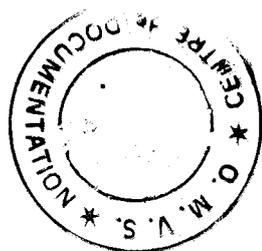
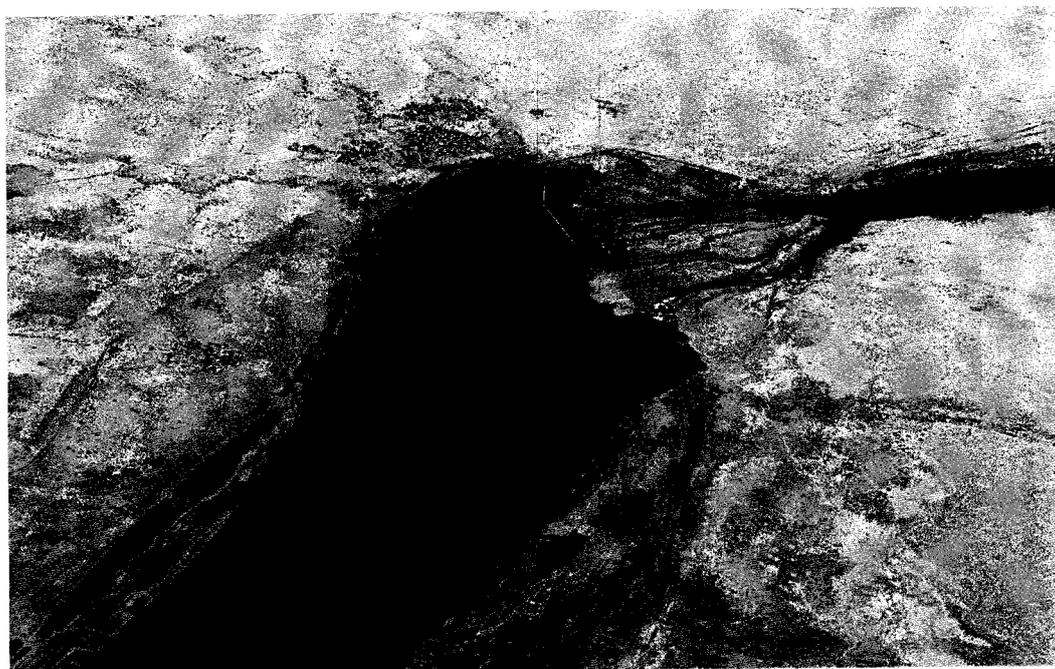


10422

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 - FELOU
Version finale
Faisabilité technique de l'aménagement de Félou

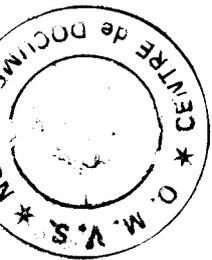


COYNE ET BELLIER

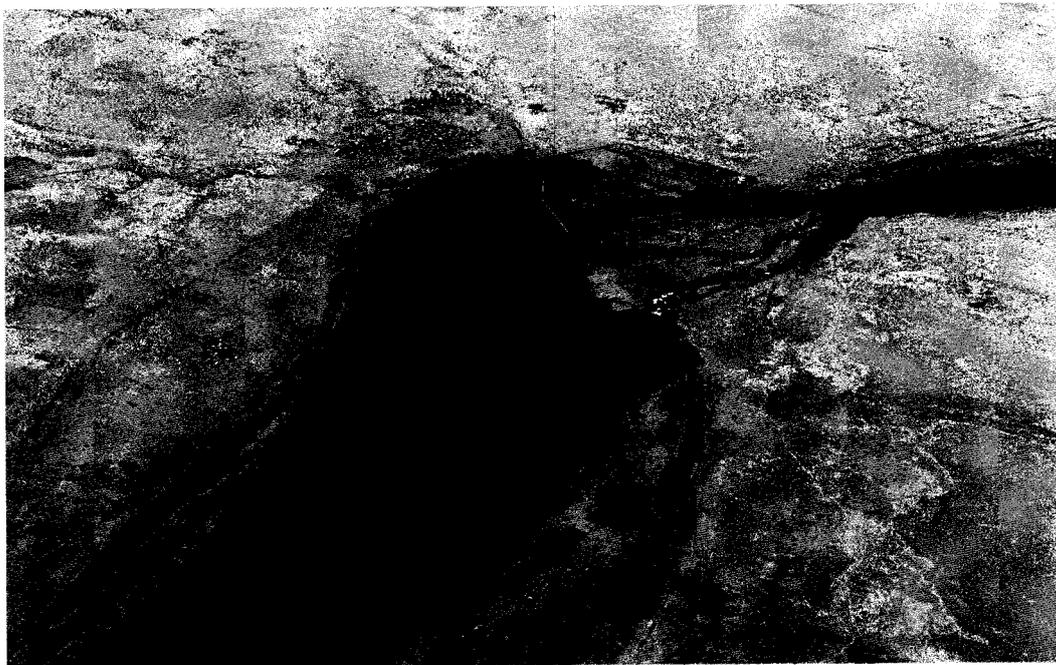
Bureau d'Ingénieurs Conseils
GENNEVILLIERS

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

1042



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



RAPPORT DE PHASE 1 - FELOU
Version finale

Faisabilité technique de l'aménagement de Félou



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: vue aérienne du site des rapides de Félou)

Rapport de PHASE 1 – FELOU

Version finale

Faisabilité technique de l'aménagement de Félou

Rapport 10662 RP03, rév. B

Février 2003

			<i>ly</i>	<i>PDF</i>	<i>JPC</i>
B	06/02/03	Edition finale	BMA/NGL/HGB/V DP/BDE/PDF	PDF	JPC
A	12/06/02	Première émission	BMA/NGL/HGB/V DP/BDE/PDF	PDF	JPC
Révision	Date	Sujet de la révision	Rédaction	Contrôle	Approbation

SOMMAIRE

Ce dossier contient 88 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 Félou (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	8
2.1.	Topographie	8
2.2.	Hydrologie	9
2.2.1.	Séries d'apports mensuels du fleuve Sénégal	9
2.2.2.	Détermination des crues de chantier et de projet	13
2.2.3.	Courbes de tarage	15
2.2.4.	Apports en sédiments	18
2.3.	Géologie	21
2.3.1.	Préambule	21
2.3.2.	Géologie régionale	21
2.3.3.	Le site de Félou	22
2.3.4.	Références	25
2.4.	Caractéristiques environnementales	26
2.4.1.	Définition de la zone d'étude	26
2.4.2.	Rappel de l'analyse environnementale des variantes	26
2.4.3.	Situation environnementale de référence	27
2.5.	Base de calcul des coûts de réalisation	31
2.5.1.	Coûts de génie civil	31
2.5.2.	Coûts des équipements électromécaniques	32
2.5.3.	Coûts du raccordement au réseau haute tension	32

2.6.	Marché de l'énergie: placement attendu de Félou	33
3.	CONCEPTION DES OUVRAGES	37
3.1.	Implantation générale	37
3.2.	Ouvrages de génie civil	38
3.2.1.	Accès	38
3.2.2.	Barrage	41
3.2.3.	Ouvrage de tête	43
3.2.4.	Canal d'aménée	44
3.2.5.	Usine	47
3.2.6.	Canal de fuite	48
3.3.	Equipements hydro-électro-mécaniques de l'usine	48
3.3.1.	Type de turbine	48
3.3.2.	Nombre de groupes	50
3.3.3.	Description des groupes bulbes	51
3.3.4.	Drainage et exhaure	52
3.3.5.	Equipements électriques et de télécommande	53
3.3.6.	Grilles, vantellerie et équipements de levage	53
3.4.	Liaison avec le réseau de transmission HT	55
3.4.1.	Capacité de transport du réseau HT existant	55
3.4.2.	Raccordement de la centrale de Félou au réseau HT	56
3.4.3.	Adaptation du réseau HT interconnecté	57
4.	ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	60
4.1.	Impacts socio-environnementaux potentiels de l'aménagement de Félou	60
4.1.1.	Préliminaire	60
4.1.2.	Impacts potentiels de l'aménagement de Félou	60
4.2.	Recommandations pour l'atténuation des impacts environnementaux	67
4.2.1.	Les textes d'orientation	67
4.2.2.	Principales mesures d'atténuation environnementale	68
4.2.3.	Mesures préalables	72
5.	EVALUATION ÉCONOMIQUE PRELIMINAIRE ET DIMENSIONNEMENT	73
5.1.	Production d'énergie	73

5.2.	Sélection de la puissance installée	76
5.3.	Evaluation du coût de réalisation	77
5.4.	Evaluation économique préliminaire	83
5.4.1.	Hypothèses de base	83
5.4.2.	Evaluation économique préliminaire du projet	84
6.	PROGRAMME DE RÉALISATION	85
6.1.	Programme de construction et phasage des travaux	85
6.1.1.	Phasage des travaux à l'amont du canal (plan FE-102)	85
6.1.2.	Phasage des travaux à l'aval du canal (plans FE-103 et FE-104)	86
6.1.3.	Programme de construction (figure 6.1)	87
6.2.	Activités préparatoires et programme de réalisation	87

FIGURES

PLANS

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

FIGURES CHAPITRE 2

- Figure 2.2.1 Série chronologique des apports du Bakoye à Oualia (module 124 m³/s)
- Figure 2.2.2 Série chronologique des apports du Sénégal à Kayes (module 443 m³/s)
- Figure 2.2.3 Série chronologique des apports du bassin versant intermédiaire (module 16 m³/s)
- Figure 2.2.4 Série chronologique des débits sortant de Manantali géré suivant le scénario 100 (module 292 m³/s)
- Figure 2.2.5 Série chronologique des apports à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 100 (module 432 m³/s)
- Figure 2.2.6 Félou : courbes des débits classés pour différents scénarios de gestion de Manantali
- Figure 2.2.7 Variations saisonnières des débits naturels à Félou sur 1950-1999, Manantali étant géré selon le scénario 100
- Figure 2.2.8 Variations saisonnières des débits naturels et des débits turbinés à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 100
- Figure 2.2.9 Variations saisonnières du débit mensuel à Félou sur 1950-1999, Manantali étant géré selon le scénario 4byc
- Figure 2.2.10 Variations saisonnières des débits naturels et des débits turbinés à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 4byc
- Figure 2.2.11 Félou : courbe de tarage amont adoptée pour les débits courants déversant sur le seuil
- Figure 2.2.12 Félou : mesures hauteur (IGN) – débit et courbe de tarage aval
- Figure 2.2.13 Félou : courbe de tarage aval adoptée pour les débits courants (sujette à variation selon les débits de la Kolimbine)
- Figure 2.2.14 Félou : relation entre chutes brute et débit ($Z_{\text{seuil}} = 40,0 - Q_{\text{équipé}} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Figure 2.2.15 Apports annuels à Kayes sur la période 1950-2000 (mai à avril)
- Figure 2.2.16 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 2.2.17 Evolution de la quantité mensuelle en M.E.S. ayant transité à Bakel en regard des apports mensuels à Kayes. Moyenne sur la période mai 1979 – avril 1984

FIGURES CHAPITRE 5

- Figure 5.1 Courbe des débits classés (zoom sur la plage de débits de 100 à 800 m³/s)
- Figure 5.2 Courbe des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement (scénarios 100 et 102)
- Figure 5.3 Courbe des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement (scénarios 3byc, 4ayt et 4byc)
- Figure 5.4 Energie moyenne en fonction du débit d'équipement (5 scénarios)
- Figure 5.5 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 100
- Figure 5.6 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 102
- Figure 5.7 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 3byc
- Figure 5.8 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 4yat
- Figure 5.9 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 4byc
- Figure 5.10 Comparaison des coûts et capacités de production

FIGURES CHAPITRE 6

- Figure 6.1 Programme de construction
- Figure 6.2 Programme de réalisation possible dans le cadre d'un financement privé avec consultation pour les travaux

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU CHAPITRE 1

Tableau 1.1 Caractéristiques principales de l'aménagement

TABLEAUX CHAPITRE 2

- Tableau 2.1 Scénarios de gestion de Manantali les plus probablement adoptés
- Tableau 2.2 Félou : séries d'apports mensuels au site pour différents scénarios de gestion de Manantali, calculés sur 1950 - 1999
- Tableau 2.3 Félou et Gouina : débits de crues usuelles (2 à 50 ans)
- Tableau 2.4 Félou et Gouina : débits de crues exceptionnelles (100 à 10 000 ans)
- Tableau 2.5 Courbes de tarage amont – aval 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)

TABLEAUX CHAPITRE 5

- Tableau 5.1 Relation puissance installée – énergie moyenne pour le scénario 100 IRD
- Tableau 5.2 Félou – Résumé des performances énergétiques
- Tableau 5.3 Félou – Estimation des coûts de construction directs
- Tableau 5.4 Félou – Estimation du coût de réalisation global
- Tableau 5.5 Evaluation des coûts d'atténuation des impacts environnementaux
- Tableau 5.6 Evaluation du coût des possibles mesures d'accompagnement

LISTE DES PLANS

PLANS GÉNÉRAUX

- FE-001 A Plan de situation de Félou et Gouina
- FE-002 A Bassin versant du fleuve Sénégal à Kayes et 4 sous-bassins
- FE-003 A Accès au site de Félou
- FE-004 A Carte géologique (d'après Sénégal – Consult, 1970)
- FE-021 A Topographie au 1 / 25 000 de la zone des retenues de Félou et Gouina à FE-030 A

PROFILS EN LONG DE LA ZONE DE RETENUE

- 01-021 B Profil en long de la zone des retenues de Félou et Gouina
- 01-106 B Profil en long de la retenue de Félou, seuil à 40,00 (F1 – état actuel)
- 01-107 B Profil en long de la retenue de Félou, seuil à 42,50 (F2)
- 01-108 B Profil en long de la retenue de Félou, seuil à 45,00 (F3)

IMPLANTATION DES OUVRAGES ET PHASAGE DES TRAVAUX

- FE-101 A Implantation générale des ouvrages
- FE-102 A Phasage des travaux à l'amont du canal
- FE-103 A Phasage des travaux à l'aval du canal (1/2)
- FE-104 A Phasage des travaux à l'aval du canal (2/2)

DÉTAIL DES OUVRAGES

- FE-201 A Seuil rive droite et rive gauche
- FE-202 A Canal d'amenée : vue en plan et coupes
- FE-203 A Ouvrage de tête : vue en plan
- FE-204 A Ouvrage de tête : coupe A-A

USINE HYDROÉLECTRIQUE

- FE-301 A Coupe type sur groupe
- FE-302 A Coupe horizontale au niveau 41,00 / 44,00
- FE-303 A Coupe horizontale au niveau 35,50
- FE-304 A Coupe horizontale au niveau 18,40
- FE-305 A Coupe longitudinale 1
- FE-306 A Coupe longitudinale 2

RACCORDEMENT AU RÉSEAU HAUTE TENSION

- FE-401 B Routes de transport de l'énergie
- FE-402 A Schéma unifilaire du poste de Férou
- FE-403 B Férou seul : raccordement au réseau électrique H.T.
- FE-404 B Férou et Gouina : raccordement au réseau électrique H.T. - option 1
- FE-405 B Férou et Gouina : raccordement au réseau électrique H.T. - option 2

LISTE DES ANNEXES

A0. PHOTOGRAPHIES

- Ph. 1: Vue aérienne depuis l'aval rive gauche, éloignée
- Ph. 2: Vue aérienne depuis l'aval rive gauche, rapprochée
- Ph. 3: Vue aérienne depuis l'aval rive droite
- Ph. 4: Vue aérienne depuis la rive droite, dans l'axe du seuil
- Ph. 5: Canal de l'usine actuelle
- Ph. 6: Bâtiment de l'usine actuelle
- Ph. 7: Grès massif de rive gauche, à l'emplacement de la future usine
- Ph. 8: Fleuve Sénégal à l'aval immédiat des rapides
- Ph. 9: Abords du village de Lonétou, en rive gauche à l'amont des rapides

A1. TOPOGRAPHIE

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

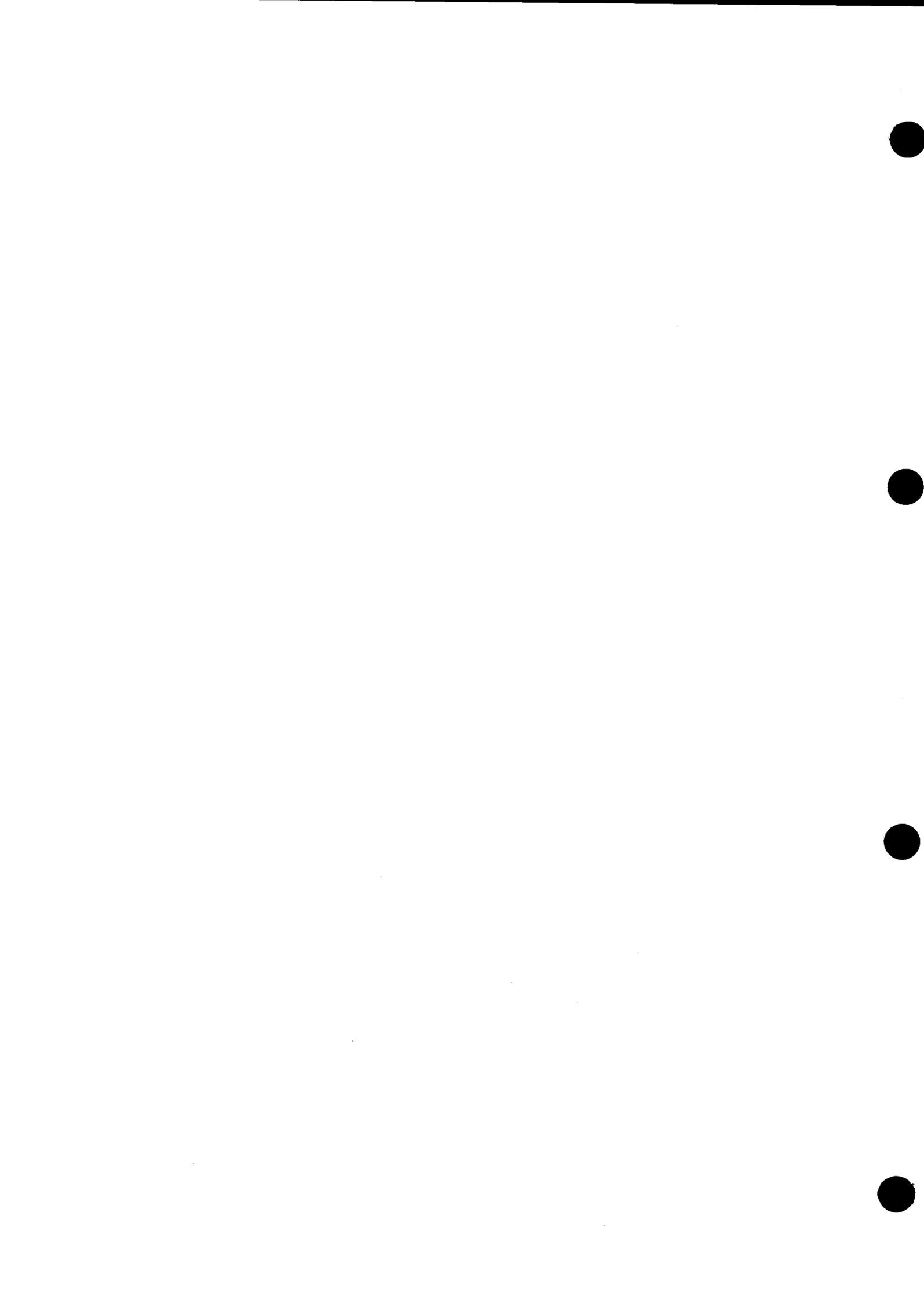
- A1-1 Clichés à l'échelle 1 / 25 000 – axes A01 à A06
- A1-2 Clichés à l'échelle 1 / 25 000 – axes A07 à A11
- A1-3 Clichés à l'échelle 1 / 8 000 – site de Félou
- A1-4 Clichés à l'échelle 1 / 8 000 – site de Gouina

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 Félou 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

TEXTE

TEXTE



1. INTRODUCTION

1.1. Cadre contractuel, objet du rapport

Ce rapport est le troisième 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 de phase 1, correspondant aux études de "faisabilité technique" de l'aménagement hydroélectrique de Félou, préparé conformément au contrat daté du 15 mai 2000 entre l'OMVS et COYNE ET BELLIER.

Ce rapport conclut la phase d'études d'avant-projet sommaire de l'aménagement de Félou. Le même rapport sera présenté ultérieurement pour l'aménagement de Gouina.

Les études de faisabilité concernent l'aménagement hydroélectrique des rapides de Félou. Ces rapides sont situés sur le fleuve Sénégal, environ 200 km à l'aval du barrage de Manantali, et environ 15 km à l'amont de la ville de Kayes. Le site a été équipé d'une usine hydroélectrique au début des années 1920, réhabilitée vers 1992. La puissance actuelle de l'usine est de 600 kW environ, obtenue en turbinant environ 5 m³/s, soit de l'ordre de 1% du débit moyen du fleuve.

L'aménagement existant comporte (voir les photos en annexe A0) un muret de faible hauteur, en béton ou maçonnerie, qui barre toute la largeur du fleuve à la cote 40, un canal d'une dizaine de mètres de large en rive gauche, et une usine, située juste à l'aval des rapides, équipée d'une turbine de type Francis.

Le but du nouveau projet de Félou est d'exploiter de manière optimale la capacité de production d'énergie électrique du site, en mettant à profit à la fois la hauteur de chute naturelle créée par la topographie du site, et le fort débit du fleuve Sénégal en ce point, partiellement régularisé par la retenue de Manantali.

1.2. Programme suivi

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

- Juin 2000 : démarrage des études, avec 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 fin de phase 1 de FELOU.

A la suite de l'examen du rapport intermédiaire, l'OMVS a décidé :

- i) la poursuite des études de l'aménagement de Félou sur la base de l'alternative sans surélévation par rapport au seuil existant (cote 40)
- ii) la réalisation des mêmes études sur l'aménagement de Gouina pour deux variantes, qui couvrent la plage de l'optimum économique, soit les cotes de seuil 70 et 75.

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

1.3.1 Méthodologie

La première partie des études de faisabilité des aménagements de Félou, 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 à Manantali après mise en service de l'usine, fin 2002,
- les courbes de tarage à l'aval de chaque site, qui ont révélé une forte variation 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

Dans le cas de Félou, il est vite apparu que le paramètre clé du dimensionnement était la cote de surélévation du seuil existant à l'amont des rapides. La hauteur de chute entre l'amont et l'aval des rapides étant modérée (elle est d'environ 14 mètres actuellement), toute augmentation, même faible, provoque un accroissement sensible de la production d'énergie.

Par contre la topographie du lit du fleuve Sénégal à l'amont de Félou est telle que la moindre surélévation du niveau du seuil de Félou entraîne une augmentation du niveau du fleuve sur plusieurs dizaines de kilomètres à l'amont. La conséquence en est un fort accroissement de la submersion de zones habitées et cultivées sur les berges du fleuve, quand on surélève la cote du seuil au-dessus de la valeur 40, ne serait-ce que de un ou deux mètres.

Les cotes de seuil de 40 (situation actuelle), 42,5 et 45 ont été envisagées et comparées.

On trouvera parmi les plans ci-après:

- le profil en long du fleuve Sénégal dans la situation actuelle (c'est à dire avec son seuil à la cote 40) 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° 01 106);
- le même profil en long avec les lignes d'eau calculées pour les mêmes débits mais avec un seuil surélevé à la cote 42,5 d'une part, et 45,0 d'autre part (plans 01 107 et 01 108).

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 Félou.

L'examen de ces agglomérations et de leurs terres cultivées ont permis de définir les coûts de compensation qu'il faudrait engager, pour chaque hauteur de seuil de Félou. Les tableaux rappelés en annexe A3 présentent le détail de ces coûts pour chacun des villages affectés.

Le dimensionnement qui est apparu le meilleur pour le site de Félou est la solution F1, avec maintien du seuil existant à la cote 40, qui ne change pas le régime de l'écoulement actuel à l'amont des rapides. Cette solution est à la fois celle qui se présente comme la plus attractive sur le plan économique, et celle qui cause le minimum d'impacts négatifs sur l'environnement. C'est celle qui a été adoptée par l'OMVS comme devant faire l'objet des études de faisabilité.

1.4.2. Recommandations

Prochaines étapes de l'étude

Les prochaines étapes des études comprennent:

- La fin des études de phase 1 pour l'aménagement de Gouina
- Les études de phase 2, c'est à dire les études économiques et financières de Félou et Gouina, qui incluent la modélisation du fonctionnement de l'ensemble du parc de production Mali – Mauritanie – Sénégal
- Les études de phase 3, c'est à dire l'étude du cadre de réalisation des projets avec financement privé

Les éléments fournis par le présent rapport sont suffisants pour démarrer les phases 2 et 3. Conformément à ce qui est prévu par le contrat, la phase 3 devrait démarrer avant la phase 2. De cette manière les calculs économiques et financiers de phase 2 seront réalisés sur la base du schéma de développement défini au cours de la phase 3.

Gouina

Compte tenu du décalage entre les études de Félou et celles de Gouina, il n'est pas possible de conclure immédiatement sur l'ordre de priorité selon lequel les deux aménagements devraient être réalisés.

Une anticipation de la conclusion des études de Gouina n'est pas possible avec les éléments disponibles actuellement. Il est clair que Gouina sera pénalisé économiquement par les plus grandes difficultés d'accès au site et par la plus grande longueur requise de ligne 225 kV pour être relié au réseau HT existant. Par contre la capacité de production de Gouina sera supérieure à celle de Félou, sa production espérée étant de l'ordre de 500 GWh par an.

Réseau de transmission HT

Les études réalisées sur la connexion avec le réseau HT existant montrent que l'aménagement de Félou seul peut délivrer toute son énergie au réseau sans renforcement de la capacité des lignes au-delà du poste de Kayes. Par contre la connexion de l'ensemble des deux aménagements de Félou et de Gouina ne pourra se faire sans un renforcement de l'ensemble du réseau 225 kV. Cela concerne tout particulièrement la branche ouest, qui devrait assurer le transit de la plus grande partie de l'énergie supplémentaire délivrée par les deux aménagements en plus de celle de l'usine de Manantali.

La meilleure solution pour le renforcement de la branche ouest passerait par la réalisation de la branche Kayes - Tambacounda – Kaolack. Cette réalisation permettrait la formation d'une boucle ouest entre les centres de production de Manantali – Félou – Gouina d'une part, et le pôle ouest de consommation principal situé autour de l'agglomération de Dakar d'autre part. Son utilité irait bien au-delà de celle de transporter l'énergie de Félou et Gouina, puisque cette ligne permettrait également de:

- sécuriser le transport de l'énergie de Manantali vers l'ouest,
- diminuer les pertes en lignes de l'énergie de Manantali consommée dans la branche ouest,
- participer de manière plus générale au renforcement du réseau entre Bamako, Dakar et Nouakchott,
- participer, au moins pour son tronçon Kaolack – Tambacounda, à l'interconnexion régionale de l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest (des études sont en cours sous l'égide du NEPAD), et des pays de l'OMVG: ce tronçon fait partie des liaisons envisagées dans les études en cours pour l'OMVG, en liaison avec les études de faisabilité de Sambangalou.

Compte tenu de l'ordre de grandeur du coût de la ligne Kayes – Tambacounda – Kaolack, et de l'utilisation partielle qui serait faite de cette ligne par Félou et Gouina, il est recommandé de rechercher le financement de cette ligne sans qu'il soit totalement lié à Félou et à Gouina. La taille de ces deux projets est d'ailleurs telle qu'ils ne pourraient justifier à eux seuls la totalité de l'investissement.

2. DONNEES DE BASE

2.1. Topographie

Compte tenu de l'absence quasi totale de document topographique utilisable sur le site de Félou, 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 FE-021A à FE-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-Berterrêche 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 (cote de seuil 75 et 80), apparues économiquement les plus compétitives à Gouina. L'extension amont n'a pu

cependant couvrir la totalité de la retenue potentielle pour ces cotes, 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 FE-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 2.2.1 ;
- **débits mensuels du Sénégal à Kayes** sur la période 1950-2001 (source : IRD), cf. figure 2.2.2.

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 2.2.3).

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 Félou. 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 **débites 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 :

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

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

- 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'Énergie de Manantali, en charge de l'exploitation de l'usine de Manantali.
- 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 2.2.4.

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 Félou

Les apports mensuels au droit du site de Félou, 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 Félou.

On notera les contributions moyennes suivantes des différents bassins versants :

Bassin versant	Module	Minimum annuel	Maximum annuel
	juin 1950-mai 1999 (m ³ /s)	1951-1998 (m ³ /s)	1951-1998 (m ³ /s)
Bafing à Manantali	292	104	512
Bakoye à Oualia	124	14	303
BV intermédiaire amont de Gouina	17	-39	93
BV intermédiaire amont de Félou	16	-36	97
BV intermédiaire Kayes – Félou	7	-17	40

La série chronologique des débits mensuels calculés à Félou est présentée en figure 2.2.5 pour le scénario 100.

La courbe des débits mensuels classés à Félou est présentée en figure 2.2.6, pour les scénarios de gestion de Manantali 100, 102, 3byc, 4ayt et 4byc.

Les variations saisonnières du débit mensuel à Félou, en supposant Manantali géré selon le scénario 100 ou le scénario 4byc, sont illustrées sur les figures 2.2.7 et 2.2.8 (scénario 100), et les figures 2.2.9 et 2.2.10 (scénario 4byc).

Les débits mensuels moyens sur la période 1950-1999 au droit du site sont présentés dans le tableau 2.2 ci-après, pour les scénarios 99 à 104.

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

	apports à Félou (m ³ /s)						Moyenne
	Scénario 99	Scénario 100	Scénario 101	Scénario 102	Scénario 103	Scénario 104	
janv	190	307	335	212	234	337	269
févr	161	256	312	193	211	304	240
mars	158	179	252	198	209	241	206
avr	157	162	233	200	207	226	198
mai	154	157	204	193	205	207	187
juin	150	136	181	175	197	168	168
juil	223	196	245	233	251	196	224
août	1 018	870	794	952	869	767	878
sept	1 439	1 335	1 114	1 328	1 274	1 175	1 278
oct	802	814	746	766	776	762	778
nov	446	468	464	442	452	479	458
déc	296	329	349	306	317	361	326
module	433	434	436	433	433	435	434

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 A2.2 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 de 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.

Tableau 2.4 - Félou et Gouina : débits de 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 Félou 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. Courbe de tarage amont

La loi hauteur-débit à l'amont du seuil est imposée par le seuil et suit une équation 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.

De plus, pour des hauteurs amont sensiblement supérieures à la cote du seuil, une partie du débit du fleuve déversera directement sur le terrain naturel, sur l'îlot central et en rive droite ; dans ce cas le coefficient de débit est abaissé localement de 1,8 à 1,5 pour tenir compte de la rugosité du rocher et de la forme du seuil qui n'est plus celle d'un seuil mince.

Pour le calcul de la courbe de tarage amont, le profil déversant pris en compte est le suivant :

Distance, depuis l'extrémité de la rive gauche (m)	cote z (m)	coefficient de débit
0 à 60	41,0	1,5
60 à 780	40,0	1,8
780 à 1 060	40,5	1,5
1 060 à 1 290	40,0	1,8
1 290 à 1 440	40,5	1,5
1 440 à 1 590	41,0	1,5
1 590 à 1 630	41,5	1,5
1 630 à 1 720	42,0	1,5
1 720 à 1 770	42,5	1,5
1 770 à 1 840	43,0	1,5

Nota : les incertitudes relativement élevées subsistant sur cette loi pourront être levées à l'issue de levés topographiques complémentaires plus détaillés, ou encore mieux à partir de mesures du niveau de l'eau rapprochées des mesures de débit à Kayes.

La courbe de tarage correspondante est présentée en figure 2.2.11, et se trouve résumée dans le tableau «Synthèse des courbes de tarage» ci-après.

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

Les données utilisées pour établir la courbe de tarage aval sont:

- hauteurs journalières à l'échelle de Félou aval (en rive gauche, 100 m à l'aval de l'usine) sur la période mai 1952 - décembre 1992, transmises par l'IRD.
- débits mensuels moyens observés à KAYES sur la période juin 1950 – juin 2001, transmises par l'IRD.

La monographie du bassin du fleuve Sénégal, publiée par l'ORSTOM en 1974, indique que la hauteur à l'aval de Félou est probablement influencée par le régime de la Kolimbine, qui trouve son affluent avec le Sénégal 9 km à l'aval de Félou, à l'aval d'un bief où le fleuve est quasiment horizontal.

La Kolimbine a un débit quasiment nul de janvier à juin et un débit mensuel moyen relativement faible, de l'ordre de 15 m³/s pendant le restant de l'année. On en conclut que les débits à Kayes sont peu différents de ceux de Félou pendant la saison sèche et en dehors des périodes de forte crue, avec une possible diminution des débits à l'aval en saison sèche en raison des pertes par évaporation et par recharge de la nappe. Ainsi la courbe des

débits à Kayes en fonction des hauteurs à l'échelle de Félou aval donne une image assez représentative de la courbe de tarage à Félou aval.

Lors de la campagne topographique de février 2001, l'eau à l'aval de Félou se situait à la cote 25,10 (IGN) et le débit moyen de ce mois à Kayes était de 140 m³/s. On estime le débit à l'aval de Félou de l'ordre de 130 m³/s⁽⁷⁾. Le zéro de l'échelle de Félou aval se situant à la cote 23,513 (IGN)⁽⁸⁾, la hauteur lue à l'échelle pour un débit de 130 m³/s correspond à la cote 24,78 (IGN). On constate donc un décalage de 30 cm entre le zéro apparent de l'échelle et la cote IGN mesurée.

En figure 2.2.12, on présente la courbe des débits à Kayes en fonction des cotes IGN à l'échelle de Félou aval décalées de 30 cm en ajoutant le point supplémentaire correspondant à la crue d'août 1958. L'eau avait alors atteint 34,54 (IGN)⁽⁹⁾ pour un débit de 6 300 m³/s⁽¹⁰⁾. Les points sont situés sur une ligne constituée de deux tronçons de courbe du second degré prolongés par une droite. C'est cette ligne qui est adoptée comme **courbe de tarage aval, tracée pour les débits courants sur la figure 2.2.13.**

Vu la faible pente du bief à l'aval de Félou, on rappelle que cette courbe de tarage aval est vraisemblablement sujette à variation en cas de forts débits de la Kolimbine (point de confluence à 9 km à l'aval).

Le débit de la crue de période de retour 10 000 ans est estimé à environ 10 800 m³/s (cf. annexe A2.2). Pour cette valeur, l'eau atteint devrait atteindre la cote **40,10 (IGN)**. Cette cote est retenue comme **cote minimale pour la plate-forme d'accès à l'usine.**

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 et la hauteur de chute à Félou pour quelques débits courants et la crue déca-millénaire. Les hauteurs amont sont déterminées en considérant que le débit est turbiné à concurrence du débit d'équipement de 500 m³/s (cf. figure 2.2.14).

7 Les lâchers de Manantali pour ce mois sont de l'ordre de 120 m³/s, les apports à Félou provenant du Bakoye à Oualia et du bassin versant intermédiaire entre Oualia et Félou sont faibles.

8 cf. monographie ORSTOM, page 121.

9 La cote IGN de la marque à l'intérieur (?) de l'ancienne usine a été mesurée lors de la campagne topographique de février 2001.

10 Source ?

Tableau 2.5 – Courbes de tarage amont – aval et chute brute

Q (m ³ /s)	Z _{amont} (m)	Z _{aval} (m)	H _{brute} (m)
0	40,00	23,83	16,17
100	40,00	24,91	15,09
200	40,00	25,32	14,68
500	40,00	26,16	13,84
1000	40,43	27,23	13,20
1500	40,67	28,23	12,44
2000	40,85	29,09	11,77
2500 (T = 2 ans)	41,01	29,80	11,21
10 800 (P.H.E.)	42,66	40,15	2,51

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)⁽¹¹⁾, elle-même basée sur les publications de Gac et Kane (1985)⁽¹²⁾ et Kattan, Gac et Probst (1987)⁽¹³⁾. Elles sont reprises dans les tableaux 2.6, 2.7 et 2.8 ci-après.

Il a été observé à Bakel⁽¹⁴⁾ et à Saint-Louis que les concentrations maximales en matières en suspension s'obtiennent en montée de crue, avant la pointe.

La figure 2.2.15 rappelle les apports à Kayes (source : IRD), proches des apports à Bakel. On note que les années 1979-1984 sont parmi les plus sèches des dernières décennies.

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

12 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.

13 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.

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

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 2.2.16 et 2.2.17 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 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 Taoudenit 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 Félou seront analysées dans le chapitre 2.3.3. (voir le plan FE-004 : carte géologique du site de Félou).

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. A ce titre, des travaux géologiques de cartographie et de reconnaissances de terrain ont été réalisés qui ont fait l'objet de rapports de pré-faisabilité. Ces rapports et leurs annexes constituent des références (cf. chapitre 2.3.4. - Réf. 1 à 3) indispensables qui ont été dûment utilisées pour réaliser l'analyse des conditions géologiques du site de Félou présentée dans le chapitre suivant.

2.3.3. Le site de Félou

2.3.3.1. Le rocher de fondation

La géomorphologie du site de Félou est caractérisée par la présence uniforme d'affleurements de grès et la quasi-absence de couverture de terrains meubles. Sur les rives, la surface du rocher apparaît plane ou faiblement bombée mais elle est localement affectée par de longs sillons rectilignes qui s'alignent sur les directions structurales régionales. Cette géomorphologie tabulaire provient de la stratification des grès en grandes dalles subhorizontales, incisées par les traces de l'érosion fluviale et du ruissellement. Au large des deux rives, les effets de l'érosion différentielle ont généré des alignements d'escarpements qui s'élèvent de plusieurs dizaines de mètres, en gradins serrés, pour former des reliefs de plateaux tabulaires qui dominent la large vallée.

Le fleuve, sur toute sa largeur, court sur les dalles de grès massif. Au droit de la zone des rapides de Félou, les dalles sont découpées et érodées, suivant le dense réseau de diaclasage, en une succession d'escarpements et de fosses qui forment des reliefs accidentés de plusieurs mètres voire plusieurs dizaines de mètres. Cette zone, longue de 800 m environ, apparaît comme escarpée par rapport au cours amont du fleuve qui est large et presque plan. Le rocher de fondation des rapides est très érodé avec une forte concentration de dépressions en "marmites", de toutes tailles. Les plus importantes de ces cicatrices de l'érosion régressive par les eaux du fleuve sont localisées au pied aval des chutes où des fosses profondes de plus de dix mètres ont été repérées.

Le substratum gréseux de la région est d'âge infracambrien. Il s'agit d'un grès sédimentaire, à grain moyen et fin, dont la couleur est beige-rosâtre et la cassure claire. Sa composition est quartzitique sans grande variation de faciès. Le litage stratigraphique de ces grès est uniformément horizontal comme sur l'ensemble de la région. L'épaisseur apparente des bancs est de l'ordre de plusieurs mètres tandis que celle des interbancs n'est que centimétrique. Le levé géologique général du site (Plan N° FE-004 – Réf. 1) indique localement un très faible pendage de la série gréseuse en direction de l'ESE, c'est-à-dire vers la rive droite.

La structure géologique du site est à l'image de celle de la région avec une prédominance de la stratification horizontale et la présence de cicatrices verticales de mouvements tectoniques cassants. Au droit du site, la série gréseuse n'est affectée d'aucune faille de grande extension mais seulement découpée par un réseau géométrique de joints verticaux, fermés en profondeur. Ce réseau de fracturation est développé suivant deux familles principales de plans : N.140-150, subverticaux ou à fort plongement ouest (230/80°) et N.050 avec plongement sud-est (140/70°). Ces plans prédécoupent le substratum en damier ou compartiments de forme parallépipédique puis en gros blocs dont les arêtes s'émousent et s'arrondissent au fil du temps sous l'effet de l'érosion. A faible profondeur sous la surface du substratum (une dizaine de mètres environ), les plans de fracture sont fermés de sorte que le rocher devient massif en grand et peu perméable sous la frange superficielle de blocs.

2.3.3.2. Géologie appliquée à l'aménagement

- Les excavations rocheuses

La plus grande part du projet consiste en travaux de fouilles au rocher pour fonder une usine en aval rive gauche des rapides et pour ouvrir un canal d'aménée, en rive gauche des rapides depuis le seuil amont des chutes jusqu'à l'usine. Ces travaux d'excavation seront, sur l'ensemble du site, directement réalisés au rocher parce qu'il n'y a pas ou très peu de couverture de terrains meubles. Le contexte géologique local est d'autant plus favorable à la réalisation du projet que le rocher est uniformément massif.

Les travaux d'excavation nécessiteront une méthodologie adaptée parce que le rocher est dur, résistant (80 à 100 MPa) et abrasif (forte teneur en silice). Ils requerront un plan de découpage, une méthode de tirs et des explosifs appropriés. A cet effet, un essai de sautage préalable au démarrage du chantier de construction est préconisé. Avec la mise en œuvre de moyens appropriés au bon découpage de la fondation, la stabilité des excavations sera assurée en raison de la massivité du rocher gréseux sain qui s'accroît avec la profondeur. Un talus de fouille uniformément subvertical, sur de grandes hauteurs, peut être envisagé. Sa régularité sera favorablement influencée par le réseau de fracturation verticale, seulement constitué de deux familles de plans subverticaux et progressivement fermés en profondeur. L'influence de la stratification horizontale sera secondaire mais tout aussi favorable à la stabilité des parois en permettant un découpage en gradins intermédiaires (risbermes naturelles).

- Les fouilles du canal

Les fouilles du canal d'aménée ainsi que celles de l'usine seront excavées dans la même série des grès massifs infracambriens. Les excavations du premier tiers amont du canal, aligné suivant la direction SE-NO, seront favorablement découpées par la série des joints subverticaux N.140-150°E qui constituent l'une des deux familles de discontinuités tectoniques du site. De la même façon, le découpage des fouilles rocheuses sur les deux tiers aval du tracé s'alignera sur la série des plans subverticaux de la seconde famille de joints structuraux suivant N.050°E.

La partie supérieure des excavations rocheuses dans un rocher fissuré et stratifié pourra poser quelques problèmes locaux de stabilité qui devraient être relativement facilement résolus par la mise en œuvre de moyens usuels : ancrages et béton projeté.

Seule la section amont du canal nécessitera, sur plusieurs dizaines de mètres de longueur et quelques décimètres d'épaisseur, un décapage superficiel des sédiments meubles limoneux déposés par les débordements de crues du fleuve.

- La fondation du seuil amont

Au seuil amont des rapides, le substratum gréseux affleure sous forme de grandes dalles subhorizontales, directement dans le lit du fleuve. Dans les deux rives au droit du seuil, l'extension de ces dalles est localement masquée par des recouvrements, peu épais, de terrains meubles d'origine alluviale et de type limoneux avec quelques concentrations de blocs et de galets. La structure tabulaire de la fondation rocheuse est très favorable à la construction d'une longue digue pour barrer toute la largeur du fleuve.

Les dalles rocheuses sont constituées d'un grès quartzitique, sain et massif, qui convient à la fondation de tout type (et toute taille) d'ouvrage de retenue. On peut très raisonnablement envisager la construction d'un ouvrage en béton, aussi bien conventionnel que compacté-roulé. De plus, l'extension amont-aval de la structure tabulaire et la bonne qualité de la fondation rocheuse permettent d'envisager des alternatives d'ouvrage de type déversant.

Dans les rives du seuil, il sera nécessaire de déblayer quelques dizaines de mètres cube de blocs rocheux et de dépôts limoneux pour atteindre le toit du rocher de fondation. On peut anticiper que ce toit rocheux sera directement massif, comme sur toute longueur de l'axe de la future digue, de sorte qu'un minimum de travaux de préparation de la fouille est envisageable. Dans ces conditions, il n'apparaît pas non plus nécessaire de prévoir un traitement systématique de consolidation et d'étanchement de la fondation par injection de coulis de ciment.

- Les matériaux de construction

Les déblais des fouilles rocheuses du canal et de l'usine fourniront la plus grande part des volumes d'agrégats requis pour la fabrication des bétons des ouvrages. Ces déblais nécessiteront un concassage préalable pour produire les classes de matériaux adéquats (sables et agrégats). Le risque de l'alcali réaction, en présence de ciment, de ces matériaux rocheux fabriqués peut être considéré comme très faible parce que les grès du site de Férou dont ils seront issus sont originellement quartzitiques et n'ont pas subi d'abondants phénomènes de recristallisation minérale (quartz secondaire en particulier). Il n'a pas été identifié sur les chantiers de construction, récents et anciens, tels que le chantier de l'usine de Manantali, qui ont été réalisés dans la région et qui ont utilisé les mêmes grès infracambriens pour la fabrication du béton avec le ciment de l'usine de Rufisque (Sénégal). Afin de conclure définitivement à l'absence de ce risque, il conviendra cependant de prévoir une vérification expérimentale avant le début des travaux de construction.

Les ressources en sables roulés sont importantes dans les grandes étendues de dépôts alluviaux du lit majeur du fleuve, en aval des rapides de Férou. Cependant, elles sont éloignées de plusieurs kilomètres du site et l'on pourrait leur préférer les résidus sableux du concassage des grès qui est envisagé, directement sur le site, pour la production d'agrégats. L'alternative la plus satisfaisante pour la préparation d'un béton de très bonne qualité serait d'utiliser un mélange des deux types de sable, alluvial et concassé. Ce mélange aurait l'avantage de satisfaire à l'exigence d'une bonne résistance en même temps qu'à celle d'une maniabilité adéquate du béton.

2.3.4. Références

- a. Aménagements de Galougo, Petit Gouina et Férou, 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 Férou, 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 Férou ; Rapport définitif, *Tractionnel Electrobél Eng.*, 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 Férou qui font l'objet du projet d'aménagement hydroélectrique à l'étude, sont situées dans la région administrative de Kayes et dans le cercle du même nom.

