grâce à la possibilité de turbinage d'un débit plus important que le débit de régularisation
- d'assurer une réserve en cas de revision ou de panne d'une des turbines donnant ainsi la possibilité de garantir la production d'énergie envisagée
- de donner la possibilité de fournir des pointes d'énergie durant certaines heures si la demande le justifie
- d'assurer la production d'énergie secondaire à certaines époques de l'année.

Le nombre des groupes équipant chacune des centrales hydro-électriques a été déterminé en fonction des critères suivants :

- éventuelle réalisation par étapes de l'équipement électromécanique des usines
- possibilité de transport des pièces les plus lourdes et les plus encombrantes par les voies ferrées existantes et les voies d'accès à chacun des sites

4.3. Bases économiques de dimensionnement

4.3.1. Prix unitaires pour les travaux de génie civil

4.3.1.1. Gros oeuvre

Une estimation correcte des prix unitaires de travaux se heurte, même dans des pays où le marché du génie civil est bien développé, à de grosses difficultés. Il n'est pas rare en effet que lors d'un appel d'offres les prix proposés par les divers soumissionnaires d'une part diffèrent sensiblement du montant estimé et d'autre part présentent entre eux des différences encore plus importantes. En outre, pour des travaux du même genre, exécutés dans des conditions similaires, les coûts de construction sont très souvent différents ceci en raison de la situation du marché en général lors de l'appel d'offres, des disponibilités en matériel des entreprises, et du jeu de la concurrence.

Dans des pays tels que ceux où des aménagements destinés à la régularisation du fleuve Sénégal sont envisagés, l'estimation des coûts de travaux du génie civil est encore plus délicate. En effet, il n'existe que peu de points de comparaison car les travaux de génie civil importants réalisés récemment dans cette région de l'Afrique sont rares. On constate en outre généralement que lors des appels d'offres pour des travaux d'outre-mer, les soumissions présentent entre elles des différences encore plus importantes que pour des travaux en Europe.

Dans ces conditions, il a semblé illusoire de chercher à définir les prix unitaires des travaux du génie civil sur la base de ceux pratiqués dans des pays voisins pour des ouvrages de l'importance de ceux prévus par le projet d'aménagement du haut-bassin du fleuve Sénégal. En effet, les points de comparaison sont très rares et concernent en outre des ouvrages réalisés à des périodes différentes et dans des pays différents. Il a paru plus judicieux de baser le calcul des coûts de construction sur les prix unitaires pratiqués en Europe et en particulier en Suisse en adaptant ces derniers aux conditions locales par l'introduction de différents coefficients de correction.

Chaque prix unitaire peut être décomposé en deux parties. La première, appelée "prix sec", résulte de la somme de trois composants principaux qui sont : le coût de la main-d'oeuvre, celui des matériaux et ceux de l'exploitation et l'entretien des machines de chantier. La seconde est estimée en pourcent de la première. Elle couvre d'une part, la mise à disposition des installations de chantier et des engins de construction qui

comprend aussi bien l'aménée sur place et le replis que l'amortissement du matériel, et est en général proportionnelle au prix sec. D'autre part, les frais généraux de l'entreprise, risques et bénéfices sont calculés également en majorant le prix sec par un certain coefficient.

Une analyse des prix unitaires pratiqués sur de nombreux chantiers européens a permis de procéder à une décomposition de ceux-ci. Sur la base des critères exposés ci-dessus, en règle générale, la majoration pour frais généraux, risques et bénéfices s'élève en Suisse à 18 % et en moyenne les prix secs sont majorés de 36 % pour la mise à disposition des installations de chantier. La décomposition des prix secs principaux en main-d'oeuvre, matériaux et exploitation et entretien des installations de chantier est indiquée ci-dessous pour différentes catégories de travaux.

Décomposition des prix secs en %

	Main d'oeuvre	Matériaux	Exploitation et entretien du matériel
<u>- Excavations</u>			
1. Excavations en terrain meuble	20	-	80
2. Excavations en rocher	25	15	60
<u>- Remblais</u>			
3. Remblais en matériaux meubles	15	-	85
4. Remblais en enrochements	20	10	70
5. Remblais pour noyaux	20	-	80
6. Remblais pour filtres	25	-	75
<u>- Ouvrages en béton et injections</u>			
7. Béton de masse CP 250 pour barrages	15	68	17
8. Béton CP 300 pour ouvrages annexes en béton ou béton armé	20	66	14
9. Masque étanche en béton armé	25	60	15

	Main d'oeuvre	Matériaux	Exploitation et entretien du matériel
10. Armatures pour béton armé	15	80	5
11. Coffrages plans métalliques pour barrages	65	25	10
12. Coffrages en bois pour ouvrages annexes	65	25	10
13. Injections	20	50	30

Ce tableau appelle les commentaires suivants :

- Le poste "matériaux" comprend l'achat, le transport, la manutention, le stockage et les pertes de tous les matériaux entrant dans l'ouvrage ou de ceux, tels que les explosifs, nécessaires à l'exécution des travaux.
- Le poste "Exploitation et entretien du matériel" comprend les carburants ou l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des engins, les frais d'entretien et de réparation ainsi que les pièces de rechanges. L'amortissement, le transport et la mise en place des installations de chantier sont compris en revanche dans la majoration des prix secs.

