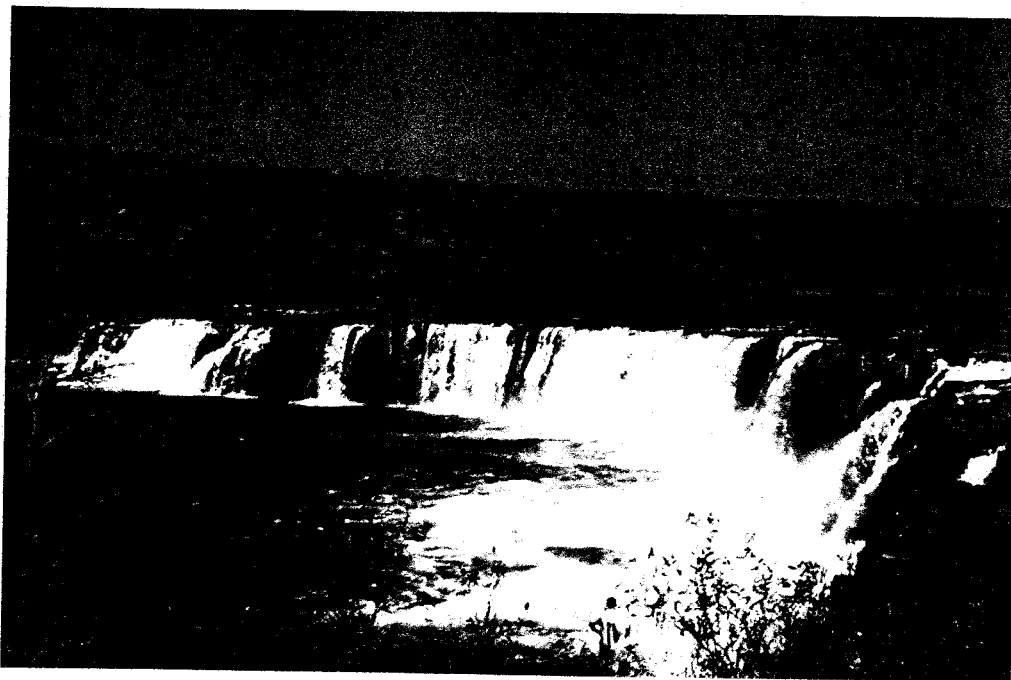


10875

**ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR
DU FLEUVE SENEGAL
(O.M.V.S.)**

**ETUDE DE FAISABILITE DES OUVRAGES
DE SECONDE GENERATION
A FELOU ET GOUINA**



RAPPORT DE PHASE 1 - GOUINA

Version finale

Faisabilité technique de l'aménagement de Gouina



COYNE ET BELLIER

Bureau d'Ingénieurs Conseils
GENNEVILLIERS

**ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR
DU FLEUVE SENEGAL
(OMVS)**

**Etude de faisabilité des ouvrages de seconde génération
à FÉLOU et GOUINA**

Photo de couverture : les chutes de Gouina, décembre 2003

Rapport de PHASE 1 – GOUINA

Version finale

Faisabilité technique de l'aménagement de Gouina

B	28/06/2004	Version finale	BMA SWO/NGL/HGB	PDF	PDF
A	08/03/2004	Première émission	BMA SWO/NGL/HGB	PDF	PDF
Révision	Date	Sujet de la révision	Rédaction	Contrôle	Approbation

SOMMAIRE

Ce dossier contient 128 pages de texte

	<i>Page</i>
1. INTRODUCTION	1
1.1. Cadre contractuel, objet du rapport	1
1.2. Programme suivi	1
1.3. Résumé de la comparaison des variantes sur le site de Gouina (rapport intermédiaire)	2
1.3.1 Méthodologie	2
1.3.2 Comparaison des variantes	3
1.4. Conclusions et recommandations de l'étude de faisabilité technique	4
1.4.1 Conclusions de la phase 1	4
1.4.2 Recommandations	6
2. DONNÉES DE BASE	7
2.1. Topographie	7
2.2. Hydrologie	8
2.2.1. Séries d'apports mensuels du fleuve Sénégal	8
2.2.2. Détermination des crues de chantier et de projet	12
2.2.3. Courbes de tarage	14
2.2.4. Apports en sédiments	17
2.3. Géologie	19
2.3.1. Préambule	19
2.3.2. Géologie régionale	20
2.3.3. Géomorphologie du site de Gouina	21
2.3.4. Le rocher de fondation	22
2.3.5. Géologie appliquée à l'aménagement	26
2.3.6. Références	28
2.4. Caractéristiques environnementales	29
2.4.1 Définition de la zone d'étude	29
2.4.2 Rappel de l'analyse environnementale des variantes	30

2.4.3	Situation environnementale de référence	31
2.5.	Base de calcul des coûts de réalisation	41
2.5.1	Coûts de génie civil	41
2.5.2.	Coûts des équipements électromécaniques	42
2.5.3.	Coûts du raccordement au réseau haute tension	43
2.6.	Marché de l'énergie : placement attendu de Gouina	43
3.	CONCEPTION DES OUVRAGES	48
3.1.	Implantation et description générale	48
3.2.	Ouvrages de génie civil	49
3.2.1.	Accès	49
3.2.2.	Barrage	53
3.2.3.	Ouvrage de tête	54
3.2.4.	Canal d'amenée	55
3.2.5.	Usine	57
3.2.6.	Canal de fuite	58
3.3.	Equipements hydro-électro-mécaniques de l'usine	59
3.3.1.	Type de turbines : groupes bulbes – groupes Kaplan	59
3.3.2.	Nombre de groupes	61
3.3.3.	Description des groupes bulbes – variante G2 (RN 70.00)	62
3.3.4.	Description des groupes Kaplan – variante G3 (RN 75,00)	65
3.4.	Liaison avec le réseau de transmission HT	69
3.4.1.	Capacité de transport du réseau HT existant	69
3.4.2.	Raccordement de la centrale de Gouina au réseau HT	70
3.4.3.	Adaptation du réseau HT interconnecté	71
4.	ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	74
4.1.	Préambule	74
4.1.1.	Objectifs et portée de l'étude environnementale	74
4.1.2.	Le contexte institutionnel et réglementaire	74
4.2.	Impacts positifs potentiels de l'aménagement de Gouina et mise en valeur des opportunités	77
4.2.1.	Emploi	77
4.2.2.	Pêche	77
4.2.3.	Désenclavement	77

4.2.4. Economie sous-régionale	78
4.2.5. Environnement global	78
4.3. Impacts négatifs potentiels de l'aménagement de Gouina et principales mesures d'atténuation et de compensation	79
4.3.1. Impacts de l'aménagement	79
4.3.2. Impacts spécifiques à la période de construction	97
4.3.3. Impacts spécifiques au déplacement de population	101
4.4. Mise en œuvre des mesures environnementales	101
4.4.1. Etapes suivantes	101
4.4.2. Mesures d'atténuation et de compensation	102
4.4.3. Opportunité d'une démarche de développement régional	103
4.4.4. Comparaison des impacts entre les variantes de cote G2 et G3	104
5. DIMENSIONNEMENT DU PROJET ET EVALUATION ÉCONOMIQUE PRELIMINAIRE	109
5.1. Production d'énergie	109
5.2. Choix du débit équipé optimal	113
5.2.1. Méthodologie	113
5.2.2. Sélection de la puissance installée pour la variante G2	114
5.2.3. Sélection de la puissance installée pour la variante G3	115
5.3. Evaluation du coût de réalisation	116
5.4. Evaluation économique préliminaire	125
6. PROGRAMME DE RÉALISATION	126
6.1. Programme de construction et phasage des travaux	126
6.1.1. Phasage des travaux à l'amont du canal d'amenée (plans GO-103 et GO-104)	126
6.1.2. Phasage des travaux à l'aval du canal	126
6.1.3. Programme de construction (figures 6.1a et 6.1b)	127
6.2. Activités préparatoires et programme de réalisation	127

FIGURES DU CHAPITRE 6

Figure 6.1a Programme de construction – variante G2

Figure 6.1b Programme de construction – variante G3

Figure 6.2 Programme de réalisation possible dans le cadre d'un financement privé
avec consultation pour les travaux – variantes G2 et G3

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU DU CHAPITRE 1

Tableau 1.1 Variante G2 et G3 : caractéristiques principales des aménagements

TABLEAUX DU CHAPITRE 2

- Tableau 2.1 Scénarios de gestion de Manantali les plus probablement adoptés
- Tableau 2.2 Gouina : séries d'apports mensuels au site pour différents scénarios de gestion de Manantali, calculés sur 1950 - 1999
- Tableau 2.3 Félou et Gouina : débits des crues usuelles (2 à 50 ans)
- Tableau 2.4 Félou et Gouina : débits des crues exceptionnelles (100 à 10 000 ans)
- Tableau 2.5 Courbes de tarage et chute brute
- Tableau 2.6 Moyennes mensuelles de concentration en M.E.S. à Bakel (mg/l)
- Tableau 2.7 Quantité de M.E.S. ayant transité à Bakel (tonnes)
- Tableau 2.8 Granulométrie moyenne des échantillons de matières en suspension
- Tableau 2.9 Prix unitaires des travaux principaux de génie civil (en Euros d'octobre 2001)
- Tableau 2.10 Prévision de demande électrique par pays en 2008

TABLEAUX DU CHAPITRE 4

- Tableau 4.1 Rehaussements du plan d'eau et écarts par rapport à la situation actuelle
- Tableau 4.2 Surface et volume de la retenue sous la RN
- Tableau 4.3 Longueur de la retenue
- Tableau 4.4 Habitat villageois à risque d'inondation à la crue 50 ans (vers l'amont, à partir du site du barrage de Gouina)
- Tableau 4.5 Population totale susceptible d'être déplacée
- Tableau 4.6 Répartition des coûts environnementaux entre les variantes de cote (G2 et G3)
- Tableau 4.7 Calendrier d'engagement des dépenses environnementales

TABLEAUX DU CHAPITRE 5

Tableau 5.1	Relation puissance installée – énergie moyenne pour le scénario 100 IRD
Tableau 5.2a	Résumé des performances énergétiques (variante G2)
Tableau 5.2b	Résumé des performances énergétiques (variante G3)
Tableau 5.3a	Estimation des coûts de construction directs (variante G2)
Tableau 5.3b	Estimation des coûts de construction directs (variante G3)
Tableau 5.4	Evaluation des coûts d'atténuation des impacts environnementaux (variantes G2 et G3)
Tableau 5.5a	Estimation du coût de réalisation global (variante G2)
Tableau 5.5b	Estimation du coût de réalisation global (variante G3)

LISTE DES PLANS

PLANS GÉNÉRAUX

- GO-001 A Plan de situation de Félou et Gouina
- GO-002 A Bassin versant du fleuve Sénégal à Kayes et 4 sous-bassins
- GO-003 A Infrastructures de transport entre Kayes et Bafoulabé
- GO-004 A Accès au site de Gouina
- GO-005 A Fonds topographique Kayes – Bafoulabé (1/4)
- GO-006 A Fonds topographique Kayes – Bafoulabé (2/4)
- GO-007 A Fonds topographique Kayes – Bafoulabé (3/4)
- GO-008 A Fonds topographique Kayes – Bafoulabé (4/4)
- GO-009 A Carte géologique (d'après Sénégal – Consult, 1970)
- GO-010 A Coupe géologique du sondage GN 1 (d'après Sénégal – Consult, 1970)
- GO-011 A Coupe géologique du sondage GN 2 (d'après Sénégal – Consult, 1970)
- GO-012 A Coupe géologique du sondage GN 13 (d'après Sénégal – Consult, 1970)
- GO-021 A Topographie au 1 / 25 000 de la zone des retenues de Félou et Gouina à GO-030 A (planches 1 à 10)

PROFILS EN LONG DE LA ZONE DE RETENUE

- 01-021 C Profil en long de la zone des retenues de Félou et Gouina – état naturel
- 01-204 B Profil en long de la retenue de Gouina, seuil à 63,40 (G1 – état actuel)
- 01-205 B Profil en long de la retenue de Gouina, seuil à 70,00 (G2)
- 01-206 C Profil en long de la retenue de Gouina, seuil à 75,00 (G3)
- 01-208 C Profil en long de la retenue de Gouina, seuil à 80,00 (G4)

LISTE DES ANNEXES

A0. PHOTOGRAPHIES

- Photo 1 Vue aérienne du site de Gouina (février 2001)
- Photo 2 Les chutes de Gouina (décembre 2003)
- Photo 3 Plan d'eau amont (décembre 2003)
- Photo 4 Plan d'eau intermédiaire (décembre 2003)
- Photo 5 Plan d'eau à l'aval de la restitution (décembre 2003)
- Photo 6 Vue aval des chutes (décembre 2003)
- Photo 7 Emplacement du canal d'amenée (décembre 2003)
- Photo 8 Emplacement de l'usine (décembre 2003)
- Photo 9 Baobab en rive gauche (décembre 2003)
- Photo 10 Vue aérienne de Galougo (septembre 2003)

A1. TOPOGRAPHIE

Plans de vol des prises de photos aériennes (campagne de février 2001)

- A1-1 Clichés à l'échelle 1 / 25 000 – axes A01 à A06
- A1-2 Clichés à l'échelle 1 / 25 000 – axes A07 à A11
- A1-3 Clichés à l'échelle 1 / 8 000 – site de Félou
- A1-4 Clichés à l'échelle 1 / 8 000 – site de Gouina

A2. HYDROLOGIE

A2.1 Tableaux des débits :

Tableau 1 : débits mensuels mesurés à Oualia, Soukoutali (puis Manantali) et Kayes, et débits mensuels calculés des bassins versants intermédiaires (période 1950 à 1999)

Tableau 2 : Débits mensuels au droit du site de Gouina suivant le scénario de gestion de Manantali

Tableaux 3.1 à 3.9 : débits mensuels à Manantali suivant le scénario de gestion

A2.2 Détermination des crues de chantier et de projet au droit des sites de Félou et Gouina

A3. ENVIRONNEMENT

A3.1 Villages et hameaux susceptibles d'être influencés par la retenue de Gouina

A3.2 Fiche de consultation, villages de Foukara-Ile, Foukara RG et hameaux rattachés

A3.3 Comparaison des impacts selon la cote RN

A3.4 Récapitulation des coûts environnementaux

A3.5 Références locales de coût

A3.6 Impacts et évaluation des mesures compensatoires par village (pour les villages de la commune de Diamou, disposant d'un plan d'aménagement de terroir) :

- Foukara RG
- Foukara Ile
- Galougo

A4. CALCULS HYDRAULIQUES DU CANAL D'AMENÉE

A4.1 Objet

A4.2 Données de base

A4.3 Définition des calculs

A4.4 Résultats des calculs

LISTE DES ABREVIATIONS

AIDEB	Appui aux initiatives de développement de Bafoulabé (ONG)
ANICT	Agence nationale des investissements des collectivités territoriales
APD	Avant-projet détaillé
CCC	Centre de conseils communaux
CEDEAO	Communauté Economique des Etats d'Afrique de l'Ouest
CLC	Comité local de coordination
COFITEC	Coyne et Bellier – Fichtner – Tecslut
DNE	Direction Nationale de l'Energie (Mali)
DNH	Direction Nationale de l'Hydraulique (Mali)
DNT	Direction nationale des transports
DRCN	Direction régionale de la conservation de la nature
DRET	Direction régionale des transports et de l'équipement
EDM-SA	Electricité du Mali S.A.
EIE	Etude des Impacts sur l'Environnement
FC	Forêt classée
GRDR	Groupe de Recherche en Développement Rural
IGN	Institut Géographique National – France
INRSP	Institut National de Recherche en Santé Publique
IDC	Intérêts durant la construction
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (ex – ORSTOM)
MES	Matières en suspension
MST	Maladies sexuellement transmissibles
NEPAD	New Partnership for African Development
OERS	Organisation des Etats Riverains du Fleuve Sénégal

OMVS	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal
ORSTOM	Ex - Organisme pour la recherche scientifique et technique outre-mer (remplacé aujourd'hui par l'IRD)
PAP	Personne(s) affectée(s) par le projet
PASIE	Plan d'Atténuation et de Suivi des Impacts sur l'Environnement de la mise en valeur du fleuve Sénégal
PDESC	Plan de développement économique et social de la commune de ...
PDIAM	Projet de développement en aval de Manantali
PGRN	Projet de Gestion des Ressources Naturelles
PHE	Plus hautes eaux
PIDEB	Programme intégré de développement de Bafoulabé
PIRL	Projet d'Inventaire des Ressources Ligneuses
POGR	Programme d'Optimisation de la Gestion des Réservoirs
RD	Rive droite
RG	Rive gauche
RN	Retenue normale (cote de...)
SCP	Société du Canal de Provence
SLCN	Service local de la conservation de la nature
SNE	Société Nationale d'Electricité des pays de l'OMVS (SENELEC, EDM S.A. et SONELEC)
SOCIMA	Société malienne du ciment
TEE	Tractionel Electrobél Engineering
URCAK	Union Régionale des Coopératives Agricoles de Kayes
VIP	Vulgarisation de l'Irrigation Paysanne
WAPP	West African Power Pool

1. INTRODUCTION

1.1. Cadre contractuel, objet du rapport

Ce rapport est le sixième rapport remis à l'OMVS dans le cadre de l'étude de faisabilité des ouvrages de seconde génération à Félou et Gouina. Il s'agit de la version finale du rapport final de phase 1 de Gouina, correspondant aux études de "faisabilité technique" de l'aménagement hydroélectrique de Gouina, préparé conformément au contrat daté du 15 mai 2000 entre l'OMVS et COYNE ET BELLIER. Il fait suite à la version provisoire de ce rapport, daté mars 2004.

Ce rapport conclut la phase d'études d'avant-projet sommaire de l'aménagement de Gouina.

Les études de faisabilité concernent l'aménagement hydroélectrique des chutes de Gouina. Ces chutes sont situées sur le fleuve Sénégal, environ 195 km à l'aval du barrage de Manantali, et 64 km à l'amont des chutes de Félou (distances curvilignes comptées suivant l'axe du fleuve).

Le but du projet d'aménagement des chutes de Gouina est d'exploiter le potentiel de production d'énergie électrique du site, en mettant à profit la hauteur de chute naturelle créée par la topographie du site (15 mètres) qui sera encore augmentée par une surélévation du plan d'eau amont de 6 m (variante G2) ou 11 m (variante G3). Le site de Gouina bénéficie également de l'effet de régularisation des apports par la retenue de Manantali, qui assure un débit minimal en toute saison.

1.2. Programme suivi

Les étapes qui ont précédé la préparation du rapport de faisabilité technique de phase 1 de Gouina ont été les suivantes :

- Juin 2000 : démarrage des études, avec une première visite des sites des ouvrages et des zones des retenues potentielles de Félou et Gouina,
- Septembre 2000 : remise du rapport de démarrage,
- Janvier à août 2001 : levé topographique des zones de retenue et des sites des ouvrages,
- Octobre 2001 : soumission du rapport intermédiaire de Félou et Gouina, qui présente la comparaison de variantes de développement sur chacun des deux sites,

- Juin 2002 : soumission du rapport provisoire de phase 1 de Félou pour la variante basse, sans surélévation du plan d'eau par rapport à l'état actuel (RN 40),
- Décembre 2003 : visite complémentaire du site de Gouina et de sa retenue, destinée à vérifier les impacts environnementaux en queue de retenue, au-delà de la zone couverte par les levés topographiques de 2001,
- Février 2003 : soumission du rapport définitif de phase 1 de Félou avec prise en compte des observations de l'OMVS.

Concernant le site de Gouina, à la suite de l'examen du rapport intermédiaire, l'OMVS a décidé la poursuite des études techniques pour deux variantes qui couvrent la plage de l'optimum économique, soit les cotes de seuil 70 et 75.

Parallèlement aux études techniques qui font l'objet de la phase 1 du contrat, les études économiques, financières et institutionnelles ont progressé suivant le calendrier suivant :

- Mai 2003 : soumission du rapport provisoire de phase 3 de Félou et Gouina (financement des projets par le secteur privé),
- Novembre 2003 : soumission du rapport provisoire de phase 2 de Félou (analyse économique et financière),
- Mars 2004 : soumission du rapport définitif de phase 3 de Félou et Gouina et du rapport définitif de phase 2 de Félou avec prise en compte des observations de l'OMVS.

1.3. Résumé de la comparaison des variantes sur le site de Gouina (rapport intermédiaire)

1.3.1 Méthodologie

La première partie des études de faisabilité de l'aménagement de Gouina, présentée dans le rapport intermédiaire de phase 1 (octobre 2001), a permis de rassembler et synthétiser une somme importante de données et d'analyses concernant le projet et son contexte de développement.

On citera en particulier :

- les levés topographiques des zones des sites et des retenues, qui ont permis de déterminer, sur la base des observations de terrain et par le calcul, les zones de la vallée inondées pour chaque solution envisagée,

- les séries d'apports du fleuve Sénégal aux sites, qui dépendent en grande partie du scénario de gestion qui sera appliqué au réservoir de Manantali,
- les courbes de tarage à l'aval de chaque site, qui ont révélé une variation marquée de la hauteur de chute en fonction du débit du fleuve, même en dehors de périodes de crues exceptionnelles.

Cette première partie des études a consisté à étudier de manière préliminaire le projet pour plusieurs variantes contrastées de dimensionnement, à comparer ces variantes sur le plan économique et environnemental, et ainsi déterminer les caractéristiques principales du projet devant faire l'objet des études de faisabilité complètes.

1.3.2. Comparaison des variantes

Le paramètre principal de dimensionnement de l'aménagement de Gouina est la cote de surélévation du plan d'eau amont, qui sera obtenue par la construction d'un barrage sur le fleuve à l'amont des chutes. En effet, la hauteur de chute naturelle étant relativement faible (environ 15 m), une surélévation même modeste du niveau amont provoque un accroissement sensible de la production d'énergie potentielle, avec en contrepartie une augmentation des coûts de construction ainsi que des incidences environnementales.

Contrairement au site de Félou, la vallée à l'amont du site de Gouina est caractérisée par un relief marqué avec des berges assez pentues, ainsi que par une faible occupation des terrains (quelques villages et terres cultivées en rive gauche, aucun en rive droite).

Quatre variantes ont été comparées au stade de pré-faisabilité : seuil à la cote 63,4 (situation actuelle sans surélévation du plan d'eau – variante G1), barrage à la cote 70 (variante G2), 75 (variante G3) ou 80 (variante G4).

On trouvera parmi les plans du présent rapport :

- le profil en long général du fleuve Sénégal entre Félou et Gouina (plan n° 01 021),
- le profil en long dans la zone de retenue de Gouina dans la situation actuelle (c'est-à-dire avec son seuil à la cote 63,4) pour les débits de 120 m³/s et de 500 m³/s, ainsi que pour les débits de crue de périodes de retour 50 ans et 10 000 ans (plan n° 01 204);
- le même profil en long avec les lignes d'eau calculées pour les mêmes débits mais avec un seuil surélevé à la cote 70, 75 et 80 (plans n° 01 205, 01 206 et 01 208).

Sur ces profils en long sont également portées les cotes extrêmes des villages se trouvant sur les rives du fleuve. Ces profils permettent de repérer quels villages sont susceptibles d'être directement affectés par une surélévation du niveau du seuil de Gouina, sauf pour la

partie amont de la retenue des variantes G3 et G4 pour lesquelles l'influence du barrage pourrait se faire sentir au-delà de la zone couverte par les levés topographiques.

L'examen de ces agglomérations et de leurs terres cultivées ont permis de définir provisoirement les coûts de compensation qu'il faudrait engager, pour chaque hauteur de seuil de Gouina (ces estimations préliminaires ont été précisées par la suite).

Cette comparaison de quatre variantes de cotes a montré que l'optimum économique à Gouina est considéré atteint pour une plage de cotes de seuil entre 68 et 75, avec un optimum théorique de 71.

Entre ces valeurs, des critères autres que les critères économiques utilisés pour la comparaison ci-dessus, peuvent aider dans le choix de la cote du seuil déversant qui barrera le fleuve. Les critères suivants ont été identifiés :

- faciliter le financement du projet par le secteur privé (donc orienter la décision vers le bas de la gamme optimale de hauteur, soit 68 à 70),
- maximiser l'exploitation des ressources régionales d'énergie renouvelable (donc orienter la décision vers le haut de la gamme optimale, soit 75),
- minimiser l'impact environnemental lié aux déplacements de populations et à l'esthétique des chutes (donc orienter la décision vers le bas de la gamme optimale, soit 68 à 70).

Compte tenu de la présence de ces critères divergents et des incertitudes sur les aspects économiques et environnementaux qui étaient encore fortes au stade de l'étude préliminaire, l'OMVS a demandé à COYNE ET BELLIER de poursuivre l'étude de faisabilité technique complète pour les deux variantes de cote G2 (seuil à 70) et G3 (seuil à 75).

1.4. Conclusions et recommandations de l'étude de faisabilité technique

1.4.1. Conclusions de la phase 1

Le tableau 1.1 ci-après résume les caractéristiques principales du projet pour les variantes G2 et G3.

Tableau 1.1
Variantes G2 et G3 : caractéristiques principales des aménagements

Retenue	Retenue normale P.H.E. Surface de la retenue sous RN ⁽¹⁾ Population déplacée par la retenue (valeur 2005)	m m km ²	70 74,7 8,8 / 3,0	75 79,7 15,7 / 8,5
Barrage	Hauteur max. sur le T.N. Longueur	m m	14 1 060	19 1 230
Usine	Nombre de groupes Type Chute brute nominale (pour les 3 groupes en service au débit max.) Puissance nominale de l'usine (3 groupes en service) Chute brute maximale (un seul groupe en service) Puissance maximale d'un groupe seul	 m MW m MW	 3 Bulbes 18,7 95 20,1 34	 3 Kaplan 23,5 140 24,9 49
Energie	Débit d'équipement total Débit moyen turbiné ⁽³⁾ Débit moyen du fleuve Chute brute moyenne ^{(2) (3)} Energie moyenne ⁽³⁾ Facteur d'utilisation ⁽³⁾	m ³ /s m ³ /s m ³ /s m GWh/an	600 300 à 330 430 18,5 à 18,6 430 à 470 0,52 à 0,56	700 320 à 350 430 22,4 à 22,5 570 à 620 0,47 à 0,51
Génie civil	Béton Excavation au rocher	m ³ m ³	125 000 950 000	290 000 900 000
Investissement (base octobre 2001)	Génie civil Equipements usine, ligne et postes Environnement Ingénierie et maîtrise d'ouvrage Total (hors IDC)	M€ M€ M€ M€ M€	45,4 65,4 6,5 14,1 131,4	79,1 74,6 8,2 19,5 181,4

Notes :

- (1) Le premier chiffre indique la surface totale, le second indique la surface nette au-delà de la surface actuellement occupée par le lit mineur du fleuve
- (2) Chute moyenne pondérée par le débit turbiné
- (3) Varie selon le mode de gestion futur de Manantali

1.4.2. **Recommandations**

➤ *Cote optimale à Gouina*

L'étude technique présentée ici démontre la faisabilité des deux options de développement du projet de Gouina.

Les ouvrages de génie civil projetés sont des ouvrages classiques à l'air libre, sans fouilles profondes, avec des risques de construction faibles. Concernant les équipements électromécaniques, le parti a été pris de privilégier des équipements largement éprouvés pour ce type d'utilisation. Enfin, les risques environnementaux liés notamment à la création d'une retenue sur le fleuve Sénégal restent maîtrisables du fait de la faible population à déplacer et des faibles surfaces inondées.

Sur le plan économique, en anticipation de l'étude détaillée de phase 2 qui considèrera plus précisément la façon dont l'usine de Gouina s'intégrera dans le système électrique interconnecté de l'OMVS, il est déjà clair à ce stade que les deux options G2 et G3 sont très attractives. Le coût de production d'un kWh à Gouina serait très inférieur au coût de production d'un kWh par les centrales thermiques les plus performantes du système interconnecté ; il serait même inférieur aux seuls coûts de fourniture de combustible, hors coût de construction des centrales thermiques.

Les ratios du montant de l'investissement nécessaire à la réalisation de l'aménagement de Gouina rapporté au MW installé ou au kWh productible, sont comparables pour les variantes G2 et G3. Pour passer de la variante G2 à la variante G3, l'investissement marginal nécessaire est de 1 110 €/kW installé, ou de 0,045 à 0,048 €/kWh produit. Il apparaît donc économiquement intéressant de réaliser la variante G3, car cela permet de produire environ 150 GWh par an d'énergie pour un coût inférieur à celui du thermique. Cela ne pourrait cependant se faire qu'au prix d'un déplacement de population plus important (quoique restant tout à fait modéré), et d'un investissement augmenté de 50 millions d'euros (soit + 38%).

A ce stade de l'étude, et sous réserve de confirmation des résultats économiques et financiers à l'issue de l'étude phase 2, la préférence pourrait donc être donnée à la variante G3 qui maximise l'utilisation des ressources naturelles en énergie renouvelable, avec en contrepartie une population supplémentaire à déplacer par rapport à la variante G2.

➤ *Prochaine étape de l'étude*

L'étude va se poursuivre par la réalisation des études économiques et financières de Gouina (phase 2), qui incluent la modélisation du fonctionnement de l'ensemble du parc de production Mali – Mauritanie – Sénégal.

Les éléments fournis par le présent rapport sont suffisants pour démarrer la phase 2. L'analyse financière du projet de Gouina qui est comprise dans l'étude de phase 2 se fera, comme pour l'aménagement de Félou, pour le schéma 3 défini dans l'étude de phase 3 (structure avec une Société de Projet) qui présente le plus d'avantages pour le développement du projet avec un financement privé.

2. DONNEES DE BASE

2.1. Topographie

Compte tenu de l'absence quasi totale de document topographique utilisable sur le site de Gouina, révélée en tout début d'étude (voir le rapport de démarrage – septembre 2000), il a été nécessaire de réaliser un levé topographique du site et de la zone de retenue potentielle.

Suite à la signature de l'avenant n° 1 au contrat entre l'OMVS et Coyne et Bellier, intervenue en novembre 2000, la campagne de clichés aériens, de levés de terrain et de restitution aéro-photogrammétrique a permis d'obtenir les documents topographiques suivants :

a. Photos aériennes :

- couverture à l'échelle 1/25 000 de la zone des retenues potentielles de Félou et Gouina, soit 89 clichés répartis selon 11 axes (voir les plans de vol en annexe A1-1 et A1-2).
- couverture à l'échelle 1/8 000 des sites des chutes de Félou et Gouina, soit 18 clichés (voir les plans de vol en annexe A1-3).

Les photos ont été réalisées en février 2001. Le débit dans le fleuve Sénégal à cette époque est estimé aux environs de 120 m³/s, à partir du relevé des ouvertures de vannes du barrage de Manantali.

b. Levé à l'échelle 1/2 000 des zones des ouvrages sur chacun des sites.

c. Levé à l'échelle 1/10 000 des zones des retenues potentielles des sites, soit une bande centrée sur le fleuve Sénégal de 93 km de long. Ce levé se présente sous la forme de 10 feuilles, reproduites à l'échelle 1/25 000 sur les plans joints GO-021A à GO-030A.

L'axe du fleuve Sénégal a été gradué en points kilométriques (PK) depuis le PK 0 au droit du muret existant à l'amont immédiat des rapides de Félou, d'une part vers l'amont jusqu'au PK 90 (en passant par la chute de Gouina au PK 64), d'autre part vers l'aval jusqu'au PK -3.

Des extensions ont dû être demandées au sous-traitant SCP Lassalle-Berterrière afin de couvrir d'une part l'élargissement qui est apparu à l'amont immédiat de Félou sous la cote 45, et d'autre part l'extrémité amont de la vallée du Sénégal, de façon à obtenir le plus d'informations possibles pour les solutions de barrages les plus élevés avec les photos acquises en 2001. L'extension amont n'a pu cependant couvrir la totalité de la retenue potentielle pour les cotes de RN au-dessus de 70, en raison de l'absence de prise de photos aériennes dans cette zone.

2.2. Hydrologie

2.2.1. *Séries d'apports mensuels du fleuve Sénégal*

2.2.1.1. *Débits mesurés disponibles*

Le plan GO-002 montre le bassin versant du fleuve Sénégal à Kayes, et sa décomposition en quatre sous-bassins :

1. bassin versant du Bafing à Soukoutali (station à l'amont immédiat de Manantali) ;
2. bassin versant du Bakoye à Oualia ;
3. bassin versant intermédiaire du Sénégal entre Soukoutali et Oualia à l'amont, et Félou à l'aval ;
4. bassin versant de la Kolimbine et du Sénégal entre Félou et Kayes.

Les séries d'apports observés disponibles pour la présente étude sont les suivantes (cf. annexe A2.1) :

- **débits mensuels du Bafing à Soukoutali puis à l'aval de Manantali** sur la période 1950-1999 (source : IRD). Les données correspondent aux apports réels du bassin versant jusqu'en juillet 1987, date de mise en service du barrage de Manantali. Depuis cette date, les apports étant contrôlés par le barrage, les débits mesurés sont la somme des lâchures et déversés au barrage de Manantali et non les apports naturels ;
- **débits journaliers lâchés à l'aval du barrage de Manantali** depuis juillet 1987 (source : COYNE ET BELLIER), estimés à partir de l'ouverture des vannes ;
- **débits mensuels du Bakoye à Oualia** sur la période 1950-1999 (source : IRD), cf. figure 2.1 ;
- **débits mensuels du Sénégal à Kayes** sur la période 1950-2001 (source : IRD), cf. figure 2.2.

Les apports du **bassin versant intermédiaire entre Manantali, Oualia et Kayes** sont calculés par différence des débits mesurés à Kayes avec ceux à Oualia et à Manantali⁽¹⁾. Les apports du bassin versant intermédiaire au droit des sites s'en déduisent au prorata de la

1 Les apports de Manantali sont constitués des apports naturels mesurés à la station de Soukoutali avant juillet 1987 et des débits lâchés à Manantali depuis cette date.

taille des bassins versants intermédiaires (aval de Manantali et Oualia) mesurés à Gouina, Félou et Kayes⁽²⁾ (cf. annexe A2.1 et figure 2.3).

2.2.1.2. Scénarios probables de gestion future de Manantali

Contractuellement, il est prévu de considérer une seule série d'apports au site de Gouina. Or les règles de la gestion future du barrage de Manantali, une fois l'usine mise en service, ne sont actuellement pas connues. Ce sont six scénarios principaux, numérotés de 99 à 104, qui ont été présentés par l'IRD comme devant couvrir le ou les scénarios qui seront les plus probablement appliqués par la SEM⁽³⁾ (voir tableau 2.1 ci-dessous). Pour chacun de ces scénarios, l'IRD nous a également fourni les **débits mensuels théoriques⁽⁴⁾ correspondants à l'aval de Manantali**, sur la période 1950-1999 (cf. annexe A2.1).

En l'absence de directive concernant le scénario le plus probablement appliqué, c'est le **scénario 100** qui a été adopté pour la présente étude comme **scénario de base**. Il a été sélectionné par élimination pour les raisons suivantes :

- le scénario 99 pénalise trop la production d'énergie (820 GWh/an pour la période 1950-1998, contre un maximum de 971 GWh/an avec le scénario 101) ;

Tableau 2.1 : Scénarios de gestion de Manantali les plus probablement adoptés

Qe (m3/s)	: débit objectif d'étiage, défini pour le Sénégal à Bakel
Hs (m)	: cote minimale de la surface libre du lac au 20 août, permettant d'engager le soutien de crue
Po (MW)	: puissance électrique demandée
S1 (m)	: cote limite de la surface libre du lac, en dessous de laquelle la consigne relative à la demande de production d'énergie n'est pas prise en considération.
S2 (m)	: cote limite de la surface libre du lac, au dessus de laquelle on vise à produire la puissance maximale productible fonction de la cote
W1 (Gwh)	: énergie moyenne produite par année sur la période 1950-1998.
W2 (Gwh)	: comme W1, mais sur la période 1970-1998
R	: fréquence des crues trop faibles obtenues

Scénario	Paramètres définissant les consignes de gestion					Energie moyenne produite par année(GWh)		Fréquence des crues trop faibles
	Qe (m3/s)	Hs (m)	Po (MW)	S1 (m)	S2 (m)	W1 (50-98)	W2 (70-98)	R (%)
99	150	198	70	197	206	820	673	20
100	150	198	70	197	202	906	718	31
101	150	195	110	192	202	971	763	49
102	200	195	70	197	206	843	689	31
103	200	198	90	197	206	895	742	37
104	200	195	110	197	202	935	735	43

Source : IRD, rapport de 1999

- 2 La superficie du bassin versant de la Kolimbine est soustraite de celle du bassin versant intermédiaire à Kayes, dans la mesure où la Kolimbine a un débit quasi nul sauf pendant quelques mois dans l'année. On retient donc une superficie de 20 200 km² au lieu de 26 400 km².
- 3 Société d'Exploitation de Manantali, en charge de l'exploitation de l'usine de Manantali = ESKOM
- 4 Débits qui auraient été mesurés si le barrage avait existé et avait été géré selon l'un des six scénarios.

- les scénarios 101 et 104 ont des pourcentages trop élevés de crues artificielles insuffisantes (49% et 43% respectivement) ;
- le scénario 103 a un pourcentage relativement élevé de crues artificielles insuffisantes (37%), sans pour autant apporter de compensation notable quant à la production d'énergie.

La série chronologique des débits mensuels théoriques sortant de Manantali, calculés en imaginant l'aménagement de Manantali avoir existé et été géré suivant le scénario 100 depuis 1950, est représentée sur la figure 2.4.

Le **scénario 102** présente des performances voisines de celles du scénario 100 en ce qui concerne le soutien de la crue artificielle et la production d'énergie, mais constitue un scénario contrasté par rapport au soutien de l'étiage, qui est de 200 m³/s à Bakel au lieu de 150 m³/s pour le scénario 100. C'est pourquoi le scénario 102 a été sélectionné pour réaliser des analyses de sensibilité des résultats obtenus.

Par ailleurs, la Société du Canal de Provence (SCP) a réalisé de nouvelles simulations de gestion de l'aménagement de Manantali dans le cadre de ses études d'un Projet de Charte des Eaux, et de l'étude "Coûts-Bénéfices", pour l'OMVS. En janvier 2002, le Haut-Commissariat de l'OMVS a demandé à la SCP de retenir 3 scénarios de gestion pour l'analyse multicritères, dénommés 3byc, 4ayt et 4byc.

Ces trois scénarios apparaissent relativement similaires entre eux, et se distinguent des scénarios 100 et 102 par un soutien d'étiage plus fort en début de saison sèche, un soutien de la crue artificielle plus faible et une production d'énergie plus forte. Nous avons également retenu les **scénarios 3byc, 4ayt et 4byc** pour réaliser des analyses de sensibilité supplémentaires des résultats.

L'ensemble des scénarios IRD et SCP constitue un éventail assez large de modes de gestion potentiels du réservoir de Manantali. Ces scénarios doivent être considérés comme des modes de gestion à long terme, et sont utiles pour éclairer les autorités en charge de la répartition de la ressource de Manantali entre usages parfois contradictoires. Cependant la réalité de la gestion de Manantali au cours des 10 ou 20 prochaines années, ne ressemblera pas à un seul scénario particulier, mais sans doute à un mélange de ces scénarios, en fonction des besoins à court terme des pays de l'OMVS, liés à de multiples facteurs comme: la pluviométrie, le rythme de développement de l'irrigation, la demande en énergie électrique, les crues naturelles à l'aval de Manantali, etc.

Au stade de ces études de faisabilité des ouvrages de seconde génération, ces scénarios donneront une évaluation suffisamment précise des capacités de production des aménagements envisagés à l'aval de Manantali.

2.2.1.3. Calcul des courbes de débits classés du Sénégal à Gouina

Les apports mensuels au droit du site de Gouina, présentés en tableau 2 de l'annexe A2.1, sont calculés en sommant :

- les débits mensuels sortant de Manantali, calculés selon le scénario de gestion considéré,
- les débits mensuels naturels à Oualia,
- les débits mensuels naturels du bassin versant intermédiaire entre Manantali, Oualia et Gouina.

On notera les contributions moyennes suivantes des différents bassins versants :

Bassin versant	Module juin 1950-mai 1999 (m ³ /s)	Minimum annuel 1951-1998 (m ³ /s)	Maximum annuel 1951-1998 (m ³ /s)
Bafing à Manantali	292	104	512
Bakoye à Oualia	124	14	303
BV intermédiaire entre Manantali, Oualia et Gouina	17	-39	93
Total à Gouina	433	148	781
BV intermédiaire entre Gouina et Kayes	10	-14	34
Total à Kayes	443	149	798

Nota : les minima et maxima des différents bassins versants ne sont pas observés les mêmes années, si bien que les minima et maxima à Gouina et Kayes ne sont pas égaux à la somme des minima et maxima de leurs bassins versants.

La série chronologique des débits mensuels calculés à Gouina est présentée en figure 2.5 pour le scénario 100.

La courbe des débits mensuels classés à Gouina est présentée en figure 2.6, pour les scénarios de gestion de Manantali 100, 102, 3byc, 4ayt et 4byc.

Les variations saisonnières du débit mensuel à Gouina, en supposant Manantali géré selon le scénario 100 ou le scénario 4byc, sont illustrées sur les figures 2.7 et 2.8 (scénario 100), et les figures 2.9 et 2.10 (scénario 4byc).

Les débits mensuels moyens sur la période 1950-1999 au droit du site sont présentés dans le tableau 2 ci-après, pour les scénarios 99 à 104.

Tableau 2.2 - Gouina : séries d'apports mensuels au site pour différents scénarios de gestion de Manantali, calculés sur 1950 - 1999

	apports à Gouina (m ³ /s)						Moyenne
	Scénario 99	Scénario 100	Scénario 101	Scénario 102	Scénario 103	Scénario 104	
janv	190	307	335	212	234	338	269
févr	161	257	312	193	211	304	240
mars	158	179	252	198	209	241	206
avr	157	162	233	200	207	226	198
mai	153	156	204	193	204	207	186
juin	149	134	180	174	195	167	166
juil	221	194	243	231	249	194	222
août	1 022	874	798	956	873	771	882
sept	1 450	1 346	1 125	1 339	1 286	1 186	1 289
oct	805	817	749	769	779	766	781
nov	447	468	465	442	452	479	459
déc	296	329	349	306	317	361	326
module	434	435	437	434	435	437	435

2.2.2. Détermination des crues de chantier et de projet

Aucune prestation d'un hydrologue de Coyne et Bellier n'était prévue au contrat, car toutes les données hydrologiques devaient être fournies par l'OMVS. Les données sur les séries d'apports du fleuve Sénégal et sur les scénarios de gestion de Manantali nous ont bien été remises par l'IRD. Cependant l'IRD n'a pu fournir aucune analyse des débits de crues attendus au droit des sites ou à la station de Kayes, quelques kilomètres à l'aval de Félou. Il a donc fallu effectuer nous-mêmes une évaluation des crues à partir des données brutes disponibles sur les débits maximums enregistrés aux stations du bassin versant, et à partir des lâchures de Manantali calculées par l'IRD.

Les résultats de l'évaluation des crues de chantier et de projet sont présentés en annexe A2 et sont résumés ci-dessous.

Les fréquences suivantes sont proposées pour la crue de chantier et la crue de projet :

- Crue de chantier : 50 ans,
- Crue de projet : 10 000 ans.

La méthodologie adoptée pour l'estimation des crues usuelles (jusqu'à 50 ans de période de retour) est la suivante :

- à partir des débits journaliers maximums annuels connus à Soukoutali, Oualia et Gourbassy sur la période 1950-1999 et des modules annuels à Bakel connus sur la période 1904-1999, une relation entre le module annuel à Bakel et le pic annuel des trois stations a été trouvée. Ceci a permis d'étendre de 50 à 96 ans les séries initiales des pics annuels des trois stations ;
- l'ajustement de distributions de Gumbel et Galton aux séries complétées a permis de déterminer les pics journaliers annuels de ces trois stations et leur période de retour ;
- la pointe de crue du bassin versant non contrôlé⁽⁵⁾ au droit des sites a été obtenue en sommant les pointes de crue du bassin versant du Bakoye à Oualia et du bassin versant intermédiaire entre Soukoutali, Oualia et le site de Félou. Il est supposé que la sévérité des crues sur le bassin versant intermédiaire est la moyenne des sévérités des crues aux trois stations ;
- les pics annuels du bassin versant non contrôlé au droit du site ont été ensuite combinés avec les débits mensuels maximums sortants de Manantali selon les scénarios de gestion 99 à 104, pour donner les débits de crues usuelles.

Pour les crues rares, on a sommé les pics annuels du bassin versant non contrôlé de période de retour comprise entre 100 et 10 000 ans et les pointes des crues laminées par la retenue de Manantali, calculées comme 75% des pics journaliers annuels de Soukoutali⁽⁶⁾ de même période de retour.

Les débits de crues ainsi déterminés à Félou et Gouina sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 2.3 – Félou et Gouina : débits des crues usuelles (2 à 50 ans)

Période de retour (ans)	Gouina (m³/s)	Félou (m³/s)
2	2 300	2 450
5	3 300	3 400
10	3 900	4 000
20	4 500	4 600
50	5 100	5 200

5 C'est-à-dire hors apports de Manantali.

6 Selon les études antérieures (citées dans l'annexe), le débit à l'aval de Manantali est estimé à 75% du débit amont pour les crues rares.

2.2.3.2. Courbe de tarage aval, détermination de la cote minimale d'accès à l'usine

➤ Données disponibles

La courbe de tarage aval ne dépend que des conditions d'écoulement à l'aval des chutes de Gouina, indépendamment de l'aménagement projeté. La courbe de tarage aval est donc identique pour les variantes G2 et G3.

Deux sources ont été utilisées pour établir la relation cote IGN – débit aval :

- d'une part, l'annuaire hydrologique 1994 établi par la DNHE, dans lequel figurent les débits et les cotes aval correspondantes,
- d'autre part, la monographie du fleuve Sénégal, ORSTOM 1974, qui fournit la courbe de tarage à l'amont des chutes et la correspondance entre les cotes amont et aval.

Les deux courbes issues de ces documents sont regroupées sur la figure 2.15. Cette figure montre un décalage sensible entre les deux courbes, la courbe ORSTOM donnant des niveaux plus élevés que la courbe DNHE.

La *courbe inférieure*, directement obtenue à partir des données DNHE, a deux défauts :

- elle ne s'accorde pas très bien aux faibles valeurs de débits $< 100 \text{ m}^3/\text{s}$;
- la cote du zéro de l'échelle est peu précise (2 références, 48 et 47,6, dans l'annuaire), tout comme la localisation de l'échelle.

La *courbe supérieure* est issue des données de la monographie ORSTOM. Pour les forts débits, elle a été extrapolée par une droite de même pente que la courbe inférieure (DNHE).

La monographie ORSTOM présente un paragraphe complet concernant le tarage de Gouina (pp 113-120). Il décrit un certain nombre d'échelles limnimétriques, placées en amont et en aval des chutes. Celle qui nous intéresse ici se situe au droit du « 2^{ème} bief » à l'aval des chutes, après les premiers rapides. Son zéro est donné dans le repère MFES, qui est apparemment décalé de 72 cm du repère IGN.

La monographie propose une courbe de tarage pour la partie amont. Les correspondances des niveaux mesurés au limnimètre amont et à l'échelle du 2^{ème} bief aval, fournies également dans la monographie, permettent d'établir une corrélation entre les cotes amont et aval. De la courbe de tarage amont et de cette corrélation, on déduit la courbe de tarage aval.

On constate que l'écart entre les deux courbes est relativement significatif dès les valeurs faibles de débit, et atteint environ 1,50 m pour des débits de l'ordre de $2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$. Les

données dont nous disposons pour la présente étude ne permettent pas de départager les deux courbes. Cette incertitude devra être levée par les reconnaissances complémentaires en phase d'APD (avant-projet détaillé).

➤ *Cote minimale pour l'accès à l'usine*

L'accès à la future usine de Gouina doit être hors d'eau pour la crue de projet.

Cette crue a été définie comme étant la crue décamillénaire (cf. § 2.2.2.), d'un débit de 10 600 m³/s. Pour ce niveau de crue, et pour la courbe de tarage supérieure (ORSTOM), donc la plus conservatrice en terme de niveau, l'eau atteint quasiment 58,3 dans le 2^{ème} bief à l'aval des rapides. Dans le 1^{er} bief (entre les chutes et les rapides) pour lequel on ne dispose pas de mesure, on estime ce niveau au plus à 61.

Compte tenu des incertitudes détaillées ci-avant, on retiendra la cote 61 comme **cote minimale pour l'accès à l'usine de Gouina**.

➤ *Courbe de tarage retenue pour l'estimation du productible*

La courbe supérieure (ORSTOM), dans la mesure où elle a tendance à surestimer la hauteur aval, donc à sous-estimer la hauteur de chute, est la plus conservatrice. C'est donc celle qui est adoptée pour l'estimation du productible.

Cette courbe de tarage aval est tracée pour les valeurs courantes de débits en figure 2.13.

2.2.3.3. *Synthèse des courbes de tarage et de la chute brute disponible*

Le tableau 2.5 ci-après présente les hauteurs amont et aval (2^{ème} bief) et la hauteur de chute à Gouina pour quelques débits courants et la crue décamillénaire. Les hauteurs amont sont déterminées en considérant que le débit est turbiné à concurrence du débit d'équipement (cf. figure 2.14).

Tableau 2.5 – Courbes de tarage et chute brute

Q _{total} (m ³ /s)	Z _{aval} (m)	G2 (z _{seuil} = 70)			G3 (z _{seuil} = 75)		
		Q _{déversé} (m ³ /s)	Z _{amont} (m)	H _{brute} (m)	Q _{déversé} (m ³ /s)	Z _{amont} (m)	H _{brute} (m)
0	47,77	0	70,00	22,23	0	75,00	27,23
100	49,24	0	70,00	20,76	0	75,00	25,76
200	49,90	0	70,00	20,10	0	75,00	25,10
500	51,07	0	70,00	18,93	0	75,00	23,93
1 000	51,94	400	70,53	18,59	300	75,44	23,50
1 500	52,61	900	70,92	18,31	800	75,85	23,24
2 000	53,07	1 400	71,23	18,16	1 300	76,17	23,10
2 500 (T > 2 ans)	53,38	2 900	71,51	18,13	1 800	76,45	23,07
10 600 (P.H.E.)	58,32	10 000	74,59	16,27	9 900	79,59	21,27

2.2.4. Apports en sédiments

Les mesures de teneur en matières en suspension (M.E.S.) dont nous disposons proviennent essentiellement de l'étude de Bader et Lamagat - Contribution à l'étude du schéma hydraulique de Podor, au Sénégal, volet Hydrologie (1996)⁽⁷⁾, elle-même basée sur les publications de Gac et Kane (1985)⁽⁸⁾ et Kattan, Gac et Probst (1987)⁽⁹⁾. Elles sont reprises dans les tableaux 2.6, 2.7 et 2.8 ci-après.

Il a été observé à Bakel⁽¹⁰⁾ et à Saint-Louis que les concentrations maximales en matières en suspension s'obtiennent en montée de crue, avant la pointe.

La figure 2.15 rappelle les apports annuels à Kayes (source : IRD), peu différents des apports à Bakel. On note que les années 1979-1984 sont parmi les plus sèches des dernières décennies.

7 Bader J.C., Lamagat J.P. ORSTOM/BRL. Montpellier, nov. 1996. 62 p.

8 Gac J.Y., Kane A., 1985 – Les flux continentaux de matières particulaires et dissoutes à l'embouchure du Sénégal (station de Saint-Louis). ORSTOM Dakar, 79 p.

9 Kattan Z., Gac J.Y., Probst J.L., 1987 – Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal basin : estimation of the surface runoff concentration and relative contribution of channel and slope erosion. Journal of Hydrology, 1987 n°92, p.59-76.

10 Mandin R. – Rapport sur les mesures de débit solide à Dagana, Bakel et Fadougou. rapport MAS, Saint-Louis, 6 p.

Tableau 2.4 - Félou et Gouina : débits des crues exceptionnelles (100 à 10 000 ans)

Période de retour (ans)	Gouina (m ³ /s)	Félou (m ³ /s)
100	6 600	6 700
200	7 200	7 300
500	8 000	8 100
1 000	8 600	8 700
10 000	10 600	10 800

2.2.3. Courbes de tarage

Dès le stade préliminaire des études, une attention particulière a été portée à la détermination de la chute disponible en fonction du débit total dans le fleuve. En effet, le site de Gouina est caractérisé par une chute relativement faible, et par des variations importantes du niveau d'eau à l'aval des chutes.

2.2.3.1. Courbes de tarage amont

Lorsque le barrage déverse, la loi hauteur-débit à l'amont du seuil est imposée par le seuil et suit une loi du type :

$$Q = 1,8 * L * (z - z_{\text{seuil}})^{3/2}$$

avec Q (en m³/s), débit déversant sur le seuil, L (m), longueur déversante du seuil, et z et z_{seuil} (m) respectivement la cote du plan d'eau et la cote du seuil.

Les caractéristiques des seuils déversants pour les variantes G2 et G3 sont les suivantes :

- G2 : z_{seuil} = 70 ; L = 570 m,
- G3 : z_{seuil} = 75 ; L = 570 m.

Les deux courbes de tarage correspondantes sont présentées en figure 2.11, et se trouvent résumées dans le tableau « Synthèse des courbes de tarage » ci-après.

Tableau 2.6 – Moyennes mensuelles de concentration en M.E.S. à Bakel (mg/l)

mois/ année	mai	juin	juill.	août	Sept	oct.	nov.	déc.	janv	févr.	mar.	Avr.	moy
1979-1980	40	55	145	205	210	71	19	13	17	27	19	30	157
1980-1981	34	161	333	302	174	62	31	60	47	18	32	20	208
1981-1982	6	65	421	199	163	55	28	20	12	16	7	13	175
1982-1983	14	21	267	194	144	86	21	18	46	48	30	9	149
1983-1984	9	722	505	258	162	114	57	47	41	48	27	26	239
moy.	29	363	351	323	171	76	28	26	31	31	22	20	185

Tableau 2.7 – Quantité de M.E.S. ayant transité à Bakel (tonnes)

Mois/ année	mai	juin	juill.	août	Sept	oct.	nov.	déc.	janv.	févr.	mar.	avril	total
1979-1980	180	6030	119452	544927	717594	108812	14202	3465	1921	1126	210	135	1484824
1980-1981	51	9036	282819	1309947	904090	79682	15248	13402	4880	686	392	66	2634563
1981-1982	5	5890	496802	1009370	710664	94988	16054	4589	1402	655	90	49	2340000
1982-1983	21	18	178649	605657	493091	125108	11812	3203	4262	1661	313	32	1422400
1983-1984	5	145325	527345	481937	343397	129851	19976	6697	2632	963	177	80	1656000
moy.	52	33260	321013	790368	633767	107688	15458	6271	3019	1018	236	72	1907557

Tableau 2.8 – Granulométrie moyenne des échantillons de matières en suspension

	argile ($< 2 \mu$)	limons très fins ($2 \text{ à } 5 \mu$)	limons fins ($5 \text{ à } 10 \mu$)	limons moyens ($10 \text{ à } 20 \mu$)	limons grossiers ($20 \text{ à } 50 \mu$)	sable ($> 50 \mu$)
%	76,0	14,2	5,0	2,6	1,9	0,3

Les graphiques des figures 2.16 et 2.17 mettent en regard la concentration en M.E.S. à Bakel ou la quantité de M.E.S. ayant transité à Bakel avec les apports à Kayes. On note que les concentrations maximales s'obtiennent en montée de crue (juin-juillet), avant la pointe de crue (août-septembre).

L'analyse de ces mesures permet de tirer les conclusions suivantes :

- i) l'ordre de grandeur des mesures disponibles, même si elles proviennent de seulement 5 années (1979-1984), par ailleurs parmi les plus sèches des dernières décennies, indique que la concentration en matières en suspension est très modérée. On est en effet loin des 40 ou 50 g/l mesurés dans certains fleuves d'Afrique du Nord ou des Andes.
- ii) les mesures disponibles ne concernent que les matières en suspension, et ne donnent pas d'indication sur la charge de fond. L'analyse de la bathymétrie du lit du fleuve à Kayes, à Gouina ou à Félou montre que la charge de fond est quasiment inexistante : on y observe en effet des surcreusements atteignant localement (aval des rapides de Félou) une trentaine de mètres, qui seraient comblés par les apports solides si ceux-ci représentaient un débit significatif de sables grossiers et de graviers.
- iii) les matières en suspension sont pour la plus grande partie composées d'argiles et de limons fins à très fins. Les vitesses de passage de l'eau dans les groupes de type bulbe étant modérées, il est tout à fait acceptable de laisser passer dans les groupes la totalité des apports solides, sans avoir besoin de les éliminer par décantation et chasse.
- iv) on veillera seulement à prévoir pour le canal d'amenée les dispositifs permettant de faciliter l'élimination des sédiments les plus fins, qui risquent de se déposer lors de phases de fonctionnement partiel de l'usine, c'est-à-dire pour de faibles vitesses d'écoulement de l'eau dans le canal.