La zone d'étude considérée est l'aire géographique susceptible de subir des effets directs du fait de la construction et de l'exploitation de l'ouvrage (ouvrage de seuil, retenue, usine, bief aval et lignes) et indirects (ville de Kayes, par exemple).

La zone d'étude considérée pour l'analyse des variantes couvre donc : i) le bief amont et les zones exondées et agglomérations avoisinantes de Férou à Gouina ; ii) la zone d'implantation des ouvrages, du chantier, les accès au chantier et les zones d'emprunt et de stockage des déblais ; iii) les couloirs des lignes de transport électrique ; et iv) la zone aval de Férou incluant la ville de Kayes.

2.4.2 Rappel de l'analyse environnementale des variantes

a. Portée de l'analyse

Cette analyse a surtout concerné la cote de la retenue qui a une influence directe sur l'enneigement plus ou moins important de zones habitées et de zones cultivées. Compte tenu du relief peu marqué de la zone, du nombre important de villages touchés et de la profondeur de la retenue, et de l'absence de levé topographique, Coyne et Bellier a sollicité le financement d'une campagne de topographie par prise de vues aériennes qui a permis de préciser l'ampleur des pertes potentielles en habitat et terres cultivées selon les variantes de cote.

Compte tenu du nombre de localités potentiellement noyées (4 à 8 selon les variantes de surélévation du seuil) et de personnes à déplacer (environ 2 800 à 4 300 habitants selon les variantes), de la difficulté de retrouver à proximité des terres de qualité équivalente et de la sensibilité de la population de la zone aux impacts environnementaux du projet Energie Manantali, l'étude environnementale – et en conformité avec la directive de la Banque mondiale sur les déplacements involontaires de population, visant à minimiser ce type d'opération – ne pouvait que favoriser la variante d'aménagement minimisant de tels déplacements, donc conservant la cote de retenue à sa valeur actuelle.

La comparaison économique des variantes ayant conclu en faveur de cette même solution, c'est tout naturellement l'option dite "minimale", sans changement de cote du seuil amont, qui a été sélectionnée pour faire l'objet des études de faisabilité.

b. Variante retenue

La variante d'aménagement proposée après une analyse multicritères de plusieurs solutions, consiste en la réparation et le renforcement du seuil en béton actuel à la cote 40 m, sans changement de cote et sans modification sensible de l'écoulement à l'amont du barrage. Par conséquent, les villages et leurs terroirs situés le long du fleuve, à l'amont du seuil, ne seront pas soumis au risque d'envolement ni par la retenue elle-même, ni par son remous. Par le fait que la section du chenal d'aménée à l'usine sera nettement agrandie par rapport à l'ouvrage actuel, et que le débit dérivé par l'usine pourra représenter la quasi-totalité des apports pendant la saison sèche, on peut même s'attendre à une réduction de la cote du plan d'eau de 20 à 30 cm libérant ainsi des surfaces supplémentaires potentiellement cultivables en cultures de berge. Les effets des crues sur le remplissage des marigots, la recharge des nappes ou le frai des poissons ne subiront pas de variation sensible par rapport à l'état présent, compte tenu de l'absence de modification de la cote du seuil.

Dans ces conditions, la zone d'étude environnementale de la variante retenue a pu être ramenée aux sites d'implantation des différentes composantes de l'ouvrage (seuil, canaux d'aménée et de restitution, usine, poste de départ, lignes de raccordement au réseau H.T créé dans le cadre du projet Energie Manantali, zones résidentielles du chantier et d'exploitation), les aires utilisées provisoirement pour les travaux de construction (dépôts de matériaux, cités et bureaux de chantier, zones de manutention) et voies d'accès au site. Il convient également d'y ajouter les agglomérations susceptibles d'être soumise aux impacts de la population du chantier ou celles affectées par l'immigration spontanée résultant de l'attrait de ce nouveau pôle de développement économique.

2.4.3 *Situation environnementale de référence*

a. *Environnement physique*

Climat

Le climat est de type soudanien avec une pluviométrie annuelle qui varie de 550 mm à 750 mm. La saison des pluies dure en moyenne trois mois, de juillet à octobre.

Relief et sols

Le site du projet est organisé autour des chutes de Félou (qui sont plutôt des rapides, non navigables) présentant une dénivelée de 15 mètres environ, variable en fonction du débit (voir tableau 2.5). La zone amont des chutes est une plaine alluviale d'une largeur variant de 3 à 10 km, avec une berge de matériaux friables en pente plus ou moins marquée selon les sites.

Le relief en aval du site est plus marqué avec en rive gauche une falaise rocheuse d'une quinzaine de mètres séparée du lit du fleuve par la piste Kayes-Médine-Férou et, en rive droite, un modelé moins contrasté. Sans présenter un aspect de « défilé » ou de « canyon » à proprement parler, le point de vue offert par un certain encaissement du fleuve entre les deux rives et l'absence de tout artefact présente un certain intérêt paysager.

L'emplacement du site de l'usine est un terrain rocheux libre de toute occupation humaine (exception faite de la petite usine hydroélectrique existante) et impropre à des activités économiques (agriculture, élevage, sylviculture). Ce terrain est suffisamment étendu pour accueillir les ouvrages définitifs de l'aménagement de Férou (mur, canaux, usine, installations d'exploitation, voies et réseaux). Il est nettement séparé du village voisin de Lonetou par un petit cours d'eau temporaire et une plaine d'inondation de quelques centaines de mètres de largeur.

Hydrologie et qualité des eaux

Le régime du fleuve Sénégal est déjà un régime altéré par deux facteurs: i) un seuil de faible hauteur destiné à l'alimentation d'une usine hydroélectrique par dérivation (voir plus bas) ; et ii) les modifications dues à l'aménagement du barrage de Manantali, sur le Bafing. 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.

b. Les facteurs culturels, religieux, archéologiques et historiques

Des sites archéologiques connus ne sont pas signalés dans la zone d'étude. Des informations précises n'ont pu être obtenues sur la valeur culturelle et sociologique ainsi que sur la réalité de l'ampleur des rites traditionnels et des croyances éventuellement attachés aux rapides.

L'ensemble de bâtiments connu sous le nom de «Fort de Médine» est situé dans le village du même nom, à trois kilomètres en aval des chutes et à l'entrée du « défilé » décrit plus haut. Edifié entre le 15 septembre et le 5 octobre 1855, il comporte le fort proprement dit et des bâtiments annexes hors de l'enceinte du fort, répartis dans le village de Médine. Ce site est classé au Patrimoine culturel mondial et connu pour avoir vu la victoire de El Hadj Oumar Tall sur les troupes coloniales françaises.

Au niveau du site, on relève également la présence d'un obélisque édifié par Faidherbe à l'aval des chutes et qui, bien qu'inaccessible, constitue également un monument ayant une valeur culturelle pouvant être valorisée.

c. *Les facteurs socio-économiques*

Socio-économie villageoise

L'activité villageoise reste traditionnelle, orientée vers l'agriculture pluviale, la pêche et l'élevage familial. Les activités sont complétées par de l'arboriculture fruitière sur berges et du maraîchage par petite irrigation. La zone est un terrain d'application de l'approche « gestion de terroir » et la plupart des terroirs villageois riverains du fleuve ont fait, ou font encore l'objet d'un diagnostic social, économique et environnemental prolongé par un plan de développement et un plan d'aménagement.

Industrie

Le site est déjà aménagé par un seuil à la cote 40 et une mini-usine hydroélectrique alimentant la ville de Kayes. Ces aménagements datent des années 20. Les matériaux utilisés ont été visiblement choisis pour intégrer les constructions au site (usine « camouflée » en une sorte de « chalet suisse », murs en pierre maçonnée, ...). Le canal d'amenée n'est pas protégé, il sert de lavoir, d'abreuvoir et l'on nous a signalé des accidents humains par noyade.

La réalisation du nouvel aménagement de Félou nécessitera la création d'un nouveau canal d'amenée de capacité supérieure ; ce nouveau canal empiètera sur le canal existant qui sera, de ce fait, condamné.

Dans ces conditions, l'ancien aménagement ne pourra plus fonctionner, sauf à prévoir une adaptation sensible du projet dont le surcoût ne paraît pas en rapport avec le bénéfice tiré de l'énergie produite par l'ancienne centrale. Toutefois, l'implantation prévue pour le nouvel aménagement ne nécessite pas la démolition de l'ancienne centrale dont nous préconisons la conservation au titre du patrimoine industriel.

Tourisme et écotourisme

Les chutes de Félou et le Fort de Médine constituent les principaux sites d'intérêt touristique de la zone d'étude.

Les chutes de Félou sont exploitées depuis 1927 pour le fonctionnement d'une petite usine hydroélectrique installée en aval sur la rive gauche. Ces installations n'ont pas cependant modifié de manière sensible l'attrait paysager du site. En effet, les rapides sont conservés et l'usine est localisée suffisamment en contrebas pour ne pas trop affecter le paysage. En outre, l'architecture insolite du bâtiment de l'usine et l'âge des installations apparentent celles-ci à un élément de patrimoine industriel qui rehausse l'intérêt touristique du site.

Bien que relativement délabré, le fort de Médine constitue un monument historique de grande valeur visuelle, historique et architecturale. Un intérêt supplémentaire est son intégration naturelle au village de Médine d'architecture traditionnelle. Un financement est

actuellement recherché pour réhabiliter le fort à l'instar de l'école de Médine qui lui est attenante, puis d'en faire un musée.

La valorisation des sites touristiques de la zone d'étude ne semble pas être une priorité immédiate de la politique touristique nationale. En outre, l'enclavement de la région de Kayes et les difficultés d'accès à ces sites constituent un sérieux handicap pour leur fréquentation touristique.

En dépit de ces contraintes, l'ensemble constitué par le site de Félou, sa voie d'accès à partir de Kayes et le fort de Médine font l'objet d'une fréquentation touristique certaine, principalement locale mais aussi par une fréquentation d'origine internationale émergente. Cet ensemble constitue, à l'échelle de la région de Kayes, mais à un niveau international en ce qui concerne le fort de Médine, un capital touristique à préserver pour l'avenir.

d. Les infrastructures de transport

La zone d'étude ne dispose d'aucune route aménagée. Le réseau routier est constitué principalement de la route Mahina – Kayes (qui figure au réseau routier classé) qui est la seule voie de desserte du site de l'aménagement, ainsi que de pistes quasiment à l'état naturel, dépourvues d'ouvrages hydrauliques. Ces routes deviennent impraticables pendant la saison des pluies.

Si le projet d'aménagement ou de reconstruction de la route Mahina-Bafoulabé-Diamou-Kayes venait à se réaliser, il pourrait être coordonné avec celui de l'aménagement des accès aux sites de Félou et Gouina.

En raison de la topographie de la zone (relief important, collines rocheuses) et du développement du village de Médine, les caractéristiques géométriques du tronçon Médine – Félou de la route Kayes – Mahina, sont marquées par une plate-forme étroite n'offrant pas de possibilités d'élargissement, ainsi que des sections courbes nombreuses et à faible rayon.

En matière de petite navigation, les rapides de Félou constituent un obstacle infranchissable.

La voie ferrée Dakar-Bamako passe à environ 4 km du site, sans relations avec les villages qui en sont proches.

Le réseau de base pour le transport de l'énergie haute tension de Manantali vers l'ouest via Kayes passe également à proximité du site de l'aménagement de Félou. Le poste dit de Kayes est en réalité construit à Médine; ses impacts environnementaux ont été étudiés dans le cadre du projet Energie. Le réseau de transport de l'énergie produite à Félou se résumera à une ligne d'environ 3 km se raccordant à ce poste de Médine.

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 Férou 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,
- 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 Férou. 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-dessous.

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

Nature de travaux	Quantité prévisionnelle	Prix Unitaire retenu
Excavation au rocher	450 000 m ³	8,40 Euros/m ³
Remblais	20 000 m ³	2,40 Euros/m ³
Béton coffré	60 000 m ³	118 Euros/m ³
Béton projeté	20 000 m ²	25 Euros/m ²
Coffrages	40 000 m ²	17 Euros/m ²
Armatures	2 700 t	900 Euros/t

➤ *Items non quantifiés*

Ils sont estimés forfaitairement pour les différents ouvrages à réaliser 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 de divers éléments non chiffrés et des aléas.

2.5.2. Coûts des équipements électromécaniques

Les coûts des équipements électromécaniques 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 : $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (voir § 5.), et au titre des calculs de dimensionnement pour les débits suivants : $100 \text{ m}^3/\text{s}$, $200 \text{ m}^3/\text{s}$, $300 \text{ m}^3/\text{s}$, $400 \text{ m}^3/\text{s}$, $600 \text{ m}^3/\text{s}$, $700 \text{ m}^3/\text{s}$ et $800 \text{ m}^3/\text{s}$. Ils sont basés sur les hypothèses suivantes :

- nombre de groupes : 3,
- type de turbine : bulbes,
- enfoncement de l'axe de rotation des groupes bulbes : environ 6,5 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 Félou

Par rapport aux données disponibles lors de la préparation du rapport intermédiaire, seules les prévisions de consommation du système sénégalais ont pu être mises à jour par rapport aux prévisions de 1996. Ces données révisées sont présentées ci-dessous pour l'horizon 2007, qui est la date la plus optimiste qu'on peut envisager pour la mise en service de Félou. 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.

Demande totale et par pays prévue à l'horizon 2007 :

Pays ou zone géographique	Energie demandée (GWh)	Puissance de pointe (MW)
Sénégal	2615	441
Mauritanie	220	50
Mali	750	150
TOTAL réseau OMVS	3585	641

Selon les dernières données disponibles, la demande au-delà de 2007 pourrait continuer de croître avec des taux annuels voisins de 10% au Mali et de 5% Sénégal. Sans attendre de recevoir les prévisions de la demande du réseau Mauritanien, on constate que le total des besoins en moyens de production devrait augmenter dans les dix prochaines années d'au moins 30 MW chaque année.

En conséquence on peut définir deux périodes contrastées caractérisant le productible qui sera disponible à Félou (voir aussi la figure 2.9) :

- a. de décembre à juillet, les débits disponibles sont limités aux lâchers de Manantali, eux-mêmes limités le plus souvent à 150 ou 200 m³/s selon le scénario de gestion qui sera adopté. Cela représente environ un tiers de la puissance installée envisagée comme solution de base (500 m³/s équipés);
- b. de août à novembre, les débits lâchés à Manantali, combinés avec les apports naturels du Bakoye et du bassin-versant intermédiaire aval, fournissent à Félou un débit moyen généralement bien supérieur à 500 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 (voir la figure 2.9 établie sur la base des données de l'IRD) montre que les mois de décembre à février sont des mois intermédiaires où, certaines années, les lâchers de Manantali peuvent atteindre 500 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 (proche de 40), pendant toute la saison sèche et en l'absence de lâchure depuis Manantali.

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 générale

Le site de Félou est caractérisé par une dénivellée naturelle de 15 m environ ainsi que par un rétrécissement substantiel de la vallée. Sur un tronçon de 800 m comprenant les rapides, la largeur du lit passe de plus de 1000 m dans sa partie amont à moins de 300 m dans sa partie aval.

Dans ce contexte, le projet consiste à créer un aménagement au fil de l'eau destiné à assurer une production d'électricité par turbinage des débits du fleuve Sénégal partiellement régularisés par l'aménagement de Manantali en amont (voir le plan d'implantation générale des ouvrages : FE-101).

Le lit du fleuve Sénégal est barré par un seuil déversant en béton arasé à la cote 40, dont la fonction est de maintenir un niveau minimum nécessaire pour canaliser l'eau vers l'usine hydroélectrique.

Les ouvrages d'amenée 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 au-dessus du niveau moyen du lit rocheux du fleuve (environ 38) avec des vitesses de l'ordre de 1,5 m/s sous le niveau de retenue normale (40).
- 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, d'un débit d'équipement unitaire de 167 m³/s, soit un débit total maximal de 500 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 Félou.

3.2. Ouvrages de génie civil

Remarque préliminaire : les ouvrages sont décrits ci-après pour une capacité de turbinage de 500 m³/s. 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 Félou, 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 route et de la voie ferrée sur cette rive.

3.2.1.1. Routes et voies ferrées

Le site de Félou est situé à 4 km à l'amont de la ville de Médine, en bordure de la route secondaire reliant Kayes à Bafoulabé et Mahina. Cette route longe le fleuve Sénégal en rive gauche depuis Médine ; son gabarit réduit et son intérêt touristique la rendent inutilisable comme route d'accès au chantier à réaliser à Félou.

De plus, le site se trouve à proximité de la voie ferrée Dakar – Bamako qui pourra servir de voie principale d'approvisionnement pour le chantier, comme cela a été le cas pour la construction de l'usine de Manantali.

Les travaux d'aménagement de cet accès au chantier (voir le plan FE-003) comprendront l'adaptation de la station existante de Médine en station de déchargement, et la création d'un nouveau tronçon routier reliant la route existante à l'aval de Médine, la station de déchargement et le chantier. Cette nouvelle route, d'une longueur de 6 km environ, contournera le site touristique de Médine, et ne rentrera pas dans l'agglomération de Kayes. Cela permettra de concentrer le trafic routier lourd d'acheminement des matériaux et équipements en dehors de toute zone fortement habitée.

Au droit du site de Félou, la piste existante traverse l'emprise du chantier et devra être déviée. Les travaux routiers comprendront donc également le raccordement de la piste venant de Gouina et Mahina à l'amont, d'une part avec la route nouvelle d'accès au chantier, d'autre part avec la piste dite "touristique" vers Médine et Kayes, qui est conservée en l'état.

3.2.1.2. *Traversée du fleuve Sénégal*

L'accès à la rive droite du fleuve Sénégal depuis la rive gauche ne peut se faire actuellement que par le pont de Kayes, 15 km à l'aval de Félou, ou par le pont de Diamou, à environ 40 km à l'amont.

Aucun de ces deux franchissements du fleuve n'apparaît suffisamment proche du site de Félou pour permettre la réalisation des travaux de réhabilitation du seuil 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 du fleuve permettant d'abaisser suffisamment le niveau amont pour pouvoir assécher la zone voisine du seuil. Les différentes options sont analysées ci-après.

➤ *Pont provisoire*

Un pont provisoire pourrait être réalisé sur le seuil existant, en utilisant le seuil comme fondation des piles. La fondation étant assurée sans surcoût, la structure la plus économique serait alors une structure métallique, fabriquée en atelier et montée sur site, avec des travées courtes de l'ordre de 12 m, et démontable en fin de chantier.

Sa longueur serait d'environ 900 m pour relier la rive gauche à l'îlot central séparant les deux tronçons du seuil existant, et sa largeur utile d'au moins 5,50 m pour aménager deux voies de circulation.

Le coût de cet ouvrage provisoire est estimé à environ 2 730 k€.

➤ *Pont définitif*

Etant donné le coût relativement élevé du pont provisoire décrit ci-dessus, dont l'utilité serait strictement limitée au chantier en rive droite, il convient d'évaluer l'opportunité de substituer à ce pont provisoire un pont définitif qui permettrait en fin de chantier de désenclaver durablement les territoires situés en rive droite.

Un tel ouvrage destiné à être ouvert à la circulation générale devrait nécessairement être découplé de l'aménagement de Félou, et ne pourrait donc pas être posé sur le seuil. L'emplacement optimal serait situé à 500 m environ à l'amont du seuil, à l'endroit où le fleuve est le plus étroit (500 m de largeur).

La structure proposée pour ce pont définitif est constituée de piles en béton supportant un tablier mixte acier / béton préfabriqué. Pour limiter le nombre de piles à réaliser en rivière dans des conditions difficiles tout en évitant des portées très élevées qui nécessiteraient des modes de construction sophistiqués, on retiendra des portées d'environ 50 m.

La longueur du pont serait d'environ 600 m (soit à réaliser 2 culées à terre et 11 piles en rivière), la largeur utile de 7,00 m (2 voies de circulation de 3,00 m et un trottoir de 1,00 m), et la hauteur du tablier suffisante pour dégager un tirant d'air de 1 m pour la crue cinquantennale.

Le coût de cet ouvrage définitif est estimé à environ 5 200 k€ (environ 3,4 milliards FCFA).

➤ *Dérivation en rive gauche*

La troisième solution envisageable pour desservir le chantier en rive droite consiste à mettre en place une dérivation du fleuve en phase travaux, sous le niveau du seuil actuel.

Pour permettre la réalisation des travaux sur le seuil pendant une saison sèche, quel que soit le scénario de gestion future de Manantali, la capacité de la dérivation doit être d'environ 250 m³/s. Une telle dérivation peut être réalisée en rive gauche, entre l'entrée du canal d'amenée et le barrage (voir le plan FE-101).

La structure envisagée comporte 6 pertuis batardables de 6,50 m de large chacun, avec un radier intérieur à la cote 37,00, et un radier supérieur à la cote 41,00. Ce dernier permettra le passage des engins vers le seuil lorsque la dérivation du fleuve sera effective (*voir aussi le § 3.2.6. phasage des travaux*). Ces travaux seront complétés par l'excavation d'un court chenal à l'aval de la dérivation, à la cote 37, qui orientera l'écoulement vers les rapides aval.

Le coût de cet ouvrage de dérivation est estimé à environ 400 k€.

➤ *Option préconisée: dérivation rive gauche*

La solution la plus économique est la dérivation du fleuve, dans des pertuis et un chenal 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 pour assécher le seuil 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 solution consistant à réaliser un pont provisoire sur le seuil n'apparaît pas intéressante dans la mesure où elle est plus chère que la dérivation mais n'apporte pas d'avantage majeur en contrepartie.

La construction d'un pont définitif sur le fleuve en amont des rapides de Félou pourrait être intéressante dans une optique d'aménagement du territoire, car elle aiderait au désenclavement des villages de la rive droite. Dans ce cas le coût relativement élevé de ce pont ne saurait être supporté par le projet de Félou, car les villages de rive droite ne subissent pas d'impact négatif qui pourrait être compensé par ce pont. Ce pont constituerait par ailleurs une atteinte majeure à l'aspect esthétique des rapides, en barrant la perspective amont du fleuve.

3.2.2. Barrage

L'étude préliminaire formalisée dans le rapport intermédiaire de phase 1 (voir § 1.2.) a conduit l'OMVS à retenir l'option basse sur le site de Félou, dans laquelle la hauteur du seuil déversant en travers du fleuve est maintenue à la cote actuelle de 40,00.

Les fonctions du seuil sont de détourner les eaux vers le canal d'amenée à l'usine, de régulariser le niveau du plan d'eau, et de contrôler le passage du débit réservé vers les rapides de Félou.

L'évacuation des crues continuera de se faire par déversement sur toute la longueur du seuil. Pour cette solution où la crête du seuil reste très proche du terrain naturel, il n'est pas nécessaire d'envisager l'introduction d'un certain linéaire de seuil vanné (a priori par clapets), qui pourrait limiter la montée du plan d'eau durant les crues.

➤ *Structure du seuil*

L'état précis du seuil existant n'est pas parfaitement connu au stade actuel des études. Le profil montré sur le plan FE-201 provient de plans anciens de conception (1923), et non pas de plans conformes à exécution. Compte tenu du fort débit d'étiage imposé depuis la mise en service du barrage de Manantali, il sera vraisemblablement impossible de mettre à sec le

seuil et de l'inspecter avant le démarrage des travaux de construction. C'est seulement après construction de la dérivation en rive gauche que le seuil pourra être mis à sec et pourra faire l'objet d'une inspection détaillée.

Les photos aériennes (voir annexe A0) ne montrent aucune brèche dans le seuil. Il est toutefois vraisemblable qu'il devra être au moins partiellement réhabilité (sa mise en service date de 1927), de manière à assurer sa pérennité et garantir une étanchéité satisfaisante pour une nouvelle période d'au moins 50 ans. Pendant les mois d'étiage la totalité du débit de 100 à 200 m³/s passe actuellement par-dessus le seuil avec une lame de 15 à 25 cm. Une fois le projet en exploitation, la lame sur le seuil ne sera plus que centimétrique, pour laisser la majeure partie du débit passer par le canal et les turbines, tout en conservant la chute maximale correspondant au niveau amont 40,00. C'est alors que des brèches éventuelles dans le seuil deviendraient visibles et constitueraient une perte d'énergie pour l'aménagement.

Un profil type du seuil réhabilité est présenté sur le plan FE-201. Le principe de la réhabilitation consiste à purger les parties dégradées du seuil, notamment la crête, et à intégrer le matériau restant dans une gangue de béton prolongée à l'aval par un coursier de 3 m de longueur ; la largeur de la nouvelle crête sera de 1,25 m. Le coursier reposera sur le rocher affleurant qui aura été préalablement décapé. Ces dispositions devront être confirmées et précisées après l'examen détaillé du seuil existant.

Le seuil est divisé en deux tronçons: l'un en rive gauche d'une longueur de 720 m allant des pertuis de dérivation jusqu'à un îlot central émergeant au-dessus de la cote 40, et l'autre en rive droite d'une longueur de 225 m reliant l'îlot central à la berge rocheuse du fleuve.

La solution alternative consistant à créer un nouveau seuil indépendant de l'existant n'apparaît pas intéressante. Elle permettrait certes de disposer in fine d'un ouvrage entièrement neuf et homogène, mais son coût serait supérieur et l'aspect visuel du site serait localement modifié.

➤ *Débit réservé dans les rapides de Félou*

Le passage du débit réservé se fera par déversement sur toute la longueur du seuil, en contrôlant finement le niveau du plan d'eau au-dessus de l'arase du seuil.

La valeur du débit réservé qui sera demandée en exploitation n'est pas connue pour le moment. Ce débit ne pourrait être nul pendant les 6 mois de saison sèche, car un assèchement total des rapides n'est pas souhaitable, tant pour la salubrité du site que pour l'intérêt paysager du site.

Une analyse détaillée des débits mensuels moyens du fleuve Sénégal à Félou, avant mise en service du barrage de Manantali, sur la période 1951 – 1987, montre que le débit

mensuel minimal était inférieur à 3 m³/s deux années sur trois, et même tous les ans au cours de la période sèche de 1971 à 1987.

Pour les besoins de la présente étude, nous proposons donc de retenir un débit réservé 3 m³/s. Ce débit correspond à une lame de un à deux centimètres sur le seuil, en supposant que ce débit n'est pas déjà obtenu par des fuites sous ou à travers le seuil.

3.2.3. Ouvrage de tête

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

Cet ouvrage est représenté sur les plans FE-203 et FE-204.

➤ Implantation de l'ouvrage de tête

L'ouvrage d'entonnement de l'eau dans le canal d'aménée est implanté entre la dérivation et la berge rive gauche, juste à l'aval du débouché d'un petit affluent du fleuve. L'interaction éventuelle entre cet affluent et l'ouvrage de tête mérite une analyse spécifique.

L'hydrologie de l'affluent n'est pas connue précisément mais peut être estimée d'après la surface de son bassin versant, soit 90 km² environ, et des régimes hydrologiques connus de rivières similaires. Cet affluent ne produit quasiment aucun débit en saison sèche. Ses débits de crue seraient de l'ordre de 60 m³/s pour la crue centennale et 90 m³/s pour la crue millénaire.

La dérivation de cet affluent apparaît impossible aussi bien vers l'amont, du fait de la présence du village de Lonétou très proche, que vers l'aval, puisqu'il faudrait alors pouvoir canaliser des débits de crue relativement importants sur une longueur de plus de 1000 m jusqu'à l'aval de l'usine, et à des cotes bien inférieures à celle du rocher dans la zone.

On sait par ailleurs que la charge de sédiments grossiers apportés par cet affluent doit rester en quantité assez limitée puisque le canal d'aménée à l'usine existante a son entrée à proximité immédiate du débouché de l'affluent, sans avoir pour autant connu de désordre notable du fait des sédiments depuis sa mise en service en 1927.

Dans ces conditions, l'interaction éventuelle entre cet affluent et l'ouvrage de tête doit rester limitée, et l'implantation de l'ouvrage est simplement décalée vers l'aval de manière à maintenir un espacement de 20 m minimum entre le cours d'eau et l'ouvrage.

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

1. elle doit être supérieure au niveau des plus hautes eaux (P.H.E.) amont, à savoir 42,70, de manière à interdire tout débordement de l'eau en période de crues;
2. elle doit 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 43,0 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 un dépassement de la cote 44,0 à partir de la crue biennale.

Dans ces conditions, l'arase supérieure des bajoyers a été fixée à la cote 44,0 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 biennale.

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. *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 et l'autre à l'aval, d'une profondeur de 1,50 m et d'une largeur de 5 m. Le fond des pièges étant à la cote 28,50, on ne peut pas prévoir de vider ces pièges par des chasses suffisamment pentues en direction des rapides. 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. Ces pièges ont été implantés sous les deux ponts de franchissement du canal également afin de pouvoir éventuellement bénéficier d'un treuillage vertical.

3.2.5. Usine

L'usine de Félou est représentée sur les plans FE-301 à FE-306 (coupe type sur groupe, coupes horizontales et coupes longitudinales).

D'amont en aval, le profil en long topographique suivant le chemin d'eau du nouvel aménagement est quasiment horizontal sur sa plus grande partie, et se termine par une petite falaise de 15 m de hauteur descendant vers le fleuve à l'aval des rapides. L'usine a été implantée le plus à l'aval possible, au niveau de la rupture de pente du terrain naturel, de manière à minimiser les volumes d'excavation et de béton des ouvrages à réaliser (canal d'amenée, usine, canal de restitution). L'implantation précise de l'usine a ensuite été ajustée de manière à laisser suffisamment de distance entre le fleuve et le bâtiment de l'usine, pour pouvoir à la fois: i) accéder au fond de l'excavation de l'usine sans recours à des pistes d'accès débordant de trop des excavations des ouvrages, ii) et laisser suffisamment de latitude à l'entrepreneur de génie civil pour les opérations finales de construction du chenal de restitution aval.

La cote de la plate-forme d'accès à l'usine et des transformateurs est fixée à 41,00. Ce niveau préserve une revanche de 0,90 m au-dessus du niveau aval correspondant à la crue de période de retour 10 000 ans, estimé à 40,10 (voir § 2.2.3.2. et figure 2.2.13). Cette revanche 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. Il faut aussi rappeler que la loi hauteur – débit à l'aval des rapides de Félou est fortement influencée, en période de crues, par le débit de la Kolimbine, affluent rive droite qui se jette dans le Sénégal juste à l'amont de Kayes.

Compte tenu de cette implantation, de la topographie de la rive gauche et de la direction de la ligne 225 kV vers le poste de Kayes/Médine, il est impossible de placer les transformateurs et le départ des lignes HT dans l'axe des groupes, comme cela se fait souvent. L'angle qu'auraient dû faire les lignes depuis les transformateurs pour rejoindre le poste de départ en rive gauche aurait été en effet inacceptable. C'est pour cette raison que les transformateurs et le poste HT ont été placés du côté ouest de l'usine. Les câbles reliant les alternateurs aux transformateurs cheminent dans une galerie spécifique qui occupe le fond des locaux techniques de l'usine.

En conséquence la plage de montage et la plate-forme d'accès à l'usine sont placées de l'autre côté de l'usine, avec un accès depuis la route par un pont enjambant le canal d'amenée, à l'amont immédiat de l'usine.

L'espace libéré au-dessus des groupes au niveau 41,00 est occupé par des bureaux et par la salle de commande. Lors de la phase d'avant-projet détaillé, 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, bénéficieront au stade de l'avant-projet détaillé, de la participation d'un architecte.

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.

Dans le cas de Félou, ce dernier point n'est pas jugé suffisamment majeur pour contrebalancer l'avantage économique de la solution bulbe. C'est donc ce type de turbine qui a été sélectionné.

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 Félou, trois unités ont été choisies pour l'ensemble des raisons suivantes:

- coût 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: $31/500 = 6\%$, valeur suffisamment faible
- 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

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 26.50: 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 de bulbe est possible depuis le niveau 12.00 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 44.00 et la dépression à l'aval de la roue.

Les aubes de roue sont mises sous la dépendance d'un vérin hydraulique placé dans le nez de la roue. Ce vérin est alimenté par l'huile du système de régulation sous pression (60 bar minimum) injecté à l'extrémité amont de l'arbre en rotation.

L'ouverture des aubes directrices se fait également grâce à un ou deux vérins hydrauliques agissant sur le cercle de vannage et un système de leviers articulés. La fermeture du distributeur est assurée par contrepoids. La conjugaison des aubes de la roue et du distributeur est assurée par un régleur électronique situé dans le tableau de commande du groupe.

Le régulateur hydraulique piloté par le régleur électronique est implanté au niveau 26.50 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.

Le système de lubrification de chaque groupe est unique pour les deux paliers et la butée. Il est alimenté au départ d'un réservoir situé sous la turbine au niveau 12.00.

3.3.4. Drainage et exhaure

Le drainage concerne les écoulements par gravité à l'air libre qui sont collectés par gravité 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. Ces deux tuyauteries sont contrôlées par des vannes depuis le niveau 12.00. Les eaux de vidange sont ensuite recueillies dans une tuyauterie embétonnée dans le radier qui évacue l'eau vers le puisard d'exhaure. Le circuit d'exhaure peut être mis sous eau jusqu'au niveau 26.50 sans conséquence pour l'usine.

Les deux puisards de drainage et d'exhaure sont équipés chacun de pompes de type submersible permettant d'évacuer les eaux vers l'aval au-dessus des plus hautes eaux. Ces pompes peuvent être extraites des deux puisards pour être remplacées par d'autres, même si ces derniers sont sous eau, à l'aide d'une chaîne accrochée à un palan.

Le puisard de drainage peut être implanté côté aval transversalement sous les aspirateurs avec deux petites salles de pompe disposées dans les piles de séparation des aspirateurs. Les tuyaux de refoulement des pompes sont alors embétonnés et se dirigent vers l'aval pour rejeter les eaux au-dessus du niveau aval maximum. Le puisard d'exhaure est placé en bout d'usine, côté rive gauche.

3.3.5. 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 26.50.

Le transformateur des auxiliaires généraux ainsi que les tableaux généraux BT sont situés au niveau 31.00. Il en est de même des équipements CC avec local batterie et redresseur.

Les passages de câbles se font en majorité via des galeries accessibles situées le long du mur aval de l'usine.

Les trois transfos élévateurs principaux avec leur protection incendie ont été implantés à l'extérieur de l'usine au niveau 41.00. Ils sont orientés vers la sous-station qu'ils doivent alimenter. Le groupe diesel de secours se situe à proximité des transfos 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 26.50.

En opération normale, les 3 groupes seront commandés depuis la salle de contrôle implantée au niveau 41.00 où se situent également outre des bureaux, l'atelier et le local de climatisation.

L'étage au niveau 35.50 reçoit les équipements de protection des transfos principaux, le reste de l'étage étant réservé pour des locaux sociaux et des magasins.

3.3.6. 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 1m/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 44.00 ; 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 44.00.

Le batardeau aval est constitué de plusieurs éléments mis en place à l'aide du portique aval situé au niveau 41.00.

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).

3.4. 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 FE-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 Félou au réseau HT

Trois possibilités de raccordement de la centrale de Félou au réseau HT peuvent être considérées a priori :

1. Raccordement direct des transformateurs sur le poste de Kayes (situé à Médine, environ 10 km au sud-est de Kayes).

La distance entre la centrale de Félou et le poste de Kayes étant relativement faible (3 km environ), on pourrait envisager de raccorder directement chaque transformateur de l'usine au poste de Kayes via une ligne aérienne, ce qui nécessiterait trois lignes pour les trois groupes prévus.

2. Raccordement en dérivation du poste de Félou sur la ligne HT existante.

Le rabattement de la ligne existante au droit de Félou permettrait de raccorder le poste de Félou au réseau HT. Ultérieurement, lors de la réalisation de l'aménagement de Gouina, un second rabattement de la ligne y serait réalisé.

3. Création d'une nouvelle ligne HT entre les postes de Félou et de Kayes.

Une ligne d'environ 3 km serait réalisée entre le poste de Félou et le poste de Kayes. Cette ligne serait 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 Gouina, à 55 km environ au Sud de Félou.

La première option n'est pas recommandée car, en tenant compte de la ligne existante et de la ligne à créer en provenance de la centrale de Gouina, on aurait à terme un total de cinq lignes 225 kV cheminant entre Félou et le poste de Kayes.

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

Au stade actuel des études, c'est donc la troisième option qui est retenue, qui nécessite la création d'un poste de départ à Félou et d'une nouvelle ligne 225 kV d'une longueur de 3 km entre Félou 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 deux situations possibles :

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

3.4.3.1. Réalisation de Félou seul (plan FE-403)

La centrale de Félou est raccordée directement au poste 225 kV de Kayes par une ligne de 3 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 Gouina 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 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 Félou.

Le coût des équipements 225 kV est estimé à 5 390 k€ (soit environ 3,5 milliards FCFA) qui se répartissent en :

- poste 225 kV de la centrale 4 125 k€

- adjonction d'une travée arrivée ligne à Kayes 825 k€
- ligne 225 kV entre poste de Félou et Kayes 440 k€

3.4.3.2. Réalisation de Félou et de Gouina (plans FE-404 et FE-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 (200 MW). 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, et un renforcement de cet axe devrait être réalisé.

Deux options techniques sont envisageables : le doublement de l'axe Ouest existant entre Kayes et Dakar (plan FE-404), ou la création d'une ligne nouvelle par le Sud reliant Kayes à Tambacounda et Kaolack (plan FE-405).

➤ Option 1 : doublement de la ligne Ouest existante (plan FE-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 supplémentaire 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 : nouvelle ligne Kayes – Tambacounda – Kaolack (plan FE-405)

Dans cette variante, le doublement envisagé de l'axe Ouest existant est remplacé 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 l'avantage d'améliorer sensiblement la desserte du Sud du Sénégal et 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 – Mamou - Fomi fait d'ailleurs partie de l'ossature principale envisagée au niveau du NEPAD pour interconnecter la majeure partie des pays d'Afrique de l'ouest.

Le coût de réalisation de ce nouveau réseau, au-delà des coûts de raccordement de Félou 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.

➤ *Conclusion*

Compte tenu de l'écart de coût important entre les options 1 et 2, et des avantages supplémentaires apportés par l'option 2 en termes de souplesse d'exploitation sur tout le réseau, de fiabilité accrue de la fourniture de l'énergie de Manantali, Félou et Gouina, de couverture d'une zone supplémentaire de territoire de la région (désenclavement du Sud-est du Sénégal), et de possibilité d'interconnexion avec la Guinée et d'autres pays de la région, nous préconisons de retenir l'option 2.

3.4.3.3. Renforcement de la fiabilité du réseau

Que ce soit dans le cas de Félou réalisé seul, ou de Félou 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 Félou ou Gouina, qui ne constituent qu'une partie des moyens de production alimentant ce réseau.

4. ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

4.1. Impacts socio-environnementaux potentiels de l'aménagement de Félou

4.1.1. Préliminaire

L'évaluation des impacts de l'aménagement de Félou sera réalisée par rapport à la situation de référence définie ci-dessus. En conséquence, l'étude considère comme acquis les aménagements antérieurs ou en cours et n'a pas à évaluer leurs impacts qui ont été, ou qui auraient du être, évalués par ailleurs. Le projet de Félou n'a pas – en conséquence - à atténuer ou compenser les éventuels impacts environnementaux résiduels du projet d'aménagement de Manantali (barrage et ligne ouest) et il importe que dans tout le processus d'aménagement de Félou, ses propres impacts soient bien distingués des impacts des autres projets (sauf s'il était envisagé par l'OMVS, à un stade ultérieur, de conduire une évaluation des impacts cumulés des différents projets qu'elle gère dans la région).

4.1.2. Impacts potentiels de l'aménagement de Félou

4.1.2.1. Considérations générales

Il ressort de la situation de référence définie ci-dessus, et pour la variante de cote sélectionnée, que :

- a. les ouvrages définitifs de l'aménagement (canal, usine, installations d'exploitation, réseau de transport) ne nécessiteront pas de désaffecter des zones habitées ou à vocation agro-pastorale. Les ouvrages provisoires (installations de chantier) pourront également être édifiés sur des terrains non occupés et qui recèlent peu ou pas de potentialités en ressources naturelles exploitables;
- b. la variante retenue pour l'aménagement de Félou (cote du seuil inchangée à la valeur 40) et le maintien du principe de production au fil de l'eau ne modifieront pas sensiblement les écoulements actuels, les crues resteront inchangées et les débits lâchés par le barrage de Manantali seront restitués intégralement en aval de l'usine après turbinage. Par conséquent, les impacts négatifs déjà signalés, et ayant Manantali pour origine, ne seront pas amplifiés et aucun autre impact sur l'écoulement du fleuve ne sera créé en amont ou en aval de l'aménagement. Par ailleurs, conformément aux résultats de l'analyse des variantes effectuée dans le rapport intermédiaire (octobre 2001), aucune zone d'habitation ou d'activités économiques ne sera inondée du fait du projet;

- c. le tracé de la ligne de raccordement de l'usine à la centrale de Médine suivra l'itinéraire de la route d'accès au chantier, route qui sera construite dans une zone actuellement non occupée et à l'écart des zones d'intérêt culturel et paysager (fort et village de Médine, piste d'accès au site à partir de Médine).

Compte tenu de la variante de cote de seuil retenue, il ressort que les impacts environnementaux de l'aménagement de Férou résulteront seulement des activités de construction et d'exploitation. Ces impacts tant positifs que négatifs concerneront les activités économiques, les ressources naturelles, la santé. Ils ne sont pas quantifiables avec précision et ne peuvent être définis que de manière qualitative, à ce stade de l'étude du projet.

4.1.2.2. Impacts positifs de l'aménagement de Férou

a. *Emploi*

De nombreux emplois seront créés tant pendant les travaux qu'en phase d'exploitation. Les populations auront ainsi la possibilité d'obtenir des revenus additionnels.

Les emplois sur le chantier seront plus nombreux mais seront à durée déterminée. L'exploitation induira des emplois plus durables mais en nombre limité. Les ouvrages étant communs aux trois pays membres de l'OMVS, il est d'usage que le recrutement soit ouvert aux ressortissants de ces pays. Pour les emplois non qualifiés, la politique de recrutement devrait favoriser les populations vivant à proximité du site. Les postes d'encadrement local auront un impact davantage sous-régional.

Tant pendant les travaux qu'en phase d'exploitation, l'établissement de travailleurs 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 qui auront plus de raisons de développer leurs productions afin de générer des surplus à vendre. Des activités commerciales vont être développées par les populations locales et des immigrants, et bénéficieront à tous.

b. *Electrification rurale*

Compte tenu de l'électrification de la région à partir du poste de Médine et du barrage de Manantali, le projet n'apportera pas de bénéfice additionnel pour faciliter le développement de l'électrification rurale. Toutefois, l'énergie électrique de base pourra être fournie aux villages immédiatement voisins de l'usine en tant que mesure de compensation globale.

c. Désenclavement

Avant toute amélioration générale éventuelle du réseau routier régional (route Mahina-Kayes), la route d'accès au chantier de construction, qui sera aménagée à partir de Kayes, aura un impact positif certain sur le développement des infrastructures de transport et le désenclavement local, lui-même ayant un effet positif direct sur l'écoulement des produits agricoles de la zone vers le marché de Kayes. Du fait de ses bonnes caractéristiques géométriques et structurelles, cette route pourra être intégrée au réseau national classé.

En particulier, l'amélioration de la route de Kayes au site du barrage, pour les besoins du chantier, contribuera au désenclavement de la ville de Médine, du site historique et culturel du fort de Médine ainsi que du futur musée qui le complétera. Elle devrait également amplifier la fréquentation des chutes de Félou dont le débit naturel ne sera sensiblement modifié qu'en période de basses eaux, et dont les rochers aux formes caractéristiques ne seront pas affectés par le projet.

d. Economie régionale

La production hydroélectrique se substituera à la production 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 sera en partie réalisée après la mise en service de Manantali.

e. Environnement global – Gaz à effet de serre

La production hydroélectrique est une énergie renouvelable, à la différence de la production thermique. Le plan d'eau en amont de la retenue restant à l'intérieur de ses limites actuelles, il n'y aura pas de pertes additionnelles par évaporation, ni de production de gaz à effet de serre par décomposition de matière organique noyée, dans la mesure où aucune surface additionnelle n'est noyée.

Par contre la substitution de production 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 du fuel des centrales diesel.

4.1.2.3. *Impacts négatifs potentiels de l'aménagement de Félou*

a. Les sols

Pendant la construction et plus tard au cours de l'exploitation des équipements, les impacts négatifs à craindre sont notamment:

- la dégradation de la topographie naturelle et du paysage ainsi que la structure des sols (décapage de la terre végétale) consécutivement à l'exploitation des carrières et emprunts de matériaux (sable, gravillons, moellons etc.). Toutefois, ces emprunts devraient rester réduits dans la mesure où les ouvrages à réaliser seront peu demandeurs en matériaux, et que l'essentiel des agrégats pourra être fourni par les excavations au rocher réalisées pour l'usine et le canal;
- le stockage des déblais du canal d'aménée dans des sites peu appropriés;
- la pollution des sols du fait des déversements des produits d'entretien (huiles usées en particulier) des véhicules et engins, des déchets et débris de construction et d'exploitation, du stockage de produits contaminants.

b. L'air

Les émissions excessives de gaz d'échappement par les véhicules et les engins utilisés pendant la construction et l'exploitation, ainsi que l'envol des poussières des matériaux de construction, sont susceptibles de polluer l'air. Il n'y a par contre pas à craindre des émissions de gaz de décomposition, aucune matière organique n'étant noyée.

c. La qualité des eaux

Pendant les travaux de construction et plus tard en phase d'exploitation, les eaux souterraines pourraient être polluées par les produits d'entretien des véhicules, des engins et moteurs ainsi que le stockage de produits et matériaux contaminants.