L'analyse des prix de construction pratiqués outre-mer et l'étude des conditions locales ont permis de définir l'importance des coefficients d'adaptation à appliquer aux différentes composantes des prix unitaires pour tenir compte des conditions d'exécution en Afrique par rapport à celles existant en Suisse. Ces coefficients d'adaptation ont été définis de la manière suivante :

- A. Main d'oeuvre

Il a été admis que la main-d'oeuvre utilisée sur les chantiers sera composée de 70 % d'ouvriers indigènes et de 30 % d'ouvriers européens. Les salaires des ouvriers africains sont ceux en vigueur en 1969 dans les différents pays intéressés et les salaires de la main-d'oeuvre européenne travaillant en Afrique ont été admis égal au double de ceux pratiqués en Suisse pour tenir compte des indemnités et des frais de déplacement. Le prix moyen de l'heure d'ouvrier a été établi en tenant compte des différences de rendements des deux catégories de main-d'oeuvre par rapport à l'Europe. En effet, il faut admettre que le rendement de la main-d'oeuvre européenne en

Afrique sera inférieur au rendement en Europe. En raison de la différence du coût de la main-d'oeuvre indigène entre le Mali d'une part et le Sénégal et la Guinée d'autre part, on obtient deux prix moyens de l'heure d'ouvrier. Toutefois, l'influence de cette différence reste inférieure à 10% du prix sec de sorte qu'il n'a pas été jugé nécessaire d'en tenir compte. Il a été ainsi admis que, compte tenu des différences de rendement et des salaires des 2 catégories de main-d'oeuvre, le coût moyen de l'heure d'ouvrier en Afrique était 20 % inférieur au coût moyen de l'heure d'ouvrier en Suisse.

- B. Exploitation et entretien des installations de chantier

Ces frais sont plus élevés en Afrique car les transports renchérissent le coût des carburants et des pièces de rechange.

En outre, il est nécessaire de disposer sur le chantier d'un stock de pièces de rechange plus important qu'en Europe où l'approvisionnement ne pose pas de problèmes. D'autre part, la main-d'oeuvre qualifiée chargée de l'entretien des machines de chantier est essentiellement européenne et coûte plus cher qu'en Europe. Sur la base de l'expérience acquise sur les chantiers d'outre-mer, les frais d'exploitation et d'entretien des installations de chantier sont 30 % environ plus élevés en Afrique qu'en Europe et en particulier en Suisse.

- C. Matériaux de construction

Pour la détermination du coût franco chantier des principaux matériaux de construction utilisés, il a été tenu compte des prix pratiqués à Dakar et du coût de transports jusqu'aux différents sites de barrages. En effet, il n'existe pratiquement pas d'autre centre de ravitaillement pour les ouvrages prévus dans le bassin du Haut-Sénégal. En ce qui concerne les ouvrages de retenue situés en Guinée et pour lesquels les matériaux de construction proviendront de Conakry, il a été admis en première approximation qu'il n'y aurait pas de différence de prix. En effet, il s'agit principalement de matériaux de construction importés pour lesquels il a été admis une exemption des droits de douane en raison du caractère d'utilité publique des constructions envisagées. Une cimenterie a été mise en service au Mali mais sa capacité de production sera vraisemblablement trop faible pour alimenter les chantiers. D'autre part le prix du ciment qui y est produit, correspond à celui du ciment transporté depuis Dakar. Les frais de transports entre Dakar et les différents sites de barrage sont variables. Toutefois cette différence n'est sensible que pour le prix du ciment franco chantier et peut être négligée pour les autres matériaux de construction. Les prix franco chantier indiqués ci-dessous pour les différents matériaux de construction tiennent compte des frais de stockage et de manutention,

ainsi que d'une augmentation par rapport à l'Europe des pertes lors des transbordements.

Prix franco chantier des principaux matériaux de construction

	Prix en Afrique	Augmentation par rap- port à la Suisse
a) Ciment :		
Site de Galougo	51.5 \$/t	+ 160 %
Badoumbé	53.8 \$/t	+ 171 %
Maréla et Boudofora	56.1 \$/t	+ 182 %
Manantali et Koukoutamba	58.4 \$/t	+ 194 %
Gourbassi	60.7 \$/t	+ 206 %
Boureya, Bindougou et Moussala	63.1 \$/t	+ 218 %
b) Fers d'armature	210 \$/t	+ 20 %
c) Bois de construction	120 \$/m ³	+ 90 %
d) Explosifs (nitrate d'amonium)	630 \$/t	- 10 %

- D. Mise en place, repli et amortissement des installations de chantier

Comme il l'a été mentionné plus haut, les prix secs sont majorés en Suisse de 36 % pour la couverture des frais d'amenée, de mise en place et de repli des installations de chantier et de leur amortissement pendant la durée des travaux. Ces installations de chantier comprennent aussi bien les machines et les engins nécessaires à la construction proprement dite que les cantonnements de la main-d'oeuvre et les routes à l'intérieur du chantier. Il a été admis, sur la base des expériences réalisées sur de nombreux chantiers outre-mer, que les transports aller et retour, les assurances, les frais supplémentaires de la mise en place des installations dus au coût plus élevé de la main-d'oeuvre spécialisée occasionneraient une majoration

d'environ 20 % du coût total des installations. En outre, il est indispensable sur un chantier outre-mer de disposer sur place d'une réserve suffisante permettant d'accroître en cas de besoin la capacité de production ou de remplacer rapidement une installation défectueuse ou tombée en panne. C'est la raison pour laquelle les installations de chantier pour la construction d'ouvrages importants outre-mer sont surdimensionnées. Le suréquipement par rapport à des chantiers semblables en Suisse est de l'ordre de 20 %. Dans ces conditions, les prix secs en Afrique doivent être majorés de 50 % pour la couverture des frais occasionnés par l'amenée, l'installation, l'amortissement et le repli du matériel de chantier.