2.3. Géologie

2.3.1. Préambule

Les sites de Félou et de Gouina, sur la section amont du fleuve Sénégal, sont tous deux localisés dans le vaste bassin de Taoudénit qui constitue une seule entité géologique d'âge très ancien. Le substratum est sédimentaire avec une prédominance gréseuse qui confère une morphologie typiquement tabulaire à l'ensemble de la région. Dans ce contexte uniforme, les caractéristiques générales des deux sites, tant lithologiques que structurales, s'avèrent très semblables. Le chapitre 2.3.2. traite de la géologie régionale tandis que les spécificités des conditions naturelles d'aménagement du site de Gouina seront analysées dans les chapitres 2.3.3. à 2.3.5.

Voir aussi le plan GO-009 pour la carte géologique du site de Gouina.

2.3.2. Géologie régionale

La lithostratigraphie régionale (Bassin de Taoudenit) consiste en une puissante série sédimentaire arénacée, litée horizontalement, d'âge infracambrien. La séquence, dite des Grès de Sadiola (GS) est principalement composée de bancs de grès quartzeux, parfois glauconieux, progressivement intercalés, vers le haut de la série, par des lits de pélites bicolores (verts et violets) puis coiffés par une unité de grès fins à stratification entrecroisée. Cette séquence, épaisse de plusieurs centaines de mètres (300 m) est surmontée par une puissante formation gréseuse (Cg) qui contient quelques horizons de dépôts glaciaires (tillites) qui marquent la fin de l'ère infracambrienne.

Comme pour l'ensemble de la séquence sédimentaire régionale, la stratification des grès quartzeux est horizontale. Un très faible pendage de quelques degrés vers le Nord peut être quelquefois mesuré. Plusieurs formations intrusives (sills doléritiques) plus ou moins épaisses, et en conformité avec la stratification, interrompent l'uniformité des séries sédimentaires gréseuses. Dans les zones de contact avec les sills, les bancs de grès et de pélites ont été métamorphisés en roche quartzitique plus résistante que les grès quartzeux environnants.

La pérennité de la stratification horizontale de la série sédimentaire, depuis l'Infracambrien, témoigne de la longue absence d'évènements tectoniques majeurs dans l'ensemble du Bassin du Sénégal. La structure tabulaire n'a été affectée que par une tectonique de type cassante le long d'accidents rectilignes et verticaux, de grande extension, qui ont découpé le socle en grands compartiments suivant une géométrie uniforme à l'échelle régionale. Ces compartiments ont pu être localement décalés les uns par rapport aux autres suivant le processus d'effondrement en graben. C'est le long de certains de ces accidents rectilignes que se sont produites les remontées magmatiques qui ont injecté, en sills, les séries gréseuses.

Les sols d'altération de type latéritique argileux sont très peu développés sur ce substratum essentiellement arénacé qui s'érode principalement en matériau sableux. Les débris d'érosion sont le plus souvent accumulés au pied des escarpements sous forme de talus d'éboulis dont la granulométrie s'étale des blocs aux sables. Les dépôts meubles les plus fréquemment rencontrés sur les rives du fleuve correspondent aux alluvions et accumulations de crues sous forme d'horizons de silts et de plages de graviers et de galets. L'épaisseur des alluvions fines ou grossières dépasse rarement un mètre, sauf au droit de certaines fosses d'érosion où l'accumulation sableuse et graveleuse peut exceptionnellement dépasser deux mètres.

La bonne qualité intrinsèque de la fondation gréseuse saine qui est présente à très faible profondeur sur l'ensemble du bassin, conduit à penser que l'étanchéité des futurs réservoirs de barrage est garantie. Cette hypothèse est déjà, en partie, confirmée par l'existence des réservoirs de barrages existants sur le territoire malien, dans ces mêmes formations arénacées (Manantali et Sélingué).

Les potentialités hydroélectriques de chacun des sites de Félou et de Gouina ont déjà été explorées dans le passé. A ce titre, des travaux géologiques de cartographie et de

reconnaisances de terrain ont été réalisés et ont fait l'objet de rapports de préfaçabilité. Ces rapports et leurs annexes constituent des références (cf. chapitre 2.3.6.) indispensables qui ont été dûment utilisées pour réaliser l'analyse des conditions géologiques du site de Gouina présentée dans le chapitre suivant.

2.3.3. Géomorphologie du site de Gouina

La prédominance des affleurements de grès stratifiés suivant un litage subhorizontal imprime un relief tabulaire à l'ensemble du site. La rive droite est escarpée suivant une succession de gradins rocheux, hauts d'une dizaine de mètres. La rive gauche remonte très progressivement en suivant la superposition de longues dalles horizontales de grès, partiellement couvertes d'une mince couche de sols d'altération. Dans le lit du fleuve, le rocher est partout présent à faible profondeur sous forme de grandes dalles de grès superficiellement marquées par les effets de l'érosion fluviale.

Ces grandes dalles de grès horizontales sont structurales et correspondent à la surface des bancs. Elles sont recoupées et découpées par le réseau des plans de diaclases, toutes verticales ou subverticales. Ce réseau très géométrique emprunte des directions majeures soit longitudinales, amont-aval, soit transversales à la vallée. C'est lui qui a induit le découpage local des affleurements rocheux en blocs, en dièdres et en talwegs (entailles topographiques). Il est, en particulier, à l'origine du long escarpement des chutes, sur toute la largeur du fleuve ainsi que des multiples reliefs secondaires, en forme de petits « canyons » qui remontent latéralement dans les affleurements rocheux de rive gauche.

Au pied des chutes, le fleuve court en rapides sur un rocher plus sombre et moins découpé géométriquement que les bancs de grès. Il s'agit d'un massif doléritique, intrusif dans la série gréseuse régionale. Ce rocher doléritique a mieux résisté que les grès lités aux effets de l'érosion régressive et a ainsi généré, en amont, les escarpements des chutes de Gouina et, en aval, le resserrement topographique du site du « petit Gouina ».

Dans le contexte tectonique régional marqué par les rejeux normaux de longs linéaments (failles) rectilignes, les formations rocheuses du site sont découpées par un réseau de diaclasage vertical qui se conjugue aux joints horizontaux de stratification. Les deux orientations principales de ce réseau de fractures sont SO-NE (presque orthogonale à la direction du fleuve) et SE-NO (quasi amont-aval). Ces directions majeures sont bien identifiables à l'examen des photographies aériennes (cf. réf.4) qui révèlent la présence de plusieurs linéaments conjugués qui ont influencé la structure du site dont celui (SO-NE) qui est à l'origine de l'escarpement des chutes et de la dépression topographique qui le prolonge en rive gauche. La trace d'un linéament majeur, de direction SSE-NNO, qui recouperait le site des chutes depuis l'amont, rive gauche, jusqu'en aval, rive droite de l'axe du Petit Gouina (réf.2), n'est pas directement identifiable sur le terrain.

La région de Kayes-Bafoulabé comme celle de l'ensemble du bassin du Sénégal est située dans une zone à très faible activité sismique. La valeur régionale la plus généralement admise pour l'accélération maximale au sol est 0.03g. C'est cette valeur qui a été retenue

pour les différents projets et réalisations de barrages dans le secteur du Mali ainsi que du Sénégal et de la Guinée.

2.3.4. Le rocher de fondation

2.3.4.1. Reconnaissances réalisées

Les potentialités du site des chutes de Gouina et de celui du Petit Gouina ont fait l'objet de travaux de reconnaissance sur le terrain et en laboratoire ainsi que d'un levé géologique détaillé de bonne facture. Les investigations furent les suivantes :

- 3 profils géophysiques par sismique réfraction,
- 5 sondages carottés : GN1, GN2 et GN13 en amont et au large des chutes ; GN14 et GN15 au droit du site du Petit Gouina,
- 2 puits de reconnaissance des matériaux de surface, en rive gauche des chutes, avec prélèvements d'échantillons et quelques analyses en laboratoire : granulométrie, identification, Proctor puis essai triaxial consolidé non drainé, œdomètre avec mesure de perméabilité (Réf.2, pp.2-24/2-25).

Certains des résultats de ces divers travaux ne sont plus disponibles mais ils furent exploités dans le rapport préliminaire établi par Sénégal-Consult (Réf.1 et 2) qui sert de référence au présent rapport.

2.3.4.2. Lithologie

Le long escarpement des chutes de Gouina, vertical et transversal au cours du fleuve, est entaillé dans la série des grès infracambriens (Précambrien sup.). Il a été généré par les effets de l'érosion régressive sur un substratum sédimentaire tabulaire et découpé par un réseau géométrique de fracturation verticale. Parmi les multiples faciès gréseux identifiés dans la séquence sédimentaire locale de l'Infracambrien, on peut en reconnaître trois qui sont : les grès siliceux, à grain très fin, avec de fréquentes figures de stratification entrecroisée, les grès quartzeux, à grain fin, lités et massifs, et les grès pélitiques, rubannés gris et blancs. Bien que durs et compacts, les grès pélitiques sont des roches argileuses, à tendance schisteuse, ferrugineuses et assez riches en carbonates qui forment des passées finement stratifiées. Elles ont moins bien résisté à l'érosion que les grès siliceux et les grès quartzeux.

Les affleurements doléritiques qui barrent partiellement la vallée, juste à l'aval des chutes, sont typiquement intrusifs. Le rocher est de couleur gris foncé, à grain moyen et grossier,

bien cristallisé et très résistant. Sa massivité ainsi que son altération de surface, en feuillets ou plaques de « desquamation », le différencient bien des grès encaissants.

Le resserrement topographique du site du « petit Gouina », à l'aval de la barre doléritique, est typiquement dû au contraste de résistance à l'érosion entre les grès lités et diaclasés, qui ont été « rapidement » entaillés par le fleuve, et la roche doléritique massive sous-jacente dans laquelle le lit actuel du fleuve essaie de s'enfoncer.

D'une façon générale, le substratum est partout affleurant ou subaffleurant sous une couche superficielle de sables sales qui correspondent aux éluvions arénacées du grès. Cet horizon éluvial est plus particulièrement présent en pied de rive gauche des chutes où la surface topographique est peu escarpée et, le plus généralement, ondulée. Dans les secteurs escarpés, comme sur la rive droite du site et au large rive gauche, où les bancs de grès affleurent en gradins, des dépôts d'éboulis se sont accumulés au pied des escarpements. Ces éboulis sont essentiellement formés de blocs anguleux de grès et d'une matrice sableuse.

Hormis les éboulis à blocs, les dépôts en rives sont fins et essentiellement alluviaux. Ce sont des matériaux silto-sableux déposés sur les berges du fleuve à l'occasion des crues. En rive gauche du site, ces sédiments alluviaux sont souvent mélangés avec les dépôts éluviaux superficiels. Néanmoins, dans la zone de dépression topographique de rive gauche qui prolonge l'escarpement des chutes, en face de la barre doléritique intermédiaire, les dépôts alluviaux constituent un horizon silteux, voire même argilo-sableux, de quelques mètres d'épaisseur.

2.3.4.3 Structure

La stratification de la série gréseuse est quasi horizontale. Localement, on peut mesurer un faible plongement des bancs de grès vers l'ONO, c'est à dire vers l'aval, rive droite, du site. L'épaisseur des bancs est le plus généralement décimétrique, voire métrique, et plus localement centimétrique. Les interbancs sont marqués par des joints fins et plans, à matrice pélitique, généralement très bien cimentée. S'ils sont plus épais qu'un centimètre, ces joints deviennent des interlits pélitiques bien consolidés et indurés.

Le réseau de diaclases comprend deux familles dominantes de plans verticaux ou subverticaux, de grande extension, plans à faiblement ondulés et lisses à rugueux : **NE-SO** suivant N.040 (030-050°E), transversaux à la vallée, et **SE-NO, amont-aval**, suivant N.135 (130-140°E). Leur densité et leur fréquence sont d'ordre métrique à décamétrique dans le secteur des chutes (site du barrage) car très influencées par la proximité des accidents majeurs qui sont à l'origine de la structure géologique locale. Une série secondaire de plans de fracturation, alignés sur les deux autres directions tectoniques régionales, **N-S** (350-010°E) et **E-O** (N.110°E), apparaît plus développée dans les affleurements situés en aval des chutes et dans les rives. Les plans de diaclases sont très généralement sains, sans dépôt d'altération sauf dans les grès de contact métamorphisés (par la dolérite) en quartzites dans lesquels pyrite et calcite sont cristallisées en abondance.

2.3.5. Géologie appliquée à l'aménagement

2.3.5.1. Le barrage

- Fondation au rocher

L'ouvrage de retenue qui devrait être un mur de béton, partiellement déversant, de faible hauteur, sera fondé directement au rocher, juste en amont des chutes. Ce rocher, gréseux à grain fin, est présent à faible profondeur sur toute la largeur du lit du fleuve et affleure sous forme d'îlots à moins de 250 m en amont des chutes. Il n'est recouvert d'aucune sorte de dépôts meubles ni d'alluvions mais éventuellement de quelques blocs rocheux. La fondation rocheuse sera directement saine, sans aucune frange superficielle d'altération, dans le lit du fleuve. Elle est formée de grandes dalles de grès dont la surface ne sera pas plane mais « taraudée » par l'érosion fluviale conjuguée au découpage géométrique suivant les joints verticaux du diaclasage dont les plus influents seront les plans orientés amont-aval (SE-NO et E-O).

- Conditions naturelles de stabilité

Les joints de stratification, bien que horizontaux, ne seront pas défavorables à la stabilité de l'ouvrage parce qu'ils sont espacés (fréquence supérieure à plusieurs décimètres) et, pour la plupart, bien fermés et fortement cimentés. De surcroît, ils ne seront pas ou peu sollicités par les contraintes imposées par l'ouvrage à construire dans la mesure où la taille de celui-ci est réduite. De même, le réseau de diaclasage qui ne découpe que verticalement la fondation gréseuse n'imposera pas de plans de discontinuités défavorables à la stabilité de l'ouvrage. Il est formé de joints qui seront, pour la plupart, fermés parce que déjà localisés dans la partie de fondation massive. Ainsi, il ne s'avère pas nécessaire d'envisager une consolidation de la fondation rocheuse, au droit du lit du fleuve. Cependant, si des excavations de fouilles rocheuses venaient à être réalisées pour des dispositions particulières de conception d'ouvrage, on devra programmer un traitement de consolidation par injection de la partie de la fondation rocheuse qui aura été affectée par les travaux d'excavation.

- Perméabilité de la fondation

Parce que les joints de la stratification et du diaclasage des bancs de grès sont, le plus généralement, fermés, on peut anticiper sur la faible perméabilité de la fondation rocheuse et l'inutilité d'un voile d'injection. Cependant, il est utile de prévoir un contrôle de cette perméabilité par des essais d'eau de type Lugeon à réaliser dans tous les sondages qui seront carottés dans le substratum du site. De leurs résultats dépendra la décision finale pour un traitement de renforcement de l'étanchéité de la fondation rocheuse du barrage. Cet éventuel traitement consistera à réaliser un voile d'injection suivant l'axe du futur ouvrage de retenue, dont l'extension en profondeur ne dépassera pas, en tout état de cause, une vingtaine de mètres.

2.3.5.2. *Le canal*

Depuis sa prise amont, dans l'appui gauche du barrage, jusqu'à sa sortie aval au droit de l'usine, le canal sera d'abord entaillé, sur quelques mètres d'épaisseur, dans les grès fins siliceux puis sur la majeure partie de son trajet dans les grès quartzeux de la rive gauche du site. Il convient de mentionner qu'une partie de sa section aval, plus ou moins longue selon le choix définitif de son tracé et de la position de l'usine, sera excavée dans la roche doléritique.

La stabilité des excavations dans les grès quartzeux, ainsi que dans le rocher doléritique, est garantie par la massivité intrinsèque de la roche. L'incidence des plans de diaclasage sur la stabilité des parois des fouilles rocheuses sera très réduite parce que la majorité de ces plans, qui sont tous verticaux, sont fermés à faible profondeur. L'orientation amont-aval (E-O et SE-NO) d'une partie de ces plans pourra localement influencer le découpage de la fouille tandis que la série des plans conjugués, transversaux à l'axe du canal, ne sera d'aucune influence sur les travaux d'excavation. Tenant compte de la massivité du rocher et du découpage naturel du massif rocheux suivant une série de plans verticaux longitudinaux, on peut raisonnablement envisager un découpage subvertical des talus des fouilles rocheuses du canal. On peut s'attendre à un desserrage local du rocher excavé dans la partie supérieure des talus du canal en raison de la présence de quelques joints de stratification, ouverts et horizontaux, qui nécessiteront des ancrages verticaux de stabilisation.

2.3.5.3. *L'usine*

Elle sera fondée dans les grès quartzeux ou éventuellement dans la dolérite qui est habituellement classée dans les roches de fondation de bonne qualité. Comme sur le site du barrage hydroélectrique de Garafiri (République de Guinée) récemment aménagé, la dolérite de Gouina apparaît très massive et constituera une excellente fondation. Un décapage superficiel de quelques mètres d'épaisseur pour éliminer la frange de rocher altéré, diaclasé et «desquamé» sera nécessaire avant d'entreprendre les excavations de fouilles au rocher massif. La stabilité de ces fouilles suivant des talus verticaux est garantie par la massivité de la roche et l'absence de fracturation ouverte. Un minimum d'ancrage et de protection des talus est à prévoir. Il conviendra de confirmer par une série de sondages de reconnaissance préalable à la construction, la bonne qualité de la roche et d'en contrôler la perméabilité afin d'anticiper sur les dispositions de chantier et de drainage.

2.3.5.4. *Les matériaux de construction*

La conception envisagée d'un ouvrage de retenue en béton, conventionnel ou compacté au rouleau, ainsi que d'un bâtiment d'usine, conduit à rechercher essentiellement des matériaux rocheux pour la production d'agréats. Dans la zone du site, il est certain que les affleurements de grès constituent d'abondantes sources de ce matériau dont il conviendra, cependant, de contrôler la qualité en raison des variations lithologiques qui caractérisent la

séquence des Grès de Sadiola. Certains faciès de ces grès sont mal cimentés, tandis que d'autres sont très quartzeux et abrasifs et d'autres encore contiennent de trop fréquentes intercalations pélitiques.

Une première source évidente d'approvisionnement en matériaux rocheux consistera à utiliser les déblais des excavations du canal et de l'usine. Ce seront des blocs de grès pour une grande part du canal puis de dolérite, pour la partie aval du canal et les fouilles de l'usine, qui constitueront un matériau particulièrement apte à produire des agrégats de bonne qualité. On pourrait envisager de n'exploiter que les affleurements doléritiques en ouvrant une carrière dans la rive gauche du site, à peu de distance des différents ouvrages de l'aménagement.

L'approvisionnement en sables proviendra, le plus sûrement, du concassage des grès ou de la dolérite car les plages alluviales sableuses ne sont pas directement présentes dans la zone du site. De plus ces dépôts alluviaux sont « sales » tout comme les dépôts d'altération arénacés qui tapissent les rives du fleuve.

Enfin, le ciment nécessaire proviendra certainement de la cimenterie de Rufisque (Sénégal), le transport étant assuré par le chemin de fer. En effet, l'ancienne cimenterie de Diamou, très proche du site de Gouina, n'est plus en fonctionnement et ne pourra vraisemblablement pas être remise en route avant le démarrage des travaux.

2.3.6. Références

- a. Aménagements de Galougo, Petit Gouina et Félou, Projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du haut Sénégal ; Etude de pré-investissement, Vol.6, *Sénégal Consult*, 1970.
- b. Aménagements de Galougo, Petit Gouina et Félou, Projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du haut Sénégal ; Etude de pré-investissement, Vol.9, géologie-sondages, *Sénégal Consult*, 1970.
- c. Plan directeur du secteur de l'électricité, étude de pré faisabilité, sites de Gouina et Félou ; Rapport définitif, *Tractionnel Electrobél Engineering*, Janvier 1988.
- d. Photos aériennes, série AO 1959–1960 - 44/100, échelle : 1/10 000, site des chutes de Gouina.

2.4. Caractéristiques environnementales

2.4.1 Définition de la zone d'étude

Les chutes de Gouina, qui font l'objet du présent projet d'aménagement hydroélectrique, sont situées dans la 1^{ère} région administrative (Kayes), dans le cercle (équivalent à des préfectures) de Kayes et dans la commune de Diamou (voir les plans GO-003 à GO-008). A la plus haute cote étudiée (G3 : $z_{\text{seuil}} = 75 \text{ m}$), la zone d'emprise du réservoir est incluse dans la commune de Diamou, jusqu'au terroir du village de Talari, vers l'est. En amont de Galougo, l'emprise du réservoir et l'effet de remous touchent la commune de Bafoulabé, jusqu'aux abords immédiats de la ville de Bafoulabé (gué de Djougamagia). La commune dépend du cercle de Bafoulabé, appartenant également à la région de Kayes. Le projet s'inscrit donc dans un cadre intercercle et intercommunal.

La zone d'étude considérée est l'aire géographique susceptible de subir des effets directs et indirects du fait de la construction et de l'exploitation de l'ouvrage, de la gestion de la retenue, de la production hydroélectrique ainsi que de la réinstallation des populations.

La zone d'étude considérée pour l'analyse des variantes couvre donc : i) l'emprise du réservoir de Gouina, incluant les terroirs et sites villageois submergés totalement ou en partie par la retenue, à la cote de retenue normale (RN); ii) les terroirs et villages submergés totalement ou partiellement par le remous pour des crues exceptionnelles, de fréquence cinquantennale; iii) la zone d'implantation des ouvrages, du chantier, les accès au chantier, le site de déchargement ferroviaire; iv) les zones d'emprunt et de stockage des déblais; v) le couloir de la ligne de transport électrique et sa zone d'influence paysagère ; vi) la zone aval de Gouina dans la limite de l'influence des changements significatifs de régime hydraulique du fleuve; vii) les zones de réinstallation de la population déplacée; et viii) les zones d'habitation et d'activité susceptibles d'être affectées, notamment par les transports, l'afflux de population ouvrière et une immigration spontanée généralement constatée dans ce type de projets. Les villes concernées sont Diamou, en aval, Bafoulabé (centre administratif) et Mahina (gare ferroviaire et centre commercial) en amont, ainsi que le site pressenti comme site de déchargement ferroviaire et les autres villages et hameaux susceptibles d'être concernés par les impacts ci-dessus (voir liste en annexe 4.1). La zone d'étude est représentée sur les plans GO-006 à GO-009.

En ce qui concerne la ligne d'évacuation de l'électricité produite, la présente étude ne considèrera le transport de l'énergie de Gouina du site de production jusqu'à la hauteur de la ligne HT existante (branche Ouest du projet Energie de Manantali).

Le découpage de l'escarpement des chutes, dans le lit du fleuve, dessine une ligne brisée qui conjugue les directions principales du diaclasage. Le découpage en «petits canyons» des affleurements gréseux, en bordure de rive gauche, s'effectue préférentiellement suivant la direction tectonique, amont-aval, SE-NO. Le diaclasage vertical des dalles rocheuses, dans le lit du fleuve, peut localement favoriser la pénétration de l'érosion fluviale. Celle-ci peut atteindre un joint horizontal de stratification le long duquel la dalle peut se déchausser partiellement. Ceci explique l'irrégularité de la surface de la fondation rocheuse à laquelle il faut s'attendre dans le lit du fleuve.

Il n'y a pas évidence de faille majeure régionale dans le secteur des chutes. Celle qui a été distinguée dans les études d'avant projet, en rive gauche du site et suivant une direction SSE-NNO, oblique à la vallée, n'est pas directement identifiable sur le terrain ; Il n'y a pas de zone de dépression avec un rocher présentant des caractéristiques mécaniques plus faibles ; Il n'y a pas, non plus, évidence d'un décalage dans la série des grès et des pélites ; Cependant, il s'agit bien d'un linéament rectiligne, en aval des chutes, très apparent sur document aérien et cartographique mais qui n'a pas d'incidence majeure sur le projet d'aménagement.

2.3.4.4. *Caractéristiques du substratum*

- **Qualité**

C'est un grès de type quartzeux qui constituera l'essentiel de la fondation rocheuse du futur barrage déversant, juste à l'amont des chutes, ainsi que de ses ouvrages annexes, implantés en rive gauche. D'après les observations de terrain et le log du sondage ancien GN.2, qui fut réalisé à proximité des chutes, ce grès est gris à gris clair, avec un grain fin à très fin. Il est très dur et massif bien que marqué par des traces subhorizontales de litage. Il constitue une roche de fondation très résistante qui n'apparaît affectée que peu profondément par le diaclasage vertical. Le carottage de ce faciès rocheux a toujours été complet dans les différents sondages effectués dans le secteur du site des chutes de Gouina ainsi que sur d'autres sites (cf. réf.2). On peut estimer que la valeur du RQD, qui n'avait pas été calculée à l'époque de la réalisation de ces sondages, doit être au moins égale ou supérieure à 90. Avec sa forte teneur en quartz, ce faciès gréseux doit être considéré comme particulièrement abrasif.

A quelques mètres au-dessus du lit rocheux du fleuve, au droit des chutes, soit aux environs de la cote 65-70, le faciès gréseux devient plus siliceux à grain très fin. Avec sa lamination apparente, il correspond, sur quelques mètres d'épaisseur, à un faciès pélitique dont la couleur générale est grise avec un rubanement blanc. Ce faciès est dur mais moins résistant que l'horizon quartzeux sous-jacent. La valeur estimée du RQD pourrait être de l'ordre de 60, si l'on se fie aux résultats des anciens sondages et essais d'eau. Ce faciès sera principalement impliqué dans la partie supérieure des fouilles du canal d'amenée et très partiellement dans celles du barrage (appui rive gauche).

2.4.2 *Rappel de l'analyse environnementale des variantes*¹¹

Portée de l'analyse

L'analyse environnementale des variantes a privilégié le critère "cote de la retenue" qui a été étudiée pour les cas suivants: maintien du seuil actuel à la cote 64 m, surélévations de 6 m (RN 70), de 11 m (RN 75) et de 16 m (RN 80). Les impacts susceptibles d'influencer le choix des variantes sont principalement l'inondation permanente ou temporaire (notamment en cas de crues importantes) des zones d'habitation et/ou de cultures. Le débit de référence adopté est celui correspondant au débit d'équipement de chacun des ouvrages de Gouina et de Férou ($Q_E = 600 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la RN 70 et $700 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la RN 75). Le débit de référence pour évaluer les impacts maximums est celui de la crue cinquantennale ($Q_{50} = 5100 \text{ m}^3/\text{s}$).

Variante retenue

La cote 80 m n'a pas été retenue compte tenu de ses impacts possibles sur le village de Galougo et sur la voie ferrée qui le traverse, et de sa moindre performance économique. Bien que restant hors d'eau, la voie pourrait être affectée par la fragilisation des berges. En amont, la ville de Bafoulabé se trouverait aussi affectée par la crue cinquantennale. A l'opposé, le choix du maintien de la cote actuelle n'apporterait pas la rentabilité économique offerte par les autres variantes.

En conclusion de l'analyse des variantes, toutes les solutions avec cote du seuil déversant entre 68 m et 75 m ont été considérées comme très proches de l'optimum économique, vis-à-vis d'un critère de retour sur investissement, et les études de faisabilité ont été réalisées pour les cotes de retenue normale de 70 et 75. La hauteur de barrage (mesurée au seuil) pour ces cotes varierait alors entre 7 et 14 m au-dessus du terrain naturel).

En éliminant la cote la plus élevée (80m) à la suite de l'étude préliminaire¹², les impacts environnementaux de Gouina s'avèreraient a priori relativement limités. En effet, la vallée du fleuve entre Diamou et Bafoulabé est peu habitée et les terres de cultures sont limitées à une zone relativement réduite des rives. Toutefois, l'examen des cotes supérieures à 70 m demandait un approfondissement des reconnaissances en amont de Galougo afin de préciser les impacts additionnels d'une élévation du niveau de la retenue, compte tenu de l'absence de topographie détaillée sur cette zone. Cet approfondissement a été réalisé par une mission de terrain pluridisciplinaire du 4 au 12 décembre 2003.

¹¹ Se reporter au Rapport intermédiaire de Phase 1, Coyne-et-Bellier, octobre 2001, chapitre 3.

¹² Idem

2.4.3 Situation environnementale de référence

2.4.3.1. Préambule

La situation de référence est celle qui prévaut au moment de l'étude. L'évaluation des impacts de l'aménagement de Gouina sera donc réalisée en considérant comme acquis les aménagements antérieurs ou en cours et n'a pas à évaluer leurs impacts qui ont été, ou qui auraient dû être, évalués par ailleurs. Depuis 1987, la régularisation partielle du fleuve Sénégal par le barrage de Manantali est considérée (sans que souvent l'on puisse apporter des justifications dans un sens ou dans l'autre), comme la source de nombreux impacts négatifs tels que : érosion des berges, perturbation du cycle de reproduction des poissons, réduction de la production halieutique, forte pression anthropique sur les ressources naturelles, qualité de l'eau, décès accidentels, etc.

Le projet de Gouina n'a pas – en conséquence – à atténuer ou compenser les éventuels impacts environnementaux résiduels du projet d'aménagement de Manantali (barrage et ligne ouest). En outre, dans la mesure où le projet de route bitumée Kayes-Bafoulabé, dont la mise en service est prévue en 2007, a été déjà étudié et a donné lieu à sa propre étude d'impact environnemental¹³, les impacts de ce projet sont réputés atténués et compensés¹⁴ à l'horizon 2007. Il importe que dans tout le processus d'aménagement de Gouina, ses propres impacts soient bien distingués des impacts des autres projets afin d'éviter les amalgames abusifs entre dégradation sociale ou écologique et le projet d'aménagement de Gouina.

2.4.3.2. Domaines physique et biologique

Climat

La commune de Diamou a un climat soudano-sahélien chaud et sec. En se rapprochant de Bafoulabé, le climat évolue vers des caractéristiques nord-soudaniennes, avec une pluviométrie annuelle atteignant 900 mm à Bafoulabé et une courte saison des pluies unique, de juin à septembre. Pendant la saison sèche, la zone est soumise à l'harmattan.

Hydrologie

Le régime du fleuve Sénégal au droit du site est déjà un régime artificialisé par l'exploitation du barrage à buts multiples de Manantali, sur le Bafing, depuis 1987. Le Bafing est rejoint à Bafoulabé par le Bakoye, ces deux rivières formant alors le fleuve Sénégal. Le Bakoye n'est

13 *Etudes techniques d'exécution de la route Kayes-Bafoulabé (160 km) - Rapport de factibilité - Annexe B: rapport de l'étude d'impact environnemental – Pan Arab Consulting Engineers, Société d'études et d'applications techniques – Octobre 2002.*

14 *Toutefois une évaluation des impacts cumulés de ces deux projets se justifierait entièrement mais dépasserait le cadre de la présente étude.*

pas aménagé et contribue actuellement aux débits du fleuve Sénégal pour moins d'un tiers. La moyenne annuelle des débits du Bakoye est de 124 m³/s à Oualia et celle du Bafing, en aval immédiat de Manantali, est de 292 m³/s. Les apports du bassin intermédiaire entre Gouina et ces stations sont de 17 m³/s environ. Le site de Gouina se situe à environ 53 km en aval de la confluence entre le Bakoye et le Bafing.

Relief et sols

Le site d'implantation de l'aménagement hydroélectrique est organisé autour des chutes de Gouina, qui atteignent une hauteur de 11 mètres et barrent le lit du fleuve. Après un plan d'eau d'une profondeur importante, des rapides peu élevés complètent la hauteur de chute naturelle totale de 14 mètres. L'aval des chutes est encaissé et ouvre ensuite sur une vallée plus élargie à hauteur de Diamou. L'amont des chutes est constitué d'une vallée relativement étroite avec une succession de zones encaissées, avec rapides, et de zones plus larges, partiellement cultivées.

Hors des zones rocheuses caractérisant les parties encaissées du lit, les berges sont constituées d'une épaisseur importante d'alluvions friables. L'on distingue une berge à forte pente, bouleversée et correspondant à la hauteur atteinte par les crues, puis un replat plus ou moins étendu, atteint par les crues exceptionnelles. Une île de 600 ha, sur laquelle est implanté le village de Foukara-Ile, se situe à environ 7 km en amont des chutes.

En rive gauche, l'emplacement du site de l'usine est un terrain rocheux, recouvert d'alluvions et libre de toute occupation humaine. Il est peu propice à l'agriculture et relativement boisé. Ce terrain est suffisamment étendu pour accueillir les ouvrages définitifs de l'aménagement de Gouina (cités, canaux, usine, installations d'exploitation, voirie) et les installations de chantier provisoires. Les villages les plus proches (Foukara Rive Gauche et son vis-à-vis, Foukara-Ile) se situent à 7 km en amont. La rive droite n'est pas accessible par route. Elle présente des pentes vives (60 % selon Sénégal Consult), entre la vallée fluviale et des terrasses culminant à 305 m alors que le plan d'eau de Gouina se situe à 64 m. Bafoulabé se situe dans une plaine basse étendue s'amorçant en amont du défilé de Galougo.

L'aptitude agricole des sols est globalement agro-pastorale et variable selon les zones. Les sols agricoles se rencontrent essentiellement sur les bourrelets de berge dans les formations sablo-limoneuses des terrasses fluviales et dans une moindre mesure, dans les glacis d'accumulation à pentes faibles. Quelques bas-fonds accumulant l'eau de ruissellement (exceptionnellement, les apports des crues) présents en aval de Bafoulabé sont également exploités par la riziculture. Ces bas-fonds sont moins développés dans la commune de Diamou où de tels sites, ainsi que des marigots, sont néanmoins exploités en riziculture traditionnelle.

Végétation, flore et faune

En rive gauche du site de Gouina prédomine une bande de savane verger, avec dégradation anthropique, puis une savane boisée, en particulier dans la forêt classée de Bagouko, montrant un couvert végétal atteignant 100 %. En rive droite, l'on atteint immédiatement les zones de plateaux avec glacis de dénudation et roche à nu. L'on observe également des formations forestières ripicoles étroites avec roniers.

La flore remarquable citée par le service de la conservation de la nature (Bafoulabé) inclut des espèces exploitées en raréfaction telles que le baobab, le karité, le *galama* (*Anoguesseus leiocarpus*), l'ébène du Sénégal (*Dalbergia malanoxylon*), le cailedrat (*Kaya senegalensis*), le ronier.

La rive gauche est marquée par la présence de la forêt de Bagouko d'une superficie de 17 250 ha (voir plan GO-007), classée en 1956. Elle représente 44 % du total des surfaces de forêts classées de la région de Kayes. Initialement dévolue à l'approvisionnement en bois de combustible du chemin de fer, cette forêt n'a bénéficié jusqu'à présent d'aucune mesure de gestion de la flore ni de la faune et son objet initial est caduc. Sa composition floristique et faunistique n'est pas connue en détails; l'acacia domine et elle n'abriterait pas d'espèces endémiques. Elle est placée sous le contrôle d'un agent forestier basé à Diamou. La végétation subit des pressions importantes et anciennes par prélèvements dus à la cueillette, à la chasse et à l'exploitation de l'ébène dont le chemin de fer facilite le transport vers les centres de transformation. La Direction régionale de la conservation de Kayes note aussi que cette forêt classée constitue l'extrémité orientale d'un corridor Diamou-Sadiola-zone d'intérêt cynégétique de la Falémé (au Sénégal), avec une double vocation de réserve de faune et de tourisme cynégétique des sites forestiers situés dans ce corridor.

La faune signalée par les habitants et par les services de conservation de la nature est constituée d'hippopotames¹⁵, présents partout avec des sites de concentration (concession AIDEP, Batassou et aval des chutes), de statut partiellement protégé, de crocodiles (rares, limités aux zones inhabitées, particulièrement à Birou et Galougo), de tortues (aquatiques et terrestres). L'avifaune remarquable signalée inclut l'outarde canepetière, l'aigle pêcheur, le canard casqué, le canard siffleur, les hérons. La faune est soumise à une forte pression de la part d'une population pratiquant traditionnellement la chasse.

La rive droite du fleuve, de Bafoulabé au resserrement de Galougo, peu peuplée et anciennement très giboyeuse, a été mise en défens sur une superficie de 4 200 ha afin que se reconstituent sa faune et sa flore. Le retour de la faune a été constaté avec le porc-épic, l'hippotrague, le lion, le cob redunca, le céphalophe de Grimm et la civette.

Paysages

Les chutes de Gouina ont un intérêt paysager certain qui peut être apprécié de trois points de vue au moins, à hauteur des chutes et en aval. Les paysages d'amont (île, formations rocheuses et forestières ripicoles, falaises) et d'aval (élargissement du lit, formation montagneuse tabulaire au loin) sont également intéressants. Tous sont dénués d'artéfacts, avec une végétation présente et exempts de traces manifestes de fréquentation humaine.

¹⁵ Animal emblématique de Bafoulabé, l'hippopotame jouit traditionnellement d'un haut statut de protection.

2.4.3.3. *Les facteurs culturels, religieux, archéologiques et historiques*

Aucun site archéologique n'est signalé dans la zone d'étude. Selon les habitants de Foukara (RG et Ile), des pratiques rituelles ne sont pas attachées au site des chutes alors qu'elles sont encore vivantes dans d'autres lieux du terroir. Ces rites seraient principalement liés à la chasse. Un site jouissant d'une haute protection coutumière est la confluence du Bafing et du Bakoye, à Bafoulabé. Il est hors de la zone susceptible d'être touchée par la retenue et son remous, pour les deux variantes G2 et G3.

2.4.3.3. *Les facteurs sociaux*

Démographie

La commune de Diamou comprend 10 947 habitants (recensement 1996) avec un taux d'accroissement de 2,6 % /an. Elle est répartie dans 24 villages administratifs. La densité de population est de 5,5 habitants/km², rassemblés principalement dans la vallée du fleuve Sénégal. La commune de Bafoulabé comprend 14 373 habitants (recensement 1998) dont 2 232 pour la ville de Bafoulabé. La taille moyenne de la famille (définie dans l'enceinte d'une unité élargie d'habitat, la concession) est de 6,2 personnes dans le cercle de Kayes. Elle peut atteindre 8 à 10 personnes en milieu rural.

Organisation communautaire

L'ethnie majoritaire est Khassonké. Les villages sont organisés étroitement autour de lignages anciens. Des hameaux comportant le plus souvent une seule concession ont été créés par des transfuges des villages historiques. De nombreuses autres ethnies minoritaires coexistent (Bambaras, Peuhls, Sarakolés...), dont l'accès à la zone a été favorisé par la voie ferrée et la cimenterie (Société malienne du ciment, SOCIMA). Les pêcheurs professionnels sont des Bozos ou des Somonos, issus du delta intérieur et installés dans les villages. Ils disposent d'une association de pêcheurs à Diamou. L'existence d'organisations paysannes est généralisée; les organisations de femmes sont réputées les plus dynamiques et actives.

La zone est caractérisée par une forte émigration vers l'Europe et d'autres pays d'Afrique. Les migrants d'un même village sont souvent organisés en association et contribuent aux investissements communautaires et aux actions de solidarité. L'émigration, comme les emplois dans le transport ferroviaire, expliquent que des personnes disposant de compétences techniques et de gestion sont présentes dans les villages.

Les villages de la commune de Diamou (Galougo, Foukara-RG et Foukara-Ile) disposent d'informations sur les superficies cultivées, à travers les plans d'aménagement de terroirs. Les superficies cultivables et cultivées par personne sont respectivement de 4 ha et de 0,4 ha. Compte tenu de la qualité assez médiocre des terres, ces valeurs semblent faibles mais l'on sait que les activités productives incluent aussi la pêche, le maraîchage, la chasse et l'élevage, qui dispose de parcours importants et de ressources en eau non limitées. Le besoin en terres cultivées évoqué par la population de Foukara atteint 1 ha par personne mais cette valeur suppose vraisemblablement une mécanisation.

Maraîchage

Il constitue une production de rente qui peut contribuer de façon notable aux revenus. Le chef du village de Dipari (commune de Bafoulabé) affirme que cette activité se pratique sur plus de 2 km de berges autour du village, malgré les difficultés pour y accéder. Cette activité se pratique en saison fraîche. L'arrosage est réalisé à la main, à partir du fleuve. L'usage de motopompes est rapporté dans la commune de Diamou. Les productions incluent l'oignon, le haricot, le poivron, le piment, l'aubergine, la laitue, le concombre, le gombo. Il existe également une production fruitière extensive (banane, papaye...). L'expédition vers les centres de commercialisation (Kayes, Bafoulabé, Mahina) est facilitée par la voie ferrée, comme pour les produits de la pêche, activité citée dans les deux villages de Foukara. Toutefois, la suspension de la desserte locale Kayes-Mahina par autorail oblige les producteurs à se rabattre sur la route.

Elevage villageois et transhumance

L'élevage villageois est généralisé, sous une forme extensive. Il porte sur les bovins et le petit bétail (porcins, ovins, caprins). Bien que l'aviculture constitue une activité génératrice de revenus familiaux, elle reste pratiquée de façon archaïque.

La vallée du fleuve, dans toute la zone d'étude, est un couloir de transhumance très fréquenté par les éleveurs peuhls venant de la région de Nioro (au nord-est) et se dirigeant vers les pâturages de saison sèche du Sud-Mali ou du Sénégal, par Kayes. La présence du fleuve garantit l'abreuvement. Le pont de Diamou constitue un point de passage fréquenté. Les itinéraires de transhumances ne sont pas matérialisés par des couloirs. Les villageois font référence à des conflits habituels entre eux et les éleveurs ainsi qu'à des transhumances de plus en plus précoces, aggravant ces sources de conflits parfois violents. La municipalité de Bafoulabé a cherché des voies de conciliation entre les communautés pastorales et agricoles mais sans succès jusqu'à présent. L'aménagement des parcours et couloirs reste néanmoins envisagé par les municipalités concernées.

Pêche et pisciculture

La pêche est pratiquée couramment soit par des professionnels, soit par les familles à but de subsistance. Le pied des chutes de Gouina, avec des zones très profondes et très

oxygénées, constitue un site de pêche très fréquenté par des pêcheurs se rendant sur place dans la journée à partir des villages voisins, voire de Diamou¹⁶. Le poisson est commercialisé par rail vers Kayes et Mahina. Cette activité est régie conjointement par différents services et les rares données sont dispersées. L'étude Roche menée sur le fleuve Sénégal par l'OMVS n'apporte que peu de données sur cette activité dans l'amont du bassin. Diamou dispose d'un étang de pisciculture (silures et tilapias).

L'identification des espèces menée par la cellule de limnologie de l'OMVS a couvert le bief Manantali-Bafoulabé. Les familles et genres connus dans la zone sont les *clariidae*, les *cynodontis*, les *hydrocinus*, les *mormyridae*. Des espèces migratrices sont présentes (*Lates*), avalant en saison des crues et dévalant en décrue. Selon les habitants de Foukara, les chutes de Gouina constituent un obstacle infranchissable pour les migrateurs bien qu'en forte crue, la hauteur de chute soit réduite. Les tentatives de franchissement d'aval en amont sont cependant constatées.

Industrie et activités tertiaires

Le site et la zone d'emprise potentielle du réservoir sont dépourvus d'activités industrielles ou artisanales. Les sites les plus proches disposant de telles activités sont Diamou en aval et Bafoulabé et Mahina, en amont. En aval du site de Gouina (à environ 20 km), il est question de la réhabilitation de la cimenterie de Diamou (SOCIMA), d'une capacité de 150 000 tonnes, avec financement chinois. Ce projet est susceptible de faire évoluer l'économie de la région, mais n'a pas d'échéance définie. La station de pompage de Diamou, alimentant l'industrie aurifère de Sadiola, doit bientôt cesser son activité.

Le tourisme, susceptible de valoriser le site naturel des chutes de Gouina, constitue une activité potentielle, actuellement peu organisée. Toutefois, le site, qui ne dispose d'aucun aménagement, est fréquenté par le tourisme d'étape (entre le Sénégal et le Mali) et constitue apparemment une halte habituelle¹⁷ pour des voyageurs utilisant la route Diamou-Bafoulabé. Le site de Gouina est répertorié dans la plupart des publications concernant la région de Kayes. Le caractère excentré de cette région de Kayes et les difficultés d'accès à ce site constitue une contrainte importante pour son exploitation touristique. La municipalité de Diamou a budgété un montant de 10 millions FCFA pour "l'aménagement et l'organisation touristique du site de Gouina".

Les grands marchés les plus proches du site de Gouina sont ceux de Mahina et de Diamou, Kayes et Bamako étant également des destinations fréquemment citées. Toutefois, Mahina est un centre d'échange dont l'approvisionnement dépend davantage des régions en amont que de l'aval du fleuve Sénégal. La contribution des villages de la zone d'étude aux approvisionnements de ce marché resterait marginale. Les villages de l'aval se ravitaillent à Mahina.

16 Le plan de développement de la commune de Diamou précise que "Gouina est l'un des points où se croisent généralement l'ensemble des pêcheurs de la commune".

17 A presque chacune des visites du site par l'équipe, un véhicule était présent et les passagers faisaient une courte visite des chutes.

2.4.3.5. Infrastructures de transport

La zone étudiée dispose de la voie ferrée Dakar-Bamako avec des stations et haltes à Diamou, Bagouko, Tamba Fara, Galougo et Talari. Les trains sont très utilisés pour le transport des personnes et des marchandises. Les riverains craignent toutefois que la privatisation annoncée du transport ferroviaire ne supprime ou ne réduise les dessertes locales utilisées pour le petit commerce. L'histoire des villages et leur vie économique est très marquée par le rail, à la fois parce que les régies de chemin de fer ont contribué à l'emploi et à l'équipement des populations riveraines et parce qu'elles ont facilité l'évacuation des produits.

Globalement, la vallée entre Diamou et Bafoulabé est qualifiée d'enclavée, les routes et pistes villageoises étant impraticables en saison des pluies et difficilement praticables toute l'année. Le fleuve est longé par la route classée Kayes-Bafoulabé, très difficilement praticable et saisonnière. Des améliorations locales ont été réalisées lors de la construction de la ligne à haute tension Ouest de Manantali. Cette route constitue toutefois une voie d'évacuation des produits agricoles, par véhicule ou vélo. Malgré l'obligation d'un passage du Bakoye par bac à Bafoulabé, les transports de longue distance préfèrent actuellement l'axe Nord, traversant le fleuve à Diamou et rejoignant Bafoulabé par Sélinkégni (voir plan GO-003).

Le bitumage de cet axe Nord a été étudié par la Direction nationale des transports (DNT). Un tracé a été défini depuis Kayes (point kilométrique 0) jusqu'à l'embranchement entre l'itinéraire rive droite et l'itinéraire rive gauche, à l'est de Diamou. Le site de l'aménagement de Félou est donc desservi par cette route. Deux variantes ont ensuite été étudiées pour rejoindre Bafoulabé: i) la première en rive droite (tracé Nord), reprenant la route bitumée allant de Diamou (cimenterie) au site minier qui l'approvisionne, puis passant par Sélinkégni et rejoignant Bafoulabé par un bac sur le Bakoye; et ii) la seconde (tracé Sud), rejoignant Bafoulabé en suivant la route actuelle en rive gauche du fleuve Sénégal, et passant par le site de Gouina.

Le tracé Nord a été préféré à la réhabilitation de la route riveraine du fleuve du fait: i) des perspectives de réhabilitation de la cimenterie de Diamou, s'approvisionnant en matière première par cet axe; et ii) des possibilités offertes par ce tracé pour désenclaver une importante région de production agricole au nord de Sélinkégni. Les désavantages de ce tracé par rapport au tracé Sud, le long du fleuve, sont une distance supplémentaire de 25 km, la nécessité de réhabiliter le pont de Diamou. La construction d'un pont à Bafoulabé serait nécessaire dans les deux variantes étudiées, sur le Bakoye par le tracé Nord, ou sur le Bafing, par le tracé Sud (en remplacement du passage actuel par le pont de chemin de fer). Notons que le manque de perspectives connues pour Gouina ont été présentées comme un critère favorisant le tracé Nord, qui amènera toutefois le "goudron" à moins de 20 km du site de Gouina.

Le coût de cet aménagement est de 17 milliards FCFA pour 150 km (113 millions FCFA/km). Un financement du Fonds du Koweït est acquis. La pré-évaluation du Projet est programmée en décembre 2003. Un financement de la Banque islamique de développement (BID) est attendu en complément. Selon le programme actuel, les travaux débuteraient fin 2004 pour une mise en service début 2007.

En matière de petite navigation, les chutes de Gouina et les rapides en amont et en aval du site interdisent toute activité de ce type, hors les déplacements locaux.

Le réseau Ouest de transport de l'énergie haute tension de Manantali passe également à proximité du site de l'aménagement de Gouina, sans poste de transformation à proximité (le plus proche étant celui de Médine, en périphérie de Kayes).

2.4.3.6. *Aménagement du territoire et développement*

Administration territoriale et décentralisation

Les collectivités territoriales décentralisées (établies aux niveaux des régions, des cercles et des communes) sont en place et fonctionnent. Les élus et le personnel communal jouent un rôle croissant dans les affaires de leur ressort et les responsabilités respectives des collectivités décentralisées et de l'administration territoriale (régions, préfectures et sous-préfectures) se précisent progressivement. Rappelons que deux communes (Diamou et Bafoulabé) et deux cercles (Kayes et Bafoulabé) sont principalement concernés par le projet de Gouina. La commune de Mahina (cercle de Bafoulabé) est également indirectement concernée.

La dimension territoriale du plan de gestion environnementale et du plan de réinstallation des populations du projet de Gouina peut donc prendre la forme d'un groupement intercercles, d'une part, et intercommunal, d'autre part, forme juridique prévue par la loi de décentralisation et considérée comme pertinente vis-à-vis de problématiques à cheval sur plusieurs collectivités territoriales. Les fonctions et attributions des collectivités sont définies par le Code des collectivités territoriales et, particulièrement, par ses décrets d'application. Elles peuvent être appelées à jouer un rôle notable dans la définition et la mise en œuvre des mesures de compensation des impacts, en coopération avec les autorités administratives et villageoises.

Les responsabilités ont été décentralisées sans transfert équivalent de ressources aux collectivités territoriales, dans l'attente de la promulgation d'un décret relatif à cette question. Les ressources principales restent les patentes, la taxe de développement perçue *per capita* sur la population, les taxes sur le bétail et les armes à feu. Notons à ce sujet que la discussion sur le paiement d'une patente liée à l'exploitation de Manantali (poste de transformation de Médine en particulier) a été ouverte, dans la mesure où l'exploitant (Eskom) est privé alors que la SOGEM, opérateur public, en est exemptée.

Planification territoriale

La décentralisation a été accompagnée de différents travaux de planification. Le Projet national de gestion des ressources naturelles (PGRN) a établi des diagnostics et des plans d'aménagement de terroir des communes de la zone d'étude de Félou et de la commune de

Diamou. Ils n'ont pas été réalisés pour les terroirs de la commune de Bafoulabé. Ces plans ne semblent pas avoir fait l'objet de mise en œuvre pour les terroirs concernés mais rassemblent des données et orientations utiles pour toute action dans ces terroirs.

Les Centres de conseils communaux (l'un basé à Kayes, l'autre à Bafoulabé) ont élaboré des programmes pluriannuels (4 ou 5 ans) de développement économique, social et culturel pour les communes rurales. Ils sont établis au niveau des orientations de développement et concrétisés par des budgets d'investissement détaillant les projets par village, dont les coûts constituent des références actuelles pour les mesures environnementales proposées. La mise en œuvre des plans sera évaluée en 2005, puis ces plans, comme le processus de planification, seront actualisés et, le cas échéant, révisés.

Un Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme commun a été élaboré pour l'ensemble des agglomérations de Bafoulabé et de Mahina. Un schéma d'aménagement et de développement du cercle test de Kayes a été entrepris par le Ministère de l'économie et des finances et sera susceptible de préciser les orientations de développement à un niveau régional.

Projets d'aménagement et de développement

Les cercles de Bafoulabé et de Kayes ne sont pas couverts par des projets globaux. Toutefois, une seconde phase du Programme intégré de développement de Bafoulabé (PIDEB) appuyé par la Coopération de la Norvège, est actuellement en négociation. Il serait exécuté par l'ONG Appui aux initiatives de développement de Bafoulabé (AIDEB), dont le siège est à Bafoulabé. Les principaux projets en cours dans la zone d'étude sont les suivants, et l'on notera une présence accrue de l'OMVS dans ces actions:

- Projet de développement intégré en aval de Manantali (PDIAM). Ce projet est piloté par l'OMVS et prévoit la réalisation d'aménagements hydroagricoles en exploitant un potentiel de 15 000 ha dont 9 000 ha présentent un intérêt réel. L'aménagement de la mare de Birou, en aval de Bafoulabé, concerne la zone d'étude. Ce bas-fond est cultivé en riz avec des pratiques traditionnelles et sur une superficie inférieure au potentiel susceptible d'être mis en valeur en maîtrise de l'eau par pompage, avec protection contre les crues. Les marchés de travaux sont passés mais non encore exécutés.
- Gestion transfrontalière du bassin du fleuve Sénégal. Ce projet de gestion des ressources partagées en eau du bassin est financé par le Fonds de l'environnement mondial (GEF) et en début d'exécution. Il inclut des actions pilotes de développement local.
- Programme d'atténuation et de suivi des impacts sur l'environnement (de Manantali) PASIE. Ce programme inclut des actions de lutte contre la pauvreté dont certaines ont été mises en œuvre dans la zone d'étude, à travers des micro-projets de génération de revenus.
- Aménagement de la forêt classée de Bagouko. Comme trois autres forêts classées de la région de Kayes (Dioubéla, Fangala, Dag-Dag), la FC de

Bagouko fera l'objet d'un plan d'aménagement étudié au premier trimestre 2004 et orienté vers la conservation des essences menacées de disparition et de reconstitution de son patrimoine en espèces floristiques d'usage traditionnel. La Direction de la conservation de la nature de Kayes note aussi que cette FC constitue l'extrémité orientale d'une zone faunistique rejoignant la FC de la Falémé, avec une possible vocation cynégétique des sites forestiers situés entre ces deux massifs.

- Valorisation du patrimoine historique et naturel de la région de Kayes: idée de projet soutenue par un partenariat entre une ONG française et une ONG de Kayes, sur financement possible de la coopération décentralisée française (région d'Ile de France et ville d'Evry). Les sites de Férou et de Gouina relèveraient des objectifs possibles.
- Appui à la mise en place de la décentralisation, notamment à travers les centres de conseil communaux.

2.5. Base de calcul des coûts de réalisation

2.5.1 Coûts de génie civil

Les coûts de réalisation du génie civil de l'aménagement de Gouina sont estimés, dans la présente étude, en décomposant le prix total de réalisation en :

- prix unitaires x volume des travaux principaux,
- pourcentage ajouté pour les travaux secondaires, non quantifiables à ce stade d'étude,
- pourcentage ajouté pour les installations de chantier,
- pourcentage ajouté pour les aléas de construction.

➤ Prix unitaires

Les prix unitaires sont déterminés sur la base des meilleures offres constatées à l'issue des appels d'offres lancés sur trois aménagements hydroélectriques récents dans des contextes similaires : Garafiri (Guinée), Manantali (Mali) et Tis Abay II (Ethiopie).

Dans un premier temps, il s'agissait de sélectionner, parmi l'ensemble des offres présentées, les offres les plus représentatives des conditions du marché. Cette approche conduit à sélectionner les offres les plus économiques, tout en écartant les offres extrêmes qui ne semblent pas prendre en compte de façon réaliste l'ensemble des facteurs de l'estimation.

L'établissement des prix unitaires principaux consiste (1) à actualiser les prix aux conditions économiques d'**octobre 2001**, puis (2) à regrouper les prix unitaires des bordereaux par natures de travaux principales (béton, excavation, etc.), et enfin (3) à appliquer aux prix ainsi obtenus un coefficient d'ajustement lié à la différence entre les quantités associées aux prix

unitaires de chacun des bordereaux et les quantités prévisibles pour l'aménagement de Gouina. Cette méthodologie permet de rendre comparables des prix concernant des ouvrages différents chiffrés à des dates différentes.

Les prix unitaires ainsi calculés sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 2.9 : Prix unitaires des travaux principaux de génie civil (en Euros d'octobre 2001)

Nature de travaux	Quantité prévisionnelle		Prix Unitaire retenu
	variante G2	variante G3	
Excavation au rocher	950 000 m ³	900 000 m ³	8,40 Euros / m ³
Remblais	75 000 m ³	40 000 m ³	2,40 Euros / m ³
Béton coffré	125 000 m ³	290 000 m ³	118 Euros / m ³
Béton projeté	13 000 m ²	13 000 m ²	25 Euros / m ²
Coffrages	75 000 m ²	110 000 m ²	17 Euros / m ²
Armatures	4 500 t	7 500 t	900 Euros / t

➤ *Items non quantifiés*

Ils sont estimés forfaitairement pour les différents ouvrages de génie civil par un surcoût de 10 %.

