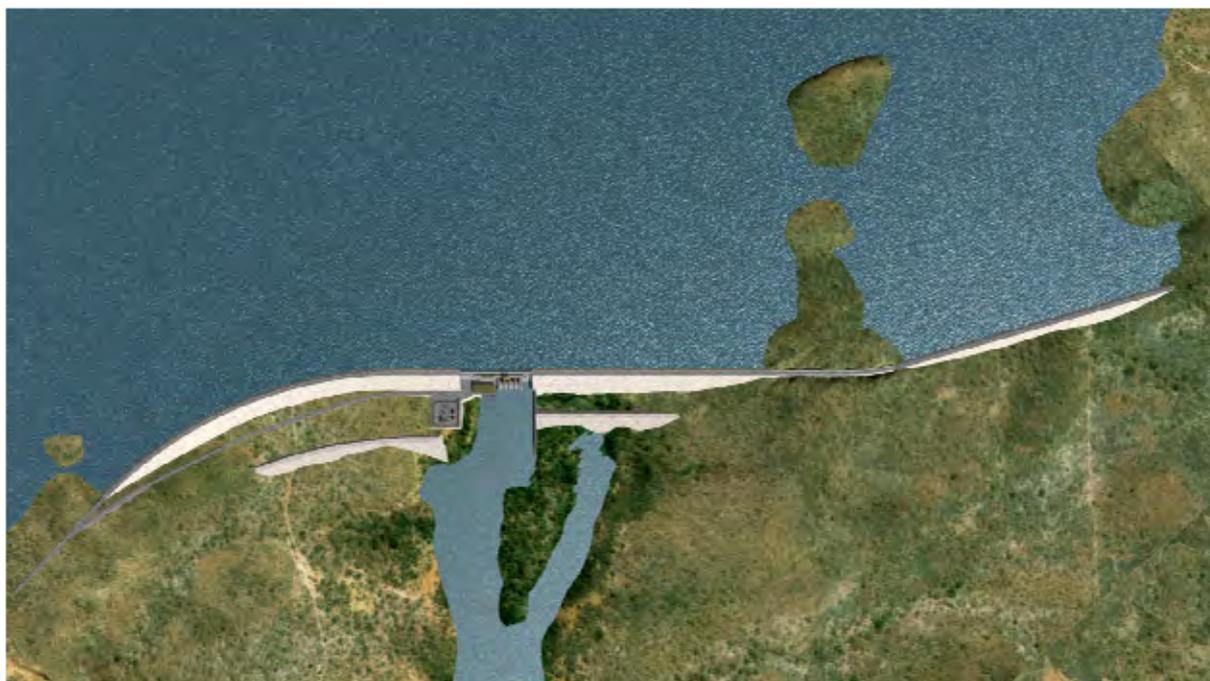




HAUT COMMISSARIAT DE L'OMVS

PROJET DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU ET DE DÉVELOPPEMENT DES USAGES MULTIPLES DANS LE BASSIN DU FLEUVE SÉNÉGAL (PGIRE)

ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET D'AVANT-PROJET SOMMAIRE (APS) DE L'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE GOURBASSI



RAPPORT DE SYNTHÈSE (VERSION PROVISOIRE)

Mai 2012



SNC-LAVALIN
International

020857-6000-40ER-0001-PA

**PROJET DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN
EAU ET DE DÉVELOPPEMENT DES USAGES MULTIPLES
DANS LE BASSIN DU FLEUVE SÉNÉGAL (PGIRE)**

**ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET D'AVANT-PROJET
SOMMAIRE (APS) DE L'AMÉNAGEMENT
HYDROÉLECTRIQUE DE GOURBASSI**

**RAPPORT DE SYNTHÈSE
(VERSION PROVISOIRE)**

Mai 2012

Le présent rapport est la version provisoire du rapport de synthèse de l'étude de faisabilité et d'avant-projet sommaire de l'aménagement hydroélectrique de Gourbassi.

Dans ce rapport, le mot « Client » fait référence au Haut Commissariat de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) et « consultant » fait référence à SNC-Lavalin International Inc. (SLII) ; le terme « étude » fait référence à l'étude de faisabilité et d'avant-projet sommaire (APS) de l'aménagement hydroélectrique de Gourbassi alors que le terme « projet » fait référence au projet d'aménagement hydroélectrique de Gourbassi.

AVIS AU LECTEUR

Ce document fait état de l'opinion professionnelle de SNC-Lavalin International Inc. quant aux sujets qui y sont abordés. Elle a été formulée en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent. Le document doit être interprété dans le contexte du contrat en date du 4 mars 2010 (le « Contrat ») intervenu entre le Haut Commissariat de l'OMVS (le « Client ») et SNC-Lavalin International Inc., ainsi que de la méthodologie, des procédures et des techniques utilisées, des hypothèses de SNC-Lavalin International Inc. ainsi que des circonstances et des contraintes qui ont prévalu lors de l'exécution de ce mandat. Ce document n'a pour raison d'être que l'objectif défini dans le Contrat, et est au seul usage du Client, dont les recours sont limités à ceux prévus dans le Contrat. Il doit être lu comme un tout, à savoir qu'une portion ou un extrait isolé ne peut être pris hors contexte.

SNC-Lavalin International Inc. ayant, pour évaluer les coûts et autres valeurs estimées, le cas échéant, suivi une méthode et des procédures et pris les précautions appropriées au degré d'exactitude visé, en se basant sur ses compétences professionnelles en la matière et avec les précautions qui s'imposent, est d'opinion qu'il y a une forte probabilité que les coûts réels et valeurs estimées se situent dans la marge d'erreur indiquée. Cependant, l'exactitude de ces estimations ne peut être garantie. À moins d'indication contraire expresse, SNC-Lavalin International Inc. n'a pas contre-vérifié les hypothèses, données et renseignements en provenance d'autres sources (dont le Client, les autres consultants, laboratoires d'essai, fournisseurs d'équipements, etc.) et sur lesquelles est fondée son opinion. SNC-Lavalin International Inc. n'en assume nullement l'exactitude et décline toute responsabilité à leur égard.

Dans la mesure permise par la loi, SNC-Lavalin International Inc. décline en outre toute responsabilité envers le Client et les tiers en ce qui a trait à l'utilisation (publication, renvoi, référence, citation ou diffusion) de tout ou partie du présent document, ainsi que toute décision prise ou action entreprise sur la foi dudit document.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1. INTRODUCTION	1.1
1.1 Contexte de développement de l'aménagement de Gourbassi	1.1
1.2 Rappel du mandat	1.2
1.3 Portée et organisation du rapport	1.3
2. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	2.1
2.1 Conclusions	2.1
2.1.1 Conception des ouvrages	2.1
2.1.2 Production d'énergie et impact sur la régularisation du fleuve Sénégal	2.1
2.1.3 Impacts socio-économiques et environnementaux	2.1
2.1.4 Analyse économique	2.1
2.2 Recommandations	2.2
3. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES	3.1
4. DESCRIPTION RÉGIONALE	4.1
4.1 Régions naturelles et relief	4.1
4.2 Géologie générale	4.2
4.2.1 Géologie et tectonique régionale	4.2
4.2.2 Géologie de surface	4.3
4.2.3 Séismicité	4.3
4.3 Hydrographie	4.5
4.4 Climatologie	4.5
4.4.1 Climat	4.5
4.4.2 Températures	4.6
4.4.3 Pluviométrie	4.6
4.4.4 Humidité	4.6
4.4.5 Vents dominants	4.7
4.5 Hydrologie	4.7
4.5.1 Apports naturels	4.7
4.5.2 Apports solides	4.8
4.5.3 Étude des crues	4.9
4.5.4 Évaporation à Gourbassi	4.12
4.6 Végétation	4.12
4.7 Faune	4.13
4.8 Milieu humain	4.13
4.8.1 Populations	4.13
4.8.2 Agriculture et élevage	4.14
4.8.3 Autres activités économiques	4.14
4.9 Divisions administratives	4.15
4.10 Voies de communication – Moyens d'accès	4.17
4.10.1 Pistes et routes	4.17
4.10.2 Réseau ferroviaire	4.17
4.10.3 Navigation commerciale	4.17

5. AMENAGEMENT PROPOSÉ	5.1
5.1 Introduction	5.1
5.2 Réservoir	5.1
5.3 Géologie du site	5.2
5.3.1 Généralités	5.2
5.3.2 Lit mineur	5.2
5.3.3 Appuis	5.2
5.3.4 Digue	5.3
5.3.5 Géologie du réservoir	5.3
5.4 Dérivation provisoire	5.3
5.5 Ouvrages	5.4
5.5.1 Barrage et digues	5.4
5.5.2 Évacuateur de crues	5.5
5.5.3 Ouvrage de restitution – Pertuis de fond	5.6
5.5.4 Ouvrage de prises d'eau et centrale	5.6
5.6 Impacts environnementaux et socio-économiques	5.7
5.7 Estimation des coûts du projet	5.9
5.8 Planification des travaux	5.12
6. ÉVALUATION ÉCONOMIQUE	6.1
6.1 Introduction	6.1
6.2 État des lieux	6.2
6.2.1 Le secteur agricole	6.2
6.2.2 La pêche	6.2
6.2.3 Le secteur énergétique	6.3
6.3 Coûts du projet	6.5
6.3.1 Coût de l'investissement	6.5
6.3.2 Coût de mise en œuvre du plan de gestion socio-économique et environnementale	6.5
6.3.3 Coûts de renouvellement	6.5
6.3.4 Coûts d'exploitation et d'entretien	6.5
6.4 Avantages du projet	6.6
6.4.1 Avantages tangibles	6.6
6.4.2 Avantages intangibles	6.13
6.5 Analyse du cas de référence	6.14
6.5.1 Scénarios	6.14
6.5.2 Résultats	6.15
6.6 Analyse de sensibilité	6.15
6.6.1 Taux d'actualisation	6.15
6.6.2 Coût de l'investissement	6.16
6.6.3 Coût des aménagements hydro-agricoles	6.16
6.6.4 Surfaces irriguées potentielles	6.17
6.6.5 Valeur de l'énergie hydroélectrique	6.17
6.6.6 Hydraulicité	6.17
6.6.7 Conclusions de l'analyse de sensibilité	6.18
6.7 Analyse sommaire de la pertinence du projet	6.18
6.7.1 Enjeux	6.18
6.7.2 Objectifs assignés au projet	6.21
6.7.3 Résultats révélés par l'analyse économique	6.21
6.7.4 Autres indicateurs de performance	6.22

6.8 Conclusions _____ **6.23**

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS		
Date	N° de révision	Description de la modification et/ou de l'émission
Mai 2012	PA	Version provisoire

IMAGE DE COUVERTURE : Maquette 3D du projet d'aménagement de Gourbassi

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A PLANCHES

ANNEXE B DOCUMENT PHOTO

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 3-1 Fiche synoptique de l'aménagement proposé à Gourbassi.....	3.2
Tableau 4-1 Mesures de charge solide réalisées à Gourbassi	4.9
Tableau 4-2 Falémé à Gourbassi – Fréquence des crues	4.11
Tableau 4-3 Villages potentiellement affectés par le projet d'aménagement de Gourbassi.....	4.16
Tableau 5-1 Ventilation du coût de réalisation du projet	5.10
Tableau 6-1 Cultures irriguées potentielles dans la vallée de la Falémé.....	6.6
Tableau 6-2 Cultures irriguées potentielles dans la vallée du fleuve Sénégal en aval de Bakel.....	6.9
Tableau 6-3 Production piscicole potentielle	6.11
Tableau 6-4 OMVS - Synthèse des prévisions – Énergie (GWh)	6.11
Tableau 6-5 Répartition des emplois locaux créés pendant la période de réalisation du projet	6.13
Tableau 6-6 Ventilation et salaires des emplois d'exploitation et de maintenance	6.13
Tableau 6-7 Résultats de l'évaluation économique du cas de référence.....	6.15
Tableau 6-8 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Taux d'Actualisation	6.16
Tableau 6-9 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Coût de l'investissement.....	6.16
Tableau 6-10 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Coût des aménagements hydro-agricoles.....	6.16

Tableau 6-11 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Surfaces irriguées potentielles	6.17
Tableau 6-12 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Valeur de l'énergie hydroélectrique.....	6.17
Tableau 6-13 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Hydraulicité	6.18
Tableau 6-14 Détails de l'analyse économique – Cas de référence	6.24
Tableau 6-15 Tableau récapitulatif des résultats des simulations.....	6.24

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Figure 3-1 Vue d'ensemble des ouvrages projetés à Gourbassi	3.1
Figure 4-1 Régions naturelles de la zone du projet.....	4.1
Figure 4-2 Schéma géologique et structural régional.....	4.4
Figure 4-3 Variation du cycle hydrologique à Gourbassi – Moyenne gaussienne	4.7
Figure 4-4 Médiane des débits journaliers pour les séries étudiées	4.8
Figure 4-5 Analyse de la fréquence des pointes de crues	4.10
Figure 4-6 Analyse de la fréquence des volumes de crues	4.10
Figure 4-7 Gourbassi – PMP / CMP	4.11
Figure 4-8 Carte administrative de la zone du projet	4.16
Figure 5-1 Planification de l'investissement	5.9
Figure 6-1 Hydrogrammes à Bakel – Année typique (2005)	6.8

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES UTILISÉS DANS LE TEXTE

APD	Avant-projet détaillé
APS	Avant-projet sommaire
BCR	Béton compacté au rouleau
CG _{Max}	Cote de gestion maximale
CG _{min}	Cote de gestion minimale
CMP	Crue maximale probable
E	Est
FCFA	Franc de la Communauté Financière Africaine (franc CFA)
EIES	Étude d'impact environnemental et social
Ma	Millions d'années
MES	Matières en suspension
M€	Million d'Euros
Mm ³	Million de mètres-cubes (= 1 hm ³)
m s.m.	Mètre au-dessus du niveau de la mer
N	Nord
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
PGIRE	Programme de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages à Buts Multiples dans le Bassin du Fleuve Sénégal
PHE	Plus hautes eaux
PMP	Pluie maximum probable
S	Sud
SAED	Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du fleuve Sénégal et des Vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé (Sénégal)
SDAGE	Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux
SLII	SNC-Lavalin International Inc.

TN	Terrain naturel
TRI	Taux de rentabilité interne
UTM	« <i>Universal Transverse Mercator</i> »
VAN	Valeur actualisée nette
W	Ouest
WGS84	« <i>World Geodetic System 1984</i> »

LISTE DES UNITÉS

°	degré
'	minute (1' = 1/60°)
°C	degré Celsius
g	gramme
GWh	gigawatt-heure
h	heure
ha	hectare (1 ha = 10 000 m ²)
hm ³	hectomètre cube (1hm ³ = 1 000 000 m ³)
km	kilomètre
km ²	kilomètre carré
km/h	kilomètre heure
kV	kilovolt
m	mètre
mm	millimètre
min	minute (1 min = 60 s)
m ²	mètre carré
m ³	mètre cube
m ³ /s	mètre cube par seconde
min	minute
MVA	mégavolt-ampère
MW	mégawatt
s	seconde
V	volt

CHAPITRE 1

Introduction

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE DEVELOPPEMENT DE L'AMENAGEMENT DE GOURBASSI

Le site de Gourbassi se trouve sur la rivière Falémé 250 km en amont de la confluence Falémé – fleuve Sénégal, dans une section où le cours d'eau sert de frontière entre le Mali et le Sénégal (planche Go1).

Le fleuve Sénégal en amont de Bakel est formé par la jonction du Bafing et du Bakoye à Bafoulabé. Le Bafing peut être considéré comme la branche mère du fleuve Sénégal. Le barrage de Manantali, construit sur le Bafing à environ 1200 km de l'embouchure du Sénégal, a régulé les débits des eaux du fleuve depuis 1988. La centrale (200 MW pour une production d'énergie de 800 GWh en moyenne par an) et un réseau de lignes de transport auquel sont connectés Bamako (Mali), Nouakchott (Mauritanie) et Dakar (Sénégal) sont en service depuis 2002. Le barrage de Manantali permet le stockage de 11,3 milliards de m³ d'eau ; il permettra aussi l'optimisation de la production hydroélectrique des aménagements au fil de l'eau de Félou (59 MW – en cours de construction, mise en service prévue pour mi 2013) et Gouina (180 MW – projeté) qui sont situés en aval. Les aménagements prévus sur le Bafing en amont de Manantali (Bouréya, Koukoutamba et Balassa – en cours d'étude) devraient permettre d'augmenter l'énergie produite à Félou et à Gouina par optimisation de la régularisation du Bafing.

La rivière Falémé constitue le dernier affluent important du fleuve Sénégal en amont de Bakel (la confluence est située à 50 km en amont de Bakel). La Falémé a, dans l'ensemble, une orientation de son cours sensiblement parallèle à celui du Bafing. Elle prend sa source à 800 m d'altitude dans une région de hauts plateaux doléritiques dans le Fouta Djallon guinéen à environ 30 km au NE de Tougué.

Aussi bien du point de vue morphologique que géologique, le bassin de la Falémé présente peu de possibilités à tout projet de barrage. Le site de Gourbassi a été identifié dans les études antérieures de mise en valeur du bassin comme le seul emplacement du cours inférieur de la Falémé où la morphologie s'y prête tant soit peu. Même si dans le cours supérieur de la Falémé, en amont de Fadougou, les conditions géologiques semblent meilleures, l'aménagement de Gourbassi est le seul ouvrage important en termes de capacité de stockage qui puisse être réalisé dans le bassin de la Falémé.

Dans le cadre de sa stratégie d'accroissement de la maîtrise des ressources en eau et de valorisation du potentiel énergétique du bassin du fleuve Sénégal, l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) fixe au projet d'aménagement à buts multiples de Gourbassi l'objectif de contribuer à la régularisation des débits du fleuve Sénégal pour permettre l'agriculture irriguée, la navigation sur le fleuve et une augmentation de la production d'énergie hydroélectrique.

La régularisation des débits par l'aménagement de Gourbassi doit être effectuée dans le but de satisfaire un ensemble d'objectifs établis pour le haut bassin du fleuve Sénégal ; ces objectifs sont en partie communs à ceux de l'aménagement de Manantali et ils concernent les points suivants :

- Assurer un soutien à l'étiage, c'est-à-dire assurer un débit garanti à Bakel pour les besoins domestiques, maintenir l'irrigation et la navigation ;
- Assurer un soutien aux faibles crues (assurer une submersion suffisante des plaines inondables pour permettre la culture de décrue selon un hydrogramme prédéfini) ;
- Laminer les pointes des fortes crues à Bakel en dessous d'une valeur limite de 4500 m³/s ;
- Produire de l'énergie hydroélectrique.

1.2 RAPPEL DU MANDAT

En mars 2010, SNC-Lavalin International Inc. (SLII) a été mandatée par le Haut Commissariat de l'OMVS pour réaliser l'étude de faisabilité et d'avant-projet sommaire (APS) de l'aménagement hydroélectrique de Gourbassi. Le contrat est entré en vigueur le 19 mai 2010.

L'étude entreprise par SLII avait pour but de réévaluer la faisabilité de l'aménagement de Gourbassi en tenant compte des profondes mutations qui ont affecté le contexte physique, économique, social et environnemental depuis les années 1970 desquelles datent les dernières études relatives à l'aménagement¹.

L'étude a couvert tous les aspects techniques, économiques, environnementaux et sociaux qui ont permis de conclure sur la faisabilité de l'aménagement.

L'envergure de l'étude mentionnée aux Termes de référence du Contrat peut être résumée comme suit :

- Collecte, revue, actualisation et exploitation des données de base physiques ;
- Exécution de travaux de reconnaissances topographique, géologique, géotechnique et hydrologique ;
- Étude de régularisation des débits et détermination des caractéristiques de la retenue ;
- Diagnostic socio-économique et environnemental ;
- Étude des variantes d'aménagement et établissement d'un APS de l'option retenue ; et
- Évaluation économique de la variante retenue.

¹ Études de SENEGAL-CONSULT entreprises en 1968-1970 dans le cadre du projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du Sénégal supérieur.

Tant par ses objectifs que par son contenu, la présente étude fournit à l'OMVS des résultats dont la qualité et la fiabilité sont jugées satisfaisantes pour permettre de lancer l'étude d'avant-projet détaillé (APD) de l'aménagement. Il est important de noter toutefois que des reconnaissances topographiques, géologiques et géotechniques complémentaires devront être entreprises au stade de l'APD pour les besoins des études de conception finales.

1.3 PORTEE ET ORGANISATION DU RAPPORT

Le présent rapport est le sixième et dernier rapport remis à l'OMVS dans le cadre de l'étude de faisabilité et d'APS de l'aménagement de Gourbassi, conformément aux termes du Contrat.

Il fait suite au rapport d'étude des variantes soumis à l'OMVS en février 2012 et s'appuie sur les rapports sectoriels émis précédemment par SLII dans le cadre de l'étude, soit :

Titre du rapport	Statut	Date d'émission
Rapport des études hydrotechniques	Final	Août 2011
Rapport de l'étude diagnostique des impacts socio-économiques et environnementaux	Final	Novembre 2011
Rapport des reconnaissances complémentaires	Final	Mars 2012

Ce rapport de synthèse présente :

- Les grandes lignes et les principaux résultats de l'étude ainsi que les conclusions et recommandations ;
- Une brève description de la région et de l'aménagement proposé ;
- Une synthèse de l'estimation des coûts et le planning des travaux ; et
- Les résultats de l'étude économique du projet.

CHAPITRE 2

Conclusions et recommandations

2. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

2.1 CONCLUSIONS

2.1.1 Conception des ouvrages

L'étude d'ingénierie permet d'affirmer que l'aménagement est techniquement réalisable. Pour tenir compte des incertitudes inhérentes au niveau d'informations disponibles à ce stade d'APS, des hypothèses conservatrices (prudentes) ont été faites tant au niveau de la conception que du calcul des quantités et de l'estimation des coûts. Il est raisonnable de penser que la présente étude est suffisamment complète pour permettre d'entreprendre l'étude d'APD.

2.1.2 Production d'énergie et impact sur la régularisation du fleuve Sénégal

La régularisation des débits à l'aval est assurée par la variante retenue qui a une cote de gestion maximale fixée à 97 m s.m. Cette valeur correspond à la cote maximale pratiquement réalisable en raison des contraintes topographiques et des enjeux socio-économiques du projet. Grâce à un volume utile de près de 2,5 milliards de m³, l'aménagement permettra d'assurer un meilleur soutien à l'étiage dans la vallée du fleuve Sénégal, un des objectifs qui ne peut être assuré complètement actuellement par l'aménagement de Manantali. La production hydroélectrique est un bénéfice additionnel qui s'ajoute à la régularisation du débit de la Falémé et du fleuve Sénégal.

Les résultats des simulations correspondent à l'ordre de priorité des objectifs retenu pour cette étude et qui pourrait être ajusté en phase d'APD en fonction des objectifs alors fixés à l'aménagement. Le compromis fait entre les divers objectifs, en particulier le respect de l'hydrogramme de crue, a un coût qui se traduit par une minoration du productible de l'aménagement par rapport à son potentiel.

2.1.3 Impacts socio-économiques et environnementaux

Le diagnostic environnemental et socio-économique suggère que les impacts négatifs du projet sont significatifs par rapport à l'envergure des impacts positifs attendus dans la zone d'influence du projet. Plusieurs mesures devront forcément être mises en place afin d'atténuer les impacts négatifs et de maximiser dans cette zone les retombées positives pour les personnes affectées en particulier. Sur la base des informations disponibles à ce jour, et à condition que des mesures appropriées soient mises en place lors de la construction et l'exploitation des installations, le projet apparaît néanmoins viable du point de vue environnemental et social. L'étude d'impact environnemental et social détaillée du projet permettra de préciser l'envergure des impacts appréhendés et de détailler les mesures d'atténuation et de bonification à mettre en place.

2.1.4 Analyse économique

L'analyse économique présentée au chapitre 6 a pour objet d'évaluer du point de vue de l'économie du bassin du fleuve Sénégal la pertinence du projet.

