



# ETUDE D'ACTUALISATION DU PLAN D'ALERTE DANS LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

RAPPORT FINAL




Mars 2021



**HYDROCONSULT** International  
*Ingénieurs Conseils*



	<p>BRL ingénierie</p> <p>1105 Av Pierre Mendès-France BP 94001 30001 NIMES CEDEX 5, France</p>
	<p>HYDROCONSULT International</p> <p>Liberté VI Extension Villa N°173 c BP 3626, DAKAR, Sénégal</p>

Date du document	26/03/2021
Contact	Gwenaël CHEVALLET

Titre du document	Étude d'actualisation du plan d'alerte dans le bassin du fleuve Sénégal – Rapport Final
Référence du document :	A00604_SENEGAL_PLANALERTE_RAPPORT_v3.docx
Indice :	V3

Date émission	Indice	Observation	Dressé par	Vérifié et Validé par
27/03/2020	V1	Rapport provisoire	GCH/GRI	MCG
26/08/2020	V2	Rapport final – prise en compte des remarques	GCH/GRI	MCG
26/03/2021	V3	Rapport final validé	GCH/GRI	MCG



# ETUDE D'ACTUALISATION DU PLAN D'ALERTE DANS LE BASSIN DU FLEUVE SENEGAL

## Rapport

<b>1</b>	<b>OBJECTIFS DE LA MISSION</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>CONTEXTE GÉNÉRAL</b> .....	<b>18</b>
2.1	REGIME HYDROLOGIQUE NATUREL.....	18
2.2	GRANDS AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES .....	20
2.2.1	Barrage de Diama .....	20
2.2.2	Endiguements Diama-Rosso .....	21
2.2.3	Barrage de Manantali .....	22
2.2.4	Autres barrages existants ou projetés .....	23
<b>3</b>	<b>RÉSUMÉ ET SYNTHÈSE DES RÉSULTATS</b> .....	<b>24</b>
3.1	LES PRECEDENTS PLANS D'ALERTE .....	24
3.2	LES BARRAGES EXISTANTS ET PROJETES .....	24
3.3	ANALYSE HYDROLOGIQUE .....	25
3.4	EVALUATION DES RISQUES LIES A LA DEFAILLANCE DES BARRAGES .....	26
3.5	ANALYSE HYDRAULIQUE .....	27
3.6	VULNERABILITE DES ENJEUX ET CAPACITE DE RESILIENCE .....	29
3.7	ACTUALISATION DES PLANS D'ALERTE ET DE RESILIENCE.....	30
3.7.1	Zones d'alerte retenues.....	30
3.7.2	Elaboration des nouveaux plans d'alerte.....	31
3.7.3	Elaboration des plans d'adaptation et de résilience des populations .....	32
3.8	PRECONISATIONS POUR LA MISE EN PLACE FUTURE D'UN SYSTEME D'ALERTE PRECOCE (SAP) .....	33
<b>4</b>	<b>PRESENTATION DES PRECEDENTS PLANS D'ALERTE</b> .....	<b>34</b>
4.1	HYPOTHESES DE CRUES.....	34
4.2	MODE D'EMPLOI DES PRECEDENTS PLANS D'ALERTE .....	34
<b>5</b>	<b>PRESENTATION DES BARRAGES</b> .....	<b>39</b>
5.1	PREAMBULE .....	39
5.2	PRESENTATION DU BARRAGE DE MANANTALI .....	43
5.2.1	Présentation générale .....	43
5.2.2	Conception générale de l'ouvrage .....	45
5.2.3	Le barrage proprement dit.....	47
5.2.4	Les ouvrages hydrauliques associés.....	48
5.2.5	L'usine hydroélectrique .....	50
5.2.6	Synthèse des vocations et du mode de gestion du barrage de Manantali.....	51
5.3	PRESENTATION DU BARRAGE DE DIAMA .....	54

5.3.1	Présentation générale .....	54
5.3.2	Bref historique de sa réalisation.....	57
5.3.3	La structure de l'ouvrage et ses aménagements connexes .....	57
5.3.4	Le barrage évacuateur et ses équipements connexes .....	59
5.3.5	Son écluse de 13 m par 175 m .....	60
5.3.6	Ses équipements et infrastructures connexes.....	62
5.3.7	Ses endiguements latéraux.....	63
5.3.8	Le réseau de routes et pistes d'accès .....	64
5.3.9	Mode de gestion du barrage de l'ouvrage .....	64
<b>5.4</b>	<b>AUTRES BARRAGES EXISTANTS .....</b>	<b>65</b>
5.4.1	Barrage de Félou.....	65
5.4.2	Barrage de Foum-Gleïta .....	69
<b>5.5</b>	<b>BARRAGES PROJETES .....</b>	<b>71</b>
5.5.1	Barrage de Balassa (Bafing) .....	71
5.5.2	Barrage de Koukoutamba (Bafing) .....	76
5.5.3	Barrage de Boureya (Bafing) .....	81
5.5.4	Barrage de Gouina (Bafing) .....	86
5.5.5	Barrage de Goubassi (Falémé).....	88
<b>6</b>	<b>ANALYSE HYDROLOGIQUE .....</b>	<b>92</b>
<b>6.1</b>	<b>OBJECTIFS .....</b>	<b>92</b>
<b>6.2</b>	<b>LES POINTS FORTS DE NOTRE ETUDE HYDROLOGIQUE .....</b>	<b>92</b>
<b>6.3</b>	<b>SYNTHESE DE NOS PRECEDENTES ANALYSES .....</b>	<b>93</b>
6.3.1	Préambule .....	93
6.3.2	Données pluviométriques .....	94
6.3.3	Données de températures.....	96
6.3.4	Données hydrométriques.....	97
6.3.5	Analyse des régimes .....	98
6.3.6	Instationnarité climatique.....	98
6.3.7	Méthodologie mise en œuvre.....	99
6.3.7.1	Méthode SCHADEX.....	99
6.3.7.2	Estimation des valeurs extrêmes de pluies sur deux périodes (1951-1970 et 1971-1994).....	100
6.3.7.3	Résultats du calage du modèle hydrologique et de la simulation SCHADEX ..	101
6.3.7.4	Construction des chroniques journalières des débits en continu de 20 000 années simulées .....	102
6.3.8	Vérification des débits simulés à la station de Bakel .....	104
6.3.9	Débits simulés à la station de Bakel avec le logiciel SIMULSEN, tenant compte de l'aménagement de Manantali .....	105
<b>6.4</b>	<b>COMPLEMENTS HYDROLOGIQUES SPECIFIQUES.....</b>	<b>106</b>
6.4.1	Préambule .....	106
6.4.2	Quantiles de débits maximaux annuels du Bafing .....	107
6.4.2.1	Station de Sokotoro (Bafing).....	107
6.4.2.2	Station de Balabori-Koukoutamba (Bafing) .....	107
6.4.2.3	Station de Boureya (Bafing).....	108
6.4.2.4	Station de Daka Saidou (Bafing) .....	108
6.4.3	Quantiles de débits maximaux annuels du Bakoye.....	109
6.4.3.1	Station de Toukoto (Bakoye) .....	109
6.4.3.2	Station de Oualia (Bakoye).....	109
6.4.3.3	Station de Siramakana (Baoulé, affluent du Bakoye) .....	110

6.4.4	Quantiles de débits maximaux annuels de la Falémé.....	110
6.4.4.1	Station de Moussala (Falémé).....	110
6.4.4.2	Station de Gourbassi (Falémé).....	111
6.4.4.3	Station de Kidira (Falémé).....	111
6.4.5	Quantiles de débits maximaux annuels du Sénégal à Bakel (rappel).....	112
<b>6.5</b>	<b>EFFETS POTENTIELS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE .....</b>	<b>112</b>
6.5.1	Objectif et méthode .....	112
6.5.2	Étape 1 : Synthèse bibliographique des études de référence.....	113
6.5.3	Étape 2 : Extraction des projections climatiques issues de 2 scénarios d'émission de gaz à effet de serre.....	113
6.5.4	Étape 3 : Sélection des modèles climatiques.....	114
6.5.5	Étape 4 : Forçage des variables pluies et ETP des modèles hydrologiques MORDOR par la méthode des anomalies moyennes.....	115
6.5.6	Étape 5 : Analyse et interprétation des résultats.....	116
<b>7</b>	<b>RISQUES LIES A LA DEFAILLANCE DES BARRAGES .....</b>	<b>117</b>
<b>7.1</b>	<b>PREAMBULE .....</b>	<b>117</b>
<b>7.2</b>	<b>LES BARRAGES EN REMBLAI .....</b>	<b>118</b>
7.2.1	Scénarios de rupture — barrages en remblai (hors barrages en enrochements).....	118
7.2.1.1	Sollicitations pouvant entraîner la rupture.....	118
7.2.1.2	Mécanismes de rupture.....	118
7.2.1.3	Scénarios de rupture.....	118
7.2.2	Détermination de l'hydrogramme de rupture — Barrages en remblais.....	119
7.2.2.1	Généralités.....	119
7.2.2.2	Méthodologie pour la détermination de l'hydrogramme de rupture.....	119
<b>7.3</b>	<b>BARRAGES EN BETON .....</b>	<b>120</b>
7.3.1	Sollicitations pouvant entraîner la rupture .....	120
7.3.2	Mécanismes de rupture.....	120
7.3.3	Dimensions de la brèche.....	120
7.3.4	Scénarios de rupture.....	120
7.3.5	Hydrogramme de rupture .....	121
<b>7.4</b>	<b>AVIS SUR CRUES DE PROJET DES BARRAGES .....</b>	<b>122</b>
<b>7.5</b>	<b>APPLICATION DE LA METHODE AUX BARRAGES DU BFS .....</b>	<b>123</b>
7.5.1	Préambule .....	123
7.5.2	Temps de rupture.....	123
7.5.3	Dimensions de la brèche.....	124
7.5.4	Débits de pointe.....	124
7.5.5	Synthèse des résultats.....	126
7.5.5.1	Scenarii retenus.....	126
7.5.5.2	Synthèse des caractéristiques des ruptures .....	127
<b>8</b>	<b>ANALYSE HYDRAULIQUE .....</b>	<b>128</b>
<b>8.1</b>	<b>OBJECTIFS PRINCIPAUX .....</b>	<b>128</b>
<b>8.2</b>	<b>DETERMINATION DES ZONES INONDABLES DU FLEUVE SENEGAL .....</b>	<b>128</b>
8.2.1	Préambule .....	128
8.2.2	Téledétection par imagerie satellitaire (aval Bakel).....	130
8.2.2.1	Choix des épisodes de crue.....	130
8.2.2.2	Crue de 1988.....	131

8.2.2.3	Crue de 1999.....	132
8.2.2.4	Crue de 2007.....	133
8.2.2.5	Crue de 2012.....	134
8.2.2.6	Crue de 2015.....	135
8.2.2.7	Comparaison des zones inondées définies par imagerie satellitaire.....	136
8.2.3	Traitement des bases de données cartographiques « Global Surface Water » (aval Bakel).....	137
8.2.3.1	Préambule .....	137
8.2.3.2	Définition des zones inondées pour plusieurs gammes de débits.....	138
8.2.4	Modélisation hydraulique .....	140
8.2.4.1	Préambule .....	140
8.2.4.2	Données topographiques exploitées.....	142
8.2.4.3	Validation de la pertinence du modèle hydraulique en cotes atteintes.....	143
8.2.4.4	Simulation des crues de période de retour 100, 1 000 et 10 000 ans.....	145
8.2.5	Synthèse finale des zones inondées .....	146
<b>8.3</b>	<b>CRITIQUE DES COURBES DE TARAGE .....</b>	<b>148</b>
8.3.1	Préambule .....	148
8.3.2	Synthèse de la critique des courbes de tarage.....	150
<b>8.4</b>	<b>COTES SIMULEES A L'AVAL DE BAKEL AVEC LE LOGICIEL PROPAVAL EN TENANT COMPTE DES AMENAGEMENTS DE MANANTALI ET DIAMA .....</b>	<b>151</b>
8.4.1	Présentation de la méthode.....	151
8.4.2	Résultats.....	152
<b>8.5</b>	<b>SYNTHESE RELATIVE AUX INCIDENCES DES TEMPETES.....</b>	<b>153</b>
8.5.1	Objectifs de l'étude et méthodologie .....	153
8.5.2	Estimation des niveaux maximaux liés aux tempêtes .....	153
8.5.3	Tests de l'impact de surcotes maritimes sur les niveaux d'inondation du delta du fleuve Sénégal.....	154
<b>8.6</b>	<b>MODELES HYDRAULIQUES SPECIFIQUES POUR LES ONDES DE RUPTURE .....</b>	<b>155</b>
8.6.1	Rappel des scenarii d'ondes de rupture retenus.....	155
8.6.2	Présentation des différents modèles mis en œuvre .....	156
8.6.3	Principales conclusions liées à la propagation des ondes de rupture .....	158
<b>9</b>	<b>VULNERABILITE DES ENJEUX ET CAPACITE DE RESILIENCE .....</b>	<b>160</b>
9.1	PRINCIPE .....	160
9.2	EXPLOITATION DES DONNEES EXISTANTES.....	161
9.3	TRAITEMENT D'IMAGES SATELLITE .....	162
9.4	VISITES DE TERRAIN .....	163
9.5	RENDUS .....	165
<b>10</b>	<b>ACTUALISATION DES PLANS D'ALERTE .....</b>	<b>166</b>
10.1	PREAMBULE .....	166
10.2	MISE A JOUR DES PLANS.....	169
10.3	CHOIX DES 100 SITES.....	170
10.3.1	Guinée .....	171
10.3.2	Mali.....	172
10.3.3	Mauritanie .....	173
10.3.4	Sénégal.....	174
10.3.5	Synthèse des sites retenus .....	175



<b>10.4</b>	<b>CONSTRUCTION DES PLANS D'ALERTE INONDATION</b>	<b>176</b>
10.4.1	Saisie des enjeux	176
10.4.2	Définition des zones inondables	176
10.4.3	Définition des seuils d'alerte	177
10.4.4	Précisions sur les centres d'accueil	184
10.4.5	Cartographies réalisées	186
10.4.6	Mise à jour de la base de données des PIC	187
<b>11</b>	<b>PLAN D'ADAPTATION ET DE RESILIENCE DES POPULATIONS</b>	<b>188</b>
<b>11.1</b>	<b>PREAMBULE</b>	<b>188</b>
<b>11.2</b>	<b>MISE A JOUR DES SCENARIOS CATASTROPHIQUES</b>	<b>189</b>
11.2.1	Communes situées en aval de grands barrages	189
11.2.2	Communes non exposées à une rupture de barrage	190
<b>11.3</b>	<b>COMPLEMENTS SUR LES ZONES REFUGES</b>	<b>191</b>
<b>11.4</b>	<b>CONSTRUCTION DES PLANS DE RESILIENCE</b>	<b>192</b>
<b>12</b>	<b>PRECONISATIONS POUR LA MISE EN PLACE FUTURE D'UN SYSTEME D'ALERTE PRECOCE (SAP)</b>	<b>193</b>
<b>12.1</b>	<b>OBJECTIFS PRINCIPAUX DU FUTUR SAP</b>	<b>193</b>
12.1.1	Généralités	193
12.1.2	Les principales tâches	194
12.1.3	Les diagnostics	194
12.1.4	La conception	195
12.1.5	La réalisation	195
12.1.6	L'exploitation – maintenance	195
12.1.7	Type de contractualisation	196
<b>12.2</b>	<b>ASPECTS INSTITUTIONNELS</b>	<b>196</b>
12.2.1	Diagnostic institutionnel	196
12.2.2	Présentation de la trame du modèle conceptuel	200
12.2.3	Proposition d'un modèle de gouvernance	200
12.2.4	Élaboration de la stratégie	201
12.2.5	Programme d'actions	201
12.2.6	Financement du SAP dans un objectif de pérennisation	201
<b>12.3</b>	<b>LES DONNEES ALIMENTANT LE SAP</b>	<b>202</b>
12.3.1	Référentiel des données sur l'eau	202
12.3.2	Réseau de mesures	204
12.3.3	Les données de connaissance du risque	208
12.3.4	La chaîne de diffusion de l'information et de remontée d'informations de terrain	208
12.3.5	Les données issues de modèles de prévision	209
12.3.6	Les données cartographiques	210
<b>12.4</b>	<b>CONCEPTION ET DEVELOPPEMENT DES SERVICES WEB DU SAP</b>	<b>210</b>
12.4.1	Préambule relatif à la plate-forme d'alertes	210
12.4.2	Diagnostic technique	210
12.4.2.1	État des lieux des équipements, base de données et moyens réseaux LAN et WAN des partenaires	210
12.4.2.2	Audit des moyens de communications, préconisations et coûts afférents	211
12.4.3	Conception de l'architecture du SAP et du réseau de communication	211
12.4.4	Chaîne de diffusion de l'alerte	214

12.4.4.1	Schéma de diffusion actuel de l’alerte et préconisations des précédents plans d’alerte .....	214
12.4.4.2	Fonctionnalités du SAP pour les alarmes et alertes .....	218
<b>12.5</b>	<b>FONCTIONALITES DU SAP ACCESSIBLE VIA PORTAIL WEB .....</b>	<b>219</b>
12.5.1	Architecture .....	219
12.5.2	Portail web fonctions avancées.....	219
12.5.3	Ergonomie.....	220
12.5.4	Portail institutionnel - accès grand public .....	221
12.5.5	Géo-catalogue .....	221
<b>12.6</b>	<b>INFRASTRUCTURE INFORMATIQUE .....</b>	<b>221</b>
<b>12.7</b>	<b>EXPLOITATION ET MAINTENANCE .....</b>	<b>222</b>
<b>12.8</b>	<b>ORDRES DE COUTS .....</b>	<b>224</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>.....</b>	<b>227</b>
Annexe 1.	Base de données des ruptures de barrages .....	228
Annexe 2.	Mise à jour des contacts PIC de Guinée .....	231
Annexe 3.	Mise à jour des contacts PIC du Mali.....	232
Annexe 4.	Mise à jour des contacts PIC de Mauritanie .....	233
Annexe 5.	Mise à jour des contacts PIC du Sénégal.....	234
Annexe 6.	Plans d’alerte et de résilience de Guinée (7 zones d’alerte).....	235
Annexe 7.	Plans d’alerte et de résilience du Mali (29 zones d’alerte).....	236
Annexe 8.	Plans d’alerte et de résilience de Mauritanie (31 zones d’alerte).....	237
Annexe 9.	Plans d’alerte et de résilience du Sénégal (33 zones d’alerte) .....	238
Annexe 10.	Comptes-rendus des ateliers locaux, nationaux et régionaux.....	239

## ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ADRS	Agence de Développement Rural de la vallée du fleuve Sénégal
BDD	Base De Données
BFS	Bassin du Fleuve Sénégal
DGPC	Direction Générale de la Protection Civile
GEV	Generalized Extremes Values
GRADEX	GRAdient des valeurs EXtrêmes
IGN	Institut Géographique National
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
MEWP	Multi Exponential Weather Pattern
Mm <sup>3</sup>	Million de m <sup>3</sup>
MW	Méga Watt
MNT	Modèle Numérique de Terrain
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
PIC	Poste d'Information sur les Crues
SAED	Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé
SAP	Système d'Alerte Précoce
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SEMAF	Société d'Exploitation de Manantali et Félou
SCHADEx	Simulation Climato-Hydrologique pour l'Appréciation des Débits Extrêmes
SOGED	Société de Gestion et d'Exploitation de Diama
SOGEM	Société de Gestion de l'Énergie de Manantali
SOGENAV	Société de Gestion et d'Exploitation de la Navigation
SOGEOH	Société de Gestion de l'Énergie des Ouvrages du Haut-bassin guinéen
SONADER	Société Nationale pour le Développement Rural
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
VFS	Vallée du Fleuve Sénégal

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte du bassin versant.....	18
Figure 2 : Régime naturel du fleuve Sénégal .....	19
Figure 3 : Le fleuve Sénégal .....	19
Figure 4 : Le barrage de Diama .....	20
Figure 5 : Les endiguements de Diama à Rosso .....	21
Figure 6 : Le barrage de Manantali .....	22
Figure 7 : Points de calculs des débits pour différentes périodes de retour .....	25
Figure 8 : Extrait de la synthèse des zones inondées pour différents débits à l'aval de Bakel.....	28
Figure 9 : Extrait cartographique du plan d'alerte inondation de la commune de Richard Toll (Sénégal) .....	29
Figure 10 : Exemple du plan d'alerte inondation pour la commune de Médine (Mali).....	31
Figure 11 : Exemple du plan de résilience sur la commune de Soukoutalé (Mali).....	32
Figure 12 : Exemple d'une planche du plan d'alerte existant .....	37
Figure 13 : Schéma de circulation de l'annonce des crues pour la moyenne et la basse vallée .....	38
Figure 14 : Synoptique des barrages existants et projetés .....	41
Figure 15 : Plan de situation des barrages existants et projetés .....	42
Figure 16 : Vue en plan du barrage de Manantali.....	43
Figure 17 : Aperçus de l'ouvrage en cours de réalisation.....	43
Figure 18 : Plan schématique du barrage de Manantali .....	45
Figure 19 : Vue d'ensemble de l'ouvrage vu d'aval .....	45
Figure 20 : Photos du barrage de Manantali.....	46
Figure 21 : Contexte géologique du barrage de Manantali.....	46
Figure 22 : Courbe HSV de la retenue de Manantali.....	47
Figure 23 : Vue générale du barrage vers la rive gauche aval .....	47
Figure 24 : Profils type du barrage.....	48
Figure 25 : Ouvrages hydrauliques associés - Barrage de Manantali.....	49
Figure 26 : Lois de débitance des évacuateurs de crue - Barrage de Manantali .....	50
Figure 27 : Vue de l'usine hydroélectrique implantée au pied aval rive droite du barrage de Manantali.....	51
Figure 28 : Hydrogramme minimal de crue nécessaire à Bakel pour permettre d'irriguer en moyenne 50 000 hectares de cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal (Source : POGR, 2002).....	52
Figure 29 : Plan de localisation - barrage de Diama .....	54
Figure 30 : Vue en plan - barrage de Diama.....	54
Figure 31 : Extraits de plans du barrage de Diama (coupe passe vannée).....	55
Figure 32 : Extraits de plans du barrage de Diama (élévations amont et aval).....	56
Figure 33 : Vue d'ensemble du barrage de Diama prise dans l'axe de la route qui franchit l'ensemble des ouvrages .....	58
Figure 34 : Autre vue d'ensemble de l'ouvrage depuis la rive droite aval. Seuls émergent de l'horizon la tour de contrôle et le portique de manœuvre des batardeaux .....	58
Figure 35 : Vue générale du barrage mobile prise dans l'axe de son chemin de roulement amont. À l'horizon : la Mauritanie .....	59
Figure 36 : Détails des organes hydromécaniques du barrage de Diama .....	60
Figure 37 : Vue détaillée de la porte busquée amont (photo prise vers l'amont) .....	61
Figure 38 : Vue générale du sas de l'écluse du barrage de Diama en direction de l'aval.....	61
Figure 39 : La porte busquée amont et le pont levant franchissant l'écluse, en position baissée en levée .....	62
Figure 40 : Le chenal d'approche de l'écluse coté fluvial avec le mur guideau soutenant le musoir à gauche et la lisse de guidage des bateaux à droite .....	62
Figure 41 : Équipements et infrastructures connexes.....	62
Figure 42 : Les endiguements de Diama à Rosso .....	63
Figure 43 : Photos du barrage de Félou.....	65
Figure 44 : Vues en plan du barrage de Félou.....	67
Figure 45 : Barrage de Félou (ouvrage de tête).....	68
Figure 46 : Barrage de Félou (usine).....	68
Figure 47 : Photos du barrage de Fom-Gleïta.....	69
Figure 48 : Vue 3D du barrage de Fom-Gleïta.....	70
Figure 49 : Illustration 3D du barrage de Balassa.....	71

Figure 50 : Retenue du barrage de Balassa .....	73
Figure 51 : Vue en plan du barrage de Balassa.....	74
Figure 52 : Coupe-type aile en remblai du barrage de Balassa.....	74
Figure 53 : Coupe-type évacuateur de crue du barrage de Balassa.....	75
Figure 54 : Coupe-type ouvrage de prises usinières du barrage de Balassa.....	75
Figure 55 : Retenue du barrage de Koukoutamba .....	76
Figure 56 : Vues en plan du barrage de Koukoutamba.....	78
Figure 57 : Coupe-type évacuateur de crue du barrage de Koukoutamba .....	79
Figure 58 : Coupe-type barrage BCR de Koukoutamba.....	79
Figure 59 : Coupe-type digue en enrochement RG de Koukoutamba .....	80
Figure 60 : Coupe-type prises usinières du barrage de Koukoutamba .....	80
Figure 61 : Retenue du barrage de Boureya.....	81
Figure 62 : Vue en plan du barrage de Boureya.....	83
Figure 63 : Coupe-type aile en terre du barrage de Boureya .....	83
Figure 64 : Coupe-type plot de raccordement RG du barrage de Boureya .....	84
Figure 65 : Coupe-type plot de raccordement RD du barrage de Boureya .....	84
Figure 66 : Evacuateur et vidange de fond du barrage de Boureya.....	85
Figure 67 : Prise d'eau du barrage de Boureya.....	85
Figure 68 : Illustration du barrage projeté de Gouina .....	86
Figure 69 : Photo des travaux du barrage de Gouina .....	86
Figure 70 : Illustration 3D du barrage de Gourbassi.....	88
Figure 71 : Retenue du barrage de Gourbassi.....	89
Figure 72 : Vues en plan du barrage de Gourbassi .....	91
Figure 73 : Schéma des différents affluents du fleuve Sénégal.....	93
Figure 74 : Pourcentage de stations enregistrant une année complète sur la période 1901-2015.....	94
Figure 75 : Carte de localisation des postes pluviométriques et des bassins versants étudiés.....	95
Figure 76 : Méthode pour la construction des grilles de pluie journalière.....	95
Figure 77 : Température moyenne mensuelle (°c).....	96
Figure 78 : Carte de localisation des stations hydrométriques (réalisation : O. Fossati; fond de carte : Boyer et al, 2006).....	97
Figure 79 : Ecart (en rouge) pour chaque année par rapport à la pluie moyenne annuelle sur la période 1951-1994.....	98
Figure 80 : Distribution des pluies journalières spatiales à Manantali sur la période 1951-1970 (à gauche) et 1971-1994 (à droite).....	100
Figure 81 : Distributions des débits moyens en 24 h (non centrés) du bassin versant du Bafing à Manantali pour les périodes 1951-1970 (à gauche) et 1971-1994 (à droite) .....	101
Figure 82 : Pour le Bafing à Manantali, hydrogrammes de crue au pas de temps journalier sélectionnés (à gauche) puis adimensionnés et centrés, sans le débit de base (à droite).....	102
Figure 83 : Schéma expliquant la méthode développée pour construire des chroniques journalières de débit sur les 3 cours d'eau étudiés.....	103
Figure 84 : Distribution des débits journaliers maximaux annuels Bakel (m <sup>3</sup> /s) - régime naturel (S=271 000 km <sup>2</sup> ).....	104
Figure 85 : Distribution des débits journaliers maximaux annuels à Bakel (m <sup>3</sup> /s) - régime intégrant l'influence du barrage de Manantali (S=271 000 km <sup>2</sup> ) [Scenarii M et N et débits observés].	105
Figure 86 : Points de calculs des débits pour différentes périodes de retour.....	106
Figure 87 : Ajustements de débits au droit de Sokotoro (Bafing).....	107
Figure 88 : Ajustements de débits au droit de Balabori-Koukoutamba (Bafing) .....	107
Figure 89 : Ajustements de débits au droit de Boureya (Bafing).....	108
Figure 90 : Ajustements de débits au droit de Daka Saidou (Bafing).....	108
Figure 91 : Ajustements de débits au droit de Toukoto (Bakoye) .....	109
Figure 92 : Ajustements de débits au droit de Oualia (Bakoye).....	109
Figure 93 : Ajustements de débits au droit de Siramakana (Baoulé, aff. Bakoye).....	110
Figure 94 : Ajustements de débits au droit de Moussala (Falémé) .....	110
Figure 95 : Ajustements de débits au droit de Gourbassi (Falémé).....	111
Figure 96 : Ajustements de débits au droit de Kidira (Falémé).....	111
Figure 97 : Ajustements de débits au droit de Bakel (Sénégal).....	112
Figure 98 : Comparaisons des moyennes de précipitations mensuelles (mm) des observations et des résultats de modèles climatiques sur la période historique de 1986 à 2005 sur le bassin du Bafing.....	114
Figure 99 : Comparaisons des moyennes de températures mensuelles (°C) des observations et des résultats de modèles climatiques sur la période historique de 1986 à 2005 sur le bassin du Bafing.....	114
Figure 100 : Anomalies sur les pluies (mm) - Modèle gfdl_cm3 - Scénario 2.6 et 8.5 pour la période 2080-2099 - Bassin du Bafing (coordonnées du pixel central : X=10,42, Y=10,42).....	115

Figure 101 : Anomalies sur les températures (°C) - Modèle gfdl_cm3 - Scénarios 2.6 et 8.5 pour la période 2080-2099 - Bassin du Bafing (coordonnées du pixel central : X=10,42. Y=10,42).....	115
Figure 102 : Schéma de la chaine de calcul pour la simulation des impacts potentiels des changements climatiques sur les écoulements du Bafing .....	116
Figure 103 : 22 cas étudiés par Froehlich .....	125
Figure 104 : Zone de définition des zones inondables .....	128
Figure 105 : Exemples d'images satellite exploitées pour la cartographie de la zone inondée (1988).....	131
Figure 106 : Zone inondée lors de la crue de 1988 (définie par imagerie satellite).....	131
Figure 107 : Exemples d'images satellite exploitées pour la cartographie de la zone inondée (1999).....	132
Figure 108 : Zone inondée lors de la crue de 1999 (définie par imagerie satellite).....	132
Figure 109 : Exemples d'images satellite exploitées pour la cartographie de la zone inondée (2007) .....	133
Figure 110 : Zone inondée lors de la crue de 2007 (définie par imagerie satellite).....	133
Figure 111 : Exemples d'images satellite exploitées pour la cartographie de la zone inondée (2012).....	134
Figure 112 : Zone inondée lors de la crue de 2012 (définie par imagerie satellite).....	134
Figure 113 : Exemples d'images satellite exploitées pour la cartographie de la zone inondée (2015) .....	135
Figure 114 : Zone inondée lors de la crue de 2015 (définie par imagerie satellite).....	135
Figure 115 : Comparaison des zones inondées définies par imagerie satellitaire .....	136
Figure 116 : Enveloppe des zones inondées « Global Surface Water » sur la période 1984-2018 .....	137
Figure 117 : Zones inondées pour différentes gammes de débits à partir des données GSW (exemple sur le tronçon Podor-Boghé).....	139
Figure 118 : Emprise des modèles hydrauliques mis en œuvre.....	140
Figure 119 : Modèle hydraulique amont.....	141
Figure 120 : Modèle hydraulique aval.....	141
Figure 121 : Modèle Numérique de Terrain exploité .....	142
Figure 122 : Hydrogrammes observés à Bakel en 1906 et 1999.....	143
Figure 123 : Profils en long des crues de 1906 et 1999.....	144
Figure 124 : Hydrogrammes synthétiques de crue de période de retour 100, 1 000 et 10 000 ans à Bakel. ....	145
Figure 125 : Profils en long des crues de 1999 et des crues de période de retour 100, 1000 et 10 000 ans.....	145
Figure 126 : Extrait de la zone inondée par l'hydrogramme synthétique 10 000 ans à Bakel.....	146
Figure 127 : Extrait de la synthèse des zones inondées pour différents débits à l'aval de Bakel.....	147
Figure 128 : Extrait de la synthèse des zones inondées pour différents débits à l'amont de Bakel.....	147
Figure 129 : Carte de localisation des stations hydrométriques (réalisation : O. Fossati; fond de carte : Boyer et al, 2006).....	148
Figure 130 : Incidence de la surcote en mer sur les niveaux en crue (crue type 1999) .....	154
Figure 131 : Emprise du modèle hydraulique construit pour la rupture des barrages de Manantali et Fougleita .....	156
Figure 132 : Emprise du modèle hydraulique construit pour la rupture du barrage de Gourbassi .....	156
Figure 133 : Emprise du modèle hydraulique construit pour les ruptures des barrages de Balassa, Koukoutamba et Boureya.....	157
Figure 134 : Superposition des emprises des zones inondées pour les ruptures de barrages étudiées .....	158
Figure 135 : Illustration de la zone inondée par l'éventuelle rupture du barrage de Manantali au droit de Bakel et Podor.....	159
Figure 136 : Extrait cartographique du plan d'alerte de Tafacinga au Mali (source OMVS 2004).....	161
Figure 137 : Extrait cartographique du plan d'alerte de Tafacinga traité en 2020 (bleu : zone inondable pour une crue de 3 000 m <sup>3</sup> /s du Sénégal).....	161
Figure 138 : Extrait cartographique et position des lieux d'intérêt à Bakel (source Google) .....	162
Figure 139 : Fiche type pour recensement des enjeux lors de la visite sur le terrain .....	164
Figure 140 : Extrait cartographique du plan d'alerte inondation de la commune de Richard Toll (Sénégal)..	165
Figure 141 : Planche d'un plan d'alerte au Mali [2006] .....	166
Figure 142 : Implantation des précédentes zones d'alerte au Sénégal (mission 2005).....	168
Figure 143 : Implantation des précédentes zones d'alerte en Mauritanie (mission 2005).....	168
Figure 144 : Implantation des précédentes zones d'alerte au Mali (mission 2005).....	169
Figure 145 : Implantation des précédentes zones d'alerte sur le bassin versant du Sénégal en 2005 .....	170
Figure 146 : Position des 7 nouvelles zones d'alerte retenues pour la Guinée.....	171
Figure 147 : Position des 29 zones d'alerte retenues pour le Mali.....	172
Figure 148 : Position des 31 zones d'alerte retenues pour la Mauritanie .....	173
Figure 149 : Position des 33 zones d'alerte retenues pour le Sénégal.....	174
Figure 150 : Exemple d'un choix de seuils (niveau 1 et niveau 2) pour la commune de Waniekori au Mali selon les différentes crues modélisées du Bakoye .....	178
Figure 151 : Exemple de représentation cartographique des zones inondables - exemple de la commune de Boghé (Mauritanie).....	178
Figure 152 : Carte des stations hydrométriques retenues pour calage des seuils d'alerte lors des plans réalisés en 2020 .....	179

Figure 153 : Exemples de 2 échelles de risque (Mbouma au Sénégal et Dounet en Guinée).....	183
Figure 154 : Exemple du plan d'alerte inondation pour la commune de Médine (Mali).....	186
Figure 155 : Carte des barrages modélisés sur le bassin versant du fleuve Sénégal.....	189
Figure 156 : Extrait cartographique du plan de résilience de la commune de Boghé (Mauritanie).....	190
Figure 157 : Travail de cartographie des zones refuges (avant et après) et emprise de la zone inondée suite à l'éventuelle rupture du barrage de Manantali (cas de Bafoulabé).....	191
Figure 158 : Exemple du plan de résilience sur la commune de Soukoutalé (Mali).....	192
Figure 159 : Descriptif fonctionnel d'un système global d'alerte précoce .....	193
Figure 160 : Organigramme général de l'OMVS.....	196
Figure 161 : Carte de localisation des stations hydrométriques (réalisation : O. Fossati; fond de carte : Boyer et al, 2006).....	204
Figure 162 : Carte de localisation des postes pluviométriques du BFS.....	205
Figure 163 : Planche d'un plan d'alerte au Sénégal [2020].....	208
Figure 164 : Schéma de circulation de l'annonce des crues pour la haute vallée.....	215
Figure 165 : Schéma de circulation de l'annonce des crues pour la moyenne et la basse vallée .....	217