➤ *Installations de chantier*

Elles sont estimées forfaitairement à 15 % du coût des ouvrages. Cette valeur est proche des limites supérieures connues, en raison de l'éloignement et des conditions climatiques difficiles du site (chaleurs extrêmes).

➤ *Divers et aléas*

Au stade des études de faisabilité, un surcoût global estimé à 20 % est ajouté pour tenir compte des aléas.

2.5.2. Coûts des équipements électromécaniques

Les coûts des équipements électromécaniques de l'usine ont été évalués sur la base de :

- i) une estimation du coût des groupes seuls, incluant turbines et alternateurs, à partir de statistiques de coûts tirées d'un grand nombre de projets, et

- ii) une évaluation du coût des auxiliaires électriques, par application d'un coefficient constant au coût des groupes.

Les coûts ont été calculés pour le débit d'équipement retenu à ce stade de l'étude : 600 m³/s pour la variante G2 et 700 m³/s pour la variante G3 (voir § 5.), et au titre des calculs de dimensionnement pour les débits de 100 m³/s à 800 m³/s. Ils sont basés sur les hypothèses suivantes :

- nombre de groupes : 3,
- type de turbine : bulbe (variante G2) ou Kaplan (variante G3),
- enfoncement de l'axe de rotation des groupes bulbes ou Kaplan : environ 5 m sous le niveau aval minimum en service, ce qui permet à la fois d'assurer une grande vitesse de rotation (donc un diamètre de roue minimum) sans augmenter les risques liés à la cavitation.

2.5.3. Coûts du raccordement au réseau haute tension

Les prix estimatifs des lignes de transport 225 kV et des postes sont basés sur les prix unitaires moyens suivants, dérivés des prix constatés sur des contrats récents du projet Energie :

- ligne simple circuit 75 000 Euros / km,
- travée de poste 225 kV 750 000 Euros / travée.

Les aléas, modifications des installations existantes et prestations d'ingénierie sont valorisés par un surcoût de 10 %.

2.6. Marché de l'énergie : placement attendu de Gouina

Nota : l'analyse présentée ci-dessous brosse un tableau rapide de la situation du marché de l'énergie lié au réseau interconnecté de l'OMVS. Une présentation plus complète de ce sujet est donnée dans le rapport de phase 2 de la présente étude.

Les dernières données connues relatives aux prévisions de consommation des trois pays de l'OMVS sont présentées ci-dessous pour l'horizon 2008.

A cette date, le contexte du système sera un réseau interconnecté regroupant les réseaux nationaux actuels de la Mauritanie, du Sénégal et du Mali. Ce réseau élargi permettra le

partage des productions des parcs de chaque pays d'une part, et de l'usine de Manantali réalisée et gérée dans le cadre de l'OMVS d'autre part.

Tableau 2.10 : Prévision de demande électrique par pays en 2008

Pays ou zone géographique	Energie demandée (GWh)	Puissance de pointe (MW)
Sénégal	2 641	444
Mauritanie	445	85
Mali	1 042	163
TOTAL réseau interconnecté OMVS	4 128	692

Selon les dernières données disponibles, la demande au-delà de 2008 pourrait continuer de croître avec des taux annuels voisins de 2 % au Mali, de 11 % en Mauritanie et de 11 % au Sénégal. On constate donc que le total des besoins de production pourrait augmenter dans les dix prochaines années d'au moins 300 GWh et 80 MW chaque année.

➤ *Système du Mali*

A l'horizon 2008, la demande du système du Mali devrait représenter environ 25 % de la demande du système de l'OMVS. Les moyens de production propres au Mali sont à la fois des usines thermiques, majoritairement situées à Bamako, et des usines hydroélectriques (Sélingué avec 44 MW et Sotuba avec 5 MW environ, en plus de la part malienne de Manantali).

➤ *Système de la Mauritanie*

A l'horizon 2008, la demande du système Mauritanien devrait représenter environ 10 % de la demande du système de l'OMVS. Les moyens de production propres à la Mauritanie sont des usines thermiques, dont la majorité est regroupée dans la région de Nouakchott. Leur particularité est d'offrir le coût proportionnel d'exploitation le plus faible parmi les parcs thermiques des trois pays.

➤ *Système du Sénégal*

A l'horizon 2008, le système interconnecté du Sénégal devrait représenter environ 65 % de la demande du système de l'OMVS. Les moyens de production propres au Sénégal sont des usines thermiques, dont la majorité est regroupée dans la région de Dakar.

➤ *Centrale de Manantali et ligne d'interconnexion du Projet Energie Manantali*

En 2004, l'ensemble du projet Energie Manantali est en service. Ce projet comprend les cinq groupes de la centrale de Manantali, d'une puissance totale de 200 MW, et les branches Ouest et Est des lignes de transmission de 225 kV vers le Sénégal, la Mauritanie et le Mali (voir leur implantation sur le plan GO-401A).

Le productible annuel moyen d'environ 800 GWh est envoyé vers les réseaux électriques interconnectés des trois pays de l'OMVS. La puissance et l'énergie délivrées par Manantali permettent d'une part de contribuer à la satisfaction de la demande toujours croissante dans les trois pays, et d'autre part de réduire les coûts de production moyens, en réduisant la consommation de combustibles fossiles importés.

La clef de répartition contractuelle de la production de Manantali entre les trois pays est :

- Mali: 52%
- Sénégal: 33%
- Mauritanie: 15%

La répartition réelle de la production est appelée à varier dans le temps en fonction des besoins respectifs de chaque pays à un horizon donné, et de l'optimisation recherchée du moindre coût global de production.

La capacité optimale de transmission de la puissance est de 170 MW pour la branche Ouest et 130 MW pour la branche Est. Ces capacités correspondent à un optimum technico-économique entre le coût de la ligne et le coût des pertes Joule occasionnées par le passage du courant dans cette ligne. Toutefois ces lignes pourraient théoriquement transporter des densités de courant deux fois plus élevées tout en respectant encore la température limite des conducteurs.

➤ *Placement de l'énergie de Gouina*

Le calendrier le plus optimiste du programme de développement privé et de réalisation du premier des aménagements (Félou ou Gouina), avec mobilisation d'un financement privé, conduirait à une mise en service vers le début de 2009.

Suivant les variantes étudiées, la puissance installée recommandée pour Gouina est comprise entre 95 et 140 MW pour un débit d'équipement de 600 m³/s à 700 m³/s, ce qui correspond à un facteur d'utilisation de l'ordre de 50 %.

En supposant l'aménagement de Gouina réalisé avant celui de Félou, toute la puissance de Gouina pourra être transmise sur le réseau existant sans renforcement de la ligne elle-même, au prix d'un taux de pertes relativement élevé pour les puissances maximales

délivrées. Il suffira pour cela de réaliser certains ajustements des caractéristiques des postes.

Seulement lorsque Félou serait réalisé en plus de Gouina, alors un renforcement de la ligne Ouest serait indispensable. Selon les analyses présentées au chapitre 3.4.3, ce renforcement pourrait consister à doubler la ligne Ouest du projet Energie (option Nord), ou à créer une nouvelle ligne Kayes – Tambacounda – Kaolack (option Sud). Ce renforcement apporterait également un gain de sécurité de fourniture vers les centres principaux de consommation de Nouakchott et Dakar, qui est recherché par tous les acteurs du système.

En ce qui concerne la répartition de l'énergie produite dans le temps, la production de Gouina sera directement influencée par la gestion de Manantali. Les lâchers de Manantali représentent en moyenne les deux tiers de l'apport moyen au site. Cette proportion atteint presque 100 % au cours de la saison sèche, en particulier de février à juin, où les apports du Bakoye sont très faibles voire quasi-nuls, et où les apports du bassin versant intermédiaire à l'aval de Oualia et de Manantali peuvent même être négatifs (effet attendu de l'évaporation et des infiltrations depuis la rivière, même si des valeurs négatives en apparence excessives résultent des données disponibles à ce jour).

En conséquence on peut définir deux périodes contrastées caractérisant le productible qui sera disponible à Gouina (voir aussi les figures 2.7 à 2.10) :

- a. de décembre à juillet, les débits disponibles sont généralement limités aux lâchers de Manantali, soit le plus souvent de 150 à 200 m³/s selon le scénario de gestion qui sera adopté. Cela représente environ un quart de la capacité de l'usine (600 à 700 m³/s équipés) ;
- b. d'août à novembre, les débits lâchés à Manantali, combinés avec les apports naturels du Bakoye et du bassin versant intermédiaire, fournissent à Gouina un débit moyen généralement bien supérieur à 700 m³/s. Au cours de cette période de 4 mois, l'usine serait en mesure de produire le maximum de sa puissance en continu.

Le résultat des simulations de gestion de Manantali pour le scénario 100 montre que les mois de décembre à février sont des mois intermédiaires où, certaines années, les lâchers de Manantali peuvent atteindre 600 à 700 m³/s, mais sans garantie.

Par ailleurs on peut considérer à ce stade d'étude que l'aménagement ne pourra quasiment pas adapter sa fourniture à des variations rapides de la demande, car il est appelé à fonctionner à niveau de retenue constant pendant toute la saison sèche et en l'absence de lâchure depuis Manantali. Ce point devra être analysé plus en détail au cours des prochaines phases d'étude, en prenant en compte l'interaction entre la gestion des aménagements de Félou et de Gouina.

L'introduction de l'aménagement dans le système de production sera donc valorisée par :

- i) la fourniture d'une puissance garantie égale environ à un tiers de la puissance installée, calculée à partir des lâchers d'étiage de Manantali, qui permettra de retarder la mise en service d'usines thermiques de même puissance (aux pertes en ligne près), tout en conservant la même garantie de fourniture au réseau;

- iii) la fourniture d'énergie, qui se substituera à la même énergie produite à partir de combustibles pétroliers dans les trois pays de l'OMVS, une fois les pertes en ligne prises en compte.

3. CONCEPTION DES OUVRAGES

3.1. Implantation et description générale

Le site de Gouina se trouve à 22 km en aval de la ville de Galougo, et à 64 km en amont des chutes de Félou. Le fleuve Sénégal coule en direction du Nord-Ouest. Il subit une chute d'eau de 12 m, suivie de rapides totalisant environ 3 m de chute supplémentaire, soit une dénivelée totale de 15 m.

Le projet d'aménagement du site de Gouina consiste à créer un aménagement destiné à assurer une production d'électricité par turbinage des débits du fleuve Sénégal partiellement régularisés par l'aménagement de Manantali en amont. Dans le but d'optimiser la production d'énergie, la hauteur de chute naturelle de 15 m est augmentée artificiellement par un barrage à l'amont des chutes (voir les plans d'implantation générale des ouvrages : GO-101 et GO-102 pour les deux variantes étudiées).

Etant donné la morphologie de la vallée à l'amont du site, le réservoir créé par le barrage aura un volume faible, si bien que l'aménagement peut être considéré en première approximation comme un aménagement au fil de l'eau.

La forme du réservoir sera la suivante :

- sous la cote 70 (variante G2), le réservoir se limite à la surface du lit mineur actuel du fleuve, à l'exception de quelques km² essentiellement en rive gauche à l'amont immédiat des chutes, et sur l'île de Foukara. La longueur du réservoir à la cote 70 est d'environ 28 km, dont les 12 derniers km resteront quasiment identiques au fleuve dans son état actuel,
- sous la cote 75 (variante G3), le réservoir ne s'étend en rives que de quelques km² supplémentaires par rapport à la variante G2, essentiellement en rive gauche et jusqu'à environ 15 km à l'amont du barrage. Bien que toujours confinée au lit mineur, la queue de retenue créée à la cote 75 remontera jusqu'à une distance d'environ 39 km du barrage.

A 350 m à l'amont des chutes, la rive droite du fleuve Sénégal forme une presqu'île qui est mise à profit pour implanter le barrage. Sa fonction est de surélever le plan d'eau amont à la cote 70 (variante G2) ou 75 (variante G3) et de canaliser l'eau vers l'usine hydroélectrique.

Les ouvrages d'aménée comprennent, de l'amont vers l'aval :

- Un ouvrage d'entonnement à l'extrémité amont du canal, équipé de batardeaux et d'une ligne de grilles grossières (espacement métrique) destinées à intercepter les débris les plus volumineux. Cet ouvrage est d'une largeur suffisante pour capter le débit d'équipement de l'usine au-dessus du niveau moyen du lit rocheux du fleuve avec des vitesses de l'ordre de 2 m/s sous le niveau de retenue normale (70 ou 75).

- Une trappe à sédiments, généreusement dimensionnée, qui pourra être curée lors des opérations d'entretien du canal.
- Le canal d'amenée entre ouvrage de tête et prises usinières, dimensionné pour limiter la vitesse de l'eau à environ 2 m/s pour le débit d'équipement sous le niveau de retenue normale.

Le massif des prises de l'usine comporte successivement :

- une trappe à sédiments,
- une grille fine et un dégrilleur,
- une vanne de garde et un batardeau par groupe.

L'usine est équipée de trois groupes de type bulbe pour la variante G2 (resp. Kaplan pour la variante G3), d'un débit d'équipement unitaire de 200 m³/s (resp. 233 m³/s), soit un débit total maximal de 600 m³/s (resp. 700 m³/s).

Les ouvrages de restitution comprennent :

- un jeu de batardeaux aval par groupe,
- un coursier et un seuil entre les aspirateurs et le canal de fuite,
- un canal de fuite destiné à restituer les eaux turbinées au fleuve à l'aval des rapides de Gouina.

3.2. Ouvrages de génie civil

Remarque préliminaire : la justification du dimensionnement de l'aménagement est présentée dans le chapitre 5 du présent rapport.

3.2.1. Accès

L'étude des accès au site concerne :

- l'acheminement des personnes, des matériaux et des équipements au site de Gouina, pendant et après la période de construction. Les modes d'accès considérés sont à la fois la route et la voie ferrée ;

- la traversée du fleuve Sénégal au droit du site pendant les travaux, pour permettre l'accès à la rive droite depuis la base qui sera a priori installée en rive gauche, étant donné l'existence de la piste et de la voie ferrée sur cette rive.

3.2.1.1. Routes

L'accès actuel au site des chutes est praticable, en rive gauche du fleuve, par une piste ancienne et peu entretenue qui relie Bafoulabé, en amont, à Kayes, en aval. Les chutes sont situées approximativement à mi-distance entre ces deux agglomérations et le temps de parcours est pratiquement le même.

La piste croise plusieurs fois la très longue voie de chemin de fer, ancienne, qui relie la capitale du Mali à celle du Sénégal. Elle croise aussi plusieurs fois, entre Bafoulabé et Kayes, le tracé de la ligne électrique, dite du réseau Energie Ouest, depuis l'usine hydroélectrique du barrage de Manantali vers le Sénégal et la Mauritanie.

Il faut noter que le mauvais état de la piste actuelle rend les conditions de circulation très difficiles en toutes saisons, voire impossibles pendant l'hivernage.

Un projet de création d'une nouvelle route Kayes – Bafoulabé est actuellement à l'étude au Ministère de l'Equipement. Le projet actuel prévoit une bande de roulement de 7 m, généralement non revêtue.

Deux variantes de tracé sont étudiées. Après une section commune entre Kayes et Diamou par la rive gauche du fleuve :

- la première variante continue par la rive gauche jusqu'à Bafoulabé via Gouina,
- la seconde variante emprunte le pont existant au niveau de la cimenterie de Diamou, continue en rive droite vers Sélinkégni puis Bafoulabé où il faudrait de nouveau traverser le fleuve par le bac existant (il n'est pas prévu d'y construire un nouveau pont).

Les informations collectées au cours de notre mission de décembre 2003 au Mali indiquent qu'il est aujourd'hui vraisemblable que la seconde variante aura été réalisée avant le démarrage des travaux de Gouina (voir le plan GO-003).

Suivant cette hypothèse, l'aménagement de l'accès routier au site du Gouina nécessitera simplement la réhabilitation de la piste existante entre le pont de Diamou et le chantier, sur une longueur de 17 km environ (voir le plan GO-004).

3.2.1.2. Voie ferrée

Comme cela a été dit plus haut, la voie ferrée Dakar – Bamako passe à proximité du site de Gouina. Cette voie ferrée pourra donc tout naturellement servir de voie principale d'approvisionnement pour le chantier, comme cela a été le cas récemment pour le chantier de l'usine de Manantali.

Les travaux d'aménagement de cet accès comprendront l'adaptation ou la création d'une station de déchargement sur la voie ferrée, et le raccordement de cette station à la route.

A priori trois stations de déchargement semblent possibles :

- la station de Bagouko, la plus proche du site, qui présente l'avantage de disposer d'une plate-forme de taille suffisante et d'être accolée à un village qui pourrait fournir ou héberger la main d'œuvre nécessaire au fonctionnement de la station ; toutefois ce lieu est situé dans la forêt classée de Bagouko et nécessiterait la création d'un tronçon de route supplémentaire d'au moins 4 km,
- la station de Diamou, en site urbain, qui présente les mêmes avantages que celle de Bagouko, mais risquerait d'apporter des perturbations importantes à la ville de Diamou et se trouve la plus éloignée du chantier,
- le site de la cimenterie de Diamou, plus proche du chantier, avec l'avantage d'être placé en bord de route et dans un environnement déjà industrialisé,

Compte tenu des avantages comparés de ces trois options, on retiendra l'hypothèse de la création d'une station de déchargement des matériaux et équipements à côté de la cimenterie de Diamou. La route à créer entre la cimenterie et le chantier servira ainsi à la fois à l'accès routier au site et à l'accès ferroviaire, sans investissement supplémentaire.

3.2.1.3. Accès au chantier de la rive droite

La rive droite est dépourvue d'accès terrestre au niveau des chutes de Gouina. L'accès à la rive droite du fleuve Sénégal depuis la rive gauche ne peut se faire actuellement que par le pont de Diamou, à 17 km à l'aval, ou par le bac de Bafoulabé à 57 km à l'amont.

Aucun de ces deux franchissements du fleuve n'apparaît suffisamment proche du site de Gouina pour permettre la réalisation du barrage en rive droite à partir des installations de chantier qui seront implantées en rive gauche. Dans ces conditions, les travaux nécessiteront soit la réalisation d'un pont sur le fleuve à proximité du site, soit la mise en place d'une dérivation provisoire du fleuve permettant son franchissement en saison sèche.

Les différentes options sont analysées ci-après.

➤ *Pont sur le fleuve*

La construction d'un pont enjambant le fleuve Sénégal à l'amont des chutes résoudrait parfaitement le problème de l'accès à la rive droite pour le chantier.

Toutefois cette solution serait très coûteuse, et ne procurerait aucun bénéfice évident en terme de désenclavement de la rive droite, étant donné l'absence de population dans cette zone.

➤ *Dérivation en rive gauche*

Une autre solution envisageable pour desservir le chantier en rive droite consiste à mettre en place une dérivation provisoire du fleuve en saison sèche.

Pour tenir compte des incertitudes sur le scénario de gestion future de Manantali, il faut dimensionner la dérivation pour un débit d'environ 250 m³/s, qui est le plus fort débit d'étiage prévisible au cours des prochaines années. Une telle dérivation peut être réalisée au niveau de la berge en rive gauche, entre l'entonnement du canal d'amenée et le barrage déversant (voir les plans d'implantation GO-101 et GO-102).

La structure envisagée comporte 4 pertuis vannés de 4 m de largeur et 2,5 m de hauteur, avec un fil d'eau à la cote 63, ainsi que 4 batardeaux amont et 4 batardeaux aval, et un pont de 7 m de large. Elle permettra le passage des engins vers le seuil lorsque la dérivation du fleuve sera effective (voir aussi le § 6.1.1. sur le phasage des travaux).

➤ *Option préconisée : dérivation en rive gauche devenant vidange de fond*

La solution consistant à réaliser un pont provisoire à l'amont des chutes n'apparaît pas intéressante dans la mesure où elle est nettement plus chère que la dérivation mais n'apporte pas d'avantage majeur en contrepartie.

La solution la plus économique est la dérivation du fleuve dans des pertuis prévus à cet effet en rive gauche, pendant une saison sèche, durée suffisante pour réaliser les travaux nécessaires en rive droite. Cette solution présente l'avantage supplémentaire d'améliorer les conditions d'entretien futur des ouvrages amont, puisque la dérivation pourra être réutilisée en vidange de fond pour vider partiellement ou totalement le réservoir en saison sèche, et en permettre l'inspection et l'entretien si nécessaire. C'est donc l'option adoptée au stade actuel des études.

La dérivation provisoire / vidange de fond est représentée sur le plan GO-209 pour la variante G2, et sur le plan GO-210 pour la variante G3.

3.2.2. Barrage

Le lit du fleuve Sénégal est barré par un seuil déversant en béton conventionnel, à la cote 70 pour la variante G2 (resp. 75 pour la variante G3), prolongé en rive gauche par un barrage à la cote 76 (resp. 81) jusqu'à l'ouvrage de prise d'eau. Sa fonction est de maintenir un niveau minimum nécessaire pour canaliser l'eau vers le canal d'amenée et l'usine hydroélectrique, de contrôler le passage du débit réservé vers les chutes de Gouina et d'assurer la maîtrise du déversement des crues par dessus l'ouvrage.

L'évacuation des crues se fera par déversement libre sur tout le seuil, d'une longueur identique (520 m) pour les deux variantes G2 et G3.

➤ Structure du barrage (plans GO-201 et GO-202)

Le barrage est du type barrage poids en béton avec seuil déversant sur toute la longueur à l'aplomb du fleuve, avec une crête de 4 m de large pouvant permettre le franchissement du fleuve en période d'étiage (moyennant un contrôle strict de ce franchissement garantissant la sécurité des personnes, compte tenu du risque de montée brusque du niveau de l'eau lors des déclenchements de groupes). Dans toute sa partie déversante, le barrage est prolongé vers l'aval par un coursier en béton de 10 m de longueur. Le parement amont est vertical, et le parement aval a un fruit moyen de 0,8 / 1.

Le barrage reposera directement sur le rocher qui aura été préalablement décapé. La résistance du massif rocheux ne devrait pas poser de problème structurel particulier.

La perméabilité des grès de fondation est le plus souvent faible, proche ou inférieure à une unité Lugeon (< 1uL). Toutefois elle peut aussi dépasser une centaine d'unités Lugeon (100 uL) dans les grès fissurés ouverts. Si c'est le cas localement, les fortes valeurs de perméabilité devront être réduites par injection de coulis de ciment dans les passages fissurés de cette formation rocheuse qui se prête particulièrement bien à ce type de traitement.

L'extrémité rive gauche du seuil déversant abrite la dérivation provisoire / vidange de fond définie au § 3.2.1.3.

➤ Débit réservé dans les chutes de Gouina

La discussion de l'intérêt et de la valeur du débit réservé dans les chutes de Gouina est donnée au § 4.3.1.7.

Le passage et le contrôle de ce débit réservé se feront par un orifice vanné en rive gauche du fleuve, intégré à l'ouvrage de dérivation provisoire / vidange de fond.

De cette optimisation technique et économique, il résulte le dimensionnement suivant en partie courante du canal d'amenée :

- largeur $L = 34$ m (resp. 40 m),
- cote du radier au débouché de l'ouvrage de tête : $z_{\text{radier}} = 60$ (resp. 65),
- pente longitudinale 0,02 %,
- section mouillée sous la retenue normale : 336 m^2 (resp. 392 m^2).

Par ailleurs, l'arase supérieure des murs bajoyers doit respecter deux conditions :

1. elle doit être supérieure au niveau des plus hautes eaux (P.H.E.) amont, à savoir 74,7 (resp. 79,7), de manière à interdire tout débordement de l'eau en période de crues ;
2. elle doit également être suffisamment élevée pour contenir l'eau dans les situations transitoires qui peuvent se produire en exploitation. La plus défavorable d'entre elles est l'arrêt soudain et simultané des groupes de l'usine (en cas d'incident sur la ligne HT par exemple), qui génère une onde positive progressant vers l'amont, et qui peut atteindre des niveaux d'autant plus élevés que cet incident se produit en période de crue.

Cette situation a fait l'objet de calculs hydrauliques transitoires présentés en annexe 4 qui montrent que :

- l'onde primaire seule peut atteindre la cote 74,8 (resp. 79,8) si l'arrêt d'urgence des groupes a lieu pendant la crue cinquantennale,
- les ondes secondaires (ondes dites de Favre) qui se superposent à l'onde primaire peuvent provoquer localement un dépassement de la cote 76,0 (resp. 81,0) en cas d'arrêt d'urgence simultané des trois groupes pendant une crue au moins décennale.

Dans ces conditions, l'arase supérieure des bajoyers a été fixée à la cote 76,0 (resp. 81,0) qui vérifie bien les conditions imposées sans exiger pour autant la réalisation de murs très hauts de part et d'autre du canal. Cette cote supérieure du canal apporte une sécurité acceptable dans la mesure où seuls quelques débordements ponctuels pourraient avoir lieu en cas d'arrêt soudain simultané de tous les groupes de l'usine pendant une période de crue de période de retour au moins décennale.

Enfin, il a été vérifié qu'en cas de démarrage simultané des groupes de l'usine, le canal était suffisamment profond pour éviter tout risque d'assèchement de celui-ci (voir calculs justificatifs en annexe 4).

3.2.4.3. *Superstructures du canal*

Le niveau moyen du T.N. sur le tracé du canal est de 70 (resp. 71), ce qui implique que les bajoyers devront s'élever jusqu'à 6 m (resp. 10 m) au-dessus du T.N. Ces hauteurs assez importantes, notamment pour la variante G3, conduisent à préconiser les conceptions suivantes pour les superstructures du canal :

- variante G2 : les pistes latérales au canal seront en remblai, appuyé sur un mur de soutènement en béton armé qui sert également de bajoyer ;
- variante G3 : la hauteur des murs à réaliser sort de l'utilisation usuelle des murs de soutènement en béton armé, si bien qu'on préférera dans ce cas réaliser des barrages poids en béton non-armé, de 4 m de large en tête, qui serviront à la fois de bajoyer et de piste de service.

3.2.4.4. *Ouvrages annexes*

Une rampe d'accès au fond du canal est aménagée dans le tronçon aval, à proximité de l'usine, qui sera utilisée pendant le chantier aussi bien qu'en phase d'exploitation.

Deux pièges à sédiments sont prévus dans le radier du canal, l'un à l'amont du canal (à l'aval immédiat du pont) et l'autre à l'aval du canal, au pied des grilles usinières, d'une profondeur de 1,50 m et d'une largeur de 5 m. Le fond des pièges étant à la cote 58,5 (resp. 63,5), on ne peut pas prévoir de vider ces pièges par des chasses suffisamment pentues en direction du fleuve. L'évacuation des matériaux piégés devra donc se faire au moyen d'engins mécanisés empruntant la rampe d'accès au fond du canal, puis une rampe depuis le radier au fond de chaque piège. Le piège amont a été implanté sous le pont de franchissement du canal afin de pouvoir éventuellement bénéficier d'un treuillage pour en faciliter le curage.

3.2.5. *Usine*

L'usine de Gouina est représentée sur les plans GO-301 à GO-303 pour la variante G2, et GO-311 à GO-313 pour la variante G3 (coupe type sur groupe et coupes horizontales).

➤ *Implantation de l'usine*

D'amont en aval, le profil en long topographique suivant le chemin d'eau du nouvel aménagement est quasiment horizontal, puis franchit la dépression qui prolonge les chutes en rive gauche avant de redescendre vers le fleuve à l'aval des rapides.

Pour chacune des deux variantes, l'usine a été implantée dans la dépression topographique en rive gauche, donc au droit des chutes, de manière à minimiser les volumes d'excavation et de béton des ouvrages à réaliser (canal d'aménée, usine, canal de restitution).

➤ *Disposition générale de l'usine*

La cote minimale de la plate-forme d'accès à l'usine et des transformateurs est fixée à 61,0. Ce niveau est supérieur au niveau aval correspondant à la crue de période de retour 10 000 ans estimé suivant des hypothèses prudentes (voir § 2.2.3.2. et figure 2.13). Cette prudence est nécessaire du fait des incertitudes subsistant sur la courbe de tarage aval du fleuve, incertitudes d'autant plus fortes qu'on s'éloigne des crues fréquentes, pour lesquelles des meures ont pu être trouvées.

La topographie du site permet d'implanter le poste de départ HT à l'aval de l'usine. On place donc les transformateurs et le départ des lignes HT dans l'axe des groupes, sur la plate-forme aval au-dessus des locaux techniques.

La plage de montage et la plate-forme d'accès à l'usine sont placées en rive gauche de l'usine, avec un accès direct depuis la route.

Lors de la phase d'avant-projet détaillé (APD), une attention particulière devra être apportée à l'isolation thermique du bâtiment, afin de le protéger contre les températures extrêmement élevées qui règnent dans la région. C'est dans cet esprit qu'une toiture double avec circulation d'air a été dessinée. Cet aspect, ainsi que l'esthétique du bâtiment, devraient bénéficier au stade de l'avant-projet détaillé de la participation d'un architecte.

3.2.6. Canal de fuite

Le canal de fuite restitue l'eau depuis le seuil aval de l'usine vers le fleuve à l'aval des rapides. Sa longueur de 437 m pour la variante G2 (resp. 432 m pour la G3) est suffisante pour permettre le batardage aval pendant les travaux.

Le radier du canal est calé à la cote 47,20 (resp. 47,15), soit à 1 m sous le niveau du seuil aval de l'usine de manière à empêcher la migration directe de sédiments vers l'usine.

Sa largeur est fixée à 80 m (resp. 90 m), ce qui permet de limiter les pertes de charge à un niveau acceptable: dans le cas le plus défavorable, (débit turbiné = débit d'équipement et débit déversant nul sur le seuil), la vitesse de l'eau sera 1,8 m/s, et la perte de charge entre 10 et 15 centimètres.

Le canal de fuite est prévu excavé au rocher, non revêtu.

3.3. Equipements hydro-électro-mécaniques de l'usine

3.3.1. Type de turbines : groupes bulbes – groupes Kaplan

La gamme de chute (inférieure à 25 m) et les débits turbinés (600 m³/s au total pour la version G2 et 700 m³/s au total pour la version G3) permettent d'envisager des groupes de type bulbe ou Kaplan.

Ces deux types de machines peuvent être conçus :

- soit à simple réglage, auquel cas les aubes de roue seules sont réglables en position,
- soit à double réglage, auquel cas à la fois les aubes de roue et les aubes du distributeur sont mobiles.

Etant donné les variations importantes de chute (chute nette très variable en fonction du débit total du fleuve) et de débit de l'aménagement (600 m³/s en saison humide, de 150 à 250 m³/s en saison sèche), le double réglage est recommandé pour l'allure de sa courbe de rendement qui reste excellent dans ces conditions de fonctionnement.

D'autres types de groupes pourraient également convenir comme les groupes S et les groupes Straflo, chacun de ces types pouvant être conçu avec simple ou double réglage.

Si les groupes du type S conviennent parfaitement en ce qui concerne la chute, leur taille est limitée à des diamètres de roue d'environ 3,50 m et leur puissance ne dépasse en général pas les 10 MW. De plus, et bien qu'il soit possible de les équiper d'un double réglage aubes de roue et du distributeur mobiles, leur rendement reste moins bon que celui des bulbes et des Kaplan à cause du coude aval de l'aspirateur. De plus l'arbre traverse l'aspirateur à cet endroit et sa portée entre paliers est telle qu'il faut augmenter son diamètre.

Les groupes du type Straflo conviennent au point de vue taille et puissance et sont particulièrement compacts mais l'installation d'un double réglage demande un renforcement important de leur structure, ce qui augmente leur coût.

Sous une chute d'environ 20 m et pour des puissances unitaires de quelques dizaines de MW, les turbines bulbes et Kaplan sont incontestablement les mieux adaptées techniquement.

Ces deux types de groupes généralement à double réglage (aubes directrices et pâles de roue mobiles), possèdent une courbe de rendement très plate en fonction du débit: les turbines peuvent atteindre 90 % de rendement avec un débit de 30 % du débit maximum. De même, les variations de chute modifient relativement peu le rendement qui reste excellent dans la plus grande partie de la zone de fonctionnement.

Les groupes Kaplan sont utilisés dans une gamme de chute variant environ de 3 mètres (limite économique) à 80 m (domaine couvert également par les Francis). Leur diamètre de roue peut s'approcher des 10 m et leur puissance unitaire peut dépasser largement 100 MW.

Les groupes bulbes sont couramment utilisés pour des chutes allant de 3 m à 20 m. Leur diamètre de roue peut atteindre 8,50 m (par exemple 8,4 m pour Murray Lock and dam - 2 groupes bulbes en puits avec multiplicateur de 20,5 MW chacun) et leur puissance unitaire atteint fréquemment 40 MW (65 MW pour Tadami au Japon).

Dans ce domaine de dimensionnement chute – débit, les groupes de type bulbe constituent une solution plus économique que les Kaplan. C'est clairement le cas sur les fleuves européens comme le Rhin, le Danube ou le Rhône, sur lesquels les premiers aménagements installés dans les années 50 et avant étaient du type Kaplan et les suivants ont été du type bulbe, pour des raisons économiques évidentes.

Le Danube autrichien constitue un exemple significatif de cette évolution. Un article révélateur à ce sujet a été publié dans «Water Power and Dam Construction» de novembre 1986 par la Donaukraftwerke AG (DoKW). La DoKW exploite les ressources hydroélectriques du Danube autrichien: 2 500 MW installés, 15 000 GWh produits par an, équipement : 20 Kaplan verticales et 45 bulbes. Dans son article, elle fait un bilan très édifiant sur la comparaison entre bulbe et Kaplan pour l'aménagement de Greifenstein (environ 300 MW sous une chute maximale de 15 m - H_n nominale : 10,9 m).

Les résultats d'un autre exemple d'étude économique sont repris dans la même revue Water Power de Nov.1983. Une usine comprenant 9 groupes bulbes de 33 MW (diamètre de roue de 6,3 m) a été comparée avec une usine comprenant 6 groupes Kaplan verticaux de 50 MW (diamètre de roue de 8,4 m) – voir dimensions principales des 2 usines en annexe A4.1. L'opérateur Autrichien (DoKW) qui possède une grande expérience pour les 2 types de machine a installé systématiquement des groupes bulbes dans les derniers aménagements qu'il a construits.

Par ailleurs les études détaillées des variantes Kaplan et bulbe montrent que le génie civil de l'usine est réduit de 15 % en passant de la solution Kaplan à la solution bulbe.

Les groupes Kaplan possèdent toutefois un avantage par rapport aux groupes bulbes: ils possèdent une inertie naturelle plus élevée, ce qui leur confère une meilleure stabilité de fonctionnement sur le réseau.

➤ Conclusion pour le cas de Gouina

Dans le cas de l'usine de Gouina, au stade des études actuelles nous retiendrons :

- pour la variante G2 (chute max. 20 m), des groupes bulbes qui constituent la solution la plus économique,

- pour la variante G3 (chute max. 25 m), les groupes bulbes seraient théoriquement moins chers que des Kaplan. Toutefois, la hauteur de chute de 25 m sort de la plage optimale d'utilisation des bulbes, si bien que cette solution ne peut pas être considérée comme solution de base au niveau des études de faisabilité. C'est pourquoi nous retiendrons des Kaplan au stade actuel.

3.3.2. Nombre de groupes

Le nombre de groupes d'une usine hydroélectrique est déterminé en fonction de facteurs variables. Il est souvent de 3 ou 4 dans la mesure où ce choix est le résultat d'un compromis entre l'aspect économique (à puissance égale, le coût d'investissement est moindre quand on réduit le nombre de groupes) et la disponibilité (plus il y a de groupes et moins la perte d'une unité due à un entretien ou une panne pose problème).

L'un de ces facteurs est la taille de la machine, qui diminue avec l'augmentation du nombre de turbines. L'accessibilité des groupes devient de ce fait plus difficile. C'est le cas en groupes bulbes pour lesquels l'accès devient problématique pour des diamètres inférieurs à 4,00 m.

Si l'on s'approche par ailleurs de la taille maximale raisonnable des machines pour lesquelles le transport et la conception font apparaître de nouveaux problèmes, le nombre de groupes peut augmenter pour dépasser 10 et même atteindre 20 sur certains grands fleuves comme par exemple en Amérique du Sud ou en Asie.

Par ailleurs, le nombre de groupes se réduit avec l'augmentation de la taille du réseau : il faut estimer les conséquences de la perte d'un groupe sur la production d'énergie.

Dans le cas de Gouina, trois unités ont été choisies pour l'ensemble des raisons suivantes :

- coût total inférieur à celui de quatre groupes,
- temps de construction et d'installation inférieurs,
- ratio entre puissance d'un groupe et puissance totale appelée sur le réseau en 2007 : $32/500 = 6\%$, valeur jugée suffisamment basse,
- un ou deux groupes suffiront en saison d'étiage pour turbiner la totalité du débit lâché par Manantali (entre 150 et 250 m³/s), pendant que le troisième groupe sera en entretien,
- accessibilité des groupes meilleure que pour quatre groupes.

3.3.3. Description des groupes bulbes – variante G2 (RN 70.00)

3.3.3.1. Les groupes bulbes

Les groupes bulbes sont du type à attaque directe, c'est-à-dire que l'alternateur d'un groupe implanté dans le bulbe est entraîné par accouplement direct et tourne à la même vitesse que la turbine.

Chaque groupe comporte deux paliers guides : le palier turbine situé à proximité de la roue et le deuxième palier combiné avec la butée située à proximité immédiate du rotor alternateur.

Le stator de l'alternateur est fixé par boulons côté amont à l'anneau d'entretoises qui possède une grande rigidité pour transmettre les efforts importants s'appliquant sur le bulbe aux fondations. Le distributeur est fixé de la même manière à l'aval de l'anneau d'entretoises. La calotte du bulbe est fixée côté amont du stator de l'alternateur.

L'ensemble du bulbe repose sur un support en béton. L'accessibilité à l'intérieur du bulbe se fait par deux puits verticaux circulaires situés à la partie supérieure. L'accès se fait depuis le niveau 52,50 : le puits d'accès côté aval permet d'accéder, même si le groupe est en service, dans le bulbe du côté turbine. De la même manière, l'autre puits côté amont permet l'accès côté alternateur. Un troisième accès par la partie inférieure du bulbe est possible depuis le niveau 36,80 sous la turbine.

Tant la turbine que l'alternateur sont démontables par le dessus. La roue peut être enlevée après démontage du demi-manteau supérieur de la turbine accessible au pont roulant depuis la fosse de la turbine. Le rotor et le stator de l'alternateur peuvent être extraits après démontage du couvercle supérieur en acier qui est traversé par le puits de descente turbine.

En aval de la roue, le cône de l'aspirateur est fixé à l'amont au manteau de roue via un joint de démontage. Côté aval le cône est prolongé jusqu'à une section de l'aspirateur où la vitesse de l'eau permet au béton coffré de prendre le relais du blindage en acier jusqu'aux rainures à batardeau aval.

Le distributeur constitué par un ensemble d'aubes directrices représente l'organe de sécurité le plus important du groupe. Il permet en toute circonstance de régler le débit turbiné, ce qui permet soit le réglage de la vitesse du groupe lorsqu'il n'est pas connecté au réseau et le réglage de la puissance une fois que la prise de parallèle a eu lieu.

La commande des pales de roue et des aubes directrices est conjuguée de manière à optimiser les triangles de vitesse et obtenir ainsi, à tout moment, le meilleur rendement de la turbine. Toutefois en cas de nécessité, par exemple en cas de fermeture d'urgence, les mouvements des aubes de roue et des aubes directrices sont déconjugués de manière à choisir la loi de fermeture permettant de limiter les effets d'un arrêt rapide à savoir la

survitesse du groupe, la surpression à l'amont pour ne pas faire remonter le niveau amont au-dessus du niveau de garde 76,00 et la dépression à l'aval de la roue.

Le régulateur hydraulique piloté par le régleur électronique est implanté au niveau 52,50 à proximité du puits d'accès côté turbine.

Les aubes de roue sont coulées en acier inoxydable 13-4, l'arbre en une pièce est en acier forgé.

3.3.3.2. Drainage et exhaure

Le drainage concerne les écoulements à l'air libre qui sont collectés gravitairement jusqu'à un puisard ouvert. Les débits concernés (par exemple, fuites des joints d'arbre, du génie civil, ou accidentelles, etc.) sont généralement peu élevés.

La vidange d'un groupe après batardage nécessite l'envoi au puisard d'exhaure de gros volumes d'eau et il est recommandé de le faire via deux tuyauteries, l'une venant du point bas amont du conduit hydraulique et l'autre du point bas aval. Les eaux de vidange sont ensuite recueillies dans une galerie qui évacue l'eau vers le puisard d'exhaure. Le circuit d'exhaure peut être mis sous eau jusqu'au niveau 52,50 sans conséquence pour l'usine.

Le puisard d'exhaure est équipé d'une pompe de type submersible permettant d'évacuer les eaux vers l'aval au-dessus des plus hautes eaux. Cette pompe peut être extraite du puisard pour être remplacée, même si cette dernière est sous eau, à l'aide d'une chaîne accrochée à un palan.

3.3.3.3. Equipements électriques et de télécommande

Les tableaux MT alternateurs avec jeux de barres, disjoncteurs de groupe et protections, de même que les armoires et transformateurs d'excitation statiques des alternateurs, sont implantés dans les locaux techniques au niveau 52,50.

Le transformateur des auxiliaires généraux ainsi que les tableaux généraux BT sont situés au niveau 57,00. Il en est de même des équipements CC avec local batterie et redresseur ainsi que des équipements de protection des transformateurs principaux.

Les passages de câbles se font en majorité via une galerie accessible située le long du mur aval de l'usine au niveau 52,50.

Les trois transfos élévateurs principaux avec leur protection incendie ont été implantés sur la plate-forme extérieure aval de l'usine, au niveau 62,00. Ils sont orientés vers la sous-station qu'ils doivent alimenter. Le groupe diesel de secours et son réservoir se situent entre deux transformateurs élévateurs

Côté contrôle-commande, les trois armoires de commande locale des groupes bulbes sont placées dans l'axe des groupes, chacune à proximité de chaque puits turbine au niveau 52,50.

En opération normale, les 3 groupes seront commandés depuis la salle de contrôle implantée au niveau 62,00 où se situent également outre des bureaux, l'atelier et le local de climatisation.

3.3.3.4. *Grilles, vantellerie et équipements de levage*

➤ *Grilles*

Une grille continue inclinée à 15° protège les turbines contre l'entrée de corps étrangers. Elle est constituée d'un ensemble de panneaux démontables. Les panneaux comportent des barreaux verticaux à section rectangulaire dont l'écartement est classiquement fourni par le constructeur des turbines bulbes afin d'éviter tout coincement de deux aubes directrices dans la zone de fonctionnement normale.

Les barreaux de grille sont soudés à des entretoises horizontales pour éviter toute vibration nuisible due aux tourbillons alternés. Les panneaux de grille sont fixés par boulonnerie inoxydable sur des cornières et des pannes support pisciformes en acier présentant une inertie suffisante. La vitesse d'approche de l'eau doit être inférieure à 1 m/s.

Les grilles doivent être nettoyées par la poche racleuse du dégrilleur suivant une fréquence définie par la quantité des corps étrangers (bois, feuilles, ...). Le dégrilleur est situé au niveau 76,00 ; il est combiné avec le portique à batardeaux amont.

➤ *Dégrilleur*

Le dégrilleur est constitué essentiellement d'une poche racleuse montée sur galets en caoutchouc qui généralement, après avoir été descendue en position ouverte, se referme à la partie inférieure des grilles pour les nettoyer en remontant. Les débris ainsi récoltés sont déversés dans un wagonnet se déplaçant avec le portique ou dans une cunette alimentée en eau qui évacue les débris vers une fosse située en rive. Un nettoyage des grilles peut également se faire de haut en bas.

Le dégrilleur est combiné avec le portique à batardeaux amont monté sur rail.

➤ *Batardeaux*

Deux batardeaux sont prévus: l'un en amont du bulbe et l'autre à l'aval, pour permettre la vidange du conduit hydraulique de manière à procéder à un entretien et au démontage d'un groupe.

Le batardeau amont est constitué de plusieurs éléments mis en place à l'aide d'un palonnier à accrochage automatique. La mise en place et l'enlèvement des éléments de batardeau se fait par le portique amont combiné avec le dégrilleur, qui se déplace sur rails au niveau 76,00.

Le batardeau aval est constitué de plusieurs éléments mis en place à l'aide du portique aval situé au niveau 62,00.

L'étanchéité des batardeaux est constituée par des joints du type «note de musique». Les joints sont fixés à l'aide de plats maintenus en place par de la boulonnerie inoxydable.

Il est prévu trois jeux de batardeaux permettant d'isoler et de vidanger les trois groupes en même temps, ceci afin d'éviter le recours à un batardage provisoire en phase de construction, à un moment critique des travaux où l'étanchéité aval doit être garantie sans retard.

➤ *Portique à batardeaux aval*

Le portique à batardeaux aval se déplace, tout comme le portique amont, sur une voie de roulement transversale au départ d'un point d'alimentation central. La voie de roulement est prolongée pour permettre le stockage des éléments de batardeau et leur entretien (peinture, changement des joints, ...).

➤ *Pont roulant*

Le pont roulant est appelé à desservir toute la salle des machines, tant sur la plage de montage que les trois groupes (fosses des turbines et des alternateurs).

3.3.4. Description des groupes Kaplan – variante G3 (RN 75,00)

3.3.4.1. Les groupes Kaplan

Les groupes Kaplan sont des machines à réaction et à injection totale adaptées aux faibles chutes et aux débits élevés. La structure générale de ces machines est à axe vertical.

La turbine Kaplan présente des avantages remarquables par rapport aux autres types de machines en offrant, par exemple, une plus grande stabilité de fonctionnement que le bulbe, du fait de l'inertie importante de ses parties tournantes.

Du fait des faibles chutes, la bêche d'alimentation de la turbine est du type frontospirale en béton.

Chaque groupe comporte deux paliers guides : le palier turbine situé à proximité de la roue et le deuxième palier combiné avec la butée située à proximité immédiate du rotor alternateur.

L'accès à la pivoterie et à la partie inférieure de l'alternateur se fait depuis le niveau 50,30. De plus, un accès pour la visite de la roue est prévu à partir du niveau 39,05.

La turbine et l'alternateur sont démontables par le dessus à l'aide du pont roulant. La roue peut être enlevée après démontage du rotor de l'alternateur, le stator restant en place.

L'aspirateur joue un rôle important compte tenu du fonctionnement (faible chute et vitesse d'écoulement élevée). La roue de la turbine est placée sous le niveau de restitution aval et l'ensemble aspirateur-diffuseur a une forme coudée pour diminuer l'effet de cavitation. Le cône est prolongé jusqu'à une section de l'aspirateur où la vitesse de l'eau permet au béton coffré de prendre le relais du blindage en acier jusqu'aux rainures à batardeau aval.

Le distributeur constitué par un ensemble d'aubes directrices représente l'organe de sécurité le plus important du groupe. Il permet en toute circonstance de régler le débit turbiné, ce qui permet soit le réglage de la vitesse du groupe lorsqu'il n'est pas connecté au réseau et le réglage de la puissance une fois que la prise de parallèle a eu lieu.

La commande des pales de roue et des aubes directrices est conjuguée de manière à optimiser les triangles de vitesse et obtenir ainsi, à tout moment, le meilleur rendement de la turbine. Toutefois en cas de nécessité, par exemple en cas de fermeture d'urgence, les mouvements des aubes de roue et des aubes directrices sont déconjugués de manière à choisir la loi de fermeture permettant de limiter les effets d'un arrêt rapide à savoir la survitesse du groupe, la surpression à l'amont pour ne pas faire remonter le niveau amont au-dessus du niveau de garde 81,00 et la dépression à l'aval de la roue.

Le régulateur hydraulique piloté par le régleur électronique est implanté au niveau 50,30 à proximité du puits d'accès côté turbine.

Les aubes de roue sont coulées en acier inoxydable 13-4, l'arbre en une pièce est en acier forgé.

3.3.4.2. *Drainage et exhaure*

Le drainage concerne les écoulements à l'air libre qui sont collectés gravitairement jusqu'à un puisard ouvert. Les débits concernés (par exemple, fuites des joints d'arbre, du génie civil, ou accidentelles, etc.), sont généralement peu élevés.

La vidange d'un groupe après batardage nécessite l'envoi au puisard d'exhaure de gros volumes d'eau et il est recommandé de le faire via deux tuyauteries, l'une venant du point bas amont du conduit hydraulique et l'autre du point bas aval. Les eaux de vidange sont ensuite recueillies dans galerie qui évacue l'eau vers le puisard d'exhaure. Le circuit d'exhaure peut être mis sous eau jusqu'au niveau 50,30 sans conséquence pour l'usine.

Le puisard d'exhaure est équipé d'une pompe de type submersible permettant d'évacuer les eaux vers l'aval au-dessus des plus hautes eaux. Cette pompe peut être extraite du puisard pour être remplacée, même si cette dernière est sous eau, à l'aide d'une chaîne accrochée à un palan.

3.3.4.3. *Equipements électriques et de télécommande*

Les tableaux MT alternateurs avec jeux de barres, disjoncteurs de groupe et protections, de même que les armoires et transformateurs d'excitation statiques des alternateurs, sont implantés dans les locaux techniques au niveau 54,80.

Le transformateur des auxiliaires généraux ainsi que les tableaux généraux BT sont situés au niveau 54,80. Il en est de même des équipements CC avec local batterie et redresseur ainsi que des équipements de protection des transformateurs principaux.

Les équipements de régulation des turbines, les systèmes d'eau de réfrigération des groupes et d'air comprimé sont situés au niveau 50,30.

Les passages de câbles se font en majorité via une galerie accessible située le long du mur aval de l'usine au niveau 45,80.

Les trois transfos élévateurs principaux avec leur protection incendie ont été implantés sur la plate-forme extérieure aval de l'usine, au niveau 61,00. Ils sont orientés vers la sous-station qu'ils doivent alimenter. Le groupe diesel de secours et son réservoir se situent entre deux transformateurs élévateurs.

Côté contrôle-commande, les trois armoires de commande locale des groupes sont placées dans l'axe des groupes au niveau 54,80.

En opération normale, les 3 groupes seront commandés depuis la salle de contrôle implantée au niveau 61,00 où se situent également outre des bureaux, l'atelier et le local de climatisation.

3.3.4.4. *Grilles, vantellerie et équipements de levage*

➤ *Grilles*

Une grille continue inclinée à 15° protège les turbines contre l'entrée de corps étrangers. Elle est constituée d'un ensemble de panneaux démontables. Les panneaux comportent des barreaux verticaux à section rectangulaire dont l'écartement est classiquement fourni par le constructeur des turbines afin d'éviter tout coincement de deux aubes directrices dans la zone de fonctionnement normale.

Les barreaux de grille sont soudés à des entretoises horizontales pour éviter toute vibration nuisible due aux tourbillons alternés. Les panneaux de grille sont fixés par boulonnerie inoxydable sur des cornières et des pannes support pisciformes en acier présentant une inertie suffisante. La vitesse d'approche de l'eau doit être inférieure à 1 m/s.

Les grilles doivent être nettoyées par la poche racleuse du dégrilleur suivant une fréquence définie par la quantité des corps étrangers (bois, feuilles, ...). Le dégrilleur est situé au niveau 81,00 ; il est combiné avec le portique à batardeaux amont.

➤ *Dégrilleur*

Le dégrilleur est constitué essentiellement d'une poche racleuse montée sur galets en caoutchouc qui généralement, après avoir été descendue en position ouverte, se referme à la partie inférieure des grilles pour les nettoyer en remontant. Les débris ainsi récoltés sont déversés dans une cunette alimentée en eau qui évacue les débris vers une fosse située en rive. Un nettoyage des grilles peut également se faire de haut en bas.

Le dégrilleur est combiné avec le portique à batardeaux amont monté sur rail.

➤ *Batardeaux*

Deux batardeaux sont prévus: l'un en amont du groupe et l'autre à l'aval, pour permettre la vidange du conduit hydraulique de manière à procéder à un entretien et au démontage d'un groupe.

Le batardeau amont est constitué de plusieurs éléments mis en place à l'aide d'un palonnier à accrochage automatique. La mise en place et l'enlèvement des éléments de batardeau se fait par le portique amont combiné avec le dégrilleur, qui se déplace sur rails au niveau 81,00.

Le batardeau aval est constitué de plusieurs éléments mis en place à l'aide du portique aval situé au niveau 61,00.

L'étanchéité des batardeaux est constituée par des joints du type «note de musique». Les joints sont fixés à l'aide de plats maintenus en place par de la boulonnerie inoxydable.

Il est prévu trois jeux de batardeaux permettant d'isoler et de vidanger les trois groupes en même temps, ceci afin d'éviter le recours à un batardage provisoire en phase de construction, à un moment critique des travaux où l'étanchéité aval doit être garantie sans retard.

➤ *Portique à batardeaux aval*

Le portique à batardeaux aval se déplace, tout comme le portique amont, sur une voie de roulement transversale au départ d'un point d'alimentation central. La voie de roulement est prolongée pour permettre le stockage des éléments de batardeau et leur entretien (peinture, changement des joints, ...).

➤ *Pont roulant*

Le pont roulant est appelé à desservir toute la salle des machines, tant sur la plage de montage que les trois groupes.

3.4. Liaison avec le réseau de transmission HT

3.4.1. Capacité de transport du réseau HT existant

La réalisation du projet "Energie" a consisté à alimenter en énergie électrique les principaux centres de consommation des pays membres de l'OMVS, en l'occurrence le Mali, la Mauritanie et le Sénégal, à partir de la centrale hydroélectrique de Manantali. Cette centrale représente une puissance totale installée de 200 MW sur la base de 5 groupes de 40 MW unitaire, pour une production moyenne annuelle de l'ordre de 800 GWh.

L'énergie est transportée depuis Manantali vers les différents centres de consommation selon un axe Est et un axe Ouest. L'axe Est est constitué d'une ligne 225 kV d'environ 306 km arrivant au poste de Kodialani, qui alimente Bamako. L'axe Ouest assure le transport de l'énergie vers Dakar et Nouakchott d'abord au travers d'une ligne commune 225 kV d'environ 707 km de longueur jusqu'au poste de Dagana, puis une ligne Dagana – Sakal de 114 km vers Dakar, et une ligne 225 kV d'environ 146 km vers Nouakchott (voir le plan GO-401).

D'après les études réalisées par Fichtner, la capacité de transport de l'axe Est est de 130 MW, et celui de l'axe Ouest de 170 MW. Pour la ligne principale monoterne reliant le poste de la centrale de Manantali au poste de Sakal situé à proximité de Dakar (axe Ouest), chaque phase est équipée de deux conducteurs Sapsucker 280/27. Si on suppose une puissance transportée de 150 MW, il en résulte une densité de courant de $0,76 \text{ A/mm}^2$, celle-ci correspondant à une densité de courant optimale (valeurs usuelles entre 0,6 et 0,8). Cet optimum de coût global représente le meilleur compromis entre le coût de la ligne et le coût des pertes Joule occasionnées par le passage du courant dans cette ligne. Ainsi, la ligne est faiblement chargée pour des questions de coût des pertes, alors qu'elle pourrait théoriquement transporter des densités de courant deux fois plus élevées tout en respectant encore la température limite des conducteurs.

3.4.2. Raccordement de la centrale de Gouina au réseau HT

Deux possibilités de raccordement de la centrale de Gouina au réseau HT peuvent être considérées a priori :

1. Raccordement en dérivation du poste de Gouina sur la ligne HT existante.

Une coupure de la ligne existante au droit de Gouina permettrait de raccorder le poste de Gouina au réseau HT. De même, au cas où l'aménagement de Félou serait également réalisé, une deuxième coupure de la ligne pourrait y être effectuée.

2. Création d'une nouvelle ligne HT entre les postes de Gouina et de Kayes.

Une ligne nouvelle d'environ 58 km serait réalisée entre le poste de Gouina et le poste de Kayes. Cette ligne pourrait être dimensionnée pour transiter la puissance produite par les deux nouveaux aménagements hydroélectriques de Félou et de Gouina en prévision de la réalisation de l'aménagement de Félou, à 55 km environ au Nord de Gouina.

La première option n'est pas recommandée car la ligne existante est inadaptée pour absorber la puissance supplémentaire fournie par l'usine de Gouina, et a fortiori par celle de Félou, dans des conditions de fonctionnement et avec des pertes acceptables.