Cette analyse économique montre que le projet d'aménagement de Gourbassi pris dans sa globalité est, dans les conditions posées lors de l'analyse, un investissement

économiquement acceptable et pertinent pour répondre au développement agricole du bassin et au besoin croissant d'énergie électrique.

2.2 RECOMMANDATIONS

- Confirmer l'ordre de priorité des divers objectifs fixés à l'aménagement entre énergie, soutien à l'étiage, respect de l'hydrogramme de crue.
- Entreprendre la campagne de reconnaissances topographiques et géotechniques complémentaires indispensables pour compléter l'évaluation du projet à un niveau d'APD.
- Sur la base (i) des résultats des relevés topographiques à grande échelle et d'une cartographie précise du bassin de retenue (précision de type LiDAR), (ii) de l'ordre de priorité donné aux objectifs assignés à l'aménagement et (iii) des contraintes socio-économiques identifiées au cours de l'APS, raffiner les paramètres de dimensionnement :
 - Cote de gestion maximale (entre 94 et 99 m s.m.);
 - Débit d'équipement de l'usine.
- Entreprendre les études d'optimisation des ouvrages et de conception définitive à un niveau de définition correspondant à un APD afin de satisfaire aux conditions imposées à un coût minimum.
- Réaliser une étude économique et analyse coûts/avantages détaillée.
- Entreprendre l'étude d'impact environnemental et social réglementaire.
- Entreprendre l'élaboration du plan d'action de réinstallation en parallèle avec l'élaboration de l'étude d'impact environnemental et social réglementaire.

CHAPITRE 3

Caractéristiques principales

3. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Le projet consiste à créer une retenue artificielle par un barrage ; la réserve d'eau créée sous la cote $CG_{Max} = 97$ m s.m. permettra d'assurer un soutien à l'étiage de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'aval de l'ouvrage (pour $200 \text{ m}^3/\text{s}$ à Bakel) et la chute au barrage mise à profit pour de la production d'énergie hydroélectrique.

Les principales composantes de l'aménagement de Gourbassi sont les suivantes :

- **Un ouvrage de retenue** de 1,4 km de long et de 30 m de hauteur maximum sur fondation (barrage en enrochement et ouvrages bétonnés), avec une crête fixée à la cote 100,2 m s.m. ;
- **Une digue en enrochement** de 700 m de long assurant la fermeture d'un col en rive gauche ;
- **Une centrale hydroélectrique** équipée de deux groupes Kaplan d'un débit d'équipement unitaire de $40 \text{ m}^3/\text{s}$, de **18 MW** de puissance installée totale pour un productible annuel de 68,4 GWh, comme bénéfice annexe de la gestion des lâchers d'eau ;
- **Un évacuateur de crues** d'une capacité de $2\,082 \text{ m}^3/\text{s}$ comportant 4 passes vannées ;
- **Un poste de départ et une ligne aérienne de 30 kV** entre Gourbassi et le futur poste d'interconnexion de Gouina.



Figure 3-1 Vue d'ensemble des ouvrages projetés à Gourbassi

Les caractéristiques principales de l'aménagement sont résumées dans la fiche synoptique suivante (Tableau 3-1).

Tableau 3-1 Fiche synoptique de l'aménagement proposé à Gourbassi

DONNEES GENERALES	
Cours d'eau	Falémé
Ville la plus proche	Kédougou (Sénégal)
Coordonnées UTM 29N WGS84	X = 208 104 Y = 1 483 633 X = 208 208 Y = 1 483 747
CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES	
Le projet de Gourbassi est situé dans la fenêtre de Kéniéba, affleurement birrimien du socle Ouest-africain qui représente une des portions stables du continent.	
Le socle au site des ouvrages ainsi qu'aux environs est très hétérogène et d'origines diverses, détritiques, volcaniques et chimiques, le tout affecté par le métamorphisme ultérieur. Le roc est fortement altéré en surface et cette altération peut localement atteindre de grandes profondeurs.	
Un roc sain constitué de quartzites affleure sur la totalité de la largeur des ouvrages prévus dans le lit mineur de la Falémé ; ce roc apparaît de bonne qualité.	
CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES	
Bassin versant	16 253 km ²
Pluviométrie moyenne	733,7 mm/an
Apport moyen annuel	7,9 Mm ³
CMP	4 640 m ³ /s
Crue décennale	2 690 m ³ /s
Crue centennale	2 050 m ³ /s
Crue quarantennale	1 860 m ³ /s
Crue vingtennale	1 690 m ³ /s
Apport solide moyen annuel	2,18 Mm ³ /an
CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA RETENUE	
CG _{Max}	97 m s.m.
CG _{min}	85 m s.m.
Niveau des PHE (centrale à l'arrêt – crue décennale – toutes vannes ouvertes)	97,61 m s.m.
Niveau des PHE extrêmes (centrale à l'arrêt – crue centennale – 1 vanne bloquée fermée)	98,13 m s.m.
Superficie à CG _{Max}	342 km ²
Volume de la retenue à CG _{Max}	2,897 Mm ³
Volume régularisé	2,453 Mm ³ /an

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES OUVRAGES	
Barrage	
Type	Barrage en enrochement avec bloc centrale-évacuateur en béton
Cote de couronnement	100,2 m s.m.
Hauteur maximale par rapport au TN	± 25 m
Longueur en crête	1 435 m (barrage en remblai)
Largeur en crête (y compris ouvrages bétonnés)	8,5 m
Longueur en crête de la digue de col	710 m
Volume de remblai (barrage et digue)	1 907 750 m ³
Volume de béton (barrages poids et murs de soutènement)	49 400 m ³
Évacuateur de crues	
Type	Vanné
Crue de projet	2 690 m ³ /s (Décamillénale)
Implantation	Rive gauche
Vannes	4 vannes secteur de surface 8,75 m x 11,4 m
Largeur déversante	35 m
Cote du seuil	87,3 m s.m.
Débit maximal évacué sous PHE	2 082 m ³ /s
Charge de l'eau sur le seuil	10,31 m
Type de coursier	Parabolique
Longueur du coursier	40 m
Largeur aval du coursier	35 m
Volume de béton	43 000 m ³
Ouvrage de restitution – Pertuis de fond	
Cote de calage	71 m s.m.
Vanne de garde	1 vanne plate
Vanne de réglage	1 vanne à jet creux Ø 3000 mm
Débit sous CG _{Max}	80 m ³ /s
Volume de béton	8 500 m ³
Ouvrage de prises d'eau	
Nombre de prises	2
Débit d'équipement total	80 m ³ /s
Cote de calage	75,8 m s.m.
Vannes de tête	Vannes wagon 3 m x 3 m
Dérivation provisoire	
Type	En canal
Crue de dimensionnement	1 860 m ³ /s (Quarantennale)

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA CENTRALE	
Bâtiment	
Type	Extérieur
Infrastructure	Béton
Superstructure	Acier
Dimensions hors tout (L x l)	42 x 26 m
Cote plancher principal	77,1 m s.m.
Cote axe roue turbine	68 m s.m.
Volume total de béton (centrale et ouvrage de prises d'eau)	22 000 m ³
Volume d'excavation	40 000 m ³
Turbines	
Nombre d'unités	2
Type	Kaplan à axe vertical
Puissance nominale sur l'arbre	6 815 kW
Débit nominal	40 m ³ /s
Vitesse de rotation	250 tr/min
Alternateurs	
Puissance nominale	9 085 kW
Facteur de puissance	0,9
Tension de sortie	11 kV
Transformateurs de groupe	
Nombre	2
Puissance nominale	10 MVA
Tension au primaire / secondaire	11 / 30 kV
Mécanique lourde	
Vannes aspirateurs	2 vannes plates 2,9 m x 2,9 m
Capacité de levage du pont roulant	Suffisante pour lever un rotor d'alternateur
PRODUCTIBLE	
Puissance installée	18 MW
Productible annuel moyen	7,8 MW
Énergie moyenne	68,4 GWh/an
COÛTS	
Coût de l'ouvrage de retenue	154 296 000 €
Coût de la centrale	38 570 000 €
Coût de gestion des impacts socio-économiques et environnementaux	29 611 000 €

CHAPITRE 4

Description régionale

4. DESCRIPTION RÉGIONALE

4.1 REGIONS NATURELLES ET RELIEF

La région naturelle dans laquelle s'inscrit le projet d'aménagement de Goubassi est la plaine de la Falémé-Gambie (Figure 4-1).

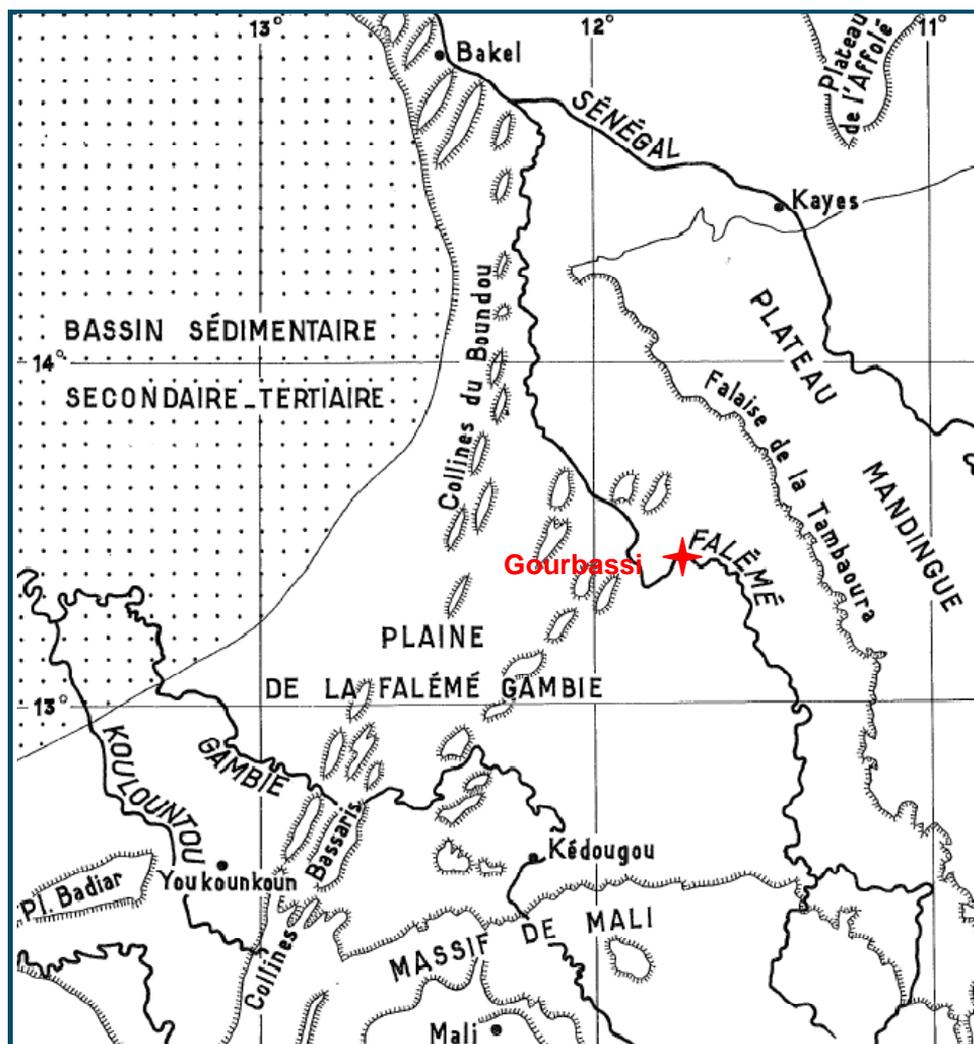


Figure 4-1 Régions naturelles de la zone du projet²

Il s'agit d'une immense pénélaine limitée au Sud par le massif de Mali (qui constitue la partie Nord du massif montagneux du Fouta Djalon) et à l'Est par la falaise de Tambaoura, terminaison occidentale du plateau Mandingue. La plaine de la Falémé-Gambie est très légèrement pentée vers le Nord et l'Ouest : on passe de la cote 200 m s.m. au pied du massif de Mali, à une cinquantaine de mètres d'altitude sur les bordures Nord et Ouest. La Falémé la traverse en donnant une vallée peu marquée.

² Source : BASSOT Jean-Pierre, *ÉTUDE GÉOLOGIQUE DU SÉNÉGAL ORIENTAL ET DE SES CONFINS GUINÉO-MALIENS*, Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières N° 40, 1966

Une série de collines vient rompre la monotonie de la plaine :

- Des petits massifs tabulaires, constitués par des formations primaires protégées de l'érosion par un toit de dolérite apparaissant comme des buttes témoins du massif de Mali ;
- Les collines Bassaris formant un alignement N-NE correspondant à des formations primaires métamorphisées et dominant la plaine de 2 à 400 mètres ;
- Des collines ayant une hauteur de commandement pouvant atteindre 200 mètres correspondant à des roches vertes birrimiennes formant un arc qui partant des environs de Mako (Sénégal) franchit la Falémé à Soreto et se poursuit en territoire malien jusqu'au Nord de Kakadian.

4.2 GEOLOGIE GENERALE

4.2.1 Géologie et tectonique régionale

Géologiquement, la zone du projet d'aménagement de Gourbassi s'étend sur la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (ou fenêtre de Kéniéba, couvrant environ 15 000 km²), un affleurement du socle ouest-africain qui, figé depuis 2 milliards d'années environ, est l'une des portions stables du continent africain (Figure 4-2).

Le bassin de la Falémé est situé dans une zone d'affleurement du socle complexe, constitué d'un ensemble de roches volcano-sédimentaires plissées, métamorphisées et granitisées au cours de l'orogénèse éburnéenne (1 850 Ma).

Dans les formations métamorphiques, une succession lithostratigraphique de trois séries a été identifiée d'Ouest en Est :

- 1) **La série de Mako** : il s'agit d'une bande orientée SW-NE quasi-continue depuis la région de Mako (Sénégal) jusqu'à la falaise de Tambaoura qu'elle atteint au nord de Sadiola (Mali). On y observe la présence d'anciennes roches volcaniques basiques interstratifiées avec des argilites, tufs, grauwackes, schistes. Une intrusion granitoïde de grande ampleur, le batholite intrusif de Kakadian, la recoupe.
- 2) **La série du Dialé** se situe entre la série de Mako et la bordure occidentale du massif de granite orienté de Saraya. Vers le NE, la série du Dialé se raccorde avec la série du Daléma en territoire malien. Elle est constituée, pour sa majeure partie, par des roches d'origine sédimentaire qui ont subi un léger métamorphisme de la zone des micaschistes supérieurs.
- 3) **La série du Daléma** se situe à l'Est du granite de Saraya. Vers le Sud, elle disparaît sous les grès subhorizontaux qui forment la bordure Nord du Fouta-Djalon ; elle s'étend à l'Est de la Falémé en territoire malien. Elle est formée de roches sédimentaires d'origines diverses légèrement métamorphisées (schistes à l'Ouest, grauwackes et cipolins vers l'Est).

Ces trois séries ont été renommées au Mali formations de Saboussiré, Kéniébandi et Kofi respectivement.

La zone du projet d'aménagement de Gourbassi repose essentiellement sur les séries Dialé-Daléma (ou Kéniébandi-Kofi).

La boutonnière de Kédougou-Kéniéba est affectée par deux systèmes de failles d'extension régionale : l'importante zone de cisaillement sénégalo-malienne qui est globalement orientée N-S (SMSZ – « *Senegalese-Malian Shear Zone* ») et la zone de décrochement principale d'orientation NE-SW (MTSZ – « *Main Transcurrent Shear Zone* ») qui affecte les métasédiments le long du contact de la formation de Mako.

Il semble que les zones de cisaillement régional et leurs structures annexes ont joué un rôle important dans la mise en place des importants gisements de minéraux qui se retrouvent dans la région. Dans l'Ouest du Mali, plusieurs mines d'or (en exploitation ou en projet) sont situées le long de la faille sénégalo-malienne SMSZ, y compris Yatéla, Sadiola, Loulo, Tabakoto et le projet de Gounkoto. De même, au Sénégal oriental, les roches affectées par le MTSZ abritent les gisements de Sabodala et Massawa

4.2.2 Géologie de surface

L'altération latéritique combinée aux phénomènes de cuirassement est encore très active dans la région. En dehors de collines localisées et des lithologies résistantes, la zone birrimienne est couverte à 90% ou 95% par d'importantes formations latéritiques et de cuirasse ferrugineuse qui lui confèrent un relief particulier comportant des plateaux tabulaires limités de bords abrupts déchiquetés. La profondeur d'oxydation dans la zone est très variable et peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

La plupart des affleurements sont masqués par la couverture latéritique et/ou les alluvions récentes. Ils sont dispersés et on les observe surtout dans le lit de la Falémé et de certains marigots, ainsi que sur les collines en rive droite du site de Gourbassi.

4.2.3 Séismicité

Du point de vue de la tectonique globale, la zone du projet d'aménagement de Gourbassi se trouve donc à l'intérieur d'une unité géologique très stable où les mouvements tectoniques ont été minimes depuis l'orogénèse éburnéenne. Aucun événement tectonique majeur susceptible d'affaiblir le socle ne s'est produit depuis cette orogénèse et la géologie régionale présente un aspect rassurant pour la sécurité du barrage projeté à Gourbassi.

Il n'y a que quatre séismes documentés dans un rayon de 500 km autour du site de Gourbassi, dont trois se situent en bordure de la plaque africaine, dans la zone mobile de l'Afrique de l'Ouest.

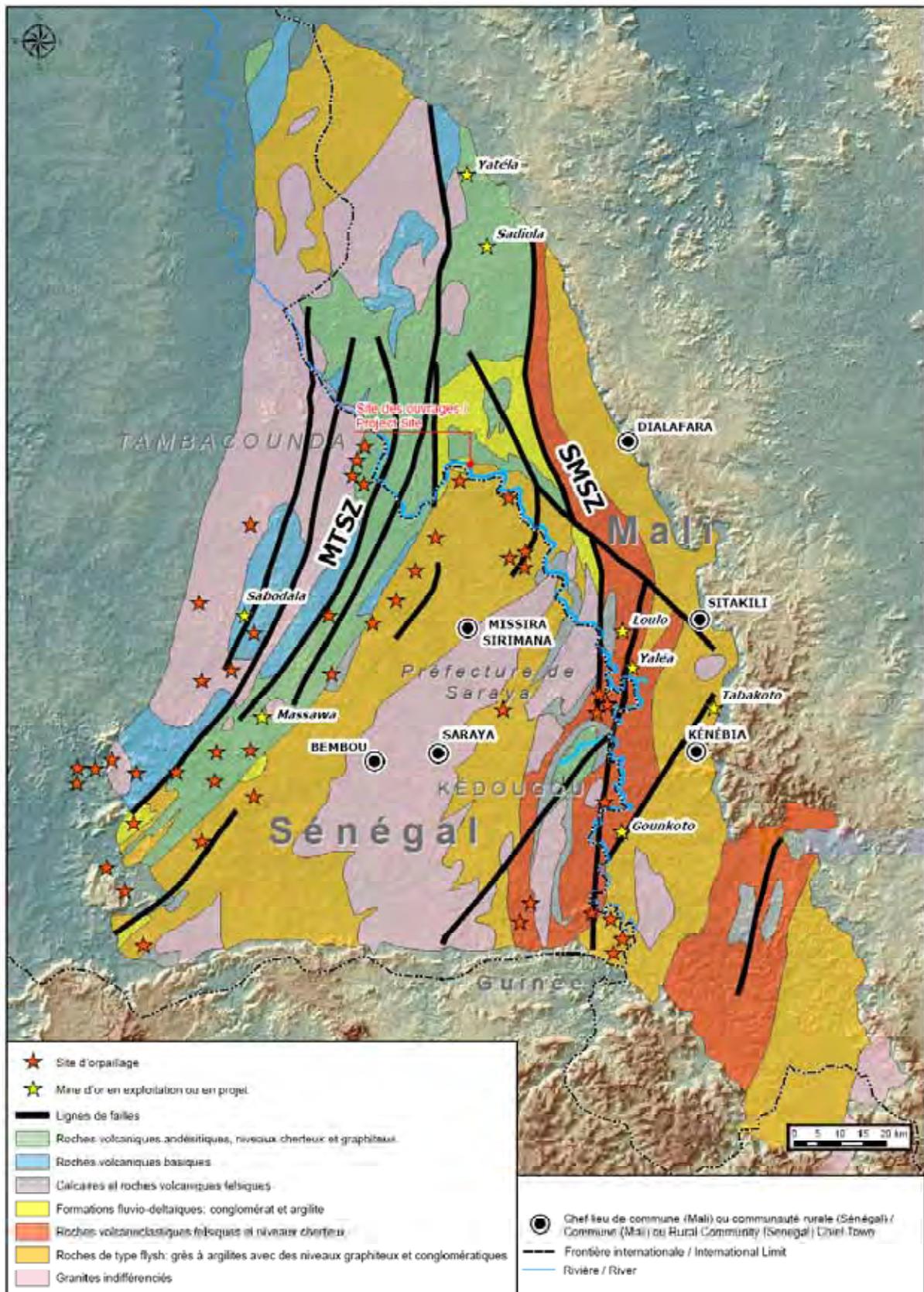


Figure 4-2 Schéma géologique et structural régional

4.3 HYDROGRAPHIE

Le bassin versant de la Falémé à Goubassi (16 253 km²) ne constitue qu'une petite partie du haut bassin du fleuve Sénégal en amont de Bakel (218 000 km²). À Kidira la surface du bassin versant de la Falémé atteint près de 30 000 km² (planche Go4)

La Falémé prend sa source en Guinée dans les premières hauteurs du Fouta Djallon, une région de plateaux doléritiques qui s'élèvent à 850 m s.m au NE de Tougué. Le point culminant du bassin versant (928 m s.m.) se situe sur la ligne de crêtes qui le sépare du bassin de la Gambie.

La Falémé a un cours supérieur assez irrégulier afin de contourner des sills doléritiques importants. Ensuite, elle traverse une région plus plate, constituée de schistes birrimiens en prenant des orientations variées.

La Falémé n'est rejointe par des affluents d'une certaine importance que dans son cours supérieur.

Dans le second tiers de son cours, entre Fadougou et Goubassi, elle coule suivant une orientation SE-NW, puis s'infléchit encore plus vers l'Ouest pour reprendre une direction S-N jusqu'à Kidira et sa confluence avec le fleuve Sénégal.

La Falémé dessine dès sa sortie des reliefs doléritiques une série impressionnante de grands méandres dans une plaine d'érosion parsemée de petits inselbergs ou de buttes latéritiques. Entre Fadougou et Goubassi, elle traverse une suite de petits rapides dus à des seuils rocheux constitués tantôt de bancs de grès durs, tantôt de roches vertes ou de microgranites.

La Falémé a une pente moyenne de 1,24‰ correspondant à une dénivelée de 777 m pour une longueur de 625 km. La partie supérieure de son cours a une pente extrêmement forte puisqu'elle passe de l'altitude 800 m s.m. à l'altitude 200 m s.m. en 70 km environ, soit une pente de 8,57‰. La pente s'adoucit ensuite pour n'être plus que de 0,24‰ entre Fadougou et sa confluence avec le fleuve Sénégal.

4.4 CLIMATOLOGIE

4.4.1 Climat

La zone du projet d'aménagement de Goubassi possède un climat sahélo-soudanien mais comme le bassin de la Falémé s'étend pratiquement sur deux parallèles son climat n'est pas complètement uniforme.

D'une façon générale on peut distinguer trois saisons :

- 1) La saison sèche et fraîche, de novembre à février où les nuits sont fraîches et où les températures diurnes ne dépassent pas 35°C ;
- 2) La saison sèche et chaude, de mars à juin, période pendant laquelle souffle l'harmattan, vent d'Est chaud et sec ;

- 3) La saison des pluies (hivernage), de mi-juin à octobre, caractérisée par de fortes averses orageuses dont la durée et l'intensité augmentent jusqu'au milieu de la saison pour ensuite décroître.