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résultats des quantiles de débits moyens journaliers - SIMULSEN - SCHADEX ( $m^3/s$ ) - régimes naturel et influencé par le barrage de Manantali .....	25
Tableau 2 : Synthèse des scénarii de ruptures retenus .....	26
Tableau 3 : Niveaux IGN [cm] associés à différentes périodes de retour pour les stations situées à l'aval de Bakel.....	28
Tableau 4 : Tableau des 100 zones d'alerte retenues dans le cadre du scénario n°2 .....	30
Tableau 5 : Barrages projetés de 3 <sup>ème</sup> génération sur le bassin du fleuve Sénégal (source SDAGE).....	40
Tableau 6 : Fiche synoptique du barrage de Manantali.....	44
Tableau 7 : Fiche synoptique du barrage de Diama.....	55
Tableau 8 : Fiche synoptique du barrage de Félou.....	66
Tableau 9 : Fiche synoptique du barrage de Foun-Gleïta.....	70
Tableau 10 : Fiche synoptique du barrage de Balassa.....	72
Tableau 11 : Fiche synoptique du barrage de Koukoutamba.....	77
Tableau 12 : Fiche synoptique du barrage de Boureya.....	82
Tableau 13 : Fiche synoptique du barrage de Gouina .....	87
Tableau 14 : Fiche synoptique du barrage de Gourbassi.....	90
Tableau 15 : Débits des plus fortes crues à Bakel (271 000 $km^2$ ) avant et après la mise en service du barrage de Manantali.....	97
Tableau 16 : Ecarts en pourcentage sur les variables pluies et écoulements moyens pour les 3 bassins versants entre la période globale de calage (1951-1994) et les sous périodes 1951-1970 et 1971-1994.....	99
Tableau 17 : Les quantiles de pluies de bassins (mm/jour) aux différents temps de retour pour les deux sous périodes.....	100
Tableau 18 : Les quantiles de débits moyens journaliers ( $m^3/s$ ) pour les 3 bassins versants et pour les deux sous-périodes.....	101
Tableau 19 : Résultats des quantiles de débits journaliers maximaux annuels - SIMULSEN - SCHADEX ( $m^3/s$ ) - régime naturel.....	104
Tableau 20 : Résultats des quantiles de débits journaliers maximaux annuels à Bakel - SIMULSEN - SCHADEX ( $m^3/s$ ) - régime naturel ( $S=271\ 000\ km^2$ ).....	104
Tableau 21 : Résultats des quantiles de débits moyens journaliers - SIMULSEN - SCHADEX ( $m^3/s$ ) - régimes naturel et influencé par le barrage de Manantali .....	105
Tableau 22 : Quantiles de débits - Sokotoro (Bafing).....	107
Tableau 23 : Quantiles de débits - Balabori-Koukoutamba (Bafing).....	107
Tableau 24 : Quantiles de débits - Boureya (Bafing).....	108
Tableau 25 : Quantiles de débits - Daka Saidou (Bafing).....	108
Tableau 26 : Quantiles de débits - Toukoto (Bakoye).....	109
Tableau 27 : Quantiles de débits - Oualia (Bakoye).....	109
Tableau 28 : Quantiles de débits - Siramakana (Baoulé, aff. Bakoye).....	110
Tableau 29 : Quantiles de débits - Moussala (Falémé).....	110
Tableau 30 : Quantiles de débits - Gourbassi (Falémé).....	111
Tableau 31 : Quantiles de débits - Kidira (Falémé).....	111
Tableau 32 : Quantiles de débits - Bakel (Sénégal).....	112
Tableau 33 : Caractéristiques principales des scénarios RCP du GIEC (source : Moss & al., 2010).....	113

Tableau 34 : Liste des modèles climatiques pour lesquels des simulations ont été extraites .....	113
Tableau 35 : Mécanismes de rupture - Barrages en remblai .....	118
Tableau 36 : Comparaison des crues de projet des barrages (existants et projetés) avec les débits exceptionnels estimés dans le cadre de l'étude .....	122
Tableau 37 : Synthèse des scénarii de ruptures retenus .....	127
Tableau 38 : Débits des plus fortes crues à Bakel (271 000 km <sup>2</sup> ) avant et après la mise en service du barrage de Manantali .....	130
Tableau 39 : Synthèse de l'analyse critique des courbes de tarage .....	150
Tableau 40 : Niveaux IGN [cm] associés à différentes périodes de retour pour les stations situées à l'aval de Bakel .....	152
Tableau 41 : Cotes de référence des enregistrements homogénéisés .....	152
Tableau 42 : Niveau de surcote au large, set-up par les vagues au contour de 0 m MSL et surcote totale pour les surcotes extrêmes avec une période de retour variant entre 1 an et 100 ans .....	153
Tableau 43 : Synthèse des scénarii de ruptures retenus .....	155
Tableau 44 : Tableau détaillé des 90 zones d'alerte retenues dans le cadre de la précédente mission Coyne et Bellier - CNR (2005) .....	167
Tableau 45 : Tableau des 100 zones d'alerte retenues dans le cadre du scénario n°2 .....	175
Tableau 46 : Tableau de synthèse de la répartition des plans d'alerte par pays .....	175
Tableau 47 : Tableau de correspondance débits-hauteurs aux stations hydrométriques retenues pour le Sénégal aval .....	180
Tableau 48 : Tableau de correspondance débits-hauteurs aux stations hydrométriques retenues pour le Sénégal amont, Bafing, Bakoye et Falémé .....	181
Tableau 49 : Temps de transfert entre les principales stations de référence pour le Sénégal amont, Bafing, Bakoye et Falémé (Amont de Bakel) .....	182
Tableau 50 : Tableau des 44 communes sans centre d'accueil identifié .....	184
Tableau 51 : Tableau des 29 communes dotées de centres d'accueil non exposés aux risques (crue et rupture de barrage) .....	185
Tableau 52 : Avantages/inconvénients des différentes solutions de remontée d'informations de terrain ..	209





# 1 OBJECTIFS DE LA MISSION

L'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) a été créée le 11 mars 1972 par le Mali, la Mauritanie et le Sénégal, qui ont été rejoints le 17 mars 2006 par la Guinée. Elle a pour objectif stratégique la mobilisation et l'exploitation des ressources en eau du bassin du fleuve Sénégal afin de promouvoir le développement économique et social des populations des pays membres.

Les États qui composent l'OMVS comme partout ailleurs font face à un certain nombre de risques de catastrophes naturelles, en particulier des catastrophes météorologiques et hydrologiques tels que les sécheresses, les inondations, les tempêtes, etc.

L'ampleur de la vulnérabilité et de l'exposition aux aléas climatiques ainsi que les pertes résultant de catastrophes pourraient continuer à augmenter au cours des prochaines décennies. Les inondations sont parmi les principaux phénomènes liés aux conditions météorologiques enregistrées pouvant entraîner des dégâts importants (matériels et humains).

C'est pourquoi, pour faire face à ces aléas, l'OMVS s'est attelée à la construction des grands ouvrages structurants. Toutefois, certains risques de crues naturelles restent importants et d'autres risques techniques (défaillance des ouvrages, ruptures...) peuvent s'ajouter aux crues naturelles.

**C'est dans ce contexte que, le Haut-Commissariat de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) s'est proposé de mettre en place un plan d'alerte dans le bassin du fleuve Sénégal.**

Une première phase de l'étude d'un plan d'alerte, qui s'est déroulée entre 1992 et 1997, avait pour objectifs la proposition d'un système d'annonce de crues dans toute la vallée du fleuve Sénégal et d'un plan d'alerte proprement dit dans deux zones test (Mahina-Bafoulabé et Podor-lexeiba).

Une seconde phase de l'étude du plan d'alerte a été réalisée en 2005 et s'appuyait sur les leçons tirées de la première phase. Cette étude concernait la zone en aval du barrage de Manantali et a visé tant l'amélioration du système d'annonce des crues que les mesures au niveau local.

**L'objet du présent projet est l'actualisation du plan d'alerte dans le bassin du fleuve Sénégal sur la base d'analyses :**

- Hydrologiques permettant d'élaborer un référentiel de débits pour différentes périodes de retour en divers points stratégiques du bassin versant en intégrant les effets potentiels du changement climatique,
- Liées à la vulnérabilité des barrages (en lien ou non avec l'hydrologie),
- Hydrauliques afin d'être en mesure d'associer des zones inondées aux possibilités de catastrophes étudiées et de mieux connaître la propagation des hydrogrammes naturels ou liés à des défaillances techniques,
- Liées à la vulnérabilité des vallées à l'aval des différents barrages,
- ...

**L'actualisation du plan d'alerte s'est appuyée sur l'analyse d'une centaine de zones d'alerte et a été suivie par des préconisations techniques liées à la future mise en place d'un Système d'Alerte Précoce (SAP) pour le bassin.**

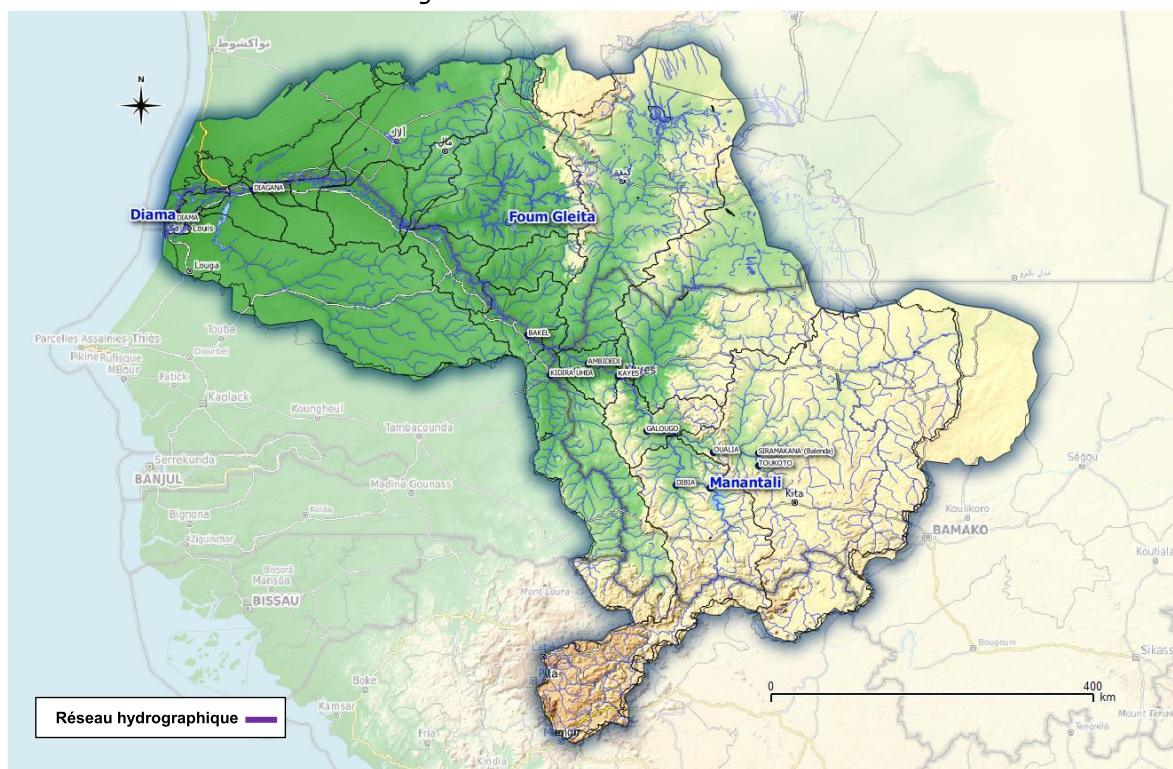


## 2 CONTEXTE GÉNÉRAL

### 2.1 REGIME HYDROLOGIQUE NATUREL

Le Sénégal est un fleuve d'Afrique de l'ouest de 1800 km de long, dont le bassin versant peuplé d'environ 5 à 6 millions d'habitants qui recouvre, sur approximativement 425 000 km<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, une partie de la Guinée, du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal.

Figure 1 : Carte du bassin versant

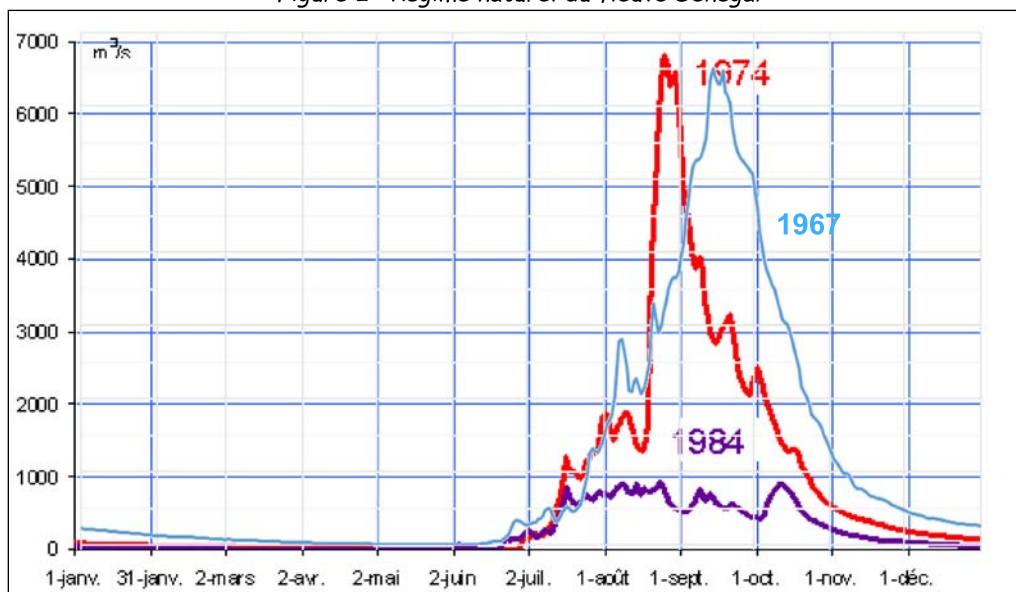


Son régime naturel à forte variabilité interannuelle est caractérisé par une période de crue s'étalant de juillet à octobre suivie d'un tarissement progressif aboutissant certaines années à un quasi-arrêt de l'écoulement vers les mois de mai ou juin sur certains biefs.

<sup>1</sup> Surface issue du bassin versant officiel fourni par l'OMVS.



Figure 2 : Régime naturel du fleuve Sénégal



La majeure partie de l'écoulement du Sénégal provient de son bassin amont drainé par le Bafing (entre 40 et 60% des apports), le Bakoye et la Falémé qui prennent leur source dans le massif bien arrosé du Fouta Djallon (2000 mm/an). A partir de Bakel situé à 794 km de l'embouchure, le fleuve qui ne reçoit plus que des apports sporadiques s'écoule dans une vallée très plate (pente moyenne de ligne d'eau en étiage : 0,001 %), où la crue amortie peut inonder le lit majeur sur plusieurs centaines de milliers d'hectares.

Figure 3 : Le fleuve Sénégal



Observé depuis un siècle à plusieurs stations hydrométriques, le Sénégal montre une baisse notable de son hydraulité naturelle depuis le début des années 70, comme plusieurs autres cours d'eau d'Afrique de l'ouest. Une légère reprise s'est manifestée toutefois vers les années 2000.



## 2.2 GRANDS AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES

Dans le but de favoriser le développement de la région, les états du Mali, de la Mauritanie et du Sénégal ont créé l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS), organisme chargé de promouvoir une gestion intégrée de la ressource en eau sur le bassin. Sous l'impulsion de l'OMVS, deux grands barrages ont à ce jour été réalisés : Diama et Manantali dits ouvrages de première génération dont une présentation succincte est réalisée dans les chapitres suivants. Les autres ouvrages importants à noter sont les endiguements de Diama à Rosso en rives droite et gauche.

### 2.2.1 Barrage de Diama

Implanté tout près de l'embouchure du fleuve, ce barrage mis en service en 1986 a pour but d'empêcher la remontée des eaux salées pendant l'étiage. Associé aux endiguements du fleuve en rive droite et rive gauche, il permet en outre de maintenir le niveau du fleuve Sénégal aux cotes les plus élevées possibles en période d'étiage suivant les consignes de gestion de la retenue du barrage de Diama. Ceci favorise le développement d'une agriculture par irrigation gravitaire dans le delta, et la disponibilité permanente d'eau douce pour l'alimentation des lacs de R'kiz et de Guiers.

L'eau stockée, douce en permanence, permet l'irrigation des périmètres en rive gauche et droite, l'approvisionnement en eau potable des populations, le développement de l'élevage, la protection de l'environnement et la conservation des zones humides, le développement des activités minières et la navigation. A la cote de + 2,5 m IGN (pour un volume de 580 millions de m<sup>3</sup> environ), la surface potentielle irrigable à l'amont de la retenue est de 120 000 ha. L'ouverture d'une brèche dans la langue de Barbarie lors de la crue de 2003 a nécessité l'adaptation de son mode de gestion.

L'exploitation, l'entretien et le renouvellement du barrage de Diama et de ses ouvrages annexes et accessoires ainsi que la conception, la construction et le financement de nouveaux ouvrages sont confiés à la Société de Gestion et d'Exploitation de Diama (SOGED) suivant le contrat de concession et de délégation du service public de l'eau.

Figure 4 : Le barrage de Diama





## 2.2.2 Endiguements Diama-Rosso

Associés au barrage de Diama (mis en service en Novembre 1985), les endiguements latéraux du fleuve Sénégal de Diama à Rosso, en rive droite et en rive gauche, permettent la fermeture de la retenue de Diama et contrôlent le remplissage et la vidange des systèmes hydrauliques (défluent, marigots, lacs, dépressions, etc.) du delta, situés en amont de la retenue de Diama.

Ces endiguements latéraux assurent deux fonctions principales : la protection des populations contre les crues et la maîtrise de l'alimentation en eau des périmètres irrigués et des cuvettes situés dans le delta du fleuve.

Le niveau de protection de ces endiguements correspond à la ligne d'eau de référence équivalente au remous de la crue centennale à Diama augmenté d'une revanche de 0,5 m.

Ils sont caractérisés par des longueurs de l'ordre de 80 km en rives droite et gauche.

Ils sont figurés en rouge ci-dessous :

Figure 5 : Les endiguements de Diama à Rosso



21

En rive droite, coté mauritanien, l'endiguement s'étend de Diama à Rosso sur 77 km environ et comprend 9 ouvrages de réalimentation gravitaire de marigots et de zones d'épandage des crues du fleuve Sénégal (Gouère, Ibrahima, Dalagona, Dioup, Aftout-Es-Saheli, Cheyal, Lemer, Bell I et Bell II). Ces ouvrages sont équipés de vannes.

En rive gauche, un endiguement règne sur 79 km environ dans lequel s'incorporent 10 ouvrages de réalimentation gravitaire des marigots naturels (ouvrages de N'Thiagar, Ronq, Diawar, Caimans, Debi, Djoudj, Gorom, Tieng, Maraye et Dieg), et 8 ouvrages de franchissement hydraulique.

La plupart des ouvrages de franchissement sont équipés de stations de pompage pour permettre l'alimentation des axes hydrauliques secondaires lorsque le niveau du fleuve ne permet pas une alimentation gravitaire.



### 2.2.3 Barrage de Manantali

Cet ouvrage mis en service en 1987 crée sur la rivière Bafing un réservoir de 11,27 km<sup>3</sup> à l'altitude 208 m IGN (niveau maximum normal de la retenue) et une hauteur de chute moyenne de 46 mètres.

Il est constitué d'un barrage composé d'un ouvrage central en béton à contreforts têtes massives se prolongeant par des blocs massifs vers les deux rives et de deux digues latérales en enrochement avec un noyau central en silt argileux.