Au stade actuel des études, c'est donc la seconde option qui est retenue, qui nécessite la création d'un poste de départ à Gouina et d'une nouvelle ligne 225 kV d'une longueur de 58 km entre ce poste et le poste existant de Kayes.

3.4.3. *Adaptation du réseau HT interconnecté*

L'adaptation du réseau HT interconnecté de l'OMVS nécessitée par l'évolution prévisible de la production et de la demande est analysée dans le présent chapitre, suivant trois situations possibles :

- réalisation dans un premier temps de Gouina seul (plan GO-403),
- réalisation de Félou et de Gouina (plans GO-404 et GO-405).

3.4.3.1. *Réalisation de Gouina seul (plan GO-403)*

La centrale de Gouina est raccordée directement au poste 225 kV de Kayes par une ligne de 58 km environ qui pourra suivre le cheminement de la ligne existante Manantali – Kayes. Le reste du réseau de transport 225 kV est inchangé. On suppose ici que l'aménagement de Félou n'est pas réalisé dans un premier temps, et on admet qu'une partie de l'énergie produite sera consommée localement au Mali (aux postes de Kodialani et de Kayes), l'autre partie étant consommée à l'Ouest par la Mauritanie et le Sénégal.

Bien qu'elle risque d'engendrer une augmentation sensible de la puissance transportée et donc des pertes en ligne augmentées sur l'axe Ouest, cette solution répond aux exigences techniques minimales et ne nécessite que des adaptations mineures du réseau. C'est donc cette solution technique qui est retenue et valorisée dans l'estimation globale du coût de réalisation de l'aménagement de Gouina.

Le coût des équipements 225 kV est estimé à 8 965 k€ (soit environ 5,8 milliards FCFA) y compris ingénierie et aléas, qui se répartissent en :

- ligne HT usine – poste	55 k€
- poste 225 kV de la centrale	3 300 k€
- adjonction d'une travée arrivée ligne à Kayes	825 k€
- ligne 225 kV entre poste de Gouina et Kayes	4 785 k€

3.4.3.2. *Réalisation de Félou et de Gouina (plans GO-404 et GO-405)*

Dans le cas où les deux aménagements de Félou et de Gouina devaient être réalisés, une mise à niveau du réseau Ouest serait nécessaire. En effet, la puissance additionnelle sur le réseau interconnecté serait de l'ordre de 150 MW, ce qui doublerait quasiment la puissance transitant sur le réseau HT avec Manantali seul. Etant donné l'évolution prévisible de la

demande, on devrait envisager de transporter l'énergie produite par les deux nouveaux aménagements en grande partie vers la Mauritanie et le Sénégal. Dans ce cas, la capacité de transport de l'axe Ouest serait insuffisante.

Deux options techniques sont envisageables : le doublement de l'axe Ouest existant entre Kayes et Dakar (plan GO-404), ou la création d'une ligne nouvelle par le Sud reliant Kayes à Tambacounda et Kaolack (plan GO-405), cette dernière s'intégrant partiellement aux plans d'interconnexion régionale étudiées dans le cadre du WAPP (West African Power Pool) sous l'égide de la CEDEAO.

➤ *Option 1 (Nord) : doublement de la ligne Ouest existante (plan GO-404)*

Le doublement des lignes existantes permettrait de maintenir les pertes en ligne au niveau des pertes actuelles. De plus, le doublement de l'axe Ouest permettrait de fiabiliser les lignes HT en cas de déclenchement accidentel ou volontaire de celles-ci.

En contrepartie, l'extension du réseau représenterait un coût élevé, estimé à environ **90 000 k€** (soit environ 59 milliards FCFA), dont 80 000 k€ pour la ligne 225 kV et 10 000 k€ pour les postes.

➤ *Option 2 (Sud) : nouvelle ligne Kayes – Tambacounda – Kaolack (plan GO-405)*

Dans cette variante, la capacité d'évacuation de l'énergie vers l'Ouest est augmentée par la création d'une ligne nouvelle plus au Sud, reliant Kayes à Dakar via Tambacounda et Kaolack. Une boucle en 225 kV serait ainsi réalisée pour relier les différents postes 225 kV de l'axe Ouest.

Cette variante présente aussi l'avantage de fiabiliser l'ensemble du réseau Ouest. De plus, une interconnexion avec le réseau guinéen pourrait être envisagée au niveau du poste de Tambacounda. L'axe Dakar – Kaolack – Tambacounda – Kédougou – Linsan fait d'ailleurs partie de l'ossature principale envisagée au niveau de la CEDEAO pour interconnecter la majeure partie des pays d'Afrique de l'ouest.

Le coût de réalisation de cette partie du réseau, au-delà des coûts de raccordement de Gouina seul, est estimé à environ **60 000 k€** (environ 39 milliards FCFA), dont 50 000 k€ pour la ligne 225 kV et 10 000 k€ pour les postes HT.

Les coûts relatifs aux postes de Kaolack, Touba et Tobène ainsi que les lignes 225 kV reliant ces postes sont exclus de ce montant, car cette partie du réseau est en cours de réalisation par la SONELEC.

3.4.3.3. Renforcement de la fiabilité du réseau

Que ce soit dans le cas de Gouina réalisé seul, ou de Férou et Gouina ajoutés au réseau de l'OMVS, la fiabilité du réseau peut être sensiblement augmentée. Les coûts de fiabilisation du réseau ne peuvent cependant être inclus dans le coût de développement de Férou ou Gouina, qui ne constituent qu'une partie des moyens de production alimentant ce réseau.

3.4.3.4. Projet de raccordement des mines de Sadiola au Réseau Interconnecté

Une consultation récente pour le projet de raccordement des mines d'or de Sadiola au Réseau électrique Interconnecté prévoit la construction d'une ligne nouvelle de 150 kV de Sadiola jusqu'au poste HT de Kayes via Diamou.

Dans ce contexte, il pourrait donc être envisagé d'évacuer tout ou partie de la production des usines de Férou et de Gouina au moyen de cette nouvelle ligne, vers le Réseau Interconnecté ou vers les mines de Sadiola. Cette option nécessiterait une étude de faisabilité technique complémentaire tenant compte du tracé des lignes, de l'emplacement des postes HT et des dates prévisionnelles de réalisation des différents ouvrages.

4. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

4.1. Préambule

4.1.1. Objectifs et portée de l'étude environnementale

L'on se situe au stade de l'étude de faisabilité, préparant la décision de réaliser – ou non – l'ouvrage. L'étude d'impact environnemental (EIE) à caractère réglementaire (ou EIE complète) sera réalisée au stade ultérieur de l'avant-projet détaillé (APD), après décision de réalisation. La présente étude n'a pas de caractère obligatoire vis-à-vis de la réglementation et a pour objectifs: i) de contribuer à la décision de réaliser – ou non - le projet sur la base de critères environnementaux; et de ii) contribuer à déterminer la faisabilité économique et financière de l'aménagement en estimant le coût environnemental du projet. Elle pourra aussi orienter les termes de référence de l'EIE réglementaire.

Le présent rapport proposera les critères environnementaux de choix entre les deux variantes retenues à l'issue de la phase préliminaire sur la base de critères socio-environnementaux, à savoir: i) une "variante basse" (G2), avec cote de retenue normale (RN) de 70 m; et ii) une "variante haute" (G3), avec cote de RN à 75 mètres.

Les impacts sont étudiés indépendamment de ceux liés à d'autres projets, en particulier, les impacts résiduels de Manantali et ceux du projet de route Kayes-Bafoulabé. Toutefois, l'on signalera d'éventuels impacts cumulatifs.

Les impacts de la ligne de transport électrique seront étudiés jusqu'à la hauteur du raccordement à la ligne Ouest de Manantali, le doublement éventuel de cette ligne dépassant le cadre de la présente étude.

4.1.2. Le contexte institutionnel et réglementaire

4.1.2.1. Cadre de référence pour le bassin du fleuve Sénégal

Le contexte sous-régional de la présente étude environnementale est essentiellement marqué par l'existence et la mise en œuvre du Programme d'atténuation et de suivi des impacts sur l'environnement de la mise en valeur du fleuve Sénégal (PASIE), publié en avril 1999. L'aménagement de Gouina, comme celui de Félou, sont définis comme des mesures d'accompagnement du PASIE. Ce programme constitue l'ébauche d'un plan d'action environnemental du bassin du fleuve Sénégal, en cours d'élaboration dans le cadre du processus d'aménagement du fleuve.

Dans l'attente de l'application du Plan général d'action pour l'environnement dans le bassin du fleuve Sénégal (PGAE) et du Code de l'environnement du bassin du fleuve Sénégal, le PASIE constitue une référence pour déterminer les mesures d'atténuation du projet d'aménagement de Gouina. En effet, en adoptant le PASIE, les Etats membres de l'OMVS et leurs partenaires au développement ont jeté les bases de directives applicables aux aménagements hydroélectriques réalisés dans le bassin du fleuve Sénégal. Ces directives sont fondées d'une part sur les réglementations nationales existantes et, d'autre part, sur les prescriptions édictées par certains bailleurs de fonds. Les principales composantes du PASIE sont les suivantes :

- optimisation des tracés des lignes de transport électrique pour minimiser leurs impacts sur l'environnement;
- appropriation des emprises nécessaires à l'établissement des lignes et des postes;
- spécifications environnementales des travaux de construction;
- lutte contre les maladies hydriques dans le cadre d'un Plan sanitaire régional;
- suivi et protection de l'environnement pendant l'exploitation des ouvrages;
- actions de développement local en accompagnement des grands investissements (programme de lutte contre la pauvreté).

Les termes de référence de l'EIE complète devront se conformer au cadre d'orientation constitué par le Code de l'environnement des Etats membres de l'OMVS et ses instruments d'application aux nouveaux investissements. Ils se référeront également aux enseignements de l'application des différentes composantes du PASIE.

4.1.2.2. Cadre de référence des bailleurs de fonds

Plusieurs directives de la Banque Mondiale sont applicables au présent projet. Les recommandations de la présente étude s'y conforment et l'EIE complète devra explicitement s'y référer. Le projet devra être conforme au principe de base de la directive sur les déplacements de population, qui consiste à les minimiser. L'on se référera également aux principes suivants, énonçant que: i) les bénéfices du projet doivent être partagés avec la population affectée, et que ii) les mesures d'atténuation doivent prendre la forme d'un plan de développement.

4.1.2.3. Cadre de référence réglementaire

Dans l'attente d'un cadre commun aux pays de l'OMVS, la réglementation du Mali est applicable au projet. Les EIE relèvent de la Direction nationale de l'assainissement et du contrôle des pollutions et des nuisances, qui donne un avis motivé sur les rapports d'EIE et

élabore les méthodologies appropriées. Le texte de base est la loi n° 91-047/AN-RM relative à la protection de l'environnement et du cadre de vie, promulguée le 28 juillet 1993. Les EIE sont instituées par le décret n° 99-189/P-RM du 5 juillet 1999. Certaines composantes du projet font obligatoirement l'objet d'EIE complètes: les "barrages et autres installations (...)", les "lignes de transport électrique à haute tension", la "construction de route", les "défrichements de plus de 10 ha", "l'exploitation de mines et de carrières". Le plan du rapport d'EIE est globalement conforme à celui préconisé par les directives des bailleurs de fonds. Le décret précise entre autres mesures que: i) les superficies défrichées donnent lieu à un reboisement compensatoire; et que ii) le promoteur a obligation de fournir un rapport annuel sur l'état environnemental de sa zone d'intervention.

4.1.2.4. *Autres cadres de référence*

Les directives et réglementations relatives à la conservation des milieux et des espèces, au patrimoine historique et culturel, à la gestion des massifs forestiers classés seront également applicables.

Une mention particulière doit être faite du cadre réglementaire régissant les collectivités territoriales décentralisées dont un corpus de textes¹⁸ définit les attributions, les modalités de fonctionnement et les ressources. La loi n° 95-034, portant Code des collectivités territoriales, et ses lois rectificatives définissent notamment les attributions du conseil communal vis-à-vis du développement de son territoire. Les modifications apportées à l'organisation du terroir communal et les dispositions relatives, par exemple, aux infrastructures locales relèvent d'une délibération communale. Le conseil communal est également "obligatoirement consulté pour la réalisation de projets d'aménagement ou d'équipement de l'Etat dans sa commune, ou de toute autre collectivité ou organisme public ou privé sur le territoire". Un projet de l'OMVS relève donc aussi de cette disposition.

L'analyse des dispositions réglementaires relatives aux communes doit également considérer ses ressources financières, afin de déterminer si, et à quelle hauteur, les aménagements et les activités liées au projet, ou une partie d'entre eux, relèvent d'une fiscalité locale et, particulièrement, de la patente, de la taxe sur les autorisations de construire, sur l'exploitation des carrières, sur la voirie. Ces dispositions fiscales peuvent être en effet analysées selon deux points de vue: i) comme un alourdissement des coûts d'exploitation; mais aussi ii) comme une contribution durable du projet au développement local.

18 *Lois et décrets de la décentralisation – Mission de décentralisation et des réformes institutionnelles – Mars 1999 (et mises à jours des textes le constituant).*

4.2. Impacts positifs potentiels de l'aménagement de Gouina et mise en valeur des opportunités

4.2.1. *Emploi*

De nombreux emplois seront créés, en particulier durant la phase de travaux. Cette opportunité est très présente à l'esprit des personnes affectées par le Projet (PAP) dont certaines sont des ouvriers qualifiés, s'exprimant en français et ayant pour certains travaillé à Manantali, à la cimenterie de Diamou ou en expatriation. Une politique appropriée de recrutement local, voire de formation professionnelle, devrait maximiser les embauches, pour les emplois non qualifiés comme pour les emplois qualifiés, pour la population de la région, et les PAP en particulier. Pour cette dernière catégorie, ces emplois ne constituent en aucun cas des mesures de compensation, prévues par ailleurs. L'exploitation induira des emplois plus durables mais en nombre limité et requérant la participation de ressortissants des trois Etats membres.

Pendant les travaux, puis en phase d'exploitation, la présence de salariés sur les sites des ouvrages constituera un marché pour les produits locaux (agriculture, élevage, pêche et artisanat) et une source de revenus additionnels pour les populations locales. Une politique appropriée de développement et de commercialisation agricoles, impliquant au maximum les PAP et anticipant l'installation des bases-vie, devrait maximiser les revenus familiaux dans les villages concernés. Dans ce même but, les actions de désenclavement prévues par ailleurs (voir paragraphe 4.2.3. ci-après), devraient également anticiper l'installation des chantiers afin de favoriser la commercialisation des productions locales au profit de son personnel.

4.2.2. *Pêche*

La création d'une retenue, même de dimension réduite, constitue une opportunité pour la pêche. Toutefois, dans le cas de Gouina où les conditions de pêche dans l'aval immédiat des chutes pourraient être affectées, cette nouvelle possibilité peut ne constituer qu'une compensation.

4.2.3. *Désenclavement*

Indépendamment du projet d'aménagement de Gouina, la construction d'un axe bitumé Kayes-Diamou-Sélinkégni-Bafoulabé aura un impact positif majeur sur le désenclavement de la région. L'accès au chantier constitué par un tronçon Diamou-Gouina de 17 km environ en rive gauche n'aura qu'un impact marginal. Ce sont surtout les opérations de désenclavement liées à une éventuelle réinstallation de population sur l'axe Gouina-Bafoulabé qui auraient un

impact régional dépassant les seules mesures de réinstallation et facilitant l'expédition des productions de la vallée vers Bafoulabé et Mahina.

4.2.4. Economie sous-régionale

La contribution de Gouina à la fourniture d'énergie électrique renouvelable pour les trois pays de l'OMVS constitue l'impact positif majeur du projet. L'accroissement des moyens de production régionaux ainsi obtenue contribuera à la satisfaction d'une demande de consommation toujours croissante, qui va de paire avec le développement économique de la région.

La production hydroélectrique se substituera à la production alternative d'origine thermique reposant sur des ressources pétrolières entièrement importées et mettra une partie accrue de la production à l'abri de la fluctuation des cours du pétrole. Cette substitution renforcera celle déjà acquise par la mise en service de Manantali. Les économies en matière d'hydrocarbures sont évaluées à 90 000 tonnes/an (variante G2) ou 119 000 tonnes/an (variante G3).

4.2.5. Environnement global

La production hydroélectrique est une énergie renouvelable, à la différence de la production thermique. Le plan d'eau en amont de la retenue restera de dimensions limitées, le réservoir de Manantali assurant la fonction de réservoir principal. Les pertes additionnelles par évaporation seront en conséquence réduites. La production de gaz à effet de serre par décomposition de matière organique noyée sera également limitée et peut être encore réduite par une opération de déboisement facilitée par la superficie réduite à traiter (300 ha à la cote RN 70m et 850 ha à la cote RN 75m).

Par contre le remplacement d'énergie d'origine thermique par l'énergie hydroélectrique permettra d'économiser un volume important de gaz à effet de serre produit par la combustion d'hydrocarbures des centrales thermiques. Ces émissions évitées sont estimées à 280 000 tonnes d'équivalent CO₂ par an (variante G2) ou 370 000 tonnes d'équivalent CO₂ par an (variante G3).

4.3. Impacts négatifs potentiels de l'aménagement de Gouina et principales mesures d'atténuation et de compensation

4.3.1. Impacts de l'aménagement

4.3.1.1. Hydrologie

Le rehaussement du plan d'eau en fonction de la cote du barrage est illustré par les profils en long (plans 01-204 B, 01-205 B et 01-206 C) pour le débit de 500 m³/s et pour la crue cinquantennale (5 100 m³/s), définissant la cote au-dessous de laquelle les établissements humains ne devront pas être maintenus. Les cotes du plan d'eau pour les deux variantes étudiées sont indiquées au tableau 4.1 ci-après. Les conséquences, notamment sur les établissements humains, sont analysées au paragraphe 4.3.1.9 ci-après.

Tableau 4.1: Rehaussements du plan d'eau et écarts par rapport à la situation actuelle

Sites	Situation actuelle		Variante basse (RN 70 m)		Variante haute (RN 75 m)	
	120 m ³ /s	Q ₅₀	120 m ³ /s	Q ₅₀	120 m ³ /s	Q ₅₀
Gouina	64	67	70 (+6 m)	73 (+6 m)	75 (+11 m)	78 (+11 m)
Galougo	69	77	70 (+1 m)	78 (+1 m)	75 (+6 m)	80 (+3 m)
Dipari (estimé)	70	79	70 (+0 m)	80 (+1 m)	75 (+5 m)	81 (+2 m)

Le scénario adopté pour la production hydroélectrique est un fonctionnement au fil de l'eau. L'existence d'une retenue peut permettre de produire une énergie de pointe limitée dans le temps mais avec un intérêt limité dans la mesure où cela: i) nécessiterait un délai de reconstitution de la cote optimum ; et ii) désynchroniserait les régimes de production de Gouina et de Félou.

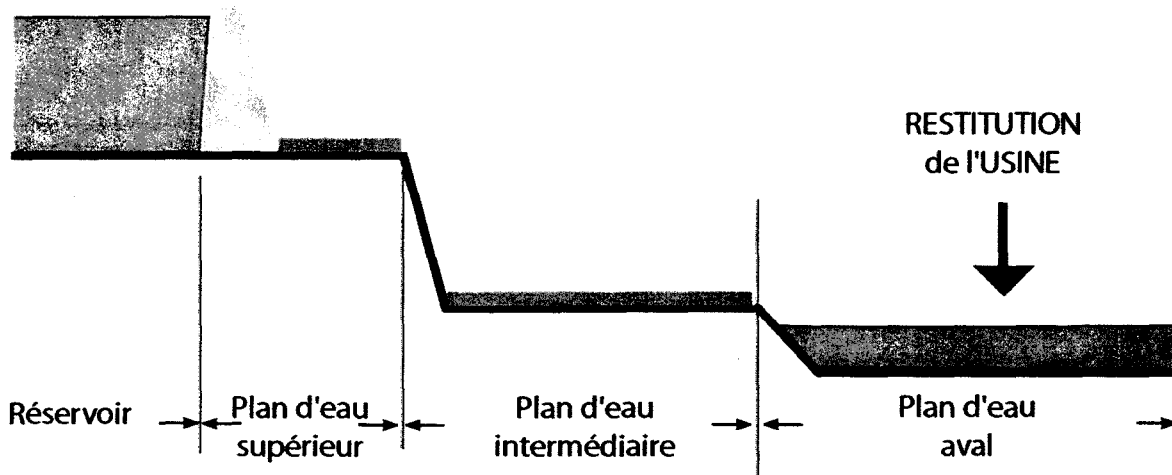
Les impacts sur le régime hydraulique du fleuve en aval de Gouina pourront être dus aux phénomènes suivants:

- i) **Régime de turbinage.** Le débit de turbinage pourra varier de, environ, 80 m³/s (minimum économique pour un groupe) à 600 m³/s ou 700 m³/s (trois groupes en production). Mais ces variations se feront seulement en fonction des variations des apports amont, majoritairement influencés par l'exploitation de Manantali, c'est-à-dire avec une faible vitesse de variation des débits. Le fonctionnement de Gouina au fil de l'eau se traduit en effet par le maintien d'un débit identique à l'amont et à l'aval immédiat du projet ; d'éventuelles variations brutales de turbinage se traduiraient automatiquement par une variation inverse de même ampleur du débit passant par dessus le seuil du barrage.

- ii) **Remplissage initial du réservoir.** Il vise un volume total de 29 millions m^3 à la cote RN 70m et 90 millions m^3 à la cote RN 75m. En saison des pluies, avec des apports moyens de l'ordre de 66 millions m^3 /jour, le remplissage initial peut être effectué sans impact significatif sur le régime du fleuve en aval.

Deux autres types d'impacts sont attendus en aval immédiat du barrage et de l'usine, dans une zone très fréquentée par les pêcheurs:

- iii) **Réduction des apports en eau au pied immédiat des chutes,** du fait de la dérivation vers l'usine (*voir schéma ci-dessous*) avec risque de dégradation de la qualité des eaux, moins oxygénée et, en conséquence, de réduction de la fréquentation par les poissons. Un débit réservé sera nécessaire hors des périodes de déversement et des compensations pour la pêche pourront être temporairement nécessaires.



- iv) **Modifications de l'hydraulicité du plan d'eau aval,** avec la restitution des eaux turbinées. L'effet tourbillonnant en sortie des turbines sera sensible en amont du canal de restitution et sera suffisamment amorti au point de restitution dans le bief aval pour ne pas interdire sa fréquentation. Une interdiction de pénétrer dans le canal sera matérialisée par une drome.
- v) **Modifications instantanées de débit et de niveau du plan d'eau en aval** de la restitution, dues aux modifications du régime de turbinage et au début des épisodes de déversement. Ces modifications peuvent poser un problème de sécurité dans le proche bief aval, ainsi que sur le seuil déversant du barrage (*voir le commentaire sur ce sujet au § 3.2.2.*). Elles sont cependant prévisibles et une alerte préalable peut être déclenchée.

Transport solides

Ils ont été estimés pour la période 1979-1984, c'est-à-dire avant la mise en service de Manantali qui, depuis, piège les transports solides dans le Bafing qui participe aux apports en eau du fleuve Sénégal pour plus des deux tiers. Ni les apports solides résiduels, ni les apports solides relatifs du Bakoye et du Bafing, ne sont connus. D'autre part: i) la granulométrie des matières en suspension étant fine à très fine, avec peu de sédiments morphogènes; ii) les transports solides étant maximums en période de crue, donc de déversements; et iii) une partie des MES étant susceptible de passer à travers les turbines, nous pouvons faire l'hypothèse que les impacts sur l'érosion possible des berges en aval de Gouina ne devrait pas être significative.

4.3.1.2. Sols, occupation des sols

Réservoir et remous du réservoir

Les superficies ennoyées par la retenue, à la cote de RN, ont été estimées d'une part en valeur brute (incluant le plan d'eau permanent actuel) et, d'autre part, en valeur nette, déduction faite de la superficie du plan d'eau dans l'état actuel:

Tableau 4.2: Surface et volume de la retenue sous la RN

Caractéristiques		G2 (RN = 70 m)	G3 (RN = 75 m)
Superficie (km ²)	brute	8,8	15,7
	nette (hors plan d'eau actuel)	3,0	8,5
Volume (millions m ³)		29	90

L'influence de la retenue vers l'amont se fera sentir comme suit, pour la cote de retenue normale, d'une part, et pour la cote atteinte par le remous dans le cas de la crue cinquantennale. Dans tous les cas, les limites amont correspondent à des zones de rapides.

Tableau 4.3: Longueur de la retenue

Cote RN	Longueur totale et limite amont de la retenue	Limite approximative du remous en amont (crue de 50 ans)
70 m	L = 28 km Dipari (5 km environ en amont de Galougo)	3 km environ en amont de Talari
75 m	L = 39 km 3 km environ en amont de Talari, 18 km environ en amont de Galougo	8 km environ en amont de Talari, 6 km environ en aval de Bafoulabé

Stabilité des berges

L'on observe que les berges du fleuve situées dans les couches alluviales, présentent souvent, au contact du fleuve, une forte pente et un aspect bouleversé de berges vives, sur une hauteur de quelques mètres. L'on peut faire l'hypothèse que ces berges sont affouillées en permanence par les crues puis ravinées par le ruissellement. Une élévation du plan d'eau se traduirait alors par un recul systématique des berges des zones limoneuses et un retour progressif à de tels profils. Les usages traditionnels de ces berges (embarcadères, jardins maraîchers, lavage...) devraient s'adapter en permanence au remaniement des berges. A la variante basse, ceci ne concernerait que Galougo (les autres villages ayant été déplacés); à la variante haute, quatre villages seraient concernés.

Emprises des installations permanentes

Elles incluent l'usine et la base de l'exploitant, le poste électrique, les bâtiments annexes d'exploitation, les routes d'accès ainsi que les installations et cités de chantier. Elles seront implantées a priori à proximité de l'ouvrage et en rive gauche, dans des terroirs dont les villages (Foukara-Ile et Foukara RG) auront dû être déplacés dans les deux variantes, avec leurs terres agricoles. Ce site ne fait pas l'objet actuellement d'une exploitation agricole importante. L'impact des emprises permanentes sur l'occupation des sols sera en conséquence limité. Par contre, le couloir de transhumance du bétail devra être maintenu et balisé afin ne pas interférer avec le chantier, puis avec les sites construits pour l'exploitation.

La route d'accès à partir de Diamou/cimenterie suivra globalement le tracé actuel et devra faire l'objet d'une étude d'impact spécifique. Elle ne traverse pas de zone habitée et longe, à distance, trois hameaux (Banganoura, Dédéba, Dabar). Son impact sera également limité et favorable pour les hameaux riverains.

Ligne de transport électrique

Le nouveau corridor de ligne est limité à quelques kilomètres, entre l'usine et la ligne Ouest de Manantali. Pour les raisons ci-dessus, l'impact de cette ligne sur les activités humaines sera négligeable. son impact paysager sur le site de Gouina devra être minimisé par un choix approprié du site du poste HT.

4.3.1.3. *Air et eau*

Hors des impacts du chantier (§ 4.3.2. ci-après) une dégradation de la qualité de l'air peut être issue de la décomposition des matières végétales envoyées dans la retenue par émission d'hydrogène sulfuré (H_2S). Cet impact pourrait être sensible localement et en aval, par une population globalement réduite, et sur une période limitée. Le faible volume de la retenue par rapport aux apports fait que ce phénomène devrait être très limité.

La qualité de l'eau sera également affectée par le même phénomène, affectant l'aspect de l'eau, ses qualités en tant qu'eau de boisson de substitution et en tant que milieu abritant une faune aquatique et particulièrement des ressources halieutiques exploitées. Cet effet, qui ne peut être quantifié à ce stade, sera cependant limité dans le temps et dans son intensité. Il sera également vraisemblablement limité dans l'espace car le fleuve accuse une dénivellée moyenne de 5 % dans les 15 km en aval de Gouina, laissant supposer la présence de rapides aptes à assurer une réoxygénation des eaux.

Le déboisement de la retenue est envisageable compte tenu de la surface limitée du réservoir, le bois récolté, éventuellement transformé en charbon de bois, pouvant constituer un stock mobilisé par la cité ouvrière. Cette mesure facilitera également la pêche dans la retenue, tout en conservant des secteurs non déboisés comme nurseries et abris, selon un plan local d'aménagement des pêches. Des mesures temporaires de compensation de la pêche en aval devront être envisagées et liées à celles dues aux contraintes créées par le chantier.

4.3.1.4. *Flore, faune et végétation terrestres*

Les impacts permanents seront dus aux aménagements suivants:

- i) Création du réservoir qui noiera une végétation de savane boisée à savane arborée ainsi que des formations forestières ripicoles, limitées en surface. La superficie touchée serait de 300 ha à la cote basse (G2) et 850 ha à la cote haute (G3), déduction faite de la surface du plan d'eau actuel. La forêt classée (FC) de Bagouko n'est pas concernée dans la mesure où sa frange ripicole a déjà été déclassée compte tenu des implantations humaines sur les rives du fleuve (hameaux de Banganoura, Dédéba, Dabar).

- ii) Emprises des installations permanentes, nécessitant des défrichements sur une superficie réduite, hors de la FC de Bagouko.
- iii) Emprise de la route d'accès au site, d'une longueur de 20 km, reprenant l'itinéraire de la route actuelle à partir du carrefour situé à hauteur de la cimenterie de Diamou. Cet accès traversera la FC de Bagouko sur environ 7 km et la longera sur environ 13 km.
- iv) Prélèvements possibles du personnel permanent sur la faune (alimentation) et la flore (bois d'œuvre, alimentation, pharmacopée) locales.

Les ressources floristiques et faunistiques soustraites aux usages traditionnels dans la zone (non classée) du réservoir ne nécessitent pas une stratégie de compensation dans la mesure où la population qui les exploite actuellement devra être déplacée.

Concernant la FC de Bagouko, par contre, une stratégie globale de compensation devra être étudiée avec les services de la conservation de la nature. Les orientations retenues pourront conduire: i) au déclassement des parties de la FC de Bagouko les plus susceptibles d'être dégradées par l'effet du projet (et vraisemblablement les plus affectées actuellement par les pressions anthropiques) ; ii) à un appui à l'extension et à la restauration de cette FC vers des zones moins exposées aux impacts anthropiques (vers le sud-ouest); et iii) à un appui à la gestion/protection de cette forêt et de ses ressources. Sous réserve de ces mesures, le projet ne devrait pas constituer un facteur mettant en cause l'existence même de cette FC.

Les impacts sur la végétation se répercutent sur la faune terrestre dont elle constitue l'habitat. Les appuis à la reconstitution/gestion de la FC de Bagouko devront en tenir compte et incluront les mesures nécessaires pour reconstituer également les habitats de formations forestières ripicoles auxquels une faune spécifique est liée.

Les mesures à prendre vis-à-vis de la FC de Galougo devront être définies sur la base du diagnostic et du plan de gestion prévus dans un autre cadre par la Direction de la conservation de la nature. Cette étude précisera la vocation de la FC, sa richesse biologique, la valeur des différentes zones vis-à-vis de leurs usages et, le cas échéant, formulera les recommandations pour le déclassement de certaines zones et le classement d'autres.

Les risques pour l'avifaune et la faune terrestre liés à la ligne de transport électrique sont marginaux compte tenu du faible linéaire à créer (quelques kilomètres).

4.3.1.5. *Flore, faune et végétation aquatiques et amphibiens*

Faune aquatique et amphibie

Au-delà de la période de construction, la ressource halieutique en aval des chutes, réputée très riche, pourra évoluer compte tenu d'une moindre oxygénation du milieu en saison sèche et d'un moindre débit entre les chutes et le point de restitution. Le plan d'eau intermédiaire (voir plans GO-101 et 102 et photographie n°4 en annexe A0), moins brassé, sera vraisemblablement délaissé par le poisson au profit du plan d'eau aval, alimenté par la restitution de l'usine. L'accès de cette zone pourrait être maintenu pour les pêcheurs à condition d'interdire l'accès au canal de restitution et de prévoir une alerte en cas de déversement ou de chasse. Une analyse spécifique devra préciser ces points et vérifier si la présence du réservoir compensera totalement ou partiellement une réduction éventuelle de la ressource dans l'aval immédiat.

La présence du barrage ne devrait pas être une contrainte vis-à-vis de la migration des poissons dans la mesure où, selon la déclaration des pêcheurs locaux, les chutes constituent déjà un obstacle infranchissable. Un dispositif de franchissement pour les poissons n'est donc pas prévu.

Des concentrations d'hippopotames sont signalées en aval des chutes. La présence du crocodile est également signalée. Les autochtones signalent, dans nos entretiens, que ces deux espèces évoluent d'amont en aval des chutes, par des passages en rive droite. Ces passages naturels devront être maintenus ou réaménagés en rive droite (quasi-inhabitée) des chutes et du barrage. La rive droite du réservoir, actuellement inhabitée (sauf une concession qui sera noyée et devra être déplacée) peut être érigée en réserve pour ces espèces, face à la rive gauche où se concentreront les usages et les établissements humains. La reconstitution de formations forestières ripicoles constitue une mesure préalable nécessaire.

Flore aquatique

Sa composition n'est pas connue mais elle ne devrait pas être sensiblement affectée. La végétation macrophyte envahissante (*Typha*) est signalée localement (dans des dépressions) dans le réservoir de Manantali. Elle constitue un risque pour celui de Gouina. Le marnage y sera néanmoins faible et la morphologie des rives, en première analyse, sera peu favorable aux macrophytes, sauf localement. La lutte mécanique est la mesure envisagée par l'OMVS.

4.3.1.6. *Paysages*

La valeur paysagère intrinsèque du site est importante et reconnue. Son usage pour le tourisme et les loisirs est limité mais réel. Le site constitue l'un des rares sujets d'intérêt

touristique identifié dans la région. L'aménagement aura un impact négatif irréversible sur la valeur paysagère du site du fait des infrastructures permanentes et du barrage lui-même, d'une hauteur totale de 12 m à la cote RN 70 et de 17 m à la cote RN 75. Les murs du canal d'amenée auront une hauteur de 5 m à la cote RN 70 et de 10 m à la cote RN 75.

En contrepartie, l'aménagement de Gouina en facilitera l'accès et multipliera les opportunités de visite. Ces facteurs justifient de maintenir autant que possible les valeurs paysagères du site, voire d'en créer de nouvelles (le lac de retenue ou le déversement sur le barrage, par exemple).

De même que pour le site de Férou, il conviendra de prendre des dispositions destinées à faciliter une exploitation touristique basée sur un ensemble d'intérêts associant hébergement, sites et ressources naturels et industrie. Ceci peut être atteint par plusieurs démarches complémentaires:

- localiser et organiser les infrastructures permanentes de façon à limiter leur impact sur les paysages. La dissimulation des murs du canal d'amenée par des remblais (en excédent sur le site) et leur végétalisation sont un exemple de ces possibilités;
- maintenir les accès aux sites de point de vue (2 à 3 à proximité), ce qui suppose une présence du public dans l'emprise des ouvrages et un passage sur le canal d'amenée;
- aménager de nouveaux points de vue, par exemple dans des zones dominant le site de Gouina;
- utiliser des matériaux appropriés pour certains ouvrages visibles et apporter aux bâtiments un traitement architectural approprié;
- maintenir ou restaurer des éléments de paysage (des blocs rocheux en amont, la végétation ripicole, les ronciers...);
- limiter les déboisements et apporter un soin particulier au nettoyage et à la restauration des sites utilisés par les entreprises;
- maintenir autant que possible les écrans végétaux naturels devant le barrage, sur l'îlot;
- créer un centre d'interprétation sur le site, axé sur les ressources de la forêt classée de Bagouko et le traitement socio-environnemental du projet de Gouina;
- réhabiliter les bâtiments situés à proximité, les utiliser dans le cadre du chantier et les faire évoluer en gîte d'étape et centre d'interprétation après la clôture du chantier;
- autoriser la visite de certains éléments du barrage et de l'usine.

Cela suppose un surcoût architectural lié au choix des matériaux et à des aménagements facilitant l'accès aux points de vue. Une simulation en 3 dimensions du paysage selon différents points de vue sera souhaitable au stade de l'EIE détaillée.

L'aspect des chutes sera également modifié en période de basses eaux dans la mesure où le débit dérivé vers l'usine sera soustrait au débit naturel des chutes. Cet effet peut être atténué par un débit réservé en saison sèche (maintenant également la vie aquatique en pied de chute) et en fermant la partie de la chute en rive droite, la moins visible, sans effet notable sur le passage des crues mais concentrant les débits de saison sèche dans la partie la plus visible.

La variante de cote haute accentuera l'impact paysager défavorable du barrage.

4.3.1.7. Options de débit réservé

Un débit réservé entre la prise d'eau et le point de restitution constitue une mesure d'atténuation répondant à plusieurs impacts environnementaux: vie aquatique, valeurs paysagères, salubrité, pêche. Le bief concerné représente moins de 1 000 mètres de longueur, du barrage au bief aval. Le débit réservé sera nécessaire hors périodes de déversement.

Les débits minimums enregistrés avant Manantali pouvaient atteindre des valeurs nulles. Depuis la mise en service de cet ouvrage, la moyenne interannuelle des débits journaliers minimum est de 71 m³/s sur 14 ans d'exploitation. Le débit réservé de Félou a été fixé à 3 m³/s. Toutefois, les besoins de débit réservé à Gouina sont plus importants dans la mesure où il existe un bief intermédiaire qui ne peut être atteint par les eaux restituées par l'usine, comme à Félou. Les fosses en aval étant très profondes, il est vraisemblable qu'elles courent un risque important d'eutrophisation si elles ne sont pas suffisamment oxygénées. L'objectif d'un débit réservé à Gouina sera donc: i) de conserver un aspect vivant aux chutes; ii) de maintenir la salubrité du plan d'eau intermédiaire; et iii) d'y favoriser une vie aquatique résiduelle.

Le module annuel à Gouina est actuellement de 433 m³/s. Une valeur telle que la moyenne des minima des 5 années les plus sèches "avec Manantali" (soit 29 m³/s) paraît encore importante au vu de la faible longueur du bief à alimenter. L'hypothèse de travail retenue à ce stade est donc un débit réservé moyen annuel de 5 m³/s.

Toutefois, il est possible que ce débit ne pourra vraisemblablement pas assurer la réoxygénation de la fosse située dans le plan d'eau intermédiaire. Il conviendra d'examiner une alternative consistant à faire passer un tel débit réservé combiné à un débit de chasse important et temporaire, pour renouveler l'eau des fosses selon une périodicité à définir. Cela est possible du fait de l'existence d'une réserve dans la retenue de Gouina. L'effet d'une telle chasse serait aussi bénéfique sur le plan visuel. Il convient de reporter à l'APD une évaluation plus fine de ces options et des différents scénarios possibles en fonction d'une

évaluation des impacts sur la ressource halieutique et des possibilités de pêche post-projet. Les solutions retenues seront réversibles et adaptables en permanence à de nouvelles conditions.

Afin de concentrer ce débit dans la partie la plus visible et située dans l'axe des vannes de fond, il pourra être dirigé dans la partie gauche du fleuve en barrant les lignes d'eau de la partie droite des chutes. Cette partie retrouverait des débits naturels pour des débits supérieurs au débit réservé.

4.3.1.8. Facteurs culturels, religieux, archéologiques et patrimoine historique

La zone d'étude ne dispose apparemment ni de sites archéologiques, ni de sites ou de monuments historiques, contrairement à celle de Félou. Les villageois de Foukara ne font pas référence à des rites et croyances religieuses attachés aux chutes. Les impacts signalés sont liés à l'abandon des tombes, dont le transfert n'est pas demandé, et de sites utilisés pour des rites liés aux activités traditionnelles (chasse surtout). Le site coutumier à caractère protégé est la confluence du Bafing et du Bakoye, domaine de l'hippopotame fétiche de Bafoulabé, hors de l'emprise du remous à la cote maximum.

4.3.1.9. Impact sur les populations

Habitat affecté

La cote des villages¹⁹ par rapport au plan d'eau a été appréciée par le levé topographique de 2001 jusqu'à Galougo (inclus) et, en amont de Galougo, par reconnaissance de terrain. Le critère de risque d'inondation retenu pour proposer un déplacement de population est la crue cinquantennale. Ce risque est analysé comme suit:

¹⁹ Certains lieux-dits figurent sur la carte au 1/200.000 de la zone mais n'existent pas, ou ne sont que des hameaux saisonniers de culture. Ce sont, de Gouina à Bafoulabé: Sidibéla, Oussouki, Baguiria, Saboussiré.

**Tableau 4.4: Habitat villageois à risque d'inondation à la crue 50 ans
(vers l'amont, à partir du site du barrage de Gouina)**

Unité d'habitat (village/hameau)	RD ou RG	Village administratif de rattachement	Impact de la crue 50 ans	
			cote RN 70	cote RN 75
Sébétou	RD	Autre	Inondé	
Seguian Tinti	RG	Foukara-Ile	Inondé	
Dougou	RG		Inondé	
Foukara-Ile	Ile		Inondé	
Foukara RG	RG	Foukara RG	Inondé	
Boukouda	RG		Inondé	
Tanba (Koumba) Fara	RG		Non inondé (à distance du plan d'eau)	
Sitokoto	RG	Galougo	Considéré comme inondé	
Doumfaï Ilot	Ile		Considéré comme inondé	
Galougo	RG		Non inondé (situation élevée)	
Dipari	RG	Dipari	Non inondé	Risque d'inondation
Malambélé	RD		Non inondé	Risque d'inondation
Manila	RG	Talari	Non inondé (à distance du plan d'eau)	
Talari	RG		Non inondé (situation élevée)	
Batassou	RD	Karamokobougou	Non inondé (situation élevée) – enclavement accentué	
Karamokobougou	RD		Non inondé (situation élevée) – enclavement accentué	
Birou	RD	Bafoulabé	Non inondé (en amont de la zone de remous)	
Bafoulabé	RD		Non inondé (en amont de la zone de remous)	

RD = rive gauche, RD = rive droite

Besoin en réinstallation de population

Evaluation des effectifs. Les recensements par unité d'habitat ci-dessus ne sont pas disponibles. En effet, les recensements les plus récents²⁰ n'indiquent de valeur qu'au niveau des villages administratifs, qui incluent ici aussi bien des sites d'habitation affectés et non affectés par le Projet (cf. données des villages administratifs en annexe A3.1). Les responsables villageois ne connaissent pas la répartition de la population totale entre différents sites habités et ne citent généralement que le nombre de familles/concessions appartenant au lignage fondateur. Quand ils connaissent l'effectif de la population, deux cas ont été constatés:

20 1996: Recensement administratif 1998: Recensement général de la population et de l'habitat
2001: Recensement administratif à caractère électoral

- la valeur déclarée est en contradiction avec la valeur du recensement : le chef de village de Dipari estime la population à 500 personnes, contre 257 inscrits au recensement de 1996 (307 personnes extrapolées à 2003). La dimension du village constatée amène à considérer l'estimation la plus élevée;
- la connaissance des effectifs est partielle et ne concerne que des hameaux, d'une part, et que la population attachée au lignage. La population des villages centres de Foukara-RG et Foukara Ile, tous deux à déplacer, a dû être estimée à partir des déclarations des villageois, en déduisant de la population totale recensée celles des hameaux dont les effectifs étaient moins difficiles à cerner. Ceci reste une approximation dans la mesure où la population hors lignage de Tamba Fara n'est pas connue, même à travers le nombre de concessions.

La mission a donc recoupé les informations de terrain (nombre de familles affectées d'une moyenne de 10 personnes, ou effectif déclaré) avec les valeurs actualisées du recensement. Le résultat du tableau 4.5 ci-après, limité aux villages susceptibles d'être inondés, est une estimation suffisante à ce stade et qui devra être confortée par un recensement au stade de l'EIE complète. La population est estimée pour l'année 2005, considérée comme celle où pourrait être réalisée l'EIE complète.

Le passage de la cote RN 70m à RN 75m se traduit par un déplacement supplémentaire de population de 630 personnes, correspondant à la population du village administratif de Dipari incluant les sites de Dipari (en RG) et de Malambélé (en RD). Ce hameau n'a pas été reconnu mais la situation par rapport au fleuve a été décrite par le responsable du village de Dipari. A la cote 70, ces villages, situés en amont de Galougo sont peu affectés.

La situation de Dipari vis-à-vis du fleuve n'est pas décrite par la topographie mais a été reconnue sur le terrain. Par rapport aux lignes d'eau prévues (voir plans 01-205B et 01-206C), la situation de ce village, à 1 km environ à l'est du dernier point modélisé, peut être assimilée à la limite est des lignes d'eau. Les premières concessions du village sont séparées du fleuve par une berge vive d'environ 6 m de hauteur, puis par une zone dénudée en pente douce d'une longueur approximative de 200 m.

En conséquence, à la cote RN 70, la retenue affecterait marginalement le site du village (voir tableau 4.5 ci-dessus). A la crue cinquantennale, l'élévation du plan d'eau serait de l'ordre du mètre par rapport à la même crue en conditions naturelles, n'entraînant pas de changement suffisamment marqué pour justifier le déplacement du village.

Tableau 4.5: Population totale susceptible d'être déplacée

Sites habités	Population totale affectée		Source des données sur la population
	RN 70	RN 75	
Sébétou	15	15	Estimation
Seguian Tinti	25	25	Déclaration habitants
Dougou	35	35	Déclaration habitants
Foukara-Ile et Foukara RG	295	295	Estimation
Boukouda	105	105	Estimation
Sitokoto	15	15	Estimation
Doumfaï Ilot	15	15	Estimation
Dipari	0	525	Déclaration chef village
Malambélé	0	105	Déclaration chef de village
TOTAL (valeur année 2005)	505	1135	

A la cote RN 75, l'élévation du niveau de la retenue serait de 5 mètres en permanence. Sous réserve de vérification topographique, un important bas-fonds exploité par le village serait probablement sous les eaux. La crue cinquantennale n'atteindrait que + 2 mètres par rapport à la cote actuelle. Dans ces deux circonstances, il est vraisemblable qu'une partie significative des terres de culture serait affectée. Nous faisons donc l'hypothèse que le village devrait être déplacé, même s'il n'était pas directement menacé par l'inondation (ce que seule une topographie de détail permettrait de vérifier). Le déplacement pourrait être envisagé à proximité du site actuel.

Sites de réinstallation

La population de Foukara-RG et Foukara-Ile est très informée des déplacements de population provoqués dans le passé par les projets de Manantali et d'exploitation aurifère de Sadiola (cf. annexe A3.2, compte-rendu de consultation informelle). Elle se base sur ces précédents pour émettre les souhaits: i) d'une réinstallation à proximité immédiate du fleuve afin que leur système de production, lié au fleuve par la pêche et le maraîchage de berge, ne soit pas bouleversé; ii) d'absence de pression extérieure pour le choix des sites de réinstallation; et iii) le respect du maintien de l'organisation actuelle en village et hameaux, sans fractionnement des villages, ni fusion entre villages et hameaux, et dans des sites indépendants des villages hôtes.

Les sites de réinstallation potentiels paraissent a priori disponibles dans trois groupes de sites:

- i) En aval du site de Gouina, des poches sont disponibles pour les petits hameaux et des espaces plus importants seraient disponibles dans la commune de Diamou (selon son plan de développement communal). Il est

toutefois possible que l'ouverture dans cette zone d'une route bitumée accroisse la pression sur les terres.

- ii) En amont du site (de Dipari à Bafoulabé), tous les villages consultés déclarent que leur terroir peut accueillir les villages déplacés (à la fois sur des critères géographiques et culturels²¹), en rive droite comme en rive gauche, sous réserve d'un désenclavement approprié (plus important en rive droite).
- iii) Au-delà de ces sites, la zone de Fatéa-Saméa, sur le Bafing en amont de Mahina, est présentée par les responsables de cette commune comme une zone de réinstallation possible, sous réserve de désenclavement et de respect des forêts classées qui font l'objet d'un avant-projet de classement (Saméa-Ko et Niambia).

A la cote RN 75m, les possibilités de réinstallation entre Dipari et Bafoulabé se trouveront réduites par la nécessité de déplacer Dipari et l'envoiement d'une partie des terroirs potentiels de réinstallation (dont celui de Dipari).

Les possibilités de réinstallation dans les trois régions ci-dessus devront être précisées à partir d'une évaluation du potentiel agricole des sols et d'une vérification des critères d'acceptation par les villages hôtes. Une prise de vue aérienne complémentaire sera nécessaire lors de l'EIE réglementaire afin de réaliser une interprétation de la qualité agricole des sols.

Dans tous les cas, les besoins de désenclavement seront importants. En particulier, une réinstallation sur l'axe Dipari-Bafoulabé nécessiterait l'aménagement de l'axe routier Diamou-Bafoulabé par la rive gauche, dans le prolongement de la route d'accès Diamou/cimenterie - chantier de Gouina.

4.3.1.10. Infrastructures et services sociaux

Santé

La création d'un réservoir accentuera les risques de bilharziose (intestinale et surtout urinaire) ainsi que le risque de paludisme. Toutefois, le déplacement des villages riverains du réservoir réduira l'importance de la population potentiellement affectée. En matière d'onchocercose, le risque devrait être amoindri par l'envoiement de rapides et la réduction des débits des chutes de Gouina. Les appuis en matière d'hydraulique villageoise (voir ci-après) devraient également réduire les risques de maladies diarrhéiques. Le désenclavement des sites de réinstallation et des villages hôtes devrait faciliter l'accès aux infrastructures sanitaires existantes (Diamou et Bafoulabé).

21 *Le premier critère culturel évoqué pour démontrer que l'accueil des villages déplacés est possible est qu'il existe une tradition de mariage entre ressortissants des villages déplacés et des villages hôtes.*

Le plan de réinstallation devra s'accompagner de la création de formations sanitaires de base (de niveau dispensaire) pour les villages de réinstallation (3 à 4) et pour des villages hôtes. La prévention, le traitement et le suivi de l'épidémiologie liée aux maladies hydriques feront l'objet d'un appui du Projet sur une longue durée (10 ans), avec des appuis initiaux au fonctionnement des dispensaires. Bien que le projet ne modifie pas fondamentalement les conditions du site en matière d'exposition aux maladies hydriques, la prévention et les soins dans ce domaine devront être généralisés, afin d'améliorer les conditions sanitaires d'une part et, d'autre part, de mettre le projet à l'abri de tout amalgame entre son existence et des maladies hydriques déjà prévalentes.

Il est vraisemblable que la ville de Diamou, qui commande l'accès au chantier, verra sa population augmenter spontanément pendant la période des travaux. Une provision budgétaire sera constituée pour étendre et ou améliorer les capacités des formations sanitaires de cette ville qui constitueront le niveau de référence du chantier. Ces appuis pourront porter sur les infrastructures et/ou les équipements et produits et/ou le fonctionnement, selon les besoins à évaluer en temps utile.

Education

En matière éducative, une école de 3 classes à Foukara RG serait touchée à toutes les variantes et deux écoles communautaires à effectifs réduits seraient touchées à Dipari à la cote RN 75 m. Le plan de réinstallation prévoira des classes en nombre approprié pour les villages de réinstallation, avec le logement des enseignants. Il devra aussi compléter l'équipement éducatif des villages hôtes. Les écoles seront publiques et complétées le cas échéant par des écoles communautaires. Un appui de durée limitée sera apporté au fonctionnement de ces écoles.

Hydraulique villageoise et assainissement

En matière d'eau potable, le forage de Dipari serait touché à la cote haute. Plus généralement, le projet équipera en points d'eau modernes: les villages (3 ou 4 selon la variante) et hameaux de réinstallation, les villages hôtes, les villages maintenus autour du réservoir et les villages et hameaux en aval du barrage, en première analyse jusqu'à Diamou. L'objectif est de mettre ces villages et hameaux à l'abri de la consommation de l'eau du réservoir ainsi que de l'eau restituée dans le proche aval. La solution actuellement privilégiée par les municipalités est le puits à grand diamètre. Le forage équipé serait utile en complément dans des sites où l'entretien pourrait être assuré. Les sites de culture voisins du plan d'eau (jardins maraîchers) devront également être équipés en points d'eau de conception plus simple.

Un complément en moyens d'adduction en eau potable sera également fourni à Diamou dans ce but et comme mesure de compensation globale aux impacts du projet (transports, déchargement par le rail, immigration spontanée...). Ce chef-lieu a présenté un projet de mini-réseau eau potable d'un montant de 200 millions FCFA.

L'accès amélioré à l'eau potable sera accompagné d'un appui à l'assainissement incluant des latrines dans les habitations des personnes réinstallées ainsi qu'auprès des infrastructures sociales construites dans le cadre du plan de réinstallation.

Autres infrastructures

Les objectifs du projet incluront la reconstruction de mosquées, des infrastructures commerciales de base dans les villages appropriés (moyens de stockage, petits marchés...) et toute infrastructure communautaire facilitant les conditions de vie des PAPs.

Un appui à l'amélioration des capacités commerciales à Diamou et Bafoulabé sera également nécessaire pour absorber les besoins supplémentaires liés à la population du chantier et à l'immigration spontanée. Il est également vraisemblable que le carrefour entre la route Kayes-Diamou-Bafoulabé et la route d'accès au chantier fera l'objet d'une urbanisation et d'une implantation spontanées de services nécessitant des dispositions préalables d'urbanisme, d'adduction en eau et d'assainissement.

4.3.1.11. Agriculture, élevage et pêche

Agriculture

Les superficies cultivées rattachées aux villages à déplacer seraient de 200 ha à la cote RN 70 et 450 ha à la cote RN 75 m. Un déplacement de population à la cote haute se traduirait aussi vraisemblablement par la perte d'un bas-fonds ("mare") rizicole de dimension importante, près de Dipari, et par une superficie également importante de cultures maraîchères de berges (étalées sur 3 km de berges sur le terroir de Dipari, selon le chef de village). Les superficies cultivées ne se situent que partiellement dans la zone d'emprise du réservoir et peuvent se trouver relativement loin du village. Dans ce cas, des campements saisonniers sont installés pendant la durée de la culture. La plupart se situent à proximité du fleuve.

A la cote basse, la retenue comme le remous sont peu susceptibles d'inonder des marigots et bas-fonds cultivés. A la cote haute, par contre, outre la mare de Dipari, la mare de Birou (que le PDIAM prévoit d'aménager) ou d'autres bas-fonds pourraient être noyés par des remontées d'eau à travers leurs exutoires naturels. Des travaux de protection contre les crues et/ou d'aménagement d'autres bas-fonds devront vraisemblablement être envisagés.

Les cultures maraîchères sont pratiquées en contre-saison fraîche, après les crues, sur les berges et à proximité immédiate de l'eau pour faciliter l'arrosage. En cas de remontée du plan d'eau de la retenue, ces sites de culture devront être déplacés plus en hauteur sur les rives, en aménageant des surfaces planes à proximité immédiate du plan d'eau. Ces besoins d'aménagement sont peu importants à la variante basse (Galougo et une partie du plan d'eau de Dipari) mais plus exigeants à la variante haute où ce réaménagement concernerait

Dipari, Malambélé (nécessité de reconstituer ces activités dans le site de réinstallation), ainsi que Talari.

Les pertes de production céréalière et maraîchères devront être compensées pendant la durée nécessaire à la mise en culture des sites de réinstallation, estimée, au maximum, à deux années. La production fruitière est marginale et la compensation n'est pas envisagée à ce stade.

Elevage villageois et transhumance

Les parcours du bétail villageois empruntent les friches incultes et les jachères. En fonction d'une évaluation des besoins en pâturage du cheptel villageois, les sites de réinstallation devront garantir les surfaces de parcours nécessaires. Ceci ne devrait pas poser de problème particulier.

D'autre part, par l'intermédiaire des communes et des villages concernés, le projet devra négocier des couloirs de transhumance avec les éleveurs et les aménager (balisage, points d'eau et accès sécurisé aux rives du réservoir, absence de cultures) afin d'éviter les divagations d'animaux et les conflits qui en résultent dans la zone de l'aménagement hydroélectrique, dans les terroirs des villages réinstallés et, par extension, dans tout le couloir Diamou-Bafoulabé. Ces résultats seront plus difficiles à atteindre à la cote haute (la largeur de la vallée sera davantage réduite), sans que l'une ou l'autre des options se différencie nettement par un supplément de coût.

4.3.1.12. Transports

Trois besoins se manifestent: i) restauration des voies de transport routier coupées par la retenue ou par le remous des crues; ii) désenclavement des villages de réinstallation; et iii) confortement éventuel d'ouvrages et de terrains concernant la voie ferrée.

Constatant que: i) la route Gouina-Bafoulabé (le tronçon Diamou/cimenterie-Gouina étant aménagé dans le cadre du chantier) est peu praticable dans sa totalité et coupée en saison des pluies; et que ii) les sites de réinstallation seront recherchés en priorité sur la rive gauche du fleuve, le besoin en matière de routes consiste en la restauration de la totalité de l'axe Gouina-Bafoulabé.