Les températures augmentent du Sud au Nord de même que l'évapotranspiration tandis que les pluies et la durée de l'hivernage diminuent.

La saison sèche est plus marquée et plus longue maintenant qu'elle ne l'était avant 1979.

4.4.2 Températures

Les températures sont similaires pour toute la région considérée.

Le tableau ci-dessous donne la moyenne des minima, maxima, moyenne absolue mensuelle pour la période 1981-2008. Ces mesures ont été enregistrées à la station de Bakel.

(°C)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Minima	18,1	20,1	22,3	25,0	27,8	27,6	24,7	23,2	22,9	23,2	19,9	18,3
Maxima	32,7	36,1	39,1	42,1	42,6	40,2	35,9	33,8	34,4	37,8	37,4	33,7
Moyennes	25,7	28,3	31,0	33,8	35,1	34,0	30,4	28,6	28,7	30,5	28,8	25,2

4.4.3 Pluviométrie

Les isohyètes sont sensiblement de direction Est-Ouest et parallèles entre eux. Pour la période 1954-2009 on a relevé :

	Période 1954-1979			Période 1980-2009		
	Hauteur d'eau moyenne (mm/an)	Irrégularité inter-annuelle (écart-type)	Jours de précipitation	Hauteur d'eau moyenne (mm/an)	Irrégularité inter-annuelle (écart-type)	Jours de précipitation
Kidira	638,7	134	28	526,3	186	35
Gourbassi	924,2	194	60	733,7	130	51
Guene-Gore	1257,0	175	84	1070,0	212	72

Le bassin versant de la Falémé s'étend du domaine sud-soudanien (cours supérieur) avec une pluviométrie annuelle moyenne oscillant entre 1000 mm et 1300 mm, au domaine nord-soudanien, à la limite du domaine sahélien, dans son cours inférieur avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 600 mm.

4.4.4 Humidité

L'humidité de l'air passe par un minimum au milieu de la saison sèche (mai, entre 10% et 20%) et un maximum à la saison des pluies (septembre, 90% et au-dessus). L'humidité varie peu en saison des pluies mais fortement en saison sèche.

4.4.5 Vents dominants

Au Nord du bassin de la Falémé, l'importance des vents est liée à l'influence de l'harmattan. Pendant la saison sèche où domine l'harmattan, les vents sont de secteur Est et Nord-Est. Durant la saison humide, les vents sont de Sud-Ouest et d'Est.

En général les vitesses sont assez faibles, de l'ordre de 1 m/s à 4 m/s ; des coups de vents très brefs et très violents donnant lieu à des vitesses très élevées peuvent précéder les averses orageuses.

4.5 HYDROLOGIE

4.5.1 Apports naturels

L'analyse du régime hydrologique de la Falémé à Goubassi montre une diminution du débit très marquée depuis 1970. Le module annuel pour la période 1953-1979 était de 138 m³/s alors que pour la série 1980-2010 il est de 71 m³/s.

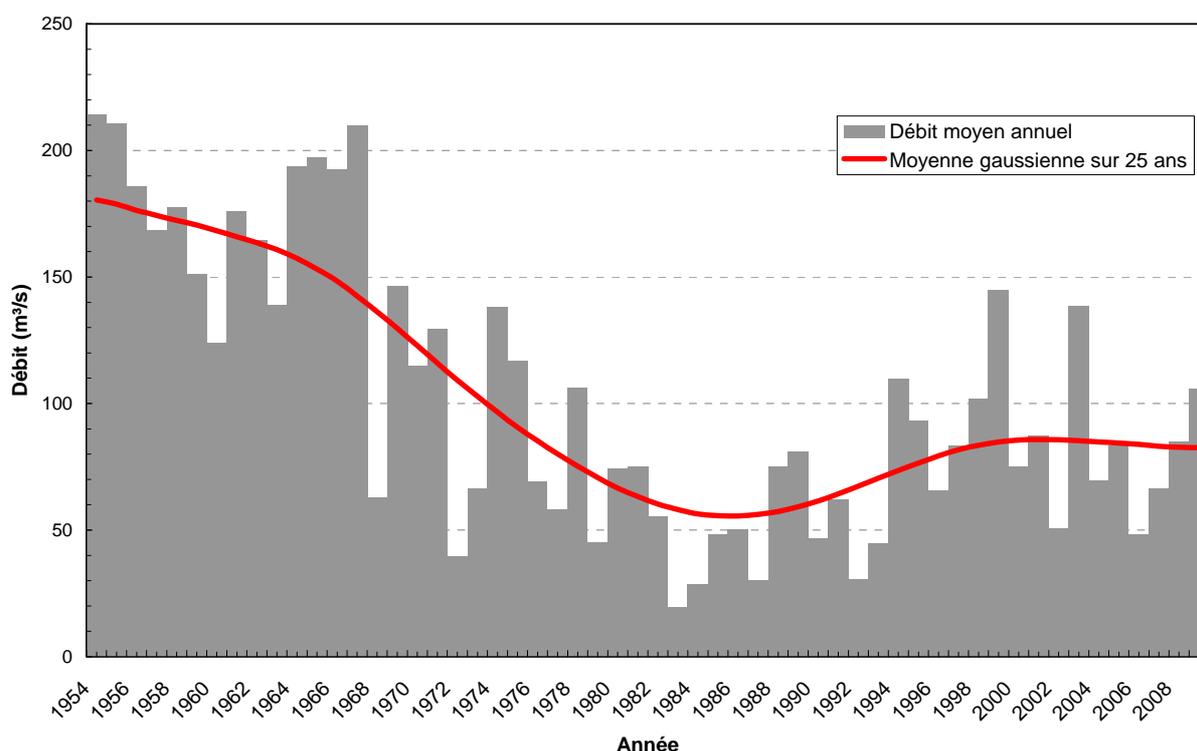


Figure 4-3 Variation du cycle hydrologique à Goubassi – Moyenne gaussienne

La Figure 4-3 permet d'apprécier graphiquement la baisse du régime des eaux constatée à Goubassi. La moyenne gaussienne sur 25 ans montre qu'à la suite d'une baisse prononcée débutée en 1954, au milieu des années 1980 le cycle a atteint un minimum pour ensuite remonter légèrement vers les années 2000.

La série de base utilisée pour les simulations de régularisation et de productible couvre la période 1961-2009.

En plus de la série de base qui comprend toute la série hydrologique de 1961 à 2009, les séries suivantes ont été établies pour évaluer l'impact des changements climatiques sur le potentiel de régularisation de l'aménagement de Gourbassi (Figure 4-4):

- Une série sèche qui comprend seulement les années suivant 1980 ;
Une baisse du débit est en effet observée depuis les années 1980 sur toutes les rivières d'Afrique de l'Ouest. Cette baisse est bien constatée sans que sa cause soit pour autant identifiée. La période de 1970 à 1980 est également relativement sèche avec un débit moyen annuel de 87 m³/s à Gourbassi comparé à 71 m³/s sur la période 1980-2009. Une période de trente ans étant généralement considérée comme suffisamment représentative des conditions hydrologiques à un site donné, la période de 1980 à 2009 a été retenue pour établir l'impact d'une baisse du débit à Gourbassi.
- Une série future qui partira des observations des dernières années (2000) pour un horizon de 50 ans et qui reflétera les variations projetées dans les profils climatiques du PNUD. Trois sous-séries futures ont alors été établies : une moyenne, une haute (optimiste) et une basse (pessimiste).

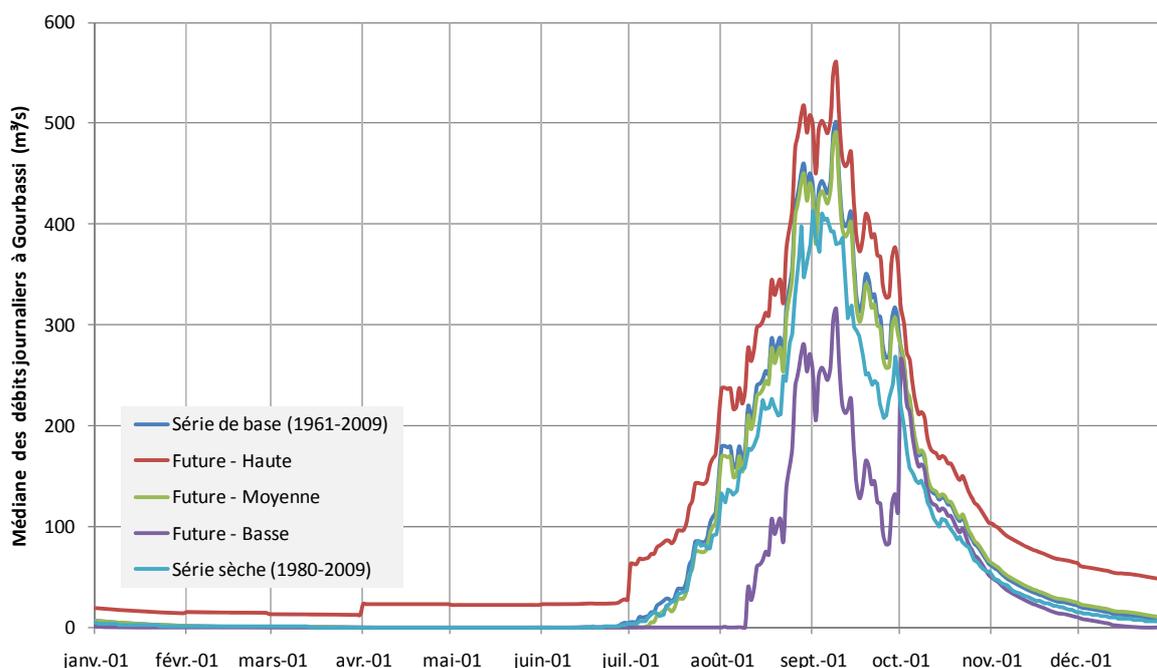


Figure 4-4 Médiane des débits journaliers pour les séries étudiées

4.5.2 Apports solides

Les données relatives au transport de sédiments dans la Falémé sont encore très parcellaires et anciennes. SLII a entrepris dans le cadre de l'étude un programme

d'échantillonnage pour prélever des échantillons d'eau de la Falémé³ pendant la période des hautes eaux et pour en mesurer la concentration de matières solides en suspension (MES). La campagne de prise d'échantillons a débuté le 18 juillet 2010 et s'est terminée le 14 novembre 2010.

Les concentrations de matières en suspension mesurées et les débits associés sont présentés au Tableau 4-1 ci-après.

Tableau 4-1 Mesures de charge solide réalisées à Gourbassi

N°	Dates	Niveau à l'échelle (cm)	Débit (m ³ /s)	MES (mg/l)
1	18-juil.-2010	96	25,7	138
2	25-juil.-2010	265	212	344
3	1-août-2010	174	90,9	86
4	8-août-2010	301	276	62
5	15-août-2010	242	176	106
6	22-août-2010	406	501	173
7	29-août-2010	404	496	104
8	5-sept.-2010	551	888	106
9	12-sept.-2010	621	1080	40
10	19-sept.-2010	580	971	71
11	26-sept.2010	464	649	24
12	3-oct.-2010	315	303	33
13	10-oct.-2010	380	440	42
14	17-oct.-2010	308	290	21
15	24-oct.-2010	258	200	10
16	31-oct.-2010	200	130	7
17	7-nov.-2010	183	101	9
18	14-nov.-2010	158	74	8

Les résultats de la campagne de mesures de sédiments de 2010 démontrent une diminution de la concentration vers la fin de la saison des pluies. En effet, à partir du mois d'août l'écoulement augmente et la concentration est forte alors que plus tard au mois d'octobre la concentration demeure faible malgré un débit assez important. L'explication proposée pour ce phénomène est que l'écoulement souterrain est plus important à la fin de la saison des pluies et celui-ci transporte une quantité beaucoup plus faible de sédiments qu'un écoulement de même importance en eaux de surface.

4.5.3 Étude des crues

L'analyse des crues suppose deux approches de base :

- L'analyse fréquentielle des débits de pointe observés ; et
- Les crues découlant des événements de précipitation.

Les données de la station de Gourbassi sur la période 1954-2009 ont été retenues pour réaliser l'analyse fréquentielle des crues à Gourbassi.

³ À hauteur des villages frontaliers de Bérola (Mali) et Saiensoutou (Sénégal), soit 5 km environ en amont du barrage projeté.

L'étude des crues de différentes fréquences a porté sur la pointe (Figure 4-5) et sur le volume observé sur une durée de référence de 30 jours (Figure 4-6).

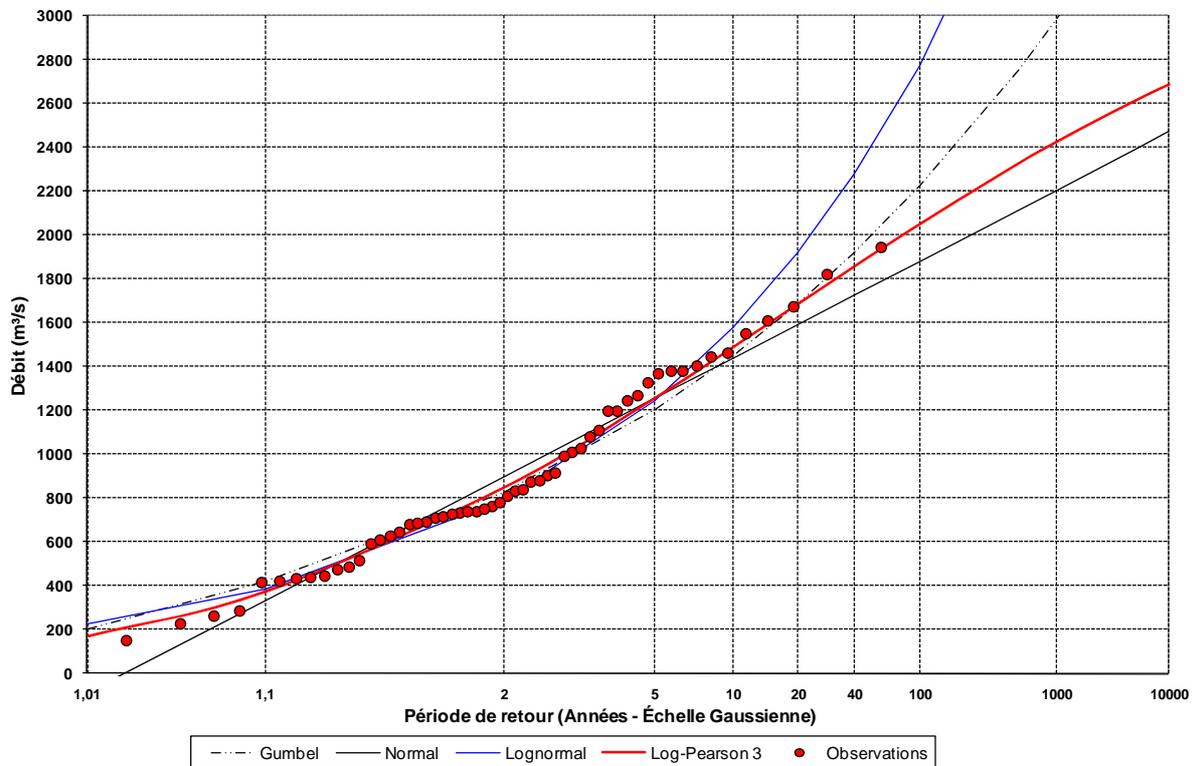


Figure 4-5 Analyse de la fréquence des pointes de crues

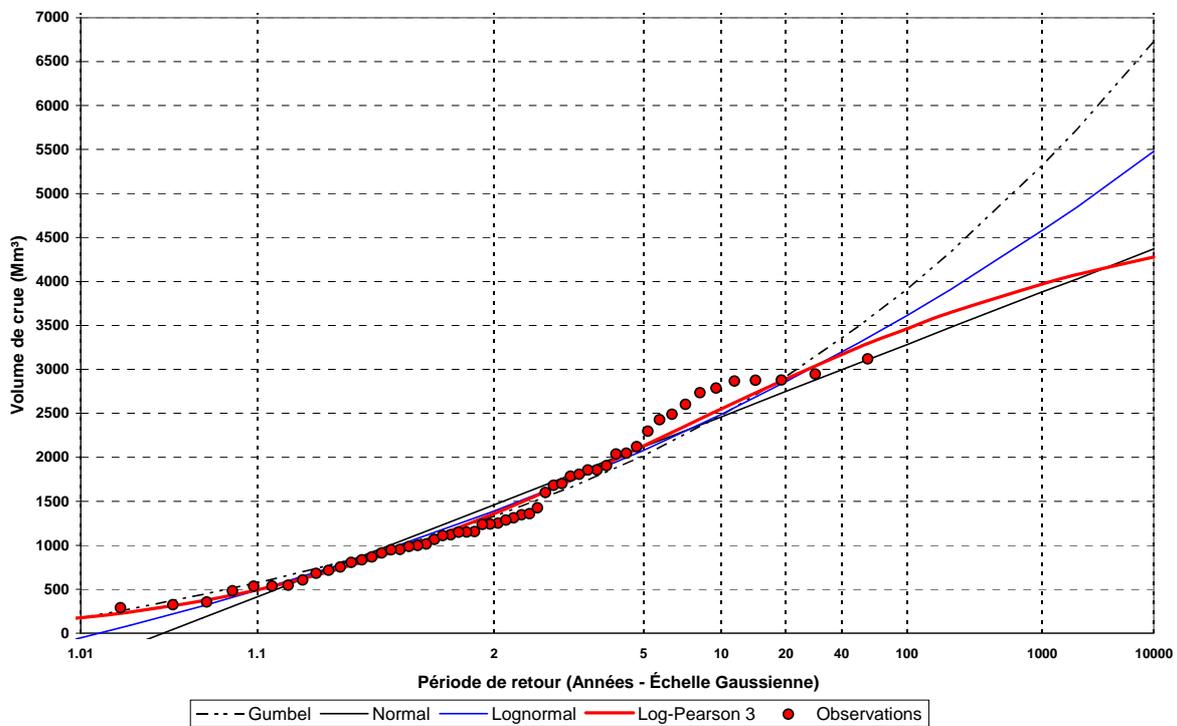


Figure 4-6 Analyse de la fréquence des volumes de crues

Les pointes de crues sont le mieux représentées par la loi de Log-Pearson 3. Le Tableau 4-2 présente la valeur des crues pour des récurrences données.

Tableau 4-2 Falémé à Gourbassi – Fréquence des crues

Période de retour T (ans)	Probabilité	Q (m ³ /s) LogPearson 3
1,01	0,99	170
1,1	0,91	370
2	0,5	850
5	0,2	1250
10	0,1	1490
20	0,05	1690
40	0,025	1860
100	0,01	2050
500	0,002	2330
1 000	0,001	2430
5 000	0,0002	2620
10 000	0,0001	2690

La crue maximale probable (CMP) est définie comme étant une crue hypothétique dont les principales caractéristiques (débit de pointe, volume et forme de l'hydrogramme) sont les plus sévères pouvant raisonnablement se produire à un site donné. Elle a été calculée à partir de la pluie maximale probable (PMP) au moyen d'un modèle pluie-ruissellement du bassin versant de la Falémé à Gourbassi calibré sur des événements historiques. Les résultats de calcul de la PMP et de la CMP sont présentés à la Figure 4-7.

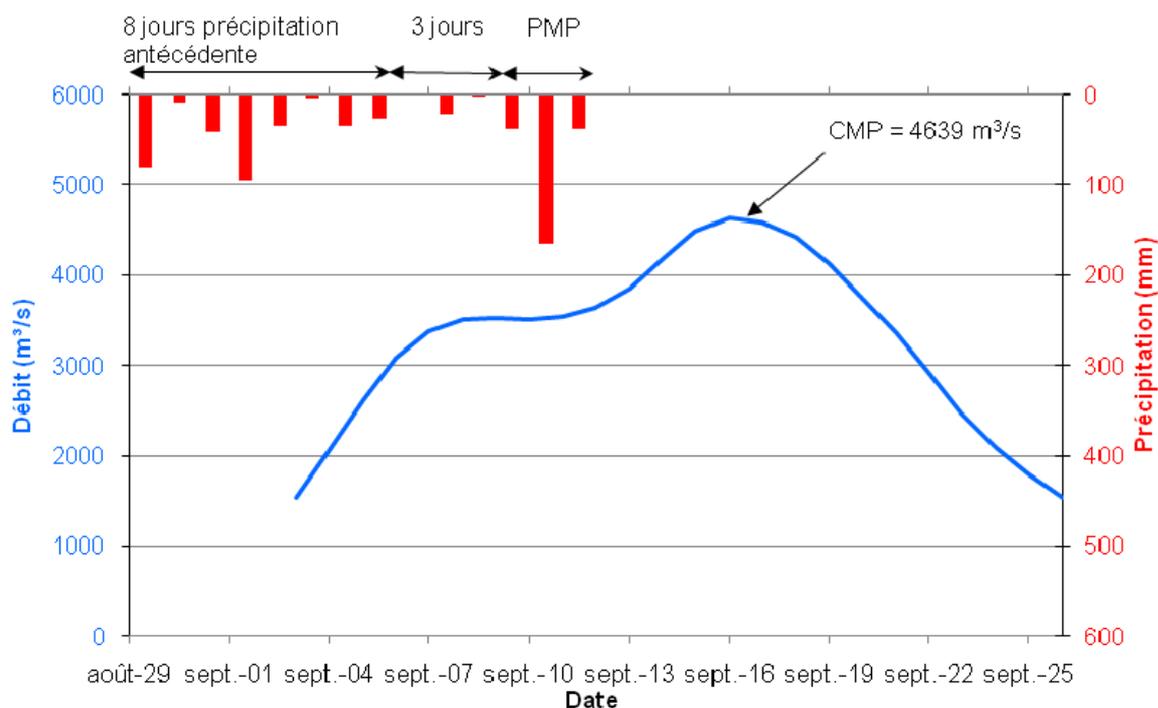


Figure 4-7 Gourbassi – PMP / CMP

4.5.4 Évaporation à Gourbassi

L'évaporation constitue une variable importante ayant un impact notable sur le débit qui pourra être restitué par l'aménagement de Gourbassi. Notons que plus l'humidité relative est importante, moins l'évaporation intervient dans le bilan hydrologique.

L'évaporation nette du réservoir est définie comme étant l'évaporation de la surface d'eau du réservoir (qui est proportionnelle à la surface du plan d'eau) moins l'évapotranspiration (c'est-à-dire la combinaison de l'évaporation des surfaces humides et de la transpiration des végétaux) qui existait dans l'emprise du réservoir avant sa mise en eau. L'évaporation nette sera très différente de l'évapotranspiration réelle.

Les pertes moyennes par évaporation de la retenue projetée à Gourbassi ont été évaluées entre 6,1 m³/s pour une cote de retenue normale de 91 m s.m. et 10,9 m³/s pour une cote de 100 m s.m. ce qui réduit les volumes disponibles pour la régularisation et la production d'énergie.

4.6 VEGETATION

La végétation diffère entre le Nord et le Sud du bassin de la Falémé en fonction du climat et de la pluviométrie :

- Le cours inférieur de la Falémé est le domaine de la savane arbustive : l'élément arboré est surtout représenté par des épineux du genre acacia ; le jujubier (*Ziziphus*) est également assez commun, tandis que les baobabs sont plus rares.
- Vers le Sud, on passe progressivement à la savane boisée : les épineux sont subordonnés aux figuiers (*Diospyros mespiliformis*), au faux kapokier (*Bombax costatum*), au fromager (*Ceiba pentandra*), au karité (*Butyrospermum paradoxum*) et plus rarement au néré (*Parkia biglobosa*) et au tamarinier (*Tamarindus indica*).

Le tapis herbacé est formé par des graminées, des cypéracées et des papilionacées ; son développement s'accroît avec le gradient pluviométrique.

Autour de la Falémé, de ses affluents et des marigots plus petits, poussent de minces galeries forestières ; ces galeries sont de deux types : lorsque le marigot est petit, on observe des peuplements de palmiers raphias (*Raphia sudanica*) et de roniers (*Borassus flabellifer*) ; lorsque le cours d'eau est important le raphia est absent mais le ronier et tous les arbres cités plus hauts sont présents.