Ses objectifs essentiels sont les suivants :

- La production d'énergie électrique,
- Le soutien des débits d'étiage : le but est à la fois de fournir les débits nécessaires aux cultures irriguées de la vallée et de garantir l'alimentation en eau potable pour la consommation humaine et animale,
- Le soutien de débits nécessaires pour la navigation, le but étant d'allonger la période de navigabilité du fleuve,
- Le laminage des fortes crues pour la protection des populations et des infrastructures : une tranche de laminage est prévue à cet effet dans la retenue entre le niveau maximum normal (208,05 m IGN) et le niveau maximum exceptionnel (210,5 m IGN),
- Le soutien des débits de crue : le but étant de réaliser une inondation suffisante du lit majeur dans la vallée pour sécuriser les activités traditionnelles de cultures de décrue, de pêche et d'élevage, ainsi que pour le maintien de l'équilibre écologique.

La gestion du patrimoine et l'exploitation du barrage sont placées sous la responsabilité de la Société de gestion de l'énergie de Manantali (SOGEM).

Figure 6 : Le barrage de Manantali





## 2.2.4 Autres barrages existants ou projetés

### AUTRES BARRAGES EXISTANTS

Deux autres ouvrages plus modestes sont également présents sur le domaine d'étude :

- Le barrage hydroélectrique au fil de l'eau de Félou (Bafing),
- Le barrage de Foum-Gleïta (Gorgol Noir).

### BARRAGES PROJÉTÉS

On distingue dans les barrages projetés du bassin du fleuve Sénégal deux sous-catégories :

- **Les barrages de 2<sup>ème</sup> génération dont les études sont déjà avancées :**
  - Sur le Bafing d'amont en aval :
    - Barrage de Balassa,
    - Barrage de Koukoutamba,
    - Barrage de Boureya,
    - Barrage de Gouina (au fil de l'eau),
  - Sur la Falémé :
    - Barrage de Goubassi,
- **Les barrages de 3<sup>ème</sup> génération qui n'ont fait l'objet que d'études de pré-faisabilité dans les années 1970 :**
  - Sur le Bafing :
    - Barrage de Bindougou,
  - Sur la Falémé :
    - Barrage de Moussala,
  - Sur le Bakoye d'amont en aval :
    - Barrage de Boudofora,
    - Barrage de Badoumbé,
  - Sur le Baoulé (affluent du Bakoye)
    - Barrage de Maréla.

**Un schéma synoptique et un plan de localisation de ces ouvrages sont présentés dans le § 5.1.**

A noter que les caractéristiques des barrages de 3<sup>ème</sup> génération ne sont disponibles que de manière partielle.

**A l'issue des différents échanges avec l'OMVS, il a été acté de ne pas tenir compte des ouvrages de 3<sup>ème</sup> génération dans le cadre de la présente étude. En effet :**

- les ouvrages ne sont pas suffisamment définis,
- l'horizon temporel de leur éventuelle réalisation est trop lointain.



## 3 RÉSUMÉ ET SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

### 3.1 LES PRECEDENTS PLANS D'ALERTE

Les plans d'alerte réalisés en 2006 (cf. § 4) ont défini différentes hypothèses de crues.

Sur la Haute Vallée de Manantali à Bakel, il a été défini 3 crues catastrophiques théoriques :

- La « **Crue Catastrophique Moyenne** » (CCM) : crue hydrologique majeure ou crue due à une « dysfonction » (défaut des équipements, erreur de manipulation des vannes, ...). Cette crue correspond à un débit de pointe de 8000 m<sup>3</sup>/s à l'aval du barrage.
- La « **Crue Catastrophique de Référence** » (CCR) : crue liée à une rupture partielle du barrage de Manantali (une digue par exemple) ce qui peut conduire à relâcher des débits plus ou moins importants. Le débit de pointe à l'aval immédiat du barrage de Manantali pourrait être de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>/s.
- La « **Crue Catastrophique maximum Probable** » (CCMP) : crue due à une rupture instantanée de la totalité du barrage béton de Manantali ce qui conduit à relâcher des débits très importants. Le débit de pointe à l'aval immédiat du barrage de Manantali serait de l'ordre de 320 000 m<sup>3</sup>/s.

Sur la moyenne et la basse Vallée du Sénégal c'est-à-dire à l'aval de Bakel, il a été défini une « Crue Exceptionnelle ». Celle-ci correspond à un niveau mesuré de **11,00 m à l'échelle de Bakel**. Ce niveau correspond à un événement de type 1999 environ, soit un **débit de l'ordre de 4500 m<sup>3</sup>/s**. Ce niveau correspond à un événement de type 1999 environ, soit un débit de l'ordre de 4500 m<sup>3</sup>/s. **Cette crue n'est en fait pas exceptionnelle mais plutôt courante de période de retour 2 à 5 ans environ.**

Ces plans s'appuyaient ensuite sur des outils dont principalement :

- **Une carte de la zone d'alerte considérée** ne comprenant que rarement la délimitation des zones inondées en l'absence de données suffisantes mais définissant tout de même des zones refuges,
- **Un tableau de prévision** permettant d'anticiper les phénomènes en fonction de données enregistrées à Bakel et Manantali,
- **La définition de responsables de postes d'information de crues (PIC).**

### 3.2 LES BARRAGES EXISTANTS ET PROJETES

Une présentation des différents barrages existants et projetés est proposée **au chapitre 5**.

- Présentation des barrages existants :
  - Barrage de Manantali (cf. § 5.2),
  - Barrage de Diama (cf. § 5.3),
  - Barrage de Félou (cf. § 5.4.1),
  - Barrage de Foum-Gleïta (cf. § 5.4.2),
- Présentation des barrages projetés :
  - Barrage de Balassa [Bafing] (cf. § 5.5.1),
  - Barrage de Koukoutamba [Bafing] (cf. § 5.5.2),
  - Barrage de Boureya [Bafing] (cf. § 5.5.3),
  - Barrage de Gouina [Bafing] (cf. § 5.5.4),
  - Barrage de Gourbassi [Falémé] (cf. § 5.5.5).





### 3.3 ANALYSE HYDROLOGIQUE

Le but de l'analyse hydrologique a été d'estimer les crues des principaux bassins versants du fleuve Sénégal pour des périodes courantes à extrêmes, c'est-à-dire les crues de périodes de retour comprises entre 1 et 10 000 ans.

Une synthèse des précédentes analyses hydrologiques menées par BRL sur le bassin du fleuve Sénégal est présentée au § 6.3. Elles ont abouti aux résultats ci-dessous :

Débit moyens journaliers (m <sup>3</sup> /s)	T=2 ans	T=5 ans	T=10 ans	T=20 ans	T=30 ans	T=50 ans	T=100 ans	T=1000 ans	T=5000 ans	T=10000 ans
Sénégal à Bakel – SCHADEX - SIMULSEN – sans Manantali	4840	6622	7784	8800	9212	9810	10 300	14 360	18 300	21 000
Sénégal à Bakel – SCHADEX – SIMULSEN – avec Manantali	3600	5390	6403	6852	7630	8800	9212	12 500	16 645	19 860

Tableau 1 : Résultats des quantiles de débits moyens journaliers - SIMULSEN - SCHADEX (m<sup>3</sup>/s) - régimes naturel et influencé par le barrage de Manantali

Les débits de pointe à Bakel des crues de période de retour 1 000 et 10 000 ans en intégrant l'influence du barrage de Manantali ont donc été estimés à respectivement 12 500 et 19 860 m<sup>3</sup>/s.

À noter que la crue de 1999 (la plus forte crue observée depuis la mise en service du barrage de Manantali) est caractérisée par une période de retour comprise entre 2 et 5 ans. Il faut donc s'attendre à des événements de bien plus grande ampleur.

Des compléments hydrologiques spécifiques (cf. § 6.4) ont ensuite été entrepris dans le cadre de la présente étude afin de disposer de débits de pointe en différents secteurs du bassin versant (stations hydrométriques et barrage projetés). La figure ci-dessous situe les points de calcul retenus ainsi que les barrages existants ou projetés.

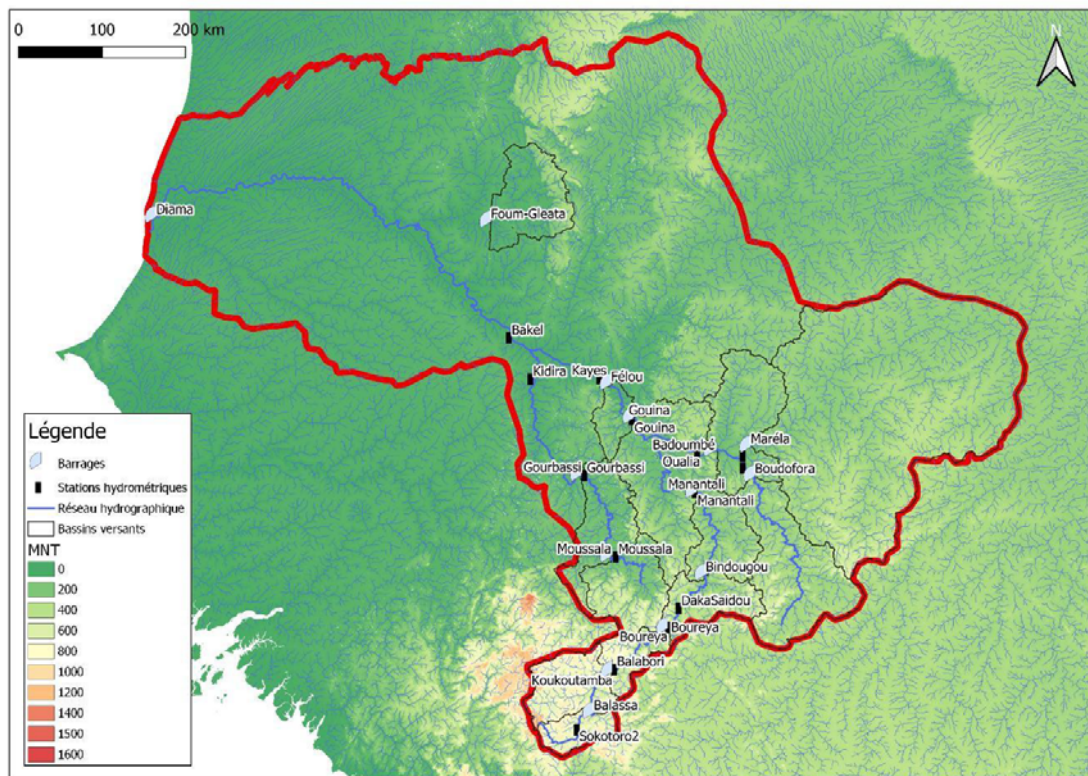


Figure 7 : Points de calcul des débits pour différentes périodes de retour

Ensuite, les effets potentiels du changement climatique ont été évalués (cf. § 6.5).



## 3.4 EVALUATION DES RISQUES LIÉS À LA DÉFAILLANCE DES BARRAGES

Les risques de défaillance des barrages sont liés à une libération accidentelle de l'ensemble ou d'une partie du volume stocké.

Ces défaillances peuvent être provoquées par des sollicitations extérieures (crues extrêmes, séismes...) ou intrinsèques à l'ouvrage lui-même. On peut distinguer :

- **La rupture du barrage (rupture complète, rupture d'un seul plot béton...),**
- **La rupture d'un organe vanné (une ou plusieurs vannes de surface du barrage de Manantali par exemple, évacuateur de crue vanné, vannes de demi-fond...).**

Les différences approches envisageables pour les différents types de barrages ont été détaillées :

- **Barrages en remblai (cf. § 7.2),**
- **Barrages en béton (cf. § 7.3).**

Les méthodes mises en œuvre ont abouti à la définition de scénarii de ruptures qui ont fait l'objet de modélisations hydrauliques (cf. § 7.5.5). Ces derniers sont présentés ci-dessous :

- **Rupture seule du barrage de Manantali** (la rupture du barrage de Manantali emportant de manière quasi-instantanée les barrages au fil de l'eau de Gouina puis Félou),
- **Rupture seule du barrage de Fom-Gleïta,**
- **Rupture seule du barrage de Gourbassi,**
- **Rupture en cascade des barrages de Balassa, Koukoutamba et Boureya.**

26

Nom du barrage	Type de rupture	Hypothèses de rupture	Conditions initiales	Débit de pointe associé (m <sup>3</sup> /s)
<b>Barrages existants</b>				
<b>Manantali</b>	Progressive	Formation d'une brèche de 300 m de large à mi-hauteur en 15 h suite à la surverse de 0,3 m sur le remblai, fonctionnement normal de l'évacuateur de crue	Crue extrême engendrant 0,3 m de surverse sur le remblai	<b>197 000</b>
<b>Fom-Gleïta</b>	Instantanée	Effacement de la totalité du barrage voûte	Retenue normale	<b>25 000</b>
<b>Barrages projetés</b>				
<b>Gourbassi</b>	Progressive	Formation d'une brèche de 340 m de large à mi-hauteur en 9 h suite à la surverse de 0,3 m sur le remblai, fonctionnement normal de l'évacuateur de crue	Crue extrême engendrant 0,3 m de surverse sur le remblai	<b>70 000</b>
<b>Balassa</b>	Progressive	Formation d'une brèche de 215 m de large à mi-hauteur en 2,5 h suite à la surverse de 0,3 m sur le remblai, fonctionnement normal de l'évacuateur de crue	Crue extrême engendrant 0,3 m de surverse sur le remblai	<b>96 000</b>
<b>Koukoutamba</b>	Instantanée	Rupture du plot central béton complet	RN puis rupture du barrage de Balassa	<b>220 000</b>
<b>Boureya</b>	Instantanée	Rupture du plot central béton complet	RN puis ruptures en cascade des barrages de Balassa et Koukoutamba	<b>144 000</b>

Tableau 2 : Synthèse des scénarii de ruptures retenus



## 3.5 ANALYSE HYDRAULIQUE

L'analyse hydraulique a permis de définir les zones inondées par le fleuve Sénégal et ses principaux affluents (Bakoye, Bafing et Falémé) pour des événements courants à exceptionnels. Pour ce faire, le groupement a procédé aux étapes suivantes :

- **Critique des courbes de tarage** (cf. § 8.3),
- **Téledétection par imagerie satellitaire** (cf. § 8.2.2) : les crues suivantes ont été cartographiées :
  - **La crue de 1988** caractérisée par un débit max journalier de 4045 m<sup>3</sup>/s à Bakel,
  - **La crue de 1999** caractérisée par un débit max journalier de 4362 m<sup>3</sup>/s à Bakel (plus forte crue observée depuis l'existence du barrage de Manantali),
  - **La crue de 2007** caractérisée par un débit max journalier de 3803 m<sup>3</sup>/s à Bakel,
  - **La crue de 2012** caractérisée par un débit max journalier de 4056 m<sup>3</sup>/s à Bakel,
  - **La crue de 2015** caractérisée par un débit max journalier de 3612 m<sup>3</sup>/s à Bakel.
- **Exploitation de la base de données « Global Surface Water » [GSW]** (cf. § 8.2.3),
- **Modélisation hydraulique des crues ou des ruptures de barrages** (cf. § 8.2.4) : différents modèles hydrauliques bidimensionnels ont été construits sur la zone d'étude à l'aide du logiciel Hec-Ras 5.0.7 pour simuler les événements hydrologiques avec et sans ruptures de barrages.

Des synthèses des zones inondées ont ensuite été réalisées sur l'ensemble du domaine d'étude. Elles ont été intégrées aux plans d'alerte et de résilience.

### AVAL DE BAKEL

Des cartographies de zones inondées ont été définies pour différentes gammes de débits allant de 1000 m<sup>3</sup>/s environ à près de 20 000 m<sup>3</sup>/s à Bakel. Les zones inondées ont été identifiées pour les débits suivants :

- 1000 à 4500 m<sup>3</sup>/s environ par pas de débit de 500 m<sup>3</sup>/s,
- 6000, 7000 et 8000 m<sup>3</sup>/s,
- Des crues de période de retour 100, 1000 et 10 000 ans de débits de pointe respectifs de 9200, 12 500 et 19 860 m<sup>3</sup>/s.

Par ailleurs, l'onde de rupture de différents barrages a également été intégrée à cette synthèse.

### AMONT DE BAKEL

Pour l'amont de Bakel, les zones inondées se sont appuyées sur la modélisation hydraulique pour également une large gamme de débits. Les débits suivants ont ainsi été injectés dans les trois affluents du Sénégal, à savoir le Bafing, le Bakoye et la Falémé :

- 250 à 1000 m<sup>3</sup>/s en tête de chaque affluent par pas de débit de 250 m<sup>3</sup>/s (débit résultant à Bakel compris entre 750 et 3000 m<sup>3</sup>/s),
- 1000 à 4000 m<sup>3</sup>/s en tête de chaque affluent par pas de débit de 500 m<sup>3</sup>/s (débit résultant à Bakel compris entre 3000 et 12 000 m<sup>3</sup>/s).

De même, l'onde de rupture de différents barrages a également été intégrée à cette synthèse.



Un extrait de la synthèse des zones inondées à l'aval de Bakel (hors ruptures de barrages) est présenté ci-dessous :

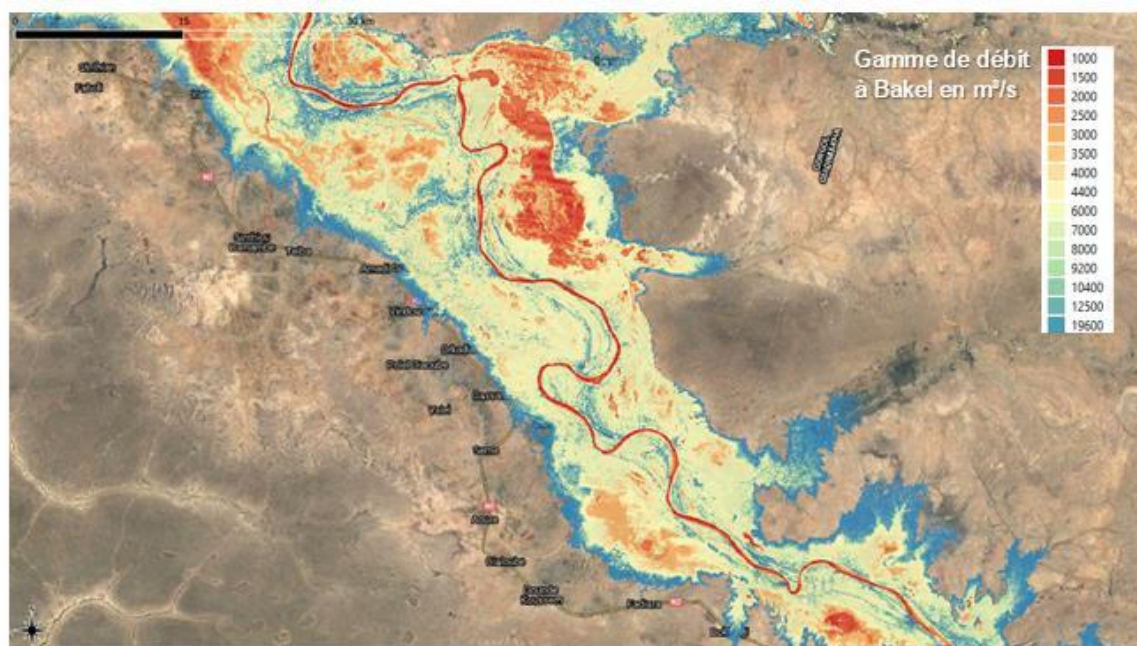


Figure 8 : Extrait de la synthèse des zones inondées pour différents débits à l'aval de Bakel

Enfin, à l'aide du logiciel PROPAVAL, il a été possible de simuler au pas de temps journalier les cotes d'eau pour différentes périodes de retour aux échelles de Matam, Kaedi, Salde, Podor, Dagana et Richard Toll sur le fleuve Sénégal et à celles de Ngoui et Guede sur le Doué (cf. § 8.4).