En effet, le tronçon Gouina-Galougo devrait être reconstruit, en particulier à la cote haute, pour éviter les zones inondées, d'une part, et, d'autre part, le tronçon Galougo-Bafoulabé devrait être restauré dans la mesure où il accueillera des villages de réinstallation. Cette restauration inclut des déviations par rapport au tracé actuel afin de contourner les dendrites du réservoir, en particulier à la cote haute (2 points en particulier), et des aménagements pour le franchissement de certains points bas (en particulier à la cote haute, entre Dipari et Bafoulabé). Cette mesure aura un effet favorable sur le niveau de vie de l'ensemble de la

population riveraine du fleuve et faciliterait l'entretien à la fois de la voie ferrée et de la ligne de transport électrique du réseau Ouest de Manantali.

La conception retenue est la suivante: route en terre de 6 m de largeur, constitution d'une chaussée avec apport de latérite, fossés latéraux, petits ouvrages de drainage des eaux (radiers, dalots, buses route en terre, 4–5 m de bande de roulement). En 2000, la direction régionale des travaux publics de Kayes avait estimé le coût unitaire pour ce standard à 35 millions FCFA, actualisé à 40 millions FCFA/km.

Si une zone plus éloignée de réinstallation devait être retenue (Fatéa-Saméa, par exemple), les efforts de désenclavement seraient dirigés vers cette zone.

Concernant la voie ferrée, les coûts sont spécifiquement attachés à la cote haute. En effet, les piles du pont de Galougo seraient noyées en permanence au-dessus du niveau actuel, dans une section en brique non recouverte de ciment. Une auscultation sera nécessaire avant de définir si cela comporte un risque et si des travaux de confortement sont nécessaires. La gare de Galougo est hors d'eau dans toutes les variantes. Toutefois, à la cote haute et, dans une moindre mesure, à la cote basse, des travaux de protection de la rive sont nécessaires pour empêcher toute érosion à ce niveau, qu'elle soit due aux mouvements du plan d'eau ou à la surfréquentation de ce site.

Dans les deux cas, sur la rive du réservoir à hauteur de Galougo, des aménagements tels que débarcadère de pirogues, lavoir, abreuvoir, zone de baignade sécurisée pour les besoins de la population avoisinante, et compatibles avec la prévention de la bilharziose, devront être créés, avec des chemins d'accès appropriés. De tels aménagements seront aussi vraisemblablement nécessaires à la cote haute pour les villages de Talari, Birou, Karamokobougou et Batassou. Ces travaux entrent dans un cadre plus global de réaménagement des berges pour le maraîchage et les autres usages par les hommes et le bétail.

4.3.1.13. Industrie, artisanat et secteur tertiaire

Il n'y a pas d'impact négatif attendu à ce niveau. La présence d'une route constituera une opportunité pour la commercialisation des produits de l'artisanat, de l'agriculture et de la cueillette. L'on attend aussi une fréquentation plus importante du site de Gouina par le tourisme, où l'impact défavorable sur les paysages pourrait être en partie compensé par les nouvelles facilités d'accès au site. Un élément des bâtiments nécessaires au chantier (ou le site immobilier actuellement présent sur les hauteurs mais à réhabiliter) peut être prévu comme gîte d'étape.

4.3.1.14. Aménagement du territoire et développement

L'aménagement de Gouina a un impact sur plusieurs projets prévus ou en cours. Les plans de développement communaux et les plans d'aménagement de terroir devront être actualisés pour prendre en compte les réinstallations de population, les pertes de terroir, les bénéfices issus de certains appuis (routes, ou infrastructures des villages de réinstallation, par exemple).

Le projet de Gouina peut avoir un impact sur: i) le PDIAM, en modifiant la cote des lignes d'eau à la variante haute et en renforçant le besoin de protection contre les crues de l'aménagement de la mare de Birou; ii) le PDIAM, encore, dans la mesure où, avec les personnes réinstallées, le nombre des bénéficiaires pourrait s'accroître; iii) le plan d'alerte du fleuve Sénégal, en modifiant les conditions d'écoulement dans la vallée; iv) le projet d'aménagement de la forêt classée de Bagouko, dont des zones pourraient être affectées par le Projet; et v) un éventuel projet de valorisation du patrimoine de la région de Kayes, en modifiant la valeur des paysages naturels à exploiter.

En ce qui concerne la forêt classée de Bagouko, le projet d'aménagement réalisé par la Direction de la conservation de la nature devra prendre en compte le projet de Gouina et ses impacts possibles. Ceci modifiera vraisemblablement les recommandations de l'étude sur la FC de Bagouko à la fois pour en adapter les conclusions au projet de Gouina et pour en orienter les mesures de compensation. Celles-ci pourraient consister en un appui au classement de superficies additionnelles, le renforcement - au moins pendant la durée de chantier - des moyens de surveillance ainsi qu'une compensation globale aux effets permanents du projet (ouverture d'une route, surfréquentation) par un appui, par exemple, à la restauration du milieu et une participation permanente à la surveillance.

4.3.2. Impacts spécifiques à la période de construction

4.3.2.1. Milieu physique et biologique

Sols

Les impacts sont dus aux emprises des chantiers, des cités et des voies de circulation temporaires. Compte tenu du fait: i) que le site peut difficilement accueillir des populations agricoles permanentes; et ii) qu'il convient de préserver autant que possible les valeurs paysagères du site, les constructions temporaires, à durée de chantier, seront démontées après usage et le site sera restauré après utilisation (sauf installations permanentes conçues dès le départ pour une intégration paysagère maximum).

Les agrégats seront issus des déblais des importantes excavations nécessaires pour implanter les canaux et l'usine. En conséquence, les besoins de carrière devraient être réduits. Les sites d'emprunt éventuels, sur le site ou à distance (les sables alluvionnaires

présents n'étant pas d'une qualité adéquate) seraient choisis de façon à ne pas créer de nuisance visuelle durable, avec, le cas échéant, restauration des sites de carrière. Les déblais peuvent être importants et seront également traités dans le but de préserver les valeurs paysagères, en ne créant pas de reliefs artificiels, en évitant de les localiser dans les points de vue à préserver et en les végétalisant en réutilisant la terre végétale décapée.

Végétation

Dans tous les sites, la végétation, et les arbres en particulier, seront préservés autant que possible. Les points de vue paysagers seront identifiés précisément et mis en défens pour un usage ultérieur, en particulier la zone située entre le canal d'amenée et le fleuve. Les déboisements seront localement compensés par un reboisement équivalent, conçu en particulier comme écran végétal.

Air et eaux

L'air sera affecté par les poussières dues aux transports et aux terrassements. Les émissions de poussière seront limitées autant que possible.

Les eaux de surface pourront être polluées par des matières solides durant les travaux relatifs à la construction des canaux (amenée et évacuation) et du barrage. Il est vraisemblable que les ressources halieutiques seront affectées sur un bief relativement important pendant les travaux et une compensation financière devra être allouée aux pêcheurs professionnels en fonction d'un examen des pertes possibles de production. Il existera également un risque de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines par des produits contaminants issus des véhicules ou des autres activités de chantier.

La qualité de l'eau pourra également être temporairement affectée par des matières organiques en décomposition lors du remplissage initial du barrage et pendant une durée limitée dans le temps, avec réduction notamment de la qualité de l'eau vis-à-vis de la vie aquatique. Cet effet devrait être limité du fait: i) de la superficie réduite de la retenue; ii) d'une végétation de savane, peu riche en biomasse et d'une densité réduite; et iii) d'un déboisement partiel de l'emprise de la retenue possible compte tenu de sa superficie limitée. Les produits du déboisement pourront constituer un stock stratégique de combustible et de bois d'œuvre pour faire face à l'afflux prévisible de population, s'il ne peut être vendu immédiatement.

Déchets

Les déchets de toute nature, y compris les installations abandonnées, peuvent avoir un impact sur tous les milieux ci-dessus, ainsi que sur les paysages. Une attention particulière devra être portée aux déchets susceptibles de polluer le fleuve.

4.3.2.2. *Transports*

Le chantier se traduira par un accroissement du trafic ferroviaire et du trafic routier, essentiellement depuis le Sénégal. En effet, les transports, et principalement par rail, concerneront les équipements (venant du port de Dakar) et le ciment destiné au barrage (venant de Rufisque, la cimenterie de Diamou pouvant constituer une alternative mais sans que cette option puisse être confirmée aujourd'hui).

Plusieurs possibilités existent pour le site de déchargement ferroviaire, sous réserve de renforcements appropriés:

- a) La gare de Bagouko. Elle est la plus proche mais nécessite de construire une route de raccordement à la route d'accès au chantier sur environ 4,5 km en bordure de la FC de Bagouko.
- b) La cimenterie de Diamou, actuellement arrêtée, à proximité immédiate du départ de la route d'accès au chantier et constituant la solution la plus acceptable mais dont la faisabilité ne peut être confirmée qu'en fonction de l'avenir de ce site.
- c) La gare de Diamou, plus éloignée de 8 km, située en ville et susceptible de générer des nuisances locales, mais aussi de l'activité économique.

A part la solution (a) ci-dessus, nécessitant la construction d'une route supplémentaire et encourageant ainsi la pénétration dans la FC de Bagouko, les deux autres sites constituent des options acceptables sous réserve d'approfondissement au stade de l'APD.

L'accroissement du trafic routier local et "longues distances", ainsi que l'implantation d'un chantier, nécessitent aussi le renforcement des dispositifs de prévention MST-SIDA. Le carrefour Diamou/cimenterie, à l'embranchement de deux axes, peut prendre un caractère de "gare routière spontanée", à organiser autant que possible.

4.3.2.3. *Impacts liés à la surpopulation temporaire*

Le chantier de Gouina mobilisera une main-d'œuvre importante, installée sur le site, souvent en famille. Cette présence d'une population, en majorité allochtone, pendant plusieurs années peut être source d'impacts tels que:

- pression sur les ressources naturelles pour les besoins domestiques: bois de chauffe, gibier, poisson, cultures familiales. Ces impacts sont d'autant plus défavorables qu'ils se situent, pour la flore et la faune, en lisière d'une forêt classée et dans une zone de transhumance et, pour la pêche, dans une zone très fréquentée par les pêcheurs locaux;
- risques liés aux maladies prévalant chez cette population et du développement des maladies sexuellement transmissibles (MST) et du SIDA;

- pression sur les denrées alimentaires et produits de première nécessité se traduisant par un renchérissement des coûts locaux.

En outre, de tels chantiers sont susceptibles de créer une immigration spontanée, facilitée par l'ouverture de la route Kayes-Bafoulabé. Favorable lorsqu'elle permet d'offrir des services à la population du chantier, elle devient défavorable lorsqu'elle provoque des phénomènes d'urbanisation incontrôlée dans les sites susceptibles d'accueillir cette population (par exemple: Diamou, carrefour "de la cimenterie"), des pressions supplémentaires sur les ressources forestières et les terres agricoles ou des conflits avec les populations locales.

4.3.2.4. *Stratégie d'atténuation des impacts du chantier*

Elle est indépendante de la variante retenue et peut mobiliser différents moyens complémentaires:

- i) spécifications environnementales des contrats des entrepreneurs précisant:
 - les obligations pour l'entreprise, telles que: gérer le chantier de façon à prévenir les rejets, les déchets, les nuisances de tous types, limiter l'érosion des sols durant et après les prélèvements de matériaux et terrassements, restaurer les milieux à l'achèvement des travaux;
 - précisant les obligations pour leurs employés et leurs familles, telles que les interdictions et les restrictions à l'usage des ressources naturelles, les lots de terre arable alloués, etc.
- ii) mise en place d'un fonds de restauration du milieu, ou toute procédure équivalente, complétant les obligations des entreprises dans les zones communes et mise en œuvre par un opérateur approprié;
- iii) élaboration et mise en œuvre d'un plan d'urbanisme de la zone d'influence du chantier et de ses accès indiquant les zones réservées aux implantations et aux accès, les sites d'urbanisation spontanée acceptables, les tracés des aires protégées classées et des zones de mise en défens, les zones de déboisement autorisé, les objectifs de restauration, les infrastructures publiques et commerciales à renforcer, les zones réservées aux cultures familiales et à la cueillette, les couloirs de transhumance etc.
- iv) renforcement des systèmes de production et de commercialisation locaux de façon à approvisionner la population ouvrière (et limiter ainsi les prélèvements sur les ressources et l'augmentation spéculative du coût de denrées) et à faciliter le développement et la commercialisation des productions locales;
- v) surveillance des prélèvements et des implantations indésirables par le maître d'œuvre et le renforcement des services externes chargés des contrôles et du suivi du milieu (eaux et forêts, santé, sécurité, pêche, mairies, principalement). Les

ressources naturelles de la zone (bois, gibier, poisson) pourront être protégées des prélèvements par les personnes du chantier, par exemple en organisant leur gestion par les communautés riveraines qui les exploitent traditionnellement et en leur réservant leur exploitation;

- vi) modification éventuelle des limites de la forêt classée dans le cadre du plan de gestion prévu par la DRCN et remplacement, au moins à l'identique (en quantité et en qualité), des superficies déclassées par des superficies au moins égales en surface et en qualité, avec un appui global à la gestion de la FC. Cette mesure aurait également l'intérêt de remplacer des superficies actuellement dégradées par des superficies plus protégées des incursions humaines.
- vii) surveillance environnementale de l'ensemble des activités de chantier et de leurs impacts sous la responsabilité du maître d'ouvrage.

4.3.3. Impacts spécifiques au déplacement de population

La réinstallation des populations comporte des impacts spécifiques, à étudier au même titre que tous les autres impacts du projet. Cette réinstallation suppose un accord préalable des populations-hôtes, limitant ainsi les impacts culturels défavorables. Elle suppose aussi que des aires naturelles protégées ne soient pas neutralisées dans ce but, limitant ainsi les impacts sur les milieux et espèces protégés.

La réinstallation de population peut toutefois avoir des impacts directs (mobilisation de ressources naturelles non protégées, par exemple) ou indirects (à travers le désenclavement, par exemple). Elle peut également avoir des impacts favorables en étendant le bénéfice de certaines mesures d'appui à la réinstallation aux populations hôtes, également appelées à bénéficier du désenclavement ou d'un renforcement global des services sociaux ou techniques, dans le cadre d'un plan de développement incluant les communautés déplacées et les communautés hôtes.

4.4. Mise en œuvre des mesures environnementales

4.4.1. Etapes suivantes

4.4.1.1. Etude d'impact environnemental (EIE) réglementaire

Cette étude a lieu au stade de l'APD. Son coût n'est pas inclus dans la présente évaluation des coûts environnementaux. L'optimisation du Projet vis-à-vis de facteurs environnementaux sera complétée à cette occasion et pourra en particulier porter sur: la localisation des emprises et des accès, la sauvegarde – autant que possible – des éléments paysagers, l'intégration paysagère des constructions, le débit réservé dans les chutes et leur

concentration éventuelle sur une partie de la chute, la minimisation de la surface du plan d'eau aval éventuellement affecté par des restrictions d'usage.

4.4.1.2. Information

La mission n'a pas rencontré à Diamou ou à Bafoulabé les remarques émises, lors de l'étude de Félou à Kayes, sur le manque d'information de l'administration et des populations pendant et après la réalisation de Manantali. Toutefois, par des relais identifiés de façon appropriée (les préfectures, sous-préfectures, mairies et comités locaux de coordination étant les principales parties impliquées), il est souhaitable de disposer à Mahina, à Bafoulabé et à Diamou d'une capacité permanente d'information afin de sensibiliser la population et les autorités à ce projet, tenir la population constamment informée de l'avancement du projet et identifier les contraintes socio-environnementales afin d'orienter l'EIE détaillée. Cette information est également indispensable afin d'orienter les investissements locaux, publics et privés.

4.4.2. Mesures d'atténuation et de compensation

L'identification et la description des impacts, ainsi que la définition des mesures environnementales nécessaires seront complétées et précisées lors de l'étude d'impact environnemental à caractère réglementaire. Les modalités de la mise en œuvre de ces mesures seront définies à cette occasion et seront réparties ainsi:

- i) Elaboration d'un plan de gestion environnementale à l'issue de l'EIE réglementaire organisant la mise en œuvre des mesures de compensation et d'atténuation des impacts défavorables.
- ii) Elaboration d'un plan de réinstallation de population intégrant sur une durée suffisamment longue (une dizaine d'années) toutes les mesures de déplacement de population, d'indemnisation, de réinstallation et d'appui à la reconstitution des moyens et des activités génératrices de revenus, certaines de ces mesures étant étendues aux populations hôtes dans le cadre d'un plan de développement les intégrant.
- iii) Elaboration d'un programme de suivi des mesures ci-dessus, associant le niveau local (villages et mairies), le niveau régional (cercles de Kayes et de Bafoulabé) et l'OMVS, directement (observatoire) ou à travers ses éventuels concessionnaires.
- iv) Définition de l'organisation destinée à mettre en œuvre les mesures ci-dessus et des besoins éventuels en renforcement de leurs opérateurs. La responsabilité d'ensemble appartient à l'OMVS et peut être déléguée à différents types d'opérateurs.

4.4.3. Opportunité d'une démarche de développement régional

4.4.3.1. Objet

Sans même parler des possibilités d'électrification, qui relèvent de l'opérateur national et non de l'OMVS, le projet d'aménagement de Gouina constitue une opportunité de développement local et régional. La présence d'un chantier n'en constitue qu'un élément temporaire. Considérant aussi le désenclavement global de la région par la création d'une route bitumée Kayes-Bafoulabé, le projet d'aménagement hydroélectrique de Félou et une éventuelle réhabilitation de la cimenterie de Diamou, la région additionne plusieurs investissements moteurs pour le développement régional. Un éventuel projet cynégétique dans le couloir FC de Bagouko et zone d'intérêt cynégétique de la Falémé renforcerait l'aspect transfrontalier de ce développement, déjà bien affirmé par l'axe routier Dakar-Bamako via Kayes et Bafoulabé.

Dans cette perspective, une approche de développement régional basée sur un schéma directeur d'aménagement et un plan de développement régional paraît appropriée. L'inscription des mesures environnementales du projet de Gouina dans un tel plan permettrait de mieux en sécuriser les résultats économiques dans le long terme. Réciproquement, les appuis de l'OMVS au titre du plan de réinstallation et du plan de gestion environnementale (en particulier par le désenclavement) contribueraient à atteindre les objectifs d'un plan régional d'aménagement.

4.4.3.2. Modalités possibles

La zone concernée serait la vallée du fleuve Sénégal, de Kayes à Bafoulabé-Mahina et la zone désenclavée par l'axe routier Diamou-Bafoulabé par le nord. Cette région est restée marginalisée jusqu'à présent car peu accessible, sauf par le rail. La vocation productive demande à être réévaluée en fonction des perspectives de désenclavement en toutes saisons.

Un tel objectif dépasserait les obligations du maître d'ouvrage relatives à l'aménagement de Gouina. L'OMVS resterait maître des mesures environnementales du projet de Gouina mais serait, de ce fait, et au minimum, une des parties prenantes d'un plan d'aménagement régional plus large, dont le financement serait à rechercher de façon indépendante de celui de l'aménagement de Gouina. Une telle opération étendrait et prolongerait les actions de l'OMVS dans la région à travers le PDIAM et les actions de lutte contre la pauvreté inscrites au PASIE.

La conception et la mise en œuvre d'un tel plan régional seraient facilitées par la décentralisation et l'existence de diagnostics et de plans d'aménagement en milieu rural (plans d'aménagement de terroir, plans de développement communaux) et urbain (schéma directeur d'urbanisme de Mahina-Bafoulabé).

Une telle action devrait être mise en œuvre suffisamment tôt afin que les capacités de production et de commercialisation soient déjà renforcées au moment du démarrage des chantiers de Félou et de Gouina qui auront une forte capacité d'absorption des productions locales.

4.4.4. Comparaison des impacts entre les variantes de cote G2 et G3

4.4.4.1. Synthèse des impacts

Le tableau en annexe A3.3 ci-après récapitule les principaux impacts constatés et, le cas échéant, les différencie selon la variante de cote. Les impacts n'influençant pas la comparaison des variantes, ne sont pas repris dans cette comparaison.

4.4.4.2. Impacts additionnels des déplacements de population

Les impacts additionnels liés au choix de la cote haute (G3 : RN = 75) ont pour principales conséquences de déplacer le village de Dipari, le plus important de la zone, et de rendre plus difficiles la recherche de sites de réinstallation en réduisant les possibilités de réinstallation à proximité des sites de départ. Le nombre supplémentaire de personnes à déplacer serait de 630 (population recensée par le chef de village). Les superficies de réinstallation entre Galougo et Bafoulabé se retrouveraient également réduites.

Compte tenu de l'ampleur encore relativement limitée des déplacements de population, les impacts additionnels ne sont pas jugés critiques, c'est-à-dire de nature à remettre en cause irrévocablement la variante de cote haute.

Les effets défavorables d'un déplacement de population doivent pouvoir être atténués en anticipant suffisamment l'opération, en faisant participer au maximum les populations au choix des solutions de réinstallation (localisation, type d'habitat, qualité des terres...), en étudiant soigneusement la qualité et la quantité des espaces agricoles et non agricoles des terroirs de réinstallation, en désenclavant durablement les zones de réinstallation, en améliorant significativement la qualité de vie de cette population et en offrant aux personnes déplacées un droit de refus des solutions proposées.

Notons toutefois que minimiser la population à déplacer constitue un critère majeur d'appréciation des impacts environnementaux exprimé explicitement par les bailleurs de fonds et, en conséquence, un critère susceptible d'être déterminant pour la comparaison des variantes.

Le cas échéant, une alternative consisterait à rechercher une cote de RN intermédiaire entre 70 et 75 m, susceptible d'avoir des impacts mineurs sur Dipari, mais sans nécessité de déplacer cette agglomération.

4.4.4.3. *Autres impacts additionnels*

Ils ne sont pas jugés déterminants pour le choix des variantes mais alourdissent toutefois le plan de gestion environnementale et les coûts environnementaux. Ils sont essentiellement:

- la dégradation additionnelle du paysage des chutes par un barrage d'une hauteur supplémentaire de 5 mètres;
- une perte additionnelle en sols et en végétation naturelle;
- des réaménagements de berges et des ouvrages, toutefois peu importants, de protection des bas-fonds cultivés contre les crues;
- un nombre supplémentaire de village et hameaux à équiper en points d'eau dits modernes pour les mettre à l'abri du besoin de consommer l'eau de la retenue;
- des ouvrages de franchissement supplémentaires, du type dalots, et, sous réserve des conclusions d'un examen approprié, un confortement du pont de chemin de fer de Galougo.

4.4.4.4. *Coûts environnementaux*

Le coût environnemental s'établit à 7,08 millions euros pour la cote RN 70 et 8,98 millions euros pour la cote RN 75. Le surcoût environnemental à la cote haute est de 27 % par rapport à la cote basse. Cet écart est relativement faible et s'explique par le poids financier des coûts fixes, et notamment de celui de la restauration de la route Gouina Bafoulabé par la rive gauche afin, à la fois, de rétablir les communications en bordure du réservoir et de desservir de façon appropriée les sites de réinstallation.

Les coûts environnementaux pour chacune des variantes sont détaillés en annexe A3.4 ci-après. Leur répartition entre les différentes composantes environnementales est la suivante:

Tableau 4.6: Répartition des coûts environnementaux entre les variantes de cote (G2 et G3)

Désignation	Coût total	
	G2 (RN 70)	G3 (RN 75)
Récapitulation (millions FCFA)		
1. Coûts fonciers	15,0	15,0
2. Ressources naturelles	290,0	315,0
3. Réinstallation de population	905,9	1586,1
4. Plan sanitaire local	200,0	300,0
5. Autres mesures environnementales	2 319,0	2 551,0
6. Suivi environnemental	143,8	143,8
Total coût de base (millions FCFA)	3 873,7	4 910,9
Imprévus 10%	387,4	491,1
Maîtrise d'ouvrage du plan environnemental	127,8	162,1
Maîtrise d'œuvre du plan environnemental	255,7	324,1
Total coût environnemental (millions FCFA) dont imprévus et pilotage	4 644,6	5 888,2
Total coût environnemental (millions euros) dont imprévus et pilotage	7,08	8,98
% du coût maximum	78,9	100,0

Les hypothèses adoptées pour l'estimation des coûts environnementaux sont issues du rapport intermédiaire d'octobre 2001 et ont été complétées par les informations issues de la mission de terrain de décembre 2003. Les programmes d'investissement des collectivités décentralisées permettent en effet de cibler les coûts de certains investissements en fonction des conditions économiques locales (voir annexe A3.5). Ces hypothèses sont les suivantes :

- un ratio de 2,4 personnes par case et un prix unitaire de reconstruction de 1 million FCFA par case, incluant les équipements annexes (latrines, cour, greniers) ;
- une compensation en terres cultivables équivalant à 1 hectare par personne ;
- compensation des pertes de production en phase de réinstallation à raison d'un octroi de 2 années de couverture des besoins céréaliers, soit 191 kg par personne et par an, au coût de 260 000 FCFA/tonne ;
- compensation de tous les équipements sociaux qui existaient dans le village déplacé et dotation systématique d'un dispensaire et de puits modernes à raison d'une unité pour 100 habitants ;
- les montants forfaitaires retenus pour l'aménagement de Félou sont reconduits pour les mesures relatives au suivi environnemental, à l'appui à l'organisation paysanne et aux mécanismes de financement local. Ils sont supérieurs aux besoins stricts des populations réinstallées et couvrent l'ensemble de la zone Diamou-Bafoulabé, incluant les populations hôtes.

Les postes de coût les plus importants sont constitués par :

- a) La réinstallation des populations. Les ratios de coût par personne s'établissent respectivement à 1,8 MFCFA par personne (2 050 USD) à la cote RN 70 et 1,5 MFCFA par personne (1 750 USD) à la cote RN 75. Ces coûts nous paraissent d'un ordre de grandeur souvent rencontré dans ce genre d'opération. Ils ne comprennent toutefois pas le coût de la route rive gauche dont les objectifs sont multiples et dépassent la seule réinstallation.
- b) Le coût de la route Gouina-Bafoulabé pour lequel nous avons pris le parti de recommander la restauration sur l'ensemble du tronçon, compte :
 - qu'une restauration partielle, qui pourrait se justifier à la cote basse, offrirait une succession inutile de tronçons restaurés et de tronçons en très mauvais état ;
 - de la nécessité de disposer d'un axe routier praticable en toutes saisons pour faciliter la réinsertion économique des villages réinstallés entre Diamou et Bafoulabé, et offrir une compensation aux villages hôtes riverains ; et
 - de l'opportunité d'une restauration de l'ensemble de cet axe comme mesure de compensation globale pour les communes de Bafoulabé, de Diamou et des villages situés le long du fleuve.

La répartition des coûts dans le calendrier des travaux et d'exploitation de Gouina est précisée dans le tableau 4.7 ci-dessous. La majorité des coûts sont engagés avant la mise en service. Les dépenses se poursuivent jusqu'à la 10^{ème} année suivant la mise en service. Les coûts des dernières années incluent un appui allégé aux activités économiques de personnes réinstallées, le suivi et des évaluations de l'exécution du plan environnemental et du plan de réinstallation.

Tableau 4.7: Calendrier d'engagement des dépenses environnementales
(coût de base en millions euros – hors imprévus et pilotage)

Cote	Calendrier (années)														Coût total
	Travaux				mise en service	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
RN 70	0,27	0,11	2,39	2,21	0,20	0,18	0,14	0,12	0,10	0,10	0,03	0,02	0,01	0,02	5,91
% RN 70	4,6	1,9	40,5	37,5	3,3	3,1	2,3	2,0	1,7	1,6	0,5	0,3	0,2	0,4	100,0
RN 75	0,27	0,13	3,23	2,73	0,27	0,25	0,15	0,14	0,12	0,11	0,04	0,02	0,01	0,02	7,49
% RN 75	3,6	1,7	43,1	36,5	3,6	3,3	2,1	1,8	1,5	1,5	0,5	0,2	0,2	0,3	100,0

Les principales incertitudes à lever en matière de coût, lors des phases suivantes de développement du projet, sont celles liées à : i) la compensation des impacts sur la forêt classée de Bagouko (dépendant en partie de l'étude projetée par la Conservation de la nature et qui en redéfinira les valeurs et la vocation); ii) les besoins supplémentaires

éventuels en protection contre les niveaux de crue du fleuve à la cote haute (variante G3), nécessitant une topographie de détail des sites à risques; iii) l'affinement de l'évaluation des impacts indirects sur la ville de Diamou, en partie liés à la localisation du site ferroviaire de déchargement, et le niveau des compensations à prévoir; et iv) l'étude technique de l'axe routier Gouina-Bafoulabé au stade d'APD.

Les coûts relatifs à un appui au développement régional, afin de valoriser les opportunités cumulées des projets de Gouina et de restauration de la route Diamou-Bafoulabé par le Nord, ne sont pas à la charge du promoteur de l'aménagement de Gouina et ne sont pas estimés dans la présente étude.

5. DIMENSIONNEMENT DU PROJET ET EVALUATION ECONOMIQUE PRELIMINAIRE

5.1. Production d'énergie

La production moyenne d'énergie de l'aménagement de Gouina est calculée à partir des apports attendus du fleuve Sénégal et de la puissance installée de l'aménagement. Dans le cadre de la présente étude de faisabilité, on considère que l'aménagement fonctionne au fil de l'eau, sans capacité de régularisation des apports. Ce mode de gestion méritera de faire l'objet d'une optimisation au niveau des études d'avant-projet, en tenant compte des interactions entre la gestion des aménagements de Félou et de Gouina.

Comme mentionné au chapitre 2.2.1. ci-dessus, les apports futurs ont été simulés pour différents scénarios, représentatifs de la diversité des hypothèses qui peuvent être faites sur la gestion future de Manantali. La figure 2.6. montre les courbes de débits classés pour ces différentes hypothèses (cinq scénarios). La figure 5.1 montre la même information avec plus de précision pour la gamme de débits 0 à 800 m³/s, également pour les cinq scénarios.

Ces courbes de débits classés sont la synthèse des apports mensuels attendus à Gouina, si la série historique de la période 1950 - 1999 se reproduisait à l'avenir, la retenue de Manantali étant supposée exister au départ de la période.

Par ailleurs les lois de tarage amont et aval permettent de calculer la relation entre la hauteur de chute brute et le débit total dans le fleuve (Figure 2.14).

Pour chacune des variantes G2 ($z_{\text{seuil}} = 70$) et G3 ($z_{\text{seuil}} = 75$), la combinaison des courbes de débits classés et de la relation chute - débit permet de déterminer les courbes de puissances classées en tenant compte d'un débit réservé moyen de 5 m³/s dans les chutes de Gouina. Pour la variante G2 (resp. G3), elles sont dessinées sur la figure 5.2a (resp. 5.2b) pour les deux scénarios IRD, et sur la figure 5.3a (resp. 5.3b) pour les 3 scénarios SCP, pour les débits d'équipement 100, 300, 500 et 700 m³/s. Il faut noter l'influence non négligeable, dans le cas d'aménagements de faible chute comme Gouina, de la baisse de la chute en période de crues : la chute turbinable maximale est supérieure à 20 m pour la variante G2 à l'étiage (resp. 25 m pour la variante G3), alors que la chute se réduit à seulement 18 m (resp. 23 m) pour un débit du fleuve de 4 500 m³/s (crue de période de retour 20 ans).

L'intégration de la courbe des puissances classées fournit la production d'énergie moyenne. Les valeurs obtenues pour les différentes puissances installées, et pour le scénario 100 (IRD) de gestion de Manantali, sont synthétisées dans le tableau 5.1 ci-dessous.

**Tableau 5.1 : Relation puissance installée – énergie moyenne
pour le scénario 100 IRD**

Débit d'équipement (m ³ /s)	variante G2 (z _{seuil} = 70)		variante G2 (z _{seuil} = 75)	
	Puissance installée (MW)	Energie moyenne (GWh/an)	Puissance installée (MW)	Energie moyenne (GWh/an)
100	17,5	148	21,9	185
200	33,9	256	42,6	322
300	49,6	316	62,6	398
400	64,8	368	82,1	466
500	79,8	411	101,5	520
600	94,7	440	120,6	558
700	109,4	464	139,7	589
800	124,0	485	158,6	616

La figure 5.4a (resp. 5.4b) présente les valeurs de l'énergie moyenne annuelle qui seraient obtenues pour les débits d'équipement de 100 à 800 m³/s et pour les 5 scénarios précités. Pour chacune des deux variantes, ces courbes montrent :

- une augmentation rapide de l'énergie produite en fonction du débit d'équipement, entre 100 et 400 m³/s ;
- un tassement du gain de production au-delà de 600 m³/s ;
- une dispersion d'environ 50 GWh/an assez constante liée aux incertitudes sur la gestion future de Manantali, pour les débits au-dessus de 200 m³/s.

Les tableaux 5.2a et 5.2b ci-dessous donnent également la puissance garantie 95 % du temps, selon les scénarios et selon les débits d'équipement, pour les variantes G2 et G3.

Tableau 5.2a - Résumé des performances énergétiques (variante G2 : $z_{\text{seuil}} = 70$)

			Débit d'équipement (m³/s)							
			100	200	300	400	500	600	700	800
	Chute brute nominale	m	20.76	20.10	19.60	19.22	18.93	18.70	18.51	18.35
Scenar. 100	Puissance installée	MW	17.5	33.9	49.6	64.8	79.8	94.7	109.4	124.0
	Puissance garantie (95%)	MW	15.8	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7	21.7
	Energie moyenne	GWh/an	147.5	255.8	315.8	368.4	411.1	440.2	464.2	485.2
	Facteur d'utilisation		0.96	0.86	0.73	0.65	0.59	0.53	0.48	0.45
	Débit moyen	m³/s	99.7	177.3	220.6	259.1	291.4	313.6	332.1	348.5
	Chute brute moyenne	m	19.51	19.04	18.89	18.76	18.61	18.52	18.44	18.37
Scenar. 102	Puissance installée	MW	17.5	33.9	49.6	64.8	79.8	94.7	109.4	124.0
	Puissance garantie (95%)	MW	15.7	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
	Energie moyenne	GWh/an	147.2	278.2	326.5	365.5	399.4	427.6	452.3	473.8
	Facteur d'utilisation		0.96	0.94	0.75	0.64	0.57	0.52	0.47	0.44
	Débit moyen	m³/s	99.5	192.3	227.8	256.5	282.0	303.3	322.3	339.1
	Chute brute moyenne	m	19.52	19.09	18.91	18.80	18.69	18.60	18.52	18.43
Scenar. 3byc	Puissance installée	MW	17.5	33.9	49.6	64.8	79.8	94.7	109.4	124.0
	Puissance garantie (95%)	MW	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9
	Energie moyenne	GWh/an	139.8	272.3	345.6	384.0	416.3	442.9	466.1	486.0
	Facteur d'utilisation		0.91	0.92	0.80	0.68	0.60	0.53	0.49	0.45
	Débit moyen	m³/s	95.1	186.9	241.8	270.1	294.3	314.4	332.2	347.7
	Chute brute moyenne	m	19.40	19.22	18.86	18.76	18.67	18.59	18.51	18.44
Scenar. 4ayt	Puissance installée	MW	17.5	33.9	49.6	64.8	79.8	94.7	109.4	124.0
	Puissance garantie (95%)	MW	15.9	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1	19.1
	Energie moyenne	GWh/an	146.8	275.7	352.3	401.7	440.6	466.8	488.2	505.9
	Facteur d'utilisation		0.96	0.93	0.81	0.71	0.63	0.56	0.51	0.47
	Débit moyen	m³/s	99.7	189.9	246.2	282.4	311.9	331.8	348.3	362.3
	Chute brute moyenne	m	19.43	19.15	18.88	18.77	18.64	18.56	18.49	18.42
Scenar. 4byc	Puissance installée	MW	17.5	33.9	49.6	64.8	79.8	94.7	109.4	124.0
	Puissance garantie (95%)	MW	15.9	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7	29.7
	Energie moyenne	GWh/an	147.0	286.5	360.1	406.3	443.1	468.0	488.6	505.6
	Facteur d'utilisation		0.96	0.96	0.83	0.72	0.63	0.56	0.51	0.47
	Débit moyen	m³/s	99.8	196.9	251.6	285.5	313.3	332.3	348.2	361.5
	Chute brute moyenne	m	19.43	19.20	18.89	18.78	18.66	18.58	18.51	18.45

Tableau 5.2b - Résumé des performances énergétiques (variante G3 : $z_{\text{seuil}} = 75$)

		Débit d'équipement (m³/s)								
		100	200	300	400	500	600	700	800	
	Chute brute nominale	m	25.76	25.10	24.60	24.22	23.93	23.70	23.51	23.35
Scenar. 100	Puissance installée	MW	21.9	42.6	62.6	82.1	101.5	120.6	139.7	158.6
	Puissance garantie (95%)	MW	20.1	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
	Energie moyenne	GWh/an	185.3	322.1	398.4	465.5	520.3	557.7	588.7	615.9
	Facteur d'utilisation		0.97	0.86	0.73	0.65	0.59	0.53	0.48	0.44
	Débit moyen	m³/s	99.7	177.3	220.6	259.1	291.4	313.6	332.1	348.5
	Chute brute moyenne	m	24.52	23.97	23.83	23.71	23.56	23.47	23.39	23.32
Scenar. 102	Puissance installée	MW	21.9	42.6	62.6	82.1	101.5	120.6	139.7	158.6
	Puissance garantie (95%)	MW	20.0	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1
	Energie moyenne	GWh/an	185.0	350.2	411.7	461.5	505.0	541.3	573.0	600.9
	Facteur d'utilisation		0.97	0.94	0.75	0.64	0.57	0.51	0.47	0.43
	Débit moyen	m³/s	99.5	192.3	227.8	256.5	282.0	303.3	322.3	339.1
	Chute brute moyenne	m	24.53	24.03	23.84	23.73	23.63	23.54	23.46	23.38
Scenar. 3byc	Puissance installée	MW	21.9	42.6	62.6	82.1	101.5	120.6	139.7	158.6
	Puissance garantie (95%)	MW	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
	Energie moyenne	GWh/an	175.9	343.1	436.2	485.3	526.6	560.8	590.7	616.4
	Facteur d'utilisation		0.92	0.92	0.80	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44
	Débit moyen	m³/s	95.1	186.9	241.8	270.1	294.3	314.4	332.2	347.7
	Chute brute moyenne	m	24.41	24.22	23.80	23.71	23.61	23.53	23.46	23.39
Scenar. 4ayt	Puissance installée	MW	21.9	42.6	62.6	82.1	101.5	120.6	139.7	158.6
	Puissance garantie (95%)	MW	20.2	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8
	Energie moyenne	GWh/an	184.7	347.4	444.6	507.7	557.5	591.2	618.8	641.8
	Facteur d'utilisation		0.96	0.93	0.81	0.71	0.63	0.56	0.51	0.46
	Débit moyen	m³/s	99.7	189.9	246.2	282.4	311.9	331.8	348.3	362.3
	Chute brute moyenne	m	24.45	24.13	23.83	23.72	23.59	23.51	23.44	23.37
Scenar. 4byc	Puissance installée	MW	21.8	42.6	62.6	82.1	101.5	120.6	139.7	158.6
	Puissance garantie (95%)	MW	20.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2
	Energie moyenne	GWh/an	184.9	361.0	454.4	513.4	560.5	592.3	619.1	641.1
	Facteur d'utilisation		0.97	0.97	0.83	0.71	0.63	0.56	0.51	0.46
	Débit moyen	m³/s	99.8	196.9	251.6	285.5	313.3	332.3	348.2	361.5
	Chute brute moyenne	m	24.44	24.19	23.83	23.73	23.60	23.52	23.46	23.40

5.2. Choix du débit équipé optimal

5.2.1. Méthodologie

Une fois fixé le niveau de la retenue, la puissance installée varie seulement avec le débit d'équipement de la centrale hydro-électrique.

La centrale ne faisant que court-circuiter quelques centaines de mètres de cours d'eau, et ne pouvant turbiner que le débit du fleuve à l'amont du seuil, un changement de débit d'équipement à niveau de retenue constant n'aura aucun effet supplémentaire sur l'environnement, en dehors de ceux qui ont été identifiés précédemment (voir le chapitre 4). En conséquence, pour chacune des variantes G2 et G3, la sélection du débit d'équipement a été effectuée sur le seul critère économique de la **maximisation du bénéfice net actualisé du projet**.

Pour chaque variante de cote, le bénéfice net actualisé a été calculé pour les débits d'équipement de 100 à 800 m³/s comme la différence entre les bénéfices et les coûts, en actualisant les flux de coûts et de bénéfices avec un **taux d'actualisation de 10 %** (et sensibilité à 8 % et 12 %). On rappelle que le taux d'actualisation représente la préférence plus ou moins marquée des investisseurs pour les résultats immédiats par rapport aux résultats futurs.

Dans cette approche économique simplifiée, les bénéfices sont calculés comme étant les coûts évités de production électrique par une installation thermique équivalente, dont le prix de revient serait la somme de deux termes :

- une valorisation de la puissance garantie de **525 €/kW** (coûts de construction) plus **27 €/kW.an** (coûts fixes d'entretien),
- une valorisation de l'énergie produite de **0,04 €/kWh**.

Ces prix proviennent de données recueillies auprès de la SENELEC et de nos bases de données internes :

- Centrale thermique = diesel de 28 MW brûlant du fuel lourd,
- Coût de réalisation total = 600 Euros/kW,
- Pertes en ligne par rapport à la puissance de pointe, entre Gouina et le centre de consommation principal (Dakar) = 20 %,
- Intérêts pendant la construction, estimés pour un taux de 10 % = 5,7 % de l'investissement,
- Consommation spécifique moyenne = 244 g/kWh,
- Cours du baril de pétrole brut = 25 US\$/baril,

- Consommation des auxiliaires = 3 %,
- Pertes en ligne moyennes = 10 %.

On n'intègre pas dans ces calculs les bénéfices liés aux externalités du projet, notamment en terme d'émissions de carbone évitées.

Les calculs ont été répétés pour les cinq scénarios de gestion de Manantali précédemment sélectionnés. Les courbes des figures 5.5a à 5.9a (resp. 5.5b à 5.9b) montrent comment varie le bénéfice net actualisé en fonction du débit d'équipement. Dans chaque cas, les bénéfices nets ont été exprimés en différentiel par rapport à celui du débit de 200 m³/s, valeur qui représente le débit à partir duquel, dans presque tous les scénarios, les apports de la saison d'étiage peuvent être entièrement turbinés (il n'y a que pour le scénario 100 que le débit d'étiage descend à 150 m³/s).

Les figures 5.10a et 5.10b résument la comparaison des coûts et des capacités de production des alternatives de débit d'équipement. Les histogrammes de puissance et d'énergie moyenne montrent que la production d'énergie varie peu selon les scénarios, alors que la puissance garantie est plus sensible au mode de gestion de Manantali, et que la puissance garantie ne varie pas avec le débit d'équipement au-delà de 300 m³/s.

5.2.2. Sélection de la puissance installée pour la variante G2

L'analyse des figures relatives à la variante G2 fournit les informations suivantes :

- a) le bénéfice net augmente rapidement entre 100 et 400 m³/s ; les variations sont plus lentes au-delà,
- b) les courbes sont généralement assez plates dans une plage étendue autour du maximum,
- c) le bénéfice maximum est obtenu pour un débit d'équipement qui varie selon le taux d'actualisation retenu, mais également selon le mode de gestion qui sera appliqué à Manantali,
- d) pour le taux d'actualisation de 10 %, le maximum des courbes est atteint dans la plage de 500 m³/s à 600 m³/s,
- e) pour le taux de 12 %, le maximum serait plutôt atteint entre 400 m³/s et 500 m³/s, alors que pour le taux de 8 %, ce maximum serait atteint dans la plage de 600 m³/s à 700 m³/s.

La prise en compte d'un taux d'actualisation inférieur à 8 %, qui donnerait un poids plus important aux bénéfices à long terme de l'aménagement, conduirait certainement à un débit optimal supérieur à 700 m³/s. Toutefois, dans le contexte d'un projet destiné à être

développé sur la base d'un financement privé, la solution 600 m³/s nous paraît être une solution attractive dans la mesure où elle produirait un bénéfice net proche du maximum, tout en limitant le montant de l'investissement nécessaire par rapport aux solutions de puissances plus importantes.

Pour ce débit d'équipement de 600 m³/s, on pourra utiliser la pleine capacité de l'usine entre 18 % et 20 % du temps en moyenne, selon la courbe des débits classés correspondant à l'hydrologie de la période 1950 – 1999. Cette même courbe montre également que pendant environ 60 % du temps, c'est-à-dire pendant la période d'étiage, moins de la moitié de ces 600 m³/s pourraient être turbinés.

Ainsi la valeur de 600 m³/s apparaît être un bon compromis entre: i) d'un côté l'exploitation maximale des ressources naturelles et renouvelables du site et les économies de consommation de combustibles fossiles, sources de pollution atmosphérique, et ii) d'un autre côté la recherche du bénéfice maximal ou du meilleur retour sur investissement pour attirer les investisseurs privés vers le projet.

C'est donc ce débit d'équipement de 600 m³/s qui a été retenu pour faire l'objet des présentes études de faisabilité technique pour la variante G2. En regard de ce débit, la puissance nominale, calculée pour la chute correspondant à 600 m³/s de débit total dans le fleuve (chute brute de 18,7 m, soit une chute nette de 18,2 m) est de **95 MW**.

5.2.3. Sélection de la puissance installée pour la variante G3

La même analyse conduite sur les figures relatives à la variante G3 donne la même tendance, avec un décalage d'environ 100 m³/s vers le haut :

- a) pour le taux de base de 10 %, le maximum des courbes est atteint dans la plage de 600 m³/s à 700 m³/s,
- b) pour le taux de 12 %, le maximum serait plutôt atteint entre 500 m³/s et 600 m³/s, alors que pour le taux de 8 %, ce maximum serait atteint entre 700 m³/s et 800 m³/s.

Suivant cette approche, l'optimum économique de la variante G3 se situerait donc environ 100 m³/s plus haut que celui de la variante G2, soit à 700 m³/s.

En regard de ce débit, la puissance nominale, calculée pour la chute correspondant à 700 m³/s de débit total dans le fleuve (chute brute de 23,5 m, soit une chute nette de 23,0 m) est de **140 MW**.

5.3. Evaluation du coût de réalisation

L'estimation du coût de réalisation du projet pour la variante G2 (resp. G3) est présentée dans les tableaux 5.3a, 5.4 et 5.5a (resp. 5.3b, 5.4 et 5.5b) ci-dessous. Les hypothèses faites pour établir cette évaluation sont les suivantes :

- a. Construction du projet hydroélectrique sur la base d'un appel d'offre international pour au moins deux lots séparés (génie civil et équipements de l'usine), garantissant un certain niveau de compétition.
- b. Les prix unitaires des travaux de génie civil sont présentés au chapitre 2.5 ci-dessus. Ils ont été établis à partir de marchés réels pour des projets de taille et de nature similaires. Il convient de rappeler que toute réduction de la compétition (par exemple en cas de financement lié) pourrait s'accompagner d'une augmentation des prix initiaux de construction, et qu'une compétition trop sévère peut conduire à des prix de marché initiaux plus faibles mais aussi à un risque plus fort de retard d'achèvement et de surcoûts associés importants.
- c. Les coûts environnementaux inclus dans le coût de réalisation sont les coûts des mesures d'atténuation des impacts identifiés précédemment (cf. chapitre 4.2). Le détail de ces coûts est présenté dans le tableau 5.4.
- d. On peut également définir un certain nombre de mesures d'accompagnement, qui ne sont pas des mesures liées à des impacts de l'aménagement, mais qui contribueraient à voir le projet accueilli favorablement par les populations locales (voir notamment le § 4.4.3.). Le financement de ces mesures devrait être trouvé en dehors du plan de financement privé du projet.

Tableau 5.3a – Estimation des coûts de construction directs (variante G2)

A. Génie civil					
	Description	U	P.U.	Qté	Coût (euros)
A1. Barrage RD					
L = 535 m	Batardeau provisoire en rivière (2)	m ³	3.6	17 000	61 200
	Excavation rocher	m ³	8.4	11 390	95 680
	Béton	m ³	118.0	30 820	3 636 760
	Coffrage	m ²	17.0	7 980	135 660
	Acier	t	900.0	392	352 800
	Items non quantifiés (10 %)				422 090
	TOTAL A1				4 704 190
A2. Dérivation					
L = 105 m	Batardeau provisoire en rivière (1)	m ³	3.6	8 000	28 800
	Excavation rocher	m ³	8.4	1 610	13 520
	Béton coffré	m ³	118.0	9 580	1 130 440
	Coffrage	m ²	17.0	5 910	100 470
	Acier	t	900.0	310	279 000
	Items non quantifiés (10 %)				155 220
	TOTAL A2				1 707 450
A3. Barrage RG					
L = 295 m	Excavation rocher	m ³	8.4	1 210	10 160
	Béton	m ³	118.0	4 130	487 340
	Coffrage	m ²	17.0	1 480	25 160
	Acier	t	900.0	38	34 200
	Items non quantifiés (10 %)				55 690
	TOTAL A3				612 550
A4. Ouvrage de tête et chenal amont					
L = 200 m	Excavation rocher	m ³	8.4	251 530	2 112 850
	Remblai	m ³	2.4	23 950	57 480
	Béton coffré	m ³	118.0	30 760	3 629 680
	Coffrage	m ²	17.0	24 150	410 550
	Acier (40 kg/m ³)	t	900.0	1 230	1 107 360
	Items non quantifiés (10 %)				731 790
	TOTAL A4				8 049 710
A5. Canal d'amenée					
L = 250 m	Excavation rocher	m ³	8.4	133 440	1 120 900
	Remblai	m ³	2.4	36 500	87 600
	Béton projeté	m ²	25.0	6 150	153 750
	Béton coffré	m ³	118.0	4 500	531 000
	Coffrage	m ²	17.0	11 000	187 000
	Acier	t	900.0	331	298 260
	Items non quantifiés (10 %)				237 850
	TOTAL A5				2 616 360
A6. Usine et canal de restitution					
L = 400 m	Excavation rocher	m ³	8.4	545 250	4 580 100
	Remblai	m ³	2.4	14 950	35 880
	Béton projeté	m ²	25.0	7 360	184 000
	Béton coffré	m ³	118.0	46 640	5 503 520
	Coffrage	m ²	17.0	23 980	407 660
	Acier usine (50 kg/m ³)	t	900.0	2 330	2 097 000
	Items non quantifiés (10 %)				1 280 820
	TOTAL A6				14 088 980
A7. Installations de chantier					
	Installations de chantier (15 % de A1+A2+A3+A4+A5+A6)				4 675 000
	TOTAL A7				4 675 000
Total A : génie civil				(EUROS)	35 842 000
(arrondis au millier)				(FCFA)	23 510 811 000

Tableau 5.3a – suite – Estimation des coûts de construction directs (variante G2)

B. Equipements électro-mécaniques				
	U	P.U.	Qté	Coût (euros)
B1. Ouvrage de tête				
Batardeaux amont	U	121 400	14	1 699 600
Batardeaux aval	U	550 000	4	2 200 000
Grilles	U	12 100	28	338 800
Portique 10t et dégrilleur	U	150 000	1	150 000
Portique 15t	U	100 000	1	100 000
TOTAL B1				4 488 400
B2. Dérivation				
Batardeaux amont	U	21 300	4	85 200
Vannes de coupure	U	80 000	4	320 000
Batardeaux aval	U	17 500	4	70 000
Portique 10t	U	50 000	1	50 000
TOTAL B2				525 200
B3. Usine				
Turbines	U	4 434 000	3	13 302 000
Alternateurs	U	4 433 000	3	13 299 000
Autres équipements électro-méca	U	13 300 000	1	13 300 000
Divers et aléas 1 (5%)				1 995 100
Pont roulant	U	900 000	1	900 000
Transformateurs	U	533 300	3	1 599 900
Vannes amont	U	1 070 000	3	3 210 000
Batardeaux aval	U	270 000	3	810 000
Grilles amont	U	14 700	3	44 100
Portique et dégrilleur	U	285 000	1	285 000
TOTAL B3				48 745 100
Total B : équipements électro-mécaniques			(EUROS)	53 759 000
(arrondis au millier)			(FCFA)	35 263 592 000
TOTAL DES COÛTS DE CONSTRUCTION DIRECTS *			(EUROS)	89 601 000
(arrondis au millier)			(FCFA)	58 774 403 000

* en euros d'octobre 2001, hors aléas

Tableau 5.3b – Estimation des coûts de construction directs (variante G3)

A. Génie civil					
	Description	U	P.U.	Qté	Coût (euros)
A1. Barrage RD					
L = 570 m	Batardeaux provisoires en rivière (2 et 3)	m ³	3.6	20 000	72 000
	Excavation rocher	m ³	8.4	14 490	121 716
	Béton	m ³	118.0	97 080	11 455 440
	Coffrage	m ²	17.0	21 650	368 050
	Acier	t	900.0	763	687 023
	Items non quantifiés (10 %)				1 263 223
	TOTAL A1				13 967 452
A2. Dérivation					
L = 210 m	Batardeau provisoire en rivière (1)	m ³	3.6	8 000	28 800
	Excavation rocher	m ³	8.4	2 960	24 864
	Béton coffré	m ³	118.0	18 870	2 226 660
	Coffrage	m ²	17.0	9 090	154 530
	Acier	t	900.0	319	286 978
	Items non quantifiés (10 %)				272 183
	TOTAL A2				2 994 015
A3. Barrage RG					
L = 380 m	Excavation rocher	m ³	8.4	2 070	17 388
	Béton	m ³	118.0	10 120	1 194 160
	Coffrage	m ²	17.0	4 140	70 380
	Acier	t	900.0	112	100 808
	Items non quantifiés (10 %)				138 274
	TOTAL A3				1 521 009
A4. Ouvrage de tête et chenal amont					
L = 200 m	Excavation rocher	m ³	8.4	138 810	1 166 004
	Béton coffré	m ³	118.0	50 010	5 901 180
	Coffrage	m ²	17.0	27 350	464 950
	Acier (40 kg/m ³)	t	900.0	2 000	1 800 360
	Items non quantifiés (10 %)				933 249
	TOTAL A4				10 265 743
A5. Canal d'amenée					
L = 270 m	Excavation rocher	m ³	8.4	152 250	1 278 900
	Remblai	m ³	2.4	29 770	71 448
	Béton projeté	m ²	25.0	5 830	145 750
	Béton coffré	m ³	118.0	40 250	4 749 500
	Coffrage	m ²	17.0	14 210	241 570
	Acier	t	900.0	473	425 968
	Items non quantifiés (10 %)				691 314
	TOTAL A5				7 604 450
A6. Usine et canal de restitution					
L = 550 m	Excavation rocher	m ³	8.4	591 830	4 971 372
	Remblai	m ³	2.4	11 300	27 120
	Béton projeté	m ²	25.0	7 020	175 500
	Béton coffré	m ³	118.0	76 090	8 978 620
	Coffrage	m ²	17.0	34 980	594 660
	Acier usine (50 kg/m ³)	t	900.0	3 805	3 424 500
	Items non quantifiés (10 %)				1 817 177
	TOTAL A6				19 988 949
A7. Installations de chantier					
	Installations de chantier (15 % de A1+A2+A3+A4+A5+A6)				8 223 091
	TOTAL A7				8 223 091
Total A : génie civil				(EUROS)	63 044 000
(arrondis au millier)				(FCFA)	41 354 153 000

Tableau 5.3b – suite – Estimation des coûts de construction directs (variante G3)

B. Equipements électro-mécaniques				
	U	P.U.	Qté	Coût (euros)
B1. Ouvrage de tête				
Batardeaux amont	U	118 800	16	1 900 800
Batardeaux aval	U	400 000	6	2 400 000
Grilles	U	14 100	32	451 200
Portique 10t et dégrilleur	U	150 000	1	150 000
Portique 15t	U	100 000	1	100 000
TOTAL B1				5 002 000
B2. Dérivation				
Batardeaux amont	U	26 300	4	105 200
Vannes de coupure	U	87 500	4	350 000
Batardeaux aval	U	23 750	4	95 000
Portique 10t	U	50 000	1	50 000
TOTAL B2				600 200
B3. Usine				
Turbines	U	5 383 300	3	16 149 900
Alternateurs	U	5 383 300	3	16 149 900
Autres équipements électro-méca	U	16 100 000	1	16 100 000
Pont roulant	U	1 000 000	1	1 000 000
Transformateurs	U	700 000	3	2 100 000
Vannes amont	U	616 700	6	3 700 200
Batardeaux aval	U	215 000	6	1 290 000
Grilles amont	U	17 700	3	53 100
Portique et dégrilleur	U	330 000	1	330 000
TOTAL B3				56 873 100
Total B : équipements électro-mécaniques			(EUROS)	62 475 000
(arrondis au millier)			(FCFA)	40 980 914 000
TOTAL DES COUTS DE CONSTRUCTION DIRECTS *			(EUROS)	125 519 000
(arrondis au millier)			(FCFA)	82 335 067 000

* en euros d'octobre 2001, hors aléas

**Tableau 5.4 – Estimation des coûts d'atténuation des impacts environnementaux
(variantes G2 et G3)**

Désignation	Unité	Quantités		Coût unit.	Coût total		Observations
		RN 70	RN 75		RN 70	RN 75	
1. Coûts fonciers							
1.1 Terres de culture (emprises lignes et route Gouina à Bafoulabé et pistes d'accès aux villages réinstallation)	ha	100	100	0.15	15	15	Bande de 100 km au total sur une largeur de 10 m.
2. Ressources naturelles							
2.1 Renforcement surveillance en phase chantier (5 ans)	ff	1	1	50	50	50	
2.2 Reboisement villageois	ff	1	1	25	25	25	
2.3 Compensation globale pour la forêt classée de Bagouko	ha	1	1	165	165	165	Provision; à déterminer ultérieurement
2.4 Restauration des formations boisées ripicoles rive droite	ff	1	1.5	50	50	75	Provision; à déterminer ultérieurement
3. Réinstallation de population					0	0	
3.1 Etude du plan d'action de réinstallation	pm				0	0	pm. Inclus dans l'EIE réglementaire
<u>Infrastructures</u>							
3.2 Reconstruction des habitations	logement	210	473	1	210	473	
3.3 Equipements sociaux pour villages réinstallés	program.	1	1		122	212	Cf note 1
3.4 Mise à niveau équipements sociaux des villages hôtes	ff	1	1		61	106	50 % du coût pour les villages réinstallés
3.5 Pistes locales d'accès aux villages de réinstallation	km	6	10	20	120	200	
<u>Compensation des pertes de production</u>							
3.6 Compensation perte de production céréales	t	193	434	0.16	31	69	
3.7 Compensation cultures maraîchères et bas fonds	ha	-	6.5	1.5	-	10	
3.8 Compensations pour dommages à la pêche	ff	1	1	10	10	10	
3.9 Remplacement des terres de culture	ha	505	1135	0.15	76	170	
<u>Appui au développement</u>							
3.9 Elaboration des plans de développement de terroirs	plan	3	5	5	15	25	
3.10 Aménagement des terres agricoles	ff	1	1	20	20	20	500 ha sur 5 km, 2 parcs de vaccination
3.11 Aménagement couloir de transhumance	ha	505	1135	0.06	30	68	
3.12 Dotation en équipement, intrants, petit matériel	familles	55	113	0.2	11	23	
3.13 Appui à l'organisation paysanne, à la production agricole et à la génération de revenus					0	0	Zone de réinstallation, étendue à la zone comprise entre Diamou et Bafoulabé
- période d'appui renforcé	ff/an	5	5	20	100	100	
- période d'appui allégé	ff/an	5	5	7	35	35	
3.14 Extension des services de microfinance	ff	1	1	30	30	30	
3.15 Appui à la pêche professionnelle (réservoir et aval)	ff	5	5	7	35	35	
4. Plan sanitaire local					0	0	
4.1 Mise à niveau des installations sanitaires de la zone du projet et appui au fonctionnement	ff	1	1		150	200	Cf note 2
4.2 Appui prévention, traitement et suivi des maladies hydriques	ff	1	2	50	50	100	
5. Autres mesures environnementales					0	0	
<u>Planification</u>							280
5.1 Actualisation plans de développement communaux	plan	2	2	5	10	10	
<u>Renforcement des capacités dans la zone du projet</u>					0	0	
5.2 Extension du réseau d'adduction d'eau potable de la commune de Diamou	ff	1	1	200	200	200	
5.3 Hydraulique villageoise (forages)	villages	4	8	8	32	64	
5.4 Hydraulique villageoise (puits grand diamètre)	villages	4	4	5.5	22	22	

Tableau 5.4 – suite – Estimation des coûts d'atténuation des impacts environnementaux (variantes G2 et G3)

Désignation	Unité	Quantités		Coût unit.	Coût total		Observations
		RN 70	RN 75		RN 70	RN 75	
<u>Renforcement des capacités</u> (suite)					0	0	
5.5 Amélioration des capacités commerciales (marchés)	ff	1	1	20.0	20	20	Communes de Diamou et de Bafoulabé
5.6 Aménagement des berges de Galougo-gare	ff/site	1	4	30.0	30	120	
5. Autres mesures environnementales (suite)					0	0	
<u>Restauration voirie et désenclavement</u>					0	0	
5.7 Réhabilitation-modernisation route Gouina-Bafoulabé	km	50	50	40.0	2 000	2 000	Périphérie réservoir et zone de réinstallation
5.8 Provision pour travaux confortatifs de la voie ferrée	ff	0	1	100.0	0	100	50 km route en terre Piles du pont de Galougo, sous réserve d'auscultation
<u>Appui au développement économique</u>					0	0	
5.9 Aménagement/protection de bas-fonds	ff	0	1	10.0	0	10	Sur la base de 10 ha x 1 MFCFA/ha
5.10 Promotion tourisme local	ff	1	1	5.0	5	5	
6. Suivi environnemental					0	0	
6.1 Enquêtes périodiques	ff/an	5	5		0		
- en phase chantier	ff/an	5	5	4.0	20	20	
- en phase d'exploitation	ff/an	5	5	6.0	30	30	
6.2 Intégration des données dans l'observatoire OMVS	ff/an	10	10	2.5	25	25	
6.3 Evaluations et enquêtes ciblées	ff/an	10	10	5.0	50	50	
6.4 Gestion du suivi (15 %)	ff	0.15	0.15	125.0	19	19	
Récapitulation							
1. Coûts fonciers					15	15	
2. Ressources naturelles					290	315	
3. Réinstallation de population					906	1 586	
4. Plan sanitaire local					200	300	
5. Autres mesures environnementales					2 319	2 551	
6. Suivi environnemental					144	144	
Sous-total					3 874	4 911	
Maîtrise d'ouvrage du plan environnemental					116	147	3 % des coûts de base
Maîtrise d'œuvre du plan environnemental					232	295	6 % des coûts de base
Sous-total hors imprévus					4 222	5 353	
Imprévus physiques 10 %					422	535	
Total coût environnemental (FCFA)					4 645	5 888	
Total coût environnemental (euros)					7.08	8.98	
% du coût maximum					78.9	100.0	

Note 1

RN 70 : école de 3 classes avec direction et latrines, 2 dispensaires, 5 puits, 1 mosquée, 1 magasin de stockage et 1 chaland existant à compenser pour Foukara Ile.