La végétation a été profondément modifiée par l'homme ; celui-ci par ses défrichements, les feux de brousse et les coupes abusives a provoqué l'accélération de l'érosion et du cuirassement latéritique et a favorisé la survivance des espèces végétales ignifuges. La dégradation du couvert végétal est plus marquée du côté malien que sénégalais. L'exploitation minière et les activités d'orpillage traditionnel contribuent également à la dégradation de la biodiversité de la zone.

4.7 FAUNE

La faune de la zone ne présente pas d'individualité bien marquée ; elle est constituée d'un mélange de faune de savane guinéenne et sahélienne. Elle se caractérise surtout par le nombre d'espèces représentées plutôt que par son abondance.

Les phacochères (*Phacochoerus africanus*) en particulier y présentent une forte concentration du côté sénégalais (où il existe une concession et deux campements de chasse). On y rencontre aussi plusieurs espèces d'antilopes : éland de Derby (*Taurotragus derbianus*), l'hippopotame (*Hippotragus equinus*) et guib harnaché (*Tragelaphus scriptus*). Des troupeaux de gazelles (*Gazella rufifrons*) ont été signalés et la présence des hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) a été constatée dans la Falémé aux environs de Farinkounda.

Les espèces carnivores africaines sont représentées : des traces de lion (*Panthera leo*) ont pu être observées en bordure de la Falémé au niveau du barrage projeté.

Quelques rongeurs et insectivores ont été identifiés : lièvres (*Lepus*), écureuils (*Xerus rutilus*), et cochons de terre (*Orycteropus afer*).

Les primates sont représentés par les babouins (*Papio anubis*), les chimpanzés communs (*Pan troglodytes verus*), les singes verts (*Chlorocebus sabaeus*) et singes patas (*Erythrocebus patas*).

La classe des reptiles est représentée par de nombreuses espèces de serpents (pythons - *Python sebae*, vipères heurtantes - *Bitis arietans*, vipères à cornes - *Cerastes cerastes*), par des crocodiles (*Osteolaemus tetraspis*, *Crocodylus niloticus*), des varans (*Varanus niloticus*, *Varanus exanthematicus*) et surtout par les lézards (*Agama agama*, entre autres).

Plusieurs espèces de poissons d'eau douce sont observées dans la rivière Falémé dont 22 espèces se retrouvent régulièrement dans les captures des pêcheurs. Elles sont représentative des espèces rencontrées dans les cours d'eau du bassin du fleuve Sénégal.

La zone accueille aussi bon nombre d'espèces d'amphibiens et une grande variété de faune aviaire dont 20 espèces migratoires d'origine paléarctique et éthiopienne.

4.8 MILIEU HUMAIN

4.8.1 Populations

La zone d'influence du projet d'aménagement de Gourbassi est une mosaïque de populations : Malinkés, Peuls, Toucouleurs, Sarakolés, Bassaris, Coniagués, Bambaras, pour ne citer que les groupes les plus importants, habitent dans la région.

Dans la zone d'impact direct des ouvrages et de la retenue, le groupe Malinké constitue 90% de la population.

On dénombre une population de plus de 100 000 habitants dans les diverses communes adjacentes au projet soit : Dialafara, Sitakily et Kéniéba localisées dans le cercle de

Kéniéba au Mali et les communautés rurales de Missira Sirimana et de Bembou localisées au Sénégal.

Une population de plus de 25 000 personnes répartie dans 25 villages et hameaux, incluant le village de Djidian Kéniéba qui comprend à lui seul 15 500 habitants, est plus directement concernée par le projet Gourbassi et subira, à des degrés variables, les impacts positifs et négatifs du projet.

Les mouvements de population de la zone sont caractérisés par l'existence de deux flux migratoires : un flux d'émigration des jeunes bras valides qui tentent leur chance à l'étranger et un flux d'immigration provoqué par le développement de l'exploitation minière dans la région et la pratique de l'orpaillage.

4.8.2 Agriculture et élevage

Le secteur agricole, dont l'objectif de production est essentiellement à vocation d'autoconsommation, occupe 80% de la population active.

Les cultures vivrières (mil, maïs, sorgho) et les cultures de rente tel que l'arachide et le coton sont les principales cultures de la région ; elles sont généralement établies côte à côte dans de petits champs autour des villages. Le maïs et le riz sont cultivés sur les sols riches, en particulier dans les bas-fonds sur les alluvions fines des marigots. Le fonio et le piment sont des cultures vivrières accessoires. La production totale est très insuffisante et couvre à peine les besoins alimentaires de la majorité des familles pendant 4 à 5 mois. Les besoins vivriers en période de soudure sont couverts en grande partie par le revenu de l'orpaillage.

Malgré la prévalence de la trypanosomiase animale véhiculée par la mouche tsé-tsé, l'élevage des bovins, caprins, ovins est très répandu.

C'est un élevage de type traditionnel pratiqué de manière extensive. Si les ovins et caprins sont utiles en fournissant leur ration de viande aux populations, les bovins sont plutôt élevés pour une question de prestige (statut de propriétaire lié au nombre de têtes).

Concentrée sur la Falémé et les marigots en période d'hivernage, la pêche est une activité de subsistance généralement exercée en dehors des temps consacrés à l'agriculture ou à l'orpaillage.

4.8.3 Autres activités économiques

L'orpaillage est la deuxième activité économique pratiquée dans la région. Elle est pratiquée toute l'année mais surtout en saison sèche. L'or des placers se trouve dans les graviers et les sables des zones bordant la Falémé où, depuis des siècles, le métal est récupéré par des orpailleurs qui travaillent les alluvions par intermittence. Du mercure, un produit reconnu pour sa forte toxicité, est utilisé par les exploitants pour amalgamer l'or.

La zone d'influence du projet d'aménagement de Gourbassi est une importante zone d'exploitation minière. Plusieurs mines d'or sont actuellement en exploitation, du côté malien surtout, tandis que l'exploitation de minerai de fer au Sénégal oriental n'est pour l'instant qu'au stade de projet à l'horizon plus ou moins précis.

Les mines observées dans la zone sont les suivantes :

Au Mali :

- La mine de YATELA ;
- La mine de SADIOLA ;
- La mine de LOULO (dont la mine de YALÉA est une dépendance) ;
- La mine de TABAKOTO ;
- La future mine de GOUNKOTO.

Au Sénégal :

- La mine de TERANGA SABODALA ;
- Le projet de mine OJVG SABODALA ;
- La mine de MASSAWA.

Il y a de nombreux autres programmes de prospection en cours dans la région et de nouveaux projets verront forcément le jour dans le futur.

Enfin, le commerce et l'artisanat sont les autres activités économiques secondaires rencontrées et demeurent peu développées.

4.9 DIVISIONS ADMINISTRATIVES

La zone d'influence du projet d'aménagement de Gourbassi couvre au Sénégal le Département de Bakel dans la nouvelle Région administrative de Tambacounda et les Départements de Saraya et de Kédougou dans la nouvelle Région de Kédougou⁴. Chaque département est divisé en arrondissements qui eux-mêmes comprennent un certain nombre de communautés rurales auxquelles sont rattachés villages et hameaux (Figure 4-8).

Au Mali, elle couvre les cercles de Kayes et de Kéniéba de la Région de Kayes : les communes de Falémé, Fégui, Tafacirga et Sadiola du Cercle de Kayes sont bordées à l'Ouest par la Falémé ; Les communes de Dialafara, Kéniéba et Sitakily du Cercle de Kéniéba sont adjacentes à la Falémé.

Le Tableau 4-3 présente les villages et hameaux situés dans la zone d'intervention du projet et qui seront potentiellement affectés.

⁴ Les nouvelles régions de Tambacounda et de Kédougou sont nées de la scission de l'ancienne région de Tambacounda en 2008, ce qui a entraîné la création de nouveaux départements, arrondissements et de nouvelles communautés rurales.

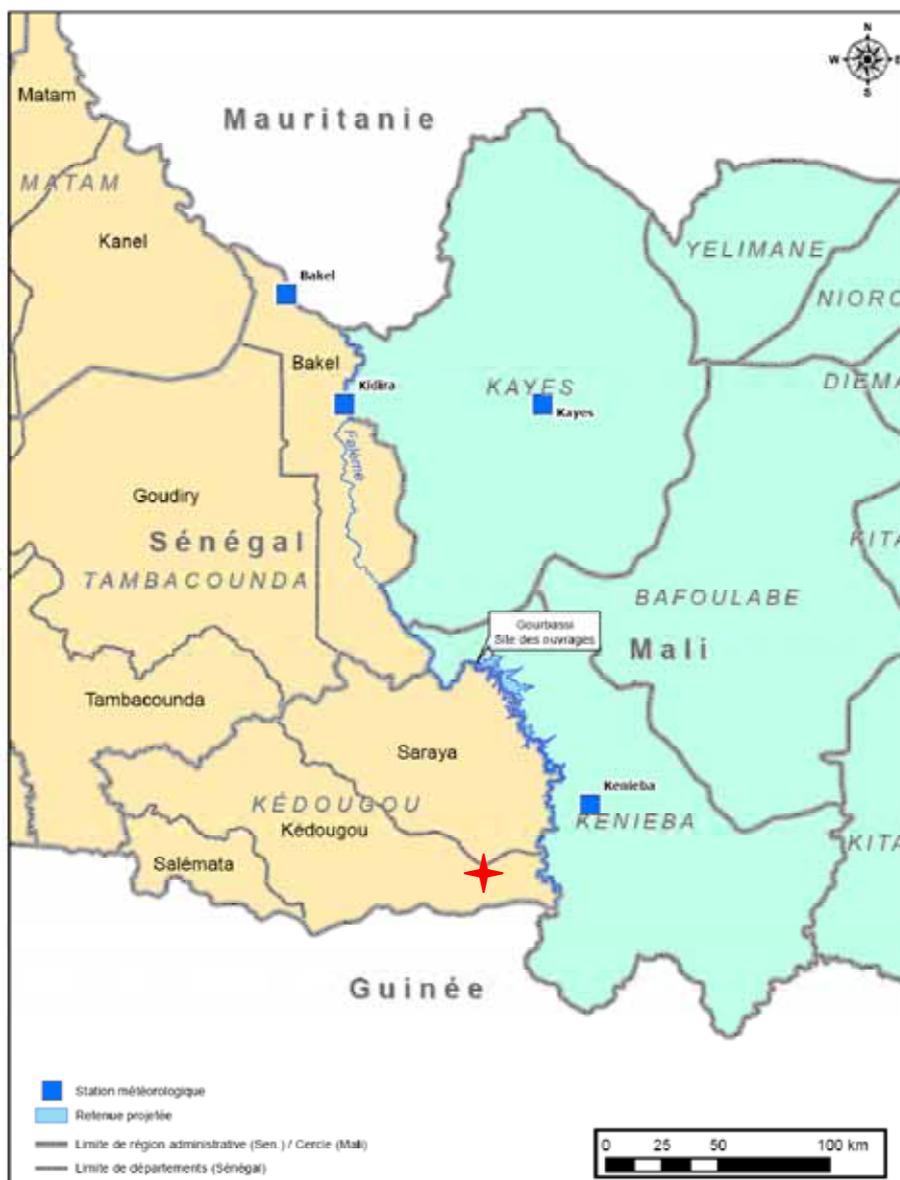


Figure 4-8 Carte administrative de la zone du projet

Tableau 4-3 Villages potentiellement affectés par le projet d'aménagement de Gourbassi

Cercle / Préfecture (Pays)	Communes / Communautés rurales	Villages ou hameaux	Nombre de village	% des villages affectés
Cercle de Kéniéba (Mali)	Dialafara	Arabadiangna, Banticoto, Bayé, Bérola (Gourbassi), Farinkounda, Kéniéko, Kolobo, Linguékhoto, Sékokothon	9	36 %
	Sitakily	Baboto, Djidian Kéniéba	2	8 %
	Kéniéba	Mahinamine	1	4 %
Préfecture de Saraya (Sénégal)	Missira Sirimana	Bagué, Bountoug, Daorola, Faranding, Khassanguéri, Limalo, Linguékhoto, Moussala Kéniéko, Saiensoutou, Wansangara, Wortokhati	11	44 %
	Bembou	Koliya, Moussala Mahinamine	2	8 %
Total	5		25	100%

4.10 VOIES DE COMMUNICATION – MOYENS D'ACCES

4.10.1 Pistes et routes

À l'échelle régionale, on rencontre deux axes routiers inter-pays importants, dont l'un en cours d'achèvement (2011-2012).

L'axe Dakar-Bamako par le Nord suit la route nationale RN1 au Sénégal qui dessert depuis Dakar les villes de Kaolack et Tambacounda avant de joindre le poste frontalier de Kidira puis la ville de Kayes au Mali située à 105 km de la frontière, et de se prolonger vers Sandaré, Diéma, Kolokani, Kita et Bamako. Cet axe est très emprunté par les poids lourds qui assurent le transit entre le port de Dakar et la capitale malienne. Cette route est constituée de plusieurs tronçons très dégradés. Plusieurs tronçons font ou ont fait l'objet de projets de réhabilitation.

Du côté malien, l'axe Kayes-Kéniéba est mal desservi en route et pistes rurales. Le seul tronçon en bon état est celui entretenu par les compagnies minières et qui relie les mines d'or du secteur avec le village de Djidian Kéniéba.

Le second axe, le corridor routier Dakar-Bamako par le Sud, est celui en cours d'achèvement. Cet axe routier permettra un accès plus direct entre Dakar et Bamako. Il contribuera (et contribue déjà) à dynamiser la portion Sud de la zone du projet et plus particulièrement les localités situées dans l'axe Kéniéba (Mali) – Saraya (Sénégal).

Le tronçon de route Dakar-Kédougou-Saraya jusqu'à Moussala Mahinamine à la frontière malienne est bitumé. Le tronçon de route entre Saraya et Saiensoutou (environ 40 km) demanderait par contre une amélioration pour la portion de route existante. Kédougou est ainsi une base de départ commode pour étudier la zone du projet.

Dans l'ensemble, la zone est caractérisée par l'absence de routes secondaires et la présence d'une multitude de pistes rurales dans un état défectueux, ce qui représente un handicap pour les transports pendant l'hivernage.

4.10.2 Réseau ferroviaire

La ligne de chemin de fer Dakar-Bamako passe par Kayes. Cette ligne constitue pour la région de Kayes un moyen de transport important.

4.10.3 Navigation commerciale

Le fleuve Sénégal constitue un moyen potentiel de transport pour la région de Kayes. La navigabilité sur le fleuve Sénégal est fonction de son débit et est conditionnée par les fluctuations saisonnières.

Depuis le début des années 1970 (1972-1973), il n'y a plus à proprement parler de navigation commerciale sur le fleuve Sénégal, principalement à cause d'un tirant d'eau trop faible, si ce n'est de quelques croisiéristes qui offrent des circuits sur le fleuve à partir de Saint-Louis. L'amélioration des conditions de navigation commerciale est l'un des piliers qui supportent l'aménagement du fleuve Sénégal.

CHAPITRE 5

Aménagement proposé

5. AMENAGEMENT PROPOSÉ

5.1 INTRODUCTION

Dans l'avant-dernière phase de l'étude (étude des variantes), différentes variantes envisageables pour l'aménagement de Gourbassi ont été comparées entre elles en tenant compte des considérations techniques, économiques et environnementales.

L'analyse des différentes variantes d'aménagement (barrage en BCR, barrage latéritique, barrage en enrochement, structures localisées en rive droite ou en rive gauche) a permis de conclure que la variante de barrage en enrochement avec bloc évacuateur-prise-centrale situé du côté droit de la rivière présentait le plus d'avantages techniques et le moindre coût de réalisation.

Quatre cote de gestion maximale du réservoir (CG_{Max}) correspondant à quatre variantes de dimensionnement ont en outre été analysées, soit :

- Variante 1 : $CG_{Max} = 91$ m s.m.
- Variante 2 : $CG_{Max} = 94$ m s.m.
- Variante 3 : $CG_{Max} = 97$ m s.m.
- Variante 4 : $CG_{Max} = 100$ m s.m.

Pour les quatre variantes, la cote de gestion minimale CG_{min} a été fixée à 85 m s.m. de façon à créer un volume mort suffisant pour la réserve de sédimentation sur une période de cent ans et maintenir libre de sédiments les prises d'eau. C'est donc la réserve utile, c'est-à-dire le volume d'eau utilisé à des fins de régularisation et de production, qui change d'une variante à une autre.

Une analyse multi-critères a permis de déterminer que la variante 3 s'avérait préférable du point de vue techno-économique pour des impacts du même ordre de grandeur que ceux de la variante 2. C'est donc la cote $CG_{Max} = 97$ m s.m. qui a été retenue comme niveau d'exploitation maximal de la retenue.

Il est utile de rappeler que l'optimisation du niveau a été faite, conformément aux Termes de référence, sur la base de la cartographie IGN 1968 au 1:20 000^e, avec une précision de $\pm 2,5$ m sur les cotes considérées, et qu'une optimisation plus fine du niveau de la retenue, entre les cotes 94 et 99 m s.m. devra être entreprise à l'étape d'APD sur la base d'une cartographie plus précise du bassin de retenue. La zone des ouvrages a fait quant à elle en 2011 l'objet de levés topographiques de terrain à l'échelle 1:2 000^e.

Des vues d'ensemble de l'aménagement proposé sont montrées sur la planche Go13a à l'échelle 1:10 000^e et sur la planche Go19 à l'échelle 1:2 000^e. Une vue amont des ouvrages bétonnés est présentée à la planche Go14.

5.2 RESERVOIR

La fermeture de la vallée de la Falémé au site de Gourbassi à la cote 97 m s.m. permet de créer une réserve utile de 2 453 Mm³ entre les cotes $CG_{min} = 85$ m s.m. et $CG_{Max} = 97$ m s.m. (voir planche Go3).

La tranche morte, comprise entre le niveau naturel du lit de la rivière (cote 71 m s.m. environ) et la cote 85 m s.m. est de 444 Mm³.

La réserve utile permet de régulariser les apports naturels et de garantir un débit minimal de 80 m³/s à l'aval de l'ouvrage.

Entre CG_{\min} et CG_{\max} , la surface du plan d'eau varie de 95 à 342 km².

En raison de l'importance de cette surface, une certaine proportion du débit s'évapore et le bilan moyen s'établit comme suit :

- Débit d'apport moyen : 92,0 m³/s (1961-2009)
- Débit moyen turbiné : 47,0 m³/s
- Débit déversé : 35,7 m³/s
- Débit évaporé : 9,3 m³/s

5.3 GEOLOGIE DU SITE

5.3.1 Généralités

Les conditions géologiques dans la région de Goubassi sont complexes et le socle rocheux est très hétérogène. Les roches au site même des ouvrages ainsi qu'aux environs font partie d'une série légèrement métamorphique, généralement d'origine détritique (grès, pélites, etc.), parfois volcanique (andésite, tufs, laves) ou chimique (calcaires). Cette grande hétérogénéité des roches est souvent accompagnée d'une altération profonde et forte, tel que noté dans certains forages.

Ce sont les conditions géologiques qui ont présidé au choix de l'emplacement de l'axe des ouvrages.

5.3.2 Lit mineur

Le rocher affleurant dans le lit de la rivière Falémé à l'endroit de l'axe des ouvrages est constitué de quartzites sombres relativement homogènes. Ce roc est considéré comme étant de bonne qualité. C'est un roc jugé très abrasif basé sur sa haute teneur en quartz. Localement, les quartzites sont légèrement fissurés et fracturés.

Le roc sain affleure en surface sur la totalité de la largeur des ouvrages prévus dans le lit mineur.

5.3.3 Appuis

5.3.3.1 [Appui rive droite](#)

En rive droite, une épaisseur de sol pouvant atteindre 8 m est présente sous l'appui du barrage; cette épaisseur diminue en se dirigeant vers la Falémé ainsi qu'en se dirigeant vers l'extrémité opposée du barrage où des affleurements sont observés. Sous le sol résiduel, du roc altéré a été observé sur une épaisseur variant entre 2 m à plus de 12 m. Le roc sain se retrouve à des profondeurs variant entre 20 m et 30 m, sauf aux 2 extrémités du barrage sur cette rive.

5.3.3.2 Appui rive gauche

En rive gauche, à proximité de la Falémé, une épaisseur de sol de plus de 17 m a été observée sous l'appui du barrage; il pourrait s'agir d'un sillon ou d'une roche plus susceptible à l'altération. L'épaisseur de sol diminue en se dirigeant vers la butte rocheuse qui sépare le barrage de la digue de col. Sous le sol, du roc altéré a été observé sur une épaisseur approximative de 2 m ; quant au roc sain, constitué de quartzites et schistes, il a été rencontré à des profondeurs variant entre 5 et 20 m.

5.3.4 **Digue**

Du sol résiduel a été observé sous le couvert organique jusqu'à des profondeurs variant entre 1,7 et 4,4 m. Sous le sol résiduel, du roc altéré et fragmenté avec présence de poches de sable et argile a été observé jusqu'à la profondeur de 6,80 m où le roc sain est atteint.

5.3.5 **Géologie du réservoir**

La majeure partie de la zone devant être inondée par la retenue projetée est de nature latéritique, faisant place à des zones basses argileuses au niveau des marigots.

Sous les formations superficielles se retrouve à des profondeurs variables le socle birrimien formé de roches hétérogènes, essentiellement des roches vertes et des granites.

Ces roches peuvent permettre des écoulements d'eau dans les fissures et joints qui les recoupent mais, contrairement à des roches poreuses, karstiques ou solubles, leur perméabilité devrait être modérée. Par ailleurs, la nature argileuse des alluvions et des matériaux de décomposition auront pour effet de colmater les fissures ouvertes, réduisant ainsi la perméabilité.

5.4 **DERIVATION PROVISOIRE**

Le concept de dérivation provisoire tire profit du contexte géomorphologique existant le long de la coupure, à savoir la présence d'une île sur laquelle les travaux préparatoires nécessaires à la construction des batardeaux de la première phase de dérivation pourront être menés alors que les débits de la rivière seront inférieurs à 40 m³/s et que l'île ne sera pas inondée. À l'instar de la vaste majorité des travaux de dérivation provisoire, la période d'étiage est cruciale au déroulement des travaux et au respect des plannings de construction.

Le concept de dérivation provisoire inclut trois phases principales. La première phase, d'une durée de 2,5 ans, consiste dans un premier temps en la construction du mur de soutènement gauche localisé sur l'île et, par la suite, en la construction des batardeaux amont et aval en rive droite qui viendront s'appuyer sur le mur de soutènement gauche, de manière à faire passer le débit de la rivière en rive gauche. Durant cette période qui s'étendra sur les premières années de dérivation provisoire, le niveau d'eau maximal qui sera atteint au bief amont sera de 82,1 m s.m. tandis qu'il sera de 81,85 m s.m. au bief aval. L'enceinte créée par les batardeaux en rive droite et le mur de soutènement gauche sera asséchée de sorte à permettre la construction des ouvrages en béton, dont

certaines de façon partielle, ainsi que de réaliser les travaux de préparation de fondation et la construction du barrage en remblai en rive droite.