Les rejets anarchiques de déchets solides et liquides ainsi que les dépôts de produits et matériaux contaminants, pourraient entraîner une pollution de l'eau du fleuve en particulier en phase de construction. En général, une telle pollution devrait être localisée aux sites des ouvrages. Cependant, des effets négatifs en aval ne seraient pas à exclure dépendant de la nature de l'agent polluant et de l'ampleur de la contamination. En dehors de ces effets accidentels, la qualité de l'eau ne devrait pas être modifiée par le turbinage, ni par la décomposition de matière organique noyée, compte tenu du maintien du plan d'eau dans ses limites actuelles.

d. Les ressources forestières et la végétation

L'implantation des chantiers (aires de travaux et cités) et des cités définitives d'exploitation, la construction des lignes de transport de l'énergie et des routes d'accès, ne devraient entraîner que des déboisements très localisés. Par contre, pour satisfaire leurs besoins en bois, les travailleurs recrutés sur les chantiers pourraient augmenter la pression sur les ressources forestières.

e. La faune terrestre

La faune terrestre est déjà très limitée et souffre d'un manque d'habitat. Cette situation ne devrait pas être aggravée par les aménagements projetés. Cependant, il est à craindre que les travailleurs recrutés sur les chantiers de construction ne se livrent au braconnage.

Par ailleurs les risques d'électrocution des oiseaux migrateurs par la ligne de raccordement entre Félou et le poste de Médine ne sont pas à exclure mais restent très réduits compte tenu du faible linéaire à créer.

f. La faune aquatique

Pendant les travaux, les travailleurs pourraient s'adonner à la pêche. Les systèmes actuels de production seraient perturbés et on peut craindre un accroissement de la pression sur les ressources actuellement considérées comme insuffisantes. Il existe également des risques de braconnage de certaines espèces protégées comme les crocodiles et les hippopotames. Sous réserve d'inventaire, leur présence dans cette zone relativement peuplée est vraisemblablement marginale.

Le maintien du plan d'eau à une cote très proche de la cote actuelle ne devrait pas avoir d'impact significatif sur les ressources halieutiques. Par contre un accroissement durable de la population riveraine par effet d'attraction entraînerait une surexploitation probable des ressources résiduelles.

g. Les paysages

Malgré tous les efforts qui ont été faits lors de la conception des ouvrages, en raison de la topographie du site, l'aménagement projeté aura un impact négatif sur le paysage. En effet,

le panorama du site, particulièrement à partir de la piste de Médine, sera affecté par les

installations de l'usine et par sa voirie. Il pourrait l'être également par les excavations effectuées sur le site et la dimension des aménagements et des superstructures.

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, ne laissant sur le seuil qu'une lame d'eau de quelques centimètres. Toutefois cet aspect pourrait être amélioré en surélevant très légèrement le seuil à l'amont du chenal rive droite, rehaussement qui serait sans effet sur le passage des crues. Cet impact ne sera plus perceptible en période de hautes eaux. A part cela, la vue sur les chutes ne devrait pas être modifiée dans la mesure où le seuil sera construit ou réhabilité à la même cote qu'actuellement. On notera que, jusqu'à la mise en service de Manantali en 1987, le débit naturel passant par-dessus le seuil pendant le creux de la saison d'étiage correspondait sans doute également à une lame d'eau de quelques centimètres seulement.

Des dégradations du paysage pourraient également provenir des déchets (ordures en particulier) occasionnés par les travailleurs, l'installation de migrants pendant les travaux et l'exploitation, ou l'abandon de carcasses d'équipements et de d'éléments de constructions par les entrepreneurs.

L'arrivée sur le site des chutes par la piste de Médine, dans un « défilé » vierge de tout artefact constitue une valeur paysagère forte (au regard des autres valeurs paysagères) qui serait affectée si cette piste devait être élargie, bitumée et offerte au trafic du chantier. Ajoutée aux contraintes de passage dans Médine (voir plus loin), la transformation de cette piste en route de chantier ne peut être recommandée.

Le caractère artificiel des matériaux employés (béton, structures métalliques...) participera également à l'altération des paysages.

L'ensemble des impacts paysagers se produira en rive gauche.

h. Les populations et l'urbanisme

Le nonaccès à l'électricité des populations locales habitant à proximité de la zone d'implantation des ouvrages et de traversée des lignes HT, risque d'amplifier et d'exacerber les sentiments de déception et de révolte qui sont actuellement exprimés pour le modeste aménagement existant à Félou. Les populations auront l'impression d'être laissées pour compte et de ne pas profiter des ressources exploitées dans leurs terroirs. Les insatisfactions de cette nature exprimées à Kayes auront cependant été satisfaites entre-temps par la production de Manantali.

L'on doit également envisager qu'un phénomène d'immigration spontanée se produira avec une urbanisation incontrôlée dans les villages avoisinants et dans la ville de Kayes. Ajouté aux effets des effectifs ouvriers, ce phénomène peut contribuer à l'insécurité et à des déséquilibres culturels (conflits fonciers, conflits communautaires, trafics divers).

Le débit et les dimensions du canal d'aménée deviendront incompatibles avec ses usages annexes habituels (soins corporels, lessive, abreuvement) et accroîtront considérablement les risques de noyade. Ces usages restent cependant nécessaires.

En matière d'agriculture et d'élevage, et si les producteurs locaux ne peuvent suivre l'accroissement de la demande en produits, les approvisionnements pourraient dévier vers d'autres régions reliées par la route ou le chemin de fer et feraient perdre aux producteurs locaux l'opportunité d'accroître leurs activités et leurs revenus.

i **La santé**

Les risques sanitaires se situent essentiellement au niveau de l'afflux important d'immigrants à la recherche d'emplois sur le chantier, et au personnel de chantier lui-même. Cette immigration et la concentration humaine qui en découleront, constitueront un facteur de risque pour la transmission de maladies contagieuses de toutes natures. Les affections concernées peuvent être les maladies sexuellement transmissibles et le SIDA en particulier, la, bilharziose, etc.

En dehors de cette cause, le projet ne porte pas de risque accru dans la mesure où le plan d'eau stagnant n'est pas sensiblement modifié (effet sur la bilharziose et le paludisme) et où la suroxygénation de l'eau (facteur d'onchocercose) était une condition déjà réalisée par les chutes elles-mêmes.

j) **Les facteurs culturels, archéologiques et historiques**

A priori l'aménagement ne devrait pas avoir d'impacts négatifs sur le plan culturel. Des sites archéologiques ne sont pas signalés dans les zones d'étude. Par ailleurs, il ne semble pas y avoir de rites et croyances religieuses attachés aux chutes naturelles. Des investigations complémentaires devront cependant être menées lors de l'EIE détaillée.

Par contre, le site historique de Médine se trouve réparti autour de la piste actuelle traversant le village du même nom par des passages étroits. L'élargissement de cette route dans Médine et le trafic intense lors du chantier auraient des effets extrêmement néfastes sur l'intégrité du site qui ne seraient en aucun cas contrebalancés par les facilités d'accès ainsi offertes. Une telle solution est considérée comme inacceptable et un autre accès au chantier devra être recherché, tout en prévoyant de tracer un axe routier praticable de Médine à l'embranchement entre la route du chantier et l'actuelle route Kayes-Médine.

Une fréquentation accrue du site de Médine est également prévisible durant la phase de chantier.

4.2. Recommandations pour l'atténuation des impacts environnementaux

4.2.1. Les textes d'orientation

Dans le domaine environnemental, le contexte sous-régional de l'étude 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, et dont l'aménagement de Félou constitue une mesure d'accompagnement. Ce programme est 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 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, en cours d'élaboration, le PASIE constitue une référence pour déterminer les mesures d'atténuation du projet d'aménagement de Félou. 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.

L'identification préliminaire des impacts qui précède montre que les impacts négatifs potentiels de l'aménagement de Félou sont essentiellement liés aux travaux de construction et à l'exploitation des ouvrages.

Tous ces impacts avaient également été identifiés pour le projet "Energie de Manantali" actuellement en cours d'achèvement et leur atténuation a fait l'objet de programmes qui figurent dans le PASIE. On peut citer en particulier les mesures d'atténuation et de compensation relatives:

- à l'optimisation des tracés des lignes pour minimiser leurs impacts sur l'environnement (ressources naturelles, établissements humains et activités économiques);
- à l'appropriation des emprises nécessaires à l'établissement des lignes et des postes;
- aux spécifications à respecter pendant les travaux de construction de la centrale, des postes et des lignes, afin d'assurer convenablement la protection de l'environnement;
- à la lutte contre les maladies hydriques dans le cadre d'un Plan sanitaire régional;
- au suivi et à la protection de l'environnement pendant l'exploitation des ouvrages.

Le PASIE est mis en œuvre depuis bientôt 4 ans, dans le cadre de l'exécution du projet «Energie de Manantali». Au stade de l'étude d'impact environnemental détaillée, qui devra être exécutée à un stade ultérieur conformément aux réglementations environnementales des différents Etats membres et, très vraisemblablement, conformément au Code de l'environnement des Etats membres en préparation, il conviendra d'actualiser et d'enrichir le PASIE en fonction des enseignements de cette EIE.

Dans l'immédiat, les mesures d'atténuation se référeront au cadre du PASIE, autant qu'il le permet, mais sans que leur application en soit dépendante à ce stade. En effet, l'application d'un plan environnemental pour Félou peut nécessiter une adaptation du schéma institutionnel du PASIE à ce nouveau projet.

Enfin, après avoir rendu le projet conforme à un principe de base qui est de minimiser le déplacement involontaire de population, l'on se référera à deux principes de base des directives de la Banque mondiale qui sont 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. Toutefois, le fait que la variante retenue minimise les impacts sociaux, ces principes pourront davantage se référer à des mesures et des financements d'accompagnement qu'à des mesures de compensation à la charge exclusive du promoteur.

4.2.2 Principales mesures d'atténuation environnementale

Les sols, l'air et la qualité des eaux

Les mesures d'atténuation concerneront essentiellement la phase de chantier et incluront en particulier des mesures visant à:

- 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.

Le cahier des charges d'exploitation devra également intégrer des dispositions prévenant les nuisances et les pollutions du milieu physique.

Les ressources forestières, la végétation, la faune terrestre et aquatique

Les emprises du chantier, des routes et de la ligne soustrairont au patrimoine naturel une superficie de ressources végétales et ligneuses dans des domaines non classés. Un inventaire de flore et de faune sera néanmoins nécessaire lors de l'EIE détaillée.

La sélection des couloirs pour la ligne de transport électrique et les accès au chantier sera réalisée de façon à minimiser les impacts sur les ressources naturelles.

Les ressources naturelles de la zone (bois, gibier, poisson) pourront être protégées des prélèvements par les personnes du chantier, par exemple en: i) organisant leur gestion par les communautés riveraines, ii) réservant leur exploitation aux exploitants traditionnels et iii) renforçant la surveillance en particulier de la pêche et du braconnage.

Enfin, des opérations de reboisement villageois pourront être prévues afin de compenser les ressources ligneuses et les pâturages naturels inévitablement perdus même en quantité limitée.

Paysages

Le paysage des chutes de Félou vaut d'être préservé autant que possible, en tant que valeur touristique, même potentielle. Les mesures de protection pourront être les suivantes:

- Localisation des installations industrielles le plus à l'écart possible du site. Une simulation en 3 dimensions du paysage selon différents points de vue sera souhaitable au stade de l'EIE détaillée.
- Maintenir un débit minimum dans les chutes en période d'étiage, pour des aspects paysagers mais aussi pour maintenir la salubrité du milieu. Des réglages de la hauteur du seuil pourraient être envisagés afin de concentrer le débit résiduel dans les secteurs les plus sensibles.
- Réaliser l'aménagement d'un site d'observation sur les chutes et la retenue.
- Au stade de l'avant-projet détaillé, prévoir d'utiliser au maximum des matériaux et des procédés limitant les atteintes au paysage.
- Limiter la réfection du tronçon de piste Médine-Félou à une piste à vocation touristique, étroite mais de bonne qualité praticable tous-temps; financer l'entretien de cet accès à partir de redevances d'exploitation des aménagements; adopter un statut de protection de ce site naturel, incluant dès maintenant l'aspect naturel de la rive droite à hauteur des chutes et en aval.

En phase de chantier, le cahier des charges des entrepreneurs prévoira la gestion et l'enlèvement des déchets ainsi que des mesures telles que la remise en état des fouilles, le régalaie des remblais.

Population, urbanisme et aménagement du territoire

Le village de Lonétou sera confronté à des nuisances physiques et sociales provenant du chantier, sans qu'un déplacement de population soit nécessaire. En outre, l'on doit s'attendre à un développement rapide des activités de commerce et à un accroissement de la population. On peut s'attendre à ce que les villages à proximité immédiate du site deviennent des agglomérations plus importantes, ainsi que des lieux de collecte et de distribution des productions de la zone, du fait du raccordement tous-temps à Kayes par la route de chantier et de l'accès facilité à la gare la plus proche.

En conséquence, des infrastructures publiques et commerciales supplémentaires, ainsi qu'une amélioration de la voirie devront être prévues, ainsi qu'un plan d'urbanisme villageois et l'aménagement de plates-formes supplémentaires pour recevoir des immigrants. Toutefois, l'accueil d'immigrants sera nécessairement conditionné par l'accord préalable des autorités villageoises.

Le village de Médine, également sensible, peut de même être affecté par une immigration spontanée.

L'afflux de population peut également rendre nécessaire un renforcement des effectifs de sécurité et de surveillance pendant la durée du chantier (gendarmerie, eaux et forêts).

Plus généralement, un appui à la planification urbaine devrait être fourni aux collectivités territoriales concernées (Kayes, communes rurales) pour les préparer à accueillir dans de bonnes conditions un accroissement de population par l'effet d'immigration.

Les cahiers des charges des entrepreneurs devraient privilégier l'emploi local (villages avoisinant et Kayes). L'accès local à l'emploi qualifié devrait également être facilité par des formations appropriées.

Dans le cas où les villages proches du site de Félou ne seraient pas concernés par les programmes d'électrification rurale prévus au PASIE, un raccordement à la station de l'usine peut être envisagé aux fins de couvrir des besoins de base: éclairage public et des lieux publics, possibilités de raccordement de petit équipement électrique.

Plus spécifiquement, le canal d'aménée devra être mis hors de toute atteinte des hommes et des animaux. Des aménagements de substitution tels que lavoir, abreuvoir, zone de baignade sécurisée pour les besoins de la population avoisinante, et compatibles avec la prévention de la bilharziose, devront être créés à Lonétou.

Santé

Une campagne de prévention sanitaire sera également indispensable dans la phase de chantier, avec l'ouverture d'un dispensaire, la mise aux normes des services sanitaires dans les villages avoisinants et un effort particulier pour la prévention et les soins relatifs aux MST.

Bien que le projet ne modifie pas les conditions du site en matière de 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 prévalantes.

Facteurs culturels, archéologiques et historiques

Il conviendra d'éviter toute atteinte au site historique de Médine qui devra également bénéficier de mesures de planification de son développement et d'électrification rurale, selon un cahier des charges de protection du site. Les mesures recommandées dans ce sens sont les suivantes:

- Tracer la route d'accès au chantier et le tronçon Félou-Kayes hors du paysage et du village de Médine;
- Idem pour la ligne de transport électrique (l'emplacement de la station de la ligne Ouest du projet "Energie de Manantali" a du avoir été optimisé par ailleurs);
- Limiter la réfection de l'accès à Médine et de la traversée de Médine à une piste de bonne qualité praticable tous-temps ou à un revêtement maintenant le caractère historique de la zone; financer l'entretien de cet accès par les redevances d'exploitation des aménagements.
- Compte tenu de l'intérêt et des besoins de ce site, on devra également évaluer dans quelle mesure l'exploitant de l'aménagement pourrait être un des parrains permanents de l'entretien du site.
- Considérant le caractère rare de la juxtaposition de deux générations d'aménagements hydroélectriques d'époques différentes, maintenir, réhabiliter et réaffecter l'usine de 1927 à un usage de tourisme industriel; ouvrir parallèlement et autant que possible le nouveau site industriel aux visites pour compléter les thèmes d'intérêt.

Développement local

Le projet et son exploitation seront d'autant mieux intégrés dans leur environnement social qu'ils pourront contribuer directement (accès au chantier, électrification) ou indirectement au développement local. Des opportunités sociales (emploi) et économiques (marché pour les

produits) seront créées mais un effort de développement reste nécessaire pour les mettre réellement en valeur. Un plan de développement local peut être envisagé sur financement public. Un tel plan consisterait à :

- Mettre à jour les plans de développement et d'aménagement des terroirs et les intégrer dans une planification écologique, sociale et économique de la région d'influence du projet;
- Mettre à niveau les capacités de production agricole (productions végétales, animales et pêche) des villages de la petite région de la retenue afin de les rendre capables d'approvisionner le chantier et leur faire bénéficier de l'effet de désenclavement vers Kayes;
- Prévoir la réhabilitation de la piste reliant les différents villages de la zone à Kayes, afin que la production agricole de la zone puisse concurrencer la production des autres régions sur le marché de Kayes;
- Classer éventuellement, ou renforcer le statut de protection, de certaines zones naturelles.

Mesures de suivi environnemental

Elles consisteraient à organiser le suivi de certains paramètres environnementaux (ci-dessus) dans un cadre adapté associant le niveau local (villageois), le niveau régional (région de Kayes) et le niveau OMVS. Ce suivi se situe à court et moyen termes, dans le cadre du projet et long terme dans le cadre de l'Observatoire de l'environnement en cours de mise en place par l'OMVS.

4.2.3 Mesures préalables

Des mesures préalables à l'EIE sont recommandées en cas de décision positive sur l'aménagement de Félou. Elles seraient en particulier les suivantes :

- Evaluation et actualisation éventuelle du PASIE préalable au lancement de l'appel d'offres pour l'EIE détaillée (dans la mesure où le PASIE devra constituer un des cadres de référence de l'EIE).
- Création d'une capacité permanente d'information à Kayes afin de sensibiliser la population et les autorités à ce projet, tenir la population constamment informée de l'avancement du projet pour éviter l'effet néfaste de la sous-information vécue lors du projet Manantali (selon nos interlocuteurs) et identifier les contraintes socio-environnementales afin d'orienter l'EIE détaillée.

5. EVALUATION ECONOMIQUE PRELIMINAIRE ET DIMENSIONNEMENT

5.1. Production d'énergie

La production moyenne d'énergie de l'aménagement de Félou est calculée à partir des apports attendus du fleuve Sénégal et de la puissance installée de l'aménagement. Il s'agit en effet d'un aménagement au fil de l'eau, sans capacité de régularisation des apports.

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 2.2.6. montre les courbes de débits classés pour ces différentes hypothèses. 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 5 scénarios.

Ces courbes de débits classés sont la synthèse des apports mensuels attendus à Félou, 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 2.2.14).

La combinaison des courbes de débits classés et de la relation chute – débit permet de déterminer les courbes de puissances classées. Elles sont dessinées sur la figure 5.2 pour les deux scénarios IRD, et sur la figure 5.3 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 Félou, de la baisse sensible de la chute en période de crues: la chute turbinable maximale est proche de 15 mètres, à l'étiage, alors que la chute se réduit à seulement 9 mètres pour un débit du fleuve de 4600 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 suivantes sont obtenues pour les différentes puissances installées, et pour le scénario 100 (IRD) de gestion de Manantali :

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

Débit d'équipement (m ³ /s)	Puissance installée (MW)	Energie moyenne (GWh/an)
100	13,6	114.0
200	26,5	200.5
300	38,8	246.9
400	50,8	287.3
500	62,3	320.4
600	73,6	342.5
700	84,7	360.5
800	95,2	376.2

La figure 5.4 présente les valeurs de l'énergie moyenne qui seraient obtenues pour les débits d'équipement de 100 à 800 m³/s et pour les 5 scénarios précités. Ces courbes montrent essentiellement:

- une augmentation rapide de l'énergie produite en fonction du débit d'équipement, entre 100 et 400 m³/s, avec un quasi triplement de la production moyenne (de 110 à 300 GWh/an);
- un tassement du gain de production au-delà de 600 m³/s, avec 30 GWh/an gagnés en passant de 600 à 800 m³/s.
- une dispersion d'environ 30 GWh/an assez constante entre les différents scénarios, pour les débits au-dessus de 200 m³/s.

Le tableau 5.2 ci-dessous donne également la puissance garantie 95% du temps, selon les scénarios et selon les débits d'équipement.

Tableau 5.2
Résumé des performances énergétiques

			Débit d'équipement (m ³ /s)							
			100	200	300	400	500	600	700	800
	Chute nominale	m	15,09	14,68	14,36	14,08	13,84	13,63	13,43	13,22
Z_s =40,0 Scenar. 100	Puissance installée	MW	13,6	26,4	38,8	50,7	62,3	73,6	84,7	95,2
	Puissance garantie (95%)	MW	11,6	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
	Energie moyenne	GW.h/an	114,0	200,5	246,9	287,3	320,4	342,5	360,5	376,2
	Facteur d'utilisation		0,96	0,87	0,73	0,65	0,59	0,53	0,49	0,45
	Débit moyen	m ³ /s	99,7	177,3	220,6	259,1	291,4	313,6	332,1	348,5
	Chute moyenne	m	14,49	14,35	14,19	14,06	13,94	13,85	13,77	13,69
Z_s =40,0 Scenar. 102	Puissance installée	MW	13,6	26,5	38,8	50,8	62,3	73,6	84,7	95,2
	Puissance garantie (95%)	MW	11,5	21,5	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1
	Energie moyenne	GW.h/an	113,7	217,8	255,6	285,3	311,1	332,3	350,7	366,7
	Facteur d'utilisation		0,96	0,94	0,75	0,64	0,57	0,52	0,47	0,44
	Débit moyen	m ³ /s	99,5	192,3	227,8	256,5	282,0	303,3	322,3	339,1
	Chute moyenne	m	14,50	14,37	14,23	14,10	13,99	13,89	13,80	13,72
Z_s =40,0 Scenar. 3byc	Puissance installée	MW	13,6	26,5	38,8	50,7	62,3	73,6	84,7	95,2
	Puissance garantie (95%)	MW	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	Energie moyenne	GW.h/an	108,5	211,6	271,3	300,9	325,6	345,8	363,4	378,3
	Facteur d'utilisation		0,91	0,91	0,80	0,68	0,60	0,54	0,49	0,45
	Débit moyen	m ³ /s	95,1	186,9	241,8	270,1	294,3	314,4	332,2	347,7
	Chute moyenne	m	14,47	14,36	14,23	14,13	14,04	13,95	13,87	13,80
Z_s =40,0 Scenar. 4ayt	Puissance installée	MW	13,6	26,5	38,8	50,7	62,3	73,6	84,7	95,2
	Puissance garantie (95%)	MW	11,8	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5
	Energie moyenne	GW.h/an	113,9	215,2	276,4	314,7	345,1	365,1	381,4	394,8
	Facteur d'utilisation		0,96	0,93	0,81	0,71	0,63	0,57	0,51	0,47
	Débit moyen	m ³ /s	99,7	189,9	246,2	282,4	311,9	331,8	348,3	362,3
	Chute moyenne	m	14,49	14,37	14,24	14,13	14,03	13,96	13,89	13,82
Z_s =40,0 Scenar. 4byc	Puissance installée	MW	13,6	26,4	38,8	50,7	62,3	73,6	84,7	95,2
	Puissance garantie (95%)	MW	11,8	22,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7	23,7
	Energie moyenne	GW.h/an	114,0	223,2	282,7	318,5	347,2	366,2	381,8	394,7
	Facteur d'utilisation		0,96	0,96	0,83	0,72	0,64	0,57	0,51	0,47
	Débit moyen	m ³ /s	99,8	196,9	251,6	285,5	313,3	332,3	348,2	361,5
	Chute moyenne	m	14,48	14,38	14,25	14,15	14,05	13,98	13,91	13,85

5.2. Sélection de la puissance installée

Dans le cas de Férou, qui est un aménagement hydroélectrique purement au fil de l'eau, la puissance installée varie seulement avec le débit d'équipement de la centrale. 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 n'aura aucun effet supplémentaire sur l'environnement, en dehors de ceux qui ont été identifiés précédemment (voir le chapitre 4).

En conséquence la sélection du débit d'équipement a été effectuée sur le seul critère économique de la maximisation du bénéfice net du projet.

Le chapitre 5.4 ci-dessous présente les bases d'évaluation des bénéfices économiques de l'aménagement. Les coûts variables de l'aménagement ont été calculés pour les débits d'équipement de 100 à 800 m³/s. Le bénéfice net actualisé a été calculé pour chacune de ces 8 valeurs de débit comme la différence entre les bénéfices et les coûts, en considérant les taux d'actualisation de 8%, 10% et 12%.

Les calculs ont été répétés pour les 5 scénarios de gestion de Manantali précédemment sélectionnés. Les courbes des figures 5.5 à 5.9 montrent comment varie le bénéfice net en fonction du débit d'équipement, pour chacun des trois taux d'actualisation. 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.

L'analyse de ces figures fournit les informations suivantes:

- a. le bénéfice net augmente rapidement entre 100 et 300 m³/s. Les variations sont plus lentes entre 300 et 800 m³/s
- b. pour le taux de 10%, le maximum des courbes est atteint pour 400 m³/s ou pour 500 m³/s. Dans tous les cas la courbe est assez plate autour du maximum, puisque la différence de bénéfice net entre le maximum et le point de la courbe immédiatement inférieur ne dépasse pas 1.8 millions d'Euros (scénario 100)
- c. pour le taux de 12%, le maximum est atteint entre 300 m³/s et 500 m³/s, alors que pour le taux de 8%, ce maximum est toujours atteint pour 500 m³/s.

Un taux inférieur à 8%, qui donnerait plus de poids aux bénéfices à long terme, donnerait logiquement un bénéfice net maximum supérieur à 500 m³/s. Cependant, la solution 500 m³/s nous paraît une solution plus attractive dans le cas d'un projet destiné à être développé dans le contexte d'un financement privé.

Pour ce débit d'équipement de 500 m³/s, on pourra utiliser la pleine capacité de l'usine entre 20% et 25% 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 500 m³/s pourront être turbinés. Un débit d'équipement supérieur à 500 m³/s réduirait davantage le temps d'utilisation moyenne du supplément de capacité de production, ce qui à long terme pourrait se justifier, mais ce qui rendrait aussi le projet moins attractif pour des développeurs privés.

Ainsi la valeur de 500 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 500 m³/s qui a été retenu pour faire l'objet de ces études de faisabilité technique. En regard de ce débit, la puissance nominale, calculée pour la chute correspondant à 500 m³/s de débit total dans le fleuve, soit 13.84 m, serait de **62.3 MW⁽¹⁵⁾**.

La figure 5.10 résume 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 très sensible au mode de gestion de Manantali.

5.3. Evaluation du coût de réalisation

L'estimation du coût de réalisation du projet est présentée dans les tableaux 5.3 et 5.4 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, mais qu'une compétition trop sévère peut conduire à des prix de marché initiaux plus faibles mais aussi à une augmentation du risque de retards d'achèvement et de forts suppléments de rémunération.
- c. Les coûts environnementaux inclus dans le coût de réalisation sont les coûts des mesures d'atténuation des impacts identifiés précédemment (chapitre 4.2). Le détail de ces coûts est présenté dans le tableau 5.5 ci-dessous.
- 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

15 *Calcul sur la base d'un rendement global turbine – alternateur de 92%*

voir le projet accueilli favorablement par les populations locales. Le tableau 5.6 donne des indications sur la nature et les coûts de certaines des mesures d'accompagnement envisageables. Parmi eux les coûts essentiels sont constitués par la modernisation des routes entre Kayes et Diamou. Le financement de ces mesures devrait être trouvé en dehors du plan de financement privé du projet.

Tableau 5.3

Estimation des coûts de construction directs

A. Génie civil						
	Description	U	P.U.	Qté	Coût (euros)	
A1. Seuil						
	Excavation rocher	m ³	8,4	3 500	29 400	
	Béton coffré	m ³	118,0	4 860	573 480	
	Coffrage	m ²	17,0	3 570	60 690	
	Acier	t	900,0	83,00	74 700	
	Items non quantifiés (10 %)				73 827	
	TOTAL A1				812 097	
A2. Dérivation						
	Batardeaux provisoires en rivière	m ³	3,6	61 000	219 600	
	Excavation rocher	m ³	8,4	1 600	13 440	
	Béton coffré	m ³	118,0	1 640	193 520	
	Coffrage	m ²	17,0	910	15 470	
	Acier (60 kg/m ³)	t	900,0	98,40	88 560	
	Items non quantifiés (10 %)				53 059	
	TOTAL A2				583 649	
A3. Ouvrage de tête						
L = 170 m	Excavation rocher	m ³	8,4	120 000	1 008 000	
	Béton coffré	m ³	118,0	18 110	2 136 980	
	Coffrage	m ²	17,0	12 190	207 230	
	Acier (40 kg/m ³)	t	900,0	724	651 960	
	Items non quantifiés (10 %)				400 417	
	TOTAL A3				4 404 587	
A4. Canal d'aménée						
L = 590 m	Excavation rocher	m ³	8,4	209 200	1 757 280	
	Remblai	m ³	2,4	14 560	34 944	
	Béton projeté	m ²	25,0	13 740	343 500	
	Béton coffré	m ³	118,0	4 670	551 060	
	Coffrage	m ²	17,0	4 730	80 410	
	Acier	t	900,0	206	185 400	
	Items non quantifiés (10 %)				295 259	
	TOTAL A4				3 247 853	
A5. Usine et canal de restitution						
	Excavation rocher	m ³	8,4	211 200	1 774 080	
	Remblai	m ³	2,4	7 450	17 880	
	Béton projeté	m ²	25,0	3 120	78 000	
	Béton coffré	m ³	118,0	32 610	3 847 980	
	Coffrage	m ²	17,0	20 670	351 390	
	Acier (50 kg/m ³)	t	900,0	1 631	1 487 450	
	Items non quantifiés (10 %)				753 678	
	TOTAL A5				8 290 458	
A6. Installations de chantier						
	Installations de chantier (15 % de A1+A2+A3+A4+A5)				2 600 797	
	TOTAL A6				2 600 797	
Total A : génie civil					(EUROS)	19 939 000
(arrondis au millier)					(FCFA)	13 079 127 000
B. Equipements électro-mécaniques						
		U	P.U.	Qté	Coût (euros)	
B1. Ouvrage de tête et dérivation						
	Batardeaux amont	U	90 000	12	1 080 000	
	Batardeaux aval	U	245 000	4	980 000	
	Batardeaux dérivation	U	90 000	6	540 000	
	Grilles	U	10 000	24	240 000	
	Portique et dégrilleur	U	240 000	1	240 000	
	TOTAL B1				3 080 000	
B2. Usine						
	Turbines	U	3 275 000	3	9 825 000	
	Alternateurs	U	3 690 000	3	11 070 000	
	Autres équipements de l'usine	U	10 400 000	1	10 400 000	
	TOTAL B2				31 295 000	
Total B : équipements électro-mécaniques					(EUROS)	34 375 000
(arrondis au millier)					(FCFA)	22 548 522 000
TOTAL DES COUTS DE CONSTRUCTION DIRECTS*					(EUROS)	54 314 000
(arrondis au millier)					(FCFA)	35 627 648 000

* en euros d'octobre 2001, hors aléas

Tableau 5.6 - Evaluation du coût des possibles mesures d'accompagnement

	Unité	Quantité	Coût unit. (MFCFA)	Coût total (MFCFA)	Observations
Mesures d'atténuation sociale et économique et plan de développement local					
<u>Planification</u>					
Actualisation des plans de développement de terroir	ff	1	8,00	8,00	
Schéma d'aménagement zone Médine-Diamou	ff	1	10,00	10,00	
<u>Désenclavement</u>					
Piste tous temps rive gauche Félou-Diamou (40 km)	km	40	30,00	1 200,00	
Amélioration de la piste rive droite (50 km)	km	50	10,00	500,00	
<u>Appui au secteur économique</u>					
Appui à la production maraîchère irriguée	sites	10	3,00	30,00	opportunité de marché
Appui à l'organisation paysanne, aux productions agricoles et animales (5 ans)	année	5	20,00	100,00	
Organisation de services financiers de proximité	ff	1	30,00	30,00	
Promotion tourisme industriel et culturel	ff	1	5,00	5,00	
Renforcement des capacités d'accueil villageoises					
<u>Médine</u>					
Aménagement abords et voirie	ff	1	80,00	80,00	
Aménagement d'un site d'interprétation historique	ff	1	40,00	40,00	Sponsorship à étudier
Contribution à la réhabilitation du site historique	ff	1	200,00	200,00	Sponsorship à étudier
SOUS-TOTAL COUT ENVIRONNEMENTAL				2 203,00	
IMPREVUS 10 %				330,45	
TOTAL COUT ENVIRONNEMENTAL:				2 533,45	
			Arrondi à: MFCFA	2 500,00	
			soit en millions d'Euros:	3,81	

5.4. Evaluation économique préliminaire

5.4.1. Hypothèses de base

L'analyse économique et financière du projet fera l'objet de la phase 2 de l'étude. Cette analyse se fera en modélisant le système de production de l'ensemble du système interconnecté Mauritanie – Mali – Sénégal. Elle sera réalisée dans les deux hypothèses "Avec Félou" et "Sans Félou". La différence de coût global actualisé de production entre les deux stratégies représentera le bénéfice net actualisé du projet.

Sans attendre la phase 2, une évaluation économique simplifiée a été nécessaire, afin de servir de base à la sélection de la puissance installée de l'aménagement. Elle a été faite en valorisant directement la production de Félou par les coûts de production thermiques évités. En première approche on peut en effet considérer que l'introduction de Félou dans le réseau interconnecté permettra essentiellement d'éviter les coûts de production de la même énergie produite par les centrales thermiques du plus gros réseau régional, c'est à dire celui du Sénégal.

Les données recueillies de SENELEC et de nos bases de données ont permis de calculer les coûts de production du thermique dit "équivalent" comme suit :

- coût d'investissement (soit le coût évité par la puissance garantie) :
524 Euros/kW⁽¹⁶⁾ soit 344 000 FCFA/kW
- coût proportionnel (soit le coût évité par la production d'énergie moyenne):
0.040 Euro/kWh soit 26.2 FCFA/kWh.

Ces valeurs résultent des hypothèses suivantes:

- 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 Félou 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 = 305 g/kWh
- Cours du baril de pétrole brut = 20 US\$/baril
- Consommation des auxiliaires = 3%
- Pertes en ligne moyennes = 10%

16 Cette valeur est rapportée au kW garanti à la sortie du poste de Félou

5.4.2. *Evaluation économique préliminaire du projet*

En anticipation de l'étude économique et financière de la phase 2 de l'étude, les résultats provisoires suivants ont été obtenus:

- Coût d'investissement par kW installé:

1 110 Euros / kW (coûts directs de construction)

1 390 Euros / kW (coût total de réalisation)

- Prix de revient du kWh moyen (17)

entre 0.032 et 0.036 Euros / kWh
selon le mode de gestion de Manantali

Comme évoqué précédemment, ces chiffres montrent que l'aménagement de Férou est économiquement très attractif, plus particulièrement en raison de son faible prix de revient de l'énergie produite. La phase 2 de l'étude permettra de faire une évaluation plus précise de l'intérêt économique et financier du projet.

17 Calcul économique fait en utilisant le taux de 10%

6. PROGRAMME DE REALISATION

6.1. Programme de construction et phasage des travaux

Le programme de construction est présenté sur la figure 6.1.

L'essentiel de la construction du canal pourra se faire sans phasage particulier, car les travaux d'excavation se feront à sec, protégés naturellement de l'eau par le rocher. Les principes du phasage des travaux sont décrits sur le plan FE-102 pour les ouvrages amont (seuil, dérivation provisoire, ouvrage de tête) et sur les plans FE-103 et FE-104 pour les ouvrages aval (usine et canal de fuite).

6.1.1. Phasage des travaux à l'amont du canal (plan FE-102)

Les travaux à l'amont du canal pourront être réalisés au cours de trois saisons sèches et deux saisons humides, suivant le principe suivant :

➤ *Etape 1 (saison sèche n°1)*

Un batardeau d'une longueur d'environ 300 m est placé en travers de l'extrémité rive gauche du fleuve, entre le seuil existant et la berge, arasé à la cote 40,50. Le débit maximal du fleuve en saison sèche étant évalué à 250 m³/s (moyennant une gestion contrôlée des lâchures de Manantali), le niveau d'eau à l'amont du batardeau ne devra pas dépasser la cote 40,30. La zone batardeée englobe l'exutoire du petit affluent en rive gauche dont on n'attend aucun débit en saison sèche.

A l'abri de ce batardeau seront réalisés l'excavation jusqu'à la cote 38,00 du chenal menant à l'ouvrage de tête, et le réalésage de l'exutoire de l'affluent.

➤ *Etape 2 (saison humide n°1, saison sèche n°2 et saison humide n°2)*

Le premier batardeau est déblayé ; il est remplacé par un deuxième batardeau qui englobe l'emplacement prévu pour l'ouvrage de tête et la dérivation provisoire ainsi que le départ du seuil, mais exclut l'exutoire de l'affluent en rive gauche.

Le batardeau est arasé à la cote 42,00 pour protéger la zone des travaux contre la crue de chantier (crue cinquantennale: $Q_{\max} = 5200 \text{ m}^3/\text{s}$) pour laquelle le niveau d'eau amont serait de 41,70. La longueur de ce deuxième batardeau est d'environ 600 m.

Les travaux prévus au cours de l'étape 2 comprennent les excavations du chenal à l'aval de la dérivation provisoire (à la cote 37,00) ainsi que de l'ouvrage de tête (cote variable de 37,00 à 30,00), la réalisation des bétons des massifs de batardeaux de la dérivation provisoire et de l'ouvrage de tête, la réalisation du pont enjambant la dérivation qui servira d'accès au chantier de réhabilitation du seuil en rivière, et la réhabilitation du tronçon de seuil protégé par le batardeau.

Les travaux de finition de l'ouvrage de tête et de réalisation du canal d'aménée peuvent être réalisés en toute saison à l'abri du batardeau 2 puis des batardeaux amont définitifs de l'ouvrage de tête.

➤ *Etape 3 (saison sèche n°3)*

Le deuxième batardeau est déblayé et remplacé par un troisième batardeau qui barre tout le fleuve depuis la dérivation jusqu'à la rive droite. L'intégralité du débit du fleuve passe alors par la dérivation provisoire, et l'excavation préalable du chenal à l'aval de la dérivation garantit que le batardeau ne sera pas contourné par l'aval.

Au cours de cette troisième étape sont effectués la réhabilitation du seuil en rivière, puis le déblaiement du batardeau en fin de saison sèche.

6.1.2. Phasage des travaux à l'aval du canal (plans FE-103 et FE-104)

Trois étapes successives sont prévues :

➤ *Etape 1 (toute saison)*

Dans un premier temps, les excavations de l'usine et du départ du canal de fuite sont réalisées à l'abri d'un merlon rocheux laissé à l'aval, d'une largeur en tête d'environ 20 m et qui sera arasé à la cote 34,00, donc au-dessus du niveau aval que le fleuve pourrait atteindre (33,20) pour la crue de chantier.

Ce merlon sera conservé le plus longtemps possible et fera office de batardeau aval pour assurer la protection du chantier de l'usine.

➤ *Etape 2 (toute saison)*

Toujours à l'abri du merlon rocheux, l'usine est construite jusqu'à la mise en place des vannes aval.

➤ *Etape 3 (dernière saison sèche avant mise en eau de l'usine par l'aval)*

Le débit maximal prévu en saison sèche est de 250 m³/s, qui correspond à un niveau aval de 26,50. Le merlon rocheux peut donc être abaissé à la cote 26,00, ce qui permet la poursuite de l'excavation du canal de fuite, la fin du bétonnage du seuil aval de l'usine et la mise en place du circuit de terre sur le radier du canal.

Enfin, le canal peut être achevé après mise en place des vannes aval de l'usine. Ces vannes constituent désormais la protection du chantier par l'aval et permettent l'achèvement des travaux en toute saison.

6.1.3. Programme de construction (figure 6.1)

La durée globale de construction est estimée à 3 ans, en faisant des hypothèses raisonnables sur les moyens à mettre en œuvre. Le chemin critique se partage tout d'abord entre la construction du génie civil de l'usine et la fabrication des équipements, puis, une fois la structure de l'usine prête à recevoir le pont roulant, le chemin critique ne concerne plus que l'installation des équipements de l'usine.

Ce programme suppose que les contrats de travaux sont notifiés un mois avant la fin de saison des pluies, soit fin septembre, de manière à permettre un démarrage des travaux en début de saison sèche de l'année 2003.

Le programme des travaux de génie civil est basé sur les principes de phasage exposés ci-dessus. Trois chantiers principaux sont menés en parallèle : les ouvrages amont (réhabilitation du seuil, chenal d'entrée, ouvrage de tête), le canal d'amenée et les ouvrages aval (usine, canal de restitution).

Il a été prévu de démarrer l'installation des postes de Férou et de Kayes, ainsi que la ligne 225 kV, avec un retard d'environ deux ans par rapport au reste de l'aménagement. De cette manière les équipements HT pourront être testés sous tension au moment de la mise en service de l'usine, sans craindre de tomber hors de la période de garantie.

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. 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. D'autres programmes pourront être imaginés au cours de la phase 3 de l'étude, en fonction des structures de développement sélectionnées.

La durée totale de réalisation serait alors de 4,5 années. Ainsi, une conclusion du préaccord de concession en janvier 2003 conduirait à une mise en service de l'aménagement de Félou en septembre 2007.