- E. Frais généraux, risques et bénéfices

En Suisse, ce poste représente en moyenne 18 % du prix sec. Pour les travaux outre-mer, les frais généraux sont plus élevés en raison de la distance séparant le chantier du siège de l'entreprise et en règle générale, les risques courus sont plus importants. C'est la raison pour laquelle la majoration pour frais généraux, risques et bénéfices atteint en moyenne 29 % du prix sec.

Les prix unitaires de travaux pour les ouvrages envisagés dans le bassin du Haut Sénégal ont ainsi été calculés sur la base des prix d'ordre pratiqués en Suisse à l'aide des divers coefficients d'adaptation mentionnés ci-dessus. Le tableau ci-après indique les prix unitaires qui ont été appliqués pour l'établissement des différents devis et donne à titre indicatif le prix d'ordre pour des travaux du même genre pratiqués en Suisse.

Prix unitaires utilisés

	Unité	Prix en Afrique \$	Prix en Suisse \$
<u>Terrassements</u>			
- Excavation en terrain meuble avec gros engins	m ³	1.05	(0.70)
- Excavation en rocher à ciel ouvert et en grande masse	m ³	3.05	(2.30)
- Remblais en matériaux tout-venant, y compris extraction, transport sur 1,5 km, mise en place et compactage	m ³	2.20	(1.55)
- Remblais en enrochements de carrière y compris extraction, transport sur 1,5 km mise en place et compactage	m ³	3.75	(2.70)
- Remblais pour noyau de digue, y.c. extraction, triage, transport, mise en place et compactage	m ³	2.90	(2.05)
- Remblais pour couches de transition et rip-rap y compris extraction, ti- rage, transport et mise en place	m ³	4.45	(3.10)
<u>Bétons</u>			
- Armatures pour béton armé	t	380.-	(280.--)
- Coffrages métalliques	m ²	4.70	(3.40)
- Coffrages bois pour surface courbe en évidements	m ²	9.40	(6.85)

Béton et injections

Prix en ♂ par unité pour chaque site de barrage

	Béton de masse CP. 250 pour barrage m3	Béton CP. 300 pour ouvrages en béton armé m3	Masque en béton pour digue m3	Voile d'in- jections m2
Galougo	29.5	41.0	70.0	13.0
Badoumbé	30.0	41.5	71.5	13.0
Maréla Boudofora	30.5	42.5	73.0	13.5
Manantali Koukoutamba	31.5	43.5	74.5	14.0
Gourbassi	33.0	44.5	76.0	14.5
Boureya Bindougou Moussala	34.5	46.0	78.0	15.0
Suisse	(13.60)	(20.-)	(36.-)	(6.-)

Le coût de construction de la superstructure des bâtiments, c'est-à-dire les usines hydro-électriques et les bâtiments de service et de commande a été calculé sur la base d'un prix au m³ construit de 50 \$. Ce prix correspond au coût d'usines hydro-électriques réalisées récemment en Afrique et s'applique au volume de bâtiment situé au-dessus du plancher du sous-sol le plus profond.

On constate que les prix unitaires définis de cette manière sont sensiblement supérieurs à ceux pratiqués en Suisse. Toutefois, ils sont inférieurs à ceux qui ont fait l'objet du marché de travaux relatif à la construction du barrage de Kossou sur le fleuve Bandama en Côte d'Ivoire. Les prix unitaires pratiqués sur ce chantier ont fait l'objet d'une analyse détaillée de la part des services de l'OERS dont les résultats ont été communiqués à Sénégal-Consult en avril 1970. Le barrage de Kossou présente des caractéristiques assez voisines de celles du barrage de Galougo de sorte qu'il est possible de comparer entre eux les prix unitaires principaux. Cette comparaison fait apparaître les différences suivantes:

	Prix unitaires		différence en %
	Galougo	Kossou	
- Excavation en terrain meuble \$/m ³	1.05	2.53	+ 140 %
- Excavation en rocher \$/m ³	3.05	4.93	+ 61 %
- Remblai en matériaux meubles \$/m ³	2.20	3.58	+ 63 %
- Remblai en matériaux rocheux \$/m ³	3.75	4.00	+ 7 %
- Remblai pour noyau \$/m ³	2.90	4.03	+ 39 %
- Remblai pour filtre \$/m ³	4.45	9.21	+ 107 %
- Béton de masse \$/m ³	34.0*	57.62	+ 69 %
- Béton armé \$/m ³	45.7*	107.82	+ 135 %
- Armatures \$/t	380	341	- 10 %

* Compte tenu de 4,7 \$/m³ pour le prix des coffrages qui sont inclus dans les prix unitaires de Kossou.