RN 75 : idem plus 1 école de 3 classes avec direction et latrines, 2 dispensaires, 1 forage,

Note 2

RN 70: fonctionnement pour deux dispensaires pendant 5 ans et forfait 50 MFCFA pour la modernisation du centre de santé de Diamou

RN 75: fonctionnement pour quatre dispensaires pendant 5 ans et forfait 50 MFCFA pour pour la modernisation du centre de santé de Diamou

Tableau 5.5a – Estimation du coût de réalisation global (variante G2)

1. Coûts de construction		
	Description	Coût (euros)
1.1. Travaux préparatoires		
	Routes d'accès à la gare de Diamou Cimenterie	1 554 980
	Aménagement de la gare de Diamou Cimenterie	100 000
	TOTAL 1.1.	1 654 980
1.2. Génie civil		
	Seuil RD	4 704 190
	Dérivation	1 707 450
	Barrage RG	612 550
	Ouvrage de tête	8 049 710
	Canal d'amenée	2 616 360
	Usine et canal de restitution	14 088 980
	Installations de chantier	4 675 000
	Sous-total coûts directs	36 454 240
	Divers et aléas (20 %)	7 290 848
	TOTAL 1.2.	43 745 088
1.3. Equipements hydro-électromécaniques		
	Ouvrage de tête	4 488 400
	Dérivation	525 200
	Usine	48 745 100
	Sous-total coûts directs	53 758 700
	Divers et aléas (5%)	2 687 935
	TOTAL 1.3.	56 446 635
Total 1 : coûts de construction (arrondis)		101 846 700
2. Raccordement au réseau H.T.		
		Coût (euros)
	Poste de Gouina	3 000 000
	Ligne HT usine-poste	50 000
	Adaptation du poste de Kayes	750 000
	Ligne 225 kV	4 350 000
	Ingénierie et aléas (10 %)	815 000
Total 2 : raccordement au réseau H.T.		8 965 000
3. Impact sur l'environnement		
		Coût (euros)
	Mesures d'atténuation des impacts	5 905 900
	Divers et aléas (10 %)	590 590
Total 3 : impact sur l'environnement		6 496 490
4. Ingénierie et maîtrise d'ouvrage		
		Coût (euros)
	APD / DAO (4 % de total 1)	4 073 868
	Etude d'impact environnemental détaillé	670 000
	Supervision des travaux (6 % de total 1 + 2 + 3)	7 038 490
	Maîtrise d'Ouvrage (2 % de total 1 + 2 + 3)	2 346 164
Total 4 : ingénierie (arrondi)		14 128 500
COUT GLOBAL DE REALISATION * (EUROS)		131 437 000
arrondi au millier (FCFA)		86 217 020 000

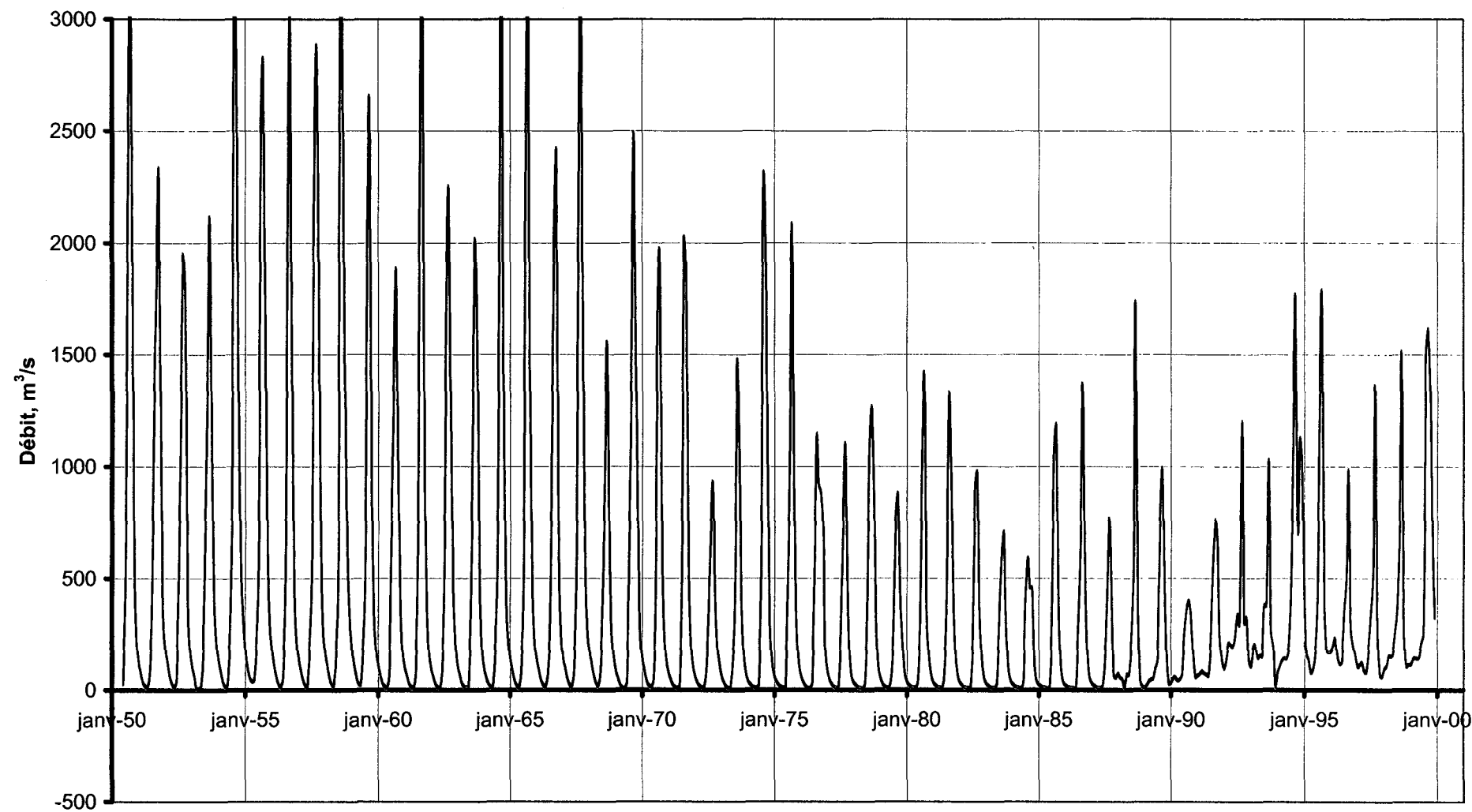
* en euros d'octobre 2001

Tableau 5.5b – Estimation du coût de réalisation global (variante G3)

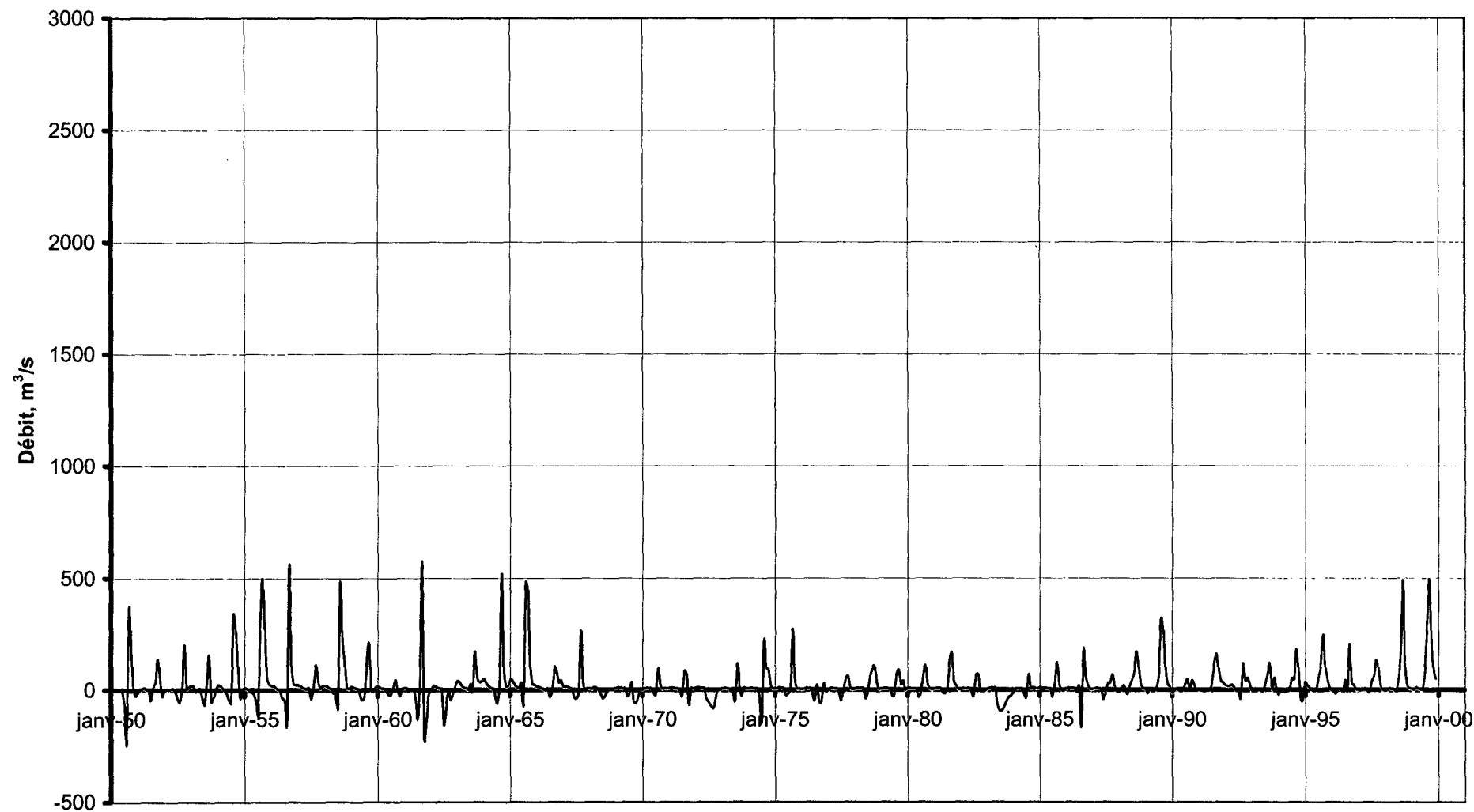
1. Coûts de construction		
	Description	Coût (euros)
1.1. Travaux préparatoires		
	Routes d'accès à la gare de Diamou Cimenterie	1 554 980
	Aménagement de la gare de Diamou Cimenterie	100 000
	TOTAL 1.1.	1 654 980
1.2. Génie civil		
	Seuil RD	13 967 452
	Dérivation	2 994 015
	Barrage RG	1 521 009
	Ouvrage de tête	10 265 743
	Canal d'amenée	7 604 450
	Usine et canal de restitution	19 988 949
	Installations de chantier	8 223 091
	Sous-total coûts directs	64 564 710
	Divers et aléas (20 %)	12 912 942
	TOTAL 1.2.	77 477 652
1.3. Equipements hydro-électromécaniques		
	Ouvrage de tête	5 002 000
	Dérivation	600 200
	Usine	56 873 100
	Sous-total coûts directs	62 475 300
	Divers et aléas (5%)	3 123 765
	TOTAL 1.3.	65 599 065
Total 1 : coûts de construction (arrondis)		144 731 700
2. Raccordement au réseau H.T.		
		Coût (euros)
	Poste de Gouina	3 000 000
	Ligne HT usine-poste	50 000
	Adaptation du poste de Kayes	750 000
	Ligne 225 kV	4 350 000
	Ingénierie et aléas (10 %)	815 000
Total 2 : raccordement au réseau H.T.		8 965 000
3. Impact sur l'environnement		
		Coût (euros)
	Mesures d'atténuation des impacts	7 486 800
	Divers et aléas (10 %)	748 680
Total 3 : impact sur l'environnement		8 235 480
4. Ingénierie et maîtrise d'ouvrage		
		Coût (euros)
	APD / DAO (4 % de total 1)	5 789 268
	Etude d'impact environnemental détaillé	760 000
	Supervision des travaux (6 % de total 1 + 2 + 3)	9 715 930
	Maîtrise d'Ouvrage (2 % de total 1 + 2 + 3)	3 238 644
Total 4 : ingénierie (arrondi)		19 503 800
COUT GLOBAL DE REALISATION * (EUROS)		181 436 000
arrondi au millier (FCFA)		119 014 214 000

* en euros d'octobre 2001

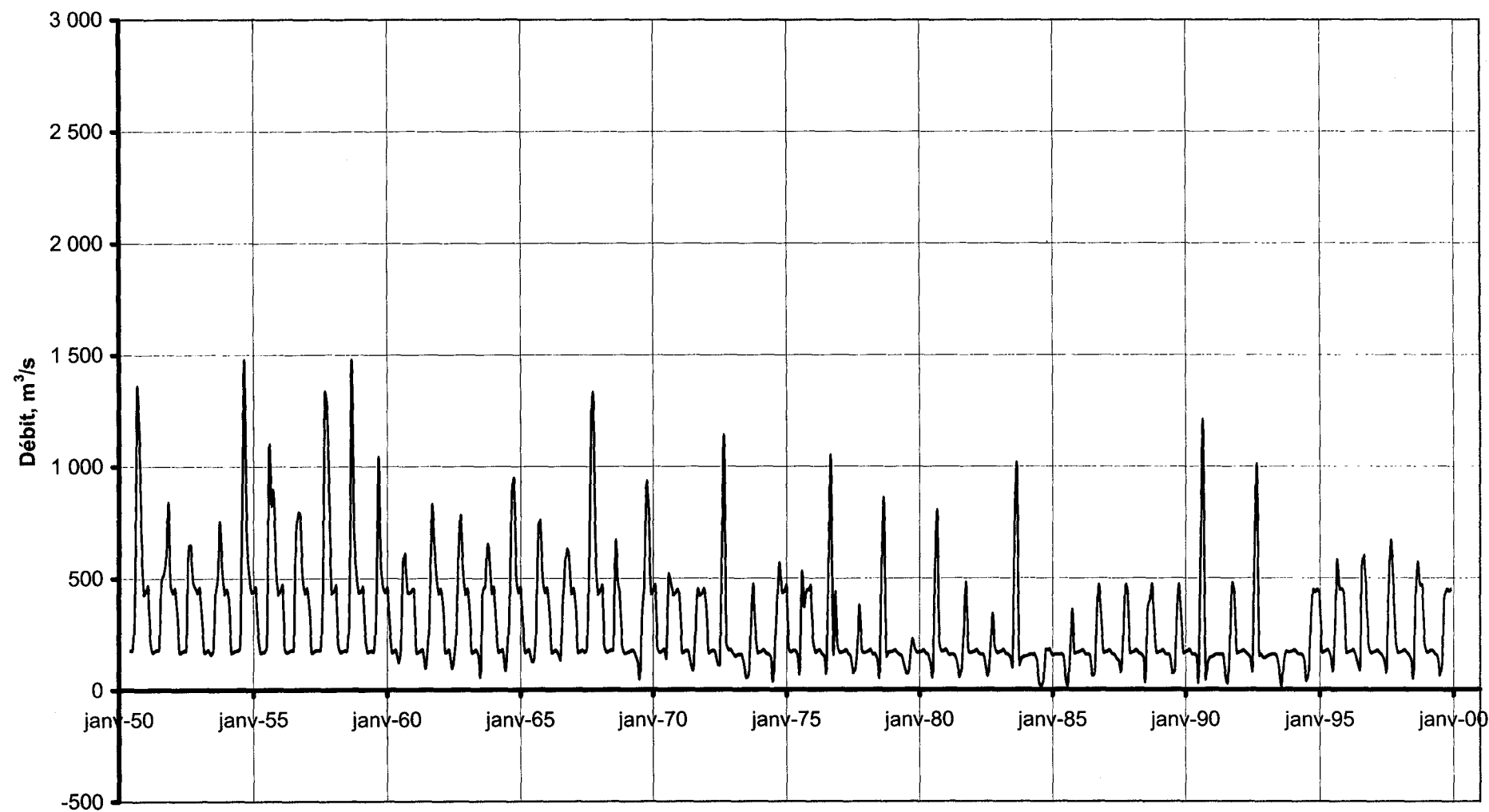
**Figure 2.2 : Série chronologique des apports du fleuve Sénégal à Kayes
(module 443 m³/s)**



**Figure 2.3 : Série chronologique des apports du bassin versant intermédiaire
entre Manantali, Oualia et Gouina (module 17 m³/s)**



**Figure 2.4 : Série chronologique des débits sortant de Manantali géré suivant le scénario 100
(module 292 m³/s)**



**Figure 2.5 : Série chronologique des apports à Gouina, Manantali étant géré selon le scénario 100
(module 433 m³/s)**

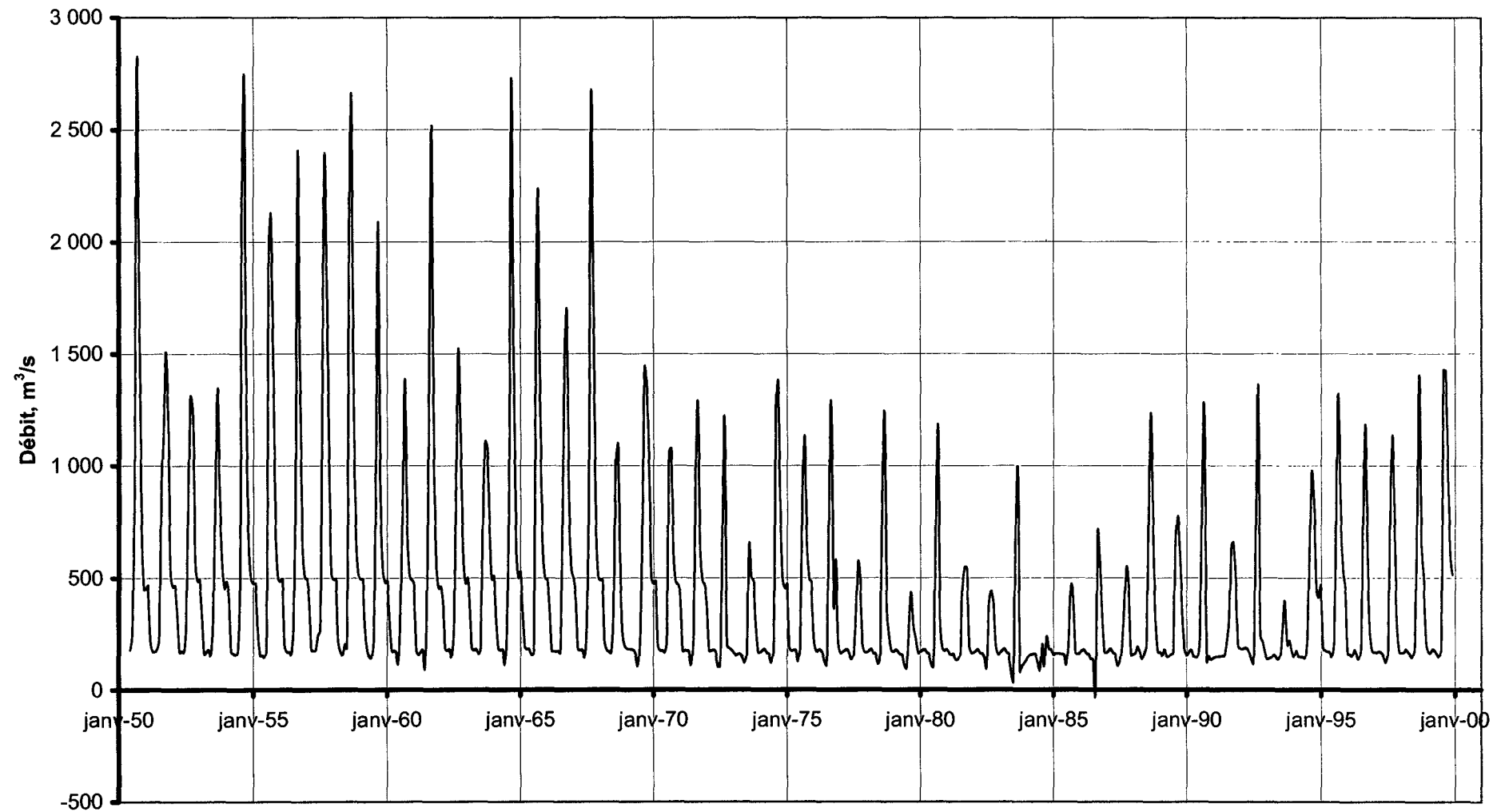
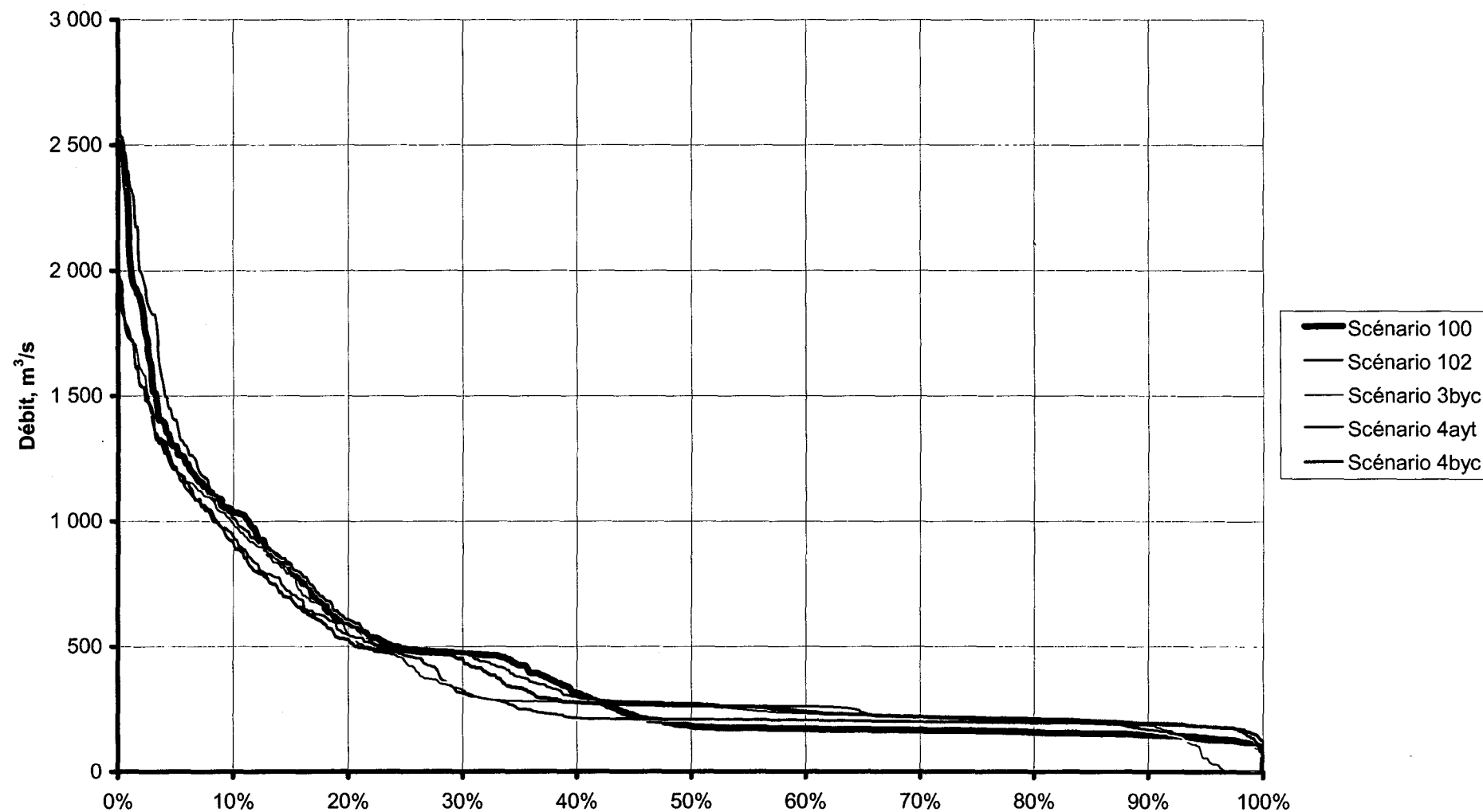
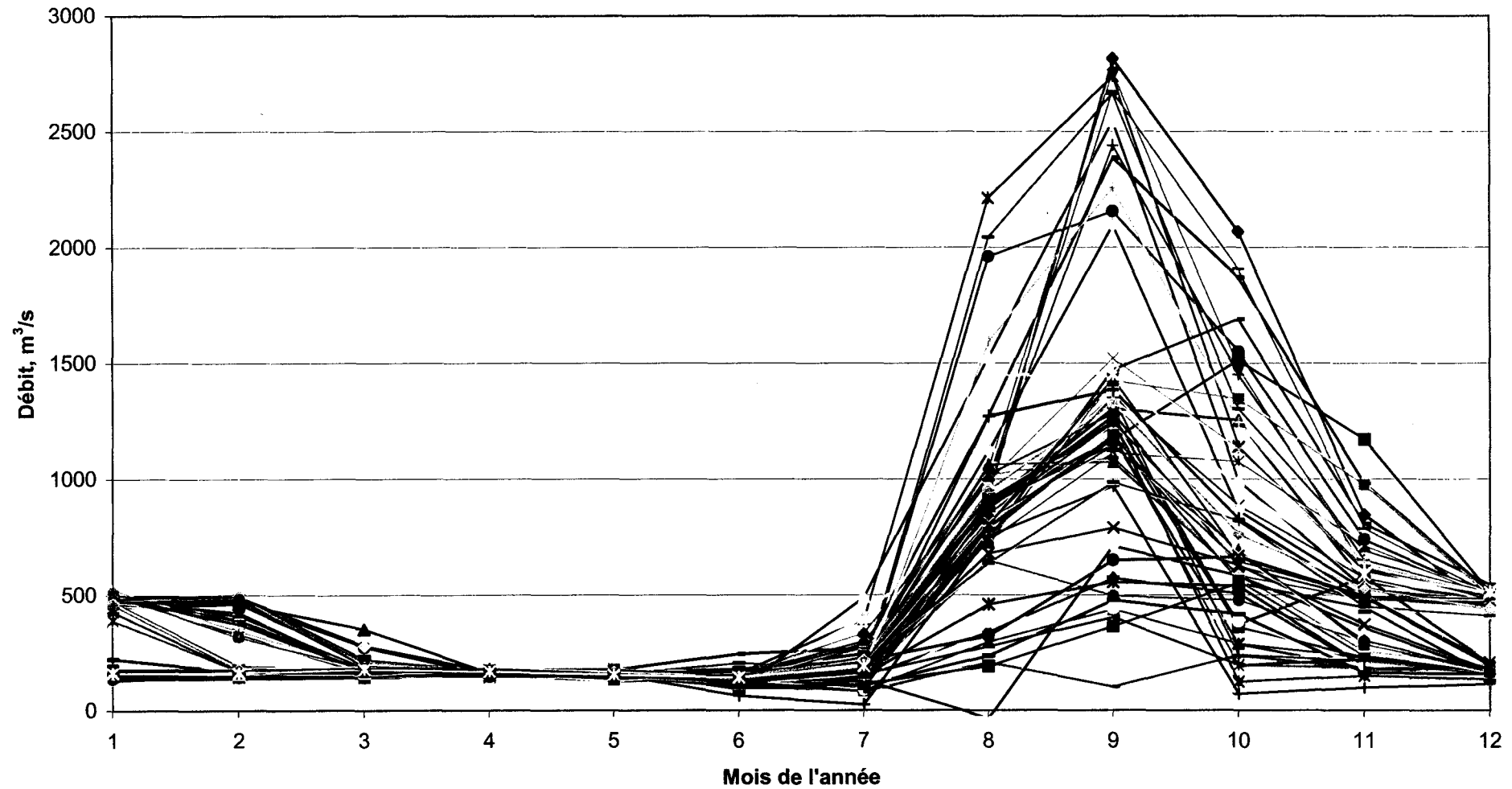


Fig. 2.6 - Gouina : courbes des débits classés pour différents scénarios de gestion de Manantali

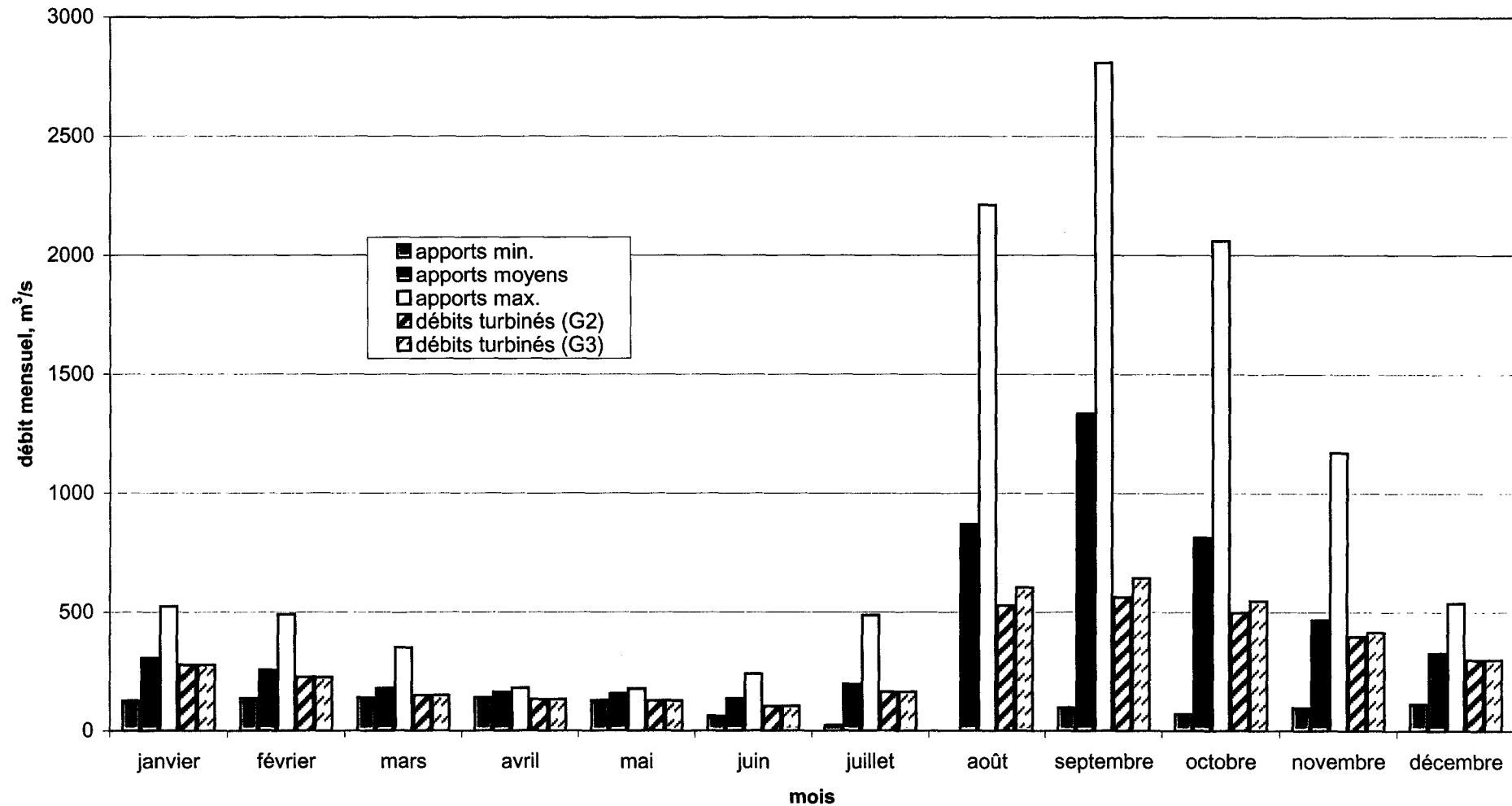


**Figure 2.7 : Variations saisonnières des apports à Gouina sur 1950-1999,
Manantali étant géré selon le scénario 100**

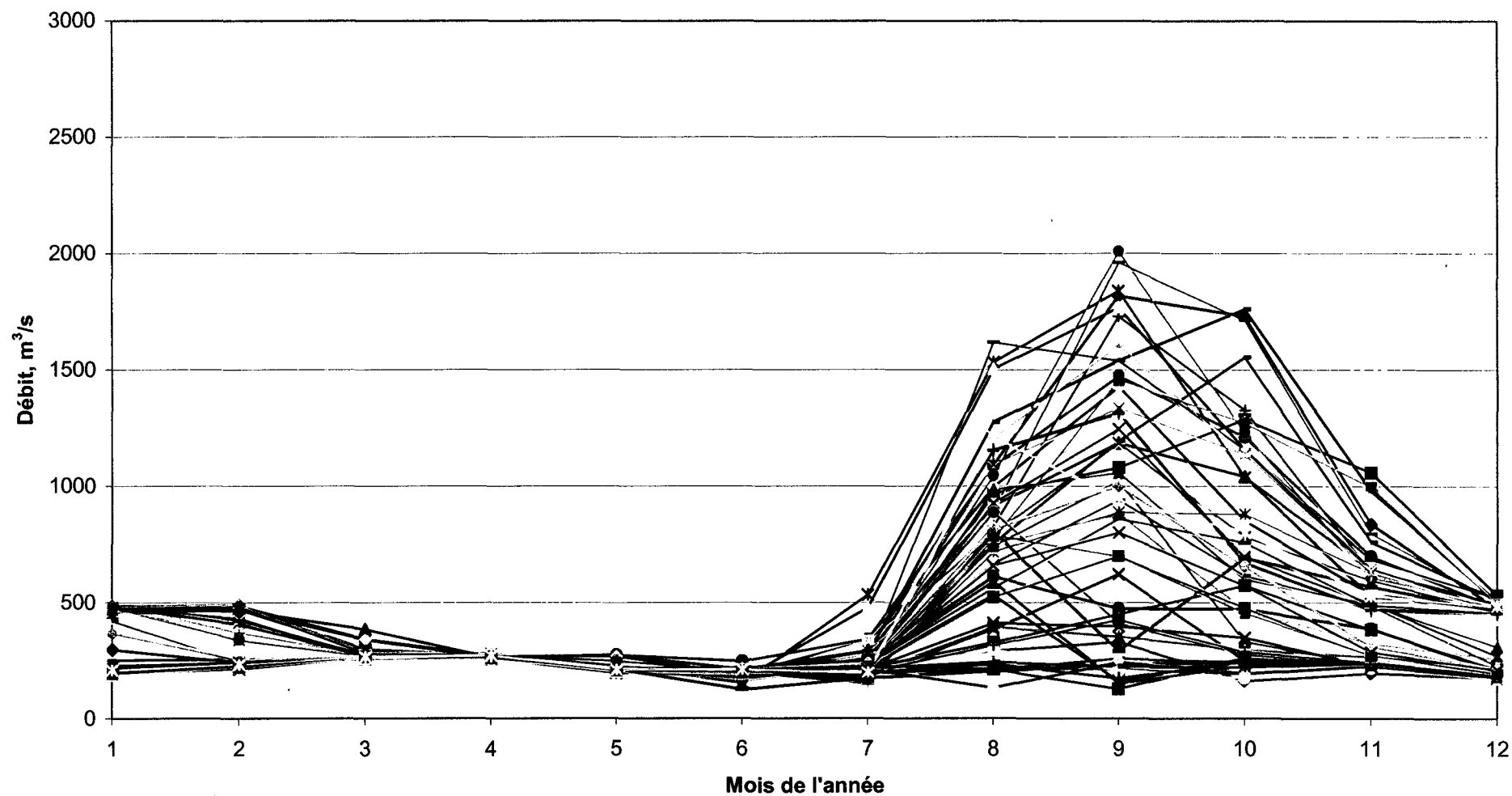


**Figure 2.8 : Variations saisonnières des apports et des débits turbinés à Gouina,
Manantali étant géré selon le scénario 100**

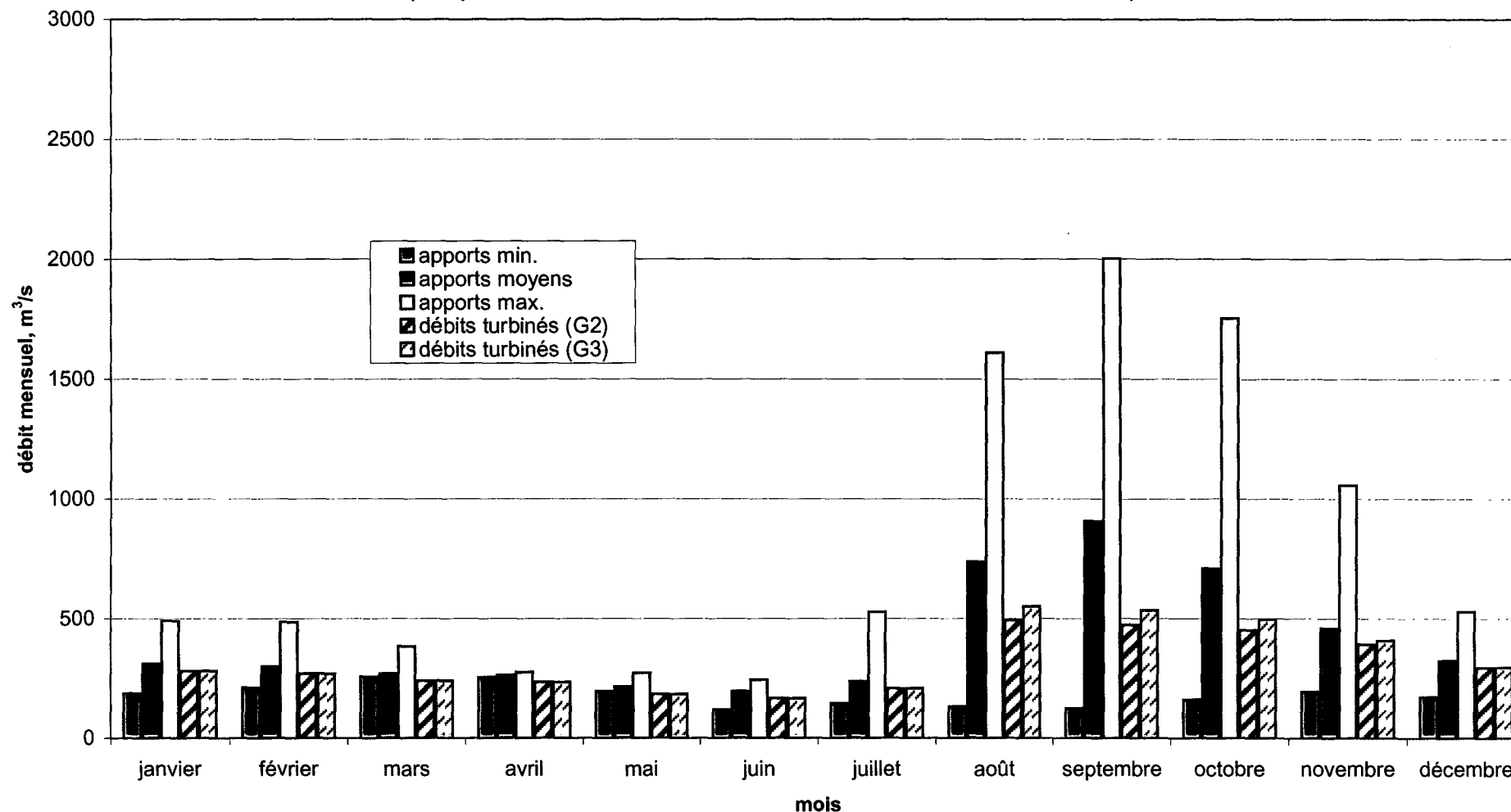
(compte tenu d'un débit réservé de 30 m³/s dans les chutes de Gouina)



**Figure 2.9 : Variations saisonnières des apports à Gouina sur 1950-1999,
Manantali étant géré selon le scénario 4byc**



**Figure 2.10 : Variations saisonnières des apports et des débits turbinés à Gouina,
Manantali étant géré selon le scénario 4byc
(compte tenu d'un débit réservé de 30 m³/s dans les chutes de Gouina)**



**Figure 2.11 - Gouina : courbes de tarage amont adoptées
pour les débits courants déversant sur le seuil (variantes G2 et G3)**

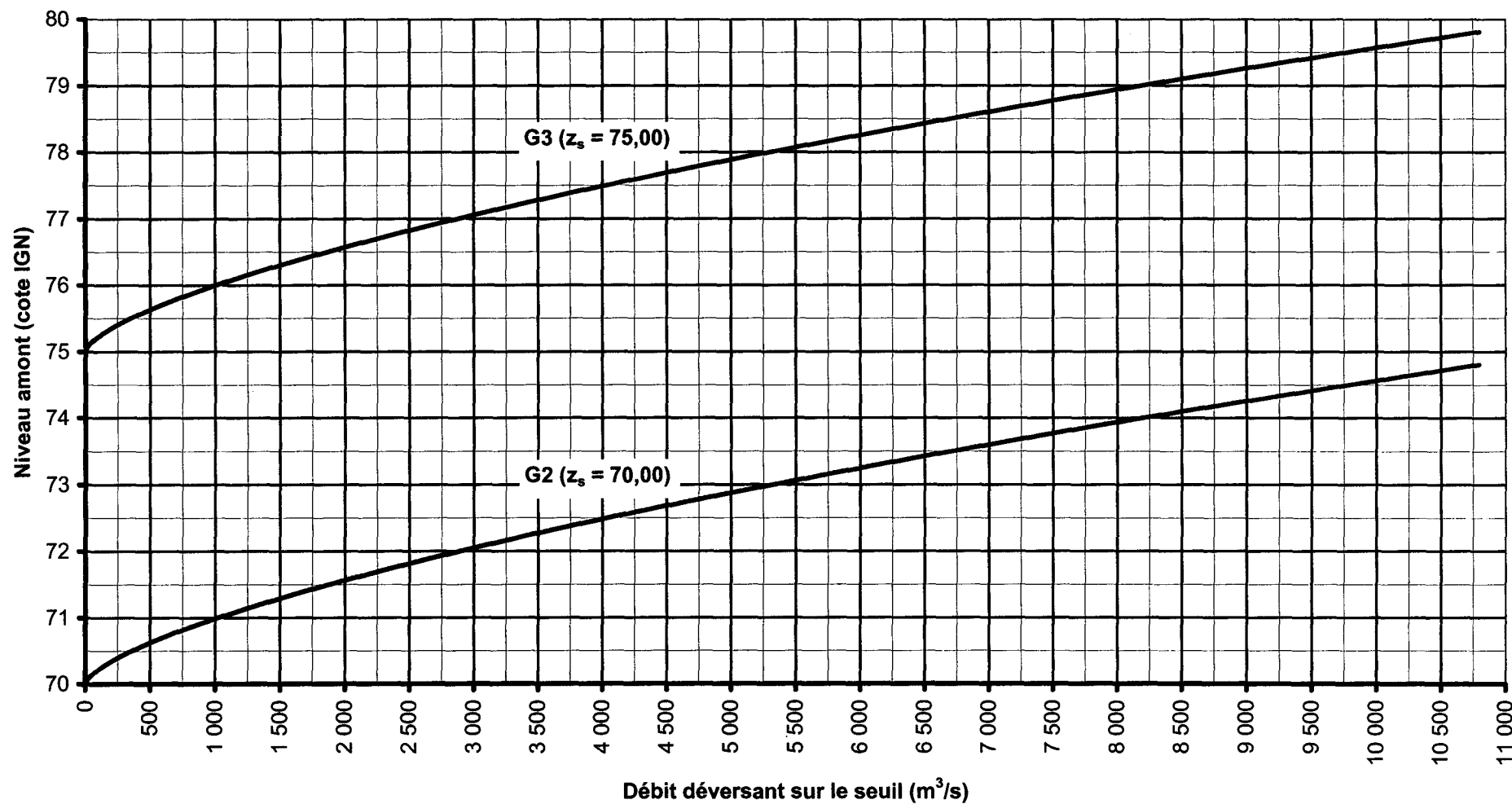


Fig. 2.12 - Gouina : mesures hauteur-débit et courbe de tarage aval

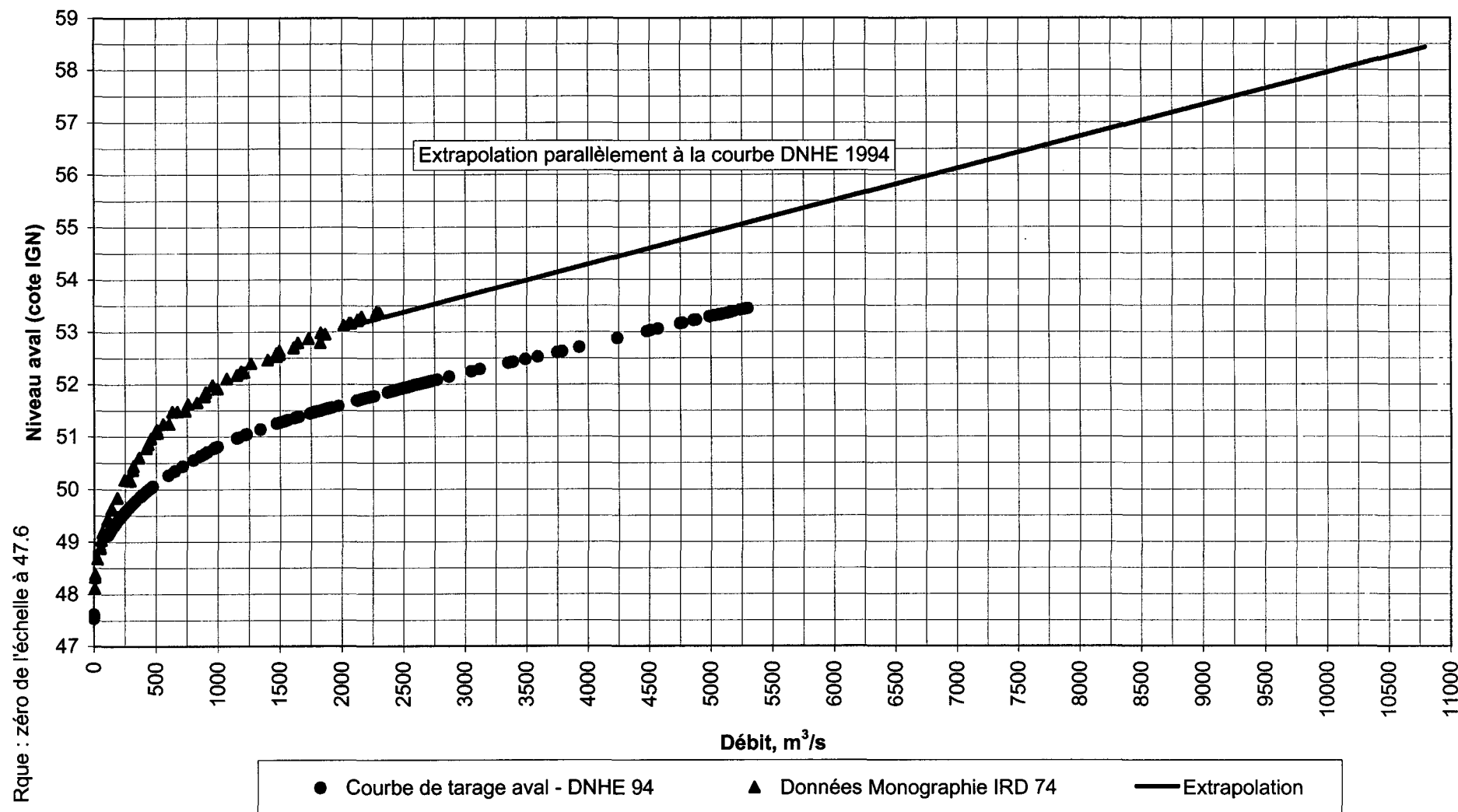


Figure 2.13 - Gouina : courbe de tarage aval adoptée pour les débits courants

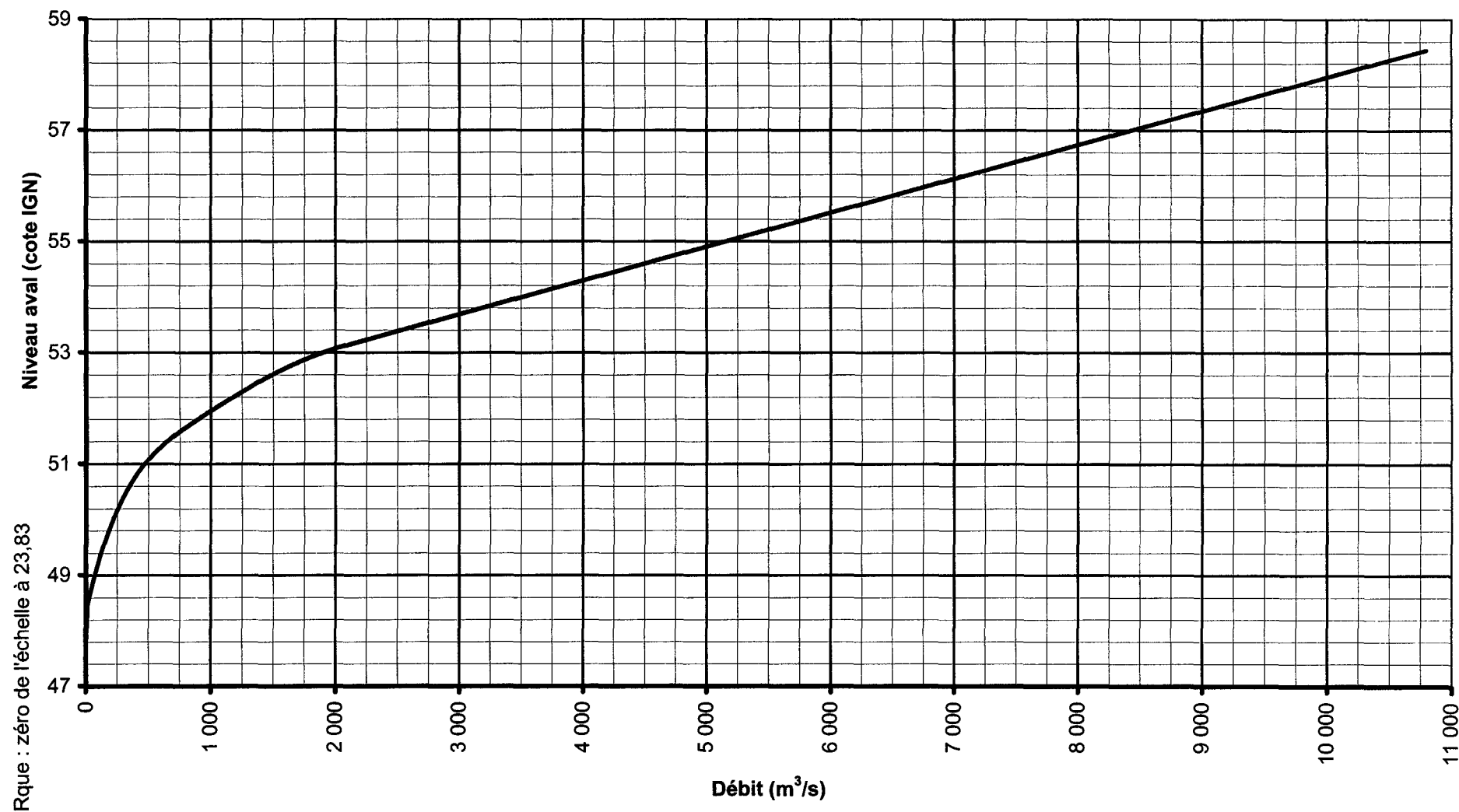


Figure 2.14 - Gouina : relation entre chute brute et débit (variantes G2 et G3)