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 détaillé du seuil existant, des profils bathymétriques complémentaires, 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.
- Les études d'APD débutent 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 sera abordé plus en détail dans la phase 3 de l'étude.
- La sélection des entreprises de travaux est supposée se faire par voie d'appel d'offres (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



LISTE DES FIGURES

FIGURES CHAPITRE 2

- Figure 2.2.1 Série chronologique des apports du Bakoye à Oualia (module 124 m³/s)
- Figure 2.2.2 Série chronologique des apports du Sénégal à Kayes (module 443 m³/s)
- Figure 2.2.3 Série chronologique des apports du bassin versant intermédiaire (module 16 m³/s)
- Figure 2.2.4 Série chronologique des débits sortant de Manantali géré suivant le scénario 100 (module 292 m³/s)
- Figure 2.2.5 Série chronologique des apports à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 100 (module 432 m³/s)
- Figure 2.2.6 Félou : courbes des débits classés pour différents scénarios de gestion de Manantali
- Figure 2.2.7 Variations saisonnières des débits naturels à Félou sur 1950-1999, Manantali étant géré selon le scénario 100
- Figure 2.2.8 Variations saisonnières des débits naturels et des débits turbinés à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 100
- Figure 2.2.9 Variations saisonnières du débit mensuel à Félou sur 1950-1999, Manantali étant géré selon le scénario 4byc
- Figure 2.2.10 Variations saisonnières des débits naturels et des débits turbinés à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 4byc
- Figure 2.2.11 Félou : courbe de tarage amont adoptée pour les débits courants déversant sur le seuil
- Figure 2.2.12 Félou : mesures hauteur (IGN) – débit et courbe de tarage aval
- Figure 2.2.13 Félou : courbe de tarage aval adoptée pour les débits courants (sujette à variation selon les débits de la Kolimbine)
- Figure 2.2.14 Félou : relation entre chutes brute et débit ($Z_{\text{seuil}} = 40,0 - Q_{\text{équipé}} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Figure 2.2.15 Apports annuels à Kayes sur la période 1950-2000 (mai à avril)
- Figure 2.2.16 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 2.2.17 Evolution de la quantité mensuelle en M.E.S. ayant transité à Bakel en regard des apports mensuels à Kayes. Moyenne sur la période mai 1979 – avril 1984



FIGURES CHAPITRE 5

- Figure 5.1 Courbe des débits classés (zoom sur la plage de débits de 100 à 800 m³/s)
- Figure 5.2 Courbe des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement (scénarios 100 et 102)
- Figure 5.3 Courbe des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement (scénarios 3byc, 4ayt et 4byc)
- Figure 5.4 Energie moyenne en fonction du débit d'équipement (5 scénarios)
- Figure 5.5 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 100
- Figure 5.6 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 102
- Figure 5.7 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 3byc
- Figure 5.8 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 4yat
- Figure 5.9 Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 4byc
- Figure 5.10 Comparaison des coûts et capacités de production

FIGURES CHAPITRE 6

- Figure 6.1 Programme de construction
- Figure 6.2 Programme de réalisation possible dans le cadre d'un financement privé avec consultation pour les travaux



**Figure 2.2.1 : Série chronologique des apports du Bakoye à Oualia
(module 124 m³/s)**

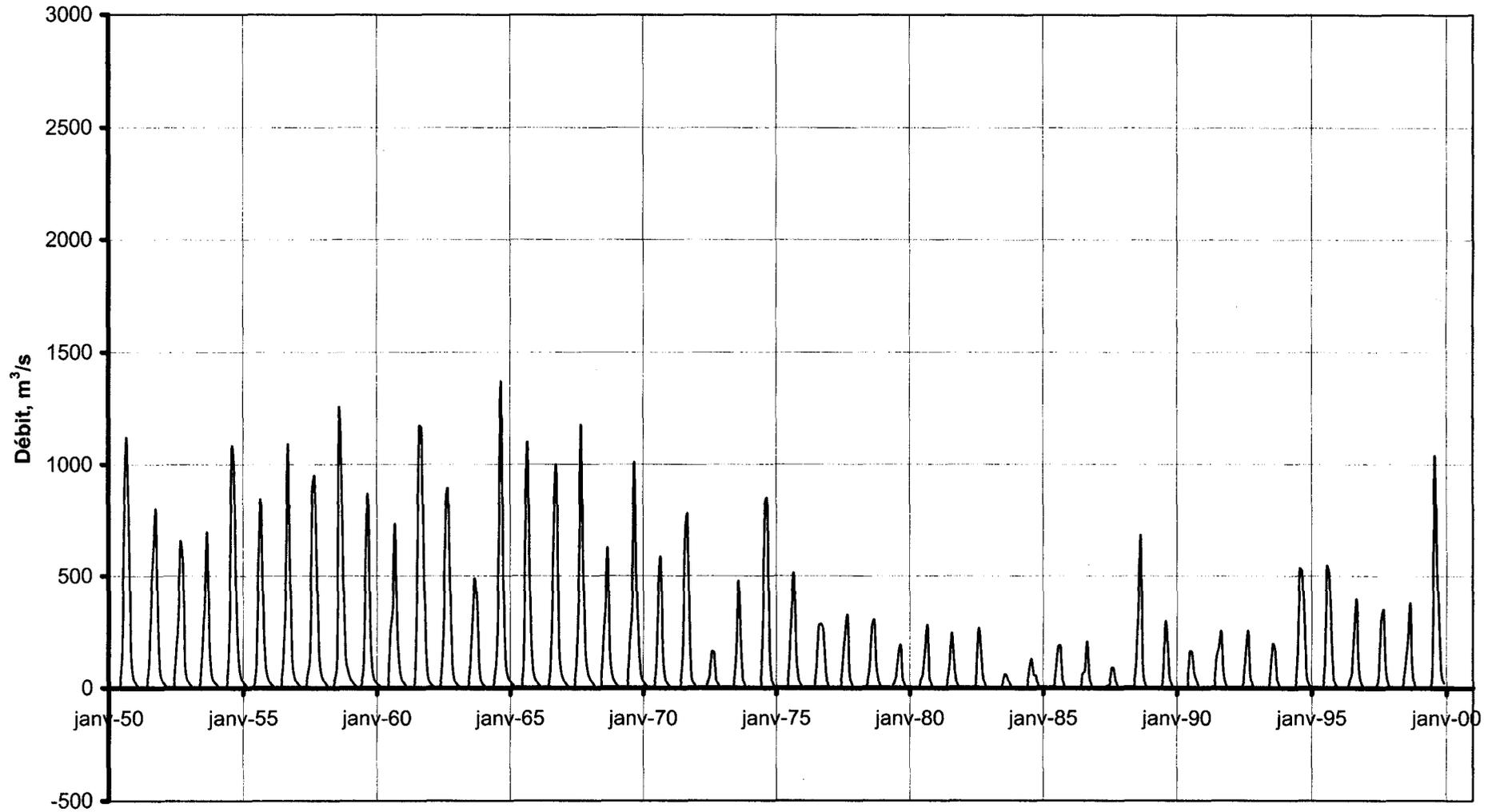




Figure 2.2.2 : Série chronologique des apports du Sénégal à Kayes
(module $443 \text{ m}^3/\text{s}$)

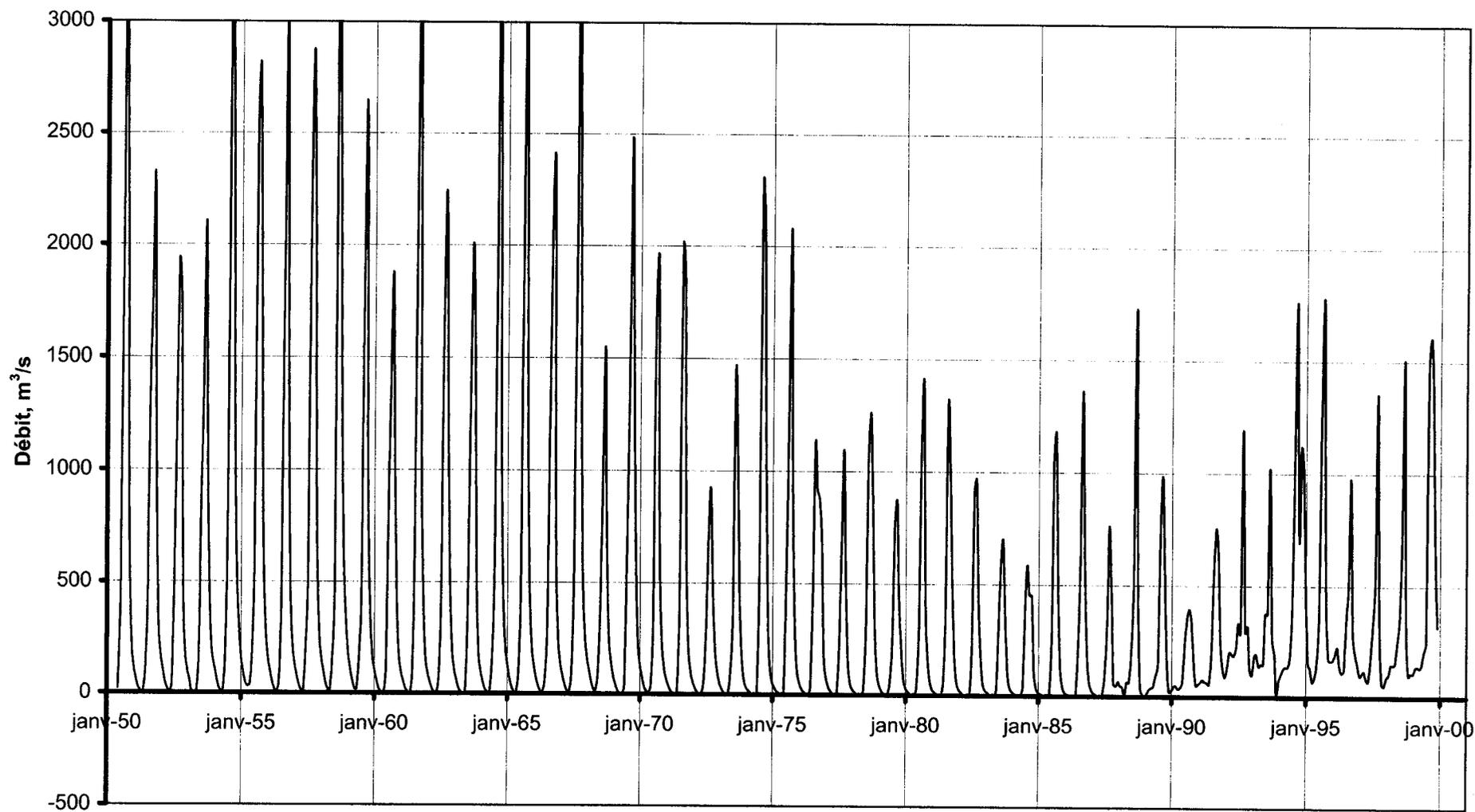
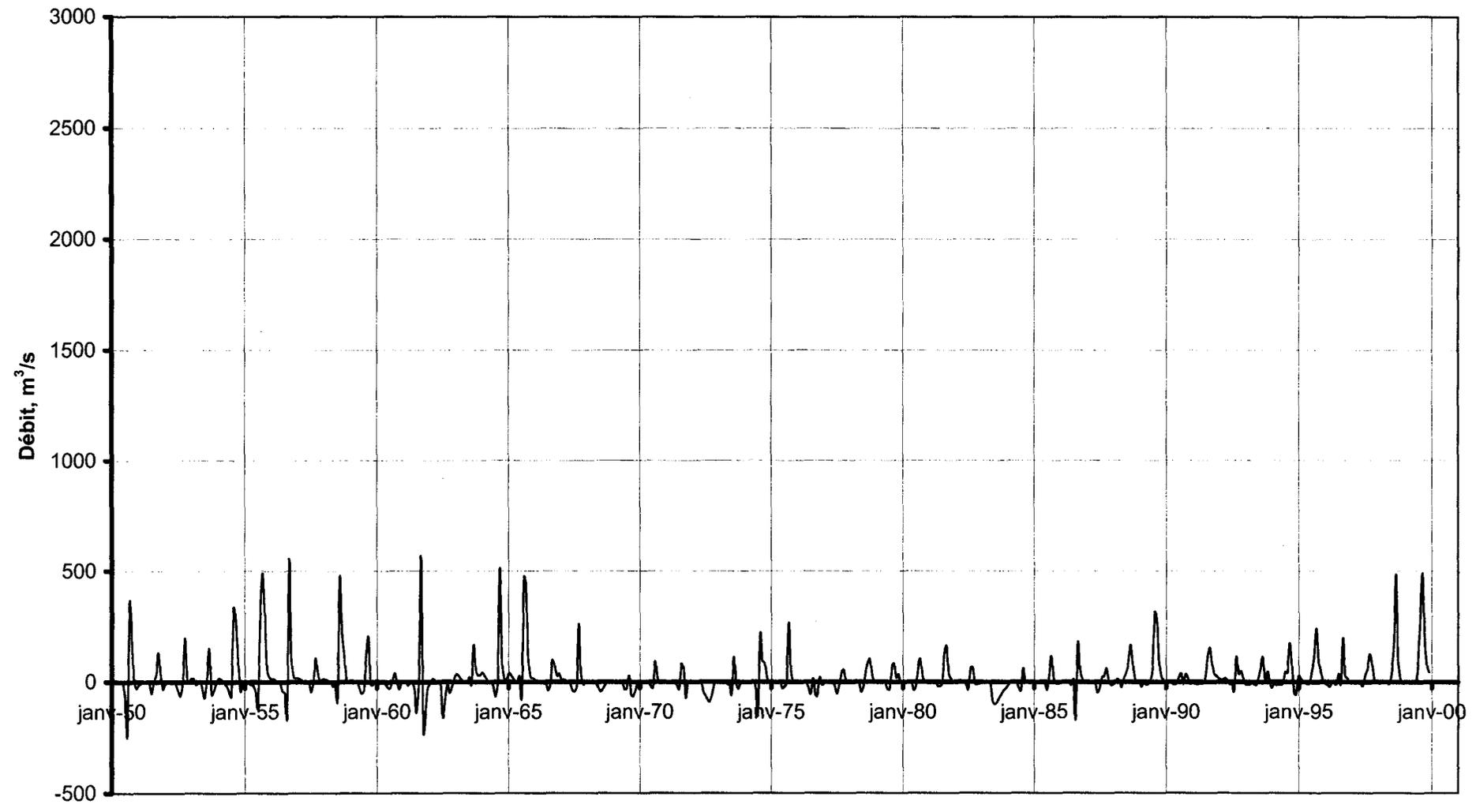




Figure 2.2.3 : Série chronologique des apports du bassin versant intermédiaire entre Manantali, Oualia et Félou (module 16 m³/s)





**Figure 2.2.4 : Série chronologique des débits sortant de Manantali géré suivant le scénario 100
(module 292 m³/s)**

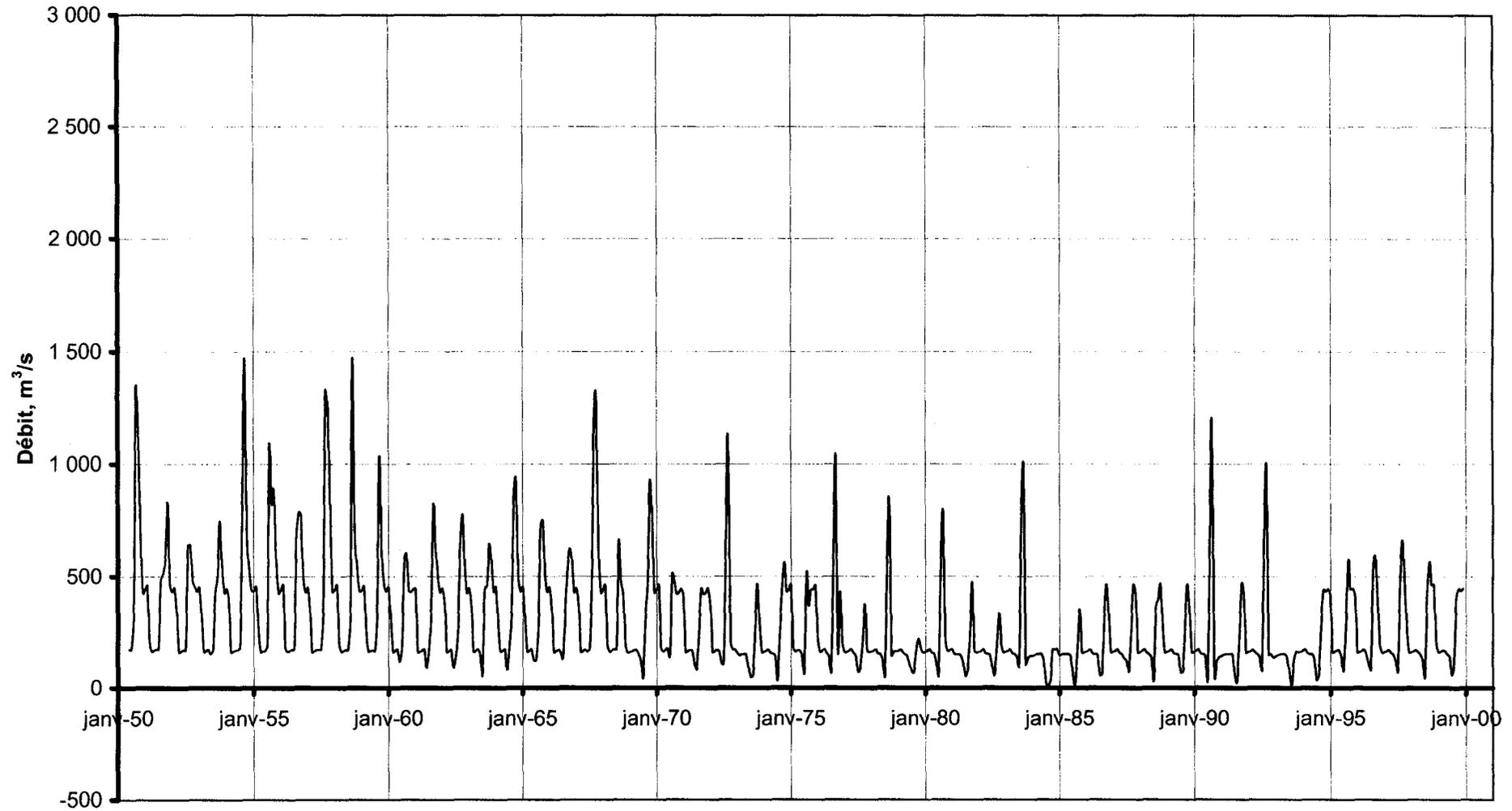




Figure 2.2.5 : Série chronologique des apports à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 100 (module 432 m³/s)

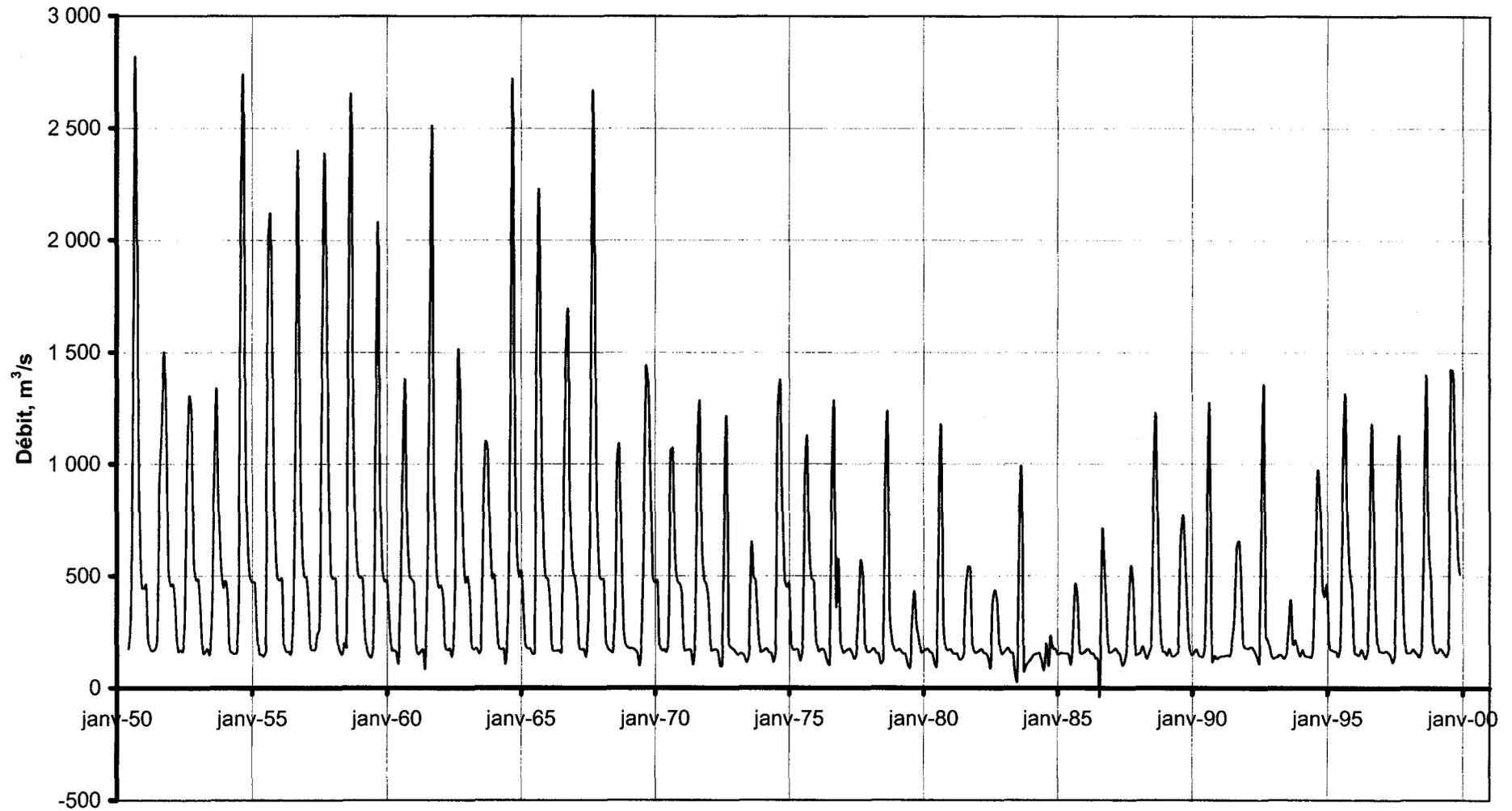




Fig. 2.2.6 - Félou : courbes des débits classés pour différents scénarios de gestion de Manantali

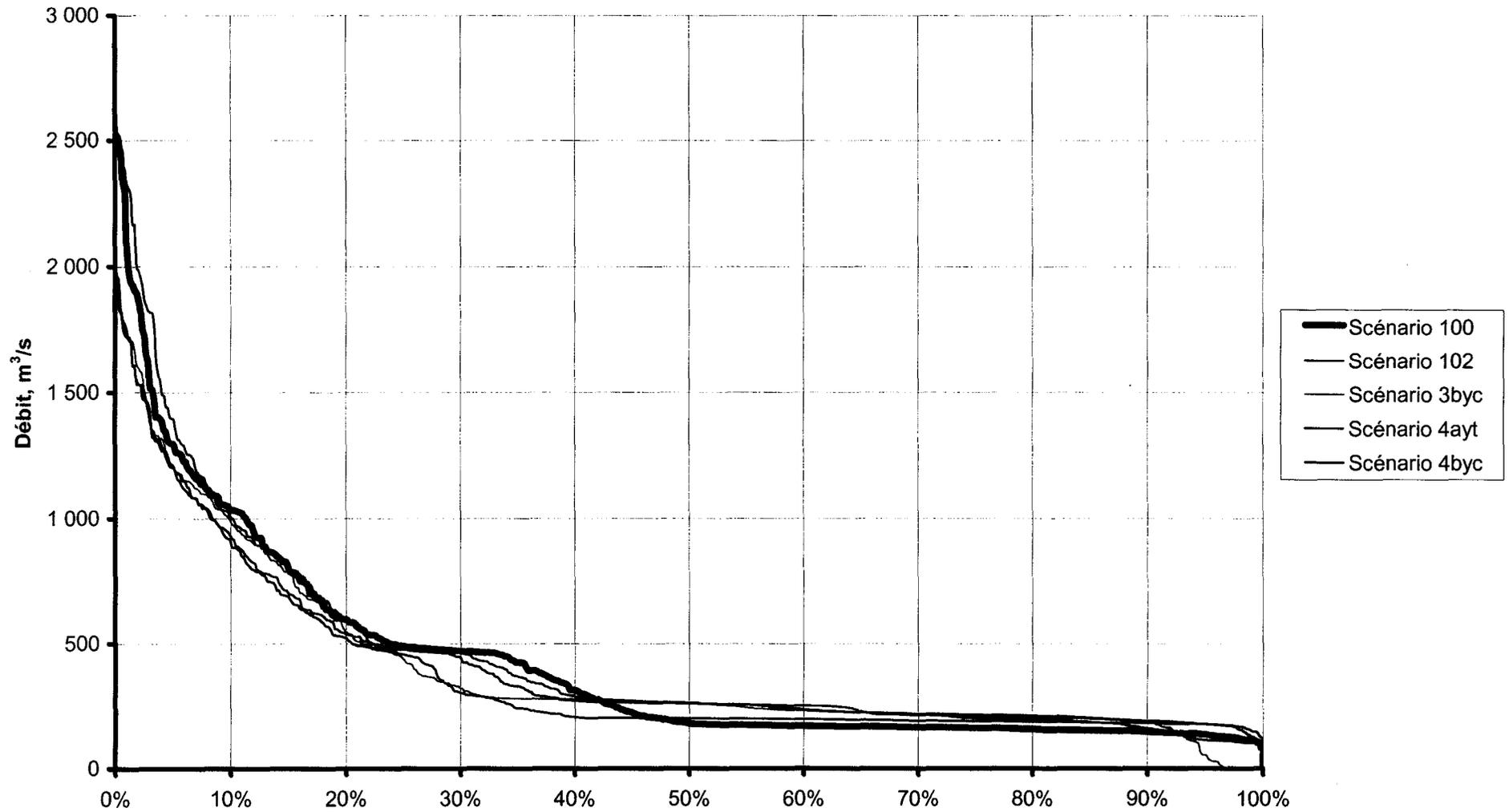




Figure 2.2.7 : Variations saisonnières des débits naturels à Férou sur 1950-1999, Manantali étant géré selon le scénario 100

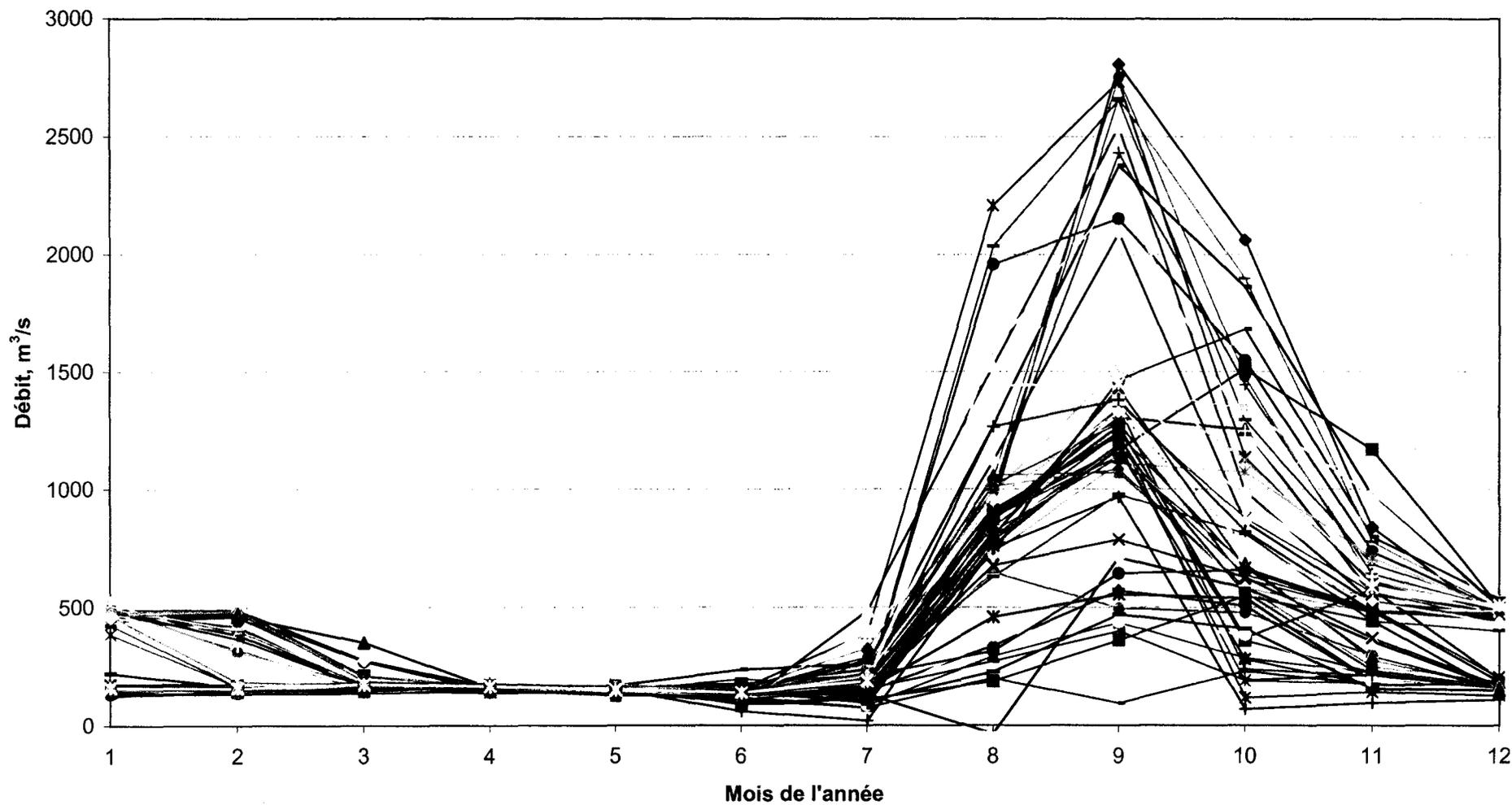




Figure 2.2.10 : Variations saisonnières des débits naturels et des débits turbinés à Félou, Manantali étant géré selon le scénario 4byc

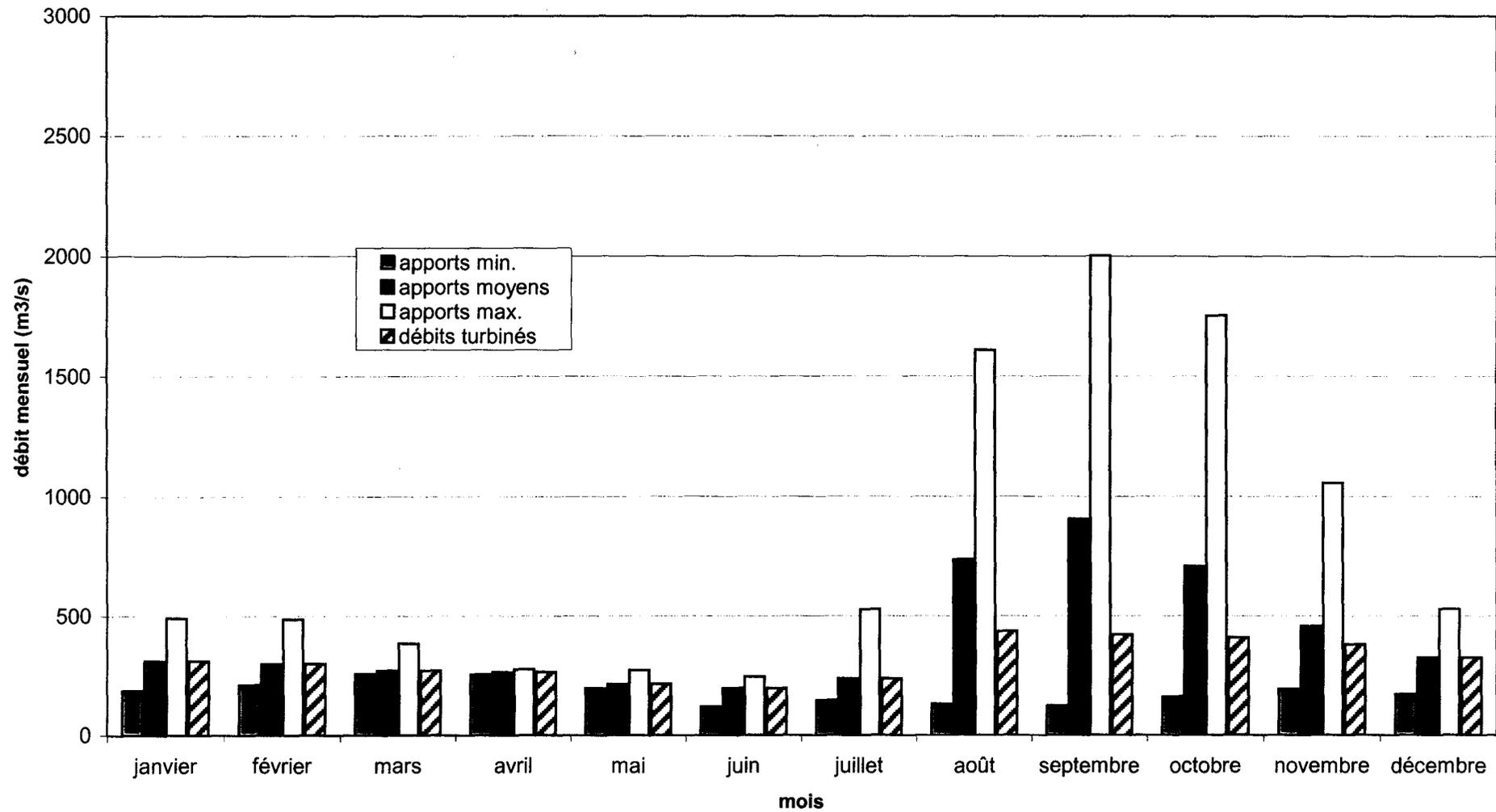




Figure 2.2.11 - Félou : courbe de tarage amont adoptée pour les débits courants déversant sur le seuil

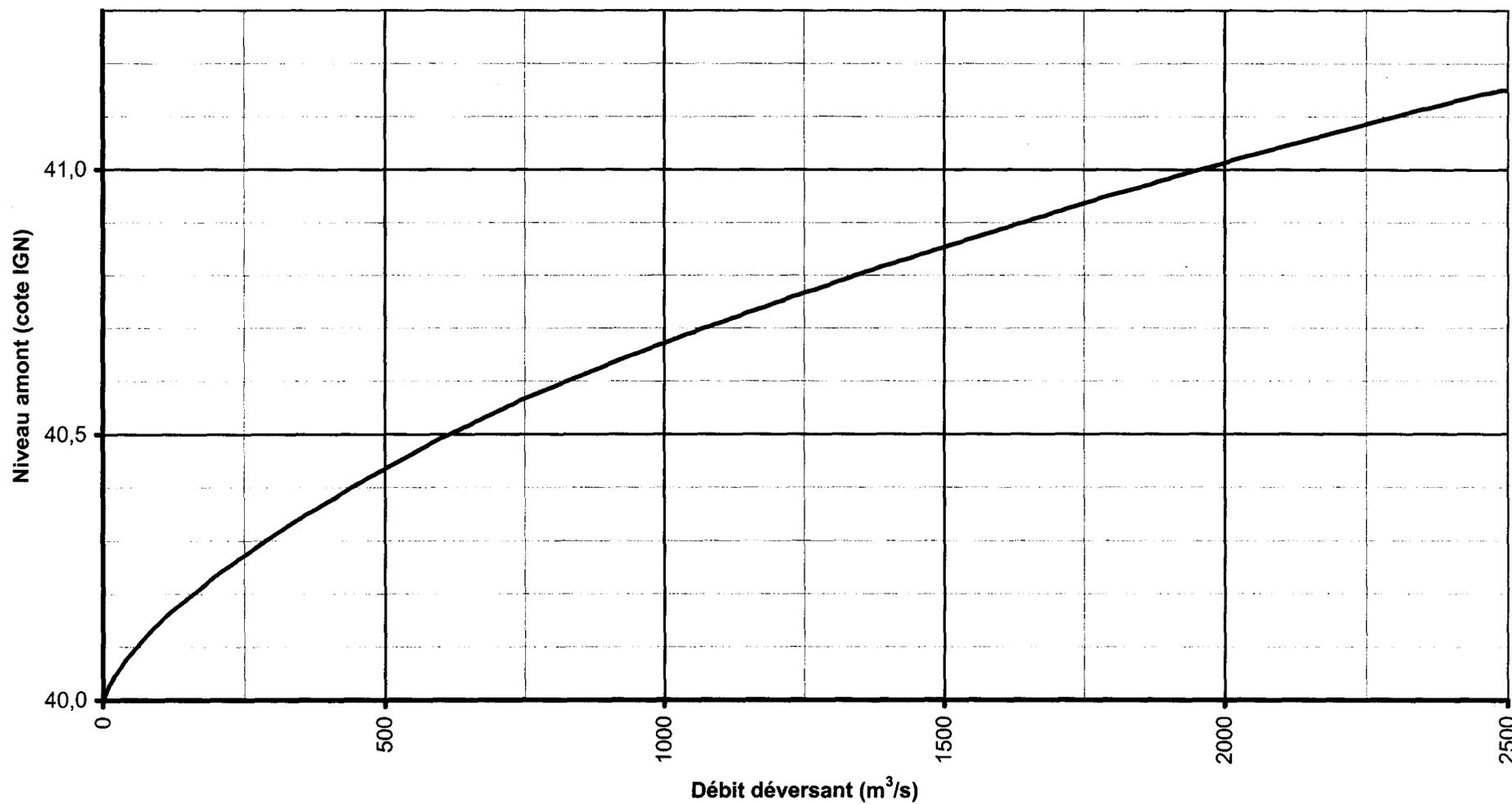




Fig. 2.2.12 - Félou : mesures hauteur (IGN) - débit et courbe de tarage aval

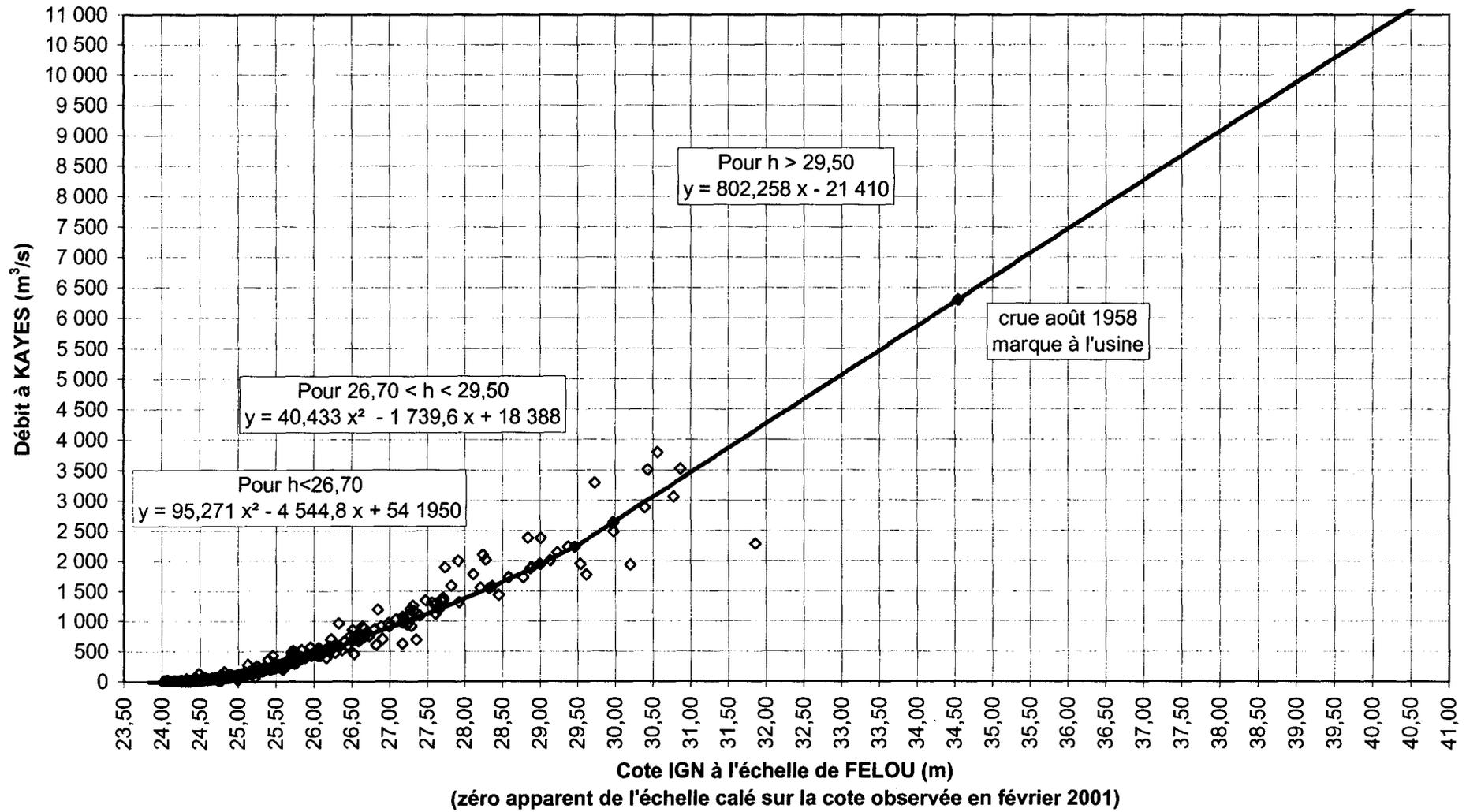
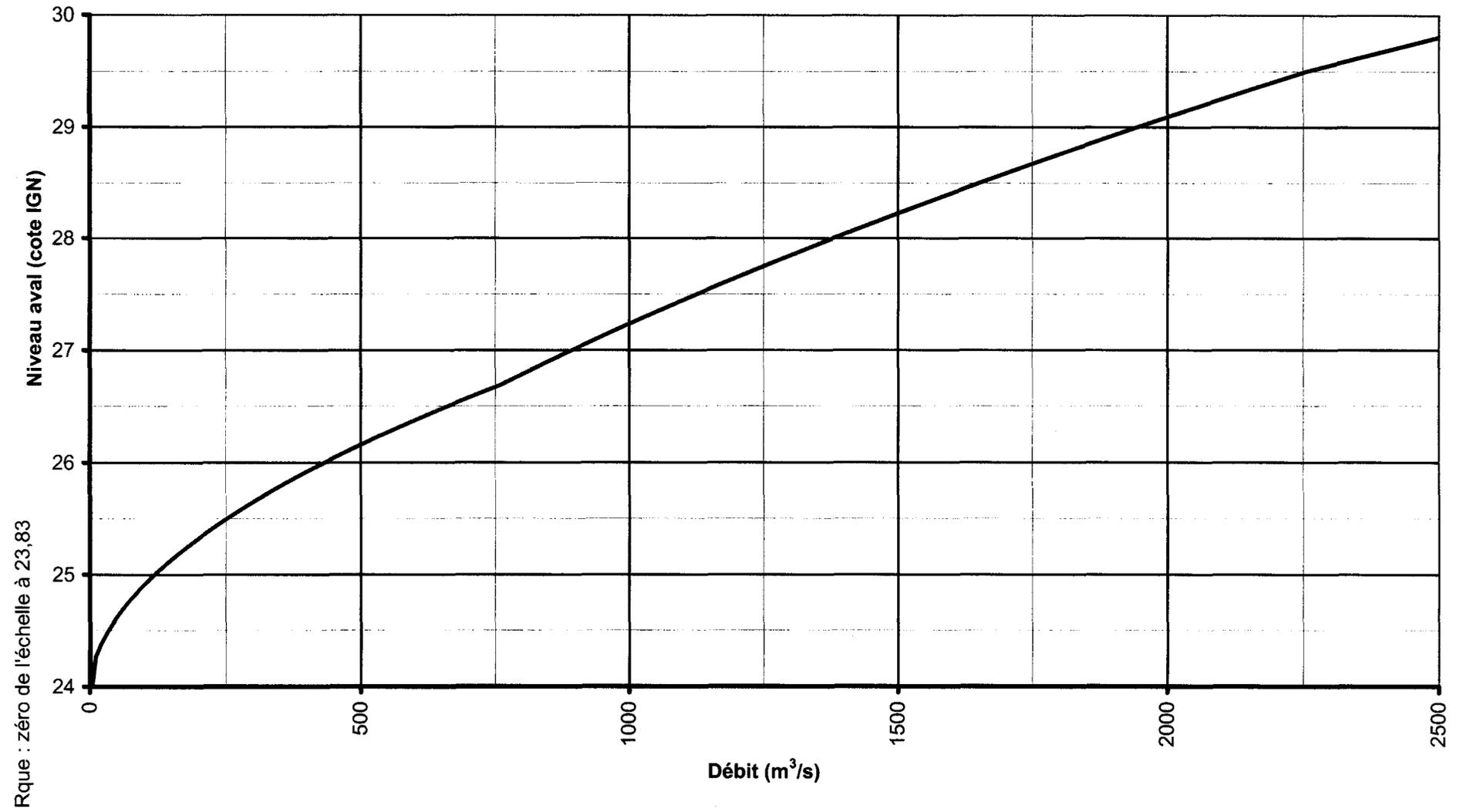




Figure 2.2.13 - Félou : courbe de tarage aval adoptée pour les débits courants (sujette à variation selon les débits de la Kolimbine)



Rque : zéro de l'échelle à 23,83



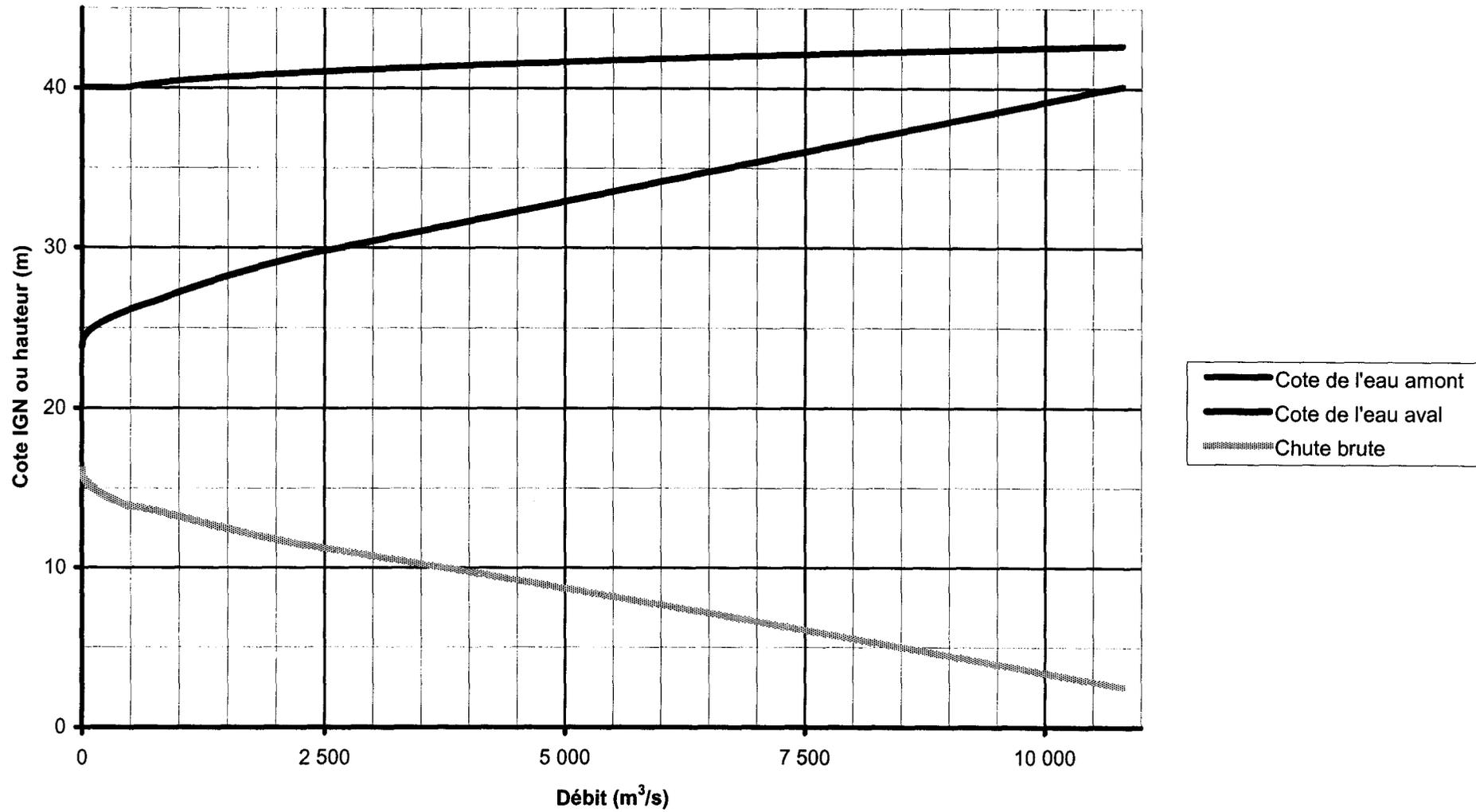
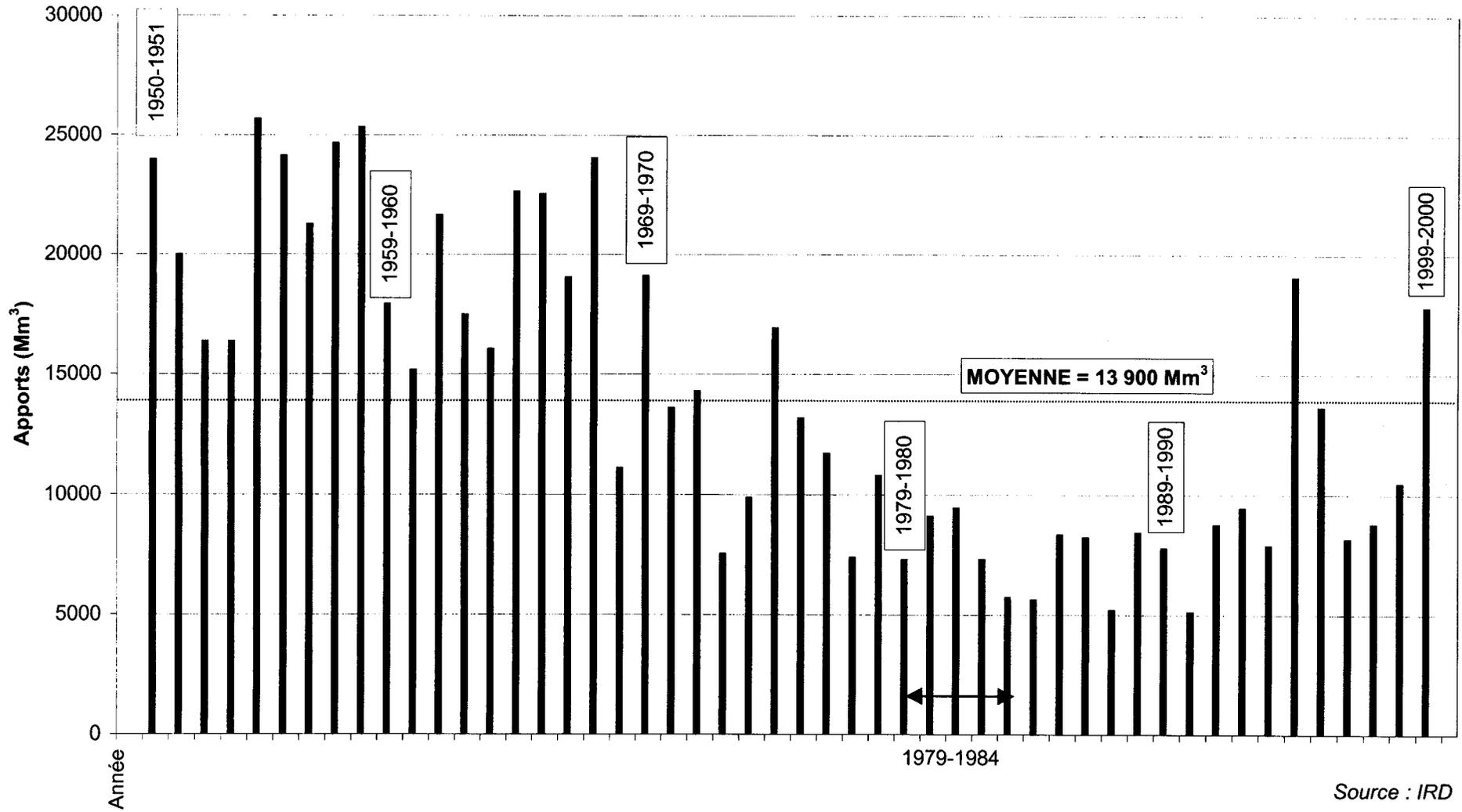
Figure 2.2.14 - Félou : relation entre chute brute et débit ($Z_{\text{seuil}} = 40,0 - Q_{\text{équipé}} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$)



Figure 2.2.15 : Apports annuels à Kayes sur la période 1950 - 2000 (mai à avril)



Source : IRD



Figure 2.2.16 : 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.