Il apparaît ainsi, qu'à l'exception des prix concernant les remblais

en matériaux rocheux et les armatures, tous les prix unitaires appliqués pour la construction du barrage de Kossou sont nettement plus élevés que ceux définis par SENEGAL-CONSULT.

Une telle différence est explicable car l'estimation des prix réalisée par SENEGAL-CONSULT sur la base des prix pratiqués en Suisse admet comme principe que seules les conditions d'exécution diffèrent entre l'Afrique et la Suisse. Il est évident que lors de l'établissement des prix d'un marché de travaux, l'entrepreneur est contraint de tenir compte d'autres facteurs non négligeables. Il s'agit en particulier de facteurs économique-politiques tels que les conditions de financement, de fiscalité ou de stabilité monétaire par exemple. En outre, des prescriptions concernant l'importance des paiements en monnaie locale influencent fortement la formation des prix comme d'ailleurs la réputation de l'organisme chargé éventuellement d'assurer le financement. Il ne faut pas négliger non plus l'importance du jeu de la concurrence dans le calcul du montant d'une offre ni celui du prestige que retirera l'entrepreneur de l'adjudication d'un ouvrage spectaculaire.

Il convient dans cette optique de relever que dans le cas particulier du barrage de Kossou, l'entrepreneur adjudicataire assure le préfinancement partiel et s'était trouvé sans concurrence importante lors de la mise en soumission.

La non-représentativité des prix unitaires pratiqués au barrage de Kousso est mise en évidence par la comparaison avec les prix unitaires appliqués pour les constructions routières au Mali. En effet, et bien qu'il s'agisse de travaux d'un volume moins élevé et donc plus coûteux que dans le cas de construction de digues en terre, les prix d'excavation et de remblai correspondent à ceux estimés par SENEGAL-CONSULT. En outre, les prix de béton sont environ 30 % inférieurs aux prix unitaires admis pour la construction du barrage.

Dans ces conditions, SENEGAL-CONSULT a estimé que les prix unitaires définis par l'adaptation aux conditions locales pratiqués en Europe, devaient être considérés comme parfaitement valables pour l'étude d'optimalisation réalisée dans le cadre du mandat qui lui était confié.

Toutefois et afin de démontrer l'importance des facteurs politico-économiques et d'une saine concurrence, les coûts de construction des ouvrages présentant des caractéristiques comparables à celles du barrage de Kossou, ont également été calculés sur la base des prix unitaires utilisés lors de la réalisation de cet ouvrage. Il s'agit uniquement de Galougo car à Manantali en particulier, l'ouvrage en béton envisagé n'est en aucune manière comparable à la digue de Kossou.

4.3.1.2. Routes et voie ferrée

En raison de l'absence de renseignements précis concernant la topographie, les caractéristiques géologiques et géotechniques des sols dans les régions où des routes devront être construites ou bien où le nouveau tracé de la voie de chemin de fer Dakar-Bamako sera placé, il n'a pas été possible de définir les prix unitaires pour les constructions routières et ferroviaires avec la même rigueur que les prix unitaires

utilisés pour l'établissement des devis des barrages. Des enquêtes, effectuées par SENEGAL-CONSULT sur place et auprès de différentes entreprises ont cependant permis de définir les ordres de grandeur des prix moyens par unité de longueur.

- Constructions routières

Les prix ci-dessous correspondent à ceux qui ont été pratiqués au Mali ces dernières années. Ils sont calculés dans l'hypothèse que des gisements de matériaux latéritiques sont situés dans un rayon d'un vingtaine de kilomètres. Ils correspondent aux profils-types normalement utilisés dans ces pays, c'est-à-dire que les routes principales présentent une largeur totale de 9 m dont 6 m sont goudronnés, les routes secondaires ont également 9 m de largeur mais ne sont pas goudronnées et les pistes carrossables ont 5 m de largeur. Les prix unitaires suivants tiennent compte de conditions topographiques et géologiques moyennes et comprennent les ouvrages d'art simples tels que petits ponts, traversées d'eau, murets, etc.

- Route principale, largeur 9 m dont 6 m goudronnés :
 - . nouvelle route 70 \$/m
 - . amélioration des pistes existantes 55 \$/m

- Route secondaire, largeur 9 m :
 - . nouvelle route 35 \$/m
 - . amélioration des pistes existantes 25 \$/m

- Piste carrossable, largeur 5 m 15 \$/m

- Constructions ferroviaires

Les prix moyens qui ont été utilisés sont basés d'une part sur le coût d'exécution d'un nouveau tronçon de chemin de fer au Cameroun et d'autre part sur le coût des terrassements défini dans le cadre de l'étude des prix unitaires des ouvrages de retenue. Le prix du mètre de voie ferrée comprend la construction de la plate-forme, la mise en place du ballast et de la voie elle-même et l'installation d'une ligne téléphonique le long de la voie. Ce prix comprend en outre les petits ouvrages d'art nécessaires tels que petits ponts, traversées d'eau, murs de revêtement, etc. Pour les remblais importants, dépassant quelques mètres de hauteur on a appliqué les prix unitaires définis pour les ouvrages de retenue. Les prix utilisés pour cette étude sont les suivants :

Construction de voie de chemin de fer métrique :

- en terrain plat	70 \$/m
- en terrain accidenté	200 \$/m
- pont à une voie	2 300 \$/m
- tunnel à une voie	3 000 \$/m
- gares et installations y relatives	100 000 \$/pièce

4.3.2. Prix des équipements électriques et mécaniques

Ce sont les prix moyens appliqués en Suisse qui sont à la base des prix pour la fourniture des équipements des barrages et des usines, c'est-à-dire pour les vannes et batardeaux, les groupes turbines-alternateurs, les transformateurs, les grues-portiques, les ponts roulants et l'équipement des services auxiliaires. Les frais de transport tiennent compte des difficultés d'accès et les frais de montage ont été estimés sur la base d'un coût plus élevé de la main-d'oeuvre indigène. En revanche, il a été admis que l'importation des équipements serait exemptée de taxes et de droits de douane et que le personnel de montage étranger serait exempt d'impôts, de taxes, etc.