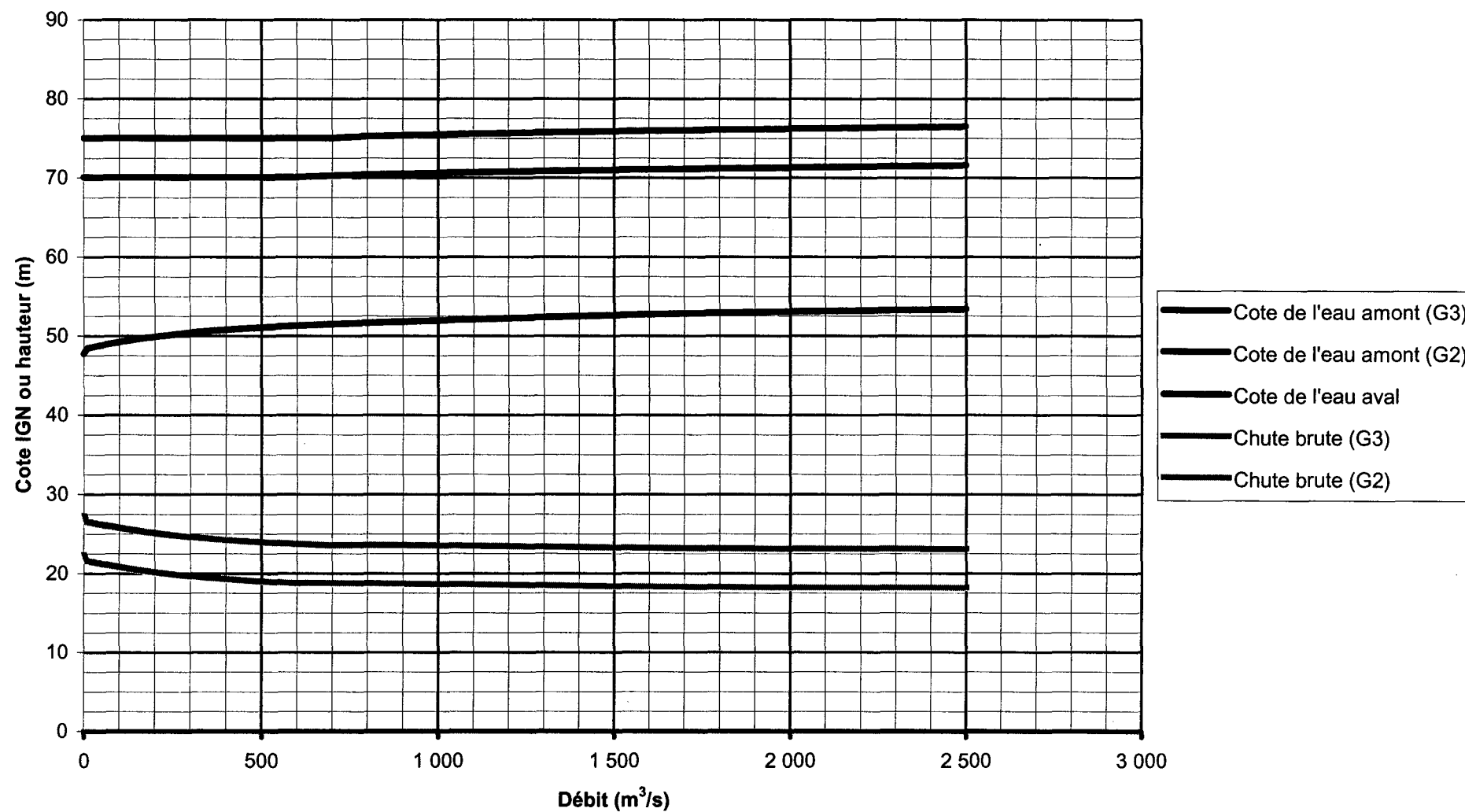
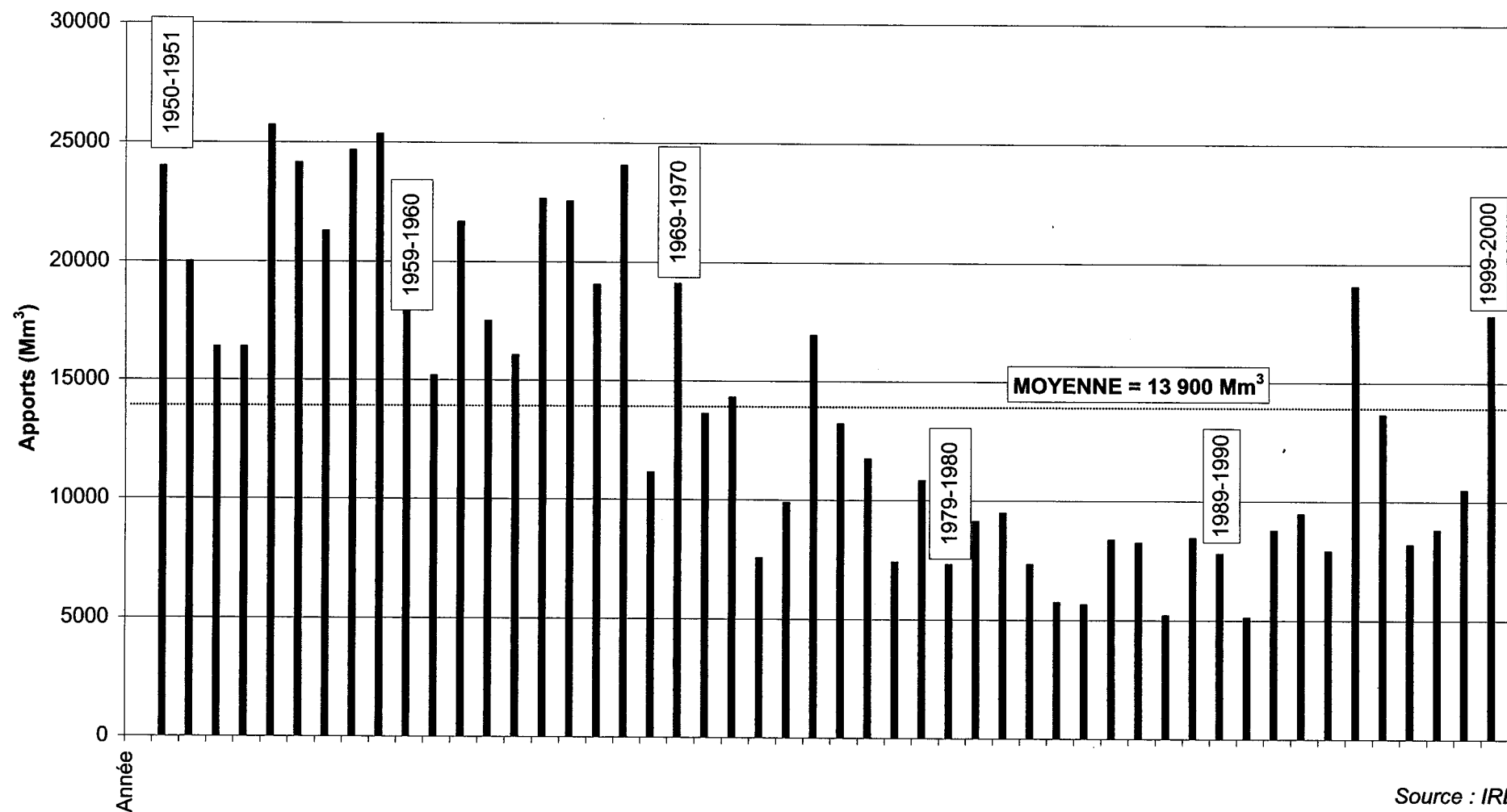


Figure 2.15 : Apports annuels à Kayes sur la période 1950 - 2000
(années hydrologiques de mai à avril)



**Figure 2.16 : Evolution de la concentration mensuelle en M.E.S. à Bakel
en regard des apports mensuels à Kayes. Moyenne sur la période mai 1979 - avril 1984.**

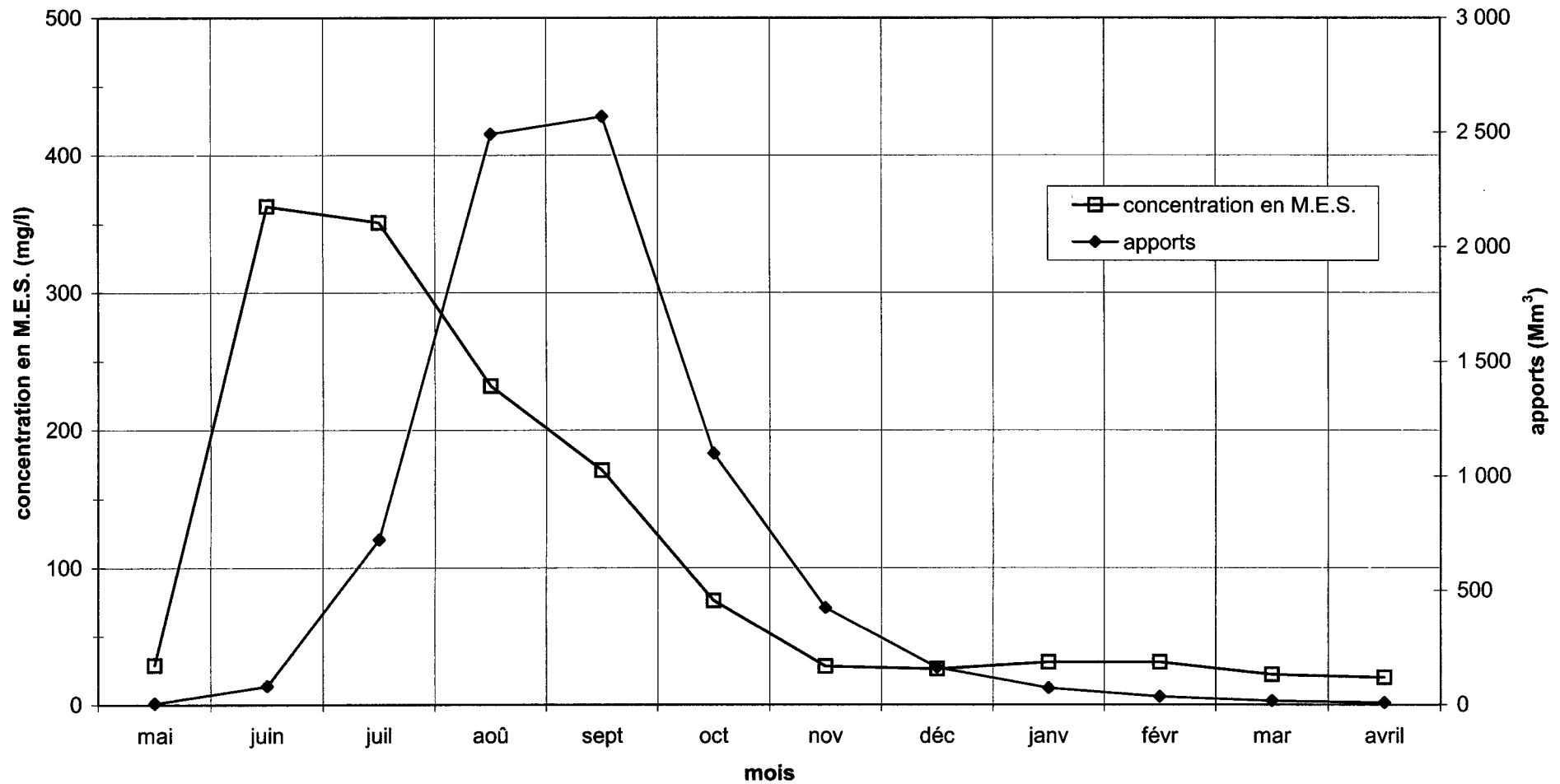


Figure 2.17 : Evolution de la quantité mensuelle de M.E.S. ayant transité à Bakel en regard des apports mensuels à Kayes. Moyenne sur la période mai 1979 - avril 1984.

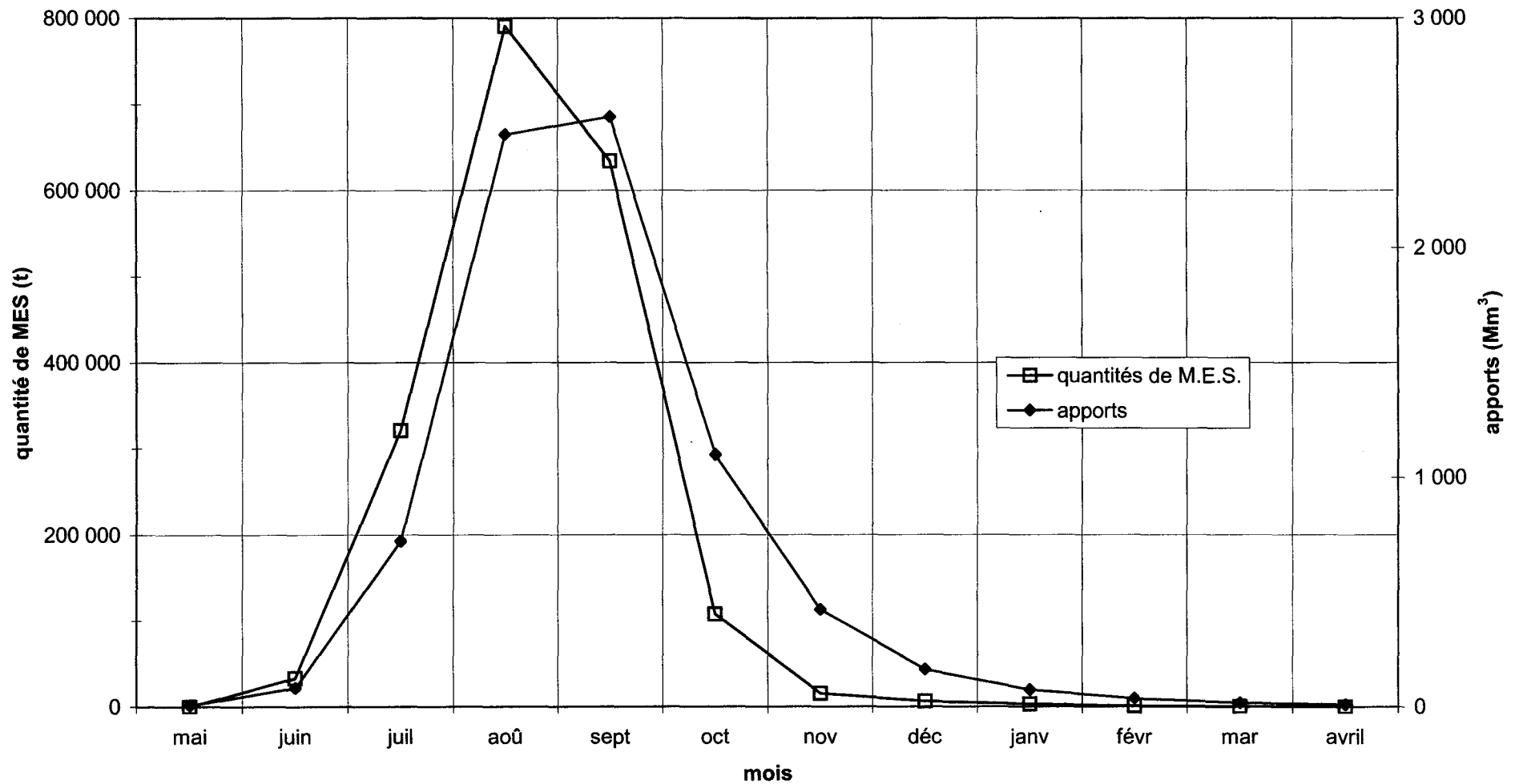


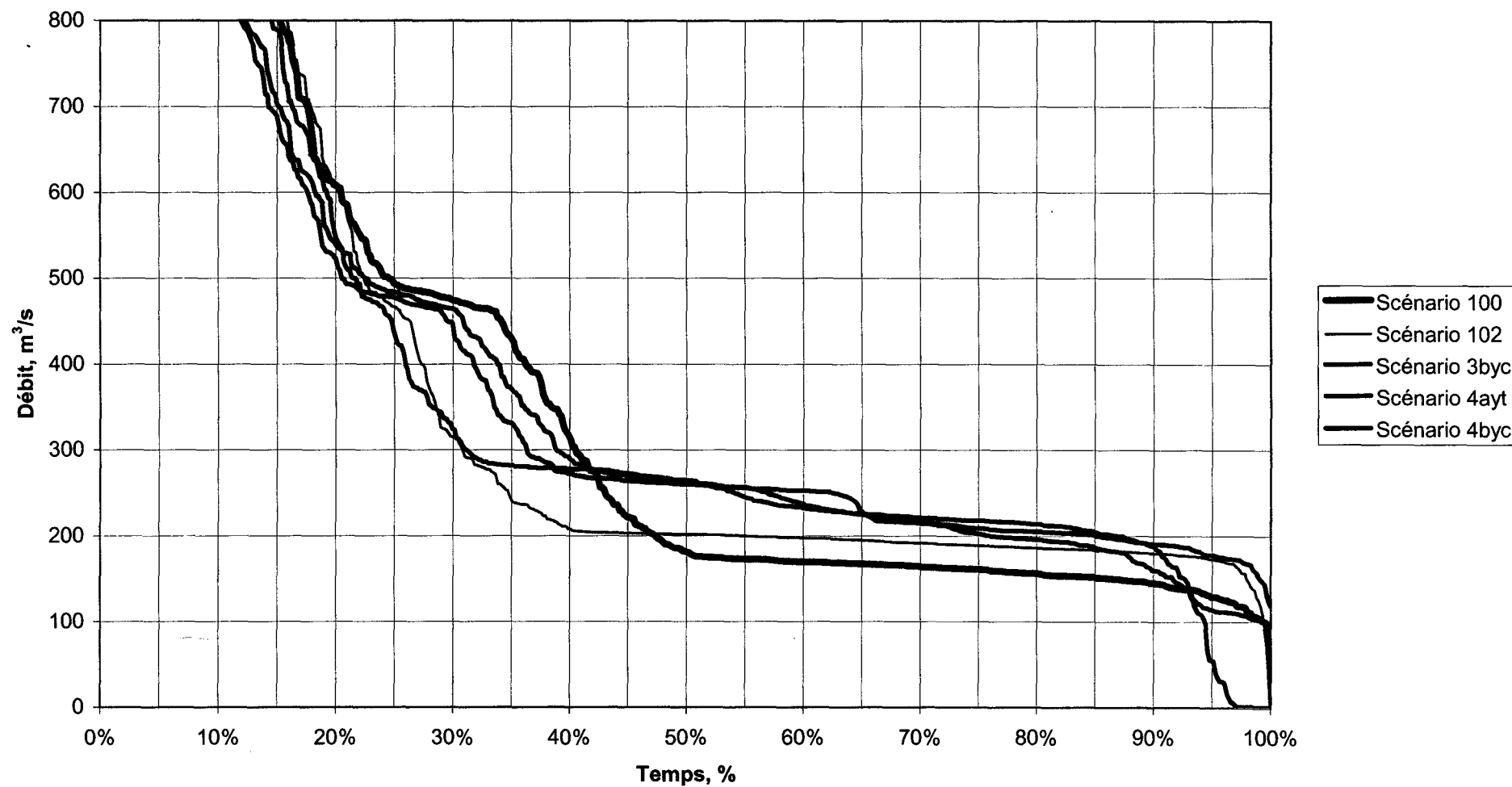
Fig. 5.1 - Gouina : Courbe des débits classés (zoom sur la plage de débits de 100 à 800 m³/s)

Figure 5.2a - Variante G2 : Courbes des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement
(suivant mode de gestion de Manantali : scénarios 100 et 102)

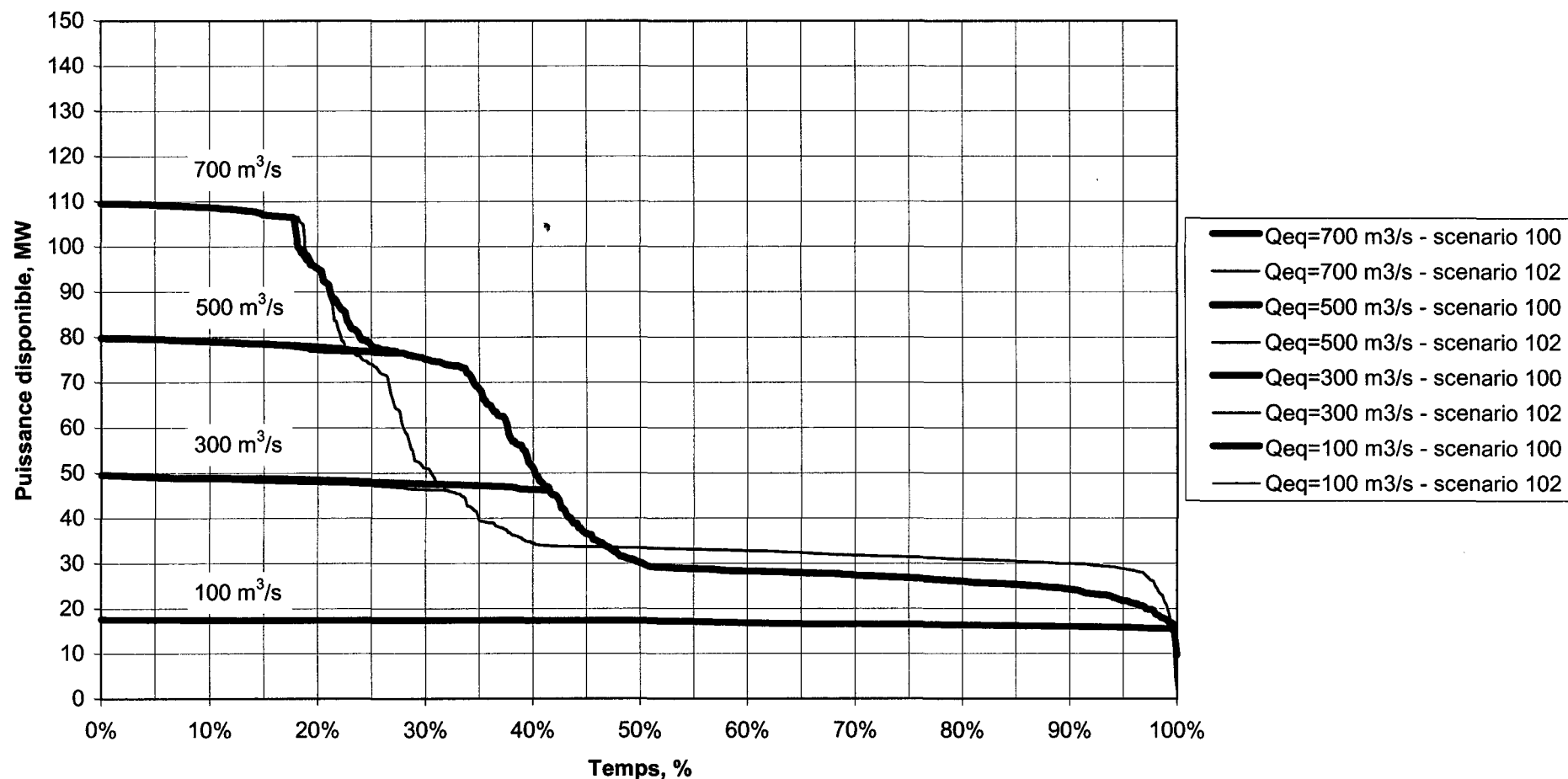


Figure 5.2b - Variante G3 : Courbes des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement
(suivant mode de gestion de Manantali : scénarios 100 et 102)

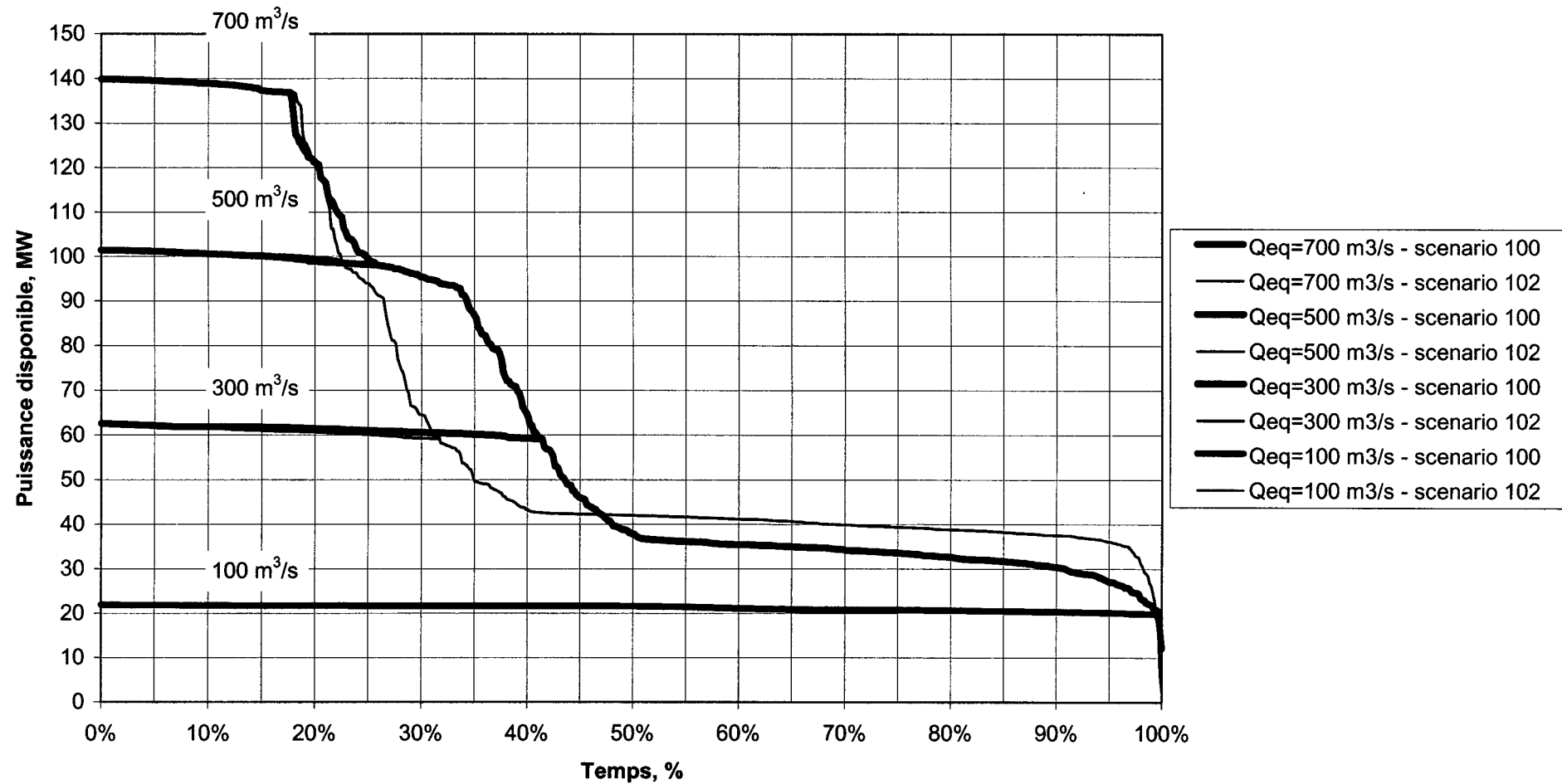


Figure 5.3a - Variante G2 : Courbes des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement
(suivant mode de gestion de Manantali : scénarios 3byc, 4ayt et 4byc)

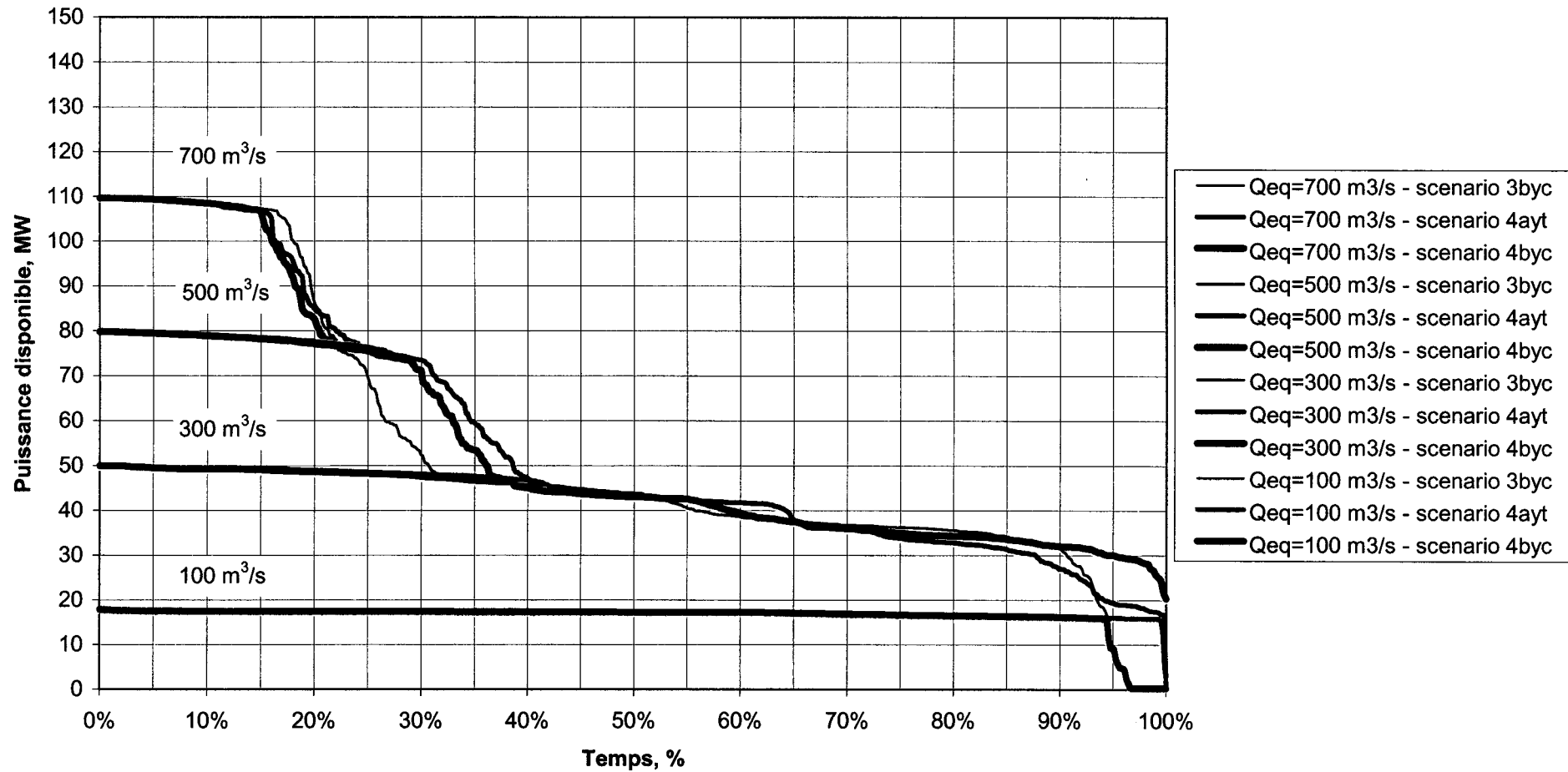


Figure 5.3b - Variante G3 : Courbes des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement
(suivant mode de gestion de Manantali : scénarios 3byc, 4ayt et 4byc)

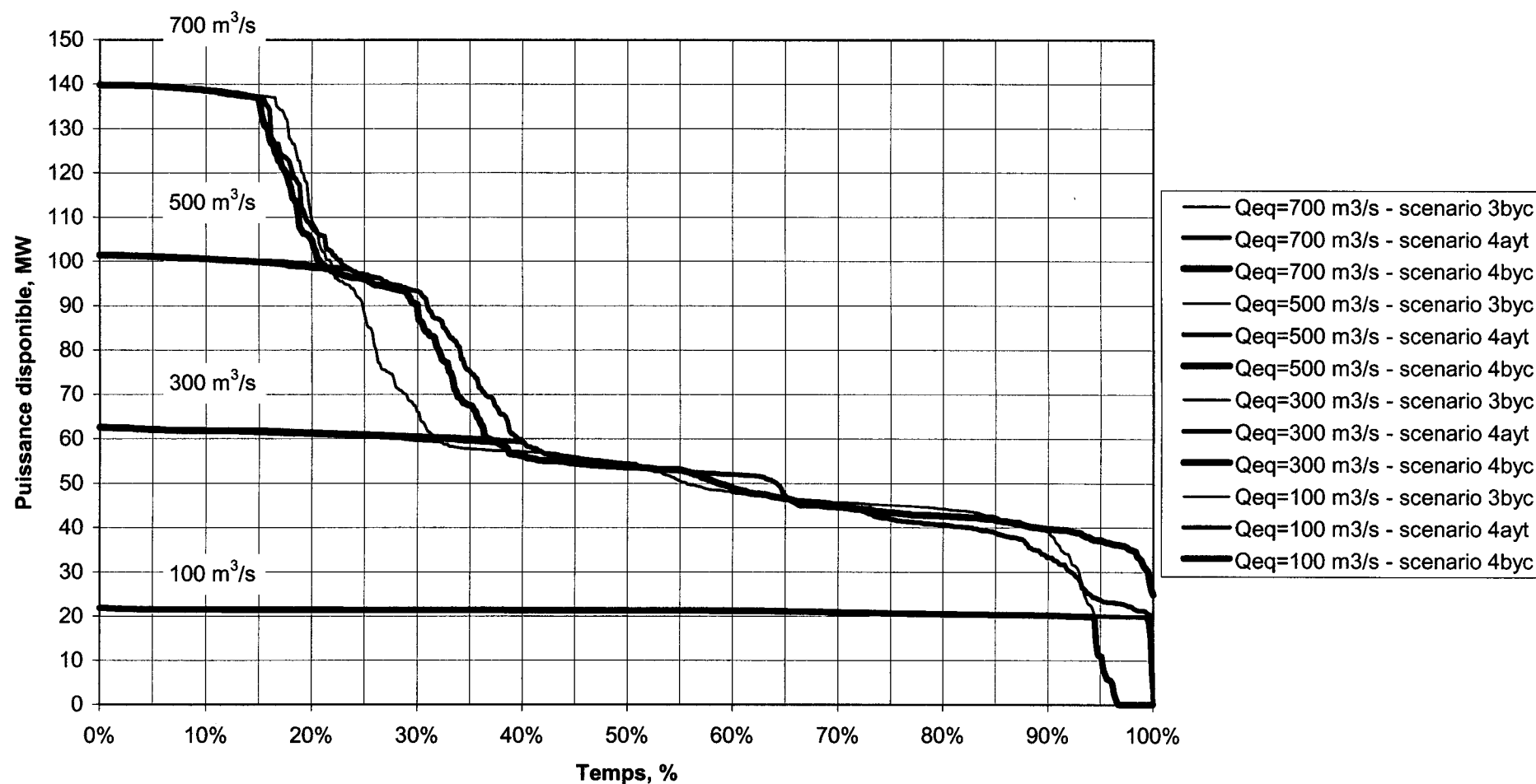


Figure 5.4a - Variante G2 : Energie moyenne en fonction du débit d'équipement
(avec sensibilité au mode de gestion de Manantali)

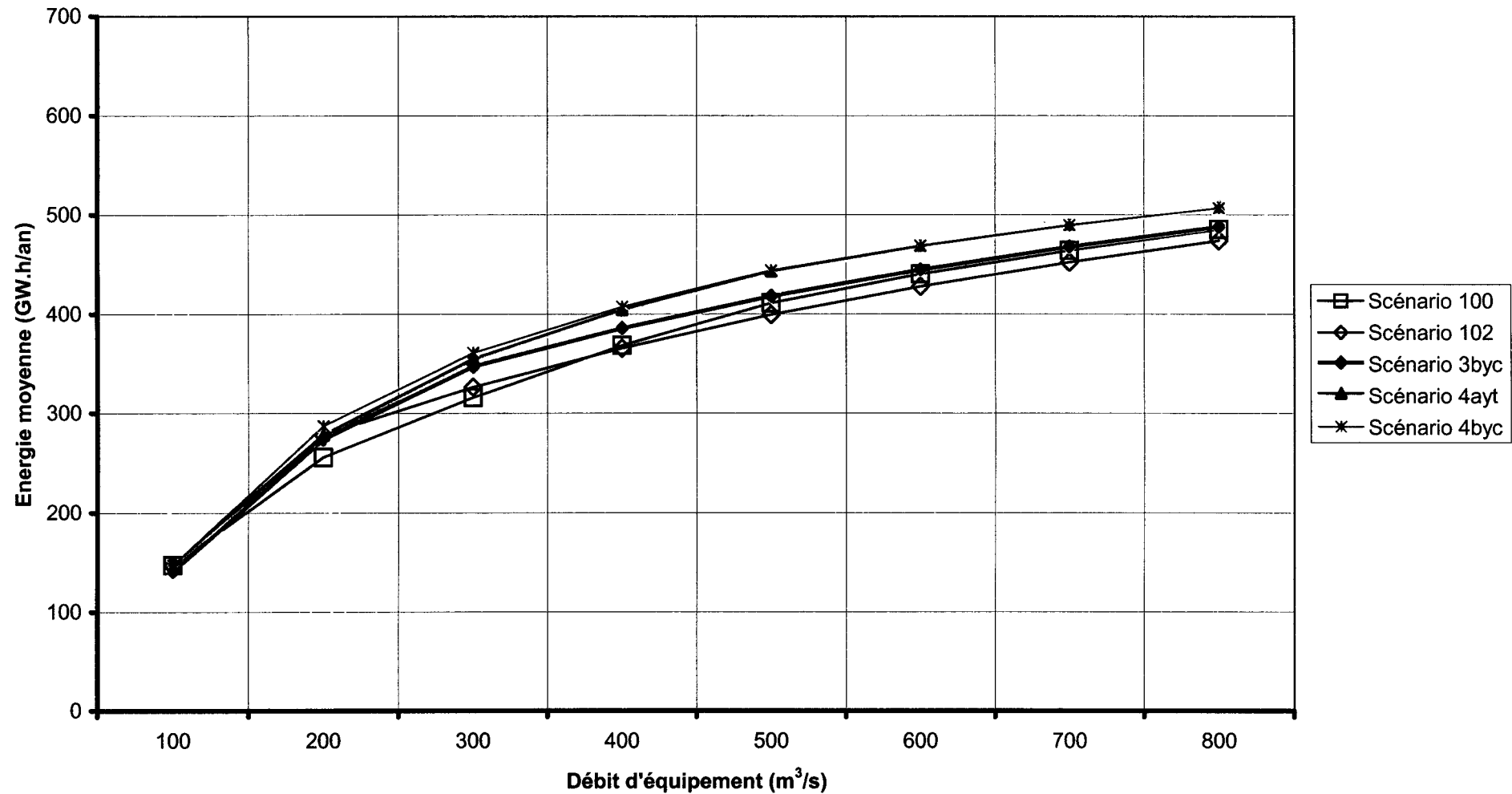


Figure 5.4b - Variante G3 : Energie moyenne en fonction du débit d'équipement
(avec sensibilité au mode de gestion de Manantali)

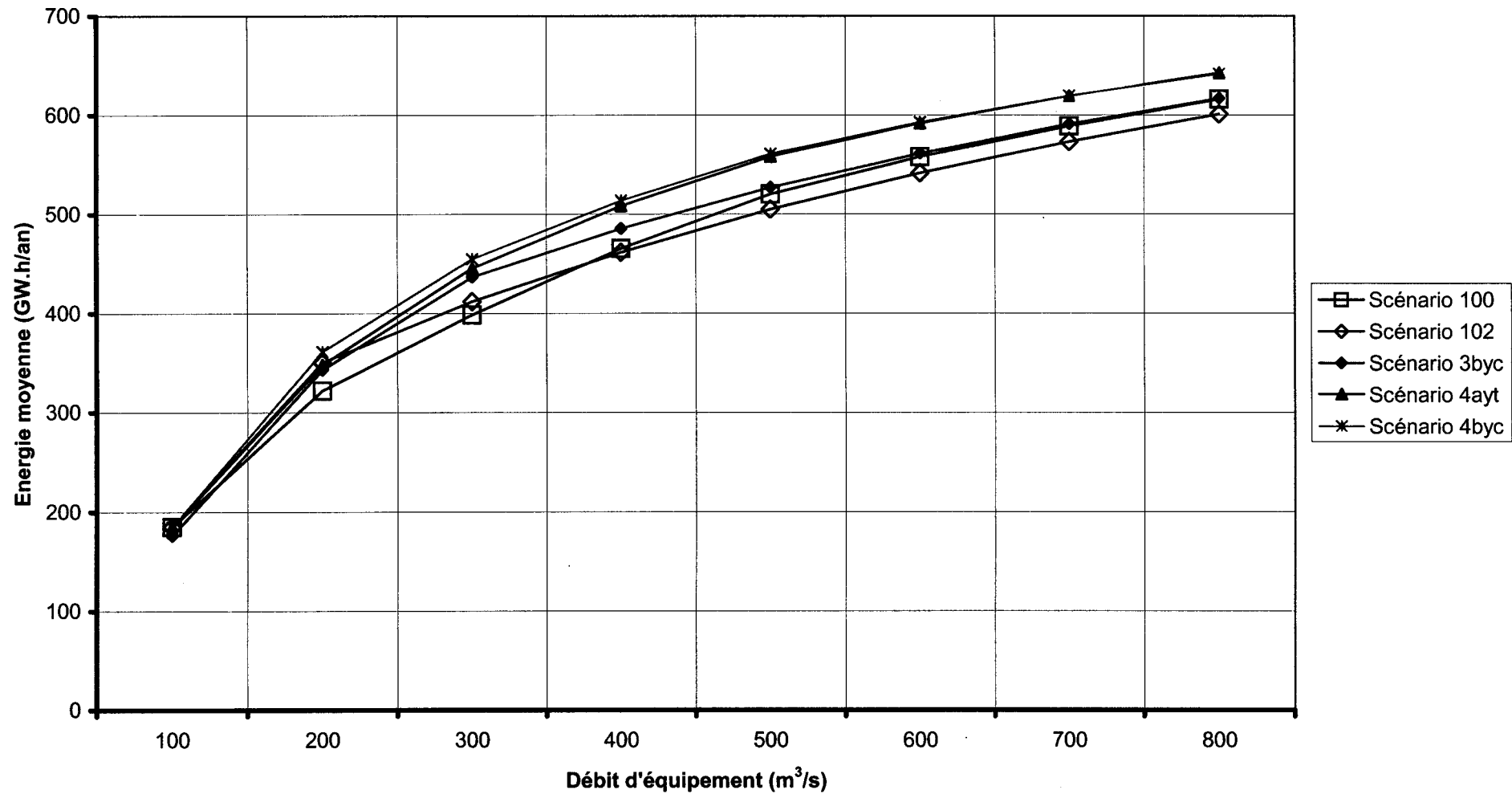


Figure 5.5a - Variante G2 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 100

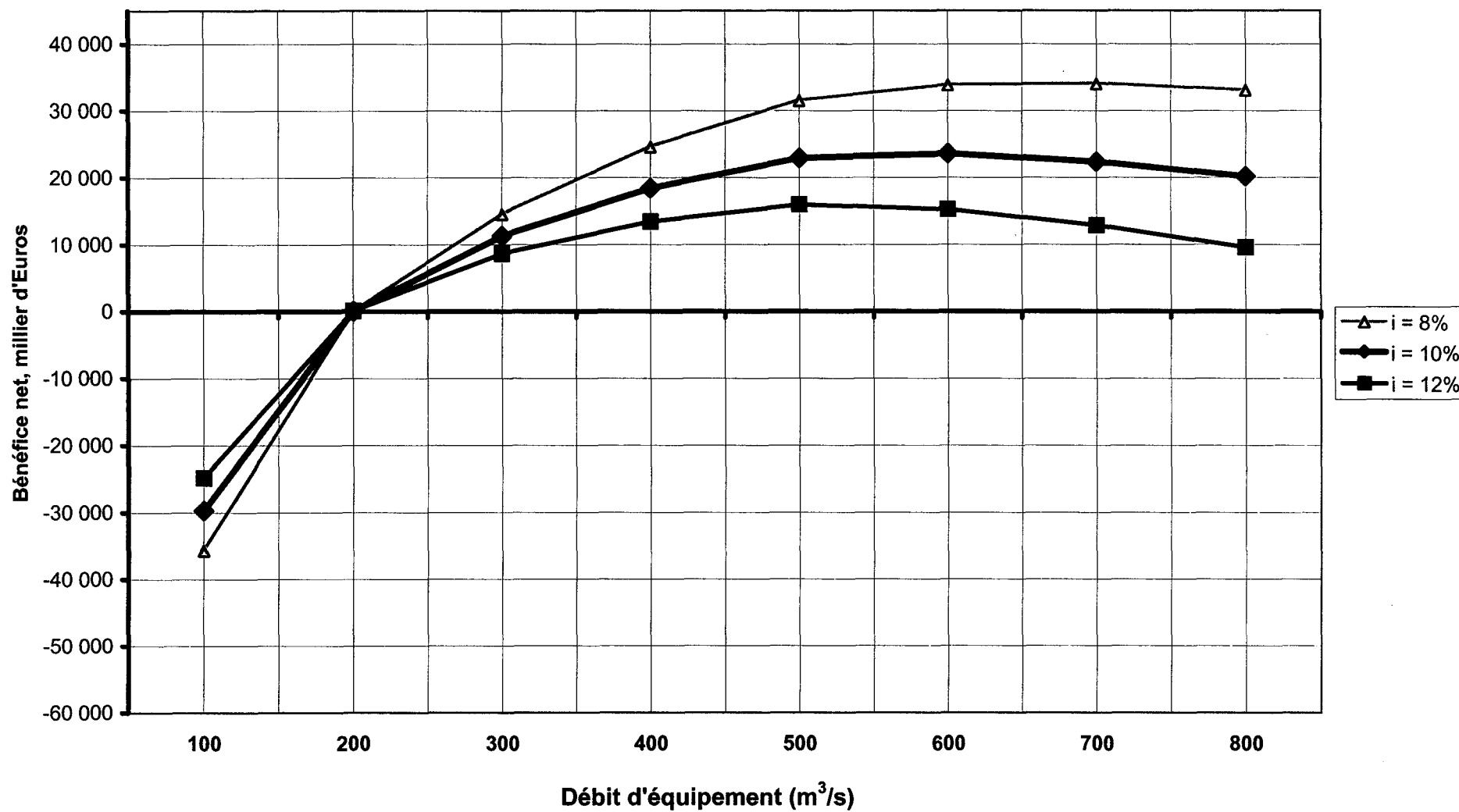


Figure 5.5b - Variante G3 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 100

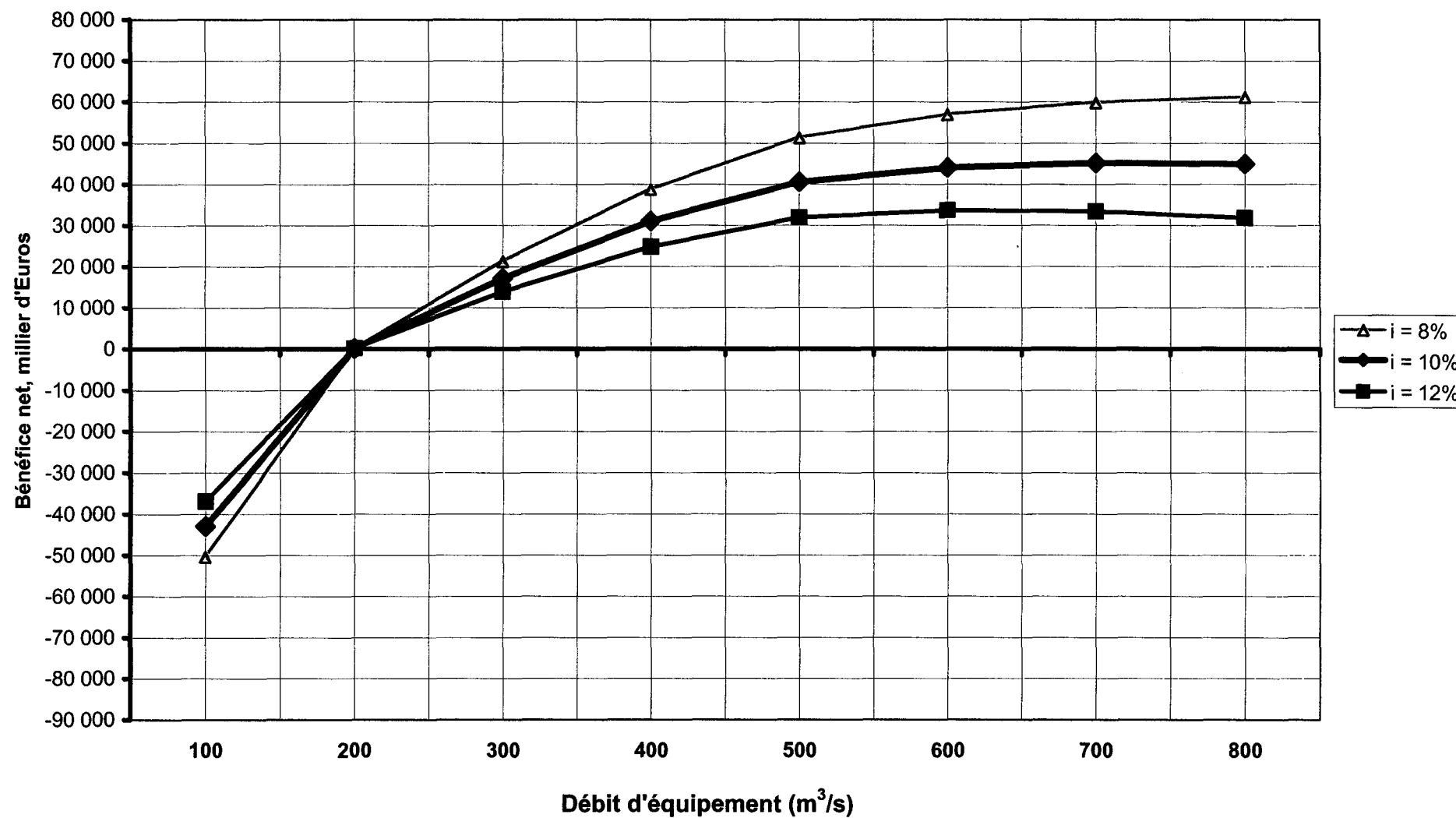


Figure 5.6a - Variante G2 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 102

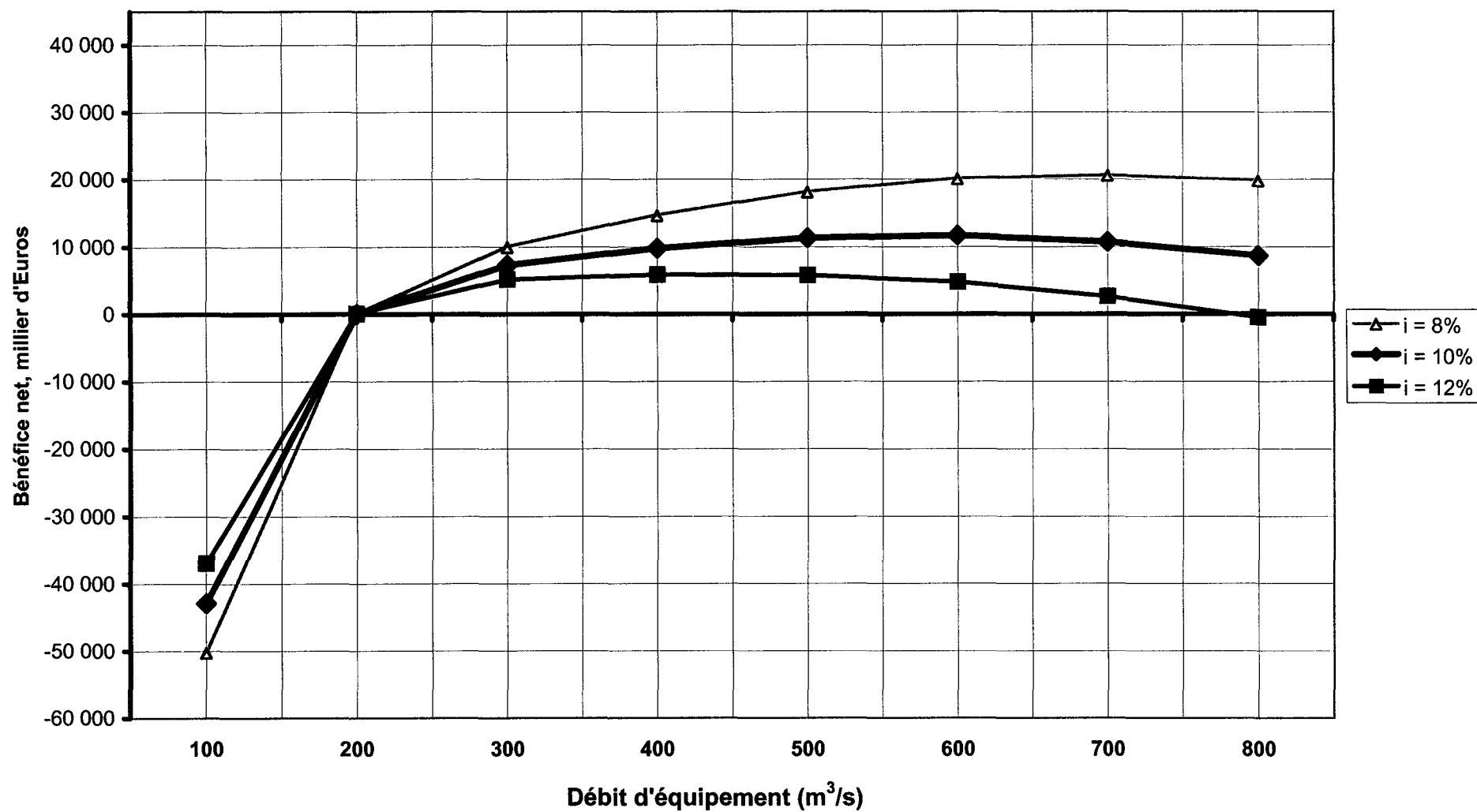


Figure 5.6b - Variante G3 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 102