Le tableau ci-dessous illustre d'aval en amont cette démarche. Il détaille les fréquences annuelles de dépassement d'une cote donnée pour une station donnée.

28

Fréquence annuelle de dépassement	T en années	Richard Toll	Dagana	Podor	Guede	Salde	Ngoui	Kaedi	Matam
0.5	2	262	305	494	614	1012	994	1169	1466
0.1	10	336	393	591	677	1122	1106	1256	1570
0.02	50	370	424	626	703	1150	1140	1274	1601
0.01	100	373	427	629	705	1164	1156	1286	1629
0.002	500	374	429	630	707	1164	1157	1286	1631
0.001	1 000	378	432	634	709	1168	1162	1289	1637
0.0001	10 000	403	456	659	729	1208	1211	1317	1700

Tableau 3 : Niveaux IGN [cm] associés à différentes périodes de retour pour les stations situées à l'aval de Bakel

On lit sur ce tableau par exemple que la cote millénale (celle qui a une chance sur 1000 chaque année d'être dépassée) de la station de Matam est estimée à 1637 cm [IGN].



## 3.6 VULNERABILITE DES ENJEUX ET CAPACITE DE RESILIENCE

L'objectif de cette phase (cf. § 9) a été de déterminer les enjeux en présence sur la zone d'étude. Par enjeu, on entend « l'ensemble des personnes, des biens, des activités, éléments du patrimoine menacés par un aléa ou susceptibles d'être affectés ou endommagés par celui-ci ».

Au final, 6 catégories d'enjeux ont été définies :

- **Administration** (et gestion de crise) : mairie, préfecture, caserne de pompiers, poste de police...
- **Education** : école, collège, lycée...
- **Enjeux économiques** : société, marché, hangar, zone agricole...
- **Santé** : hôpital, dispensaire, pharmacie...
- **Culte** : lieu de culte, mosquée, cimetière...
- **Réseaux et autres** :
  - Réseaux : route majeure, pont, gare, aéroport, antenne télécom, réseau d'eau potable, réseau électrique, puits...
- **Autres** : terrains de sport, zones vulnérables...

Le travail de recensement a été réalisé en étroite collaboration avec les acteurs locaux et a consisté principalement en le recueil et la synthèse de différentes sources de données :

- Les **données existantes** à l'échelle communale (urbanisme et gestion de crise) recensées dans le cadre des précédents plans d'alerte,
- Les **images satellites** traitées dans le cadre de cette mission, ainsi que les bases de données mondiales **OSM** (OpenStreetMap) et **Google**,
- les informations recueillies lors des **visites de terrain** et des entretiens menées auprès des communes, personnes et organismes associées :
  - **Mission en Mauritanie et au Mali : du 8 février au 29 février 2020,**
  - **Mission au Sénégal et en Guinée (ponctuellement au Mali sur la Falémé) : du 7 au 29 février 2020.**

Ces éléments ont fait l'objet d'un traitement sous forme cartographique SIG, notamment pour positionner précisément les enjeux sur le territoire communal. Ils ont ensuite été intégrés aux cartes des plans d'alerte et de résilience.

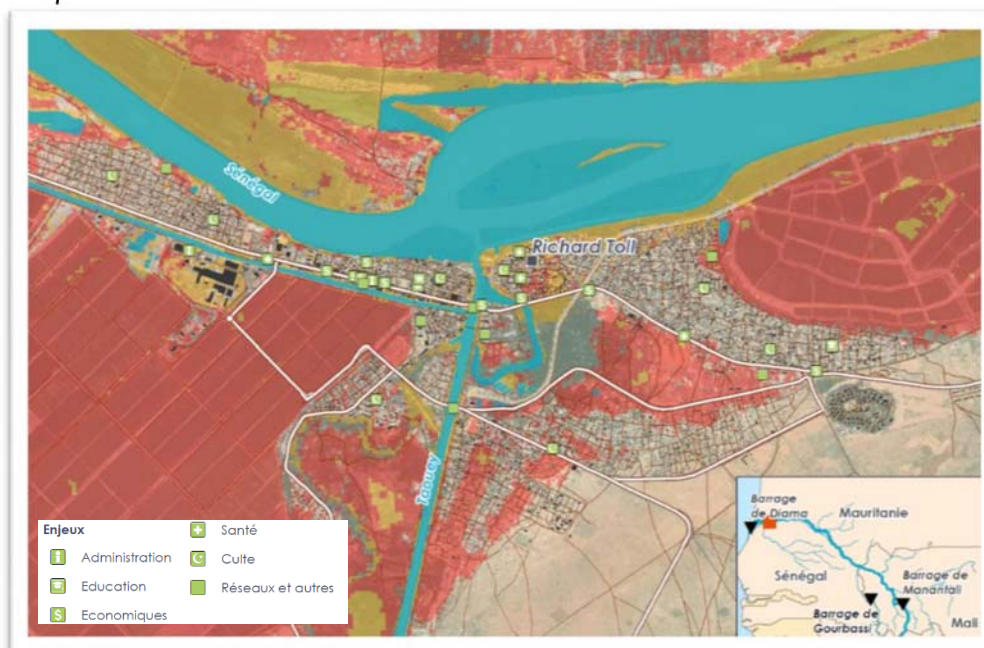


Figure 9 : Extrait cartographique du plan d'alerte inondation de la commune de Richard Toll (Sénégal)



## 3.7 ACTUALISATION DES PLANS D'ALERTE ET DE RESILIENCE

### 3.7.1 Zones d'alerte retenues

Le tableau ci-dessous reprend la liste des 100 sites retenus par pays à travers le scénario n°2 proposé dans la note d'hypothèses validée en décembre 2019.

Sénégal (33)		Mauritanie (31)		Mali (29)	
Saint-Louis	Pété	R'Kiz	Kaedi	Tafasirgha	Kouroudi (Mahina ouest)
Ross Béthio	Orefondé	N'Diago	Djeol	Lani Tounka	Santankoto (Mahina est)
Rosso	Agnam Civol	Keur Macene	Nere Walo	Gakoura	Koundian-Boundougourou
Richard Toll	Boki Diavé	Breun	Tokomadji	Ambidébi	Diokéli-Bangaya
Mbane	Nabadji Civol	Rosso	Toufoundé Ciné	Somankidi	Bamafélé
Gaé	Matam	Jedre El Mouhguen	Daw	Samé Diongoma	<i>Diboli (Falémé)</i>
Dagana	Kanel	Tekane	Dolol Civé	Bangassi	<i>Kondoya (Falémé)</i>
Fanaye	Hamady Ounaré	Lexeiba	Maghama	Diyala	<i>Koundama (Falémé)</i>
Ndiayéné Pendaou	Waoundé	Dar El Barka	Sagne	Légal Ségou (Kayes)	<i>Soukoutalé (Bakoye)</i>
Podor	Diéla	Dar El Avia	Wali Diantang	Colimbiné	<i>Waniekori (Bakoye)</i>
Guédé	Dembancané	Boghé	Wompou	Medine	<i>Badala (Bakoye)</i>
Gamadji Sarré	Moudéry	Ould Biram	Gouraye	Kakoulou	<i>Sitafeto (Bafing)</i>
Dodel	Bakel	El Varae	Khabou	Diamou	<i>Soumegolo (Bafing)</i>
Aéré Lao	Ballou	Bababé	Bouhajra	Bafoulabé	<i>Kenia-Bendougou (Bafing)</i>
Médina Ndiatbé	<i>Kidira (Falémé)</i>	Mbagne	M'Beul	Mahina (Nord)	
Mboumba	<i>Moussala (Falémé)</i>	Niabina			
Galoya Toucouleur		<b>Guinée (7)</b>	<i>Boukaria</i>	<i>Boureya/Diatiférin</i>	<i>Koukoutamba</i>
		<i>Sokotoro</i>	<i>Dounet</i>	<i>Afia (Salia)</i>	<i>Padake (Touankan)</i>

Communes en gras et en italique ci-dessus correspondent à de nouveaux sites par rapport aux plans d'alerte de 2005

Tableau 4 : Tableau des 100 zones d'alerte retenues dans le cadre du scénario n°2

Les sites sont localisés sur différents extraits de cartes :

- **Guinée (7 sites)** [cf. § 10.3.1],
- **Mali (29 sites)** [cf. § 10.3.2],
- **Mauritanie (31 sites)** [cf. § 10.3.3],
- **Sénégal (33 sites)** [cf. § 10.3.4].



### 3.7.2 Elaboration des nouveaux plans d'alerte

Il s'est agi de mettre à jour les plans d'alerte réalisés en 2005-2006 par Coyne & Bellier et la Compagnie Nationale du Rhône.

Il est noté que les grands principes de construction de ces plans n'ont pas été remis en cause lors cette mission. Toutefois l'apport des résultats de la modélisation hydraulique mis en œuvre en 2020 a permis ici d'adapter une nouvelle méthodologie concernant notamment la définition des seuils de vigilance et d'alerte des communes (**voir § 10.4.3**).

Les principales étapes de l'élaboration des nouveaux plans ont été les suivantes [cf. § 10] :

1. Saisie sous SIG des enjeux et des zones refuges (ZR) identifiés à travers les anciens plans d'alerte ;
2. Suite aux résultats des modélisations hydrauliques, définition de zones inondables en fonction de différents scénarios, notamment :
  - Crues courantes / rares,
  - Crues exceptionnelles ;
3. Définition des cotes de vigilance et d'alerte en prenant en compte l'exposition des communes entre des crues courantes et des crues exceptionnelles ;
4. Précision et compléments sur les zones refuges suite au retour des enquêtes de terrain et à la comparaison avec les zones inondables définies par modélisation hydraulique ;
5. Mise à jour cartographique des fonds de plan et des objets structurant les zones d'études pour l'actualisation des plans d'alerte et une meilleure lisibilité : photos satellite récentes, codification en couleurs des risques, mise à jour des enjeux par typologie, présentation de chaque commune et mode d'emploi des plans d'alerte ;
6. Mise à jour des contacts / référents PIC (Poste d'Information sur les Crues) réalisée à la suite des enquêtes de terrain par zone d'alerte (**cf. Annexe 2 à Annexe 5**).

Les cartes issues de ces analyses sont présentées de l'Annexe 6 à l'Annexe 9. Un exemple en est présenté ci-dessous :

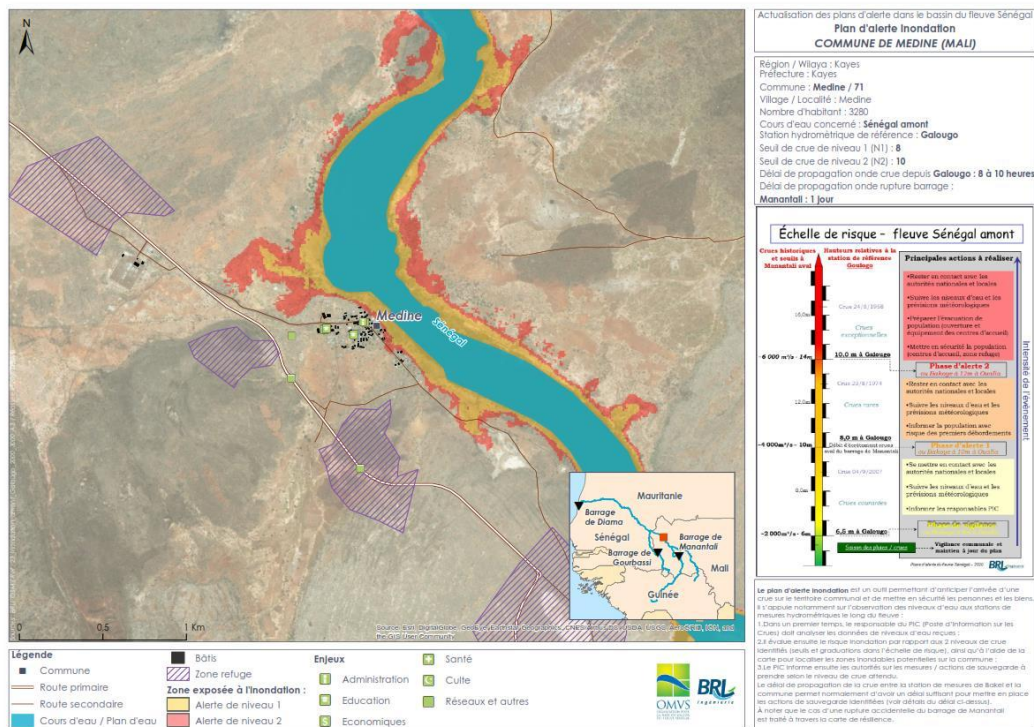


Figure 10 : Exemple du plan d'alerte inondation pour la commune de Médine (Mali)



### 3.7.3 Elaboration des plans d'adaptation et de résilience des populations

Cet outil doit permettre à chaque commune de pouvoir évaluer ses structures, ses moyens et ses procédures mises en place afin de permettre la réduction des impacts d'un évènement catastrophique sur son territoire (type crue exceptionnelle ou rupture de barrage). La résilience est la capacité à chaque commune de pouvoir « se relever » à la suite d'un tel évènement.

Les principales étapes de l'élaboration de ces nouveaux plans (venant en complément des plans d'alerte inondation décrits au chapitre précédent) sont les suivantes [cf. § 11] :

1. Saisie sous SIG des enjeux et des zones refuges (ZR) identifiés à travers les anciens plans d'alerte ;
2. Suite aux résultats des modélisations hydrauliques, définition de zones inondables en fonction de différents scénarios, notamment :
  - Crues exceptionnelles,
  - Crues catastrophiques suite à une rupture éventuelle de barrages ;
3. Mise à jour des scénarios catastrophiques en intégrant l'onde de rupture des barrages existants (Manantali et Fom-Gleïta) mais aussi ceux projetés (Gourbassi, Balassa, Koukoutamba et Boureya) et à défaut prendre une crue exceptionnelle (de l'ordre de  $Q_{1000}$  ans) ;
4. Précision et compléments sur les zones refuges suite au retour des enquêtes de terrain et à la comparaison avec les zones inondables définies par modélisation hydraulique ;
5. Mise à jour cartographique des fonds de plan et des objets structurant les zones d'études pour l'actualisation des plans et une meilleure lisibilité : photos satellite récentes, codification en couleurs des risques, mise à jour des enjeux par typologie, présentation de chaque commune et mode d'emploi des plans ;
6. Mise à jour des contacts / référents PIC (Poste d'Information sur les Crues) réalisée à la suite des enquêtes de terrain par zone d'alerte (cf. **Annexe 2 à Annexe 5**).

32

Les cartes issues de ces analyses sont présentées de l'**Annexe 6 à l'Annexe 9**. Un exemple en est présenté ci-dessous :

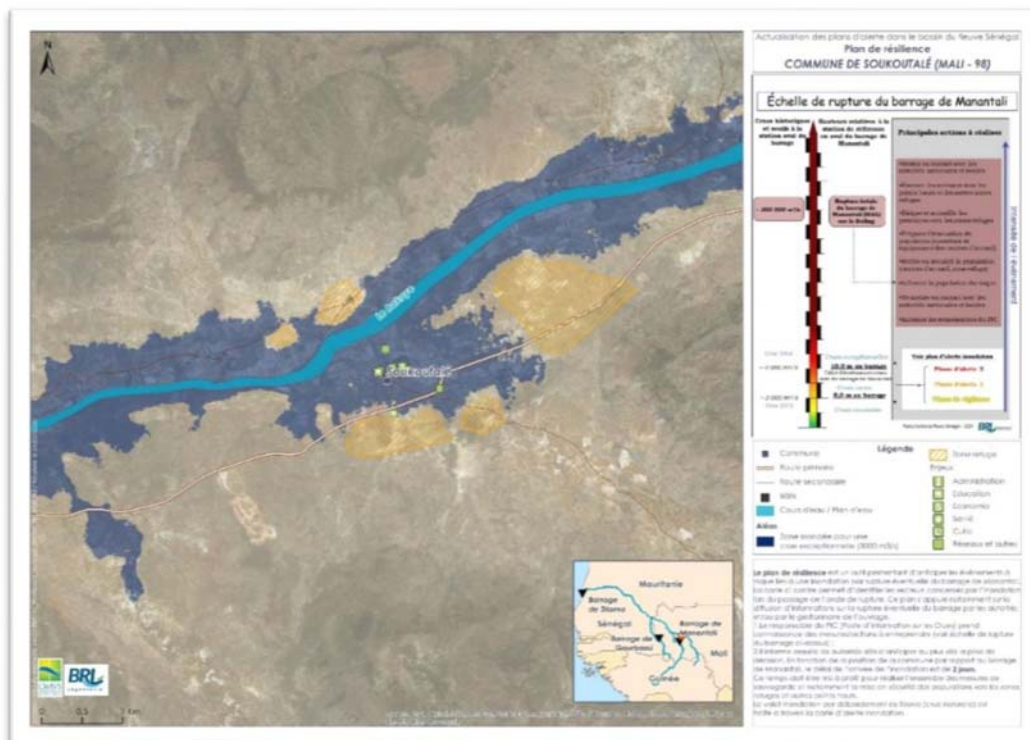


Figure 11 : Exemple du plan de résilience sur la commune de Soukoutalé (Mali)





## 3.8 PRECONISATIONS POUR LA MISE EN PLACE FUTURE D'UN SYSTEME D'ALERTE PRECOCE (SAP)

Les tâches du prestataire en charge de la mise en œuvre du futur SAP couvriront principalement les aspects suivants :

- Diagnostic institutionnel détaillé et préconisations institutionnelles et organisationnelles visant à faire vivre la chaîne complète du SAP ;
- Diagnostic détaillé des besoins (locaux, stations, informations, moyens humains et matériels, moyens de communication...) en lien étroit avec les objectifs du SAP (quel utilisateur final ? quelle information pour quel public ?... ) ;
- Définition des investissements (locaux, acquisition et installation des nouvelles stations, matériel, développement informatique de la plateforme Web) ;
- Définition du plan d'exploitation et de maintenance (stations existantes et nouvelles stations, jaugeages / tarages, encadrement / formation des observateurs, maintenance locaux, infrastructure informatique et plateforme SAP elle-même, etc) ;
- Construction et gestion de la base de données hydrologiques ;
- Mise en œuvre des outils (modélisation, prévision,...) et développement des services (gestion des risques vis-à-vis des biens et personnes, appui à la navigation ou les activités économiques liées au transport, appui à la gestion des grands ouvrages, anticipation des risques sur des sites stratégiques... ) ;
- Conception, élaboration et gestion du Système d'Alerte Précoce en tant que tel ;
- Élaboration et mise en œuvre de procédures opérationnelles standards ;
- Transfert de connaissances techniques (compagnonnage) ;
- ...