Les prix de l'équipement hydraulique, c'est-à-dire les vannes et les blindages ont été également définis sur la base des prix pratiqués en Suisse. Ces derniers prix ont été majorés pour tenir compte des frais de transport et du coût plus élevé du montage sur place. Les prix des vannes indiqués soit en fonction de leur surface soit en fonction de leur poids comprennent tous les dispositifs de commande locale et à distance, les appareillages de mesure de niveau, de signalisation à distance et de déclenchement de sécurité. Le prix des vannes de surface a été calculé en fonction de leur surface, celui des vannes de vidange de fond et de prises d'eau en fonction de leur poids, celui-ci étant dépendant à la fois de la surface de la vanne et de la pression à laquelle celle-ci est soumise. Les prix suivants ont été appliqués dans le cadre de cette étude :

- Vannes de surface (vanne segment avec clapet)	750 \$/m ²
- Vannes de vidange de fond, de demi-fond et de prises d'eau	3 040 \$/t
- Blindage	500 \$/t

4.3.3. Estimation du coût de reconstruction des villages

La réalisation des barrages de retenue dans le cadre de l'aménagement du fleuve Sénégal et de ses affluents mettra sous eau d'importantes régions. Dans les futures zones inondées se trouvent des régions habitées comprenant villages, centres administratifs, stations de chemin de fer, etc.

D'une façon générale, l'emplacement des villages répond à certaines conditions parmi lesquelles il est intéressant de mentionner :

- Les questions tribales et familiales

En dehors des grands centres ou villes, chaque tribu est établie dans une région bien déterminée. Celle-ci est encore subdivisée selon les familles qui, selon leur tradition, exercent des activités bien définies. Ainsi, on trouve des pêcheurs, chasseurs, cultivateurs, forgerons etc. Ces villages sont situés aussi bien aux bords des fleuves qu'à l'intérieur du pays.

- Les voies d'accès

La densité de la population augmente à proximité des routes, chemins de fer, passage du fleuve par bac ou pirogue, ainsi que près des grands villages ou d'autres centres administratifs ou commerciaux (écoles et marchés).

- Les cours d'eau

En principe, chaque village est situé au bord ou aux environs d'un cours d'eau, soit un fleuve, ruisseau ou source. Rares sont les villages qui puisent l'eau potable par des puits.

La pêche joue, surtout au Mali, un rôle très important pour les villageois. Nombreux sont les villages qui se situent non loin des fleuves.

Par contre, certaines régions riveraines sont infestées par des moustiques ou des mouches tsé-tsé. Pour cette raison, les villages dont la population vit surtout d'élevage de détail se trouvent plus à l'intérieur du pays.

En vue du recensement à effectuer dans le cadre de la présente étude, l'Administration de la région de Kayes a mis à disposition de SENE GAL-CONSULT une liste sur laquelle les villages et leur population (1961-63) sont classés par cercle administratif. Malheureusement, cette liste était

pratiquement inutilisable pour l'étude de SENEGAL-CONSULT du fait qu'aucune référence géographique n'était donnée pour les villages. Par ailleurs, les cartes IGN 1 : 200 000 et 1 : 50 000 n'indiquent qu'une minorité de villages par rapport à la réalité. De plus, certains noms sont utilisés plusieurs fois et plusieurs villages ont été abandonnés et leurs habitants se sont installés dans une nouvelle région.

Il a alors été décidé de consulter les photos aériennes qui ont été faites pour établir les cartes au 1 : 20 000. Après avoir identifié le village avec celui figurant sur la carte, le nombre de cases et de maisons a été compté à l'aide d'un stéréoscope. On peut estimer à environ 5 % l'erreur réalisée dans la définition du nombre de cases obtenu sur photo par rapport à la réalité. Il a été procédé à plusieurs vérifications dont ci-dessous l'exemple typique du village de Galougo :

a) Nombre de maisons compté sur photo aérienne faite en 1953	75	} différence 23 maisons en 16 ans, ce qui correspond à une augmentation de 1,5 cases/an.
b) Nombre de maisons compté lors d'une enquête sur place en 1969	98	

Le village de Galougo est composé de la façon suivante :

Bâtiments en dur	3	(gare et bâtiments CFM)
Cases habitées	55	
Cases cuisines	13	
Cases greniers	27	

T o t a l 98 cases dont 40 non habitées.

Nombre d'habitants : 125 soit 15 familles à environ 8 personnes

Exemple d'une famille : 1 chef de famille
 2 femmes
 5 enfants

 8 personnes

Le rapport entre le nombre de cases et le nombre d'habitants est, dans le cas de Galougo, d'environ 1,3 personnes/case. Selon les régions, ce coefficient est soumis à des fluctuations assez fortes. Selon les indications de l'Administration et les observations faites sur place, SENEGAL-CONSULT a choisi les coefficients figurant dans le tableau donné ci-après.