La deuxième phase de dérivation provisoire consiste à faire passer le débit de la rivière par les pertuis de l'évacuateur de crue situés à la cote 72 m s.m. suivi de la construction des batardeaux en rive gauche, de l'assèchement de l'enceinte et à la construction du barrage en remblai en rive gauche. Les travaux associés à la deuxième phase de dérivation provisoire devront débuter au mois de janvier de la troisième année de construction, au début de la période d'étiage, et se dérouleront pendant une période de 1 an. Durant cette période le niveau d'eau amont maximal pourrait atteindre la cote de 80,2 m s.m. tandis que le niveau d'eau aval maximal pourrait être de 79,3 m s.m.. Les préparatifs de dérivation devront être entrepris dès que le bétonnage du coursier de l'évacuateur de crues atteint la cote 72 m s.m., le bétonnage du bassin de dissipation est terminé, le bétonnage de la structure externe de la centrale atteint le niveau 82 m s.m. et que les vannes à la prise d'eau, aux aspirateurs et à l'évacuateur de crues sont installées. La planification des travaux devra tirer profit de la période d'étiage et des faibles débits de la rivière Falémé. Ainsi, entre les mois de décembre et juin inclus de la troisième année de construction, la séquence des travaux devra comprendre l'excavation de la portion des batardeaux amont et aval localisés en rive droite qui obstruent l'écoulement au travers des passages hydrauliques de l'évacuateur de crue, ainsi que la construction du massif d'enrochement du batardeau amont en rive gauche jusqu'au mur de soutènement gauche et la construction d'une rampe d'accès en rive gauche du pont temporaire permettant le transport des matériaux de la rive droite vers la rive gauche pendant que la dérivation se fait par les pertuis de l'évacuateur de crue.

La troisième et dernière phase de dérivation provisoire débute dès l'arrivée de la période d'étiage de la quatrième année de construction. Durant cette période d'une durée maximale de cinq mois la dérivation sera réalisée par l'entremise de la vidange de fond. Le niveau d'eau maximal à l'amont des ouvrages pourrait atteindre 77 m s.m. considérant un débit de 40 m³/s et une crue de dérivation de 1 en 20 ans. Les travaux à réaliser comprennent le bétonnage des coursiers entre les niveaux 72 et 87,3 m s.m. à l'évacuateur de crue, l'installation des vannes radiales, la finalisation des travaux à la centrale, le démantèlement du pont temporaire ainsi que la finalisation de la construction du barrage en enrochement en rive gauche.

5.5 OUVRAGES

5.5.1 Barrage et digues

5.5.1.1 Barrage principal

Le barrage principal consiste en un barrage en enrochement zoné avec noyau imperméable en sol résiduel. La coupe type en enrochement zoné est constituée d'un noyau central en sol résiduel compacté protégé en amont et en aval par un filtre d'enrochement traité et compacté suivi d'une zone de transition constituée d'enrochement traité et des recharges en enrochement tout-venant. La protection du talus amont dans la zone de marnage est assurée par un perré reposant sur un coussin.

La crête a une largeur de 8,5 m et est recouverte sur toute sa longueur par une couche de roulement en pierre concassée. Le talus aval a une pente de 1,75H:1V et le talus

amont une pente de 1,8H:1V. Une berme stabilisatrice est ajoutée au pied des talus lorsque l'épaisseur et la résistance au cisaillement de la fondation acceptable l'exige.

L'étanchéité de l'ouvrage sera assurée par une clef parafouille fondée au roc sain en rivière et au roc altéré en rives, un rideau d'injection le long de l'axe du noyau et un tapis d'injection aux endroits où le barrage en enrochement est implanté dans l'emprise du lit de la Falémé.

Les recherches préliminaires de matériaux d'emprunt ont permis d'identifier une source potentielle de matériau imperméable à une distance d'environ 1,8 km au Sud-Est du site des ouvrages. Un affleurement de quartzite situé à 500 m au Nord-Est de l'extrémité Nord du barrage pourra être exploité en carrière et fournir de l'enrochement de bonne qualité.

Les granulats grossiers ainsi que les granulats fins pour le béton devront être produits à partir du roc sain excavé en fondation des ouvrages et de celui provenant de la carrière.

5.5.1.2 Digue

Une digue en enrochement de 700 m de long assurera la fermeture d'un col situé en rive gauche. La digue de col est de type enrochement zoné identique à celui du barrage principal.

La coupure étanche de la digue de col est la même sur toute sa longueur : les recharges sont fondées sur le roc altéré alors que la clef parafouille est fondée sur le roc sain et injecté.

5.5.2 **Évacuateur de crues**

L'évacuateur de crues, localisé en rive gauche du bras principal de la Falémé (à droite de l'île), est un ouvrage poids en béton. Il est constitué par (voir planche Go23) :

- Un seuil déversant de type parabolique dont la crête est à la cote 87,3 m s.m. Le seuil vanné est calé à la cote 87,175 m s.m. et divisé en quatre passes de 8,75 m de largeur, totalisant ainsi une longueur libre déversante de 35 m. Quatre vannes secteur de H 11.42 m x L 8,75 m occupent les passes.
- Les passes déversent dans un bassin de dissipation de 75 m de longueur, excavé dans le roc et calé à la cote 65 m s.m. Il maintient le ressaut hydraulique dans une forme plus compacte à la sortie de l'ouvrage. Le radier bétonné du bassin de dissipation, de 1,1 m d'épaisseur, sera fondé au roc.
- Un pont enjambe les passes de l'évacuateur pour assurer la liaison entre les rives. Il s'appuie sur les piles amont de l'ouvrage.

L'évacuateur joue également un rôle essentiel pendant les travaux de construction en assurant la dérivation de la Falémé en phase 2, permettant la construction du barrage en rive gauche à l'abri des batardeaux de rive gauche.

Un jeu de batardeaux amont est prévu pour pouvoir isoler une passe et procéder aux opérations de maintenance de la vanne secteur.

L'évacuateur de crues est dimensionné en tenant compte des critères suivants :

- L'évacuateur de crues est capable de restituer la crue décennale (crue de conception) toutes vannes ouvertes sous le niveau des Plus Hautes Eaux (97,6 m s.m.) ;
- L'évacuateur de crues est en mesure de gérer la crue centennale en envisageant la situation où une vanne reste fermée, sous le niveau des Plus Hautes Eaux extrêmes (98,2 m s.m.).

L'évacuateur est équipé d'une grue portique commune à l'ouvrage de prises d'eau pour la manœuvre des grilles à débris, des sections de batardeaux amont, des treuils et vannes des prises d'eau.

La grue portique comporte essentiellement un portique motorisé sur lequel se déplace un chariot motorisé, muni du treuil principal à câbles et d'un treuil auxiliaire.

5.5.3 Ouvrage de restitution – Pertuis de fond

L'ouvrage de restitution est placé entre l'évacuateur et l'ouvrage de prises d'eau. Il permet de restituer 80 m³/s à l'aval de l'aménagement lorsque le réservoir est à son niveau minimal. Il est constitué d'un conduit blindé de 3 m de diamètre équipé d'une vanne de garde amont et d'une vanne de réglage à jet creux à l'aval. L'ouvrage de restitution est présenté à la planche Go24.

Il joue aussi un rôle essentiel pendant la construction en assurant la dérivation des eaux de la Falémé pendant la finalisation des travaux.

Une grille à débris sera installée en amont de la vanne de garde.

5.5.4 Ouvrage de prises d'eau et centrale

L'ouvrage de prises d'eau est implanté en rive droite du bras principal de la Falémé (à droite de l'île) en continuité de l'ouvrage de restitution et de l'ouvrage de retenue de rive droite. Il est constitué de deux prises, chacune étant équipée d'une grille à débris, d'un batardeau amont et d'une vanne de type wagon. Les prises sont reliées à deux conduites forcées qui amènent l'eau aux turbines de la centrale. Une coupe longitudinale du bloc constitué par l'ouvrage de prises d'eau et la centrale est présentée à la planche Go25.

Un dégrilleur à câbles est prévu pour enlever les débris qui se seront accumulés sur les grilles. Il sera monté sur la grue portique circulant sur le tablier de la prise d'eau.

La centrale de type extérieur est située au pied de l'ouvrage de prises d'eau. L'ouvrage est fondé sur le roc.

Le bâtiment, de 42 m de longueur et de 26 m de largeur, abrite 2 groupes turbines-alternateurs identiques, de type Kaplan, de 9 MW de puissance nominale unitaire, soit une puissance installée totale de 18 MW.

Le débit nominal unitaire d'un groupe est de 40 m³/s, soit un débit total d'équipement de la centrale de 80 m³/s.

Les débits turbinés sont restitués à la rivière dans un canal d'une largeur de 19 m aux aspirateurs dont le radier se situe initialement à la cote 62,3 m s.m. et remonte avec une pente de 10% jusqu'au niveau naturel du lit de la rivière. Le canal d'une longueur totale de 100 m est excavé dans le roc et n'est pas revêtu de béton.

L'aspirateur de chaque groupe turbine-alternateur est doté de deux passages hydrauliques séparés par un pilier central. Un seul jeu de vannes, composé de deux vannes plates à glissières, est envisagé pour les besoins d'inspection ou de maintenance d'un groupe à la fois.

Le bâtiment comprend :

- Un étage principal (plancher alternateur) où se trouvent l'entrée, les alternateurs, cellules de groupes, les automates et armoires de protections, la salle de commande, la plage de montage, des toilettes et vestiaires ;
- Un plancher turbine sur lequel seront aussi logés les batteries et les auxiliaires de distribution électrique.

Le poste de départ, de type conventionnel, sera positionné au plus près de la centrale, à 150 m environ, sur la terrasse en rive droite, pour un départ de lignes vers le futur poste d'interconnexion de Gouina.

Les deux transformateurs de groupe d'une puissance individuelle de 10 MVA seront installés à l'extérieur dans le périmètre du poste de départ avec une liaison par câbles 11 kV souterrains à la centrale.

5.6 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET SOCIO-ECONOMIQUES

Les principaux **impacts négatifs anticipés** du projet dans la zone d'influence directe sont :

- La modification et l'homogénéisation du régime hydrologique de la Falémé suite à la régularisation des débits et des niveaux d'eau et suite au ralentissement de la vitesse d'écoulement ;
- La transformation d'un régime fluvial vers un régime lacustre suivi d'une modification des conditions écologiques dans le réservoir ;
- L'altération de la qualité de l'eau dans le réservoir et en aval en raison de la réduction du taux d'oxygène dissous, la modification de la température de l'eau, du risque de stratification thermique et du risque d'eutrophisation des eaux du réservoir ;
- La perte directe de végétation terrestre et d'habitat faunique et aquatique ;
- L'augmentation de la population sur un territoire peu densément peuplé et doté de peu d'infrastructures ;
- Le déplacement involontaire de 18 villages et d'une population estimée à 4 933 personnes qui pourra toutefois être atténué par la mise en œuvre appropriée d'un plan d'action de réinstallation ;

- La perte directe de terres agricoles (vallée de la Falémé) et de pâturages saisonniers ;
- Le risque de rupture sociale et socioéconomique entre les communautés maliennes et sénégalaises voisines installées de part et d'autre du cours d'eau suite à leur réinstallation involontaire ;
- La limitation du déplacement des populations entre villages d'une rive à l'autre de la Falémé par la présence du réservoir dont la largeur variera 500 m à de 3,5 km ;
- L'inondation permanente de terrains à potentiel minier ou faisant l'objet d'un titre minier ;
- L'inondation permanente de terrains utilisés pour la pratique de l'orpaillage par les communautés locales (inondation des « placers ») et apport en eau souterraine accrue affectant les terrains utilisés pour la pratique de l'orpaillage en périphérie du réservoir ;
- Perte d'une source de revenus associée à l'orpaillage et représentant une part très significative des revenus des populations locales ;
- Risque d'augmentation de la prévalence des maladies d'origine hydriques (malaria, bilharziose et onchocercose) en amont (réservoir) et en aval (régularisation du débit).

Les principaux **impacts positifs anticipés** du projet dans la zone d'influence du projet sont :

- L'évitement d'émissions thermiques par la production d'énergie hydroélectrique (bilan à confirmer lorsque les émissions de gaz à effet de serre provenant du réservoir seront calculées) ;
- Une dépendance réduite à l'utilisation des combustibles fossiles ;
- L'augmentation de la productivité ichtyologique et aquatique par la présence du réservoir et l'augmentation du potentiel piscicole et des retombées économiques associées ;
- La valorisation des terres agricoles, l'augmentation de la productivité des sols, les retombées économiques et l'amélioration des conditions de vie et de sécurité alimentaire des populations bénéficiant des aménagements hydro-agricoles reliés à Gourbassi ;
- L'amélioration de la flexibilité de gestion actuelle des eaux à des fins agricoles (cultures irriguées ou de décrue) sur le fleuve Sénégal (en combinaison avec l'ouvrage de Manantali) ;
- Le désenclavement de la zone qui contribuera à faciliter les échanges économiques et l'écoulement des produits agricoles de la zone vers les marchés des chefs-lieux ;
- L'amélioration des infrastructures sociales et des services ;
- L'augmentation de la ressource énergétique pour les pays membres de l'OMVS ;
- L'amélioration de l'indépendance énergétique des pays de l'OMVS ;

- Les retombées positives locales et régionales en période de construction ;
- La création d'emplois spécialisés et non-spécialisés en période de construction et d'exploitation

5.7 ESTIMATION DES COÛTS DU PROJET

Le coût total de réalisation du projet d'aménagement de Goubassi est estimé, au niveau des études d'APS, à 222 M€ en valeur 2012.

Ce coût total inclus le coût de réalisation des travaux, le coût de mise en œuvre des mesures du plan de gestion environnementale et sociale, les frais d'ingénierie et de gérance du projet et les contingences.

DESCRIPTION	COÛT BARRAGE SEUL (X 10 ³ €)	COÛT CENTRALE SEULE (X 10 ³ €)	COÛT PROJET ENTIER (X 10 ³ €)
COÛT TOTAL DE RÉALISATION DU PROJET	183 908	38 570	222 477

La ventilation du coût total suivant les différents postes de dépenses est présentée au Tableau 5-1 ci-après.

Le flux monétaire annuel et cumulé du coût d'investissement est présenté à la Figure 5-1 ci-dessous.

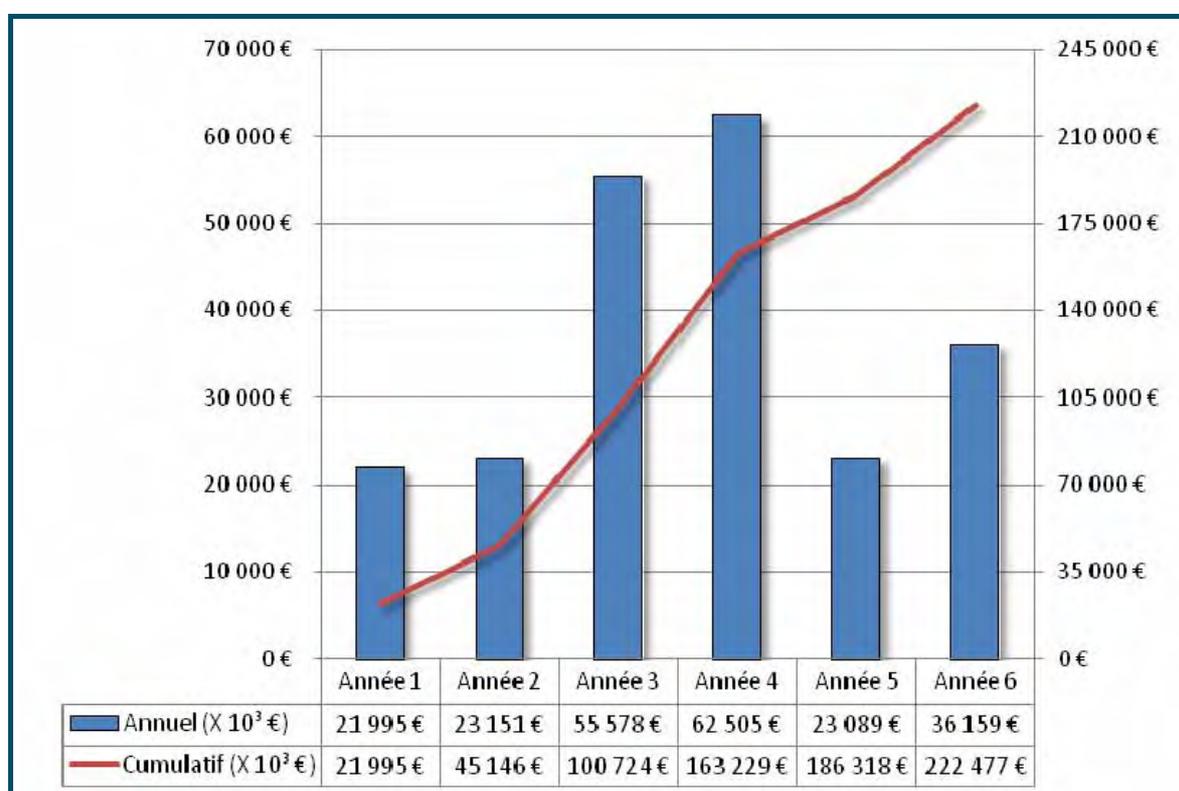


Figure 5-1 Planification de l'investissement

Tableau 5-1 Ventilation du coût de réalisation du projet

DESCRIPTION	COÛT BARRAGE SEUL (X 10 ³ €)	COÛT CENTRALE SEULE (X 10 ³ €)	COÛT PROJET ENTIER (X 10 ³ €)
COÛT DE CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE RETENUE ET DE LA CENTRALE			
Préparation du site			
Déboisement	3 099		3 099
Services	275		275
Routes d'accès et de construction	8 416		8 416
Énergie de construction	3 933		3 933
Travaux civils			
Batardeaux	5 545		5 545
Évacuateur de crues avec vannes radiales	32 777		32 777
Barrages et digue	37 032		37 032
Prise d'eau	1 354		1 354
Centrale		10 661	10 661
Mur de soutènement droit	3 010		3 010
Barrage-poids	5 180		5 180
Instrumentation	732		732
Équipements électro-mécaniques			
Équipements hydro-mécaniques			
Évacuateur de crues	3 638		3 638
Centrale		749	749
Prise d'eau	3 154		3 154
Équipements mécaniques			
Génération		10 976	10 976
Manutention		238	238
Équipements auxiliaires mécaniques		1 032	1 032
Équipements électriques			
Équipements principaux (inclus dans le prix des équipements mécaniques de génération)			
Équipements auxiliaires électriques		2 744	2 744
Équipements du poste 30 kV/110 kV		1 098	1 098
Lignes de transmission et postes			
Gourbassi @ Gouina (30 kV)		4 106	4 106
Sous-total 1. COÛT DE CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE DE RETENUE ET DE LA CENTRALE	108 147	31 604	139 750

DESCRIPTION	COÛT BARRAGE SEUL (X 10 ³ €)	COÛT CENTRALE SEULE (X 10 ³ €)	COÛT PROJET ENTIER (X 10 ³ €)
INSTALLATIONS POUR LA CONSTRUCTION			
Installations temporaires	10 976		10 976
Installations permanentes	220		220
Sous-total 2. INSTALLATIONS POUR LA CONSTRUCTION	11 196		11 196
INGÉNIERIE ET GÉRANCE DE CONSTRUCTION			
Ingénierie et gérance pour travaux civils et installations pour la construction (12,5 %)	14 069	1 333	15 401
Ingénierie et gérance pour travaux électro-mécaniques (7,5 %)	509	1 263	1 772
Ingénierie et gérance pour lignes de transmission & postes (10 %)		411	411
Sous-total 3. INGÉNIERIE ET GÉRANCE DE CONSTRUCTION	14 578	3 006	17 584
CONTINGENCES DE CONSTRUCTION			
Contingences pour travaux civils et installations pour la construction (17,5 %)	19 696	1 866	21 562
Contingences pour travaux électro-mécaniques (10 %)	679	1 684	2 363
Contingences pour lignes de transmission & postes (10 %)		411	411
Sous-total 4. CONTINGENCES DE CONSTRUCTION	20 376	3 960	24 335
SOUS-TOTAL DU COÛT DE BASE DU PROJET	154 296	38 570	192 866

DESCRIPTION	COÛT BARRAGE SEUL (X 10 ³ €)	COÛT CENTRALE SEULE (X 10 ³ €)	COÛT PROJET ENTIER (X 10 ³ €)
COÛT DE MISE EN ŒUVRE DES MESURES DU PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE			
Fonctionnement de l'UGES	1 202		1 202
Plan de consultation et de diffusion de l'information	318		318
Plan de gestion de la biodiversité, de la faune et de la flore	ind.		ind.
Plan de gestion des nouveaux arrivants	43		43
Plan de développement des pêches	58		58
Mesures de lutte contre les plantes aquatiques	26		26
PAR - Réinstallation de la population	19 854		19 854
PDL - Plan de développement local	4 249		4 249
Contingences (15 %)	3 862		3 862
COÛT TOTAL DE MISE EN ŒUVRE DES MESURES DU PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE	29 611		29 611

5.8 PLANIFICATION DES TRAVAUX

Le planning des travaux de l'aménagement de Gourbassi a été établi avec les hypothèses principales suivantes :

- Attribution de contrats préliminaires pour la construction des accès permanents au site, côté Sénégal et côté Mali ;
- Découpage de l'envergure des travaux de l'aménagement en trois lots distincts ouverts à des appels d'offres internationaux :
 1. LOT 1 – Travaux de génie civil ;
 2. LOT 2 – Fourniture et installation des équipements électriques et mécaniques de l'aménagement, y compris le poste de couplage ;
 3. LOT 3 – Fourniture et construction de la ligne d'interconnexion au réseau OMVS.

La durée totale de réalisation du projet est de 65 mois, y compris travaux préparatoires du site.

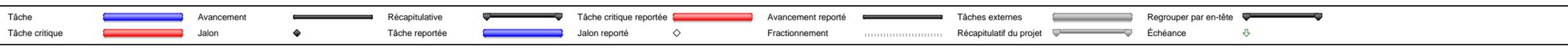
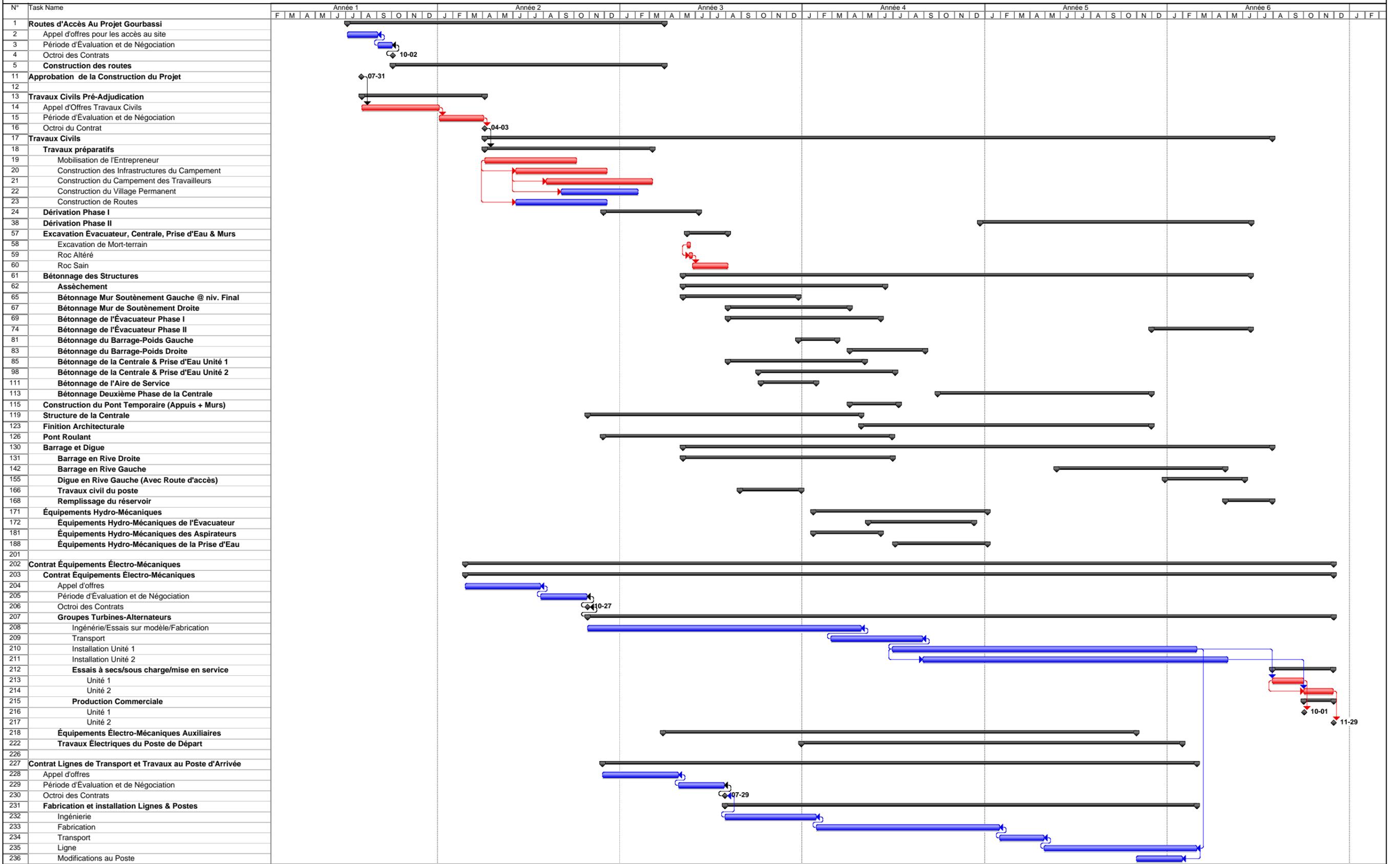
Le chemin critique du planning de réalisation passe par :

- L'adjudication des travaux de génie civil ;
- Les travaux préparatoires ;
- Les phases de dérivation de la Falémé ;
- Le remplissage du réservoir ; et pour la partie centrale
- Les essais de mise en service des groupes turbines-alternateurs.