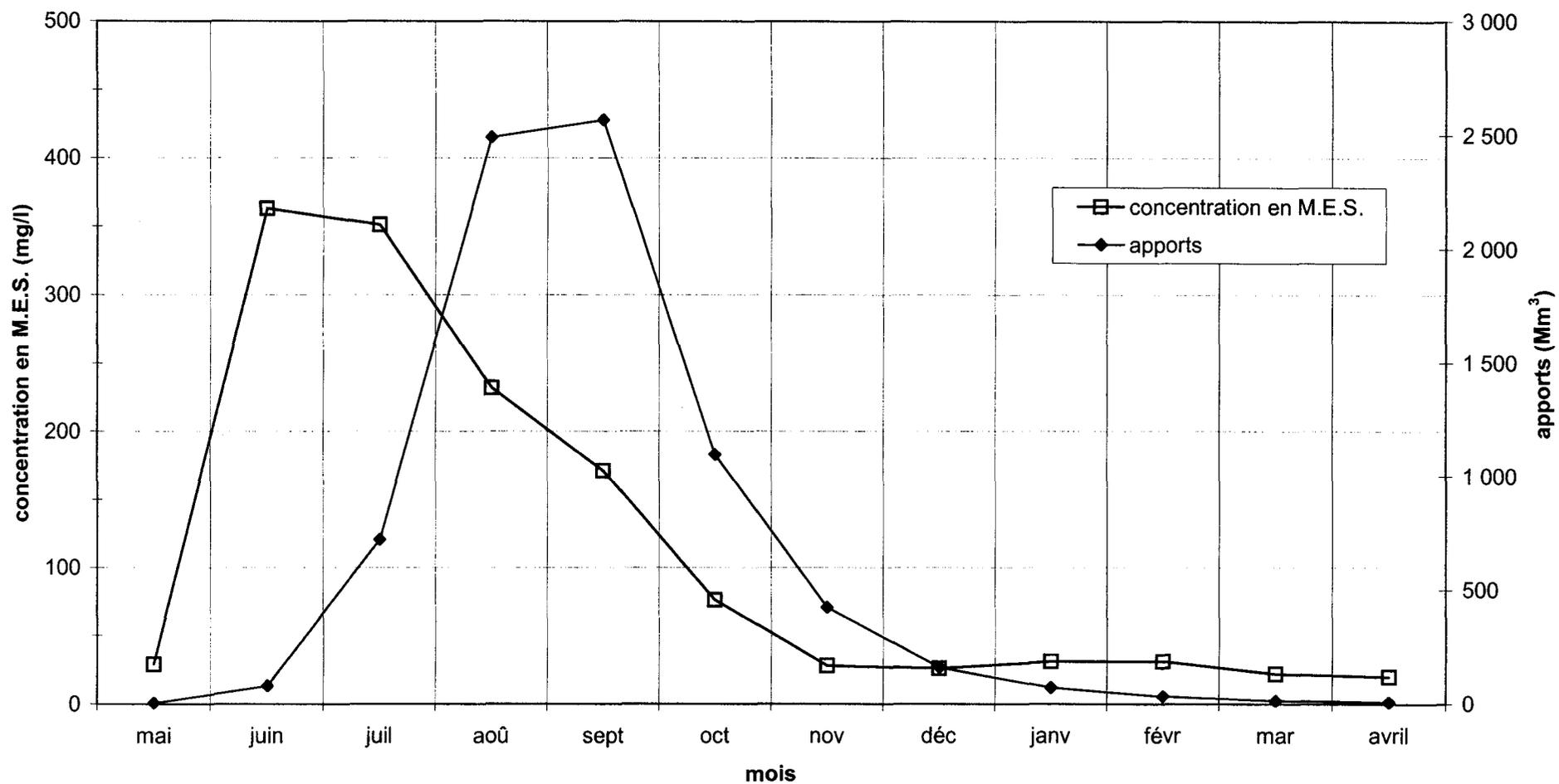




Figure 2.2.17 : Evolution de la quantité mensuelle de M.E.S. ayant transité à Bakel en regard des apports mensuels à Kayes. Moyenne sur la période mai 1979 - avril 1984.

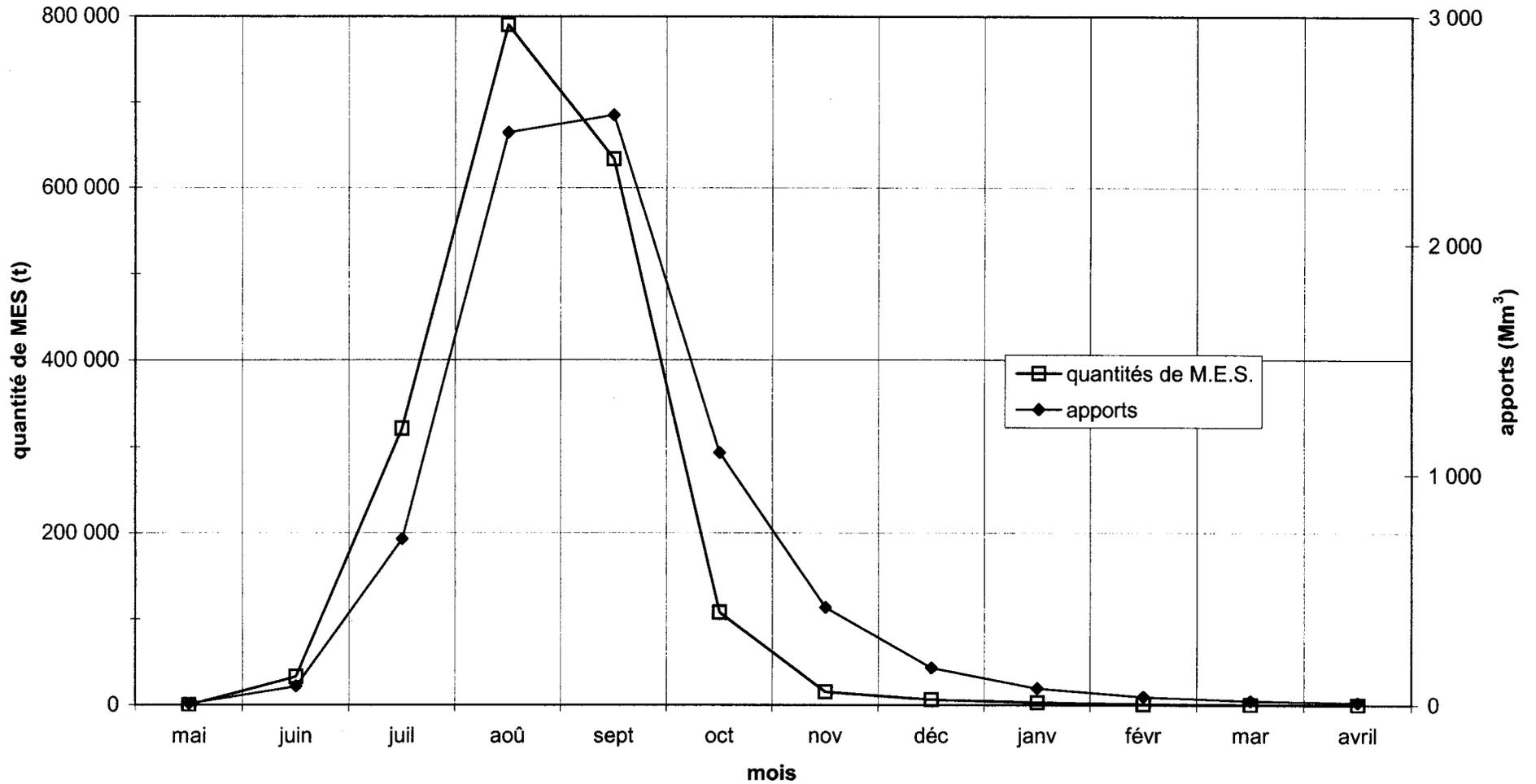




Figure 5.1 - Courbe des débits classés (zoom sur la plage de débits de 100 à 800 m³/s)

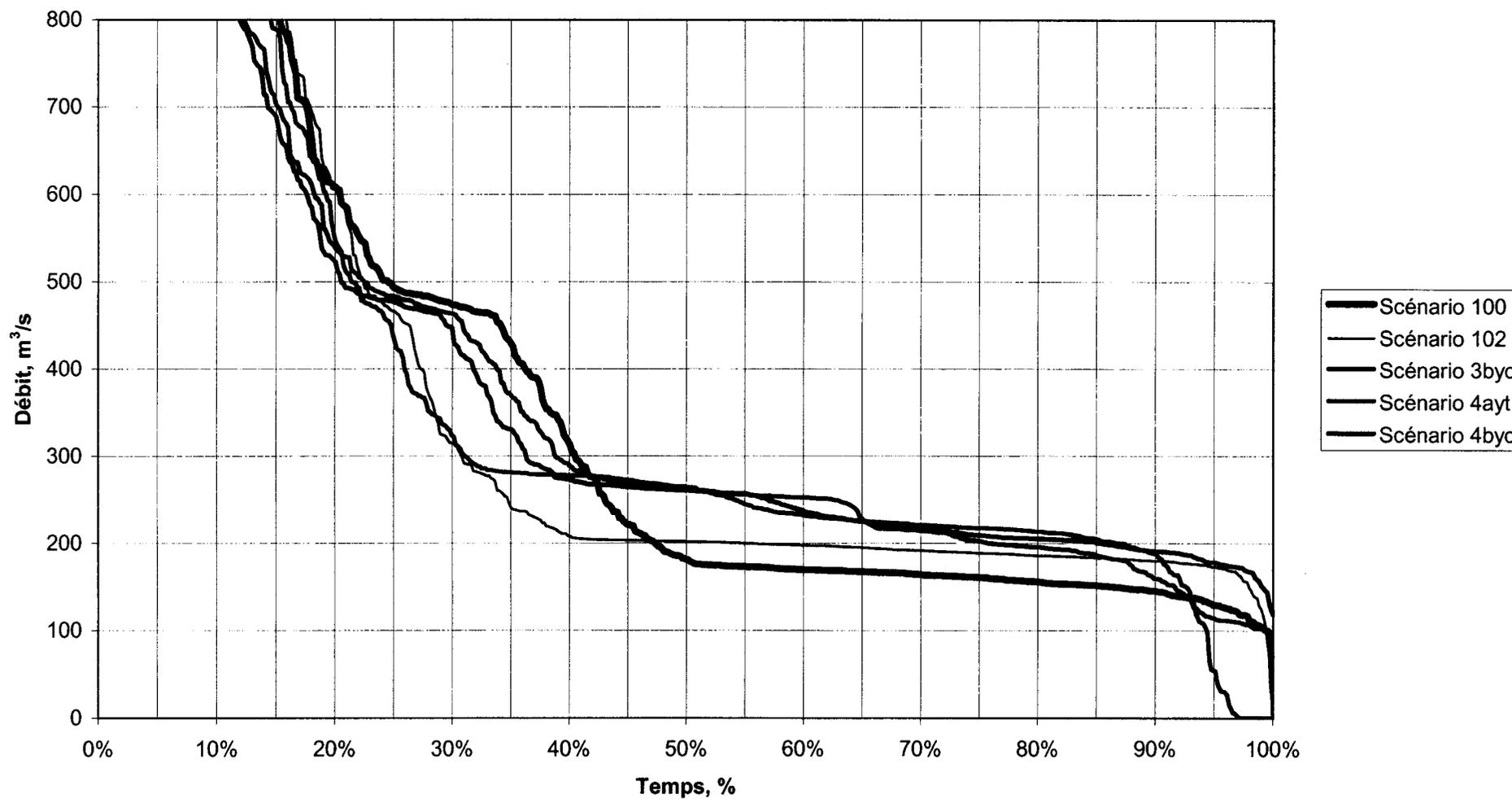




Figure 5.2 - Courbes des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement (scénarios 100 et 102)

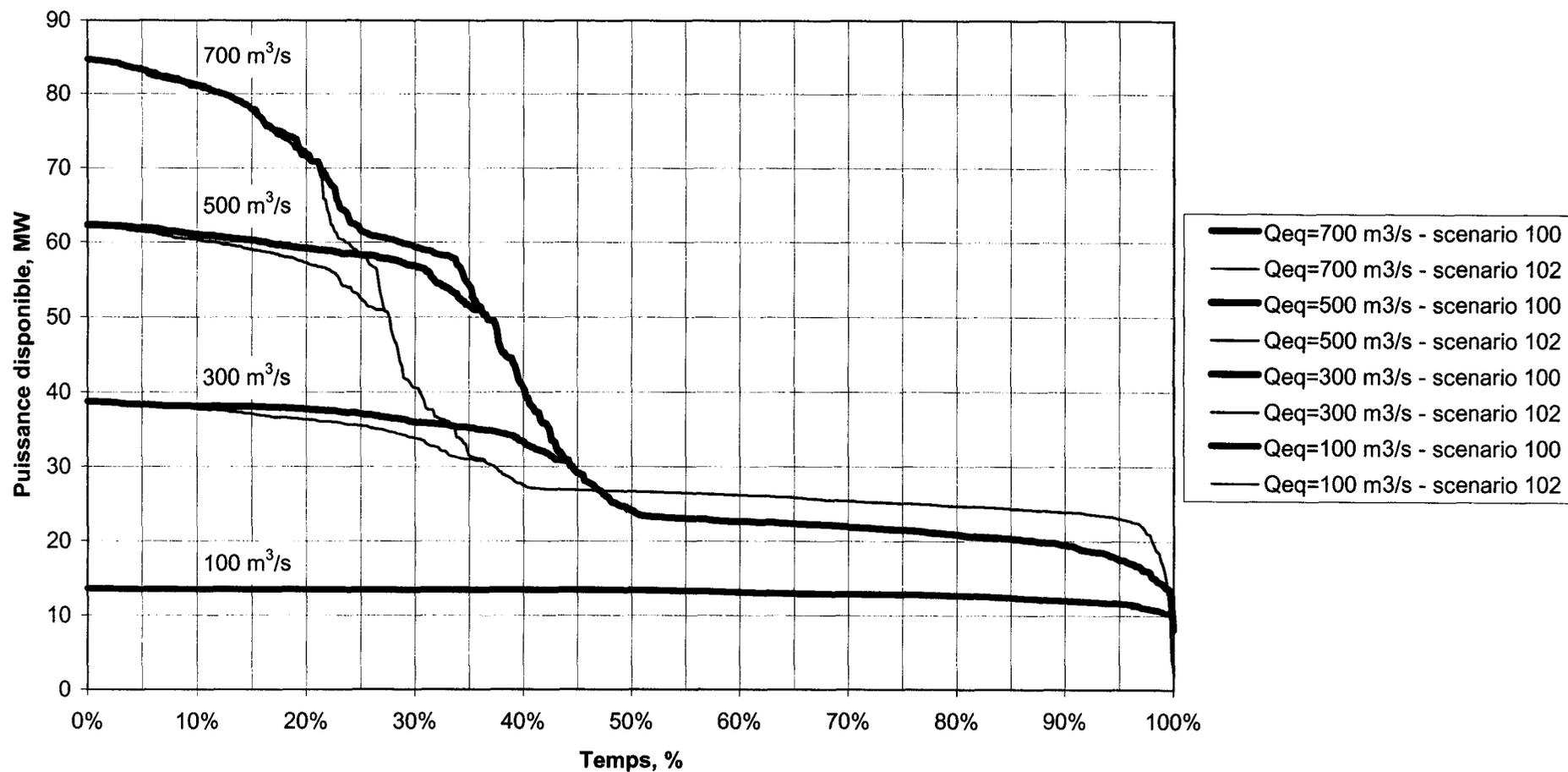




Figure 5.3 - Courbes des puissances classées, sensibilité au débit d'équipement (scénarios 3byc, 4ayt et 4byc)

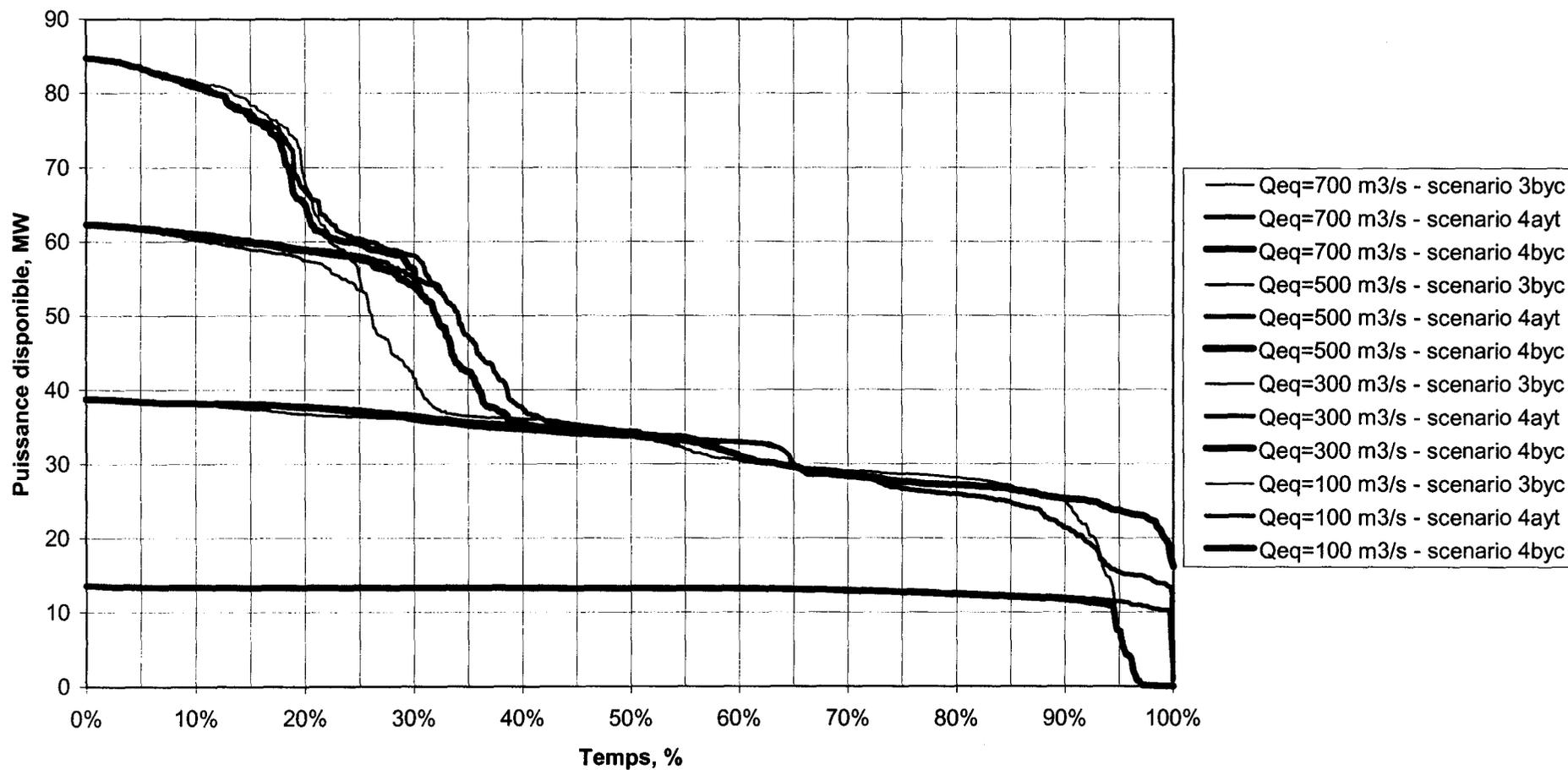




Figure 5.4 - Energie moyenne en fonction du débit d'équipement (5 scénarios)

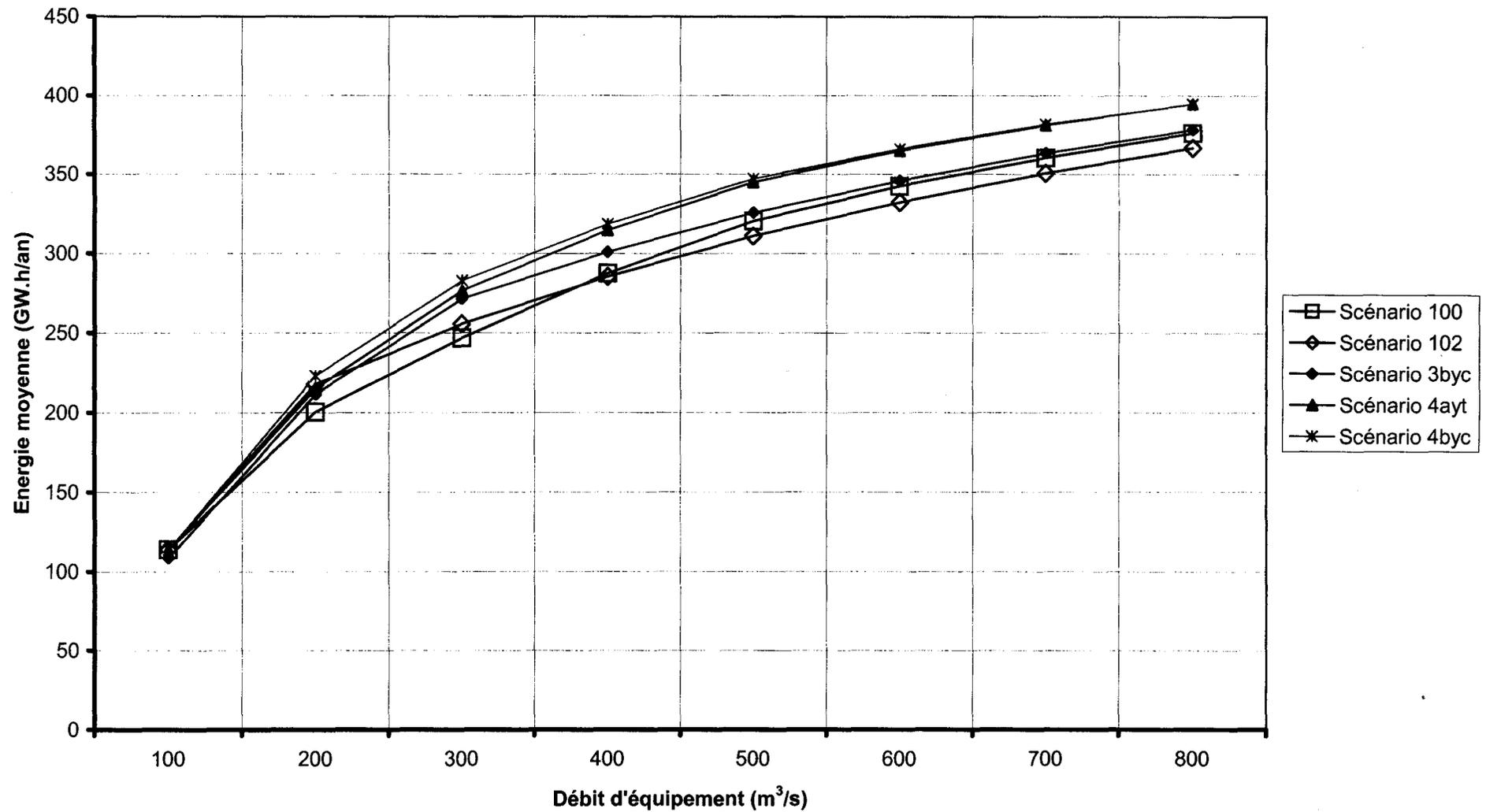




Figure 5.5 - Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, scénario 100

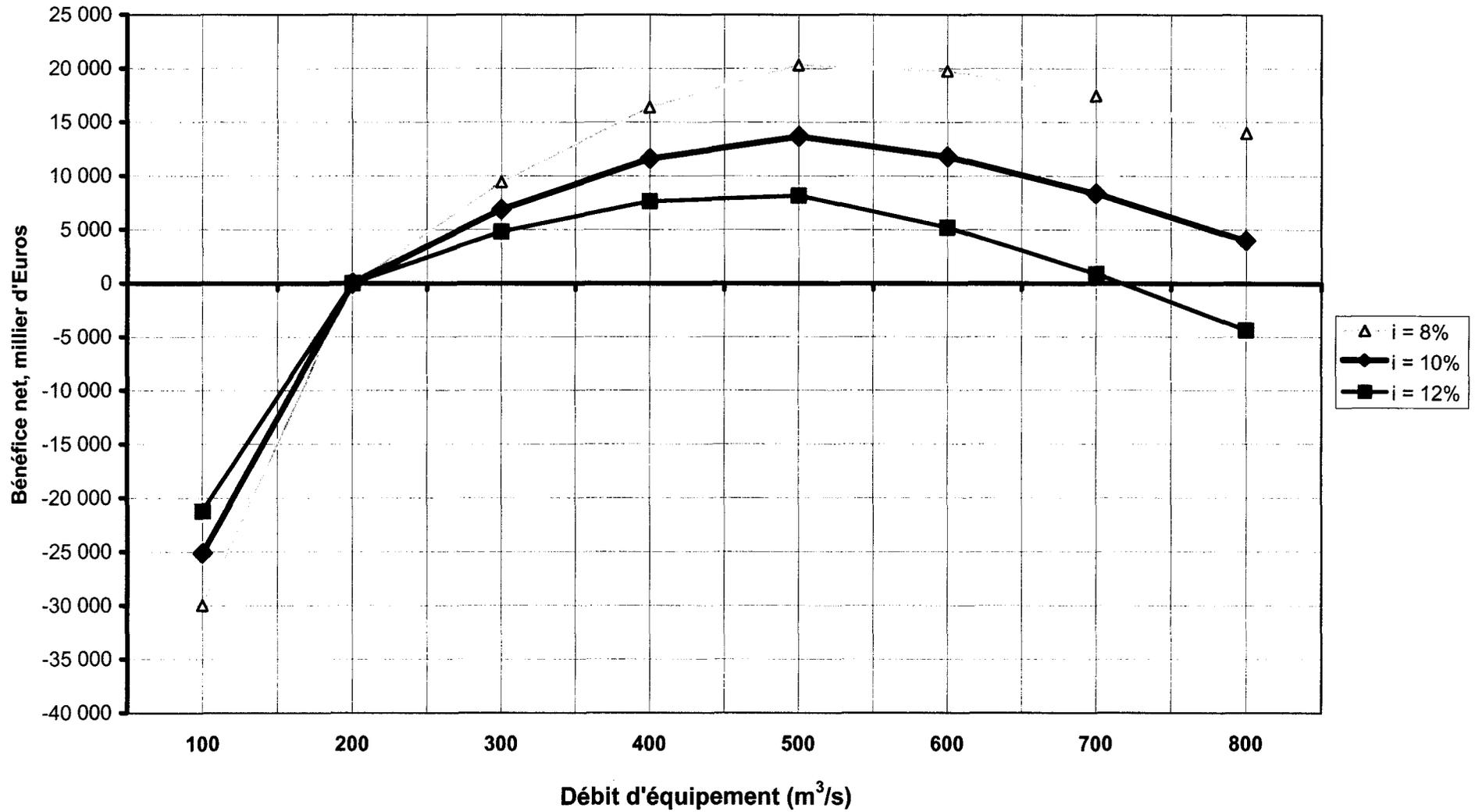




Figure 5.6 - Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 102

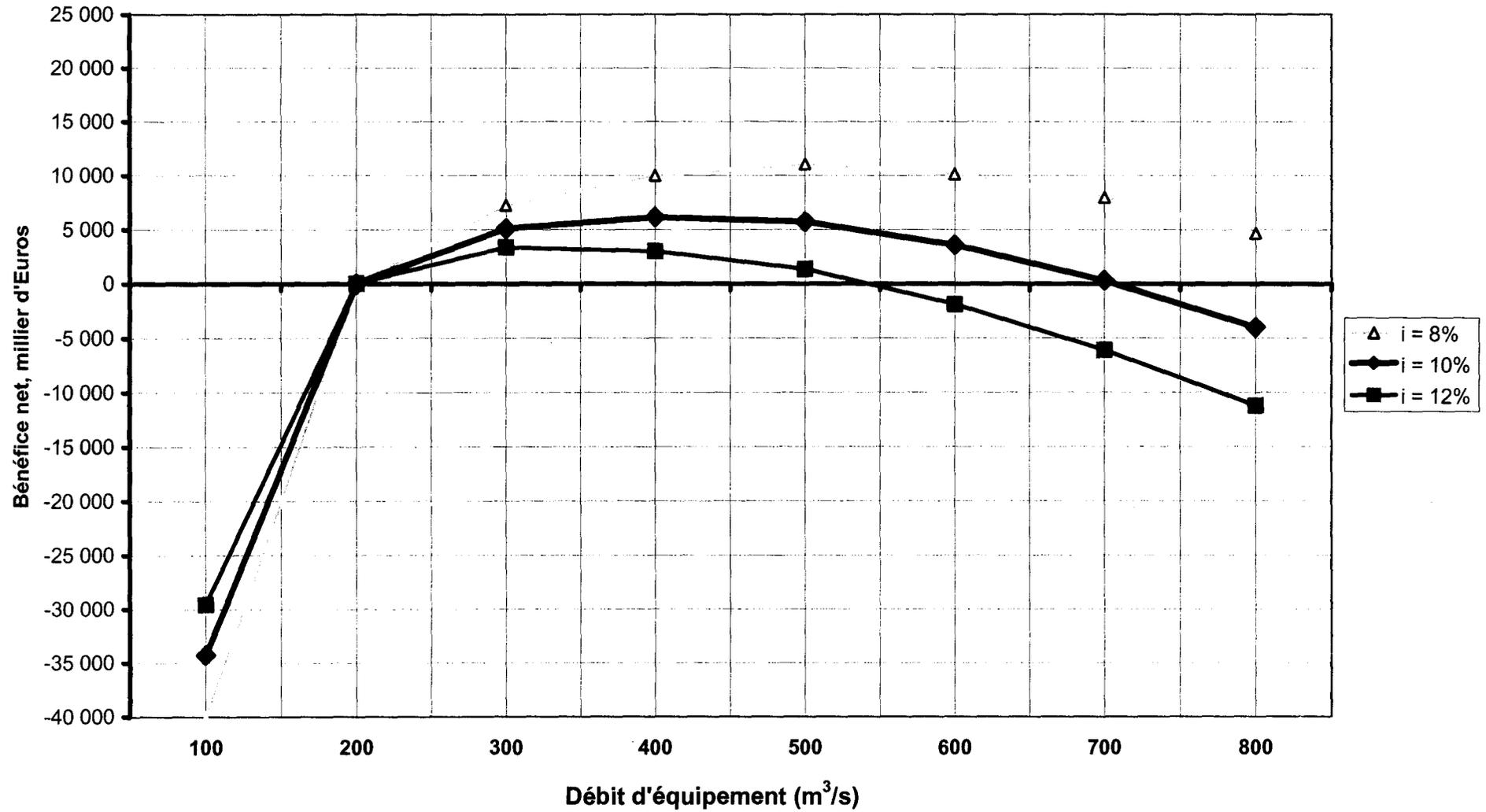




Figure 5.7 - Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 3byc

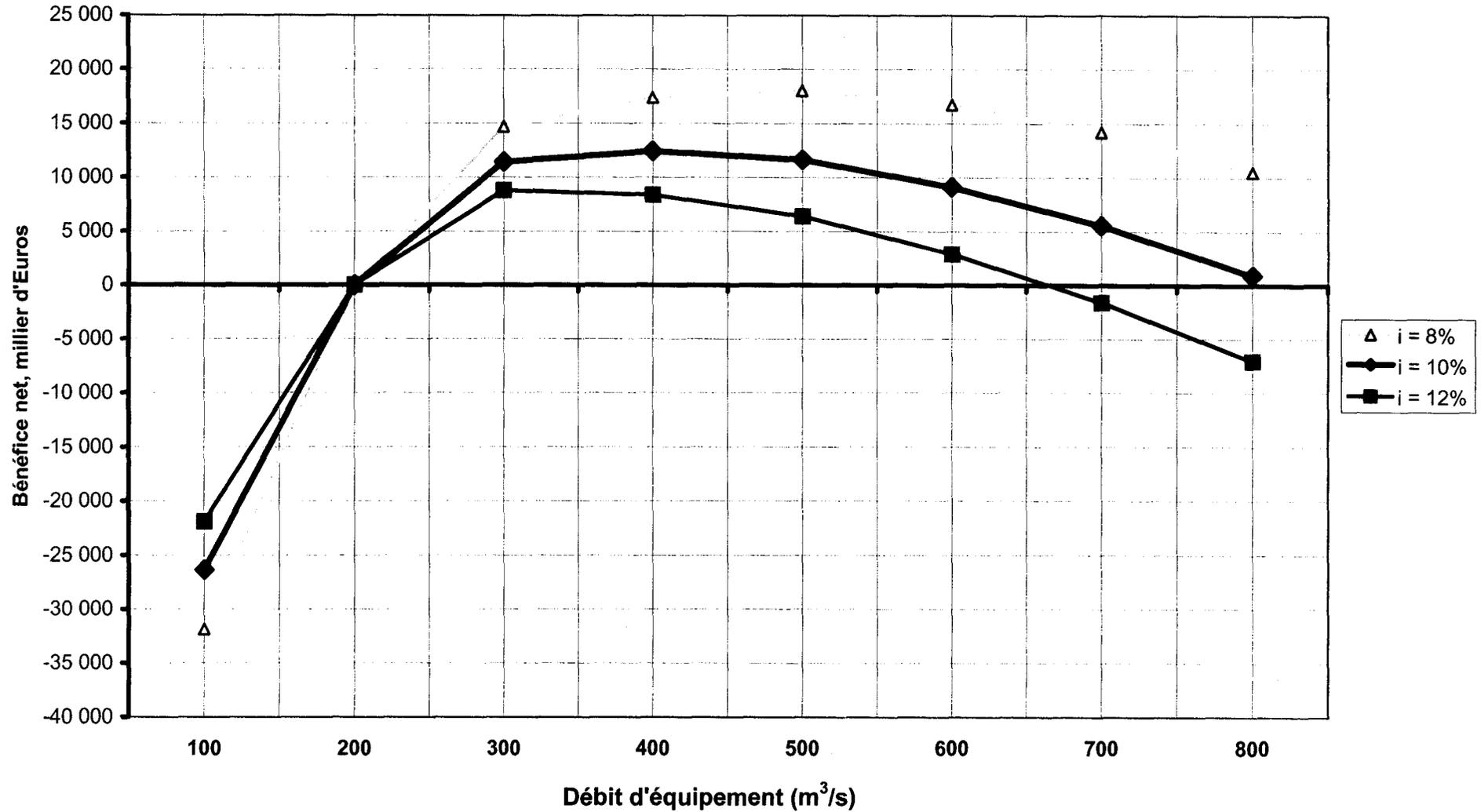




Figure 5.8 - Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 4ayt

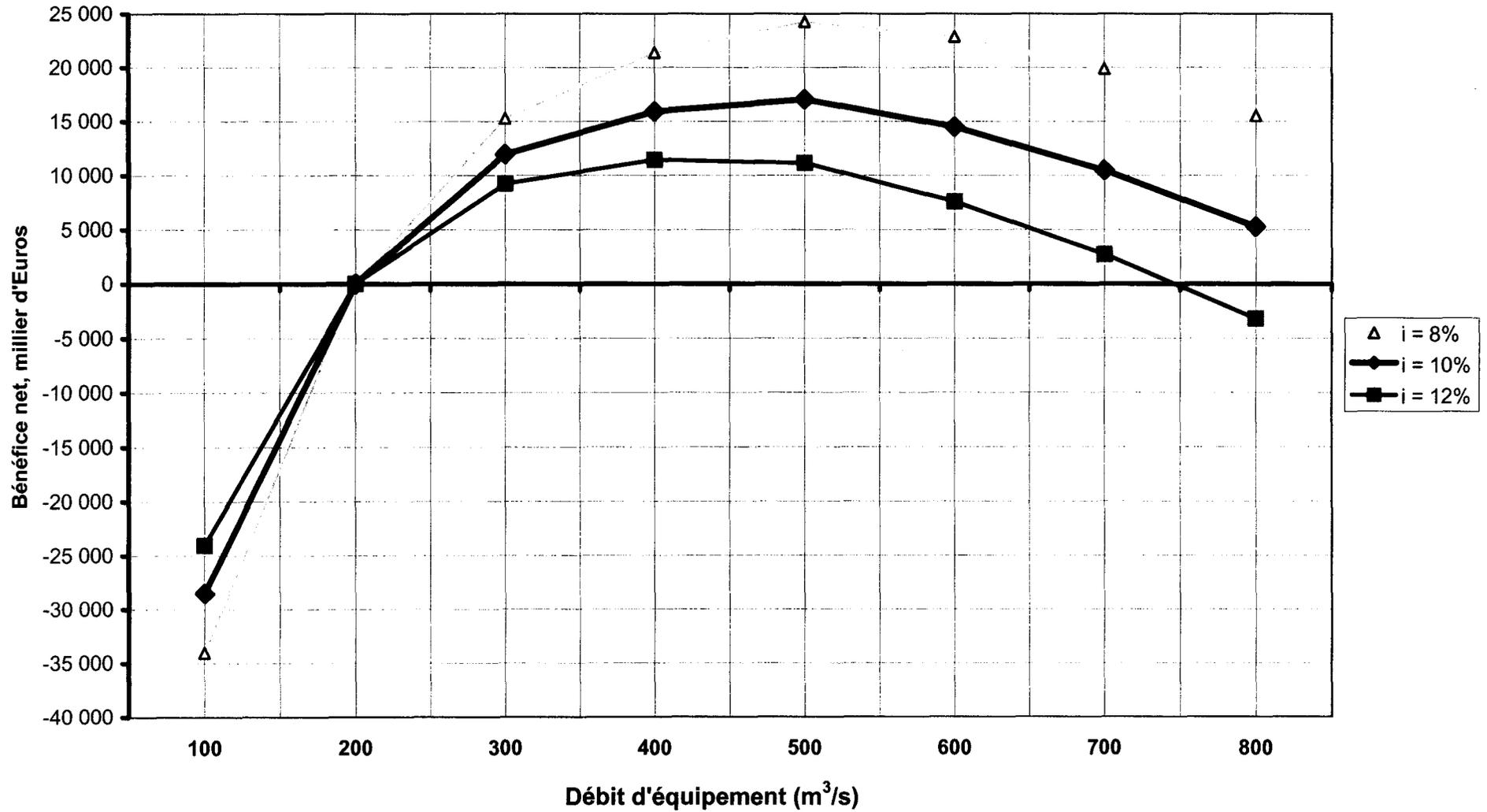
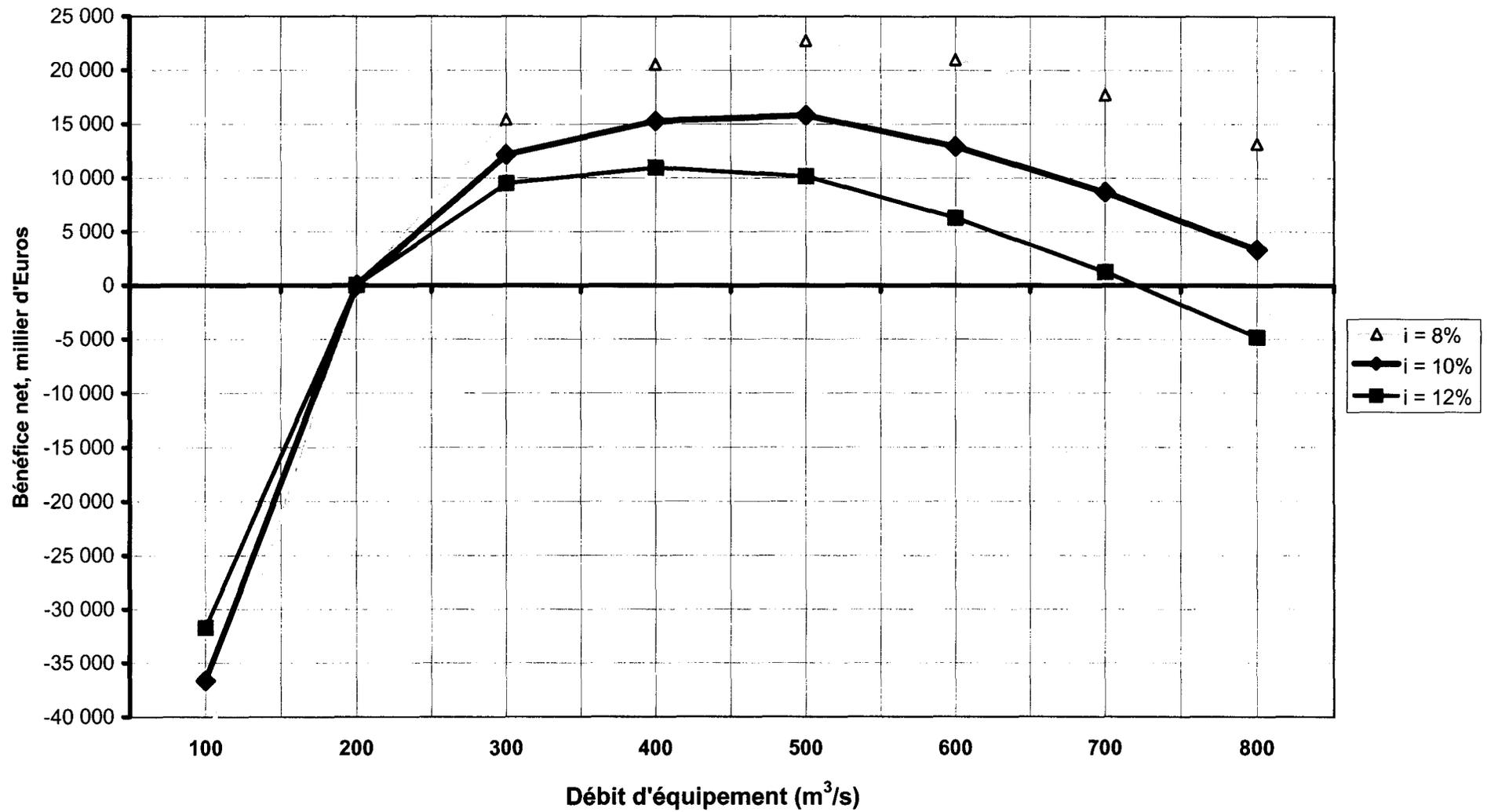




Figure 5.9 - Bénéfice net au-dessus de celui de la solution de référence, Scénario 4byc