Retenue	Pays	Surface km ²	Cote m s.m.	Nbre cases inondées	Coeffic. pers/case	Nbre de pers. à évacuer
Galougo	Mali	2 500	135	7 500 *	1,9	14 250 *
Badoumbé	Mali	500	171	800	1,8	1 440
Manantali	Mali	790	230	5 100	1,5	7 650
Gourbassi	Mali	420	100	1 900	2,0	3 800
Koukoutamba	Guinée	130	535	250	1,5	375
Boureya	Guonée	420	400	1 850	1,5	2 775

* non compris Bafoulabé et Mahina

Ce tableau indique également le nombre de cases et de personnes à déplacer. Il est établi pour les cotes maxima que peuvent atteindre les différentes retenues. Les chiffres ont été adaptés dans chacun des projets au niveau de la retenue pris finalement en compte.

Il convient de préciser encore que l'évacuation des régions inondées et l'aménagement du territoire devront faire l'objet d'études détaillées.

En ce qui concerne les frais occasionnés par les déplacements de villages, il a été admis, après étude, que le coût de reconstruction d'une case s'élevait en moyenne à US \$ 195.-. Le détail de ce montant est le suivant :

Nature des dépenses	Prix en US \$ par case
Construction de la case	60
Défrichement	15
Palissades, aménagements, etc.	10
Déménagement proprement dit	10
	<hr/>
	95
	<hr/>
En outre, il convient d'assurer aux personnes déplacées une indemnité correspondant à la valeur d'une récolte, soit	100
	<hr/>
	195
	<hr/> <hr/>

On constate, dans le cas de l'estimation du coût du déplacement des populations également, des différences sensibles entre les divers renseignements disponibles. En particulier les données relatives aux frais entraînés par le transfert des populations des villages noyés par la mise en eau de la retenue de Kossou font état de 460 \$ par habitant. Ce montant est très supérieur à celui estimé par SENEGAL-CONSULT sur la base de ses études au Mali. Il ne faut pas perdre de vue cependant qu'il semble justifié de n'imputer aux ouvrages de régularisation que le coût du déplacement des populations et la reconstruction des villages dans leur état actuel. Toute amélioration des conditions de logement conduit à une augmentation des frais de transfert de population qu'il n'est pas logique de faire supporter par les ouvrages destinés à la régularisation du fleuve Sénégal.

4.3.4. Coût de construction et investissement total

Le coût de construction de chacun des ouvrages est défini sur la base d'une part des avant-métrés et des prix unitaires et d'autre part du coût des équipements électriques et mécaniques. Divers travaux cependant et en particulier les travaux en régie ne peuvent être estimés d'une façon précise et il est d'usage d'en tenir compte par une majoration appropriée des coûts résultant de l'application des prix unitaires. C'est la raison pour laquelle il a été admis une majoration de 2,5 % aussi bien sur le coût du gros oeuvre que sur celui des équipements électriques et mécaniques pour couvrir les travaux en régie et les travaux divers. En outre les investigations réalisées jusqu'à présent ne permettent pas de définir avec une certitude suffisante la profondeur des excavations ni la nature des terrains de fondation. Il est donc indispensable de réserver dans l'estimation du coût de construction un montant destiné à la couverture des travaux imprévus qui pourraient s'avérer nécessaires lors des travaux. D'autre part, les avant-métrés réalisés dans le cadre de cette étude n'ont été établis que pour les catégories de travaux les plus importantes. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de prévoir également un montant destiné à la rémunération de certains travaux dont il n'est pas possible de tenir compte dans l'estimation d'un avant-métré tels que ceux qui ont été établis dans cette étude. Compte tenu des incertitudes inhérentes aux travaux de fondation, le coût des travaux de génie civil relatif à ces dernières a été majoré de 20 % pour tenir compte des imprévus. En revanche, ce pourcentage a été limité à 10 % aussi bien pour tous les autres travaux de génie civil que pour la fourniture et le montage des équipements électriques et mécaniques.

Le coût de construction des ouvrages tel qu'il est défini dans le présent rapport comprend ainsi le coût total des travaux de génie civil et de fournitures de l'équipement électro-mécanique majoré d'un pourcentage tenant compte des travaux divers et en régie ainsi que des imprévus.

Au coût de construction proprement dit, s'ajoutent les frais occasionnés par la construction de nouvelles routes, le déplacement de voies d'accès existantes et de voies ferrées ainsi que la reconstruction des villages noyés par la mise en eau des retenues. Ces frais sont estimés sur la base des prix mentionnés dans les paragraphes précédents. Dans ce cas également, l'incertitude des données de base rend nécessaire la prise en considération d'une majoration destinée à couvrir les travaux divers et les travaux en régie ainsi que les travaux imprévus. Cette majoration a été admise à 15 % du coût de reconstruction des routes et voies ferrées et à 20 % des coûts relatifs à la reconstruction des villages.

En plus des montants destinés à la couverture des frais de construction proprement dite, des ouvrages, des routes et voies ferrées et des villages, il est nécessaire de prévoir dans l'estimation de l'investissement total un certain montant destiné à la couverture des frais d'études et des frais de financement durant les travaux.