Le futur Système d'Alerte Précoce devra être pensé afin de pouvoir être déployé à terme sur l'ensemble du bassin du fleuve Sénégal :

- Au moyen d'une approche basée principalement sur le réseau hydrométrique et/ou limnimétrique pour le fleuve Sénégal et ses trois principaux affluents, le Bafing, la Falémé et le Bakoye,
- Au moyen d'une approche hydrométéorologique avec des modèles hydrologiques et de prévision pour les zones peu instrumentées.

Le futur SAP devra être basé sur des solutions Web et open-source et conçu afin de pouvoir évoluer simplement (ajouts de nouvelles stations de mesures, modifications des seuils d'alerte, des chaînes de diffusion de l'alerte...).

Le risque concerné par l'élaboration de ce SAP est ici clairement le risque inondation (naturelle ou liée à d'éventuelles ruptures d'ouvrages). Toutefois, si le Maître d'Ouvrage le souhaite, le prestataire pourrait prévoir l'architecture de son système afin que ce dernier puisse intégrer dans le cadre de futurs projets d'autres types de risques (risques sanitaires, sécheresse, sécurité alimentaire...).

**Les préconisations du futur SAP sont détaillées dans le chapitre 12.**

**Les coûts associés sont précisés au chapitre 12.8.**



# 4 PRÉSENTATION DES PRÉCÉDENTS PLANS D'ALERTE

## 4.1 HYPOTHESES DE CRUES

Les plans d'alerte réalisés en 2006 ont défini différentes hypothèses de crues.

Sur la Haute Vallée de Manantali à Bakel, il a été défini 3 crues catastrophiques théoriques :

- La « **Crue Catastrophique Moyenne** » (CCM) : crue hydrologique majeure ou crue due à une « dysfonction » (défaut des équipements, erreur de manipulation des vannes, ...). Cette crue correspond à un débit de pointe de 8000 m<sup>3</sup>/s à l'aval du barrage.
- La « **Crue Catastrophique de Référence** » (CCR) : crue liée à une rupture partielle du barrage de Manantali (une digue par exemple) ce qui peut conduire à relâcher des débits plus ou moins importants. Le débit de pointe à l'aval immédiat du barrage de Manantali pourrait être de l'ordre de 100 000 m<sup>3</sup>/s.
- La « **Crue Catastrophique maximum Probable** » (CCMP) : crue due à une rupture instantanée de la totalité du barrage béton de Manantali ce qui conduit à relâcher des débits très importants. Le débit de pointe à l'aval immédiat du barrage de Manantali serait de l'ordre de 320 000 m<sup>3</sup>/s.

Sur la moyenne et la basse Vallée du Sénégal c'est-à-dire à l'aval de Bakel, il a été défini une « Crue Exceptionnelle ». Celle-ci correspond à un niveau mesuré de **11,00 m à l'échelle de Bakel**. Ce niveau correspond à un événement de type 1999 environ, soit un **débit de l'ordre de 4500 m<sup>3</sup>/s**.

34

## 4.2 MODE D'EMPLOI DES PRÉCÉDENTS PLANS D'ALERTE

### OBJECTIF DU PLAN D'ALERTE

Pour répondre à l'essentiel des préoccupations formulées par les collectivités locales, les riverains et usagers de l'eau, l'objectif des plans d'alerte était formulé comme suit :

**« Les riverains et usagers de l'eau de toute la vallée du fleuve doivent pouvoir savoir à tout moment et dans les meilleurs délais quelles sont les valeurs attendues des principales caractéristiques prévisibles de l'écoulement dans le fleuve qui les intéressent, qu'il s'agisse de modifications de régime programmées, accidentelles ou dues à des phénomènes non contrôlables. Ils doivent pouvoir interpréter ces valeurs et savoir quelles sont les mesures qui s'imposent. »**

### DESCRIPTION SUCCINCTE DE L'ORGANISATION ACTUELLE

L'organisation s'appuie sur les informations recueillies auprès de l'OMVS (à partir de 4 sites de Manantali, Bakel, Diama et Saint-Louis), de la SOGEM (Société de gestion de l'Énergie de Manantali), de la SOGED (Société de gestion et d'exploitation du barrage de Diama), des services hydrologiques nationaux, de la SAED, de la SONADER, de l'ADRS au Mali. En fonction des circonstances des bulletins d'alerte sont émis par :

- les services hydrologiques nationaux,
- la SOGEM (Manantali),
- la SOGED (Diama).

Les messages sont diffusés vers les administrations de chaque pays et vers les médias.



Ces messages doivent parvenir donc au plus vite à l'échelon terrain de l'administration territoriale. Afin d'assurer une couverture fine du lit du fleuve, il avait été procédé à un découpage en Zones d'Alerte.

► **Les Zones d'Alerte**

Une zone d'alerte est une zone à l'intérieur de laquelle les habitants de la zone pourront trouver sans devoir parcourir une distance excessive (10 à 15 km maximum) les informations qui les intéressent en un ou plusieurs points dont ils auront connaissance.

► **Les postes d'information sur les crues (PIC)**

Les points où les habitants et autres utilisateurs de l'eau pourront trouver l'information s'appellent des Postes d'Information sur les Crues (PIC). Ils sont animés par des responsables de PIC. Afin d'assurer la meilleure couverture possible, cette animation sera assurée par l'administration au travers d'un PIC-a et par la société civile grâce à un PIC-c. Les deux responsables travaillent autant que faire se peut en étroite collaboration. Le responsable du PIC-a est désigné par l'administration et le responsable de PIC-c par la Société civile locale.

Ils reçoivent les informations de base de l'OMVS, de la SOGEM et de la SOGED et doivent les interpréter à l'aide des outils définis ci-après.

### PRINCIPE DU PLAN D'ALERTE

Pour chaque zone d'alerte, il a été défini des « cotes » à partir desquelles certaines villes, villages, hameaux ou autres installations risquent de commencer à être inondés. Ces cotes ont été définies à partir de mesures de terrain ou interprétées à partir de cartes.

Par ailleurs, il a été repéré pour chaque zone d'alerte des zones de refuges sûrs où les habitants, leurs animaux (et autres objets de première nécessité) pourront se réfugier en cas de crue exceptionnelle ou catastrophique.

À partir des informations recueillies auprès de la SOGEM et la SOGED, le responsable de PIC analyse la situation et propose aux autorités locales l'évacuation ou non des populations concernées.

► **Définition de la crue exceptionnelle**

Les zones refuges (ZR) ont été déterminées sur la base d'une crue de référence appelée crue exceptionnelle (basse et moyenne vallée en aval de Bakel) ou crue catastrophique (Haute vallée en amont de Bakel). Cette crue de référence a été déterminée sur la base d'études conduites pour le compte de l'OMVS.

► **Définition des zones refuges (ZR)**

Une zone refuge est une zone hors d'eau où les riverains du fleuve peuvent se réfugier en cas de crue exceptionnelle ou catastrophique. Ces zones doivent pouvoir héberger les personnes, leur bétail et les équipements minimum pour leur survie (tentes, réservoir d'eau, nourriture...).

Les niveaux des zones refuges (ZR) sont donc au-dessus des niveaux atteints pour la crue exceptionnelle. Il a été recherché des zones à proximité des villages proches du fleuve pour éviter que les usagers de l'eau aient trop de distance à parcourir. De même il a été recherché des ZR proches si possible de ville ou village offrant peu de risque d'inondation. Ainsi ces villages pourront offrir un accueil et une base logistique minimale pour les « réfugiés ».



## LES OUTILS D'ALERTE

Les outils d'alerte se composent :

- a) D'une carte de la zone d'alerte considérée,
- b) D'un outil de prévision,
- c) D'un tableau alphabétique,
- d) D'un tableau par niveau de risque.

▶ **Carte d'alerte**

C'est une carte approximativement au 1/50 000<sup>ème</sup> ou au 1/200 000<sup>ème</sup> de la zone d'alerte. Sur cette carte sont portés les principaux repères de la zone (préfecture, mairie, poste électrique, antenne de relais téléphonique, pont, aéroport...) ainsi que les zones refuges et les zones basses à éviter.

Selon les cas de figure des flèches indiquent aux villages environnant vers quelles zones refuges les populations doivent se diriger en cas d'alerte.

Les zones refuges ont été symbolisées par un contour avec l'indication « ZR » à l'intérieur.

Les points bas à éviter qui ont été identifiés lors des enquêtes de terrain ont été signalés par un contour avec « PB » à l'intérieur. Ceci pour informer les populations qu'en aucun cas elles ne doivent s'aventurer et rester dans ces zones en cas de crue, mais les éviter à tout prix.

Un exemple de carte est présenté en page suivante.

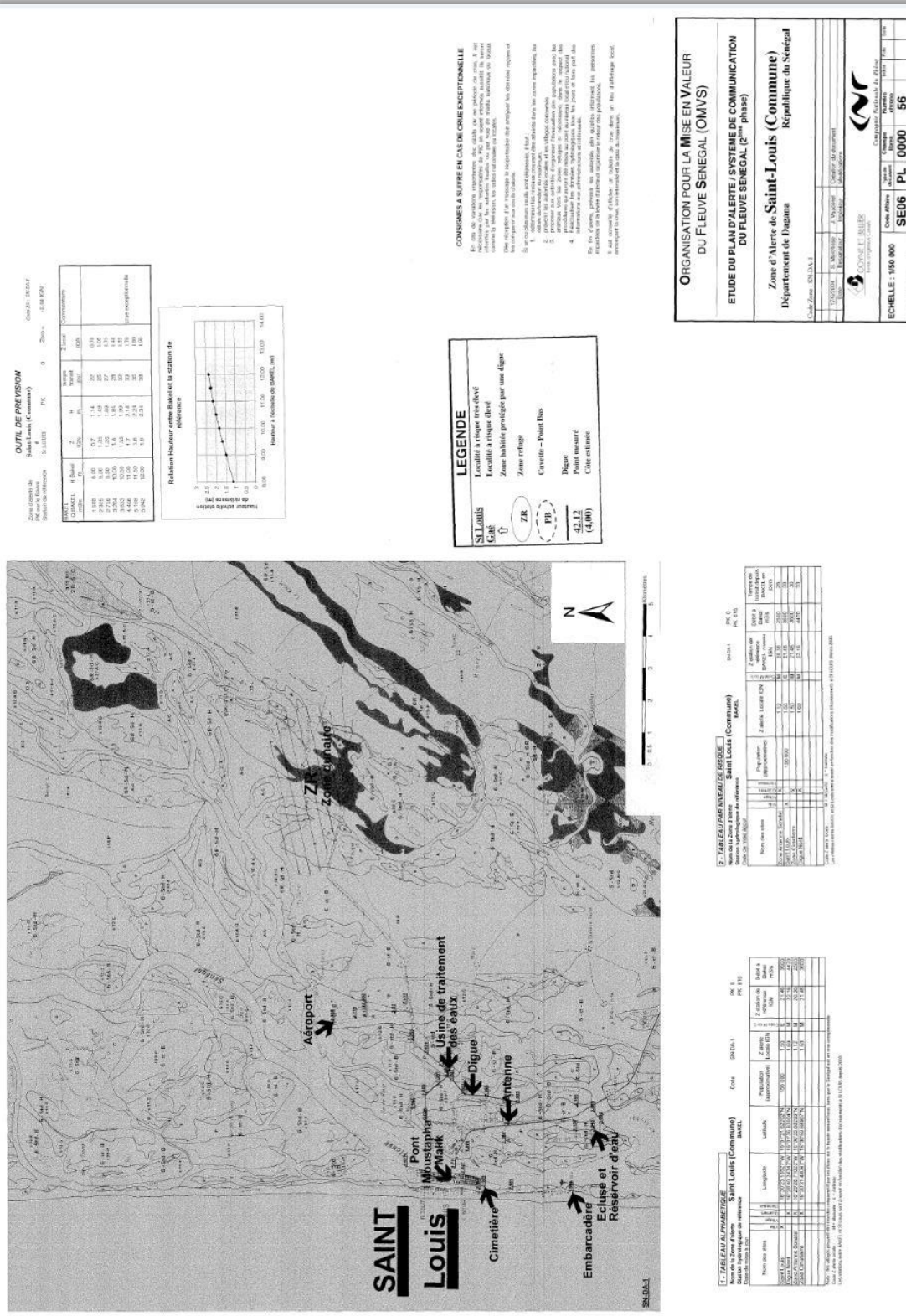


Figure 12 : Exemple d'une planche du plan d'alerte existant



### ► Outil de prévision

Cet outil est un tableau mis à la disposition des PICs. Il permet de connaître en fonction des niveaux annoncés à Bakel ou à la station de référence de la zone d'alerte, les niveaux qui pourraient être atteints dans la zone d'alerte et dans quel délai. En fonction des niveaux potentiels, le responsable de PIC peut déterminer sur la carte les zones potentiellement inondables par les eaux de crue.

### ► Tableau alphabétique

Ce tableau contient les noms des lieux classés par ordre alphabétique, avec leur coordonnées lorsqu'elles sont disponibles, leur cote d'alerte à la station de référence local, le débit de pointe à BAKEL correspondant à la cote, et leur cote d'alerte dans le système IGN local.

Ce tableau est utile pour déterminer les zones à risque.

### ► Tableau par niveau de risque

Ce tableau contient les noms des lieux classés par catégorie (peuplement) et par niveaux de risques qui sont la cote d'alerte ou le débit à la station de référence.

## INFORMATION DES POPULATIONS

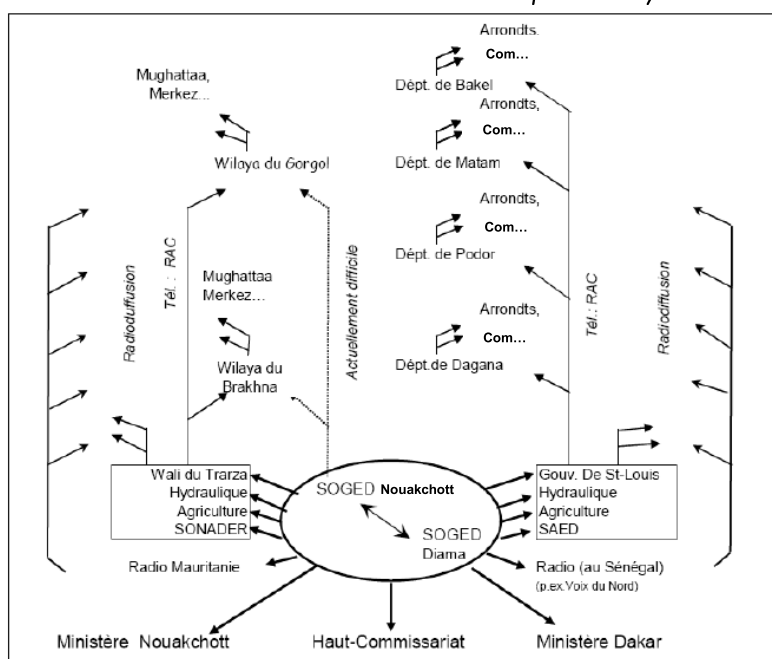
Le mode de diffusion de l'information destinée aux populations en cas de crue doit être défini en étroite concertation entre le responsable de PIC et les autorités locales. Toutefois, en principe, dès que le responsable de PIC a connaissance de la probabilité prochaine d'une inondation, il en informe immédiatement les autorités locales afin d'alerter les populations locales au plus vite.

Chaque responsable de PIC décidera en fonction de risques localement très importants s'il y a lieu de réaliser une préalarme. Cette préalarme pourrait être émise dès que les niveaux risquent d'atteindre 30 cm en dessous de la cote d'alerte. Cette dernière valeur est laissée à l'appréciation du responsable de PIC.

Il est du ressort de l'administration locale d'organiser aussi l'évacuation des populations si nécessaire vers les Zones Refuges et d'organiser l'aide de première nécessité pour les personnes déplacées. Ces procédures locales seront à établir par les autorités locales, à établir en cohérence avec les procédures existantes des services de secours locaux.

Dans la moyenne et basse vallée (de Bakel à Saint-Louis), le schéma de diffusion de l'alerte est illustré sur la figure suivante. Il tient compte d'un retour d'expérience et est donc construit sur la volonté d'alerter au plus vite et directement les populations aux niveaux régional et local.

Figure 13 : Schéma de circulation de l'annonce des crues pour la moyenne et la basse vallée





# 5 PRÉSENTATION DES BARRAGES

## 5.1 PREAMBULE

### BARRAGES EXISTANTS

Le bassin du fleuve Sénégal est aujourd'hui équipé de deux ouvrages majeurs jouant un rôle à l'échelle du bassin :

- **Le barrage de Manantali** (Bafing),
- **Le barrage de Diama** (fleuve Sénégal).

Deux autres ouvrages plus modestes sont également présents sur le domaine d'étude :

- Le barrage hydroélectrique au fil de l'eau de Félou (Bafing),
- Le barrage de Fougou (Gorgol Noir).

### BARRAGES PROJÉTÉS

On distingue dans les barrages projetés du bassin du fleuve Sénégal deux sous-catégories :

- **Les barrages de 2<sup>ème</sup> génération dont les études sont déjà avancées :**
  - Sur le Bafing d'amont en aval :
    - Barrage de Balassa,
    - Barrage de Koukoutamba,
    - Barrage de Boureya,
    - Barrage de Gouina (au fil de l'eau),
  - Sur la Falémé :
    - Barrage de Goubassi,
- **Les barrages de 3<sup>ème</sup> génération qui n'ont fait l'objet que d'études de pré-faisabilité dans les années 1970 :**
  - Sur le Bafing :
    - Barrage de Bindougou,
  - Sur la Falémé :
    - Barrage de Moussala,
  - Sur le Bakoye d'amont en aval :
    - Barrage de Boudofora,
    - Barrage de Badoumbé,
  - Sur le Baoulé (affluent du Bakoye)
    - Barrage de Maréla.