Le planning de réalisation des travaux est présenté page suivante dans sa forme synthétique.

Le calendrier de mise en œuvre du projet a pour point de départ l'achèvement de l'étude d'APS mi-2012 :

Activité	Durée	Date d'achèvement
Étude d'APD et ÉIES réglementaire	2 ans	Milieu de 2014
Dispositions juridiques, commerciales et administratives, dont montage du financement	2 ans	Milieu de 2016 (Approbation du projet)
Réalisation des travaux jusqu'à mise en service du deuxième groupe turbine-alternateur	65 mois	Décembre 2021



CHAPITRE 6

Évaluation économique

6. ÉVALUATION ÉCONOMIQUE

6.1 INTRODUCTION

L'analyse économique du point de vue de la collectivité vise à estimer la contribution du projet au bien-être général.

Le méthodologie de cette analyse économique au niveau de l'APS est de comparer les coûts d'investissement (ressources consacrées spécialement au projet) et les avantages nets⁵ résultant de la mise en œuvre du projet d'aménagement de Gourbassi au niveau de la collectivité dans laquelle il s'inscrit, c'est-à-dire le bassin du fleuve Sénégal.

On évaluera la rentabilité économique en établissant le taux de rentabilité interne (TRI) économique et en le comparant avec le taux d'actualisation afin d'apprécier de façon préliminaire la viabilité du projet. On calculera aussi la valeur actualisée nette (VAN) du projet qui indique la valeur de l'apport du projet à la richesse de la collectivité. Le TRI économique est le produit d'une analyse coûts-avantages tangibles et quantifiables pour les volets agricole, énergie et emplois directs dans le bassin. L'analyse sera faite initialement pour un cas de référence lequel assigne la valeur la plus probable aux variables économiques. Une analyse de sensibilité sera effectuée en faisant varier le taux d'actualisation, les coûts d'investissement, le potentiel irrigable, l'hydraulicité et l'avantage économique de la production hydroélectrique.

L'approche générale pour définir les coûts et les avantages consiste à calculer la richesse additionnelle créée par le projet en comparant la situation « avec » projet (Gourbassi et Manantali en gestion combinée) à la situation « sans » projet (c'est-à-dire la situation avec Manantali assurant seul les objectifs de régularisation et la production hydroélectrique).

Les coûts économiques excluent les taxes, l'inflation et toute autre distorsion.

Les coûts et avantages ainsi que le TRI économique sont estimés sur une période de 30 années après mise en exploitation, actualisés à la date de démarrage de la réalisation du projet.

Le projet est considéré acceptable d'un point de vue économique si le TRI est supérieur au taux d'actualisation. Le taux d'actualisation pour le cas de référence a été fixé à 6% car il s'agit d'un projet d'infrastructures publiques qui ne justifie pas d'un taux élevé généralement réservé aux projets à investissements privés ou d'investissements plus petits ou à courte durée de vie.

La pertinence du projet pour l'économie régionale sera ensuite évaluée en comparant les besoins (« problèmes à résoudre ») aux objectifs assignés que le projet rencontre (« indicateurs de performance »).

⁵ Autrement dit, les « bénéfiques » c'est-à-dire les avantages bruts moins les coûts de fonctionnement.

6.2 ÉTAT DES LIEUX

6.2.1 Le secteur agricole⁶

Le barrage de Diama réalisé en 1987 pour arrêter la remontée de la langue salée dans le fleuve Sénégal a permis le stockage en permanence d'eau douce destinée à l'irrigation des périmètres agricoles sur les deux rives du fleuve et l'alimentation humaine et animale. Les lâchers d'eau du barrage de Manantali ont permis de maintenir le réservoir de Diama à un niveau plein et constant.

Le potentiel agricole, principalement pour la culture irriguée, dans le bassin du fleuve Sénégal s'est donc nettement amélioré avec l'édification de ces deux barrages qui ont engendré une meilleure maîtrise de la ressource en eau.

Jusqu'au début des années 1980, le cumul des superficies projetées pour l'aménagement dans le bassin du fleuve, par les pays membres de l'OMVS, n'atteignait pas 70 000 ha, alors qu'avec les ouvrages, le potentiel est estimé entre 250 000 et 375 000 ha.

Néanmoins le rythme des aménagements reste faible aussi bien avant qu'après la mise en place des barrages de Diama et Manantali. En juillet 1980, sur une projection de 50 300 ha, seuls 27 885 ha avaient été aménagés dans le bassin du fleuve Sénégal. Pour la campagne hivernale agricole 2007-2008, les superficies cultivées s'élevaient à 55 759 ha.

La culture de décrue constitue un important apport dans l'alimentation des populations riveraines du fleuve Sénégal. Outre la diversité des variétés cultivées, elle comble le déficit des productions hivernales en sa qualité de culture de contre-saison pratiquée après le retrait des eaux sur les terres inondables (walo) du fleuve, des défluent, des mares et des bas-fonds.

6.2.2 La pêche⁷

Le peuplement piscicole du fleuve Sénégal reste riche et diversifié, malgré les modifications du milieu engendrées par la réalisation des grands ouvrages hydrauliques.

L'activité de pêche y est traditionnelle et artisanale. Dans le bassin supérieur, la pêche est une activité complémentaire à l'agriculture et à l'élevage ; son produit sert en premier lieu à l'autoconsommation. Dans la partie aval du bassin et dans la retenue de Manantali, la pêche est davantage professionnelle : elle constitue une activité à part entière destinée à la vente sur les marchés ; la retenue de Manantali est devenue une des principales zones de pêche du bassin.

D'un point de vue socio-économique, la pêche fait vivre un nombre important d'actifs le long du fleuve et génère d'importants revenus.

⁶ Source : SDAGE DU FLEUVE SÉNÉGAL, *Rapport de Phase 1 : ÉTAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC*, Août 2009

⁷ Source : *ibid.*

La pisciculture offre des perspectives intéressantes : complémentaire à l'agriculture et à l'élevage, elle permet de sécuriser la production d'espèces à forte valeur ajoutée en minimisant l'impact sur la ressource sauvage.

6.2.3 Le secteur énergétique

Chaque État membre de l'OMVS fait face à des problèmes similaires en ce qui concerne le secteur énergétique. Les deux enjeux principaux sont une dépendance aux importations de produits pétroliers et une surexploitation des ressources naturelles du pays. Le principal aménagement régional dans le secteur de l'énergie est la centrale de Manantali destinée à satisfaire aux besoins en énergie électrique de Bamako, Dakar et Nouakchott.

6.2.3.1 [Guinée](#)

La situation énergétique de la Guinée est caractérisée par un faible niveau de consommation d'énergie par habitant répartie comme suit : 80% en biomasse, 18% en hydrocarbures et 2% en électricité. Les combustibles ligneux (bois de chauffe et charbon de bois), utilisés par plus de 85% des ménages, constituent la principale source d'énergie. En fait, le bois est utilisé dans presque toutes les zones (rurale, périurbaine et urbaine) pour ce qui est du besoin en combustible domestique de cuisson.

La demande d'électricité au plan national est fortement influencée par le secteur minier qui couvre environ 40% de la demande totale. L'électricité pour le secteur résidentiel/ tertiaire et pour les petites et moyennes entreprises est essentiellement concentrée dans les villes. Le milieu rural est encore très faiblement couvert par le service d'électrification. Le taux d'accès à l'électricité à l'échelle du pays est estimé à 19%, officiellement ; mais il est probablement moindre en réalité.

La consommation (autre que minière) de l'électricité a presque toujours été limitée par l'offre, du fait de la faiblesse du sous-secteur électrique, aussi bien au niveau de la génération que de la transmission et de la distribution. La situation s'était améliorée avec la production additionnelle fournie par la centrale hydroélectrique de Garafiri (75 MW) mise en service en 1999 ; mais ces dernières années, la capacité de production ne suffit plus du tout à couvrir la demande.

6.2.3.2 [Mali](#)

La principale source d'énergie des ménages au Mali provient du bois de feu (85%) et du charbon de bois (13%). Ces deux produits sont essentiellement utilisés pour les besoins de cuisson et certaines activités artisanales. Le pétrole lampant (1%) est uniquement utilisé pour l'éclairage. L'électricité représente 2% de la consommation finale des ménages. Cela se justifie par le faible taux d'accès à l'électricité (14% au niveau national, 2004).

La production brute d'électricité de l'ensemble EDM-SA (réseau interconnecté et centres isolés) en 2009 a été de 1096,8 GWh, en augmentation de 9,4% par rapport à 2008 (1002,8 GWh). La puissance de pointe du réseau interconnecté du Mali a été de 168,5 MW en 2009 contre 153,6 MW en 2008, en augmentation de 9,7%.

6.2.3.3 Mauritanie

Le bilan énergétique du pays est encore constitué à plus de 80% de combustibles ligneux, avec une prépondérance du bois-énergie du fait de la demande de charbon de bois. Nouakchott, par exemple, qui représente près du quart de la population du pays, consomme les deux tiers de la consommation nationale du charbon de bois.

Le pays dispose de réserves naturelles non négligeables de pétrole (offshore) et de gaz naturel.

La consommation d'électricité est minimale, avec une consommation par habitant de 200 kWh (2009). En fait, le sous-secteur de l'électricité est caractérisé par des taux de couverture et d'accès très faibles, aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain. Le taux d'électrification urbaine est inférieur à 50% alors que le taux d'électrification rurale et semi-urbaine est de l'ordre de 3% à 5% (données 2010).

Il n'y a pas encore d'interconnexions entre les différents sites de production. Seules sont connectées les villes de Nouakchott et celles situées sur le bassin du fleuve Sénégal – Kaédi, Rosso, Boghé et Wad Naga – qui sont alimentées par le réseau HT de l'OMVS à partir de la Centrale hydro de Manantali. Les autres villes électrifiées disposent de sites de production isolés.

La puissance installée du réseau interconnecté de la Mauritanie est de 100 MW en incluant la capacité en provenance de la centrale de l'OMVS (30 MW) de Manantali, mais actuellement la puissance disponible est seulement de 74 MW (avec Manantali).

En 2010, la puissance de pointe enregistrée sur le réseau était de 71,8 MW pour une production nette de 362 GWh, soit avec un facteur de charge de 58%. En 2008, la puissance pointe était de 88 MW donc supérieure à celle de 2010 (une baisse de l'ordre de 18% pour 2010) soit une baisse annuelle moyenne de 9,7% entre 2008 et 2010.

6.2.3.4 Sénégal

La consommation d'énergie au Sénégal est dominée par les bois combustibles et charbons, qui représentent environ 55% de l'énergie utilisée (2007). Le gaz (butane) constitue aussi une source d'énergie importante pour les ménages de la population urbaine: environ 85% dans la capitale et 55% dans les autres centres urbains.

La consommation d'électricité reste faible avec un taux d'électrification d'environ 30-40% à la grandeur du pays. L'électrification est concentrée surtout à Dakar (70% de taux d'électrification) et aux grands centres urbains (St-Louis, Kaolack, Ziguinchor et Tambacounda). L'électrification rurale demeure encore très faible (16%) et est confinée dans les zones situées à proximité des centres urbains.

En 2010, l'énergie totale livrée par la Senelec à sa clientèle s'est élevée à 2 056 GWh (donnée provisoire), en progression de près de 6% par rapport à 2009. En fait, au cours des dix dernières années (2000 à 2010), la croissance moyenne annuelle des ventes a été aussi de 6%.

6.3 COÛTS DU PROJET

6.3.1 Coût de l'investissement

Avant la réalisation du projet, il y aura une phase d'études préparatoires comprenant l'étude d'APD et l'étude d'impact environnemental et social réglementaire. Il convient de noter que les coûts liés à ces études préparatoires n'ont pas été inclus dans les coûts du projet.

Le coût de l'investissement de l'aménagement retenu, lequel a été dimensionné en vue d'atteindre une réalisation optimale des objectifs multiples fixés à l'aménagement, est celui présenté au chapitre précédent.

On a fait une distinction entre le coût de l'ouvrage de retenue proprement dit et celui de la centrale de façon à pouvoir analyser le projet dans son ensemble et pour chacune de ses composantes. Le barrage à lui seul représente en effet l'élément clef du projet en permettant de garantir les besoins en eau et d'assurer une meilleure régularisation en combinaison avec l'aménagement de Manantali.

Les flux de trésorerie sur la période de construction sont capitalisés à la date de début des travaux de réalisation de l'aménagement.

6.3.2 Coût de mise en œuvre du plan de gestion socio-économique et environnementale

Ces coûts pour l'aménagement retenu ont été estimés à 29,611 M€. Les principaux coûts sont associés à la réinstallation des populations qui devra commencer dès le début des travaux et être terminée avant la mise en eau (mi-2021).

Les flux de trésorerie correspondants sont eux aussi capitalisés à la date de début des travaux de réalisation de l'aménagement.

6.3.3 Coûts de renouvellement

La période d'évaluation est de 30 ans. La durée de vie des équipements électriques et mécaniques est estimée à 30 ans alors que celle des ouvrages de génie civil est de 50 ans. Par conséquent, il n'a pas été considéré de coût de renouvellement des biens du projet sur la période d'évaluation.

De même il n'a pas été considéré de coût éventuel de mise hors service de la centrale.

6.3.4 Coûts d'exploitation et d'entretien

Pour le barrage et la centrale hydroélectrique, les frais d'exploitation et d'entretien comprennent essentiellement les salaires du personnel d'exploitation et d'entretien et les frais généraux administratifs et de couverture d'assurances ; à ce titre ils sont considérés comme fixes.

On les a estimés à :

- Pour le barrage : 0,5% du coût direct de construction de l'ouvrage (investissement initial hors ingénierie, gérance et contingences), soit 540 725 € par an ;
- Pour la centrale : 1,5% du coût direct de construction de la centrale (investissement initial hors ingénierie, gérance et contingences), soit 474 060 € par an.

6.4 AVANTAGES DU PROJET

6.4.1 Avantages tangibles

6.4.1.1 Secteur agricole dans la vallée de la Falémé en aval des ouvrages

L'augmentation des volumes en eau prélevables dans la vallée de la Falémé à des fins d'irrigation tels qu'ils ont été évalués et dont il est tenu compte dans les simulations de régularisation va permettre de développer le potentiel irrigable le long de la Falémé. Ce potentiel a déjà été identifié⁸ et on présume que son développement est lié à la réalisation de l'aménagement de Gourbassi en amont.

Les prix économiques considérés sont ceux du marché, pour des produits locaux (non importés).

On a supposé que les surfaces irriguées seraient aménagées au rythme de 375 ha/an après mise en eau de la retenue de Gourbassi ce qui demandera évidemment une capacité de construction solide et un fort dispositif d'appui technique.

Tableau 6-1 Cultures irriguées potentielles dans la vallée de la Falémé

Type de culture	Riz	Sorgho	Maïs	Maraîchage
Cultures irriguées en hivernage (ha)	1 415	2 047	1 023	
Cultures en contre-saison froide (ha)		90	628	162
Total potentiel irrigable (ha)	1 415	2 137	1 651	162
Rendements moyens (kg/ha) ⁹	3 000	1 000	1 100	10 000
Quantités produites (kg/an)	4 245 000	2 137 000	1 816 100	1 620 000
Pertes 15% (kg/an)	636 750	320 550	272 415	243 000
Autoconsommation des maraîchers 15% (kg/an)				243 000
Quantités commercialisables	3 608 250	1 816 450	1 543 685	1 134 000

⁸ Voir : *Rapport des études hydrotechniques*, Août 2011

⁹ Source : SDAGE DU FLEUVE SÉNÉGAL, *Rapport de Phase 1 : ÉTAT DES LIEUX ET DIAGNOSTIC*, Août 2009

Type de culture	Riz	Sorgho	Maïs	Maraîchage
Prix moyen (FCFA/kg) ¹⁰	450	260	220	500
Valeur de la production commercialisable (FCFA/an)	1 623 712 500	472 277 000	339 610 700	567 000 000
Valeur annuelle brute de la production commercialisable	2 475 334 €	719 982 €	517 733 €	864 386 €
Valeur annuelle nette de la production commercialisable	990 133 €	539 986 €	388 300 €	648 289 €

Les coûts économiques de fonctionnement y afférant devant être considérés pour évaluer l'avantage net comprennent :

- Les coûts d'aménagement des périmètres irrigués tant d'irrigation (pompes, distributeurs, canaux et aménagement des parcelles) que de drainage ; les références les plus récentes de coût de construction d'aménagements hydro-agricoles viennent du Mali ; pour les grands périmètres irrigués qui peuvent offrir un rendement rizicole de l'ordre de 4,5 t/ha, ils sont d'environ 8 000 000 FCFA/ha (12 195 €/ha)¹¹ ; pour des périmètres irrigués villageois en maîtrise complète des eaux, ils sont de l'ordre de 7 500 €/ha ; on estimera qu'environ 50% des superficies sont aménagées en périmètres villageois d'où un coût pondéré considéré de 10 000 €/ha.
- Les coûts de production et charges d'exploitation (intrants, redevances de pompage, labour, récolte et post-récolte, frais de fonctionnement d'administration) ; ils ont été estimés à 25% du revenu brut pour les cultures maraîchères, de sorgho et de maïs et à 60% pour la riziculture (correspondant aux achats de produits phytosanitaires supplémentaires et de coûts hydrauliques plus importants).

La perte de terres potentiellement fertiles pour la production agricole traditionnelle occasionnée par la mise en eau du réservoir de Gourbassi d'une superficie de 34 200 ha sous $CG_{Max} = 97$ m .s.m. a aussi un coût économique qui devrait en toute rigueur être quantifié en termes monétaires et venir en compensation des avantages liés au développement des cultures irriguées en aval de l'ouvrage. Toutefois, le diagnostic socio-économique de la zone d'inondation qui a été mené en 2011 a mis en évidence que seule une faible densité de ce territoire était cultivée et qu'il existait de nombreuses terres de remplacement. Par conséquent, ce coût économique n'a pas été pris en compte dans l'analyse.

En outre, la perte de production des superficies de culture de décrue le long de la Falémé sera compensée par la production potentielle de la grande zone de marnage du réservoir qui devrait être mise en valeur et gérée de façon à permettre le développement de cultures ; cette perte de production n'a donc pas été prise en considération.

¹⁰ Source : Marché de Kayes, Mars 2012

¹¹ Source : Projet Alatona Neuf, Mali (SNC-Lavalin, 2012)

6.4.1.2 Secteur agricole dans la vallée du fleuve Sénégal

La gestion combinée de Gourbassi avec Manantali va permettre d'avoir, en année normale, un soutien supplémentaire de débit d'étiage à Bakel de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ sur toute la durée de la saison sèche (de début novembre à fin mai) comme on peut le voir sur la Figure 6-1 ci-dessous.

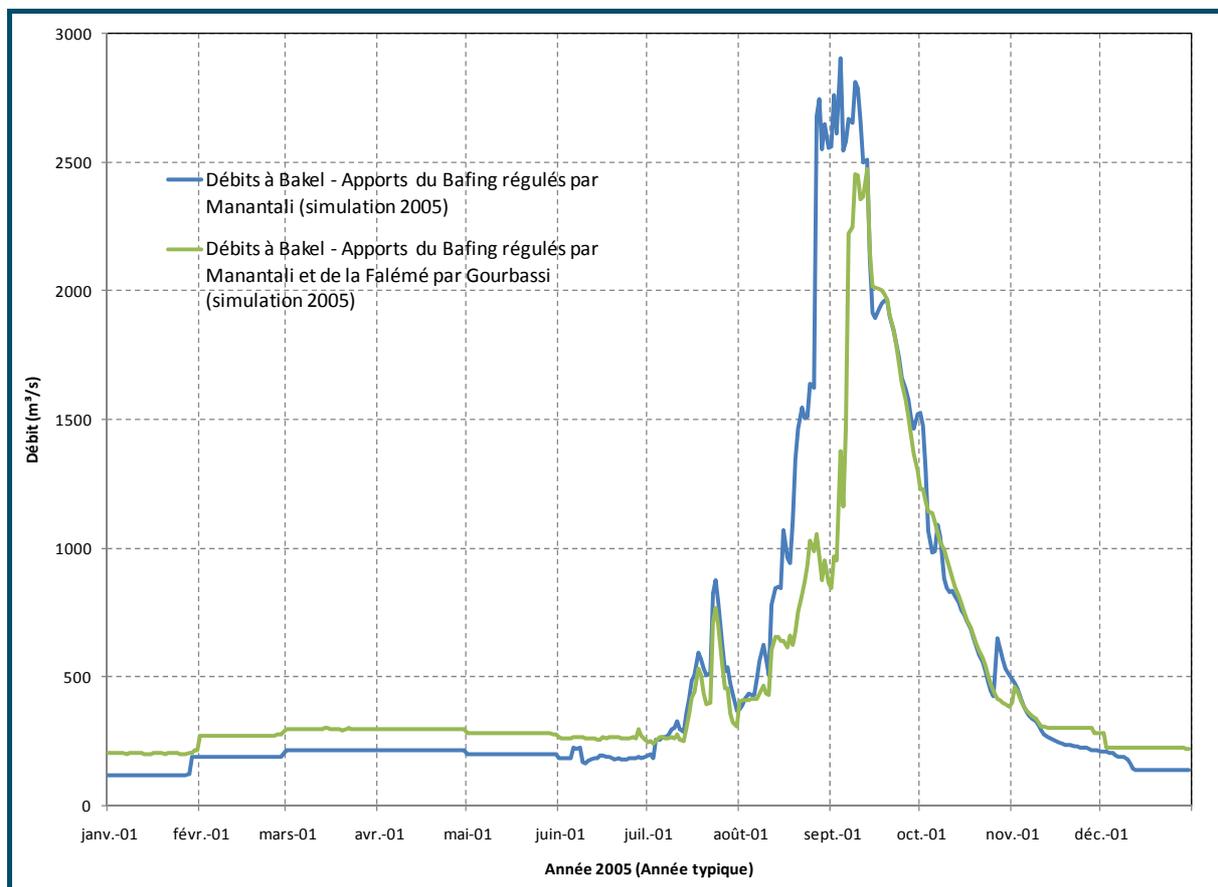


Figure 6-1 Hydrogrammes à Bakel – Année typique (2005)

Ce volume d'eau supplémentaire disponible va permettre de développer les cultures irriguées de contre-saison tout en permettant le maintien des cultures d'hivernage et de décrue à leur niveau actuel ou potentiel.

Les avantages économiques apportés par l'aménagement de Gourbassi pour le secteur agricole dans la vallée du fleuve Sénégal sont donc représentés par la production agricole des surfaces supplémentaires qui pourront être irriguées en contre-saison par les apports régulés de Gourbassi, ce qui représente un volume total supplémentaire disponible sur la période novembre-mai de l'ordre de 1,3 milliard de m^3 pour une année moyenne (volume supplémentaire de 2,4 milliards de m^3 garanti 9 années sur 10).