Les frais d'études peuvent être répartis en quatre phases distinctes dont les montants sont exprimés en % du coût de construction des ouvrages et des frais de reconstruction de routes, voies ferrées et villages. Ces quatre phases sont les suivantes :

- Etude hydrologique, expertise géologique et géotechnique, sondages, levés topographiques et travaux de géomètre.
Ces frais sont estimés à 2 % du coût de construction des ouvrages et des frais de reconstruction des routes, voies ferrées et villages.
- Frais d'établissement du projet général et des documents d'appel d'offres, frais occasionnés par le dépouillement des offres et l'établissement des documents nécessaires au marché.
Ces frais sont estimés à 3 % du coût de construction des ouvrages et des frais de reconstruction de routes, voies ferrées et villages.
- Les frais d'établissement des plans d'exécution des ouvrages sont évalués à 1 % du coût de ceux-ci et concernent aussi bien les ouvrages de régularisation que la reconstruction des routes et des voies ferrées, en revanche, ils ne concernent pas la reconstruction des villages.
- Les frais d'ingénieur-conseil durant la construction qui comprennent également les contrôles des matériaux en laboratoire sont évalués à 1,5 % du coût de construction des ouvrages et des frais de reconstruction de routes et voies ferrées.

Le total des frais d'étude s'élève ainsi à 7,5 % du coût de construction. Ce pourcentage doit être considéré comme une valeur moyenne car il est évident qu'un ouvrage dont la construction est réalisée dans des conditions difficiles exigera des frais d'étude supérieurs à un ouvrage simple. Ces pourcentages ont en outre été établis sur la base de ceux pratiqués en Europe pour des travaux similaires en tenant compte toutefois des frais supplémentaires occasionnés par l'éloignement des chantiers. Ce pourcentage est également fonction de certains facteurs économiques et politiques au même titre que les prix unitaires. Il varie également très fortement en fonction du standard de vie du pays d'origine du bureau d'ingénieurs chargé de l'étude. En effet, il a été observé à plusieurs reprises que des études réalisées par des bureaux d'ingénieurs nord-américains étaient devisées à près du double des montants offerts par des concurrents européens ou japonais par exemple. Ceci explique que les frais d'étude et d'établissement du projet du barrage de Kossou par exemple, faisant l'objet d'un contrat avec un bureau d'études nord-américain, représentent un montant égal à 13 % environ du coût total des travaux.

En règle générale, les intérêts des capitaux investis payables durant la période de construction sont inclus dans le calcul de l'investissement total. Pour l'estimation de ceux-ci comme d'ailleurs pour celle des charges annuelles d'exploitation dont il serait fait mention ultérieurement, il a été tenu compte d'un taux d'intérêt moyen de 6 % sur les capitaux investis.

Les frais propres du maître de l'oeuvre, relatifs à l'administration et à la direction locale des travaux durant la construction des différents ouvrages ne sont mentionnés ici que pour mémoire.

En résumé l'investissement total comprend ainsi les différents postes suivants :

- Le coût de construction
- Les frais occasionnés par la reconstruction de routes, voies ferrées et village
- Les frais d'étude
- Les intérêts intercalaires

La définition du coût de construction de chaque ouvrage et par là même de l'investissement total nécessaire à leur réalisation sur la base des hypothèses faites par SENEGAL-CONSULT n'est pas exempte d'arbitraires.

En effet, les principes de base admis pour la détermination des prix unitaires ne tiennent pas compte de divers éléments impondérables qui influencent fortement ceux-ci pour les travaux réalisés outre-mer. Les prix unitaires et les majorations de ces derniers sont basés sur ceux pratiqués en Suisse, en tenant compte de conditions techniques d'exécution différentes mais en admettant des conditions économique-politiques très voisines. L'adoption d'une telle méthode a semblé justifiée car elle est la seule qui permette une comparaison valable de plusieurs projets réalisés dans des pays différents.

Les estimations faites par SENEGAL-CONSULT peuvent cependant être considérées comme raisonnables en dépit du fait que les prix unitaires pratiqués lors de la construction du barrage de Kossou soient supérieurs à ceux pris en considération dans la présente étude. En effet, dans le cas particulier du barrage de Kossou, le préfinancement partiel était assuré par le groupement d'entreprises adjudicataires qui s'était en outre trouvé sans concurrence sérieuse lors du dépôt de son offre. En revanche, les prix unitaires appliqués par SENEGAL-CONSULT correspondent ou sont même supérieurs à ceux appliqués actuellement au Mali pour la construction de routes.

Il importera cependant lors de la mise en soumission des travaux de construction des ouvrages de retenue prévus dans le bassin du fleuve Sénégal, de pouvoir donner aux entreprises intéressées par ces travaux, toutes les garanties nécessaires concernant aussi bien les moyens de financement que la stabilité monétaire et politique des pays concernés. Il importera également de promouvoir une saine concurrence entre les entreprises intéressées pour obtenir les conditions de réalisation les plus favorables sur le plan économique.

4.3.5. Charges annuelles

Les charges annuelles peuvent être réparties selon les postes suivants :

- Les charges financières comprenant les intérêts des sommes investies et le remboursement des emprunts.