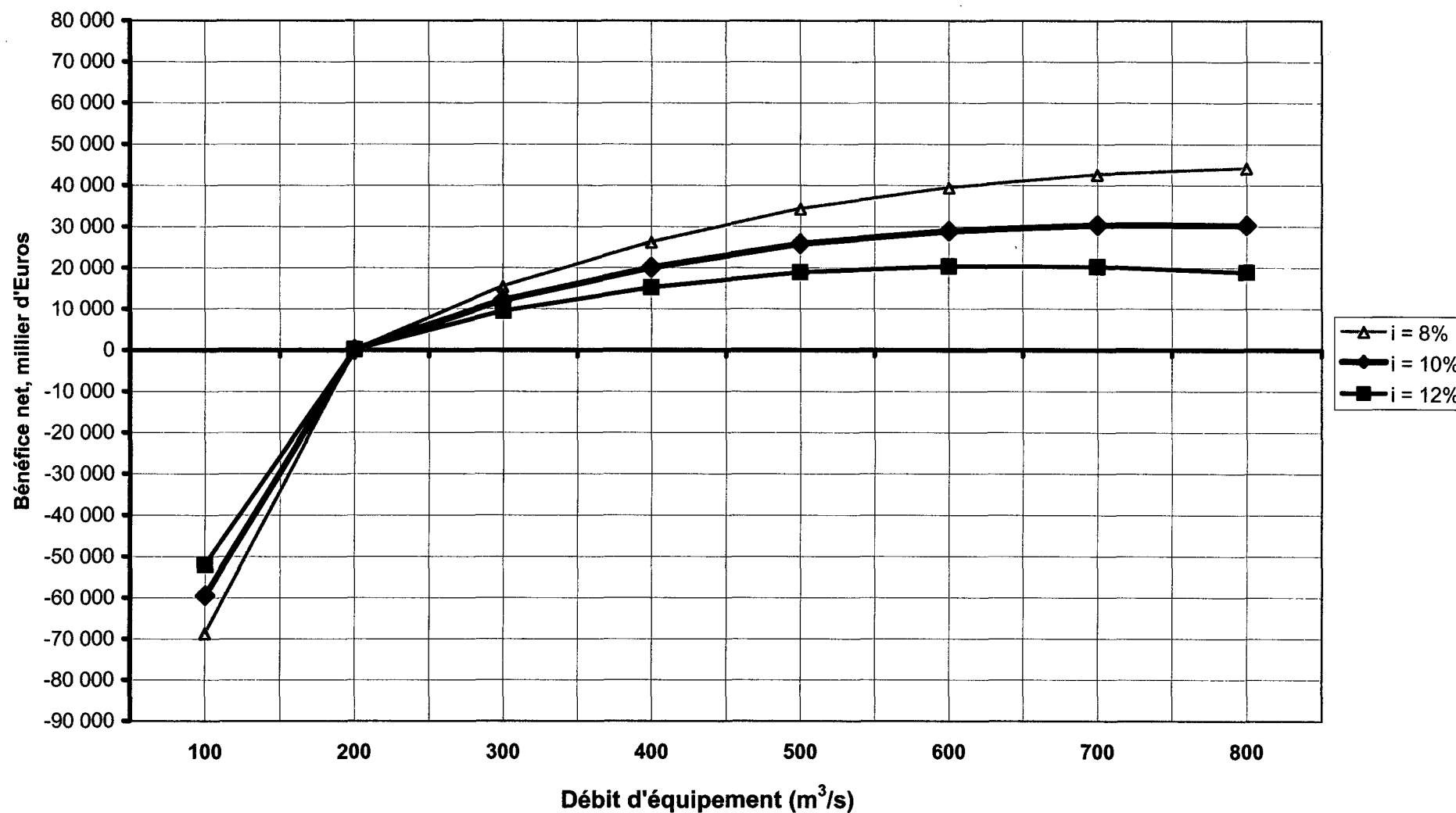


Figure 5.7a - Variante G2 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 3byc

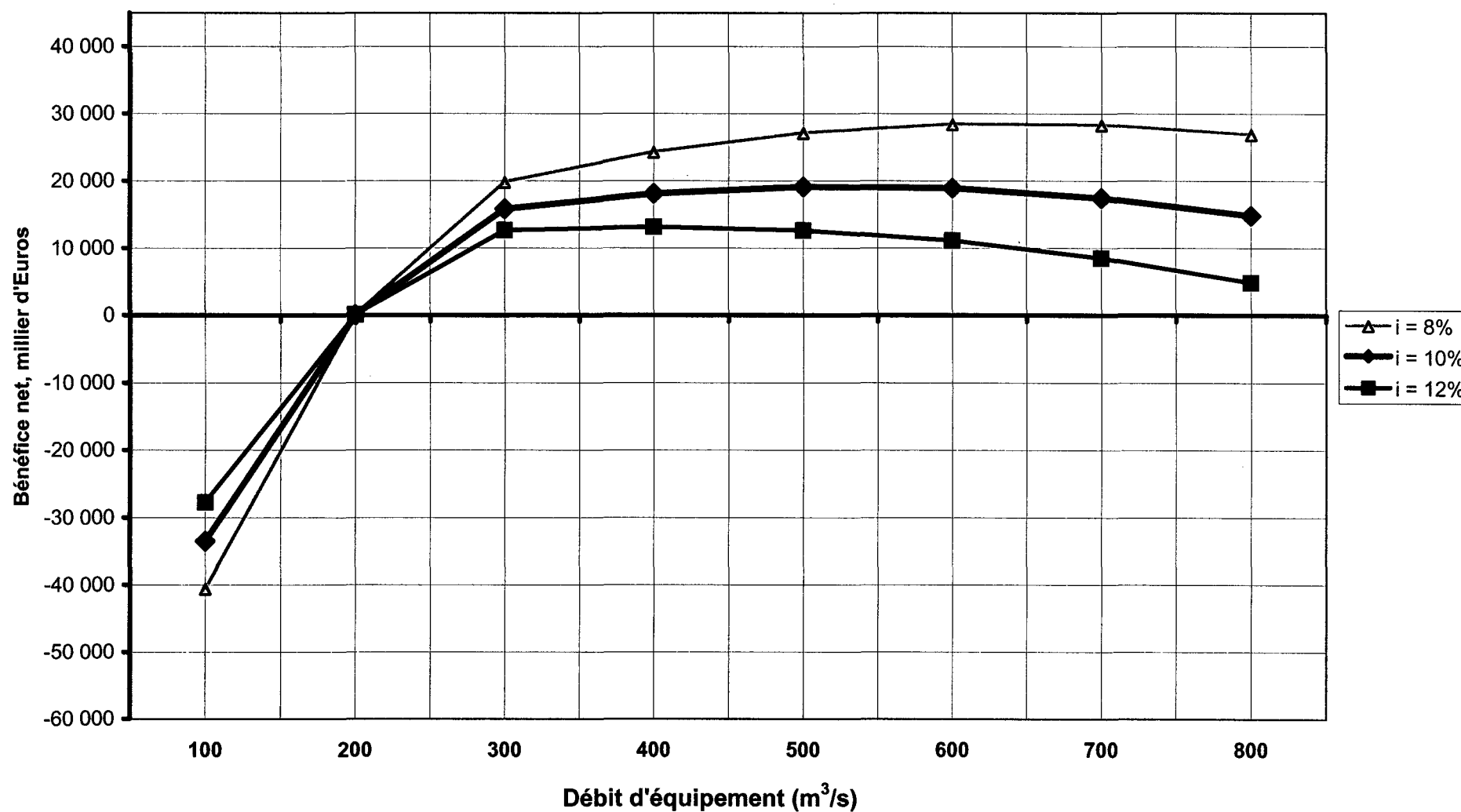


Figure 5.7b - Variante G3 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 3byc

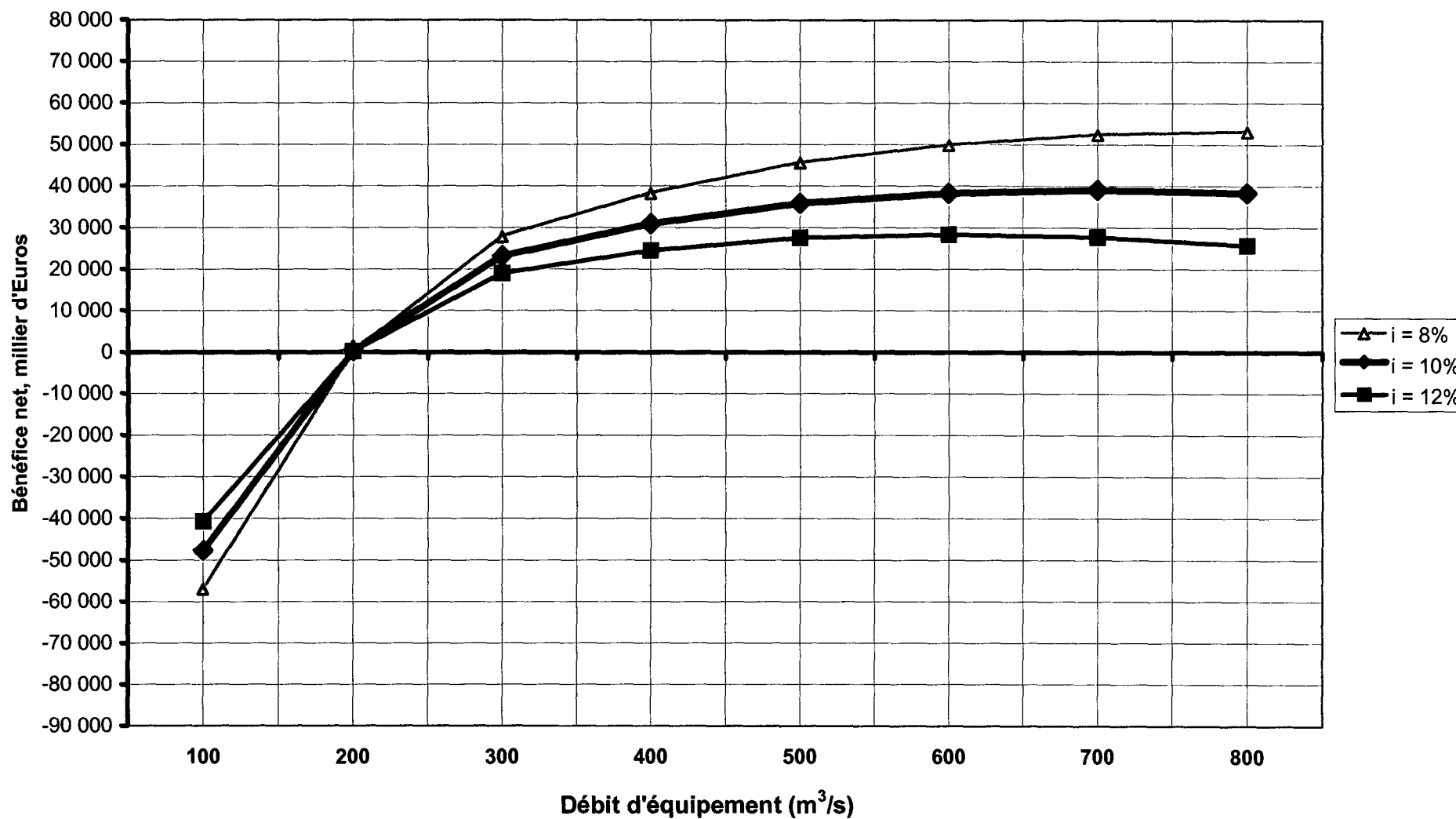


Figure 5.8a - Variante G2 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 4ayt

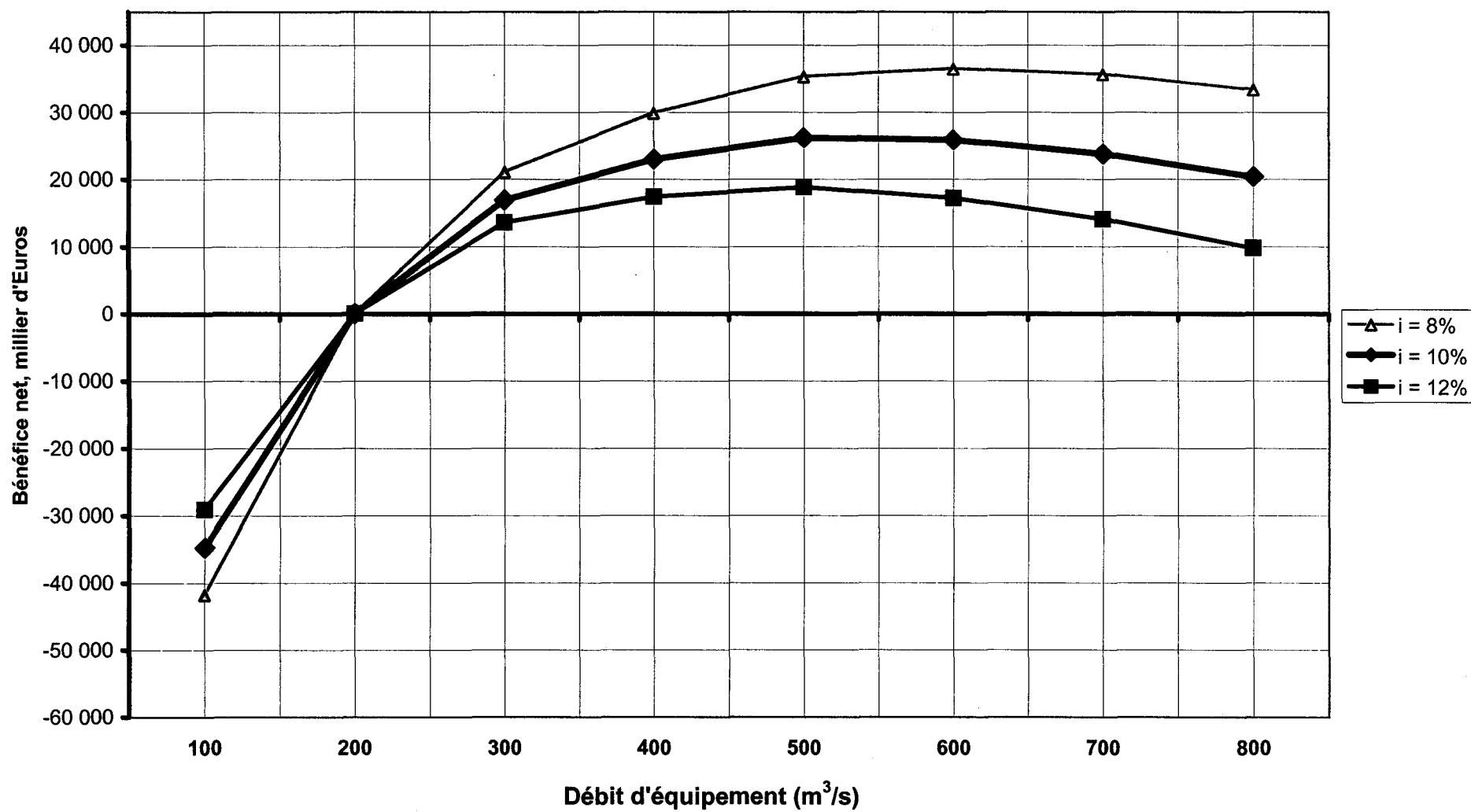


Figure 5.8b - Variante G3 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 4ayt

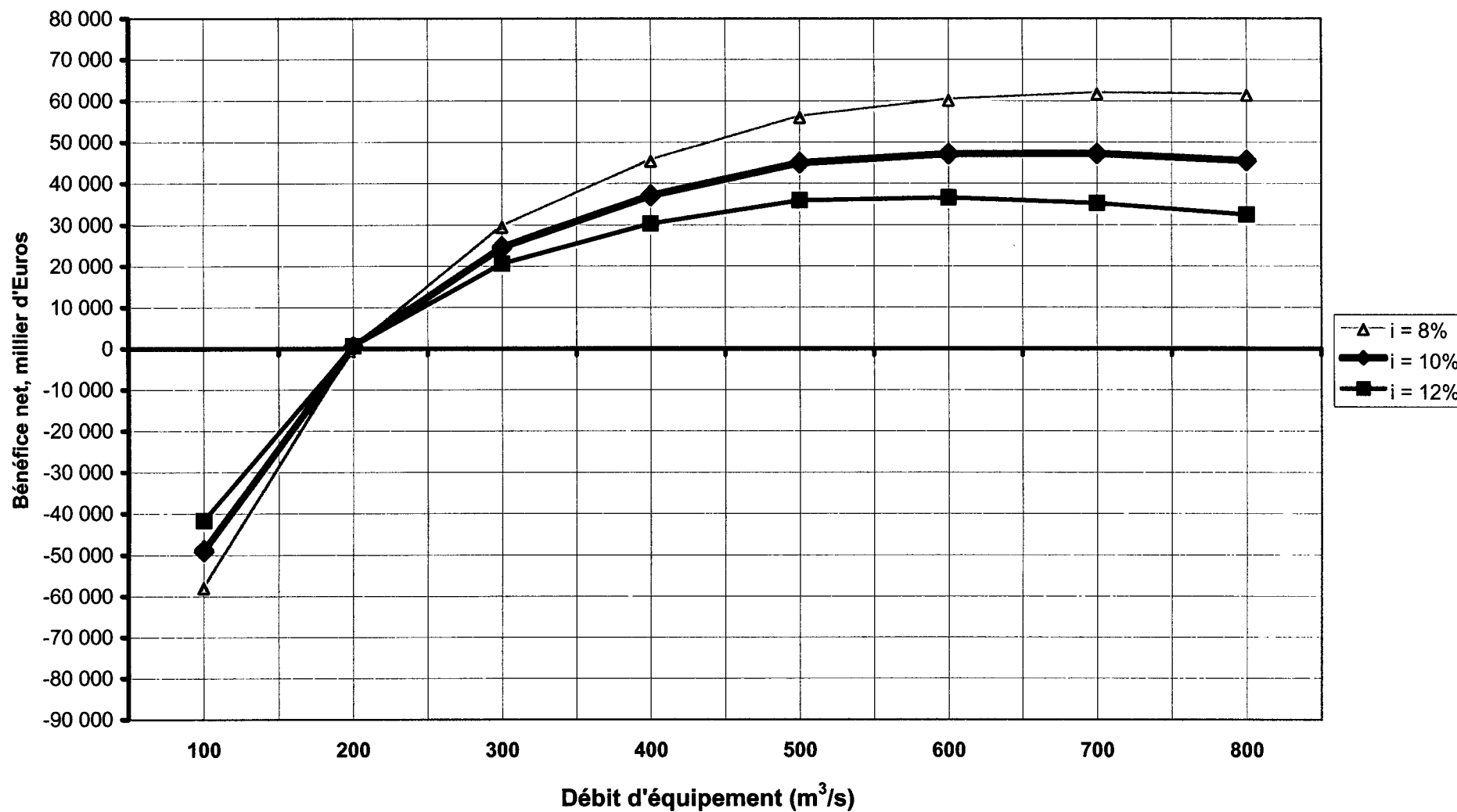


Figure 5.9a - Variante G2 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 4byc

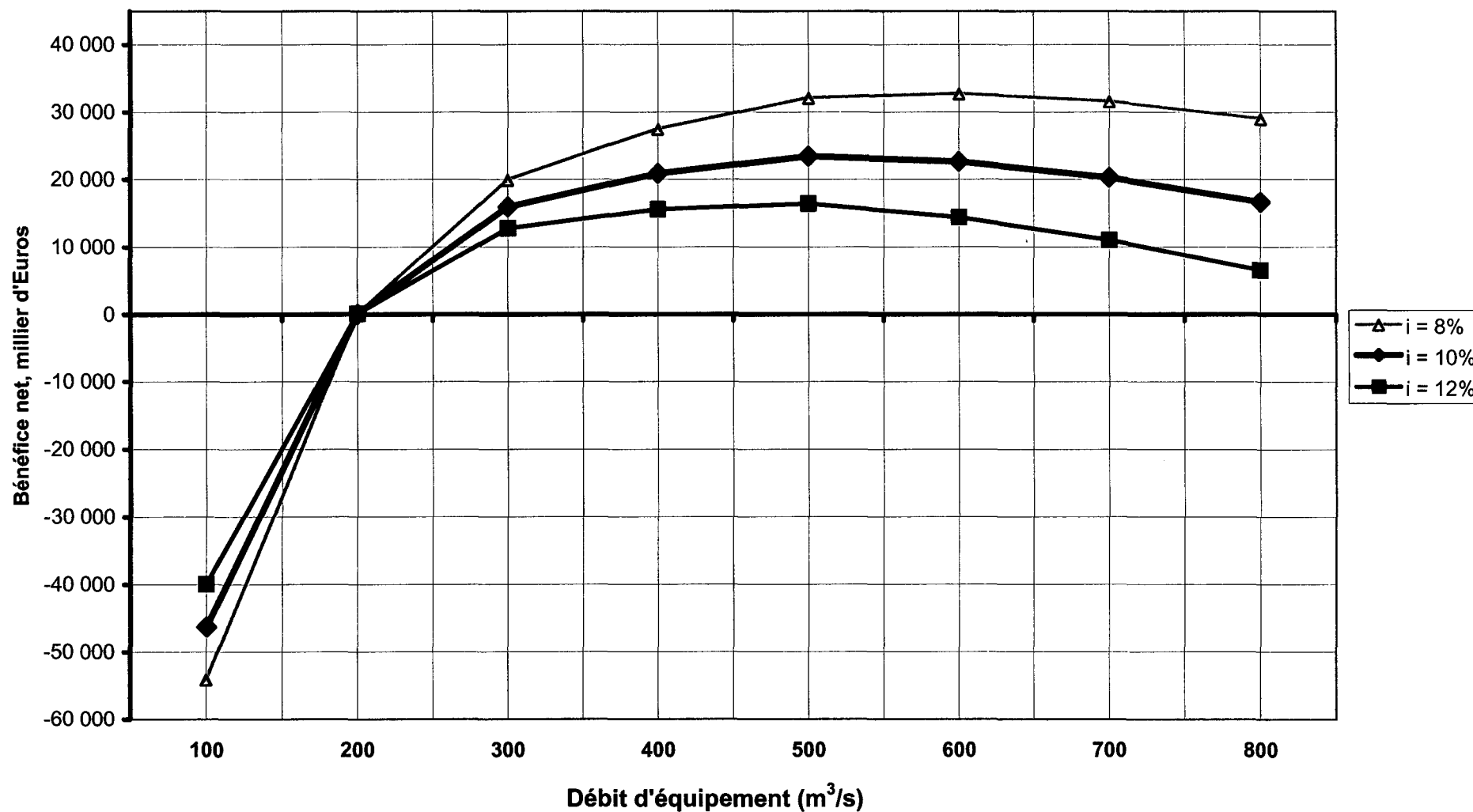


Figure 5.9b - Variante G3 :
Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 4byc

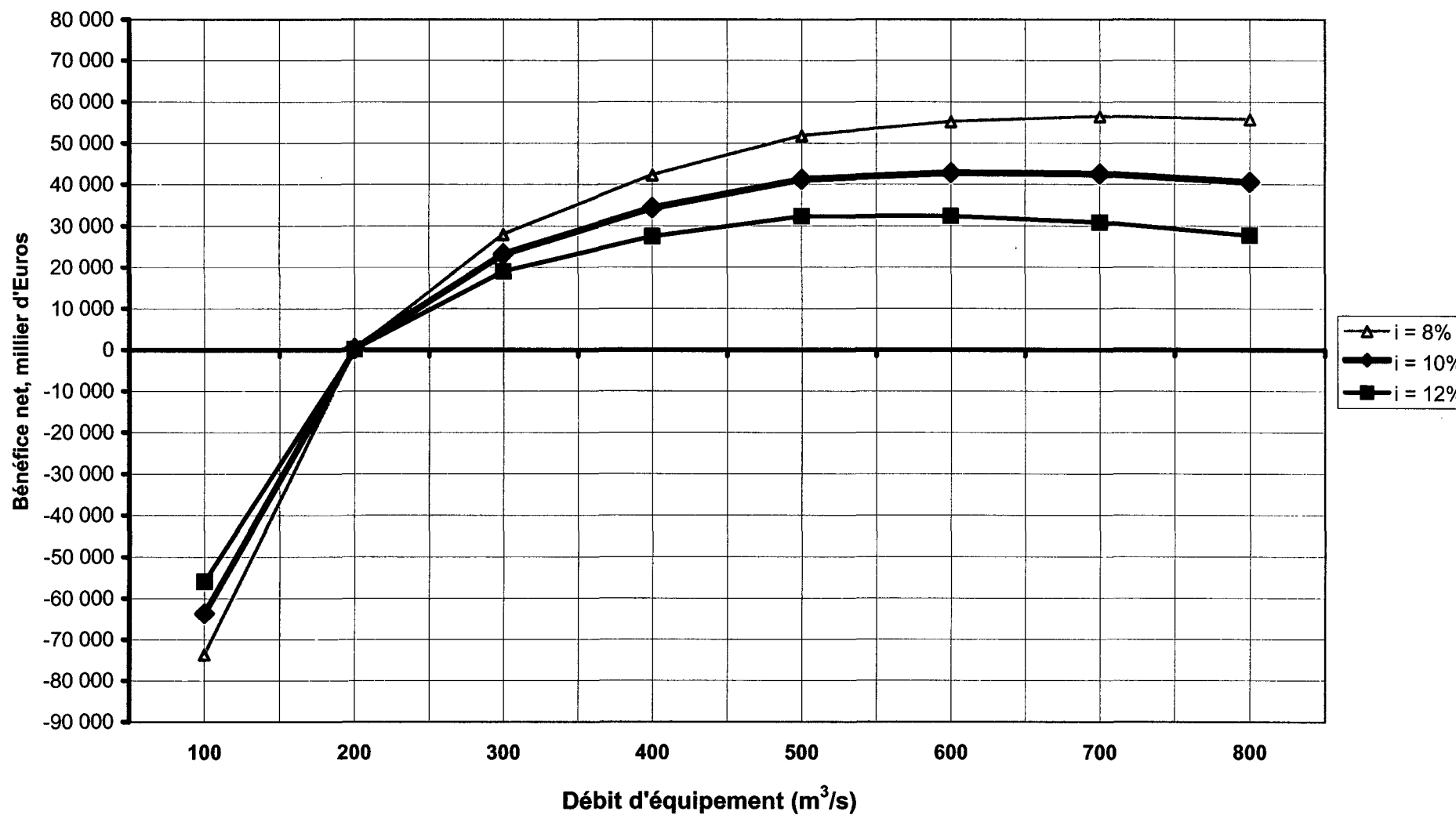


Figure 5.10a - Variante G2 ($z_{\text{seuil}} = 70,0$) :
Comparaison des coûts et capacités de production

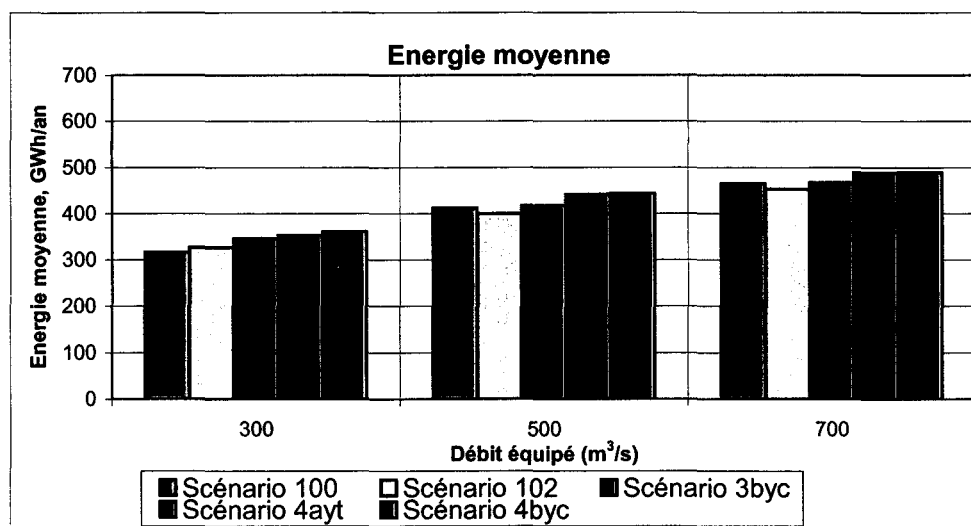
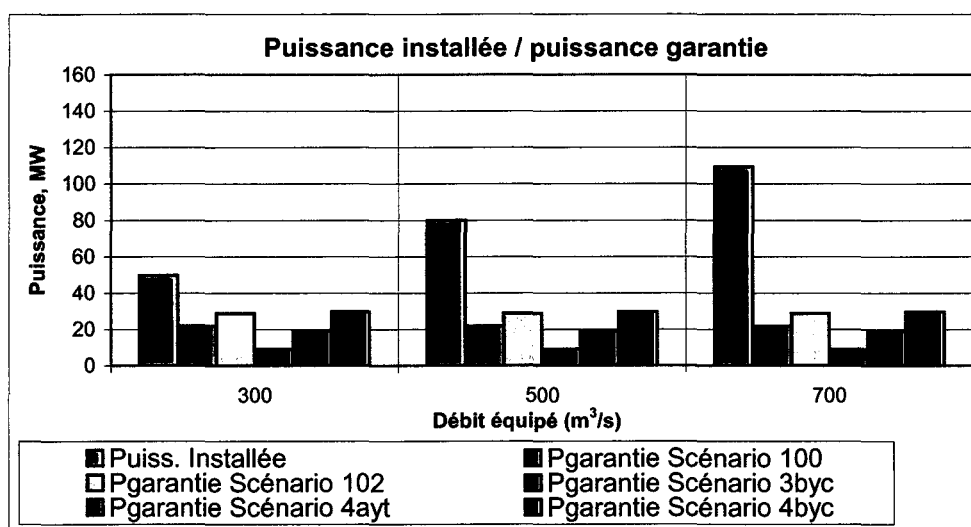
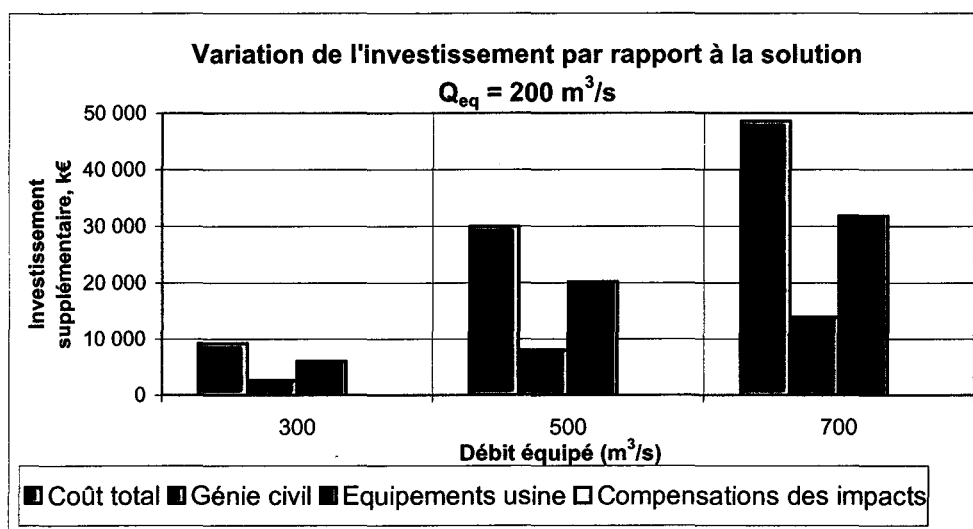


Figure 5.10b - Variante G3 ($z_{\text{seuil}} = 75,0$) :
Comparaison des coûts et capacités de production

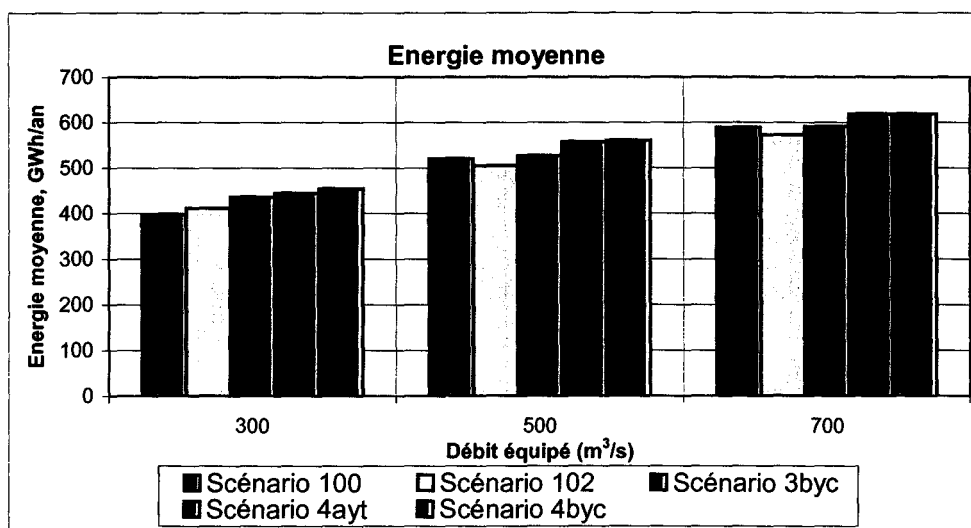
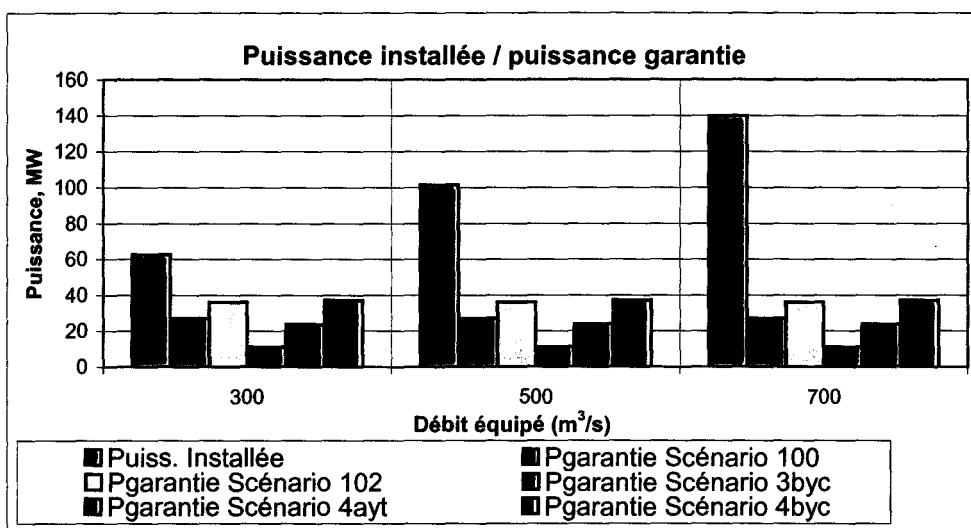
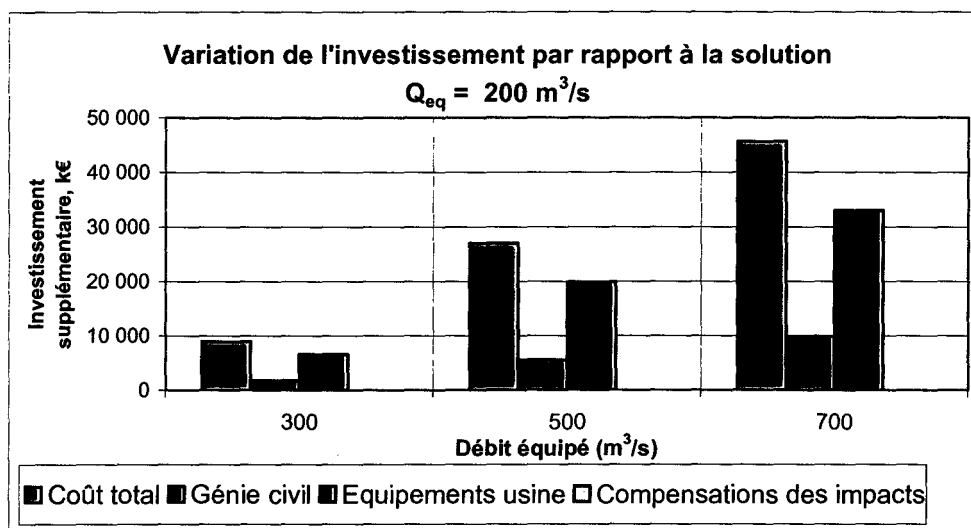


Figure 6.1a - Programme de construction, variante G2

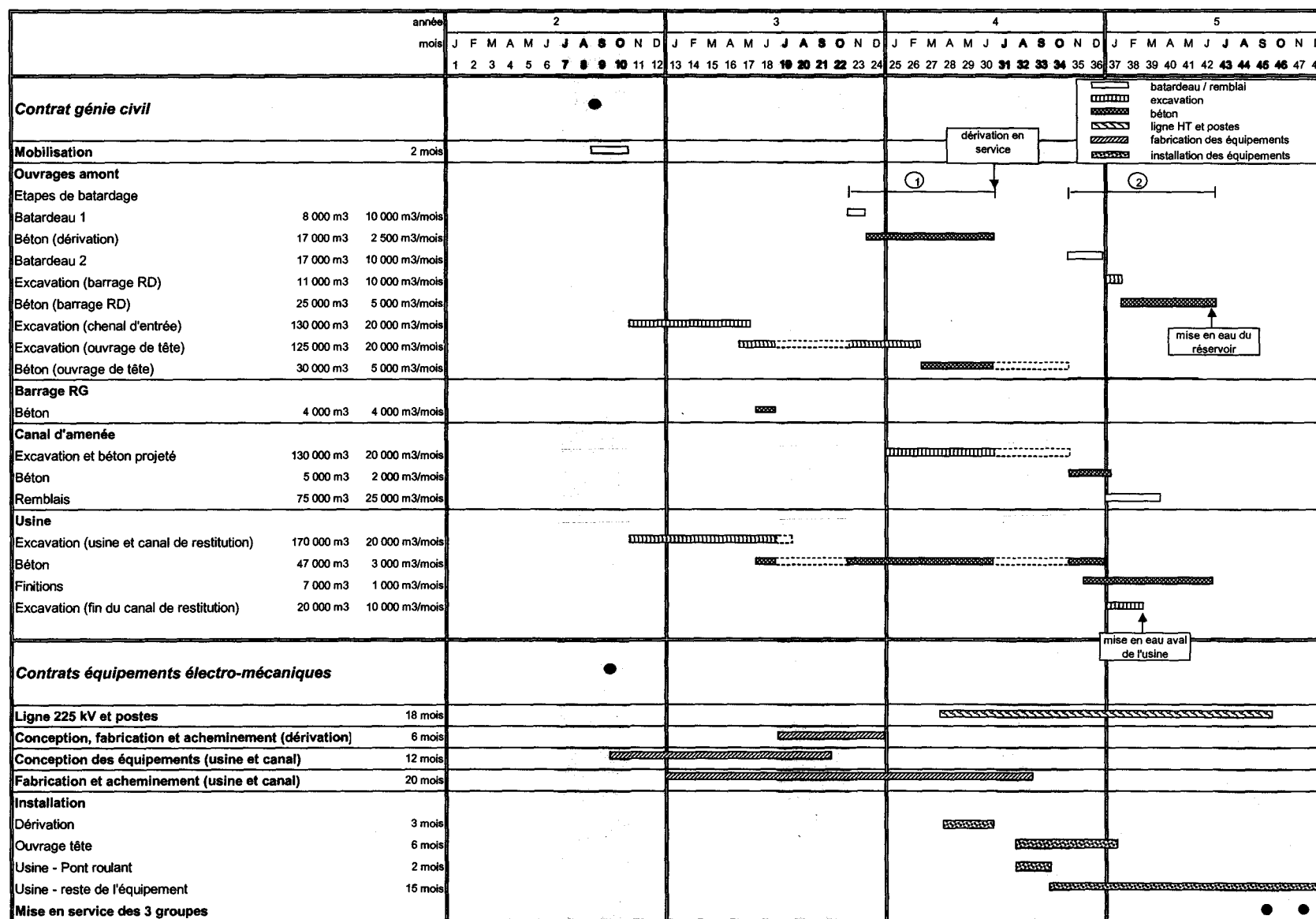


Figure 6.1b - Programme de construction, variante G3

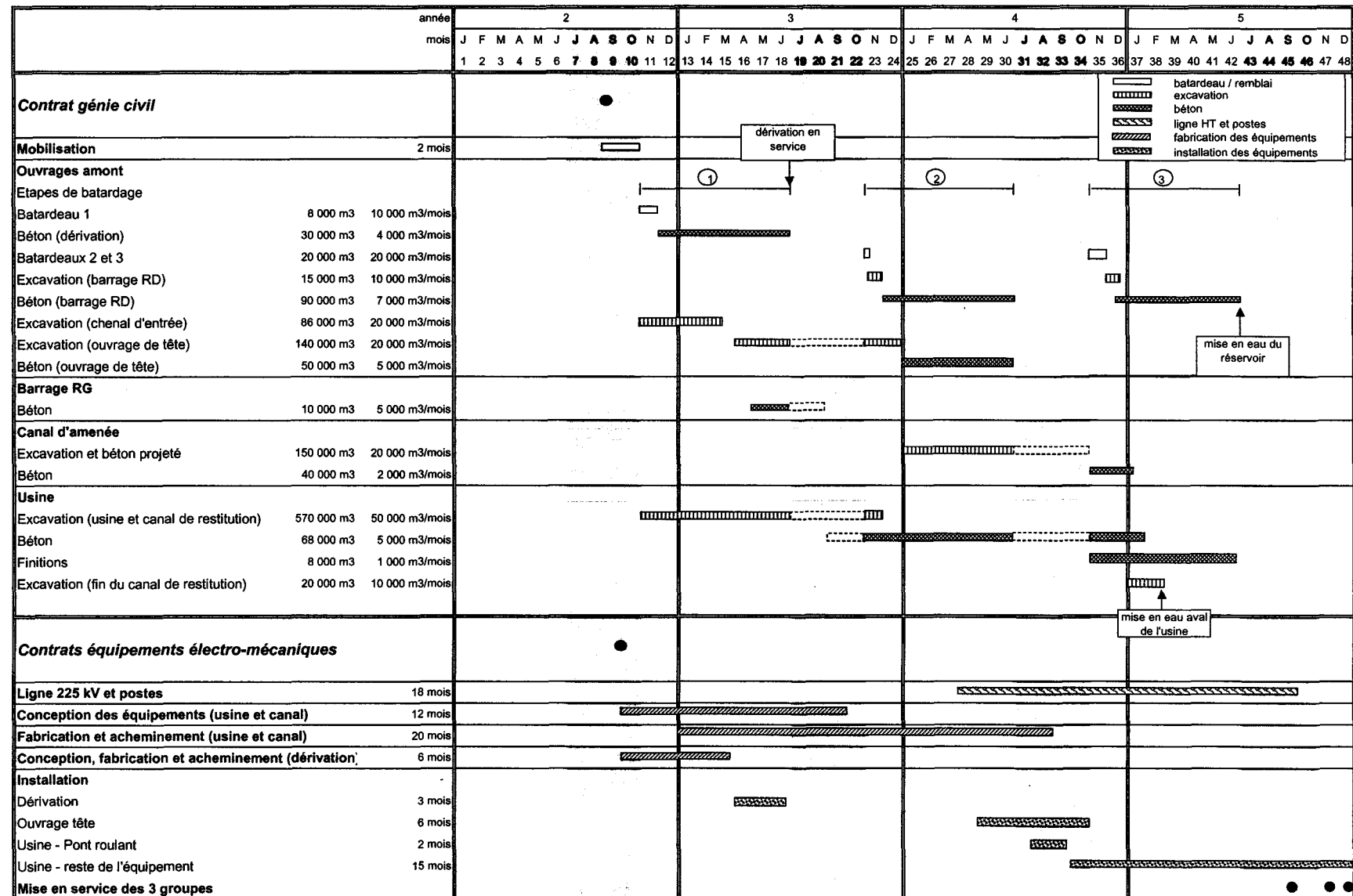
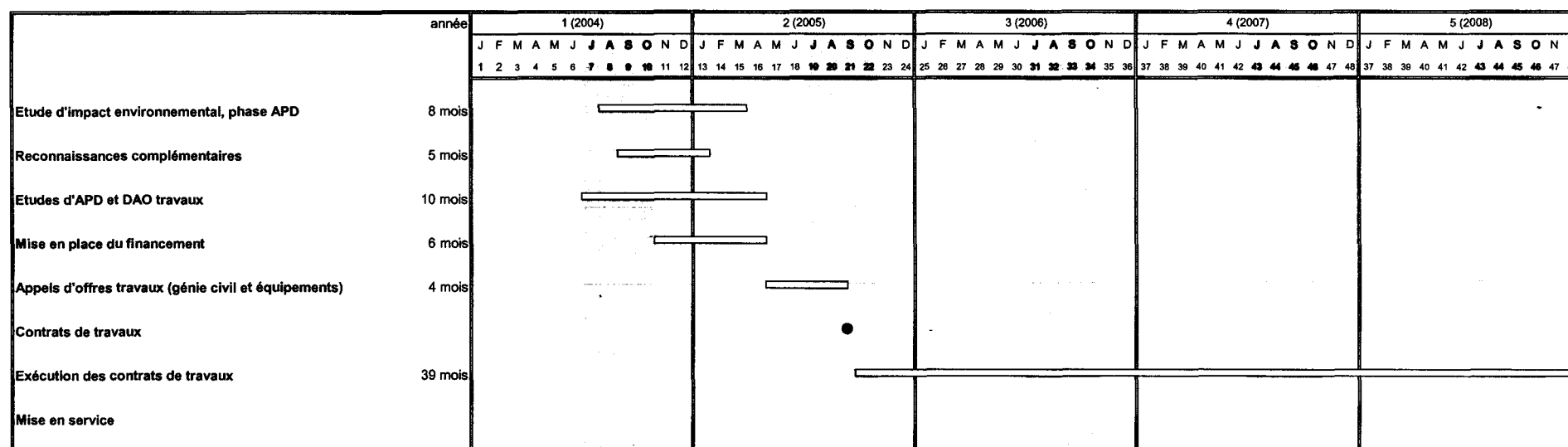


Figure 6.2 - Programme de réalisation possible dans le cadre d'un financement conventionnel avec consultation pour les travaux (variantes G2 et G3)



3.2.3. Ouvrage de tête

L'ouvrage de tête est destiné à entonner le débit du fleuve vers le canal d'amenée, et à arrêter les débris volumineux susceptibles d'être charriés par le fleuve (pirogues, animaux, arbres, etc.).

Cet ouvrage est représenté sur les plans GO-205 à GO-208 pour les variantes G2 et G3.

L'ouvrage de tête est équipé d'éléments de grille grossière d'espacement métrique. Le dégagement et l'évacuation des débris qui seront arrêtés par les grilles seront effectués à l'aide d'un grappin et d'un wagonnet sur rails.

La surface totale des grilles est suffisante pour limiter la vitesse de l'eau à travers les grilles à 2 m/s pour le débit d'équipement sous le niveau de la retenue normale calé à 70 pour la variante G2 (resp. 75 pour la variante G3). Le pied des grilles est à la cote 67 (resp. 72).

L'ouvrage de tête est prolongé à l'amont par un chenal arasé à la cote 67 (resp. 72).

Des rangées de rainures à batardeau sont placées de part et d'autre de l'ouvrage de manière à permettre l'assèchement de l'ouvrage de tête ou du canal d'amenée pour inspection ou entretien. De plus, pour faciliter les opérations d'entretien de l'ouvrage de tête sans arrêter l'usine, une cloison centrale relie les deux rangées de batardeaux et permet ainsi un assèchement de l'ouvrage par moitié.

La structure supportant les batardeaux aval est couplée à un pont enjambant le canal, de largeur 7 mètres, qui servira de plate-forme de manœuvre pour la mise en place ou la dépose des batardeaux, ainsi que de voie d'accès au chantier du barrage (voir § 6.1. – phasage des travaux).

La largeur mouillée diminue d'amont en aval de 2 x 62,4 m (resp. 2 x 71,6 m) à 2 x 19 m (resp. 2 x 24,5 m), pendant que la cote du radier s'approfondit de 67 (resp. 72) en pied de grilles à 60 (resp. 65), avec une pente de 5 %. De cette manière, la section mouillée, et donc également la vitesse de l'écoulement, est quasiment constante tout au long de l'ouvrage.

Les parements verticaux de l'ouvrage de tête sont prévus revêtus de béton coffré.

Les détails de l'ouvrage de tête, comprenant en particulier la géométrie de la ligne de grilles amont et les formes hydrauliques des piles courantes et d'extrémité, devront être revus au stade de l'APD, avec le support d'un modèle hydraulique.

Santé et éducation

L'onchocercose est réputée éradiquée dans la zone, ainsi que la dracunculose (sauf dans des poches). La bilharziose est présente. Le paludisme est endémique. Notons que les deux formes de la bilharziose, mais surtout urinaire, se sont développées autour du réservoir de Manantali. Méningite et rougeole ont un caractère épidémique. Les formations sanitaires couvrant la zone d'étude sont localisées à Diamou et à Bafoulabé. Les plans de développement communaux désignent la zone comme déficitaire en infrastructures sanitaires. Dans la zone d'étude, la commune de Diamou demande la construction d'un dispensaire à Bagouko et d'un autre à Foukara RG.

Le niveau de scolarisation est jugé globalement bas. Toutefois, des écoles sont présentes dans certains villages de la zone d'étude (Foukara RG : 3 classes ; Dipari : 2 classes communautaires ; Talari : 2 classes ; Karamokobougou : 2 classes). Le dispositif d'éducation primaire est complété par des centres d'alphabétisation en nombre peu élevé.

Hydraulique villageoise

L'eau de boisson est généralement fournie par des forages équipés de pompes manuelles dont une partie est hors service, ou par des puits busés à grand diamètre. Leur nombre est cependant limité (13 forages et 4 puits à grand diamètre pour les 24 villages de la commune de Diamou). L'alimentation est complétée par des puits traditionnels et, en cas de besoin, la population recourt à l'eau du fleuve, qualifiée de "bonne qualité". Les affections diarrhéiques sont toutefois répandues. Certains villages (Batassou) ne disposent que de l'eau du fleuve, qui est seulement décantée en saison des pluies, avant consommation..

2.4.3.4. Les facteurs économiques

L'activité villageoise est dominée par les activités agro-pastorales et reste traditionnelle, orientée vers l'agriculture pluviale, la pêche, l'élevage familial et la cueillette, incluant la petite chasse de subsistance.

Agriculture

Elle est orientée principalement vers les céréales (mil, sorgho, maïs). La culture de riz pluvial, avec une faible productivité, est pratiquée par les femmes lorsque la présence de bas-fonds le permet. La riziculture est faite actuellement sans aménagements. La zone d'étude n'est pas une zone cotonnière bien que le cercle de Bafoulabé inclue des sites de production. Les zones cultivées en mode pluvial n'occupent qu'une partie limitée des terroirs (5 % pour les villages de la commune de Diamou), avec une jachère de 5 ans (zone des Foukara). Cela expliquerait que les responsables villageois consultés dans la commune de Bafoulabé ont mentionné la disponibilité de surfaces agricoles suffisantes pour des villages éventuellement déplacés de la commune de Diamou.

5.4. Evaluation économique préliminaire

L'analyse économique et financière du projet fait l'objet de la phase 2 de l'étude. Cette analyse détaillée se fait en modélisant le fonctionnement du système de production de l'ensemble du système interconnecté Mauritanie – Mali – Sénégal, et la façon dont l'usine de Gouina pourrait s'insérer dans le système. Elle est réalisée dans les deux hypothèses "avec Gouina" et "sans Gouina". La différence de coût global actualisé de production entre les deux stratégies représente alors le bénéfice net actualisé du projet.

En anticipation de l'étude économique et financière de la phase 2 de l'étude, les résultats provisoires suivants sont obtenus :

	variante G2	variante G3
coût total de réalisation par kW installé :	1 380 euros/kW	1 300 euros/kW
dont coût direct de construction :	940 euros/kW	900 euros/kW
prix de revient moyen du kWh : (suivant mode de gestion de Manantali)	entre 0,039 et 0,042 euros/kWh (soit de 26 à 28 FCFA/kWh)	entre 0,040 et 0,044 euros/kWh (soit de 26 à 29 FCFA/kWh)

Nota : ces prix de revient moyens du kWh résultent d'un calcul économique sommaire identique à celui effectué pour le projet de Félou en fin de rapport de phase 1, c'est-à-dire en considérant une durée de vie économique de l'aménagement limitée à 20 ans et un taux d'actualisation de 10 %. En adoptant une durée de vie de 35 ans, plus réaliste pour un aménagement hydro-électrique, les prix de revient seraient diminués d'environ 10 %.

Ces chiffres montrent que l'aménagement de Gouina est économiquement très attractif en raison du faible prix de revient de l'énergie produite.

La phase 2 de l'étude présente une évaluation plus précise de l'intérêt économique et financier du projet.

6. PROGRAMME DE REALISATION

6.1. Programme de construction et phasage des travaux

Le programme de construction est présenté sur la figure 6.1a pour la variante G2 et sur la figure 6.1b pour la variante G3.

La durée de construction pour la variante G3 pourrait être la même que pour la variante G2, moyennant des moyens humains et matériels un peu plus importants du fait du plus grand volume de travaux à réaliser.

6.1.1. *Phasage des travaux à l'amont du canal d'amenée (plans GO-103 et GO-104)*

Un phasage des travaux possible pour les ouvrages amont est présenté sur les plans GO-103 et GO-104 pour les variantes G2 et G3.

Les principes généraux sont les mêmes pour les deux variantes :

1. construction et équipement de la dérivation provisoire en une saison sèche, à l'abri d'un batardeau à la cote 75 ;
2. démontage du batardeau et passage de la crue,
3. construction du barrage rive droite en une saison sèche (variante G2) ou deux saisons sèches (variante G3), à l'abri de batardeaux à la cote 75. Pendant cette phase, tout le débit du fleuve passe par la dérivation provisoire dimensionnée pour 250 m³/s. Dans le cas de la variante G3, le chantier du barrage est interrompu en saison humide et le batardeau démonté pour laisser passer la crue sur une largeur suffisante, sans surélévation excessive du niveau amont,
4. remplissage du réservoir en fin de construction.

Les autres ouvrages amont (ouvrage de tête, barrage rive gauche) sont hors d'eau. Ils ne sont donc pas soumis à des contraintes de planning particulières autres que celles imposées par l'organisation générale du chantier.

6.1.2. Phasage des travaux à l'aval du canal

Tous les travaux aval (usine, canal de restitution) sont réalisés à sec sous la protection d'un merlon de rocher que l'on laissera en place, au niveau de la restitution dans le fleuve. Ce merlon sera excavé sous l'eau en fin de construction, provoquant ainsi la mise en eau aval de l'usine.

6.1.3. Programme de construction (figures 6.1a et 6.1b)

Un programme de construction possible est représenté sur la figure 6.1a pour la variante G2 (figure 6.1b pour la G3).

La durée de construction de l'aménagement est de 3 années à compter de la notification des contrats de travaux aux Entreprises. Le chemin critique est constitué par la conception, la fabrication, l'acheminement, l'installation et la mise en service des équipements électromécaniques de l'usine²². Cela explique que la durée de construction soit la même pour les deux variantes G2 et G3.

Le génie civil reste d'ampleur assez classique. Les moyens mis en œuvre devront être suffisants pour construire l'ensemble des installations dans le délai global de 3 années, en tenant compte des saisons humides qui ralentiront nécessairement le chantier.

6.2. Activités préparatoires et programme de réalisation

Un programme de réalisation possible est présenté sur la figure 6.2, depuis le préaccord de concession jusqu'à la mise en service de l'aménagement. Ce programme est valable pour les deux variantes de cote.

Il est établi en supposant que le projet sera réalisé dans le cadre d'un financement privé et que les différents lots de travaux feront l'objet d'appels d'offres internationaux.

La durée totale de réalisation serait alors de 4,5 années. Ainsi, une conclusion du préaccord de concession en janvier 2005 conduirait à une mise en service de l'aménagement de Gouina en septembre 2009.

²² Sous réserve que le génie civil de l'usine soit suffisamment avancé pour que le pont roulant ait pu être installé à la date du montage de la première bache spirale (soit au plus tard 8 mois avant la mise en service du premier groupe).

Les activités préalables à l'exécution des travaux sont les suivantes :

- Dès la signature du préaccord de concession, l'étude d'impact environnemental détaillée pourra être lancée. Sa durée est estimée à environ 8 mois. Les conclusions de l'étude permettront notamment de préciser la nature et le coût des mesures d'atténuation des impacts et de définir le plan d'action environnemental.
- Un certain nombre de reconnaissances et essais complémentaires seront nécessaires sur le site et en laboratoire, et notamment : un levé topographique détaillé de la zone des travaux, un levé topographique complémentaire de l'amont de la retenue, des profils bathymétriques complémentaires, des sondages de reconnaissance géologique et géotechnique, des essais de laboratoire sur les matériaux prélevés in-situ pour préciser leur comportement à l'excavation et comme matériaux de remblai ou de granulats pour le béton, des mesures hydrologiques destinées à confirmer la courbe de tarage aval.
- Les études d'APD devront débuter dès la signature de la concession, et s'achèveront après la réception des résultats de reconnaissances complémentaires et des conclusions de l'étude d'impact environnemental détaillé.
- Dans le cadre d'un financement privé, une partie importante des activités préparatoires sera consacrée à la mise en place du financement et de la structure du développeur, ainsi qu'à la mise au point des différents contrats. La durée de cette phase peut varier de manière substantielle en fonction de la rapidité d'action de tous les acteurs impliqués dans les différents contrats. Cet aspect est abordé plus en détail dans la phase 3 de la présente étude.
- La sélection des entreprises de travaux est supposée se faire par voie d'appel d'offres international (délai de 4 mois, y compris l'analyse des offres et la sélection). Cette étape pourrait être raccourcie si le choix des entreprises était laissé à la discrétion du développeur.

FIGURES