En considérant que sur les $80 \text{ m}^3/\text{s}$ supplémentaires lâchés par Gourbassi et disponibles à Bakel, il faut ensuite réserver $15 \text{ m}^3/\text{s}$ aux besoins domestiques et 50% du volume résultant pour satisfaire les autres usagers du fleuve (navigation et contraintes environnementales entre autres) et les pertes par évaporation, on pourra considérer un volume prélevable supplémentaire réservé aux cultures irriguées en saison sèche de

527 500 m³, répartis en 264 010 m³ pour la contre-saison froide (début novembre à fin février) et 263 740 m³ pour la contre-saison chaude (début mars à fin mai).

Ainsi, sur une base de calcul proposée par la SAED qui estime les consommations en eau pour les cultures d'hivernage à 15 700 m³/ha et pour les cultures de contre-saison à 20 600 m³/ha, on peut évaluer les surfaces irriguées supplémentaires potentiellement exploitables à Bakel et en aval dans la vallée grâce à Gourbassi à 12 815 ha en contre-saison froide et 12 803 ha en contre-saison chaude.

On présumera que l'assolement de ces cultures de contre-saison sera réparti comme suit :

- 10% de sorgho, 70% de maïs et 20% de cultures maraîchères en contre-saison froide ; et
- 85% de riz et 15% de cultures maraîchères en contre-saison chaude.

On suppose d'autre part qu'on pourra réaliser un rythme d'aménagement des périmètres irrigués de 2 500 ha par an de façon à atteindre le plein potentiel au bout de 10 ans.

Les hypothèses posées précédemment concernant les coûts et rendements des surfaces irriguées restent valables (§ 6.4.1.1).

Tableau 6-2 Cultures irriguées potentielles dans la vallée du fleuve Sénégal en aval de Bakel

Type de culture	Riz	Sorgho	Maïs	Maraîchage
Cultures irriguées en contre-saison froide (ha)		1 282	8 971	2 563
Cultures en contre-saison chaude (ha)	10 883			1 920
Total potentiel irrigable (ha)	10 883	1 282	8 971	4 483
Rendements moyens (kg/ha)	3 000	1 000	1 100	10 000
Quantités produites (kg/an)	32 647 650	1 281 500	9 867 550	44 834 500
Pertes 15%(kg/an)	4 897 148	192 225	1 480 133	6 725 175
Autoconsommation 15% (Maraîchage) (kg/an)				6 725 175
Quantités commercialisables	27 750 503	1 089 275	8 387 418	31 384 150
Prix moyen (FCFA/kg)	450	260	220	500
Valeur de la production commercialisable (FCFA/an)	12 487 726 125	283 211 500	1 845 231 850	15 692 075 000
Valeur brute de la production commercialisable	19 037 416 €	431 753 €	2 813 038 €	23 922 414 €
Valeur nette de la production commercialisable	7 614 966 €	323 815 €	2 109 778 €	17 941 811 €

6.4.1.3 La pêche

Comme pour ce qui s'est passé avec la retenue de Manantali, les conditions favorables liées à la création d'une retenue à Gourbassi permettront l'augmentation de la production dans le secteur de la pêche. Les bénéfices directement attribuables au barrage peuvent être divisés en deux sources principales :

- La retenue elle-même ;
- La Falémé et le fleuve Sénégal grâce au soutien à l'étiage amélioré qui permettra de limiter le stress sur la faune aquatique.

Pour cette analyse on ne retiendra que le potentiel de production dans la retenue à l'aune de celui réalisé par Manantali, car il est difficile d'évaluer raisonnablement l'accroissement du potentiel de pêche dans la Falémé et le Sénégal attribuable au seul débit régularisé fourni par Gourbassi.

Le potentiel de prises dans la retenue de Gourbassi projetée ($CG_{Max} = 97$ m s.m.) a été estimé à environ 923 400 kg/an sur la base de la production actuelle à Manantali qui tourne autour de 2 700 kg/km²/an (prises annuelles totales d'environ 1 300 t). On notera que dans des études précédentes la productivité aquacole potentielle de Manantali est estimée à 65 kg/ha/an (soit 3 100 t annuels pour la retenue de 477 km²) ; 43% du potentiel est donc actuellement exploité.

Les avantages bruts correspondent à la valeur brute des volumes commercialisés supplémentaires liés à la création de la retenue. Ils sont basés sur les débarquements supplémentaires avec le projet (par rapport à sans le projet : 5 à 10 kg par personne et par jour pour 25 pêcheurs déclarés dans la zone d'étude, en période d'hivernage).

Le prix économique considéré est le prix du marché du poisson qui reflète sa réelle valeur économique pour la collectivité dans la zone du projet. Le prix de vente du poisson varie entre 750 et 1 500 FCFA l'unité selon l'espèce, la taille et le lieu de vente. On prendra ainsi un taux du marché moyen de 1 500 FCFA/kg.

Les coûts économiques de fonctionnement consistent principalement en des coûts d'aménagement directement liés aux activités de pêche (débarcadères, centres de pesée, équipement des pêcheurs, usines à glace) et rattachés au projet. On a estimé ce coût de l'ordre de 250 000 € la première année après remplissage du réservoir et de 100 000 € tous les dix ans pour renouvellement. Les autres aménagements qui bénéficient aux opérateurs en aval de la filière ne sont pas pris en compte. On suppose que les charges liées à l'activité de pêche (intrants, amortissement des équipements de pêche, entretien du matériel) représentent 50% du revenu brut.

Pour que le potentiel piscicole de Gourbassi puisse pleinement être mis en valeur, on supposera que le plan de développement des pêches aura été mis en œuvre.

Tableau 6-3 Production piscicole potentielle

Prises actuelles dans la zone du projet (estimation)	15 000 kg/an
Prises avec la retenue (potentiel)	923 400 kg/an
Prises supplémentaires créées par le projet	908 000 kg/an
Pertes	15% (136 200 kg/an)
Autoconsommation	5% (45 400 kg/an)
Volume commercialisable	726 400 kg/an
Prix moyen	1 500 FCFA/kg
Valeur brute de la production commercialisable	1 089 600 000 FCFA/an 1 661 084 €/an
Valeur nette de la production commercialisable	830 542 €/an

6.4.1.4 Fourniture d'énergie hydroélectrique

La synthèse des prévisions de demande d'énergie électrique des pays membres de l'OMVS est fournie dans le Tableau 6-4 ci-après. Il est à noter que les prévisions pour la Guinée incluent les demandes des mines et de leurs industries connexes à raccorder à son réseau.

Tableau 6-4 OMVS - Synthèse des prévisions – Énergie (GWh)¹²

Pays	2011	2015	2020	2025
Sénégal	2 224	3 213	4 585	6 033
Mali	948	1 389	2 196	3 379
Mauritanie	411	630	1 266	1 861
Guinée	2 171	5 785	6 611	7 548
Total	5 754	11 017	14 658	18 821

La centrale hydroélectrique prévue à Gourbassi en exploitation combinée avec Manantali permettra d'obtenir un gain en énergie sur le réseau OMVS de 131 GWh (gain d'énergie total par une meilleure régularisation des débits du Bafing et de la Falémé) dont 68,3 GWh seront produits par la seule centrale de Gourbassi.

Dans le contexte actuel de déficit énergétique dans tous les pays membres de l'OMVS et au vu des prévisions de la demande, il est raisonnable de présumer que toute cette énergie additionnelle sera immédiatement et entièrement absorbée par le réseau de l'OMVS. Il convient donc de s'intéresser à la valeur de ce gain d'énergie total de 131 GWh produit par les centrales de Gourbassi et de Manantali en gestion combinée.

Pour obtenir un chiffre représentatif de la puissance nette disponible, on a révisé à la baisse de 10% la puissance mise à disposition du réseau pour tenir compte des auxiliaires de la centrale et de la consommation dans la zone même de Gourbassi.

La valeur économique des avantages nets liés à la production d'énergie hydroélectrique à Gourbassi est évaluée en termes de coûts évités, c'est-à-dire les coûts de remplacement de la production de la centrale par une production alternative équivalente pouvant donner une production identique avec le même niveau de fiabilité. On peut

¹² Source : SNC-Lavalin, *PLAN DIRECTEUR DE DÉVELOPPEMENT DU RÉSEAU DE TRANSPORT ÉLECTRIQUE DE L'OMVS*, 2011

considérer que l'option thermique au diesel est une production alternative équivalente dont le différentiel du coût de production avec celui de l'hydroélectricité sera considéré pour l'analyse.

Le coût moyen d'achat par Senelec du kWh fourni par la centrale hydroélectrique de Manantali était en 2009 de 18,45 FCFA/kWh¹³. Selon les informations que nous avons obtenues les nouveaux prix moyens d'électricité du réseau OMVS à la mise en service de Félou devraient être de l'ordre de 40 FCFA/kWh.

Toujours en 2009, Senelec rapportait que le coût de revient de la centrale TAG4 (gasoil) était de 98,15 FCFA/kWh tandis que des groupes diesel « Aggreko » injectaient 28,65 GWh dans le réseau sénégalais à un coût de revient de 81,98 FCFA/kWh¹⁴. En 2008, le coût de production dans les centrales thermiques au diesel de Senelec atteignait jusqu'à 160 FCFA/kWh en raison des cours du pétrole plus élevés cette année-là (en moyenne annuelle : 97 \$ US le baril de pétrole en 2008 contre 62 \$ US le baril en 2009¹⁵).

Le cours moyen du pétrole est à plus de 110 \$ US le baril actuellement et les projections à long terme de la Banque Mondiale sont de 90 \$. Par conséquent, on peut estimer, pour les besoins de l'analyse économique, le coût de revient à long terme de production d'électricité d'origine thermique (diesel) à 130 FCFA/kWh et on fixera le différentiel ou coût évité entre thermique et hydroélectrique à 90 FCFA/kWh (soit 137,20 €/MWh).

6.4.1.5 Création d'emplois

Des bénéfices non négligeables peuvent être attendus en termes de possibilités d'emplois supplémentaires dus au projet, que ce soit en période de construction ou en période d'exploitation.

La construction comprend la réalisation de routes d'accès, des ouvrages de dérivation, des barrages et digue en remblai ainsi que des ouvrages bétonnés ce qui demande une certaine intensité de main d'œuvre. Un total de 3 578 600 hommes-jours seront nécessaires pour construire l'ensemble de l'aménagement dont 2 695 800 hommes-jours (75%) seront fournis par de la main d'œuvre locale.

Sur la base de travail de 250 heures par mois qui a servi à monter le planning de réalisation, on a ainsi estimé que la réalisation de l'ouvrage de retenue occuperait 2 351 000 hommes-jours de travailleurs nationaux (9 402 hommes-mois) et que celle de la centrale hydroélectrique nécessiterait 345 000 hommes-jours (1 381 hommes-mois), répartis comme suit par année de construction (Tableau 6-5).

¹³ Source : Senelec, *Rapport Annuel Mouvements d'Énergie Année 2009*

¹⁴ Source : *ibid.*

¹⁵ Source : The World Bank Global Economic Prospects <http://go.worldbank.org/4ROCCIEQ50> consulté le 10 mai 2012

Tableau 6-5 Répartition des emplois locaux créés pendant la période de réalisation du projet

Année	Ouvrage de retenue (hommes-mois)	Centrale hydroélectrique (hommes-mois)	Total projet (hommes-mois)
2016	91	0	91
2017	1 168	6	1 174
2018	2 690	579	3 269
2019	2 886	706	3 592
2020	456	80	536
2021	2 111	10	2 121
Total	9 402	1 381	10 783

Afin de déterminer la valeur monétaire des emplois créés en période de construction, qui est représentée par le salaire versé aux travailleurs, on a fixé le salaire mensuel à 100 000 FCFA/mois (152,45 €/mois) pour représenter une moyenne pondérée entre les ouvriers qualifiés et une majorité de travailleurs sans qualifications.

A la fin de la période de construction, dès que l'aménagement sera en phase de mise en service, des emplois, en nombre certes plus modeste mais plus qualifiés, seront créés pour toute la phase d'exploitation du projet (Tableau 6-6).

Tableau 6-6 Ventilation et salaires des emplois d'exploitation et de maintenance

Position	Nombre	Salaire moyen mensuel	Valeur monétaire annuelle
Direction	2	2 000 000 FCFA	48 000 000 FCFA
Cadres	10	925 000 FCFA	111 000 000 FCFA
Techniciens	20	575 000 FCFA	138 000 000 FCFA
Ouvriers et main d'œuvre peu qualifiée	40	160 000 FCFA	76 800 000 FCFA
TOTAL :			373 800 000 FCFA
			soit 569 855 €

6.4.2 Avantages intangibles

6.4.2.1 Navigation

L'exploitation de l'aménagement de Gourbassi dont le réservoir assurera une régularisation annuelle des apports de la Falémé permettra entre autres :

- D'améliorer le soutien au débit d'étiage du fleuve Sénégal en aval de Bakel pendant la saison par un débit supplémentaire garanti 9 années sur 10 de 80 m³/s ;
- D'écarter les débits de pointe de crues en période d'hivernage.

La gestion combinée des aménagements de Gourbassi et Manantali devrait permettre de maintenir un débit minimum de 200 m³/s à Bakel en contre-saison froide (décembre-janvier-février) et un débit égalé ou dépassé 300 m³/s 9 mois sur 12 (de mars à novembre) favorisant ainsi la navigation sur le fleuve et créant aussi les conditions pour l'apparition d'une nouvelle flotte (et des aménagements connexes) adaptée au nouveau régime d'écoulement du fleuve.

Les coûts et avantages potentiels liés à l'amélioration des conditions de navigabilité de la Falémé (navigation légère pratiquement toute l'année) et du fleuve Sénégal créée par la régularisation des apports de la Falémé ne peuvent à ce stade de l'APS être évalués précisément en l'absence de données élaborées.

6.5 ANALYSE DU CAS DE REFERENCE

6.5.1 Scénarios

En considérant les bénéfices décrits plus hauts auxquels on peut raisonnablement s'attendre une fois que l'aménagement sera construit, il est évident que le barrage n'est justifié que dans le cadre de la maîtrise des eaux du bassin du fleuve Sénégal.

L'aménagement proposé répond à deux stratégies de développement :

- Régulariser les débits de façon à renforcer le débit d'étiage au cours de la saison sèche pour développer le potentiel agricole du bassin et améliorer les conditions d'alimentation en eau et de navigation :
- Produire de l'énergie hydroélectrique dans un contexte de demande croissante non satisfaite.

Ces considérations amènent à penser que la réalisation de l'aménagement de Goubassi ne peut reposer que sur la mise en œuvre simultanée de toutes ses composantes (régularisation et production hydroélectrique). Il est toutefois utile d'évaluer la viabilité économique de chacune de ces composantes prises séparément et ensemble.

C'est pourquoi on analysera trois options de réalisation :

Option A : Barrage seul, dont le coût de réalisation est de 183,908 M€. Dans cette option on considère les coûts d'investissement des ouvrages de retenue et annexes, sans la centrale, ainsi que les coûts de mise en œuvre du PGES liés à la création de la retenue ; les avantages sont ceux liés à l'agriculture irriguée, à la pêche et aux emplois directs.

Option B : Barrage et centrale hydroélectrique, dont le coût d'investissement est de 222,477 M€. C'est le projet réalisé dans son ensemble. ; les avantages sont ceux liés à l'agriculture irriguée, à la pêche, aux emplois directs et au gain de production hydroélectrique en gestion combinée avec Manantali (131 GWh/an).

Option C : Centrale hydroélectrique seule, dont le coût d'investissement est de 38,570 M€. Pour cette option, seuls les coûts supplémentaires occasionnés par la construction de la centrale, du poste de couplage et de la ligne d'interconnexion seront pris en considération, l'existence du barrage étant supposée justifiée par l'atteinte des objectifs de régularisation. L'avantage est celui de la production hydroélectrique de la centrale de Goubassi seule (68 GWh/an). L'option hydroélectrique peut être considérée comme une possibilité d'améliorer la rentabilité du barrage.

6.5.2 Résultats

Le Tableau 6-7 ci-dessous présente les résultats en termes économiques de l'évaluation des trois options de mise en œuvre de l'aménagement. On constate que dans le cas de base les bénéfices agricoles et piscicoles du projet de barrage seul ne permettent pas de compenser le coût en capital (ratio bénéfices/coûts inférieur à 1) et que l'option hydroélectrique permet en effet d'améliorer significativement la viabilité économique du projet.

Tableau 6-7 Résultats de l'évaluation économique du cas de référence

Option	TRI Économique	VAN à 6% (Millions €)	Rapport bénéfices / coûts à 6%	Coût de revient unitaire du kWh à 6% (FCFA/kWh)
Option A : Barrage seul	3,5%	-94,63	0,72	Sans objet
Option B : Projet entier	6,8%	37,28	1,10	80,99
Option C : Centrale seule	14,9%	48,957	3,80	27,47

Pour l'option C (Centrale seule), on ne considère que la production de la centrale de Gourbassi (68,4 GWh/an) et non le gain total d'énergie dû aux deux centrales en gestion combinée.

On a pu établir le coût de revient unitaire du kWh produit pour les deux options avec composantes hydroélectrique : il s'établit à 123 €/MWh (81 FCFA/kWh) en tenant compte des charges relatives à l'aménagement au complet et à 42 €/MWh (27 FCFA/kWh) quand on ne tient compte que des charges relatives aux seuls ouvrages destinés à assurer la production d'énergie ; ceci démontre que le projet entier n'est pas une option attrayante si l'on considère le seul objectif de production d'énergie mais que la centrale seule a un coût de production avantageux.

6.6 ANALYSE DE SENSIBILITE

6.6.1 Taux d'actualisation

L'analyse précédente a été répétée pour des taux d'actualisation de 4% et 8%. Les résultats sont présentés au Tableau 6-8.

Ces résultats montrent que les avantages du projet sont très sensibles au taux d'actualisation utilisé et que plus le taux est bas plus le projet devient intéressant, même sans la composante hydroélectrique. L'option A de barrage sans centrale n'apparaît jamais acceptable d'un point de vue économique, quelle que soit la valeur du taux d'actualisation choisi.

On se rappellera qu'en général pour des investissements dans des projets d'infrastructures publiques à rentabilité éloignée dans le temps et à longue durée de vie tel que celui de Gourbassi, les services de planification ou les bailleurs de fonds favorisent un taux d'actualisation faible.

Tableau 6-8 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Taux d'Actualisation

Option	TRI Économique	VAN (Millions €)		
		4%	6%	8%
Option A : Barrage seul	3,5%	-25,8	-94,63	-130,76
Option B : Projet entier	6,8%	167,98	37,28	-39,44
Option C : Centrale seule	14,9%	78,80	48,96	29,63

6.6.2 Coût de l'investissement

La sensibilité du rendement économique du projet et de ses composantes a aussi été analysée en faisant varier le coût de l'investissement.

Pour l'option A, on a fait varier de $\pm 25\%$ le prix de construction du barrage, le coût de mise en œuvre du PGES restant inchangé ; pour l'option B, on a fait varier de $\pm 25\%$ le coût de réalisation des ouvrages de retenue et de la centrale ; pour l'option C on a fait varier de $\pm 20\%$ le coût de réalisation de la centrale.

L'effet d'une réduction du coût d'investissement permet évidemment d'améliorer sensiblement la rentabilité du projet (Tableau 6-9) mais pas suffisamment pour rentabiliser le barrage seul (option A).

Tableau 6-9 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Coût de l'investissement

Option	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)
Option A	145,33 M€ (-21%)		183,91 M€		222,48 M€ (+21%)	
	4,2%	-62,06	3,5%	-94,63	2,9%	-127,18
Option B	174,26 M€ (-21%)		222,48 M€		270,69 M€ (+21%)	
	8%	78,03	6,8%	37,29	5,9%	-3,46
Option C	30,85 M€ (-20%)		38,57 M€		46,28 M€ (+20%)	
	17,7%	55,5	14,9%	48,96	12,8%	42,41

6.6.3 Coût des aménagements hydro-agricoles

La sensibilité du rendement économique du projet et de sa composante barrage a ensuite été analysée en faisant varier le coût d'aménagement des surfaces irriguées entre 5 000 €/ha et 15 000 €/ha.

Du fait de la composante hydroélectrique, le projet en entier (option B) est moins sensible que l'option A à une variation du coût des aménagements hydro-agricoles (Tableau 6-10).

Tableau 6-10 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Coût des aménagements hydro-agricoles

Option	5 000 €/ha (-50%)		10 000 €/ha		15 000 €/ha (+50%)	
	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)
Option A	5,8%	-6,46	3,5%	-94,62	-	-182,79
Option B	9,1%	125,45	6,8%	37,29	5,0%	-50,88
Option C	Sans objet					

6.6.4 Surfaces irriguées potentielles

On a ensuite procédé à une analyse de sensibilité du rendement économique du projet et de sa composante barrage pour une variation du nombre d'hectares qui pourront potentiellement être irrigués grâce à Gourbassi dans la vallée du fleuve Sénégal en aval de Bakel.

Sans surprise, l'option A du barrage seul est plus sensible à une variation du nombre d'hectares de surfaces irriguées pouvant être mises en valeur que l'option du projet en entier (Tableau 6-11).

Tableau 6-11 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Surfaces irriguées potentielles

Option	12 809 ha (-50%)		25 618 ha		38 428 ha (+50%)	
	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)
Option A	-	-117,8	3,5%	-94,62	4,0%	-84,76
Option B	6,4%	14,04	6,8%	37,29	7,0%	47,16
Option C	Sans objet					

6.6.5 Valeur de l'énergie hydroélectrique

Le Tableau 6-12 montre que le coût évité d'une centrale alimentée au gasoil est un paramètre de première importance pour la valeur du TRI économique. Les valeurs actuelles du cours du pétrole suggérant que la tendance lourde à moyen et long terme est à la hausse, les indicateurs économiques du projet ne pourront que s'améliorer de ce fait.

Tableau 6-12 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Valeur de l'énergie hydroélectrique

Option	96,04 €/MWh (-30%)		137,20 €/MWh		178,36 €/MWh (+30%)	
	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)
Option A	Sans objet					
Option B	5,7%	-13,7%	6,1%	37,28	8%	88,25
Option C	10,6%	22,88	14,9%	48,96	18,5%	75,05

6.6.6 Hydraullicité

L'hydrologie adoptée dans les simulations de régularisation et de production d'énergie est basée sur les séries chronologiques de débits entrants pour la période 1961-2009. Pour vérifier la solidité de cette analyse économique préliminaire, une étude de sensibilité supplémentaire a été menée en se servant de la base des séries dites futures élaborées à partir des données disponibles sur les changements climatiques (Tableau 6-13).

Une première constatation est que les résultats de la série future « moyenne » sont très proches de ceux de la série 1961-2009 utilisée pour les simulations.

La série future « basse » de faibles débits, représentative d'une série de faible hydraulicité, réduit à la fois les gains en énergie et en volumes d'eau disponibles pour l'irrigation et affecte donc fortement la rentabilité du projet.

On constate pour la série future « haute » de forte hydraulicité que le gain en volumes d'eau à Bakel apporté par la gestion combinée des deux aménagements de Gourbassi et Manantali par rapport à la situation avec Manantali seul est moindre que pour une série « moyenne » ; par contre le gain en énergie est plus important et cette différence vient augmenter la rentabilité de l'aménagement en dépit de la réduction des bénéfices liés à l'agriculture irriguée.