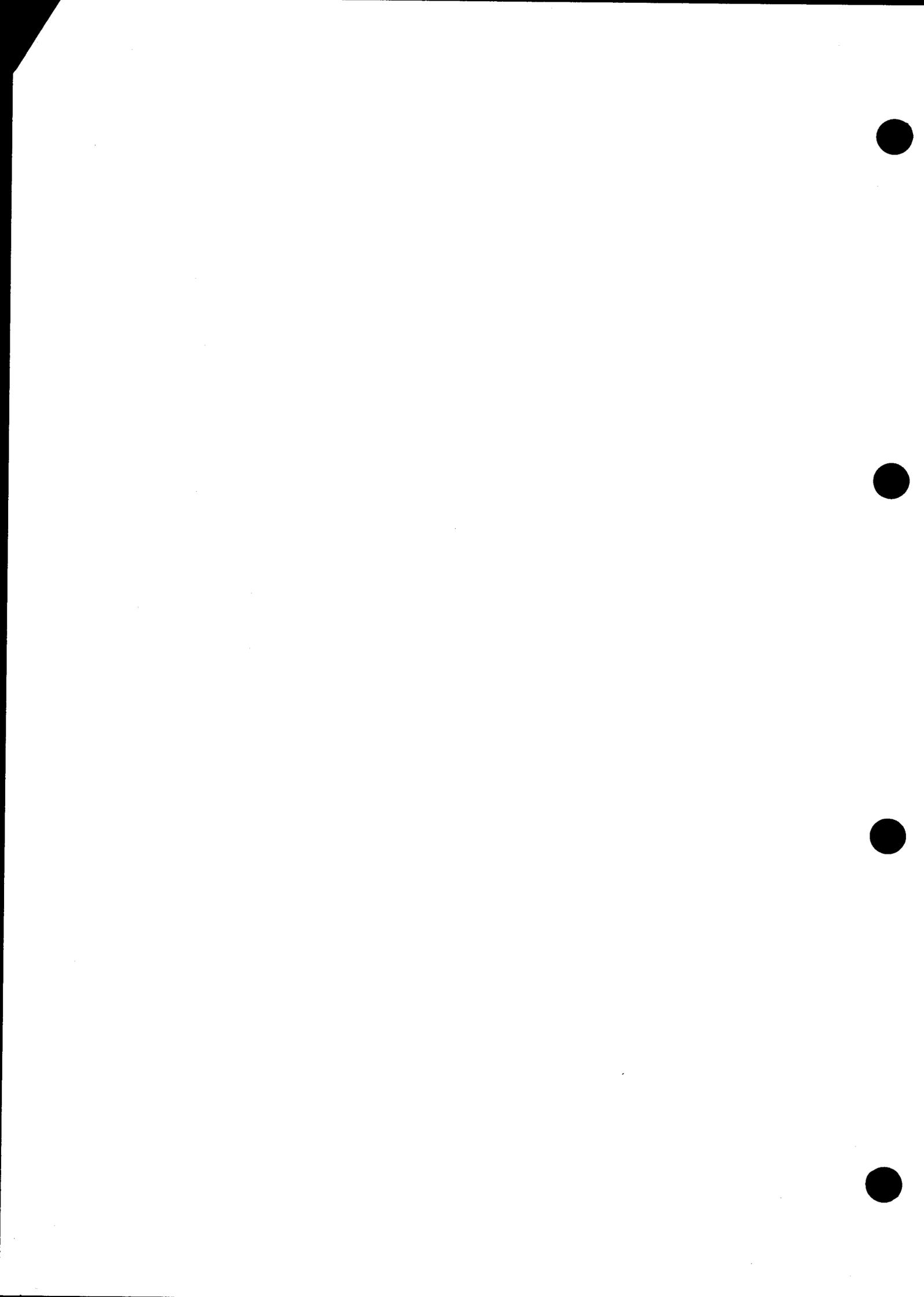
PLANS

PLANS





PLANS



LISTE DES PLANS

PLANS GÉNÉRAUX

- FE-001 A Plan de situation de Félou et Gouina
- FE-002 A Bassin versant du fleuve Sénégal à Kayes et 4 sous-bassins
- FE-003 A Accès au site de Félou
- FE-004 A Carte géologique (d'après Sénégal – Consult, 1970)
- FE-021 A Topographie au 1 / 25 000 de la zone des retenues de Félou et Gouina à FE-030 A

PROFILS EN LONG DE LA ZONE DE RETENUE

- 01-021 B Profil en long de la zone des retenues de Félou et Gouina
- 01-106 B Profil en long de la retenue de Félou, seuil à 40,00 (F1 – état actuel)
- 01-107 B Profil en long de la retenue de Félou, seuil à 42,50 (F2)
- 01-108 B Profil en long de la retenue de Félou, seuil à 45,00 (F3)

IMPLANTATION DES OUVRAGES ET PHASAGE DES TRAVAUX

- FE-101 A Implantation générale des ouvrages
- FE-102 A Phasage des travaux à l'amont du canal
- FE-103 A Phasage des travaux à l'aval du canal (1/2)
- FE-104 A Phasage des travaux à l'aval du canal (2/2)

DÉTAIL DES OUVRAGES

- FE-201 A Seuil rive droite et rive gauche
- FE-202 A Canal d'aménée : vue en plan et coupes
- FE-203 A Ouvrage de tête : vue en plan
- FE-204 A Ouvrage de tête : coupe A-A



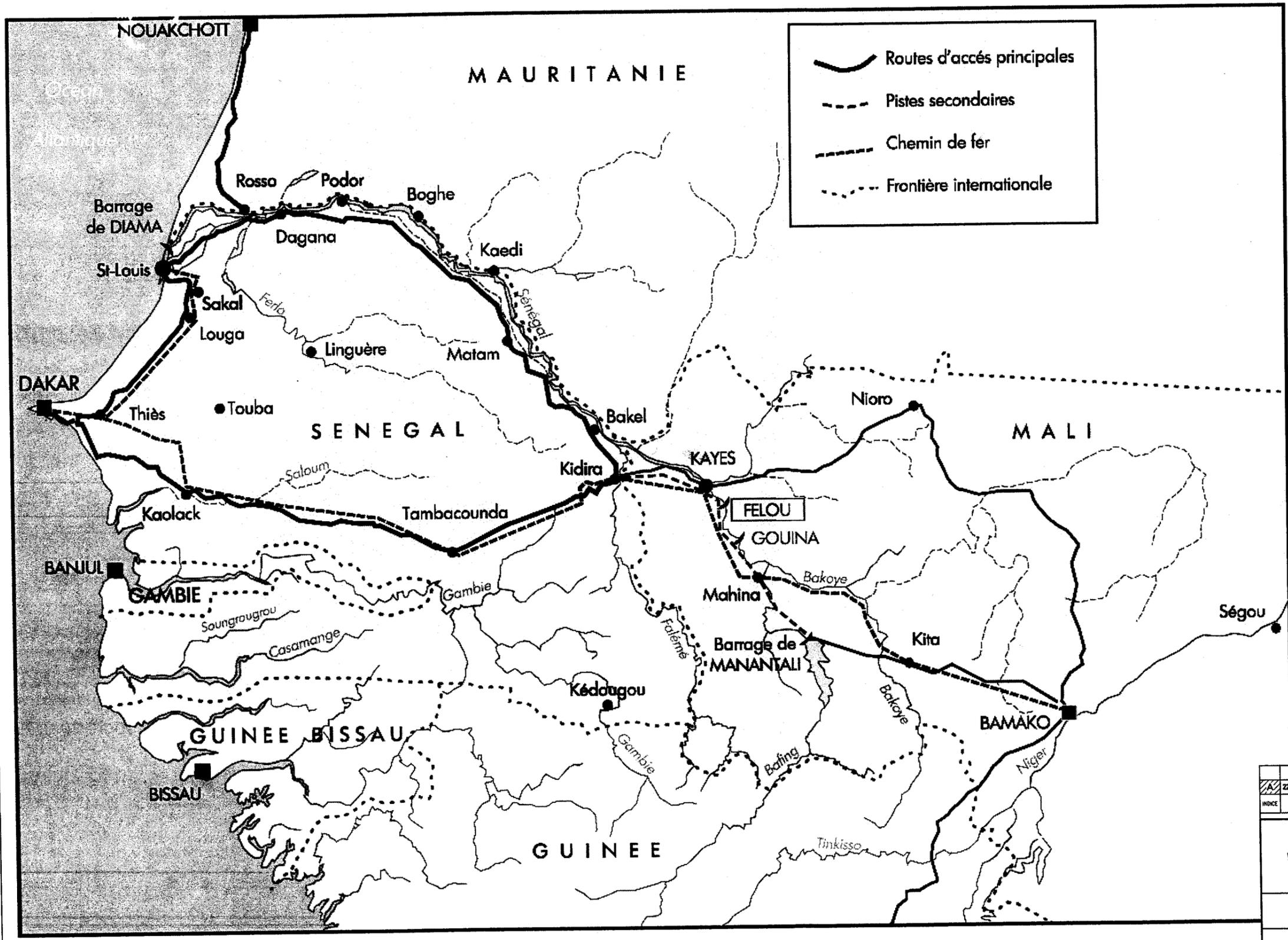
USINE HYDROÉLECTRIQUE

- FE-301 A Coupe type sur groupe
- FE-302 A Coupe horizontale au niveau 41,00 / 44,00
- FE-303 A Coupe horizontale au niveau 35,50
- FE-304 A Coupe horizontale au niveau 18,40
- FE-305 A Coupe longitudinale 1
- FE-306 A Coupe longitudinale 2

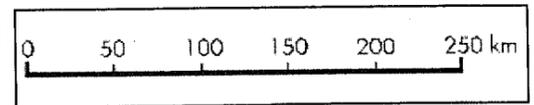
RACCORDEMENT AU RÉSEAU HAUTE TENSION

- FE-401 B Routes de transport de l'énergie
- FE-402 A Schéma unifilaire du poste de Félou
- FE-403 B Félou seul : raccordement au réseau électrique H.T.
- FE-404 B Félou et Gouina : raccordement au réseau électrique H.T. - option 1
- FE-405 B Félou et Gouina : raccordement au réseau électrique H.T. - option 2





Routes d'accès principales
 Pistes secondaires
 Chemin de fer
 Frontière internationale



INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
	22/05/02	GP	BMA	POF	Premer situation	



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

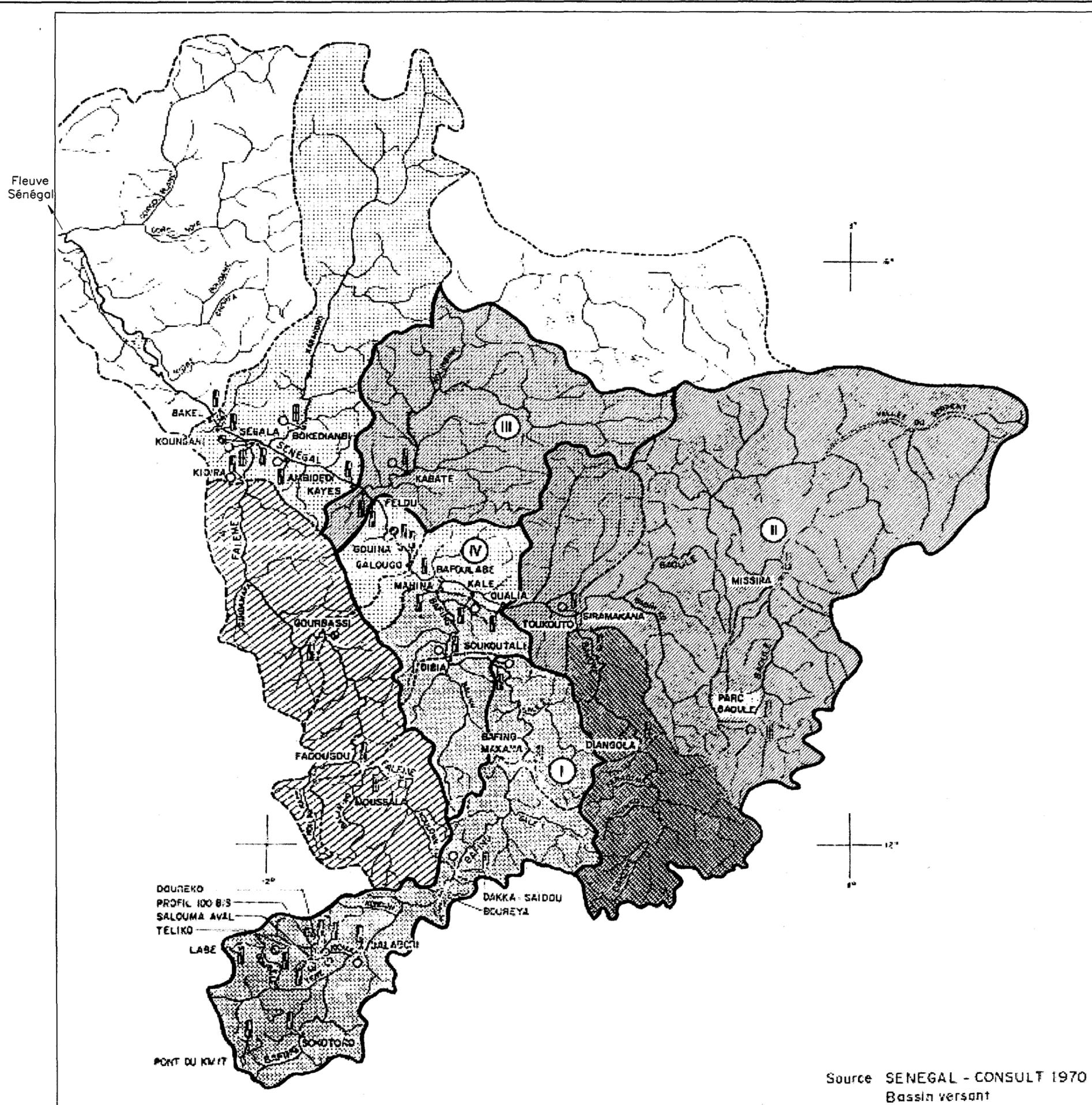
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

PLAN DE SITUATION DE FELOU ET DE GOUINA

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
	COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils ORLÈANS - FRANCE	Fiche informatique : FE-001A	No : FE-001A	A





Bassin versant	Rivière	Station aval	Superficie (km ²)	Module (1950-1999) m ³ /s
I	Bafing	Soukoutali (Manantali)	27 800	292 (scén.100)
II	Bakoyé	Oualia	84 400	124
III	Kolinbine + Sénégal	Kayes	26 400	7
IV	Sénégal	Félou	18 800	16

A	22/04/02	GPN	BMA	PDF	Première diffusion	
INDICE	DATE	DESSEINÉ PAR	CONTROLÉ PAR	APPROUVÉ PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT

ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

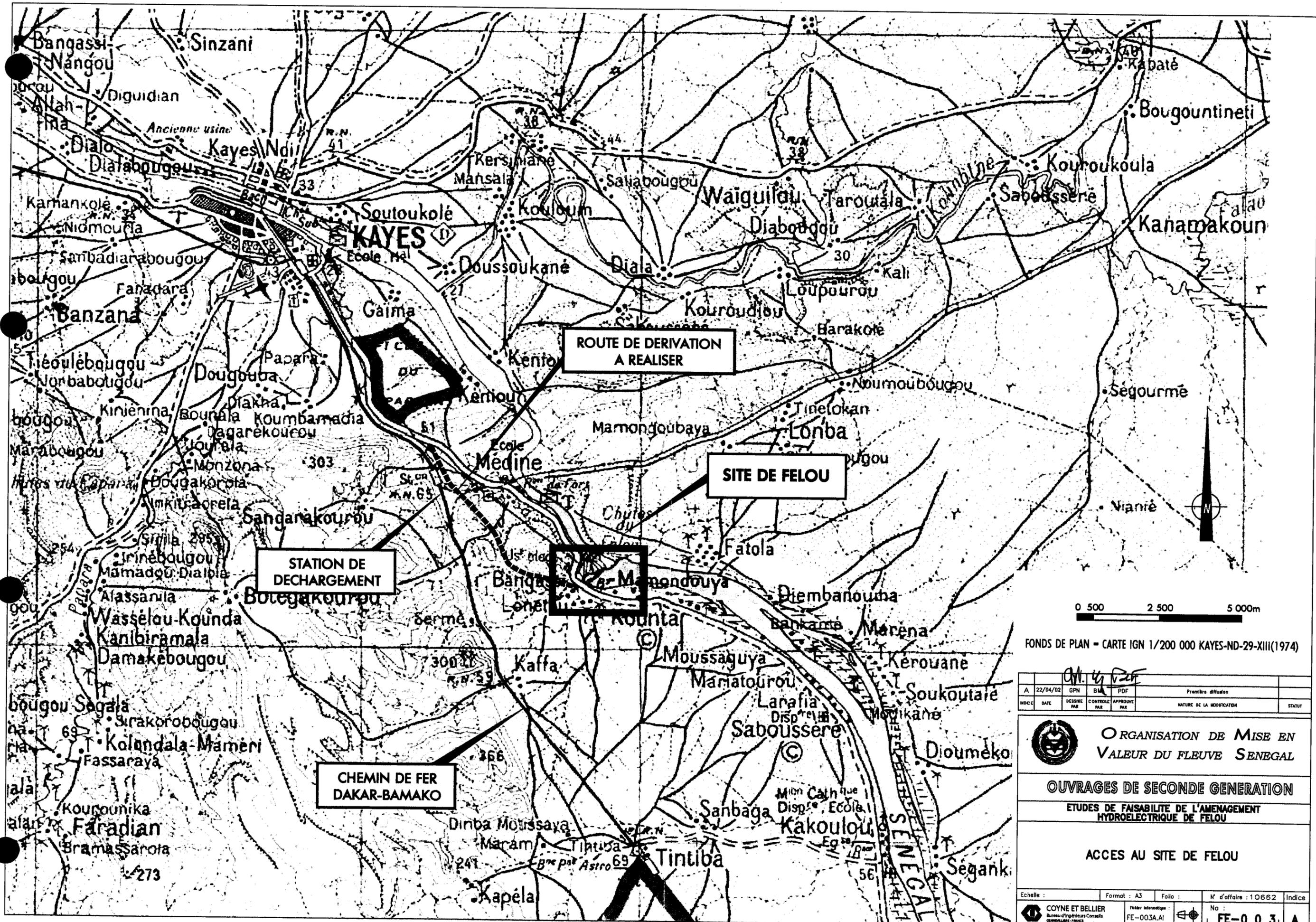
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

BASSIN VERSANT DU FLEUVE SENEGAL A KAYES ET 4 SOUS-BASSINS

Echelle :	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils ORLÈANS - FRANCE		Fichier informatique : FE-002A.dwg	No : FE-0 0 2	A

Source SENEGAL - CONSULT 1970
Bassin versant



FONDS DE PLAN - CARTE IGN 1/200 000 KAYES-ND-29-XIII(1974)

A	22/04/02	GPN	BM	PDF	Prémiers diffusion
INDIC	DATE	DESINE	CONTROLE	APPROUVE	NATURE DE LA MODIFICATION
		PAR	PAR	PAR	STATUT

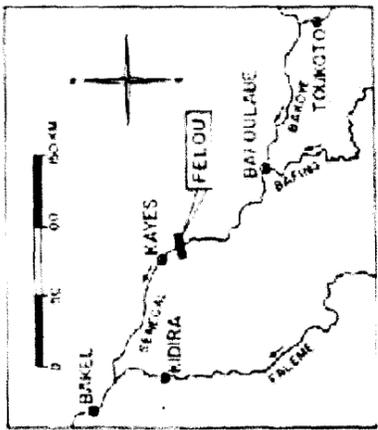
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

ACCES AU SITE DE FELOU

Echelle :	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
	COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénieurs Conseils GENÈVE - FRANCE	Fichier informatique FE-003A.A1	No : FE-0031	A

- SOIL AND RIVER DEPOSITS (SILT)
- SOL ET DEPOTS FLUVIATILES (LIMON)
- SLOPE DEBRIS (ROU/DFF)
- FROUITS DE PENTE (BLOC)
- BEDROCK UNDER THIN SOIL COVER
- ROCHE SOUS FAIRIF COUVERTURE
- POTHOLE AREA
- ZONE DE MARMITES
- ZONE OF SUPERFICIAL FRACTURE
- ZONE DE FRACTURATION SUPERFICIELLE
- MASSIVE SANDSTONE
- GELS MASSIF
- STRIKE AND DIP OF BEDS
- DIRECTION ET PLACEMENT DES COUCHES
- STRIKE AND DIP OF JOINTS
- DIRECTION ET PLONGEMENT DES LITAGES



INDEX	DATE	DESSINÉ PAR	CONTRÔLÉ PAR	APPROUVÉ PAR	STATUT
1	22/04/70	M. P. D.	B.M.	P.D.F.	
NATURE DE LA MODIFICATION					



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

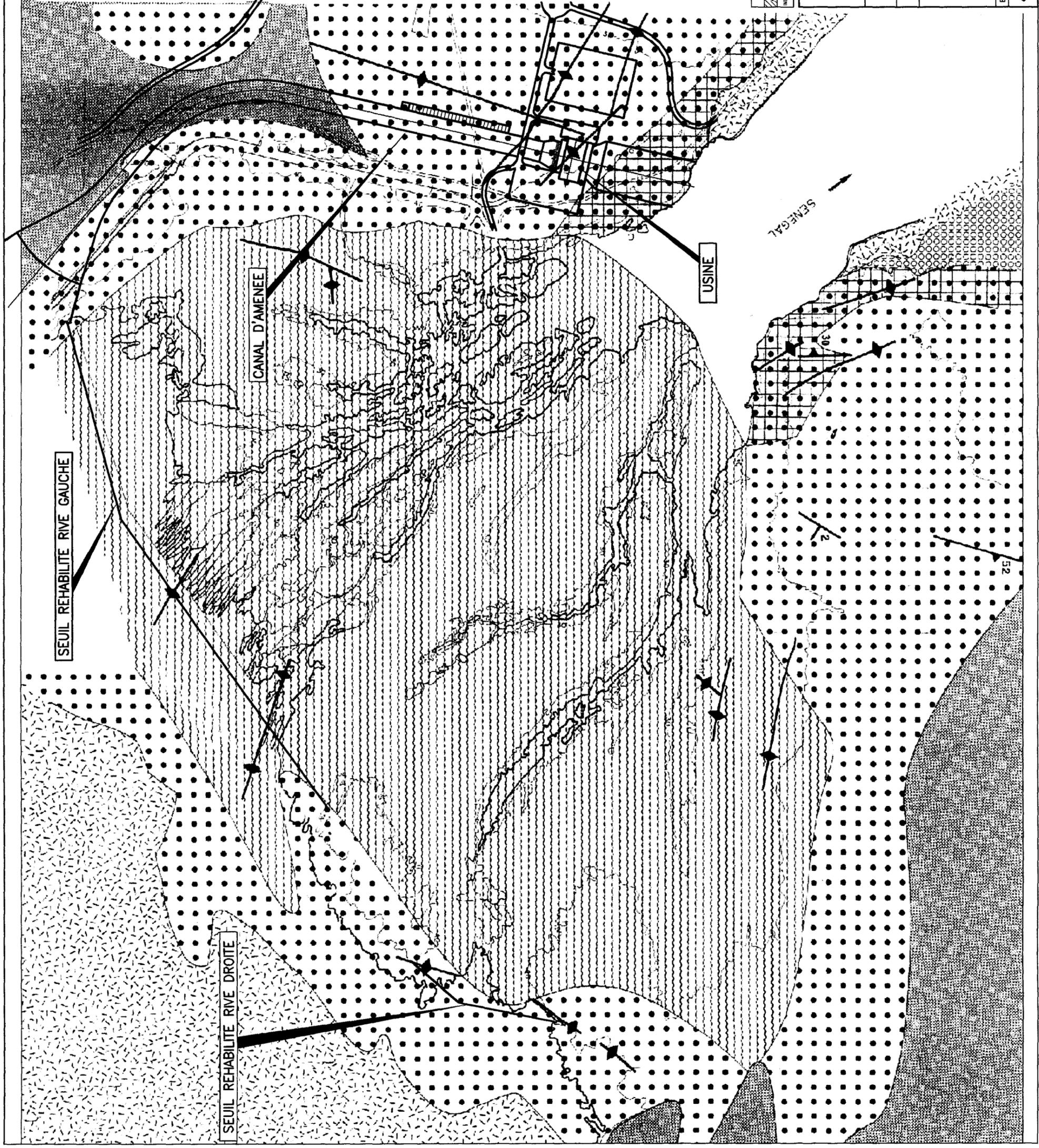
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

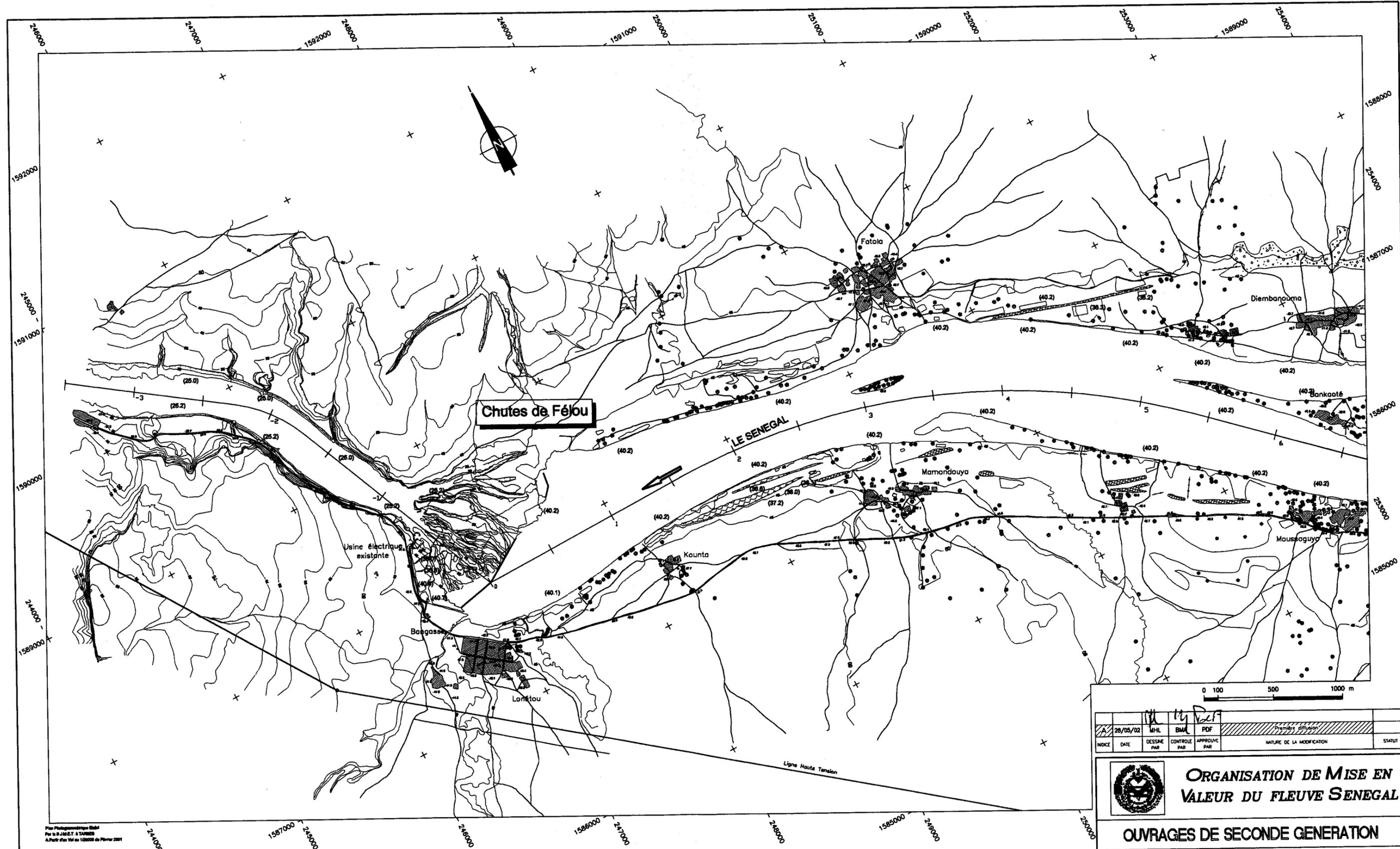
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

SITE DE FELOU
CARTE GEOLOGIQUE

(d'après SENEGAL-CONSULT 1970)

Échelle : Graphique	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indices
COYNE ET BELLIER	Feuille n° :	No :	FE-004A.dwg	FE-004A
A				





Chutes de Félou

LE SENEGAL

Usine électrique existante

Kaunta

Mambakouya

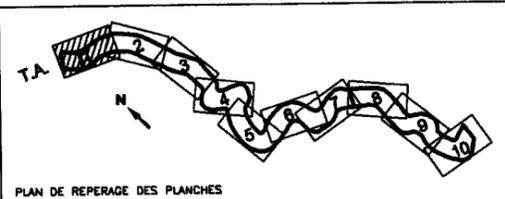
Mousakouya

Lontiou

Ligne Haute Tension

Plan Photogrammétrique Numéroté
Par le S.J.M.E.T. à TAMBACOU
A Partir d'un Vol en 1980/81 de Février 2001

LEGENDE
(63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
Restitution photogrammétrique de août 2001 par
SCP DELPECH/BERTERRECHE



0 100 500 1000 m

INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
	26/05/02	MHL	BMM	PDF	Première diffusion	



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

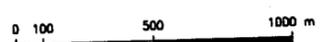
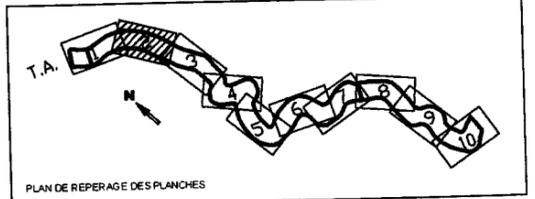
TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
PK -3.5 A PK 16.5 - PLANCHE 1/10

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 1/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénierie Conseil DREVILLE - FRANCE	Fichier informatique : FE-021A.dwg	No : FE-0 2 1	A	



Plan Photogrammétrique Etalé
 Par le S.I.C.E.T. à YAKREZ
 A Partir d'un Vol au 1/25000 de Février 2001

LEGENDE
 (63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
 Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
 Restitution photogrammétrique de août 2001 par
 SCP DELPECH/BERTERRECHE



INDICE	DATE	DESSEINÉ PAR	CONTROLÉ PAR	APPROUVÉ PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A	28/05/02	M.H.L.	B.M.A.	PDF		



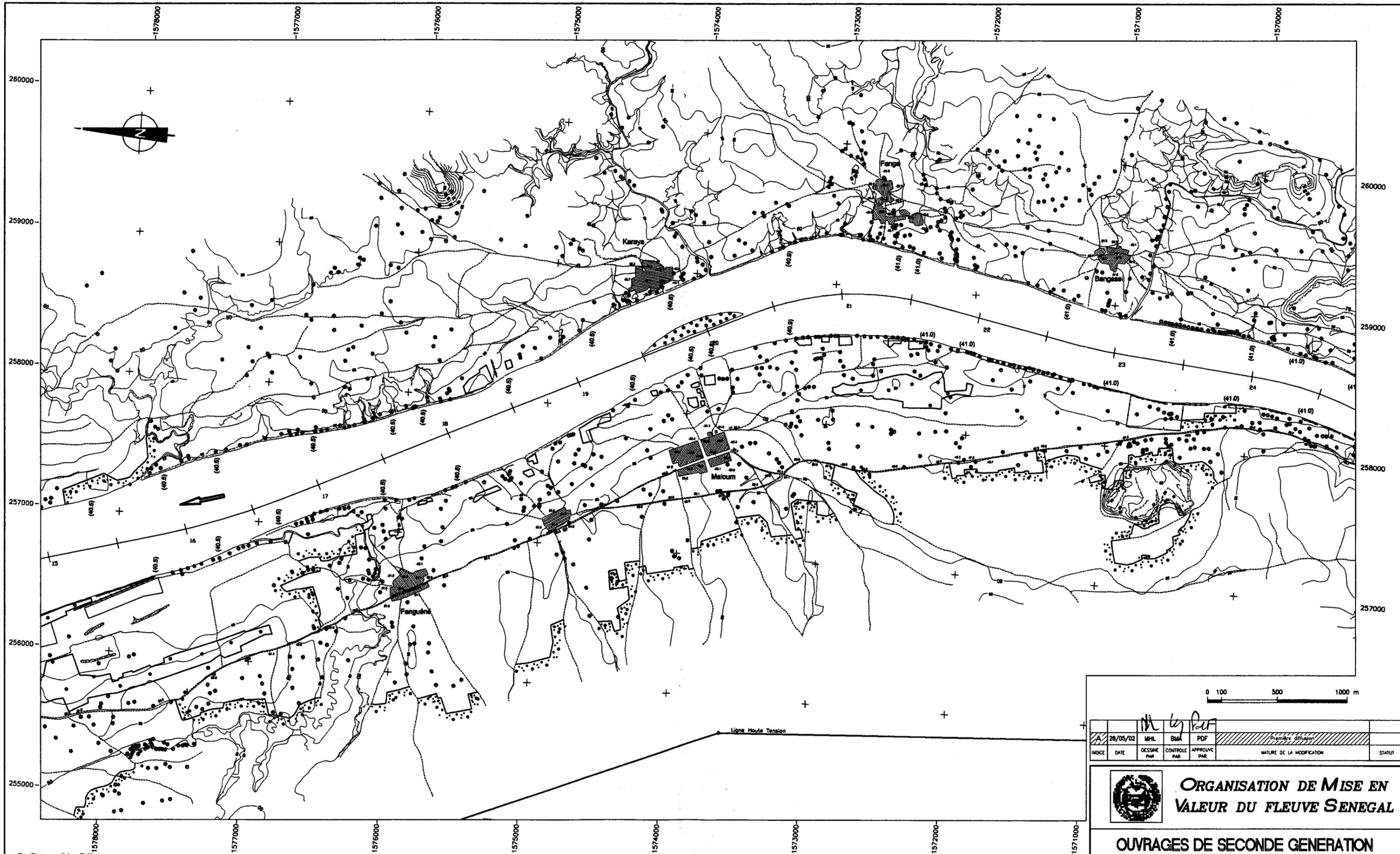
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
 PK 6 A PK 15.5 - PLANCHE 2/10

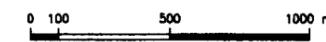
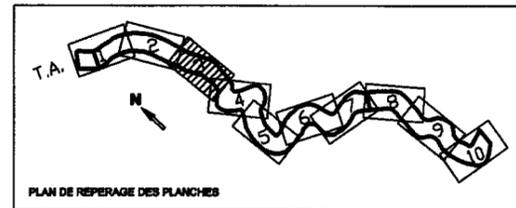
Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 2/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénieurs Conseils 92000-LEVALLOIS PERRETTE - FRANCE		Feuille Interne : FE-022A.dwg	No : FE-0 2 2 1 A	



Plan Photogrammétrique Basse
Par le S.I.S.T. à YAKOUM
A Partir d'un Vol au 1/25000 au Février 2001

LEGENDE
(63.7) : Cote de l'eau, Février 2001

Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
Restitution photogrammétrique de août 2001 par
SCP DELPECH/BERTERRECHE



INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A	28/05/02	MHL	BMA	PDF	Première diffusion	

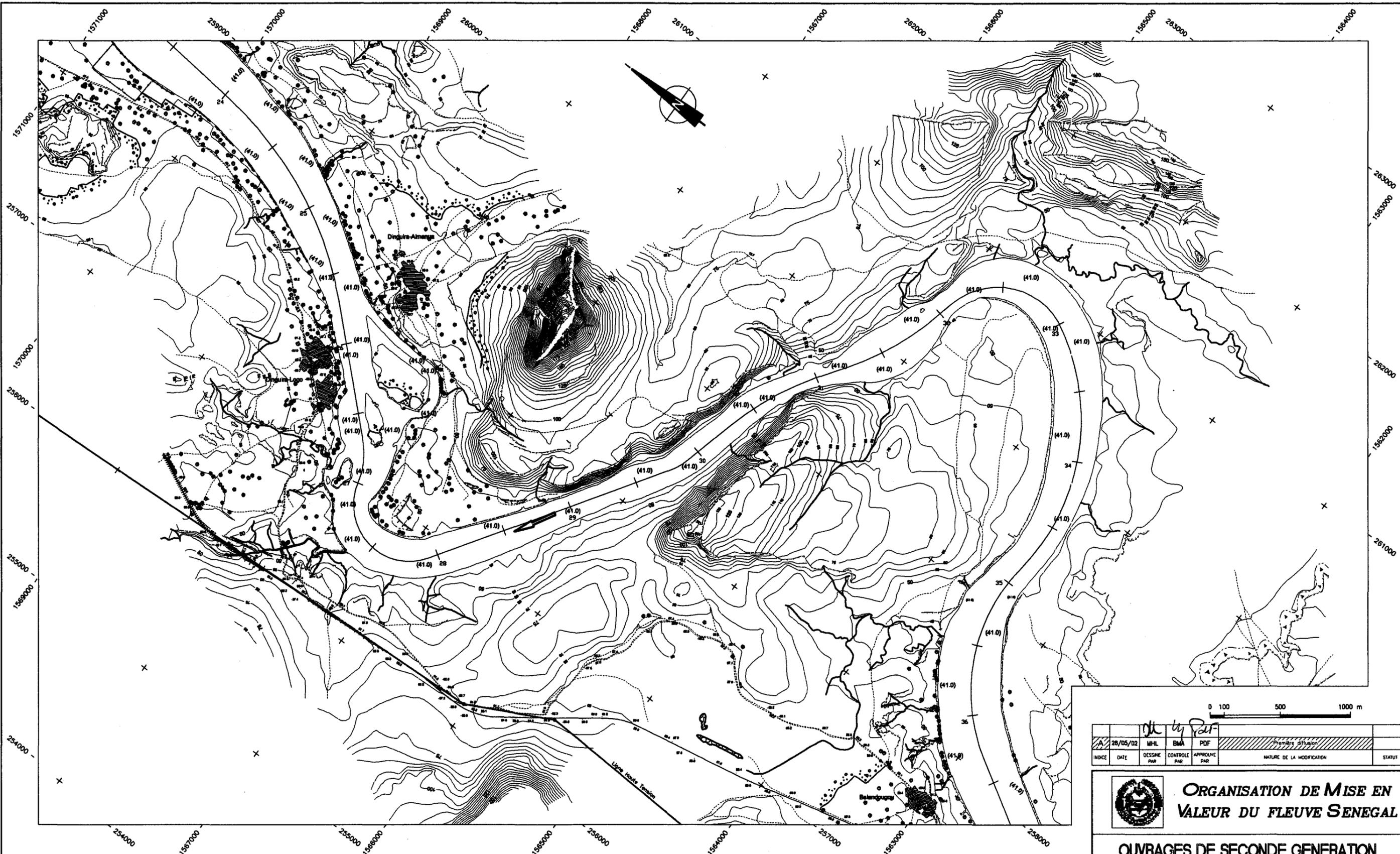
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

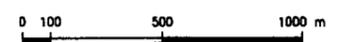
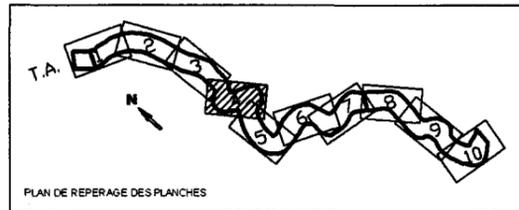
TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
PK 15 A PK 24.5 - PLANCHE 3/10

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 3/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénierie Conseil environnement - énergie		Fichier informatique : FE-023A.dwg	No : FE-0 2 3	A



Film Photogrammétrique Shakti
 Par le S.I.M.S.T. à SOUSSE
 A Partir d'un Vol en 1/25000 de Pétrie 2001

LEGENDE
 (63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
 Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
 Restitution photogrammétrique de août 2001 par
 SCP DELPECH/BERTERRECHÉ



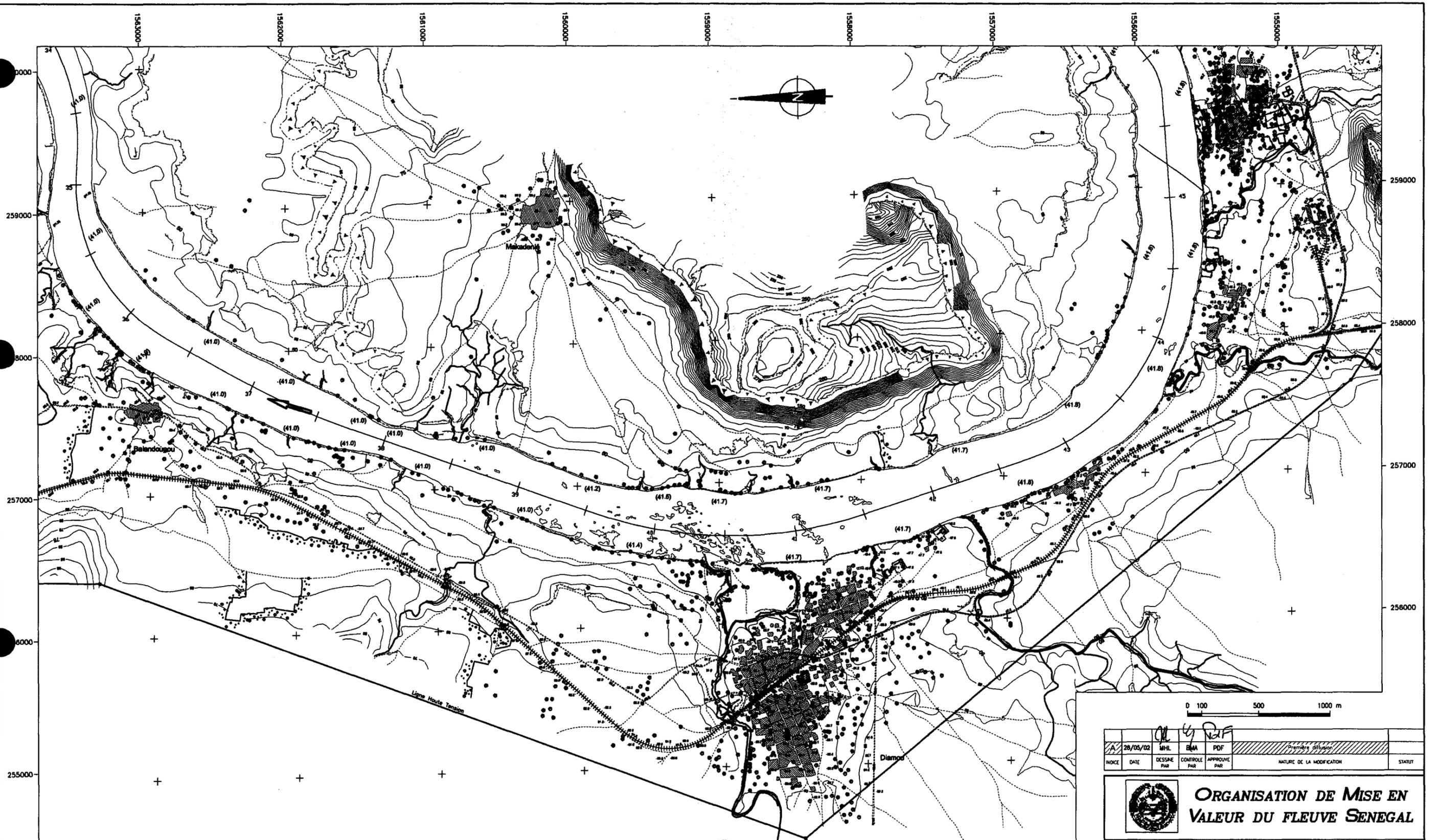
INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
	28/05/02	MHL	BMA	PDF	Première diffusion	

ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION
 ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT
 HYDROELECTRIQUE DE FELOU

**TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE
 DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
 PK 23.5 A PK 36.5 - PLANCHE 4/10**

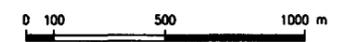
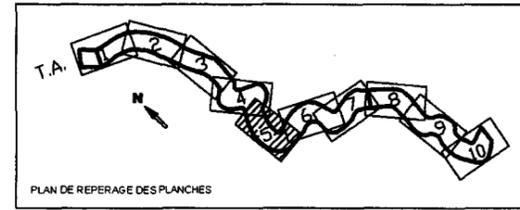
Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 4/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils GENERALISTES - PAVAGE	Fichier informatique : FE-024A.dwg	No : FE-0 2 4	A	



Plan Photogrammétrique Stakht
 Par le S.T.G.S.T. à 1/25000
 à partir d'un Vol en 1/50000 de Février 2001

LEGENDE
 (63.7) : Cote de l'eau, Février 2001

Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
 Restitution photogrammétrique de août 2001 par
 SCP DELPECH/BERTERRECHE



INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A/28/05/02	MHL	EMA	PDF		Première diffusion	