Un schéma synoptique et un plan de localisation de ces ouvrages sont présentés dans les pages suivantes.

Les caractéristiques des barrages existants et projetés de 2<sup>ème</sup> génération sont détaillées dans les chapitres suivants.

Les caractéristiques des barrages de 3<sup>ème</sup> génération ne sont disponibles que de manière partielle. Leurs principales caractéristiques sont détaillées dans les tableaux ci-dessous :

Nom de l'ouvrage	Cours d'eau	Pays	Type barrage	X - long	Y - lat	Année de mise en service	Hauteur du barrage (m)	Hydrologie			Q régulier moyen (m <sup>3</sup> /s)
								Superficie Bassin versant (km <sup>2</sup> )	Pluie (mm/an)	Evaporation (mm/an)	
Badoumbé	Bakoye	Mali	Réservoir	-9.44	13.72	en projet	75	85 800			
Maréla	Baoulé	Mali	Réservoir			en projet		63 500			
Moussala	Falémé	Mali	Réservoir			en projet	35	7 400			
Bindougou	Bafing	Mali	Réservoir	-10.46	12.32	en projet	43	16 200			200
Boudofora	Bakoye	Mali		-9.8	13.35	en projet		15 600			

Nom de l'ouvrage	Retenue						Energie				
	Cote de retenue normale (m IGN)	Cote de retenue maximale (m IGN)	Cote de déversement (m IGN)	Superficie max de la retenue (ha)	Volume total (Md m <sup>3</sup> )	Volume utile (Md m <sup>3</sup> )	Volume mort (Md m <sup>3</sup> )	Puissance installée (MW)	Productible annuel moyen (GWh)	Hauteur de chute (m)	débit turbiné max (m <sup>3</sup> /s)
Badoumbé	170	172	175	682 km <sup>2</sup>	10			70	410	41.5	285
Maréla					3			24	140	30	100
Moussala	160		165		3			30	175	30	180
Bindougou	265		270		2			49.5	289	30	300
Boudofora					?			30	175	40	100

Tableau 5 : Barrages projetés de 3<sup>ème</sup> génération sur le bassin du fleuve Sénégal (source SDAGE)

A l'issue des différents échanges avec l'OMVS, il a été acté de ne pas tenir compte des ouvrages de 3<sup>ème</sup> génération dans le cadre de la présente étude. En effet :

- les ouvrages ne sont pas suffisamment définis,
- l'horizon temporel de leur éventuelle réalisation est trop lointain.



Figure 14 : Synoptique des barrages existants et projetés

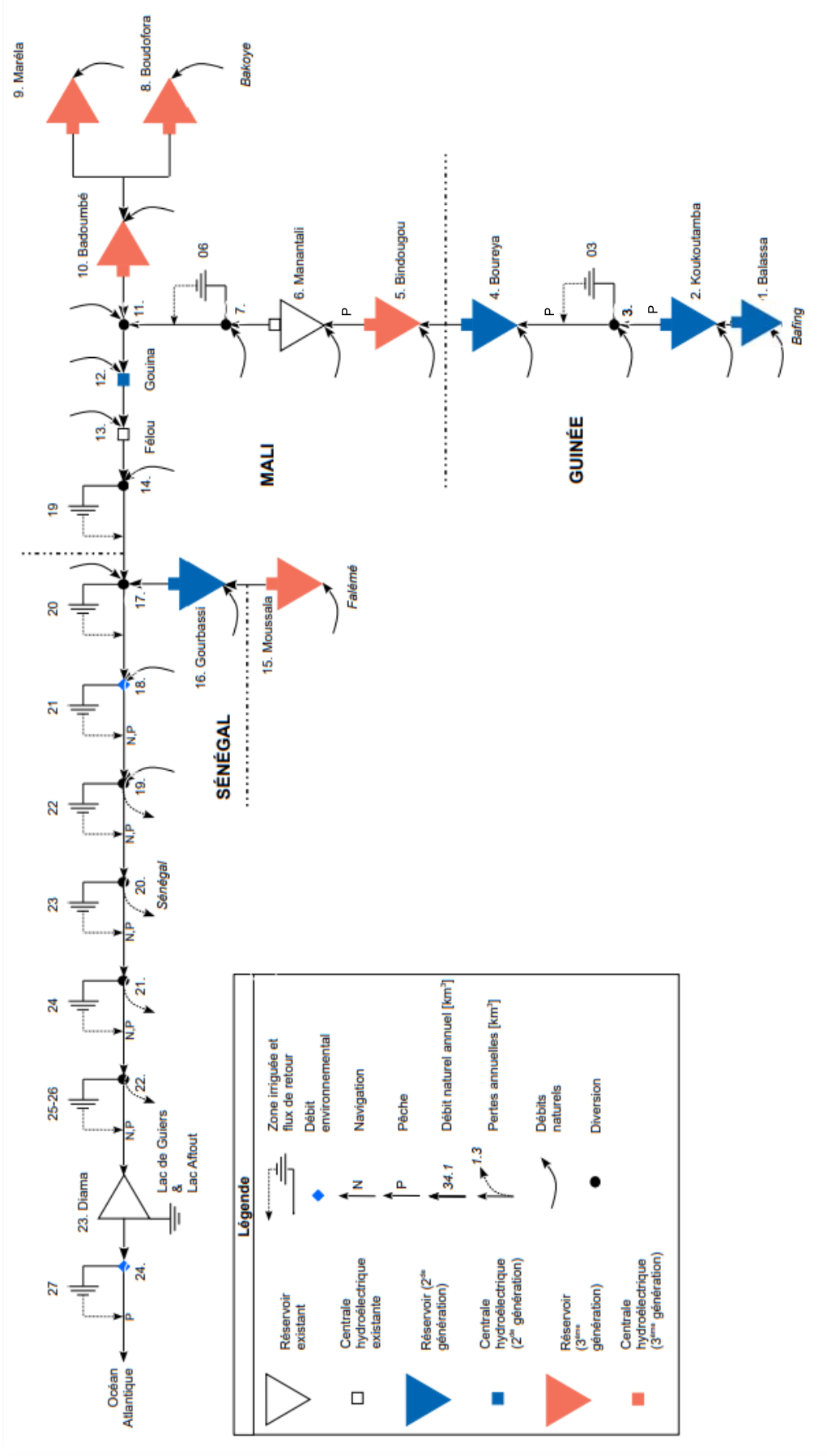
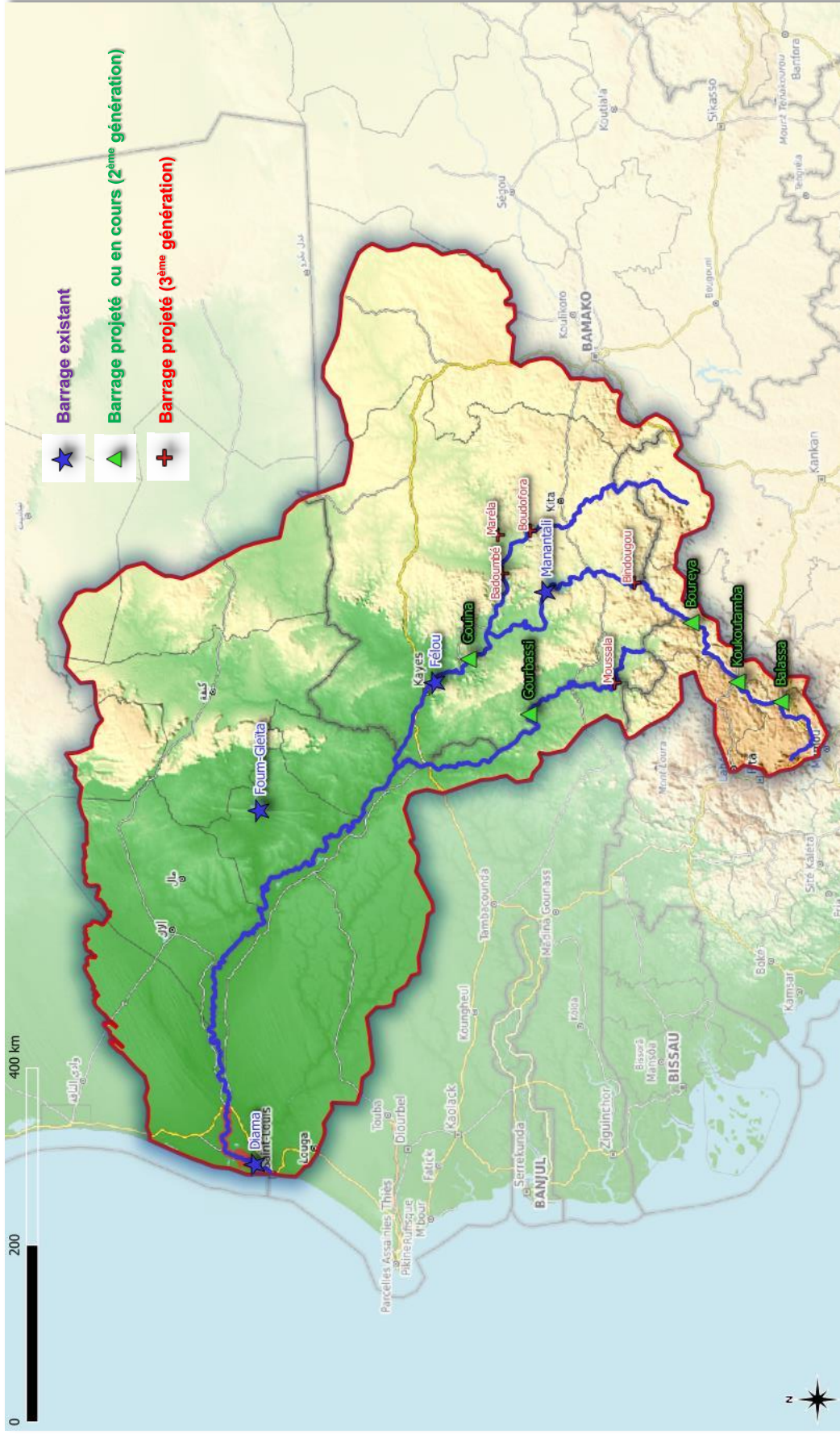




Figure 15 : Plan de situation des barrages existants et projetés





## 5.2 PRESENTATION DU BARRAGE DE MANANTALI

### 5.2.1 Présentation générale

Situé sur le Bafing à 90 km au Sud-est de Bafoulabé dans la région de Kayes au Mali, le barrage de Manantali a été créé afin d'assurer le contrôle des crues tout en permettant de disposer d'une importante réserve d'eau permettant de garantir la stabilité d'activités économiques telles que l'alimentation en eau, l'irrigation, les cultures de décrue, la production hydroélectrique et la navigation fluviale. Contrôlant de l'ordre de 50 % des apports du bassin versant amont du fleuve Sénégal, la capacité de stockage de cet ouvrage est de près de 12 milliards de m<sup>3</sup>. **Une fiche synoptique du barrage est insérée en page suivante.**

Au droit du site de l'ouvrage, le Bafing prend une direction quasi Est-Ouest tandis que l'ouvrage de près de 1,5 km de longueur est implanté suivant une direction Nord-Sud, comme illustré sur la vue ci-dessous :



Figure 16 : Vue en plan du barrage de Manantali

Le dimensionnement de l'ouvrage a été réalisé dans les années 1975 à 1978 et sa réalisation a débuté dans les années 1982 jusque dans les années 1988-89. La production hydroélectrique a débuté en 2001.

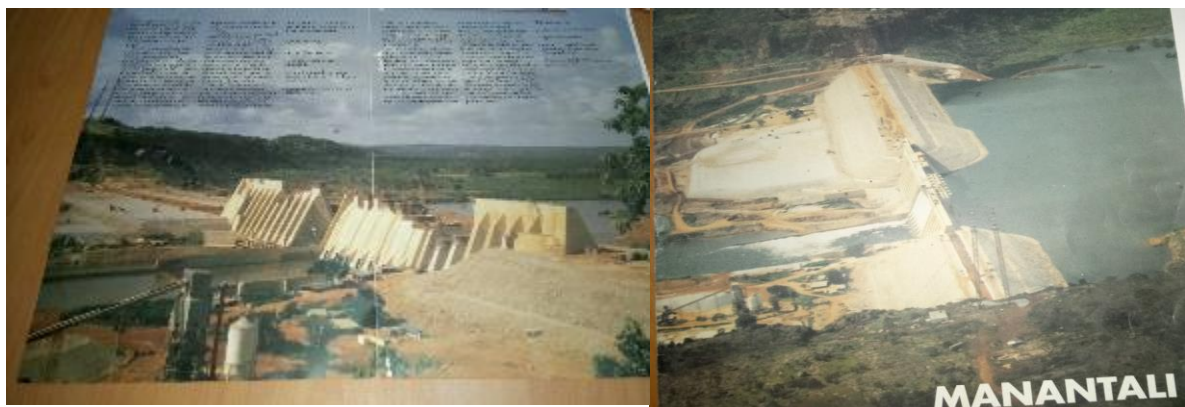


Figure 17 : Aperçus de l'ouvrage en cours de réalisation



Caractéristiques	unité	Barrage de Manantali
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
longitude		10° 25 ' 45" W
latitude		13° 11' 45" N
rivière		Bafing
pays		Mali
implantation de l'ouvrage en rivière		ouvrage rectiligne perpendiculaire à l'axe de la rivière
contexte géologique		grès cimenté plus ou moins cimentés et pélites
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	24 850
apports moyens annuels	10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup>	entre 13 et 17
débits moyens annuels	m <sup>3</sup> /s	entre 400 et 540 m <sup>3</sup> /s
débit de crue T1/10	m <sup>3</sup> /s	3 380
débit de crue T1/100	m <sup>3</sup> /s	5 100
débit de crue T1/1000	m <sup>3</sup> /s	7 000
<b>3 - Reservoir</b>		
niveau de remplissage normal	NGL	208.05
volume du réservoir au niveau nominal	Mm <sup>3</sup>	11 800
volume total utilisable du réservoir	Mm <sup>3</sup>	8 000
superficie du réservoir au niveau nominal	km <sup>2</sup>	460
cote des plus hautes eaux (PHE)	m	210.5
volume du réservoir au PHE	Mm <sup>3</sup>	12 950
superficie du réservoir au PHE	km <sup>2</sup>	478
évaporation moyenne annuelle	mm	1 350
Fecht sous RN	km	env. 20
<b>4 - Barrage proprement dit</b>		
type de barrage		barrage béton à contreforts en partie centrale barrage en enrochements en parties latérales
niveau du couronnement	NG	212.00
longueur en crête	ml	1 495
- dont barrage en enrochements RG		355
- barrage en béton partie centrale		471
- barrage en enrochements RD		668
largeur en crête	m	9.90
niveau de la fondation	NG	152.00
hauteur totale au-dessus des fondations	m	60.00
revanche au-dessus du niveau normal	m/m	3.95
revanche au-dessus des PHE	m	1.50
Plus forte crue de chantier estimée ou observée	m <sup>3</sup> /s	3800 à 4500 m <sup>3</sup> /s
<b>5 - Ouvrages hydrauliques associés</b>		
<b>5.1 - Déversoirs et pertuis de demi-fond</b>		
pertuis de surface vanné	nb	8
pertuis de demi-fond	nb	7
débit minimal évacué par déversoir pour un niveau amont à 210.50	m <sup>3</sup> /s	1 330
débit maximal évacué par les déversoirs et vidanges de fond pour un niveau amont à 210.50	m <sup>3</sup> /s	6 895
largeur déversante de l'ensemble des ouvrages évacuateurs	ml	env. 100m
<b>5.2 - Groupes de turbinage</b>		
prises d'eau usinières	nb	5
nombre de groupe de turbines		5
débit maximal turbiné par groupe		98 m <sup>3</sup> /s
puissance minimale (décrochement) développée par groupe (MW)		9
puissance maximale développée par groupe (MW)		41
puissance totale installée (MW)		200
rendement des turbines		entre 60% et 95% suivant charge et débit

Tableau 6 : Fiche synoptique du barrage de Manantali



## 5.2.2 Conception générale de l'ouvrage

L'ouvrage d'une hauteur de 65 m au-dessus de ses fondations barre le lit du Bafing sur près de 1500 m de longueur. Il est constitué d'un barrage central en béton de type « à contreforts » et se prolonge de part et d'autre par une digue en enrochements, comme illustré ci-après :

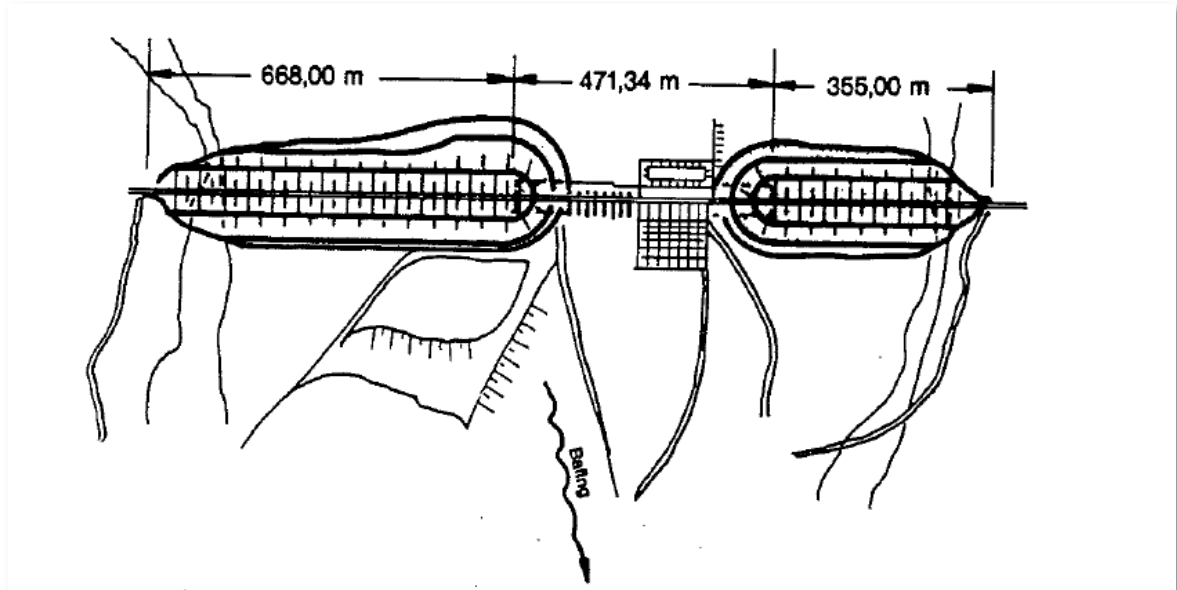


Figure 18 : Plan schématique du barrage de Manantali

La série de photos qui suit donne une bonne idée de l'insertion de l'ouvrage dans le site, ainsi que de l'ouvrage proprement dit dans ses différentes composantes.