Tableau 6-13 Évaluation économique – Analyse de sensibilité – Hydraulicité

	Série de base (1979-2009)		Série Future - Basse		Série Future - Moyenne		Série Future - Haute	
	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)	TRIE	VAN @ 6% (M€)
Option A	4,1%	-84,82	-	-121,46	4,1%	-85,24	3,9%	-86,72
Option B	6,9%	47,1%	4,0%	-66,06	6,9%	44,07	7,5%	69,82
Option C	14,9%	48,96	8,8%	13,25	14,5%	46,41	17,9%	70,81
Gain annuel de production combinée	131 GWh/an		72 GWh/an		129 GWh/an		150 GWh/an	
Production Gourbassi seul	68,4 GWh/an		40,3 GWh/an		66,4 GWh/an		85,6 GWh/an	
Gain de volumes d'eau (*)	1 056 Mm³		235 Mm³		1 083 Mm³		705 Mm³	

Note : (*) Gain en fourniture d'eau disponible à Bakel pour l'irrigation de saison sèche entre la situation avec Gourbassi et Manantali en gestion combinée et la situation sans Gourbassi (Manantali seul), garanti 9 années sur 10.

6.6.7 Conclusions de l'analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité a permis de mettre en évidence que :

- La rentabilité des options A (barrage seul) et B (projet en entier) est très sensible à des variations du taux d'actualisation, du coût de l'investissement et du coût d'aménagement des installations hydro-agricoles ;
- La rentabilité de l'option C (centrale seule) est surtout liée à la valeur donnée à l'énergie hydroélectrique et à l'hydraulicité de la Falémé.

6.7 ANALYSE SOMMAIRE DE LA PERTINENCE DU PROJET

La pertinence économique du projet s'apprécie par la comparaison entre les objectifs de développement adoptés et les résultats révélés par les indicateurs de viabilité économique calculés précédemment.

6.7.1 Enjeux

Le développement économique dans le bassin versant du fleuve Sénégal passe par la maîtrise des eaux du fleuve et de ses affluents qui se traduit par des conditions

minimales de gestion des eaux à respecter en faveur des usages humains et de l'environnement, tant sur un plan quantitatif que qualitatif.

Les enjeux de gestion intégrée des ressources en eaux du bassin du fleuve Sénégal ont été définis dans le SDAGE du fleuve Sénégal et sont repris ci-dessous pour mémoire¹⁶.

6.7.1.1 [Gestion des risques de crues et d'inondation](#)

Les inondations vécues le long du fleuve Sénégal ont été provoquées par des crues naturelles liées aux apports générés par une forte pluviométrie en tête du bassin. Les volumes annuels des apports à Bakel, qui sont en moyenne de 18 milliards de m³/an, ont atteint 24-25 milliards de m³ en 1994, 1999 et 2003, années où la crue annuelle a provoqué d'importantes inondations.

Dans le bassin du fleuve Sénégal, bien que des épisodes d'inondation se rencontrent dans le haut bassin, la basse vallée, très plate et plus peuplée, est la zone la plus exposée au risque.

Depuis sa mise en place, le barrage de Manantali a permis d'atténuer l'ampleur des fortes crues sur les zones soumises à son influence. Cependant le barrage de Manantali ne contrôle que les apports du Bafing (soit environ 50% des apports à Bakel) et ne permet pas de supprimer totalement le risque d'inondation.

6.7.1.2 [Développement de l'agriculture](#)

La nécessité d'assurer de fortes productions agricoles, pastorales et halieutiques, pour s'installer dans la durabilité et permettre d'atteindre les objectifs régionaux en matière de sécurité alimentaire, doit aller de pair avec une bonne conservation des écosystèmes, des sols et des ressources en eau.

Pour ce faire, le développement agro-sylvo-pastoral passe par une stratégie de diversification des activités (pêche et élevage), des productions agricoles, l'augmentation de la productivité et de la compétitivité des exploitations agricoles sur une base durable.

L'agriculture, dans le bassin du fleuve Sénégal, se pratique sur périmètre irrigué, en culture de décrue et en culture pluviale.

L'augmentation quantitative (et qualitative) du nombre d'aménagements et d'infrastructures hydro-agricoles notamment fait donc partie des mesures permettant l'amélioration et la sécurisation de la base productive dans le bassin du fleuve Sénégal.

¹⁶ Source : SDAGE DU FLEUVE SÉNÉGAL, *Rapport de Phase 2 : SCHÉMAS SECTORIELS*, Mars 2010

6.7.1.3 Développement de l'énergie

La problématique du développement énergétique dans les États membres de l'OMVS présente les grands traits suivants :

- Double dépendance à la biomasse pour l'énergie à usage domestique et aux produits pétroliers importés pour le secteur industriel et les transports ;
- L'énergie hydroélectrique de Manantali est celle dont l'impact positif est le plus directement ressenti au niveau des États membres bénéficiaires ;
- La poursuite du programme d'aménagement des sites potentiels de projets hydroélectriques dans le bassin du fleuve Sénégal constitue une alternative réaliste pour augmenter de façon significative l'offre énergétique.

6.7.1.4 Développement des transports

Les principaux enjeux du développement du transport dans le bassin du fleuve Sénégal sont :

- Désenclavement de zones à développement prioritaire telles que les emplacements actuels et futurs des barrages, les zones de production agricole et minière, les agglomérations secondaires par rapport aux principaux centres et ces derniers entre eux ;
- Le transport des biens de consommation domestique et professionnelle et des personnes.

Le transport fluvial, directement en lien avec la gestion du fleuve, est un des modes de transport qui permettra de répondre à ces enjeux.

6.7.1.5 Développement minier et industriel

Le développement industriel dans le bassin du fleuve Sénégal s'appuie sur :

- Les activités liées au développement de l'agriculture et de l'élevage ;
- Les activités liées à l'exploitation minière.

6.7.1.6 Eau potable

Les quatre enjeux identifiés par le SDAGE pour la gestion de l'eau potable et de l'assainissement sont :

- La production et la distribution d'une eau dont les qualités bactériologiques, physico-chimiques et organoleptiques sont conformes aux exigences et recommandations réglementaires ;
- L'évolution quantitative des besoins liés au développement démographique et économique des territoires ;

- La protection des ressources, notamment avec la mise en œuvre de périmètres de protection ;
- La sécurisation de l'alimentation en eau.

6.7.1.7 Gestion et protection de l'environnement et des écosystèmes

Les principales problématiques environnementales dans le bassin du fleuve Sénégal qui ont été identifiées par le SDAGE sont rappelées ci-dessous :

- Forte dégradation de la couverture pédologique, allant jusqu'à la désertification ;
- Altération / modification de la qualité physico-chimique et biologique des eaux ;
- Nette érosion de la biodiversité dans le corridor écologique du fleuve et des zones humides annexes ;
- Qualité des eaux souterraines jugée médiocre (salinisation, contamination biologique, substances chimiques toxiques).

6.7.2 Objectifs assignés au projet

On rappelle ci-dessous les objectifs assignés au projet d'aménagement de Gourbassi, qui sont en partie communs à ceux de l'aménagement de Manantali :

- Assurer un soutien à l'étiage, c'est-à-dire assurer un débit garanti à Bakel pour les besoins domestiques, maintenir l'irrigation et la navigation ;
- Assurer un soutien aux faibles crues (assurer une submersion suffisante des plaines inondables pour permettre la culture de décrue selon un hydrogramme prédéfini) ;
- Laminer les pointes des fortes crues à Bakel en dessous d'une valeur limite de 4500 m³/s ;
- Produire de l'énergie hydroélectrique.

Ces objectifs sont donc fixés pour répondre à la plupart des enjeux listés plus haut.

6.7.3 Résultats révélés par l'analyse économique

Les indicateurs économiques calculés plus haut sont porteurs d'informations sur l'impact du projet dans deux domaines où le projet contribue (ou non) à l'atteinte des objectifs : le développement de l'agriculture et le développement de l'énergie.

Le faible rendement de l'option A dans laquelle seul le barrage est construit fait apparaître que la valeur commerciale des produits issus du supplément d'agriculture irriguée potentiellement fourni par l'aménagement de Gourbassi ne permet pas de récupérer les coûts d'investissement élevés de l'ouvrage de retenue et des aménagements hydro-agricoles.

Par opposition les indicateurs économiques de la centrale (option C) sont bons ; le coût d'investissement des seuls ouvrages destinés à assurer la production et le transport

d'énergie serait récupéré au bout de douze ans de production. Le projet atteint, d'un point de vue économique, l'objectif de développement de l'énergie.

La construction du barrage sans la centrale hydroélectrique ne serait donc pas un choix pertinent d'un point de vue économique car ne permettant pas, dans le périmètre du bassin du fleuve Sénégal, de rencontrer l'objectif de développement économique lié au développement agricole ; dans l'hypothèse de la réalisation du barrage sans la centrale, les gouvernements devraient alors supporter à perte une partie du coût des investissements. La pertinence de réaliser le projet entier est confirmée par les indicateurs économiques de l'option B qui s'améliorent lorsque la rentabilité du barrage (option A) ou celle de la centrale (option C) s'améliorent.

6.7.4 Autres indicateurs de performance

Les résultats principaux des simulations sont présentés au Tableau 6-15 et fournissent un jeu d'indicateurs de performance des objectifs fixés à l'aménagement.

Pour ce qui concerne les avantages qui n'ont pas fait l'objet d'une quantification monétaire et n'ont donc pas pu être intégrés dans l'analyse économique, on peut noter que le projet de Gourbassi apporte les contributions suivantes :

- Soutien à l'étiage : augmentation du débit minimum garanti à Bakel ; le débit de 200 m³/s (voir aussi Figure 6-1) pour les besoins d'irrigation (quantifiés), domestiques et de navigation (non quantifiés) est pratiquement satisfait toutes les années ;
- Laminage de crues / débit maximal de 4 500 m³/s à Bakel : Gourbassi ne semble pas apporter d'avantage additionnel par rapport à la situation avec Manantali seul ;
- Diminution du volume annuel moyen d'eau transitant à Bakel en période d'hivernage : Gourbassi n'apporte donc pas de contribution supplémentaire au soutien de la crue artificielle pour la culture de décrue ; l'hydrogramme GIBSON A (qui correspond à une culture de décrue de 35 000 ha) est satisfait plus de 8 années sur 10.

6.8 CONCLUSIONS

L'analyse économique simplifiée montre que le projet d'aménagement de Gourbassi en entier est, dans les conditions posées plus haut, un investissement économiquement acceptable pour la collectivité du bassin du fleuve Sénégal : bien que le délai de récupération de l'investissement soit long (25 ans après sa mise en exploitation), le TRI est suffisant à 6,8% et la VAN s'élève à 37,28 M€. Les résultats détaillés sont présentés au Tableau 6-14

Le projet est économiquement pertinent pour répondre aux objectifs de développement agricole et de l'énergie. La composante hydroélectrique aussi faible soit-elle vient améliorer la rentabilité de l'aménagement qui ne serait pas économiquement justifiable sans la centrale. L'analyse de sensibilité a confirmé ces conclusions.

Les résultats des simulations (Tableau 6-15) montrent de plus que le projet apporte des bénéfices supplémentaires en remplissant les autres objectifs cités plus haut : écrêtage des fortes crues à Bakel, diminuant ainsi l'aléa d'inondation ; soutien aux faibles crues pour soutenir la culture de décrue ; et débit garanti à Bakel en période d'étiage pour améliorer les conditions de navigation fluviale. Ces bénéfices qu'il n'a pas été possible de quantifier à ce niveau d'APS sont potentiellement importants.

Lors de la prochaine étape préparatoire à la réalisation du projet, au niveau de l'APD, il conviendra de raffiner les caractéristiques du projet pour atteindre les objectifs fixés au moindre coût et de ce fait en améliorer sa rentabilité. D'autres études économiques plus détaillées devront alors être effectuées dans le but d'examiner tous les coûts et avantages économiques du projet qui devront aussi être pris en compte dans l'EIES réglementaire.

Un autre aspect qui devra être pris en considération est l'allocation optimale de l'eau entre les différents usagers. Ceci peut être fait via une analyse des avantages marginaux de l'utilisation de l'eau.

Il convient toutefois de noter que, du point de vue de l'investisseur, cet aménagement ne pourra pas être viable financièrement *stricto sensu* car les flux de revenus issus de la vente d'électricité et d'éventuelles redevances sur l'eau ne peuvent assurer à eux seuls le service de la dette et les charges de fonctionnement : dans un modèle d'investissement de projet classique financé tout ou partie par des prêts contractés auprès de bailleurs de fonds internationaux, le résultat net du projet serait structurellement déficitaire d'une année sur l'autre.

Tableau 6-14 Détails de l'analyse économique – Cas de référence

Année	Coût de l'investissement de l'aménagement			Coût de mise en œuvre du PGEs Barrage			Coût des autres investissements			Coût des autres investissements			Énergie disponible (MWh)	Revenu de vente de l'électricité	Revenu agricoles - Sénégal	Revenu agricoles - Fatick	Revenu de la pêche	Création d'emplois	Total des avantages	Avantages Nets	
	Barrage	Centrale	Total	Barrage	Centrale	Total	Sécurité agricole - Sénégal	Sécurité agricole - Fatick	Pêche	Total	Total des coûts	Revenu agricole - Sénégal									Revenu agricole - Fatick
2015	1 178 212 €	-	1 178 212 €	26 816 533 €	-	26 816 533 €	-	-	-	-	21 934 742 €	-	-	-	-	-	-	13 873 €	1 78 976 €	13 873 €	21 989 672 €
2016	20 520 287 €	1 091 338 €	21 611 625 €	1 539 772 €	-	1 539 772 €	-	-	-	23 151 377 €	55 619 237 €	-	-	-	-	-	-	178 976 €	488 939 €	178 976 €	488 939 €
2017	39 576 872 €	14 313 588 €	53 890 460 €	1 887 627 €	-	1 887 627 €	-	-	-	23 088 423 €	66 534 958 €	-	-	-	-	-	-	341 133 €	81 713 €	341 133 €	81 713 €
2018	14 217 861 €	6 384 639 €	20 602 500 €	2 316 835 €	-	2 316 835 €	-	-	-	66 534 958 €	28 775 500 €	-	-	-	-	-	-	608 274 €	2 639 259 €	608 274 €	2 639 259 €
2019	3 172 000 €	1 919 187 €	5 091 187 €	2 916 835 €	-	2 916 835 €	-	-	-	28 775 500 €	30 020 295 €	-	-	-	-	-	-	179 670 €	20 487 451 €	179 670 €	20 487 451 €
2020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	388 939 €	22 338 624 €	388 939 €	22 338 624 €
2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	718 679 €	28 229 972 €	718 679 €	28 229 972 €
2022	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	888 948 €	32 134 145 €	888 948 €	32 134 145 €
2023	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	1 078 018 €	37 043 319 €	1 078 018 €	37 043 319 €
2024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	1 287 897 €	41 952 492 €	1 287 897 €	41 952 492 €
2025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	1 500 000 €	46 861 666 €	1 500 000 €	46 861 666 €
2026	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	1 718 896 €	51 770 840 €	1 718 896 €	51 770 840 €
2027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	1 938 000 €	56 680 014 €	1 938 000 €	56 680 014 €
2028	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	2 157 896 €	61 589 188 €	2 157 896 €	61 589 188 €
2029	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	2 377 896 €	66 498 362 €	2 377 896 €	66 498 362 €
2030	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	2 597 896 €	71 407 536 €	2 597 896 €	71 407 536 €
2031	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	2 817 896 €	76 316 710 €	2 817 896 €	76 316 710 €
2032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	3 037 896 €	81 225 884 €	3 037 896 €	81 225 884 €
2033	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	3 257 896 €	86 135 058 €	3 257 896 €	86 135 058 €
2034	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	3 477 896 €	91 044 232 €	3 477 896 €	91 044 232 €
2035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	3 697 896 €	95 953 406 €	3 697 896 €	95 953 406 €
2036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	3 917 896 €	100 862 580 €	3 917 896 €	100 862 580 €
2037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	4 137 896 €	105 771 754 €	4 137 896 €	105 771 754 €
2038	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	4 357 896 €	110 680 928 €	4 357 896 €	110 680 928 €
2039	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	4 577 896 €	115 590 102 €	4 577 896 €	115 590 102 €
2040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	4 797 896 €	120 499 276 €	4 797 896 €	120 499 276 €
2041	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	5 017 896 €	125 408 450 €	5 017 896 €	125 408 450 €
2042	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	5 237 896 €	130 317 624 €	5 237 896 €	130 317 624 €
2043	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	5 457 896 €	135 226 798 €	5 457 896 €	135 226 798 €
2044	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	5 677 896 €	140 135 972 €	5 677 896 €	140 135 972 €
2045	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	5 897 896 €	145 045 146 €	5 897 896 €	145 045 146 €
2046	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	6 117 896 €	149 954 320 €	6 117 896 €	149 954 320 €
2047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	6 337 896 €	154 863 494 €	6 337 896 €	154 863 494 €
2048	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	6 557 896 €	159 772 668 €	6 557 896 €	159 772 668 €
2049	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	6 777 896 €	164 681 842 €	6 777 896 €	164 681 842 €
2050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	6 997 896 €	169 591 016 €	6 997 896 €	169 591 016 €
2051	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	7 217 896 €	174 499 190 €	7 217 896 €	174 499 190 €
2052	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28 775 500 €	29 770 295 €	-	-	-	-	-	-	7 437 896 €	179 408 364 €	7 437 896 €	179 408 364 €

COÛTS DU PROJET

COÛTS D'INVESTISSEMENT

Énergie moyenne : 131000 MWh

Coût Barrage : 154 297 000 €

Coût Centrale : 38 570 000 €

Coût de mise en œuvre du PGEs : 29 611 000 €

Coût total : 222 478 000 €

COÛTS D'EXPLOITATION & ENTRETIEN DE L'AMÉNAGEMENT

Barrière : 225 308 €

Centrale : 395 050 €

Total : 620 358 €

COÛTS D'AUTRES INVESTISSEMENTS

Sécurité agricole - Sénégal : 25 000 000 €

Sécurité agricole - Fatick : 3 725 500 €

Pêche : 250 000 €

Total : 28 775 500 €

AVANTAGES DU PROJET

Revenu de la vente de l'électricité : 2 021 985 €

Revenu agricoles - Sénégal : 2 731 504 €

Revenu agricoles - Fatick : 179 670 €

Revenu de la pêche : 830 542 €

Création d'emplois : 178 976 €

Total des avantages : 7 843 776 €

Avantages Nets : 21 989 672 €

Taux de rendement interne : 6,8%

VAN : 37 297 430 €

Rapport B/C : 1,10

Tableau 6-15 Tableau récapitulatif des résultats des simulations

	SÉRIE DE BASE (1961-2009)		SÉRIE SÈCHE (1980-2009)		SÉRIE FUTURE - BASSE		SÉRIE FUTURE - MOYENNE		SÉRIE FUTURE - HAUTE	
	Manantali Seul	Manantali + Gourbassi	Manantali Seul	Manantali + Gourbassi	Manantali Seul	Manantali + Gourbassi	Manantali Seul	Manantali + Gourbassi	Manantali Seul	Manantali + Gourbassi
Satisfaction des besoins en eau sur la Falémé (Besoins Irrigation, miniers et domestiques)										
% de satisfaction de la demande sur une base journalière	59%	96%	53%	93%	35%	72%	56%	95%	100%	100%
Satisfaction des besoins en eau à Bakel										
% de satisfaction de la demande sur une base journalière	86%	84%	80%	82%	71%	69%	85%	87%	96%	94%
Note : P pour Manantali seul la demande moyenne est de 355 m ³ /s alors que pour Manantali et Gourbassi la demande est de 418 m ³ /s										
Environnement (juin-octobre)										
Volume transitant à Bakel (10 ⁶ m ³)	12869	11206	10460	8498	9898	8607	12628	10979	15068	13636
Volume moyen	7957	4007	7636	3487	6473	2165	7642	3738	9142	7905
Volume garanti 9 années sur 10										
Fréquence satisfaction hydrogramme GIBSON A (35 000 ha)	73%	84%	73%	84%	73%	84%	73%	84%	73%	84%
Irrigation (jan-mai et nov-déc)										
Volume transitant à Bakel (10 ⁶ m ³)										
Fourniture maximale (10 ⁶ m ³)	6377	7370	4758	5825	6262	7264	6437	7418	6944	7902
Fourniture minimum (10 ⁶ m ³)	875	1610	875	1610	472	1326	793	1491	3451	4912
Fourniture moyenne annuelle (10 ⁶ m ³ /an)	3681	5075	3185	4717	3096	4193	3693	5039	4398	5522
Fourniture garantie 9 années sur 10 (10 ⁶ m ³)	2359	4748	1627	3577	1028	1498	2309	4475	3502	4913
Production hydroélectrique										
Production moyenne (GWh/an)	621	752	552	688	552	624	613	742	625	775
Production garantie 9 années sur 10 (GWh/an)	339	490	303	330	262	223	328	453	512	671
Navigabilité										
Débit mensuel minimum garanti à Bakel (m ³ /s) 9 années sur 10	126	204	115	203	9	13	126	204	175	224
Pourcentage du temps où le débit à Bakel est > 200 m ³ /s	57%	96%	53%	94%	48%	78%	57%	95%	66%	100%
Protection contre les crues (Respect du débit maximal de 4500 m³/s à Bakel)										
Débit maximal à Gourbassi (1500 m ³ /s)	NA	1500	NA	1275	NA	1500	NA	1500	NA	1500
Débit maximal à Manantali (2000 m ³ /s)	2000	2000	2000	1761	2000	2000	2000	2000	1275	2000
Débit mensuel maximum à Bakel (m ³ /s)	4982	5011	3285	3172	4348	4178	4942	4967	5218	5179
Nombre de mois de dépassement (total de 588 mois)	3	3	0	0	0	0	3	3	3	3

ANNEXE A

Planches

LISTE DES PLANCHES JOINTES EN ANNEXE

No. de PLANCHE PLATE Nr.	TITRE TITLE	No. de DESSIN DRAWING Nr.	REV.
Go1	PLAN DE SITUATION LOCATION PLAN	020857-5000-40DD-0001	00
Go3	PLAN DE LA RETENUE RESERVOIR PLAN VIEW	020857-5000-4EDD-0001	00
Go4	CARTE DES BASSINS VERSANTS ET DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE CATCHMENTS AND HYDROLOGICAL MAP	020857-5000-4EDD-0002	00
Go13a	VARIANTE RETENUE – AGENCEMENT GÉNÉRAL – PLAN SELECTED ALTERNATIVE – GENERAL ARRANGEMENT – PLAN VIEW	020857-5000-41DD-0001	01
Go14	VARIANTE RETENUE – AGENCEMENT GÉNÉRAL – ÉLÉVATION AMONT SELECTED ALTERNATIVE – GENERAL ARRANGEMENT – UPSTREAM ELEVATION	020857-5000-41DD-0002	00
Go19	VARIANTE RETENUE – AGENCEMENT GÉNÉRAL – PLAN SELECTED ALTERNATIVE – GENERAL ARRANGEMENT – PLAN VIEW	020857-5000-41DD-0004	01
Go23	VARIANTE RETENUE – ÉVACUATEUR DE CRUES – PLAN ET COUPE SELECTED ALTERNATIVE – SPILLWAY – PLAN AND SECTION	020857-5000-41DD-0008	01
Go24	VARIANTE RETENUE – PERTUIS DE FOND – PLAN ET COUPE SELECTED ALTERNATIVE – BOTTOM OUTLET – PLAN AND SECTION	020857-5000-41DD-0009	01
Go25	VARIANTE RETENUE – PRISE D'EAU / CENTRALE – COUPE LONGITUDINALE SELECTED ALTERNATIVE – INTAKE / POWERHOUSE – LONGITUDINAL SECTION	020857-5000-41DD-0010	01

ANNEXE B

Document Photo



Situation des photos sur image satellite Quickbird du site des ouvrages (4 février 2008)



**Photo 1 Vue panoramique de l'aval du bras gauche de la Falémé depuis l'axe du barrage
(15 juin 2010)**



Photo 2 Vue de l'aval du bras droit de la Falémé depuis la rive droite (15 juin 2010)



Photo 3 Vue de l'axe du barrage depuis la rive droite (3 mars 2011)



Photo 4 Vue amont vers l'axe du barrage (3 mars 2011)



Photo 5 Vue amont du bras droit de la Falémé vers l'axe du barrage (3 mars 2011)