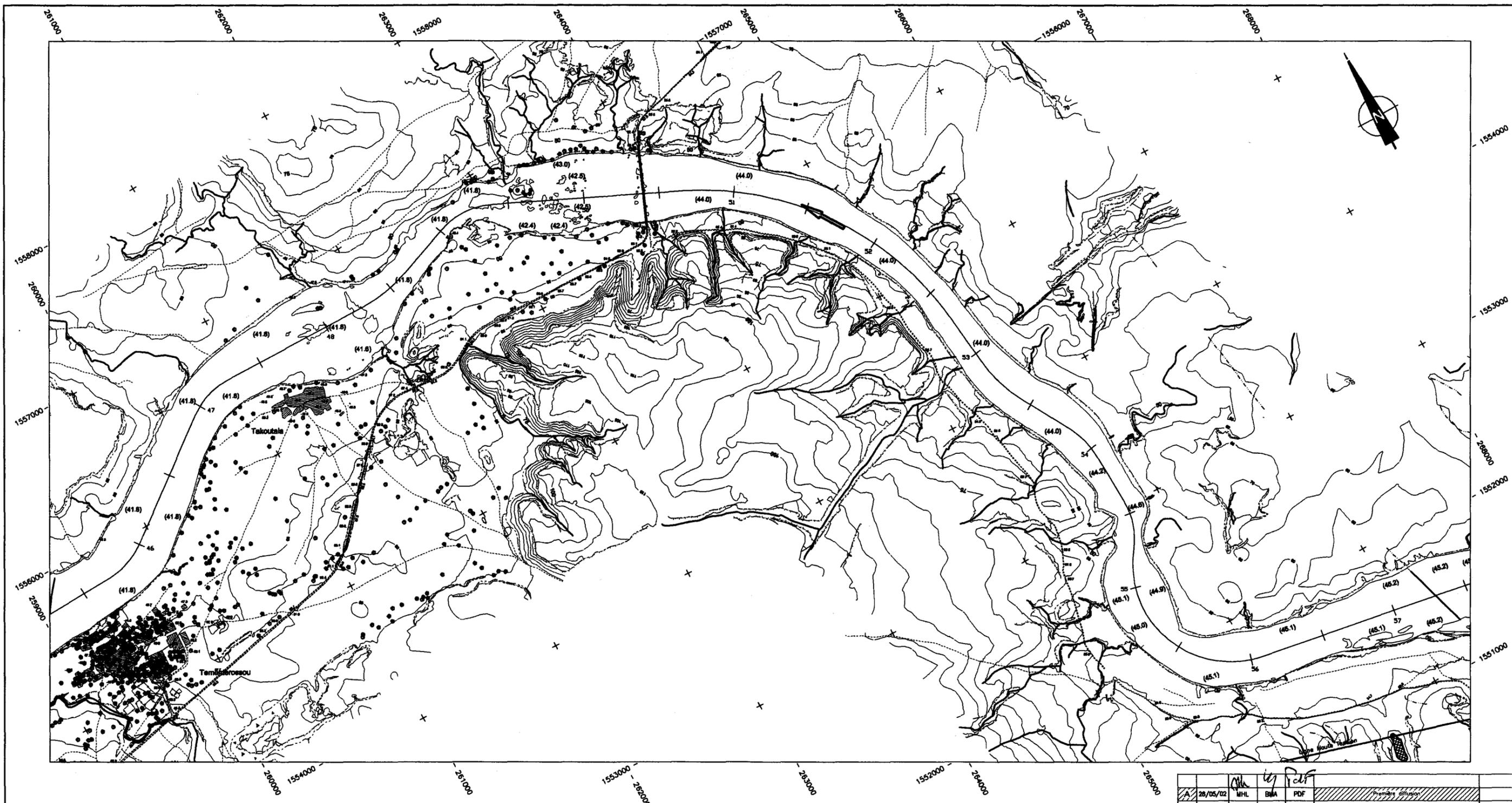
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

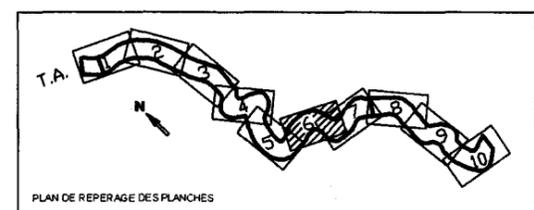
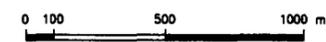
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
 PK 34 A PK 46 - PLANCHE 5/10

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 5/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénieurs Conseils DREUILLE - FRANCE		Fichier informatique : FE-025A.dwg	No : FE-0 2 5	A



Plan Photogramétrique Etalé
 Par le S.A.M.E.T. à TAMBOUSSOU
 à l'échelle d'un Val en 1/25000 de Février 2001



LEGENDE
 (63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
 Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
 Restitution photogramétrique de août 2001 par
 SCP DELPECH/BERTERRECHE

INDICE	DATE	DESSEINÉ PAR	CONTROLÉ PAR	APPROUVÉ PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A	26/05/02	MHL	BMA	PDF	Première diffusion	

ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

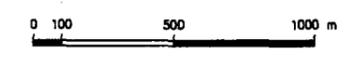
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
 PK 45.5 A PK 57.5 - PLANCHE 6/10

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 6/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénieurs Conseils COYNE-ET-BELLIER - FRANCE		Fichier Métrique : FE-026A.dwg	No : FE-0 2 6	A

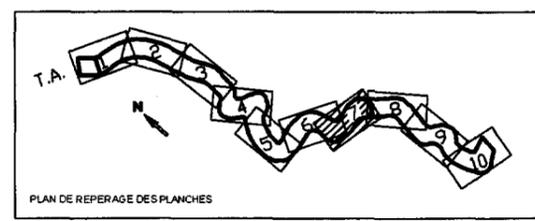


Chutes de Gouina



Plan Photogrammétrique Stable
Par le S.I.A.S.T. à YAKHOU
A Partir d'un Vol au 1/25000 de Février 2001

LEGENDE
(63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
Restitution photogrammétrique de août 2001 par
SCP DELPECH/BERTERRECHE



INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A/	28/05/02	MHL	BMA	PDF	Première diffusion	



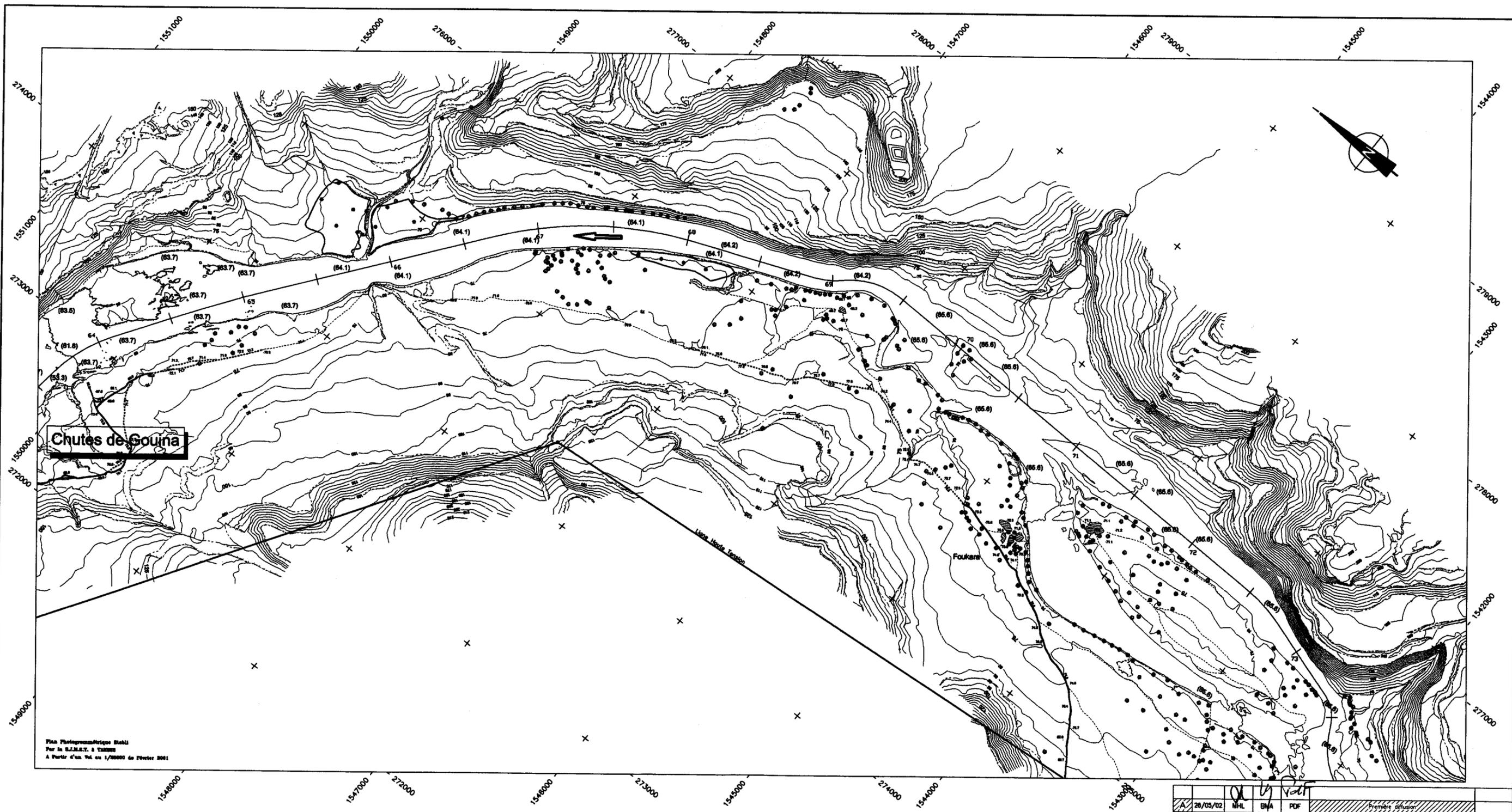
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

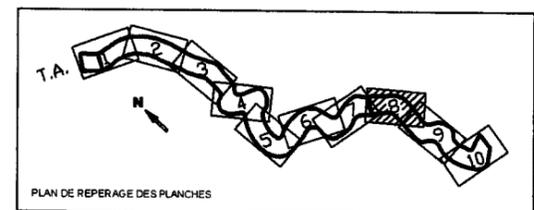
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

**TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
PK 52.5 A PK 64.5 - PLANCHE 7/10**

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 7/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénieurs Conseils Dessins - Plans - Révisés	Fichier informatique : FE-027A.dwg	No : FE-0 2 7 1	A	



Plan Photogrammétrique Numérisé
 Par le S.I.M.E.T. à TAHINE
 A Partir d'un Vol au 1/25000 de Février 2001



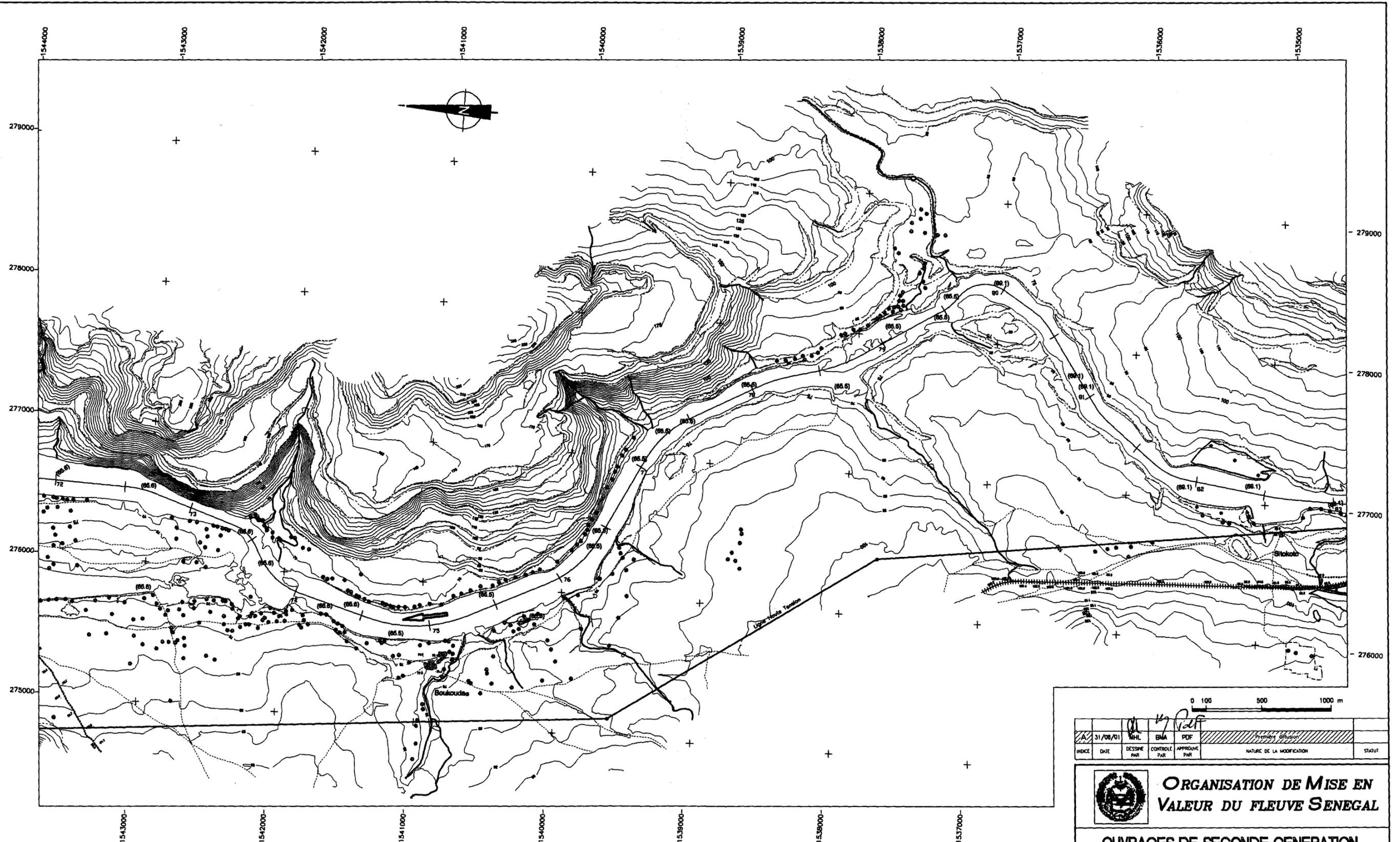
LEGENDE
 (63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
 Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
 Restitution photogrammétrique de août 2001 par
 SCP DELPECH/BERTERRECHE

A	26/05/02	NHL	BNA	PDF	Première diffusion	
INDEXE	DATE	DESSEINÉ PAR	CONTRÔLÉ PAR	APPROUVÉ PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT



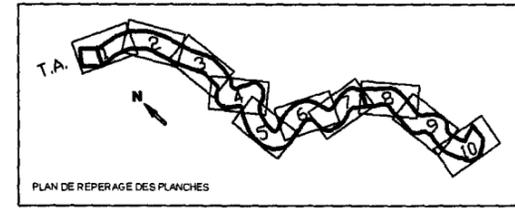
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION
 ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU
 TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
 PK 63.5 A PK 73.5 - PLANCHE 8/10

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 8/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils généralistes - jeunes	Fichier informatique : FE-028A.dwg	No : FE-0 2 8	A	

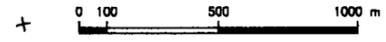
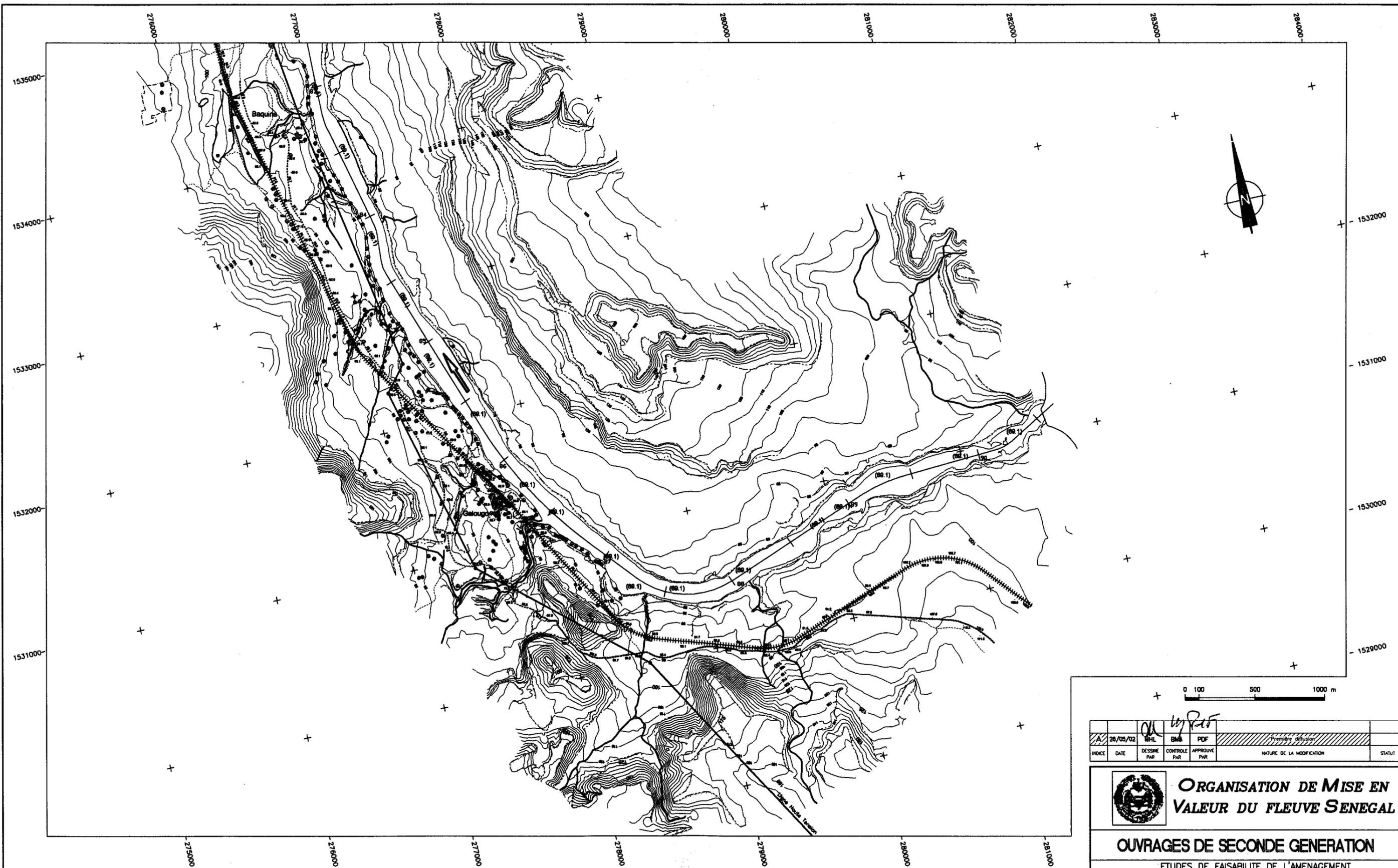


Plan Photogramétrique Numéroté
 Par le S.I.S.T. à TAMBOU
 A Partir d'un Vol au 1/25000 de Février 2001

LEGENDE
 (63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
 Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
 Restitution photogramétrique de août 2001 par
 SCP DELPECH/BERTERRECHE



0 100 500 1000 m				
A/31/08/01	WHL	EMA	PDF	
INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR
				NATURE DE LA MODIFICATION
 ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL				
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION				
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU				
TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA PK 72 A PK 83 - PLANCHE 9/10				
Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 9/10	N° d'affaire : 10662	Indice
 COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils Conception - Réalisation		Fichier Informatique : FE-029A.dwg	No : FE-0 2 9	A



INDEX	DATE	DESSEINÉ PAR	CONTROLÉ PAR	APPROUVÉ PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
	28/05/02	MHL	GMH	PDF	Première diffusion	



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

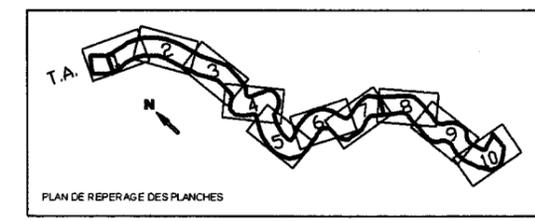
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

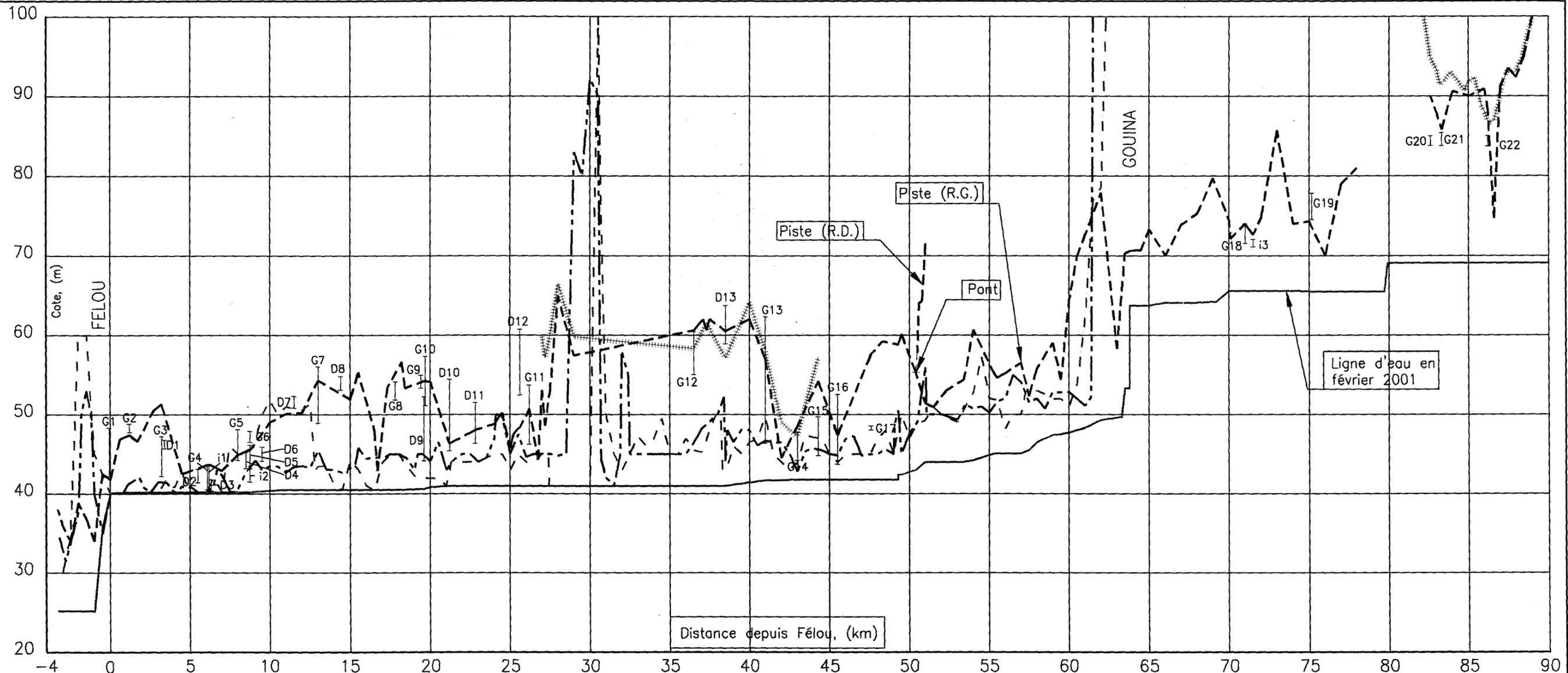
**TOPOGRAPHIE AU 1/25000 DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA
PK 83 A PK 90.5 - PLANCHE 10/10**

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio : 10/10	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils DIPLOME D'ETAT - FRANCE		Fichier informatique : FE-030A.dwg	No : FE-030	A

Plan Photogrammétrique Numérisé
Par la S.J.M.E.T. & TANNON
A Partir d'un Vel au 1/20000 de Février 2001

LEGENDE
(63.7) : Cote de l'eau, Février 2001
Photographies aériennes de Février 2001 au 1/25000
Restitution photogrammétrique de août 2001 par
SCP DELPECH/BERTERRECHE





- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> G1 Bangassi-Lonétou G2 Kounta G3 Mamoudouya G4 Moussaguya G5 Mariatourou G6 Larafia G7 Kakoulou G8 Fanguéné G9 (Sans nom) G10 Maloum G11 Dinguiria-Logo G12 Balandougou G13 Diamou G14 (Sans nom) G15 (Sans nom) G16 Témentérosou G17 Takoutala G18 Foukara G19 Boukouda G20 Sitokoto G21 Baquina G22 Galougo | <ul style="list-style-type: none"> i1 Bankaoté i2 Modikané i3 (Sans nom) | <ul style="list-style-type: none"> D1 Fatola D2 Dienbanouma aval D3 Dienbanouma D4 Maréna D5 Kérouané D6 Soukoutalé D7 Dioumékon D8 Ségankané D9 Karaya D10 Fanga D11 Bangassi D12 Dinguiria-Almanura D13 Makadenlé |
|--|---|--|

LEGENDE

- Ligne d'eau Q = 120 m³/s (Mesuré en Février 2001)
- - - - - Piste en rive gauche
- ⋯⋯⋯ Voie ferrée en rive gauche
- · - · - · - Berge rive droite
- - - - - Berge rive gauche

NOTA : Les cotes extrêmes indiquées pour les villages ne concernent que les zones d'habitation observables sur les photos aériennes de février 2001. Elles ne représentent pas l'étendue des zones cultivées autour des zones habitées.

B	04.06.2002	GM	GM	PDF	EDITION POUR RAPPORT DE FAISABILITE	
A	30.08.2001	JMT	PDA	PDF	Première diffusion	
INDICE	DATE	DESSEIN PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT

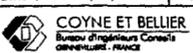


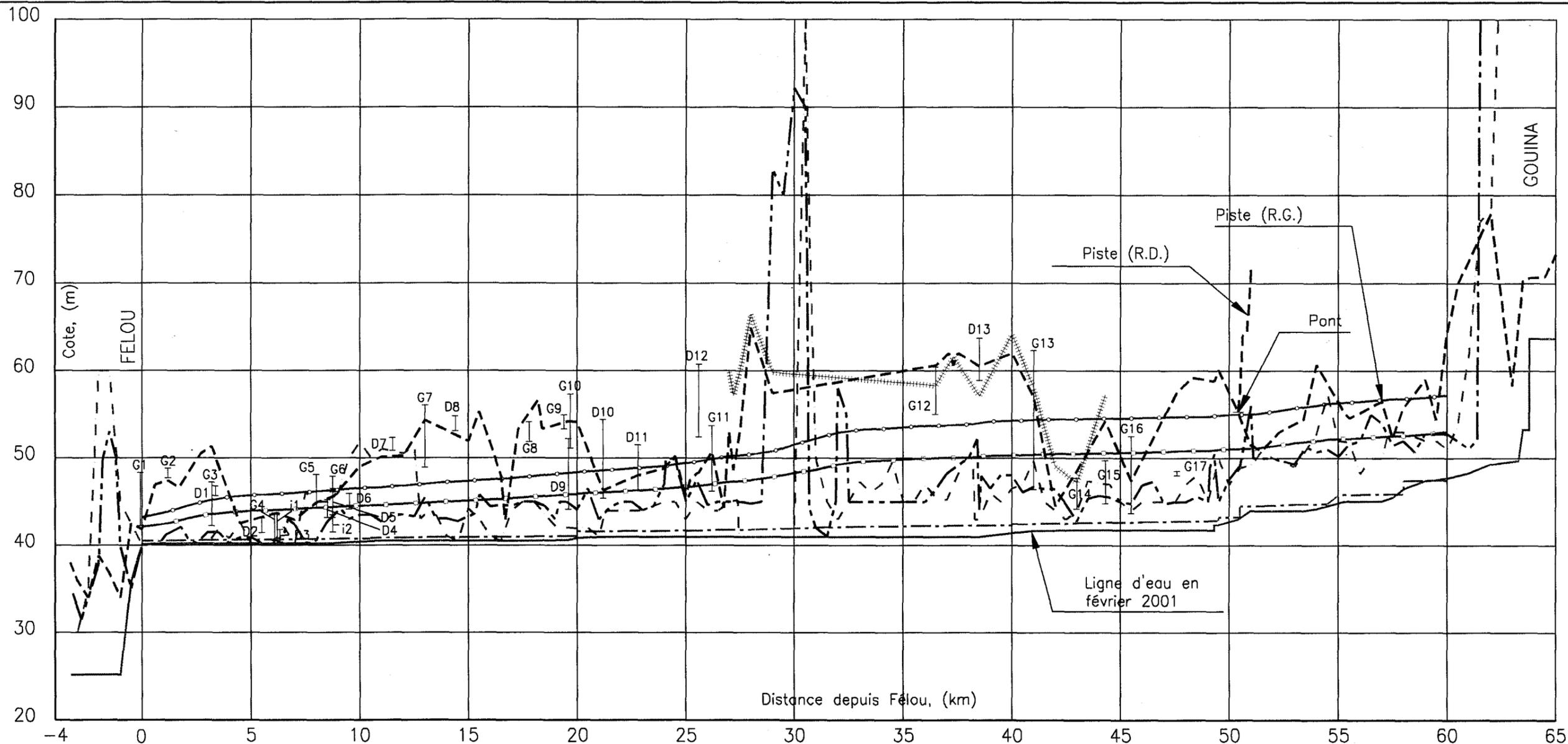
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

PROFIL EN LONG DE LA ZONE DES RETENUES DE FELOU ET GOUINA

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
 COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénieurs Conseils Sénégal - France		Plan : 01-021b.dwg No : 01021	B	



[Villages en rive gauche | Villages sur îles | Villages en rive droite

- | | | | | | |
|-----|------------------|----|----------|-----|-------------------|
| G1 | Bangassi-Lonétou | i1 | Bankaoté | D1 | Fatola |
| G2 | Kounta | i2 | Modikané | D2 | Dienbanouma aval |
| G3 | Mamoudouya | | | D3 | Dienbanouma |
| G4 | Moussaguya | | | D4 | Maréna |
| G5 | Mariatourou | | | D5 | Kérouané |
| G6 | Larafia | | | D6 | Soukoutalé |
| G7 | Kakoulou | | | D7 | Dioumékon |
| G8 | Fanguéné | | | D8 | Ségankané |
| G9 | (Sans nom) | | | D9 | Karaya |
| G10 | Maloum | | | D10 | Fanga |
| G11 | Dinguira-Logo | | | D11 | Bangassi |
| G12 | Balandougou | | | D12 | Dinguira-Almanura |
| G13 | Diamou | | | D13 | Makadenlé |
| G14 | (Sans nom) | | | | |
| G15 | (Sans nom) | | | | |
| G16 | Témentérosou | | | | |
| G17 | Takoutala | | | | |

NOTA : Les cotes extrêmes indiquées pour les villages ne concernent que les zones d'habitation observables sur les photos aériennes de février 2001. Elles ne représentent pas l'étendue des zones cultivées autour des zones habitées.

LEGENDE

- Ligne d'eau Q = 120 m³/s (mesuré en Février 2001)
- - - Ligne d'eau Q = 500 m³/s
- Ligne d'eau Q = 5200 m³/s (Crue T = 50 ans)
- Ligne d'eau Q = 10700 m³/s (Crue T = 10 000 ans)
- - - - Piste en rive gauche
- +++++ Voie ferrée en rive gauche
- Berge rive droite
- - - - Berge rive gauche

B	04.06.2002	GPB	BMA	PDF	EDITION POUR RAPPORT DE FAISABILITE	
A	24.09.2001	JMT	PDF	PDF	Evolution situation	
INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

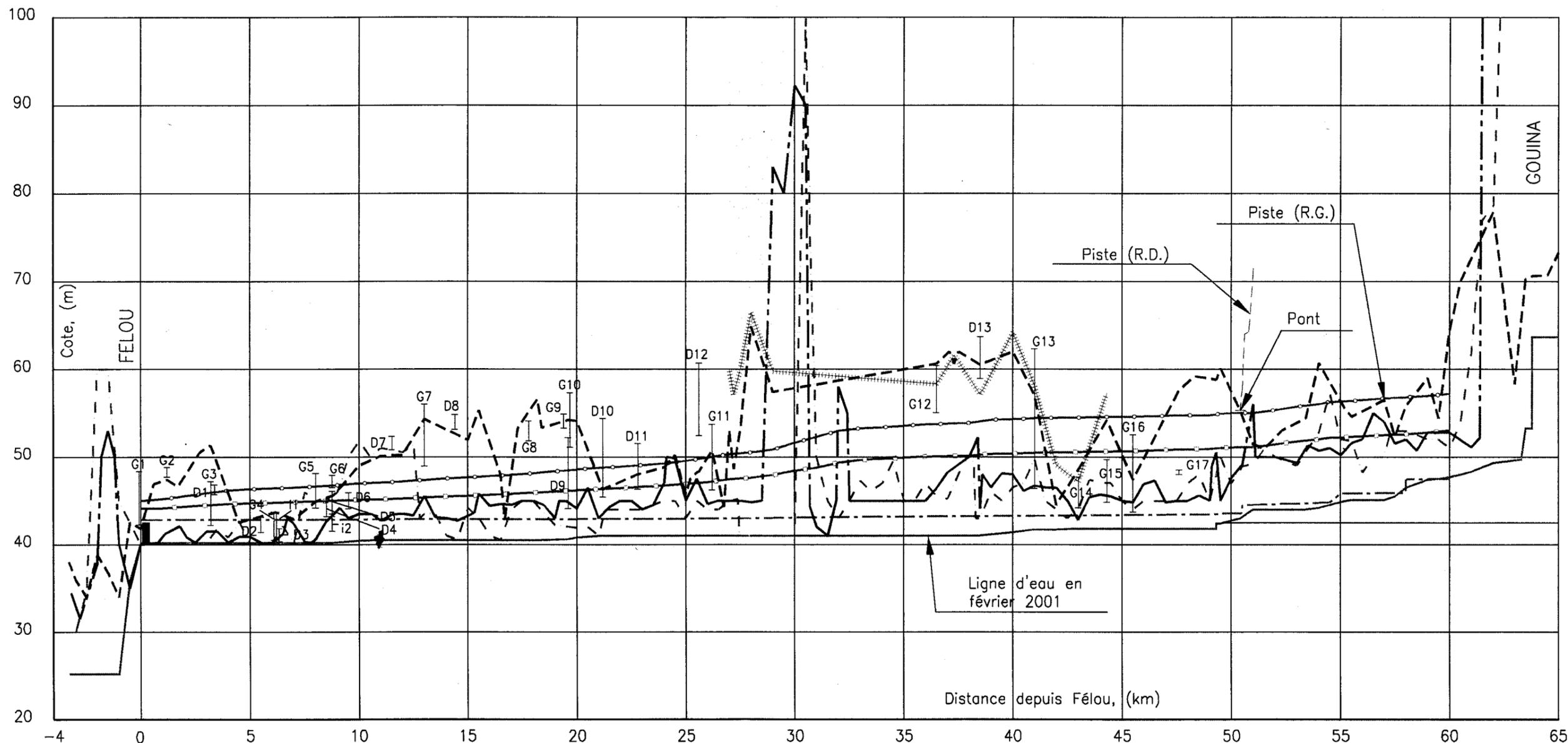
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

PROFIL EN LONG DE LA RETENUE DE FELOU

Lignes d'eau - Seuil à 40.00
(F1 - Etat actuel)

Echelle : Graphique	Format : A3	Folia :	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils DREAN - PARIS		Fichier informatique : 01-106.dwg	No : 101106	B



[Villages en rive gauche | Villages sur îles | Villages en rive droite

- | | | |
|---------------------|-------------|-----------------------|
| G1 Bangassi-Lonétou | i1 Bankaoté | D1 Fatola |
| G2 Kounta | i2 Modikané | D2 Dienbanouma aval |
| G3 Mamondouya | | D3 Dienbanouma |
| G4 Moussaguya | | D4 Maréna |
| G5 Mariatourou | | D5 Kérouané |
| G6 Larafia | | D6 Soukoutalé |
| G7 Kakoulou | | D7 Dioumékon |
| G8 Fanguéné | | D8 Ségankané |
| G9 (Sans nom) | | D9 Karaya |
| G10 Maloum | | D10 Fanga |
| G11 Dinguira-Logo | | D11 Bangassi |
| G12 Balandougou | | D12 Dinguira-Almanura |
| G13 Diamou | | D13 Makadenlé |
| G14 (Sans nom) | | |
| G15 (Sans nom) | | |
| G16 Témentérosou | | |
| G17 Takoutala | | |

LEGENDE

- | | |
|-----------|--|
| ————— | Ligne d'eau Q = 120 m ³ /s (mesuré en Février 2001) |
| - - - - - | Ligne d'eau Q = 500 m ³ /s |
| - · - · - | Ligne d'eau Q = 5200 m ³ /s (Crue T = 50 ans) |
| · · · · · | Ligne d'eau Q = 10700 m ³ /s (Crue T = 10 000 ans) |
| - - - - - | Piste en rive gauche |
| · · · · · | Voie ferrée en rive gauche |
| ————— | Berge rive droite |
| - - - - - | Berge rive gauche |

NOTA : Les cotes extrêmes indiquées pour les villages ne concernent que les zones d'habitation observables sur les photos aériennes de février 2001. Elles ne représentent pas l'étendue des zones cultivées autour des zones habitées.

B	04.08.2002	GM	EMA	PDF	EDITION POUR RAPPORT DE FASIBILITE	
A	24.09.2001	JMT	PDF	PDF	Première diffusion	
INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FASIBILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

PROFIL EN LONG DE LA RETENUE DE FELOU

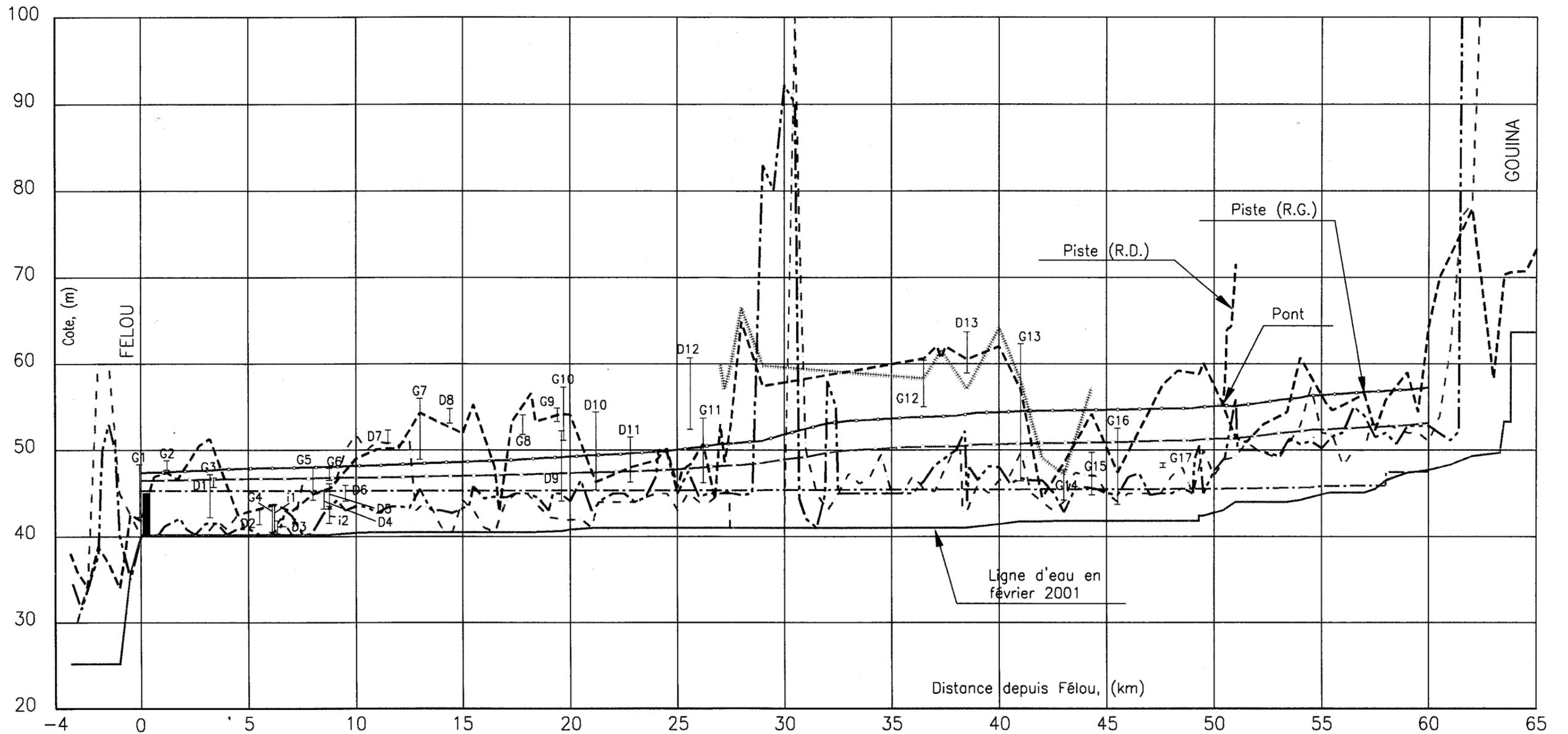
Lignes d'eau - Seuil à 42.50 (F2)

Echelle : Graphique Format : A3 Folia : N° d'affaire : 10662 Indice

COYNE ET BELLIER
Bureau d'ingénieurs Conseils
Senegal - France

Fichier informatique :
01-107.dwg

No :
1011071 B



Villages en rive gauche	Villages sur îles	Villages en rive droite
G1 Bangassi-Lonétou	i1 Bankaoté	D1 Fatola
G2 Kounta	i2 Modikané	D2 Dienbanouma aval
G3 Mamondouya		D3 Dienbanouma
G4 Moussaguya		D4 Maréna
G5 Mariatourou		D5 Kérouané
G6 Larafia		D6 Soukoutalé
G7 Kakoulou		D7 Dioumékon
G8 Fanguéné		D8 Ségankané
G9 (Sans nom)		D9 Karaya
G10 Maloum		D10 Fanga
G11 Dinguira-Logo		D11 Bangassi
G12 Balandougou		D12 Dinguira-Almanura
G13 Diamou		D13 Makadenlé
G14 (Sans nom)		
G15 (Sans nom)		
G16 Témentérosou		
G17 Takoutala		

NOTA : Les cotes extrêmes indiquées pour les villages ne concernent que les zones d'habitation observables sur les photos aériennes de février 2001. Elles ne représentent pas l'étendue des zones cultivées autour des zones habitées.