Pour ces charges, il a été admis qu'une partie des capitaux serait mise à disposition à des taux d'intérêt très bas, à titre de l'aide au développement. Le montant de ces capitaux est estimé à 60 % du coût de construction des aménagements destinés à l'irrigation. Le taux d'intérêt correspondant est admis à 3 % avec un remboursement sur 50 années.

Pour les capitaux destinés aux investissements complémentaires (40 % du coût de construction des aménagements destinés à l'irrigation ainsi que 100 % des centrales hydro-électriques et des barrages érigés seulement en vue de la production d'énergie), il a été admis un taux d'in-

térêt moyen de 7 %. Ce taux moyen tient compte du fait que le financement de ces investissements complémentaires sera couvert à l'aide de capitaux privés ou publics prêtés aux taux d'intérêt usuels.

Aux taux d'intérêt donnés ci-dessus correspondent, compte tenu de placements annuels à intérêts composés, les taux moyens annuels suivants pour les charges financières

- 3,9 % pour les emprunts à 3 %
- 7 % pour les emprunts à 7 %
- Les frais de renouvellement pour lesquels un capital est constitué par des versements placés à intérêts composés au début de chaque année, suivant le tableau ci-dessous :

Partie d'ouvrage considérée	Taux des intérêts	Durée prévue pour le renouvellement	Charges annuelles de renouvellement en %
Génie civil du barrage	-	-	- *
Vannes et équipements de commande	7 %	30 ans	1,3 %
Voies d'accès	-	-	- **
Génie civil des centrales	-	-	- *
Equipement électro-mécanique (centrales)	7 %	30 ans	1,3 %

* Les charges de renouvellement pour les ouvrages de génie civil sont très faibles, ces ouvrages étant amortis sur une longue période. Ces charges ne sont pas prises en considération dans le calcul car elles sont négligeables par rapport aux autres.

** Aucune charge de renouvellement pour les voies d'accès n'a été prise en considération, ces voies étant supposées prise en charge par l'Administration dès leur achèvement.

- Les charges d'exploitation et d'entretien pour lesquelles les taux annuels sont indiqués ci-dessous :

Partie d'ouvrage considérée	Charges annuelles	
	Exploitation	Entretien en ‰
Génie civil du barrage)	45 000 \$	0,3
Vannes et équipement de commande)		0,8
Voies d'accès	-	-
Génie civil des centrales)	70 000 \$	par groupe installé
Équipement électro-mécanique (centrales))	+ 25 000 \$	

- Pour les voies d'accès, aucune charge n'a été prise en compte, ces voies étant supposées, comme indiqué plus haut, prises en charge par l'Administration.
- Les charges d'exploitation relatives aux barrages et équipements de commande sont admises selon un montant forfaitaire identique pour chacun des aménagements, ce montant étant déterminé par le coût annuel de l'équipe chargée de l'exploitation qui ne diffère pas selon l'importance du barrage.
- Les charges d'exploitation relatives aux centrales comprennent une partie fixe et une part variable suivant l'importance de l'usine (nombre de groupes).
- Les frais du maître de l'ouvrage, à savoir les frais occasionnés par les services hydrauliques pour l'organisation, les relevés limnimétriques, la prévision des crues, etc.

Ces frais sont mentionnés pour mémoire.

La définition des charges annuelles d'exploitation est particulièrement délicate car dans l'ouvrage du type de ceux envisagés pour la régularisation du fleuve Sénégal la part des charges financières proprement dite est prépondérante. L'hypothèse faite par SENEGAL-CONSULT concernant ces charges est discutable et ne représente qu'une solution possible parmi d'autres. C'est la raison pour laquelle il a paru intéressant de chercher en outre à définir les charges annuelles d'exploitation dans les deux cas extrêmes suivants :

- a) Les sommes nécessaires à la réalisation des ouvrages sont prêtées sans intérêt pendant les 30 premières années, le prêt consenti devant cependant être remboursé par annuité en 50 ans. Ceci veut dire que d'une part les intérêts intercalaires durant la construction ne doivent pas être pris en considération, et d'autre part, durant ces trente années, seules les charges de renouvellement, d'exploitation et d'entretien, calculées sur les équipements effectivement réalisés, doivent être prises en considération. A ces charges s'ajoute cependant une annuité de 2 % de l'investissement pour le remboursement du prêt.
- b) Les sommes nécessaires à la construction des ouvrages sont prêtées à un taux d'intérêt de 7 %. Les charges annuelles se calculent dans ce cas sur la base du coût de construction majoré des intérêts intercalaires, les charges de renouvellement, d'exploitation et d'entretien étant calculées de la même manière que précédemment.

Ces deux modes de définition des charges annuelles permettront d'évaluer entre quelles limites est susceptible de varier le montant qui devra leur être consacré.

Le premier mode de définition des charges annuelles, mentionné ci-dessus et consistant à envisager un prêt sans intérêt, remboursable en 50 années, sera appliqué lors de la première phase d'aménagement du bassin du fleuve Sénégal jusqu'au moment où les bénéfices réalisés par les différents utilisateurs de la régularisation du fleuve seront suffisamment élevés pour qu'il soit possible d'en consacrer une partie au versement d'un intérêt sur le capital engagé pour la construction des ouvrages de régularisation. En revanche, le second mode de définition des charges annuelles devra être envisagé lors de la construction des barrages prévus dans les phases ultérieures de l'aménagement.