LEGENDE

	Ligne d'eau Q = 120 m ³ /s (mesuré en Février 2001)
	Ligne d'eau Q = 500 m ³ /s
	Ligne d'eau Q = 5200 m ³ /s (Crue T = 50 ans)
	Ligne d'eau Q = 10700 m ³ /s (Crue T = 10 000 ans)
	Piste en rive gauche
	Voie ferrée en rive gauche
	Berge rive droite
	Berge rive gauche

INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
B	04.08.2002	JMT	PDF	PDF	EDITION POUR RAPPORT DE FAISABILITE	
A	24.09.2001	JMT	PDF	PDF	Première diffusion	



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

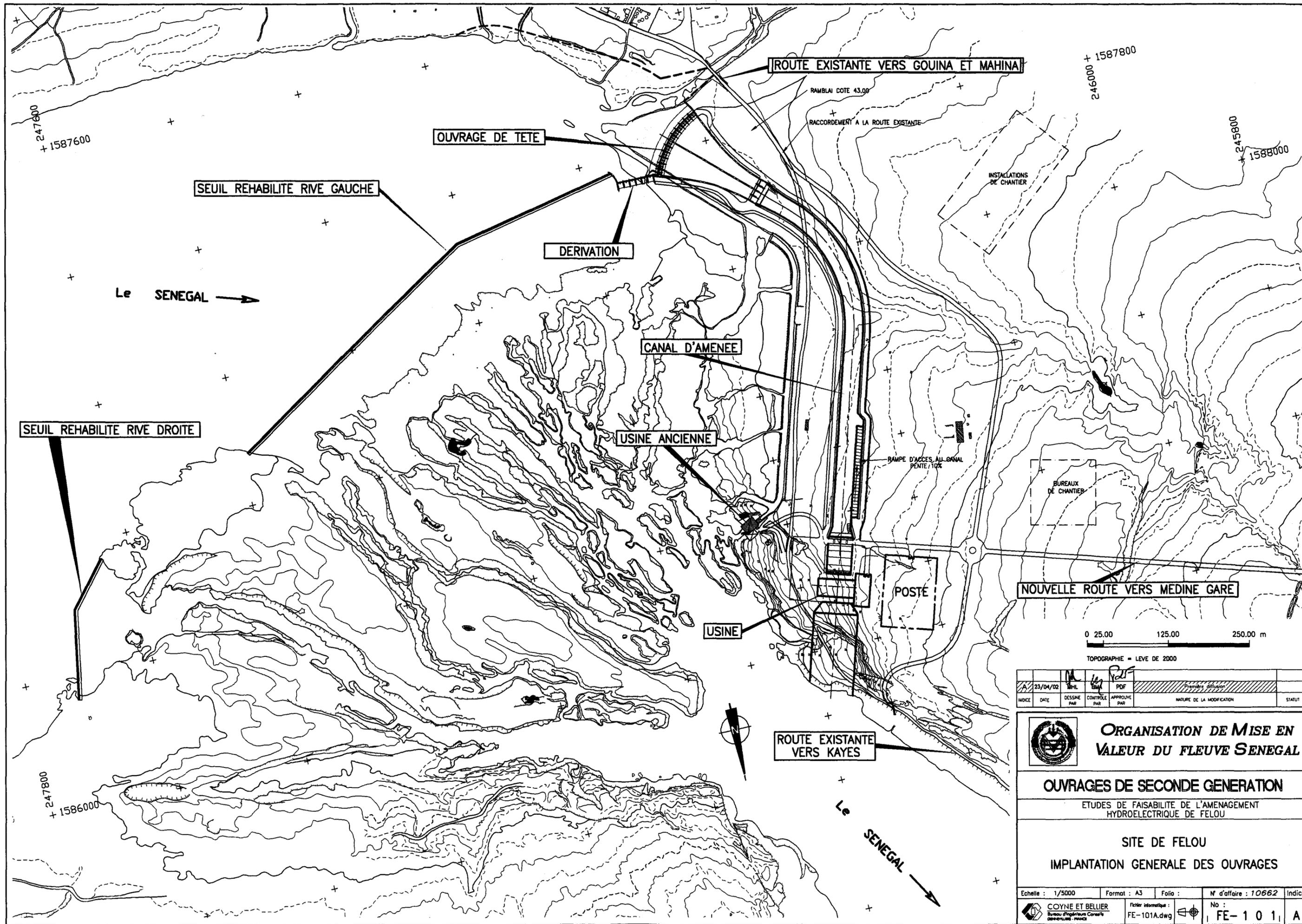
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

PROFIL EN LONG DE LA RETENUE DE FELOU

Lignes d'eau - Seuil à 45.00

(F3)

Echelle : Graphique	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
	Bureau d'ingénieurs Conseils	Fichier informatique : 01-108.dwg	No : 01 1 0 8	B



INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A	23/04/02	MHL	SM	PDF	Preparation	


ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

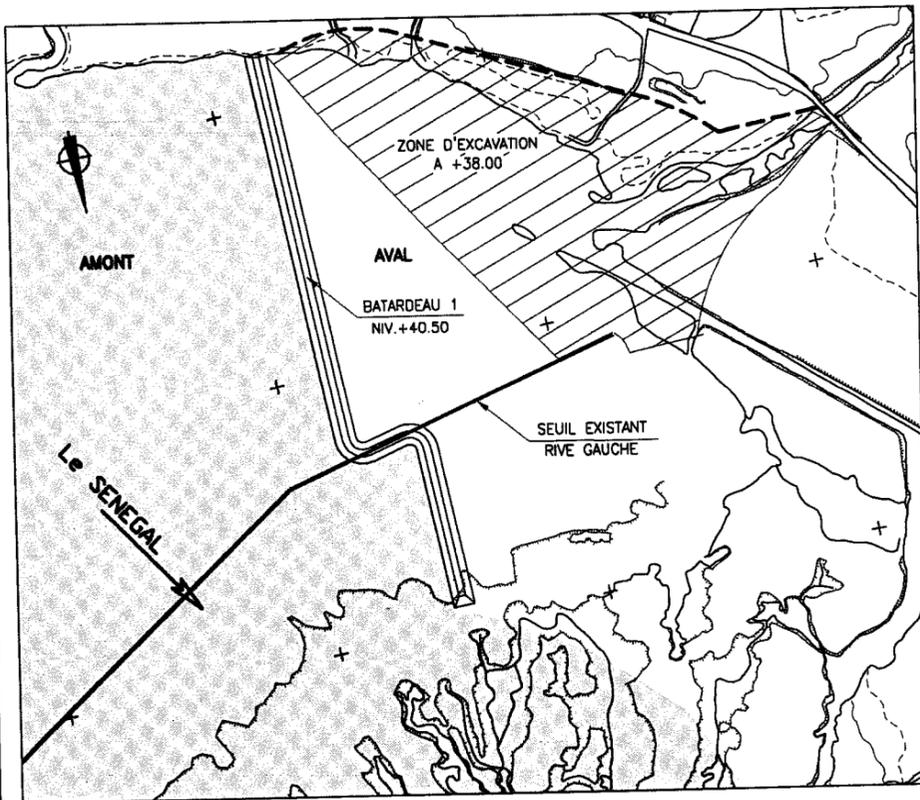
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION
 ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

SITE DE FELOU
IMPLANTATION GENERALE DES OUVRAGES

Echelle : 1/5000 Format : A3 Folio : N° d'affaire : 10662 Indice :
 COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénierie Fichier informatique : FE-101A.dwg No : FE-101 A

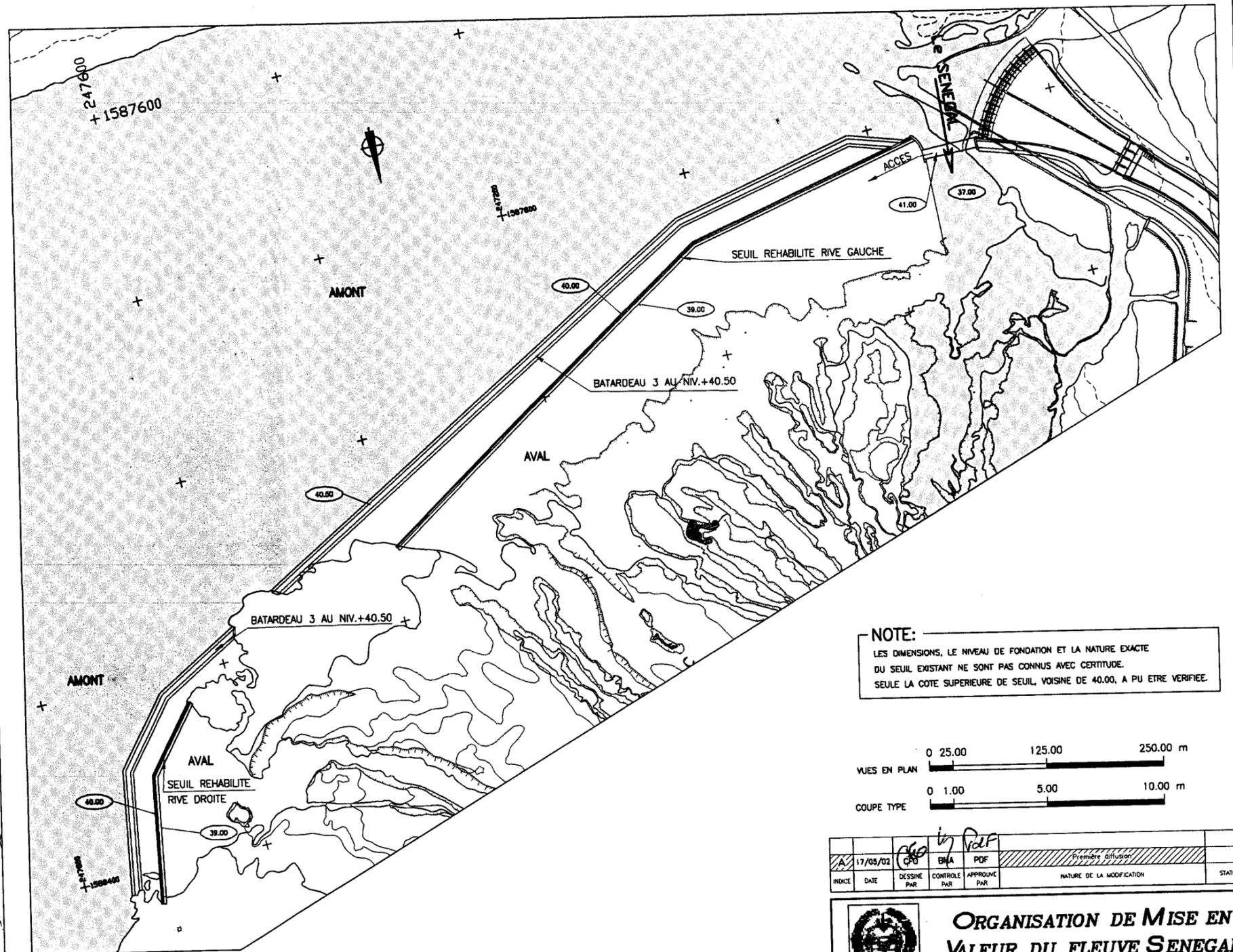
ETAPE 1 : Saison sèche N°1, Qmax.=250 m³/s

- TRAVAUX : - BATARDEAU 1, NIVEAU DE LA CRETE +40.50
 - EXCAVATIONS DU CHENAL A +38
 - REALESAGE DE L'EXUTOIRE DE L'AFFLUENT R.G.



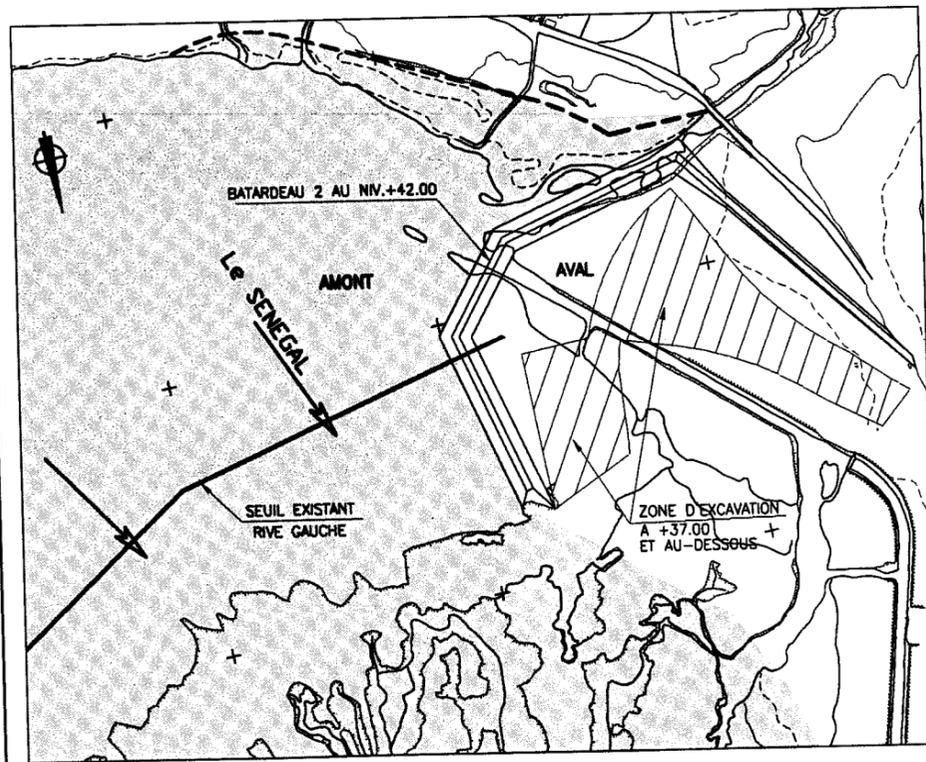
ETAPE 3 : Saison sèche N°3, Qmax.=250 m³/s

- TRAVAUX : - MISE EN PLACE DES BATARDEAUX AMONT DE L'OUVRAGE DE TETE
 - BATARDEAU 3, NIVEAU DE LA CRETE +40.50
 - REHABILITATION DU SEUIL

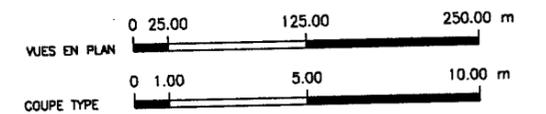


ETAPE 2 : De saison humide N°1 à saison humide N°2

- TRAVAUX : - BATARDEAU 2, NIVEAU DE LA CRETE +42
 - EXCAVATIONS DU PONT ET DE L'OUVRAGE DE TETE A +37
 - BETONS DES MASSIFS DE BATARDEAUX AMONT ET DE LA DERIVATION



NOTE:
 LES DIMENSIONS, LE NIVEAU DE FONDATION ET LA NATURE EXACTE DU SEUIL EXISTANT NE SONT PAS CONNUS AVEC CERTITUDE.
 SEULE LA COTE SUPERIEURE DE SEUIL, VOISINE DE 40.00, A PU ETRE VERIFIEE.



INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
17/05/02						



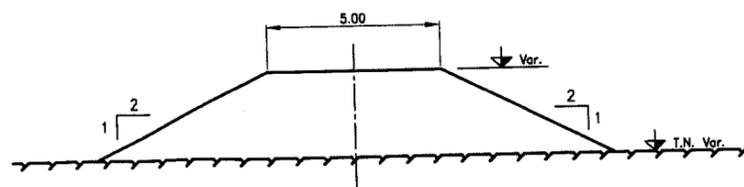
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

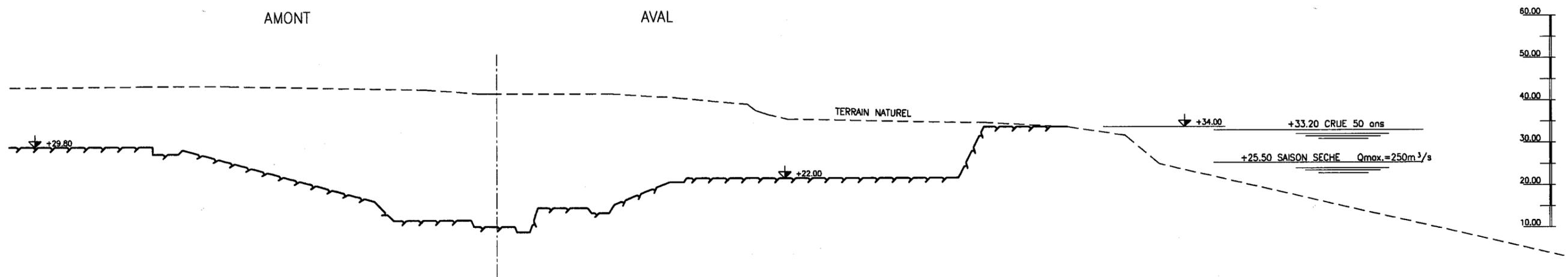
PHASAGE DES TRAVAUX A L'AMONT DU CANAL

COUPE TYPE DES BATARDEAUX AMONT

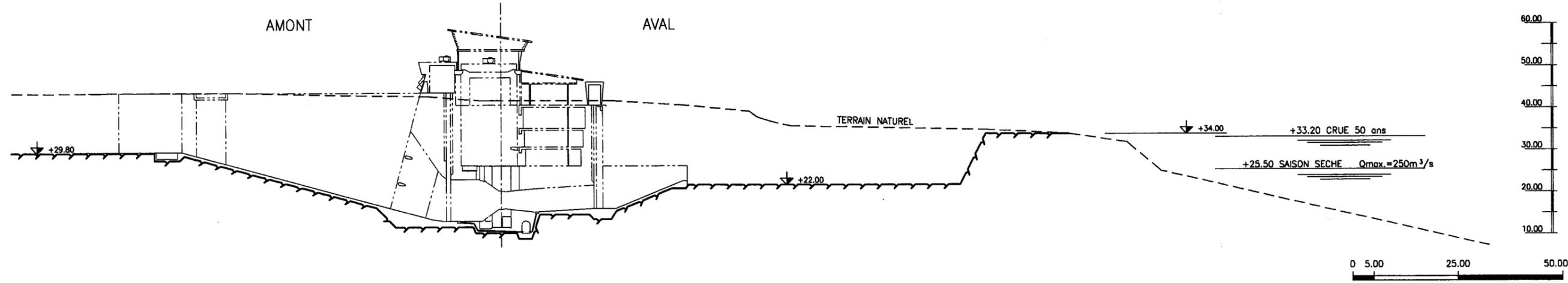


Echelle :	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils GENÈVE - FRANCE	Fichier informatique : fe-102A.dwg	No : FE-102	A	

ETAPE 1 : Toute saison
 TRAVAUX : - EXCAVATIONS DE L'USINE



ETAPE 2 : Toute saison
 TRAVAUX : - CONSTRUCTION DE L'USINE JUSQU'A
 LA MISE EN PLACE DES VANNES AVAL.



INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A	23/05/02	CS	GM	PDF	Première diffusion	



**ORGANISATION DE MISE EN
 VALEUR DU FLEUVE SENEGAL**

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

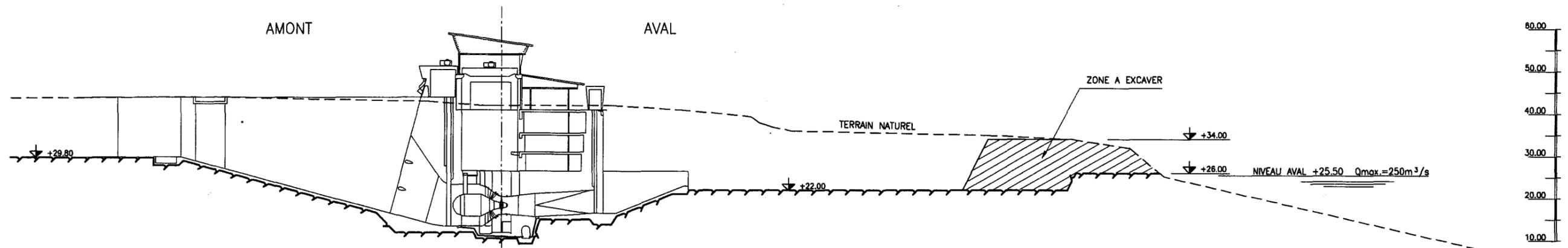
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT
 HYDROELECTRIQUE DE FELOU

**PHASAGE DES TRAVAUX
 A L'AVANT DU CANAL
 ETAPES 1 et 2**

Echelle :	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
		Fichier informatique :	No : FE-103-104A.DWG	
			FE-103-104A.DWG	

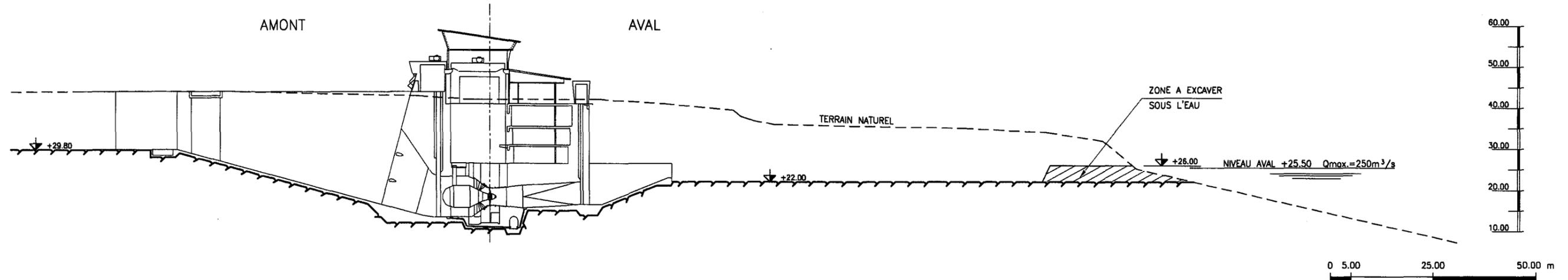
ETAPE 3A : Dernière saison sèche avant mise en eau de l'usine par l'aval

- TRAVAUX :
 - EXCAVATIONS DU CANAL AVAL A +26
 - POSE CIRCUIT DE TERRE, BETONNAGE DU SEUIL
 - SUITE DE LA CONSTRUCTION DE L'USINE



ETAPE 3B : Dernière saison sèche avant mise en eau de l'usine par l'aval

- TRAVAUX :
 - FIN D'EXCAVATION DU CANAL AVAL
 - SUITE DE LA CONSTRUCTION DE L'USINE (EQUIPEMENT ET FINITIONS G.C.)



A	23/05/02	CO	BP	PDF	Prémise d'allusion	
INDICE	DATE	DESSINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT



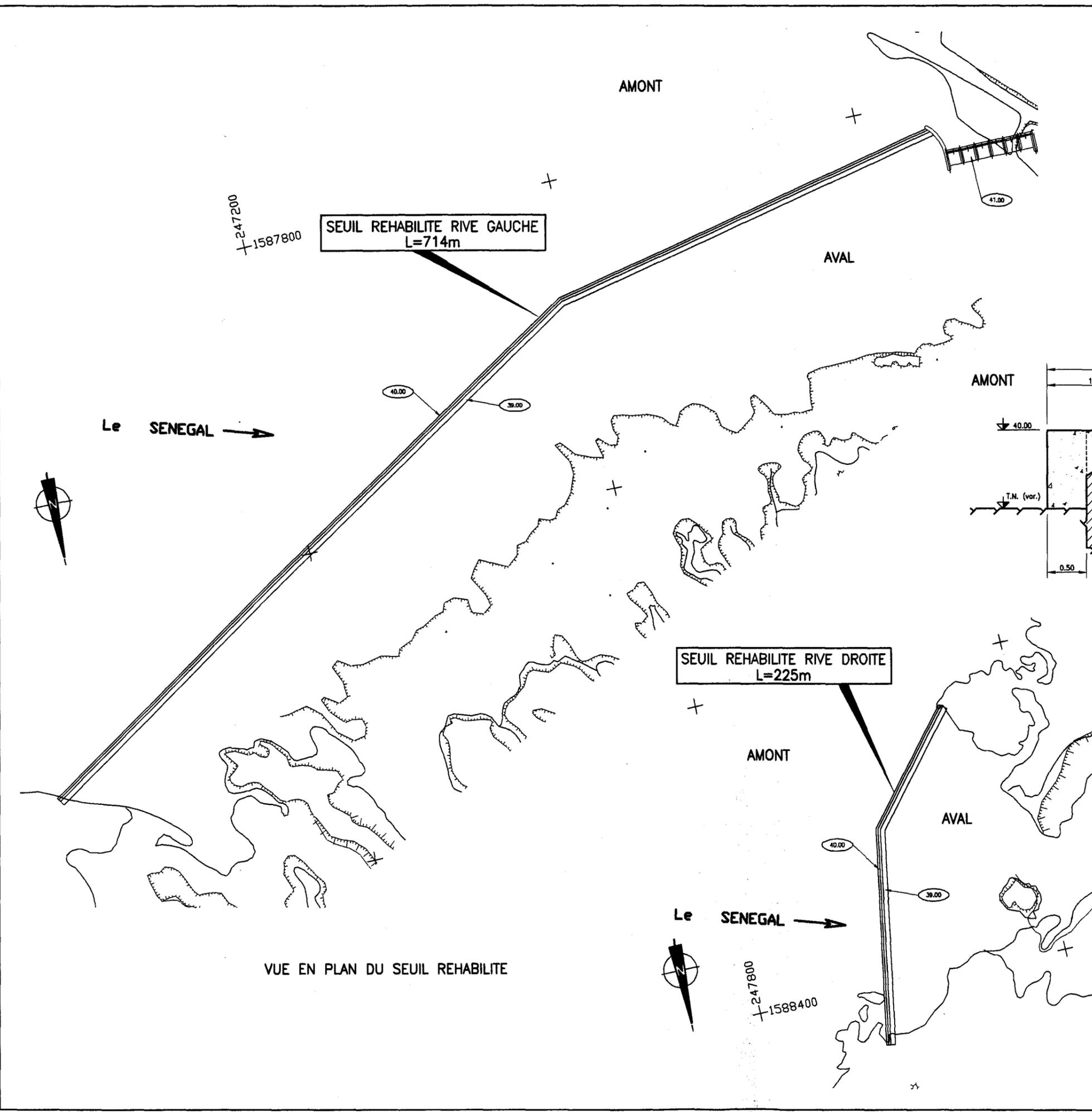
ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

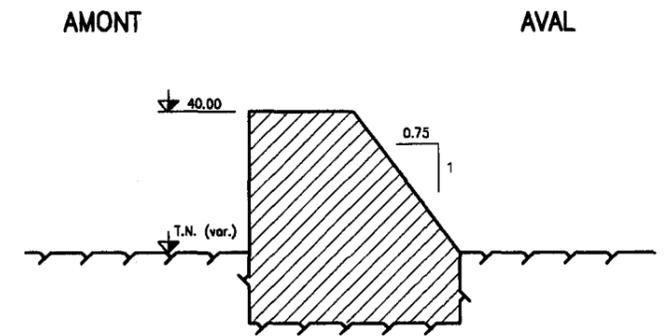
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

PHASAGE DES TRAVAUX A L'AVANT DU CANAL ETAPES 3A et 3B

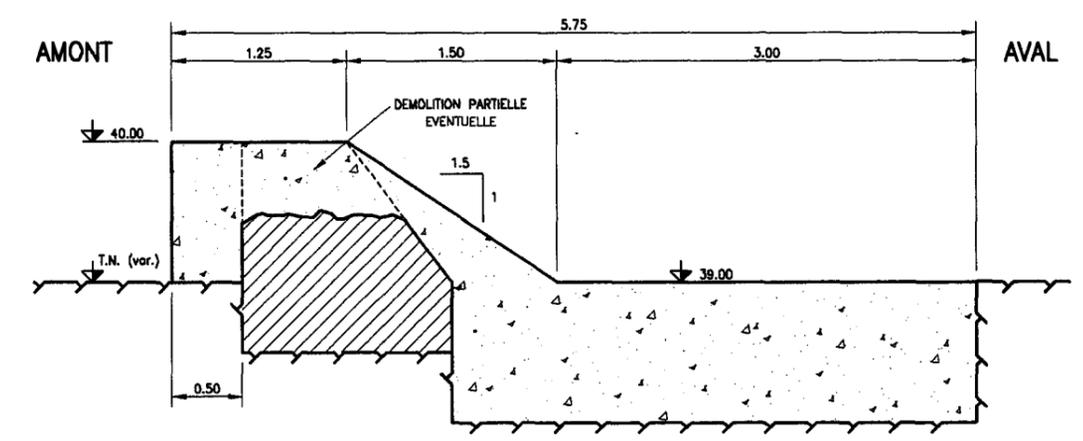
Echelle :	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
		Fichier informatique : FE-103-104A.DWG	No : FE-104, A	



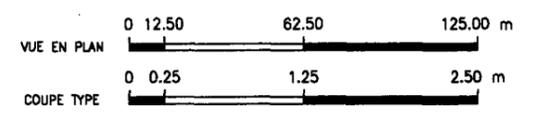
COUPE TYPE DU SEUIL EXISTANT
(d'après documents d'archives)



COUPE TYPE DU SEUIL REHABILITE



NOTE:
LES DIMENSIONS, LE NIVEAU DE FONDATION ET LA NATURE EXACTE DU SEUIL EXISTANT NE SONT PAS CONNUS AVEC CERTITUDE. SEULE LA COTE SUPERIEURE DE SEUIL, VOISINE DE 40.00, A PU ETRE VERIFIEE.



INDEXE	DATE	DESSENE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A	24/04/02	MHL	BBB	PDF	Première diffusion	



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

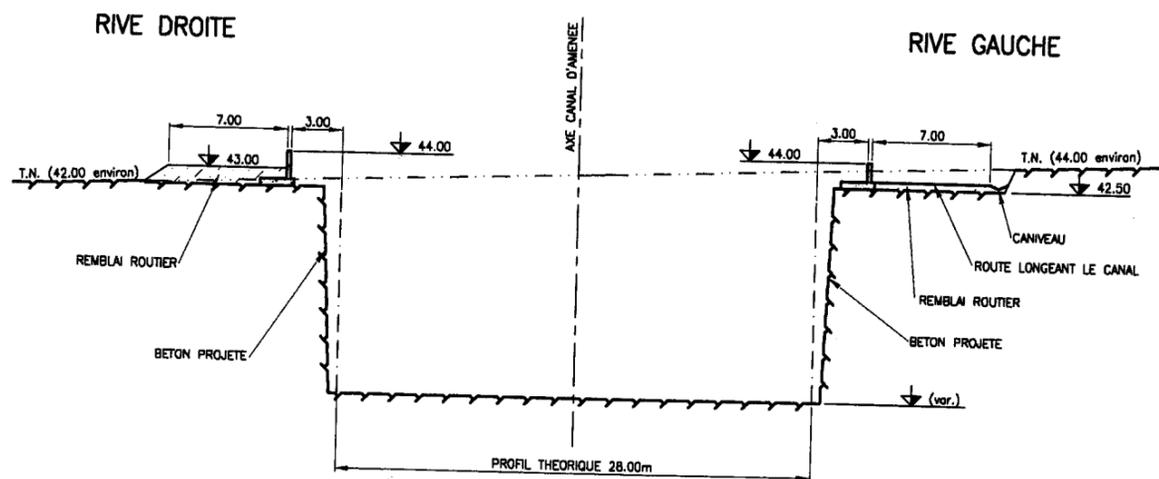
OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

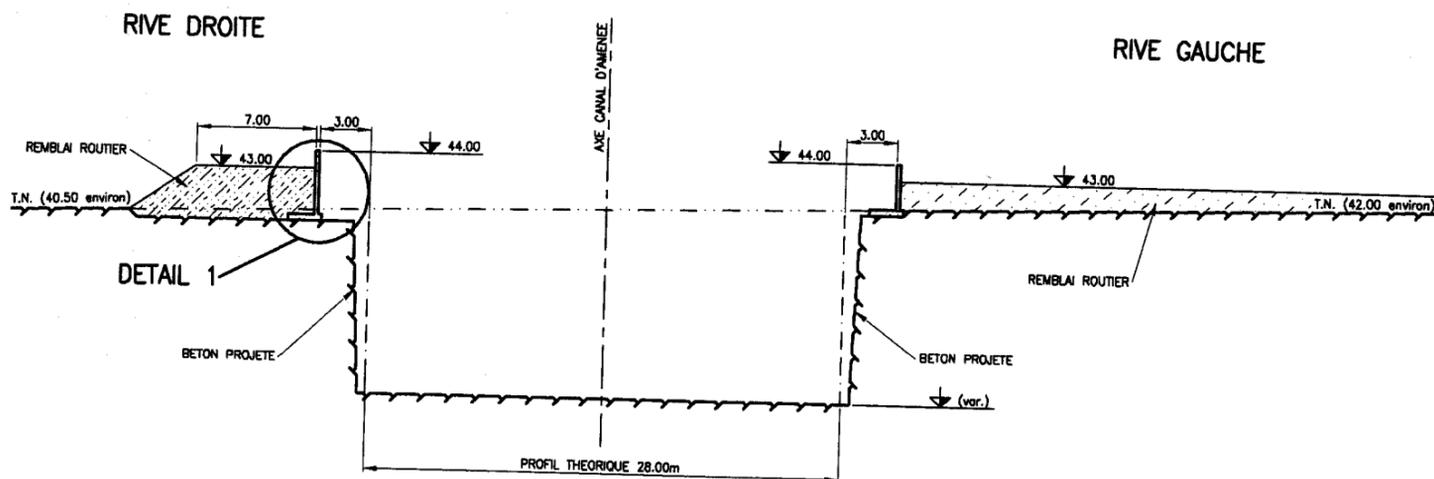
**SITE DE FELOU
SEUILS RIVE DROITE ET RIVE GAUCHE**

Echelle : 1/5000/2500	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'Ingénieurs Conseils DIPLOME - FRANCE	Fichier informatique : FE-201A.dwg	No : FE-201	A	

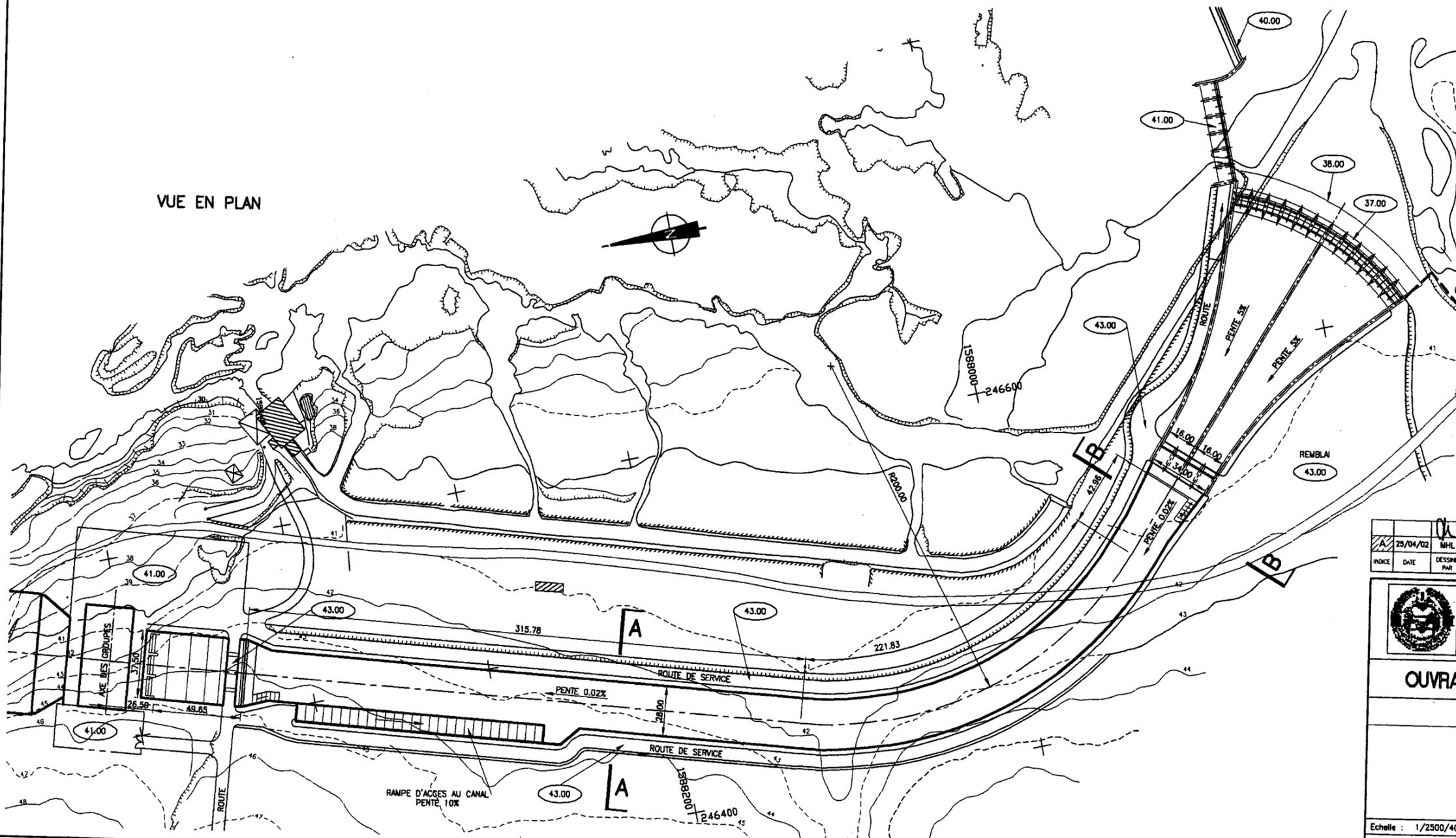
COUPE A-A



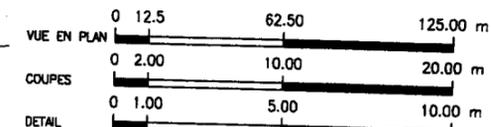
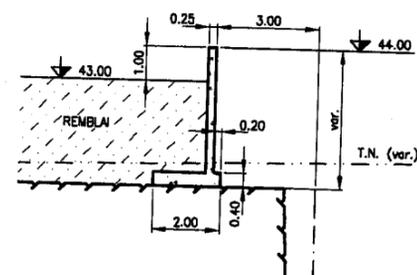
COUPE B-B



VUE EN PLAN



DETAIL 1



INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTRÔLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
	25/04/02	MHL			Première diffusion	

ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

SITE DE FELOU

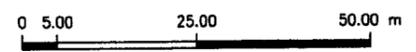
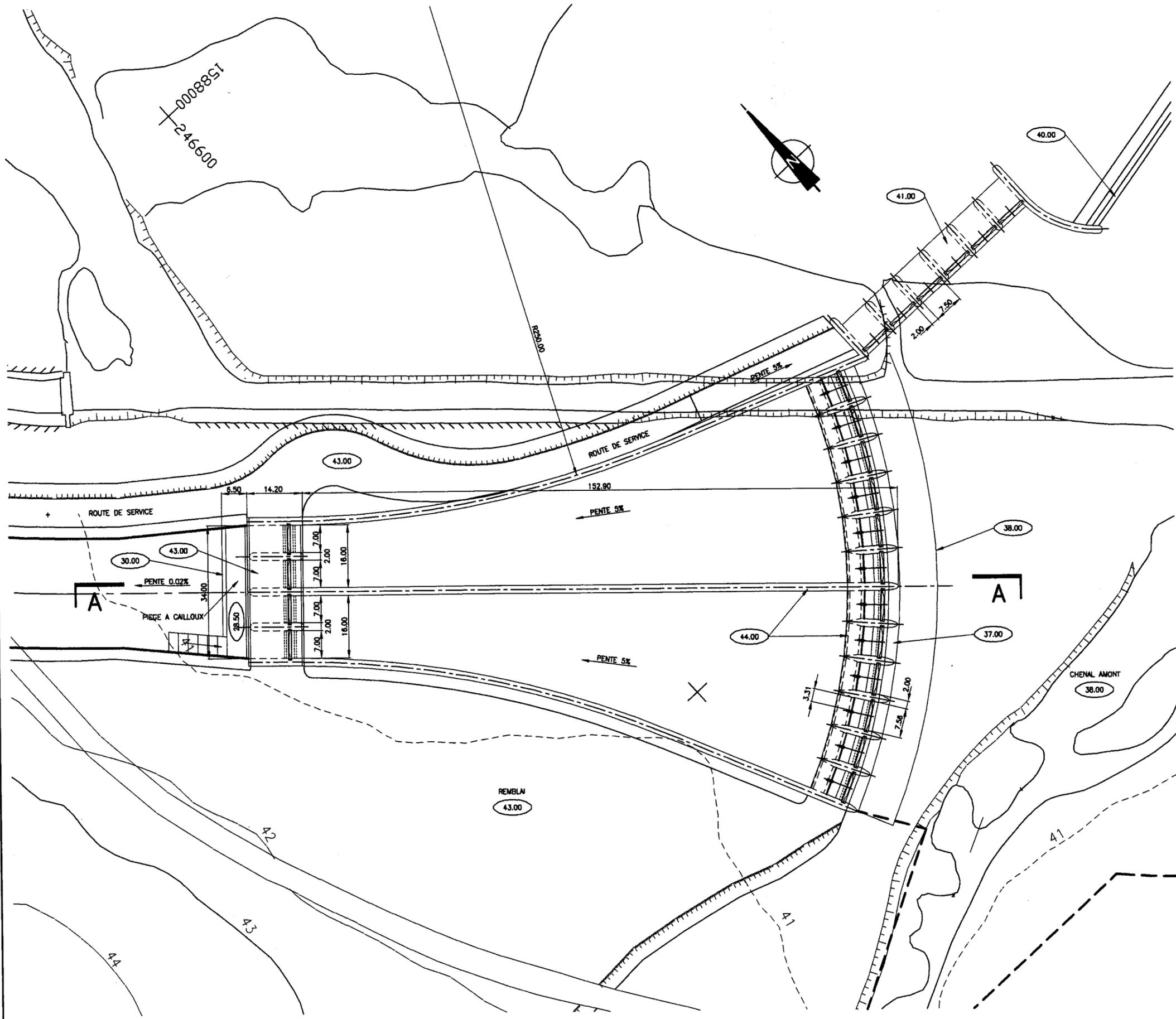
CANAL D'AMENEE

VUE EN PLAN ET COUPES

Echelle : 1/2500/400 Format : A3 Folia : N° d'affaire : 10662 Indice

COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils Fichier informatique : FE-202A.dwg No : FE-2021 A

VUE EN PLAN



INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT
A	13/05/02	MHL	EMA	PDF	Première diffusion	



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

**SITE DE FELOU
OUVRAGE DE TETE
VUE EN PLAN**

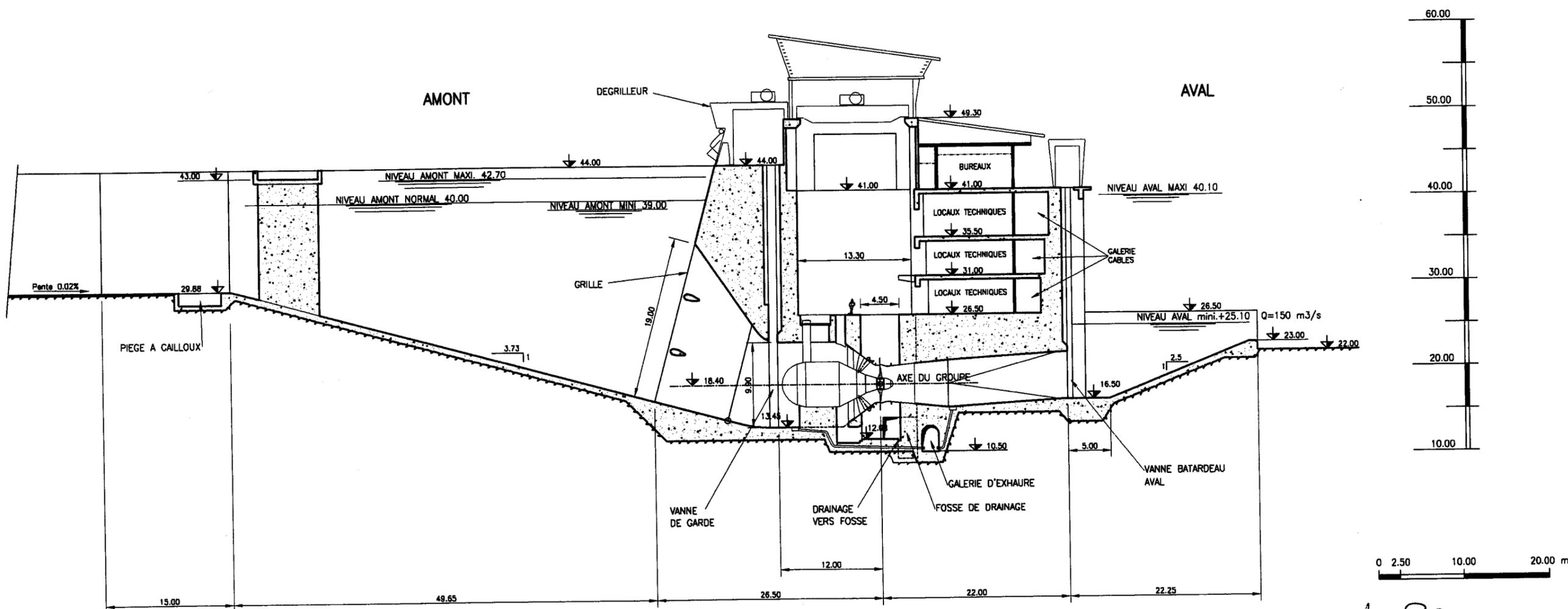
Echelle : 1/1000	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
------------------	-------------	---------	----------------------	--------

COYNE ET BELLIER
Bureau d'ingénieurs Conseils
Généralistes - Pluridis

Fichier informatique : FE-203A.dwg
No : FE-2031 A

COUPE TYPE SUR GROUPE

1 2



1 2

A	18/09/02	SNA	PDF		
INDICE	DATE	DESSEIN PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT



ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

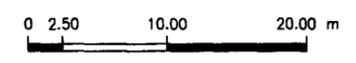
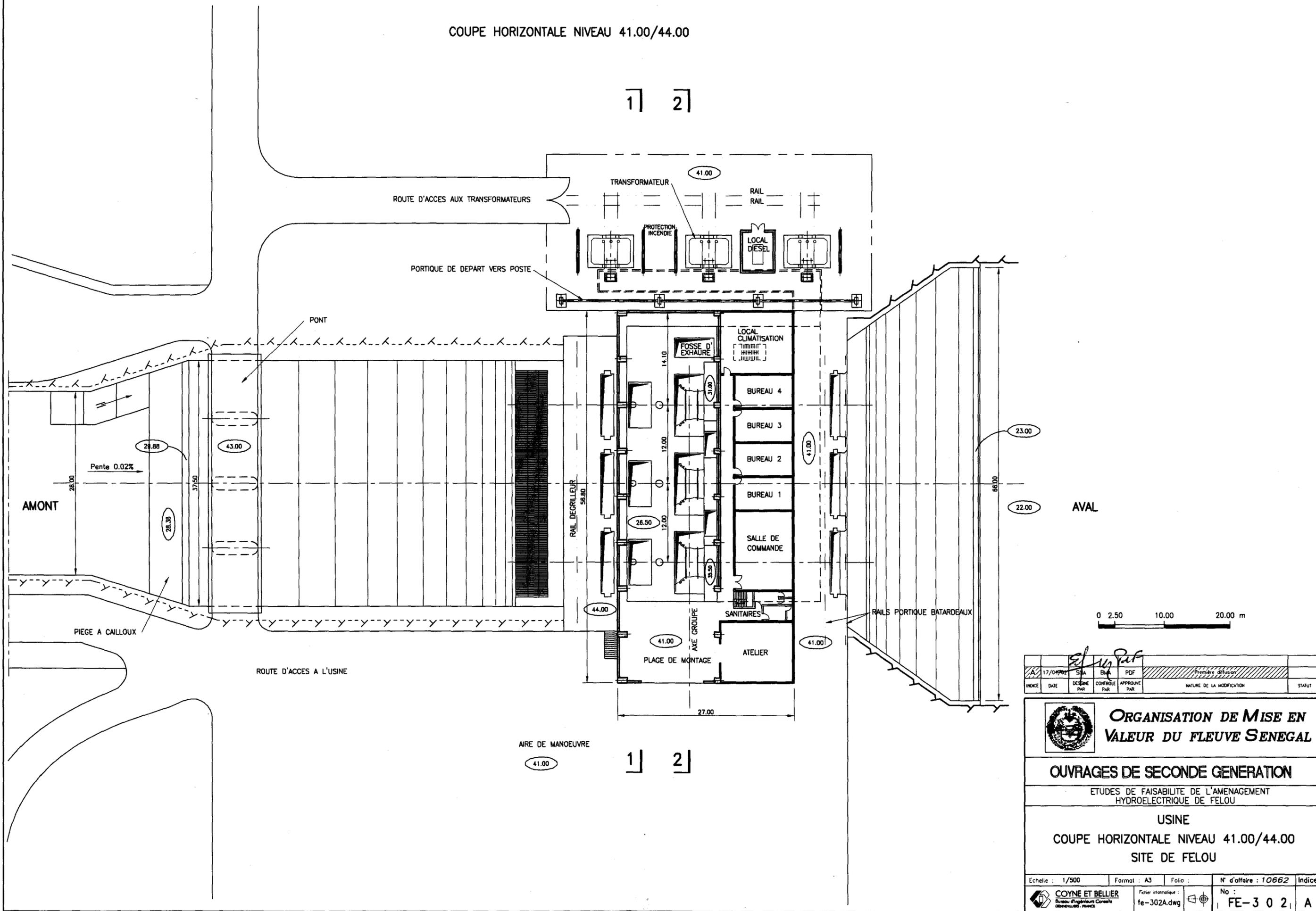
ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

USINE
COUPE TYPE SUR GROUPE
SITE DE FELOU

Echelle : 1/500	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
	COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils Senegal - France	Fichier informatique : fe-301A.dwg	No : FE-301	A

COUPE HORIZONTALE NIVEAU 41.00/44.00

1 | 2



A	17/04/02	SEA	BNA	PDF	Première diffusion	
INDICE	DATE	DESINE PAR	CONTROLE PAR	APPROUVE PAR	NATURE DE LA MODIFICATION	STATUT

ORGANISATION DE MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL

OUVRAGES DE SECONDE GENERATION

ETUDES DE FAISABILITE DE L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE FELOU

USINE
COUPE HORIZONTALE NIVEAU 41.00/44.00
SITE DE FELOU

Echelle : 1/500	Format : A3	Folio :	N° d'affaire : 10662	Indice
COYNE ET BELLIER Bureau d'ingénieurs Conseils ORLÈANS - FRANCE	Fichier informatique : fe-302A.dwg		No : FE-302	A