45



Figure 19 : Vue d'ensemble de l'ouvrage vu d'aval



Vue aval de la partie centrale du barrage, de type barrage poids béton à contreforts, avec l'usine hydroélectrique au premier plan



Vue rapprochée de la partie aval d'un des épaulements de type barrage zoné en enrochements



Vue détaillée du barrage en enrochements coté amont



Vue rapprochée de la crête de l'ouvrage

Figure 20 : Photos du barrage de Manantali

46

### ► Contexte géologique du site

Le contexte géologique du site est illustré par la coupe type ci-dessous :

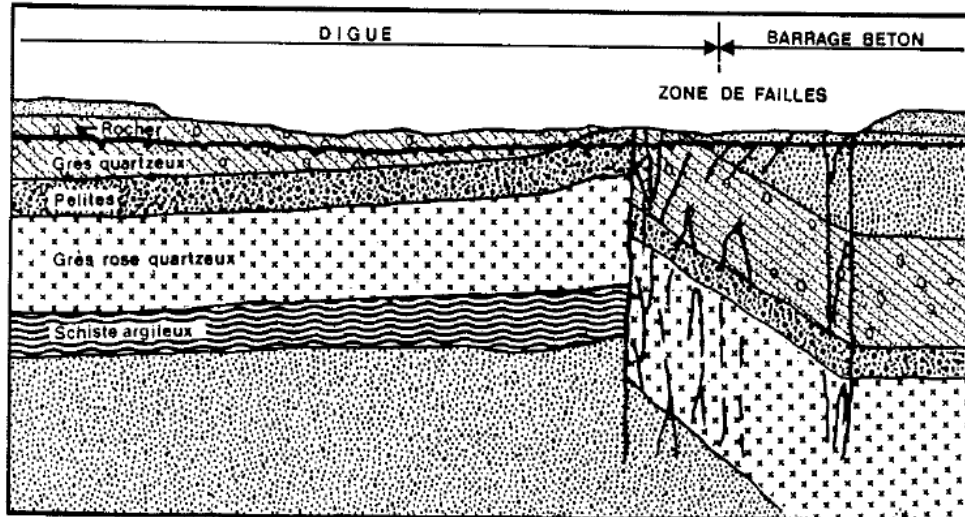


Figure 21 : Contexte géologique du barrage de Manantali



► **Courbe hauteur – surface et hauteur volume du réservoir**

La courbe hauteur-surface-volume de la retenue du barrage de Manantali est présentée ci-dessous :

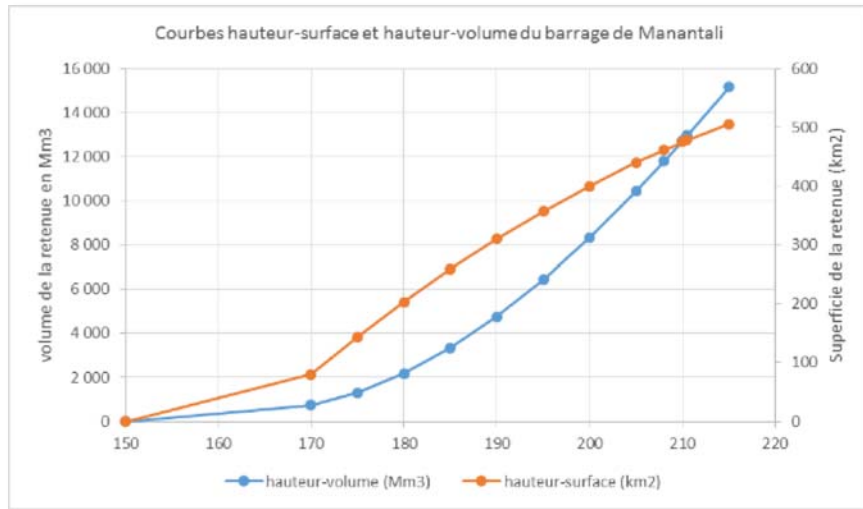


Figure 22 : Courbe HSV de la retenue de Manantali

### 5.2.3 Le barrage proprement dit

Le barrage proprement dit combine deux types d'ouvrages bien distincts :

- **La partie centrale de l'ouvrage est un barrage en béton constitué de plusieurs plots :** plots déversants contiguës à l'usine (à savoir 7 déversoirs vannés de surface séparés les uns des autres par des piles-guideaux), et plots non déversants en rive gauche dont on aperçoit nettement les contreforts en béton sur la photo ci-dessous ;
- **Au-delà, les parties adjacentes de rives gauche et droite sont constituées d'un barrage de même hauteur que le barrage béton mais de type barrage zoné en enrochements,** dont on distingue sur la photo ci-dessous la structure enrochée du talus aval.

47

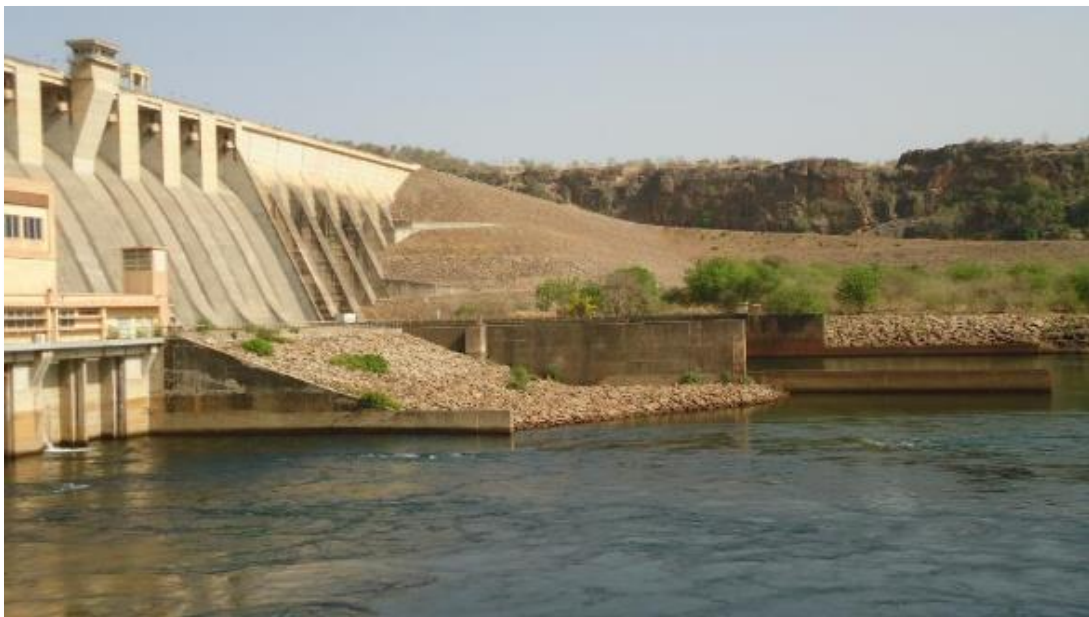
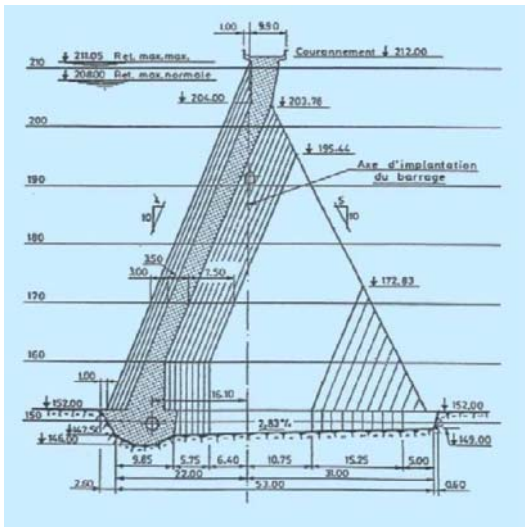
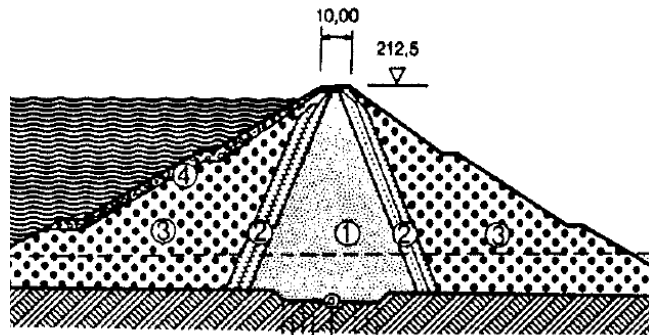


Figure 23 : Vue générale du barrage vers la rive gauche aval



Profil-type d'un plot béton (non déversant)



Profil-type d'un épaulement de type barrage zoné en enrochements

1-noyau d'argile 2-filtres 3- recharges en enrochements 4- rip-rap amont

Figure 24 : Profils type du barrage

## 5.2.4 Les ouvrages hydrauliques associés

Les ouvrages hydrauliques associés sont de plusieurs types. On distinguera les organes évacuateurs de crue des autres ouvrages de prise pour la restitution des débits d'exploitation (usine hydroélectrique, irrigation,...).

48

Les organes d'évacuation des crues sont les suivants :

- ▶ **Huit déversoirs de surface de type « spillway » ou « saut de ski » équipés en tête de 8 vannes segment** de 9 m de largeur par 6,5 m de hauteur d'une capacité de 2800 m<sup>3</sup>/s (au niveau de la crue de projet) ; en outre, chaque passe de l'évacuateur peut être batardée pour maintenance ;
- ▶ **Sept conduites de vidange de demi-fond équipés de vannes segment de service** (L=3,8 m ; H=4,8 m) et de vannes wagon de garde (L=5,3 m H=7,2 m) d'une capacité de 3500 m<sup>3</sup>/s (au niveau de la crue de projet).

Les organes de prises d'eau et restitution sont les suivants :

- ▶ Cinq prises d'eau équipées de vannes wagon (de 4,5 m par 4,8 m) pour l'alimentation de l'usine hydroélectrique ;
- ▶ Deux prises d'eau pouvant fournir 5 m<sup>3</sup>/s pour l'irrigation locale par un système gravitaire.

Les photos insérées en page suivante présentent ces ouvrages.





Détail des ouvrages déversoirs vannés en crête de barrage (nb 7)



Détail des pertuis de demi-fond en sortie aval (nb 7)

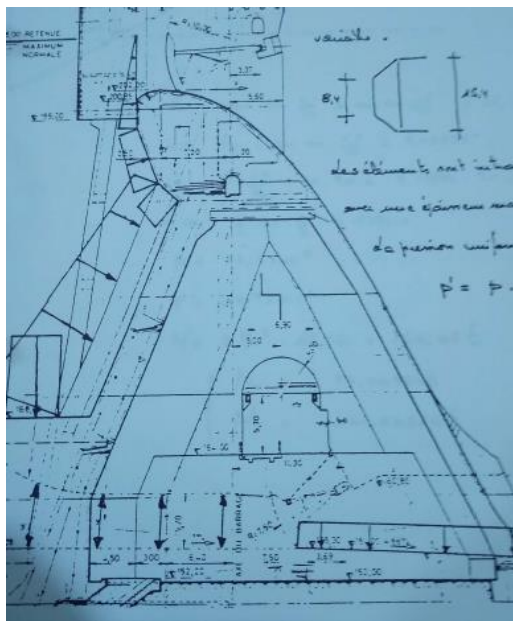


Schéma de principe d'un plot déversant vanné

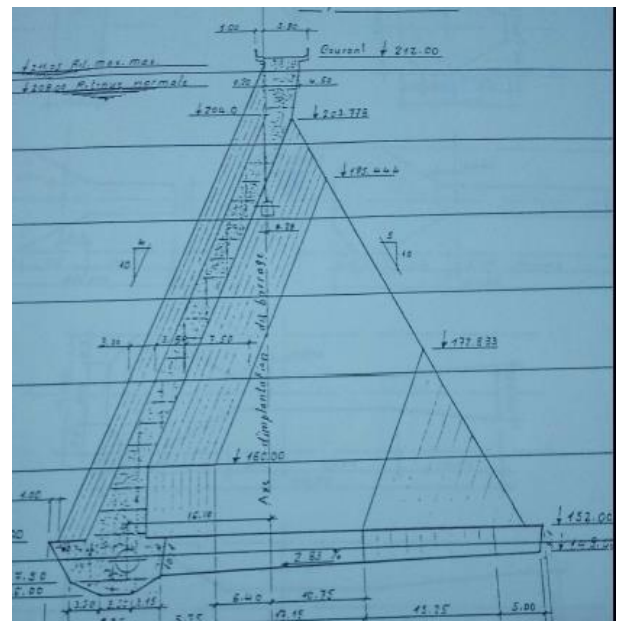


Schéma de principe d'un plot non déversant



Détail du pont roulant permettant la manipulation des différents batardeaux



Détail du chenal de fuite à l'aval des ouvrages évacuateurs de crues

Figure 25 : Ouvrages hydrauliques associés - Barrage de Manantali



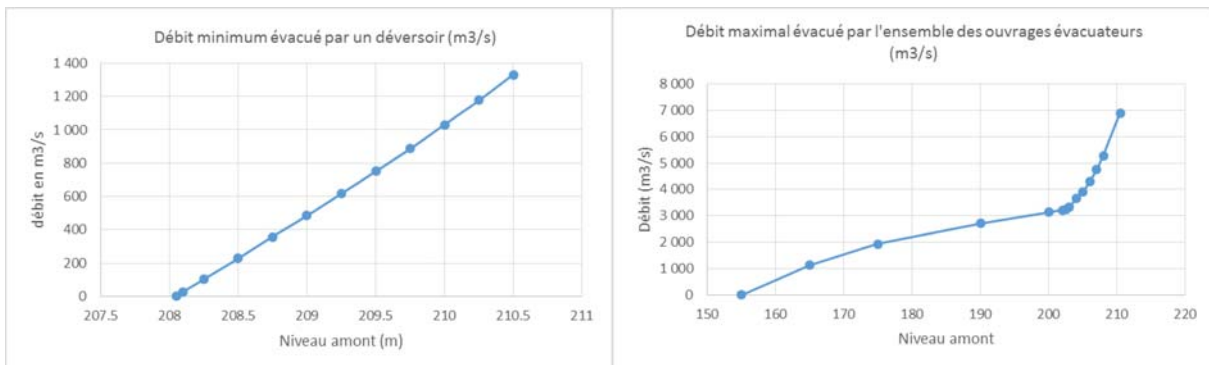
► **Critères de dimensionnement et capacité d'évacuation des ouvrages évacuateurs de crue**

Les ouvrages évacuateurs de crue ont été dimensionnés pour pouvoir évacuer un débit de pointe de 7000 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à une crue de fréquence millénaire (au moment du dimensionnement de l'ouvrage) en tenant compte de la possibilité d'obstruction d'un des 7 pertuis.

Ainsi, la capacité réelle d'évacuation de ces ouvrages a été portée à 9000 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à une période de retour de 10 000 ans.

► **Débitance des organes évacuateur de crues**

D'après les données disponibles, la débitance des organes évacuateurs de crue est donnée par les 2 graphes ci-dessous :



Débit minimum évacué par un déversoir

Débit maximal évacué par l'ensemble des ouvrages évacuateurs de crue

Figure 26 : Lois de débitance des évacuateurs de crue - Barrage de Manantali

## 5.2.5 L'usine hydroélectrique

Sur le barrage, cinq turbines de type Kaplan de 40 MW unitaires sont installées, soit une puissance totale installée de 200 MW.

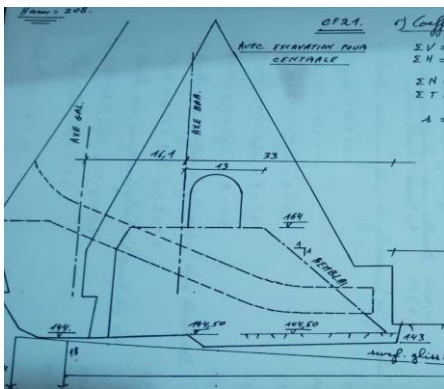


Schéma de principe d'une conduite d'alimentation de l'usine



Prises usinières en cours de montage (sur chantier)



Figure 27 : Vue de l'usine hydroélectrique implantée au pied aval rive droite du barrage de Manantali

La production moyenne annuelle d'électricité de l'usine se situe dans la fourchette [800 ; 900] GWh.

## 5.2.6 Synthèse des vocations et du mode de gestion du barrage de Manantali

Listées par ordre de priorité décroissante, les usages du barrage de Manantali sont hiérarchisés comme suit :

51

- ▶ **L'écroulement des crues** (protection des personnes et des biens), le but étant de ne pas dépasser le débit de 4500 m<sup>3</sup>/s à la station de Bakel ;
- ▶ **Le soutien d'étiage** : il doit permettre de garantir la satisfaction des usages situés à l'aval du barrage (irrigation, eau potable, navigation) augmenté des pertes (évaporation, infiltration). Pour atteindre cet objectif, la gestion pratiquée depuis le milieu des années 2000 (formalisée lors de la Commission Permanente des Eaux de 2006) a visé à garantir dans le Sénégal à Bakel un débit de : 150 m<sup>3</sup>/s de janvier à juillet, 180 m<sup>3</sup>/s en août, 120 m<sup>3</sup>/s de septembre à novembre, 100 m<sup>3</sup>/s en décembre. Il faut noter que, pour optimiser la navigation, un débit minimum garanti compris entre 200 et 300 m<sup>3</sup>/s serait nécessaire à Bakel, mais cet objectif ne peut pas être garanti toute l'année dans l'état actuel d'aménagement du bassin (volume de stockage insuffisant). Ce soutien d'étiage permet également de garantir un débit minimal pour les écosystèmes du fleuve ;
- ▶ **La production électrique**, pour environ 800 à 900 GWh par an ;
- ▶ **Le soutien de crue** : L'hydrogramme permettant d'alimenter 50 000 ha de cultures de décrue est généralement retenu comme objectif raisonnable. La Charte du Fleuve Sénégal (2002) signée par les 4 Etats membres de l'OMVS prévoit que cet hydrogramme soit garanti chaque année, mais en pratique, depuis le début de l'exploitation des turbines hydroélectriques (2002), cela n'a pas été le cas. Ce soutien a également comme but de maintenir un certain équilibre écologique (remplissage de mares, maintien des zones humides et du lit majeur...).

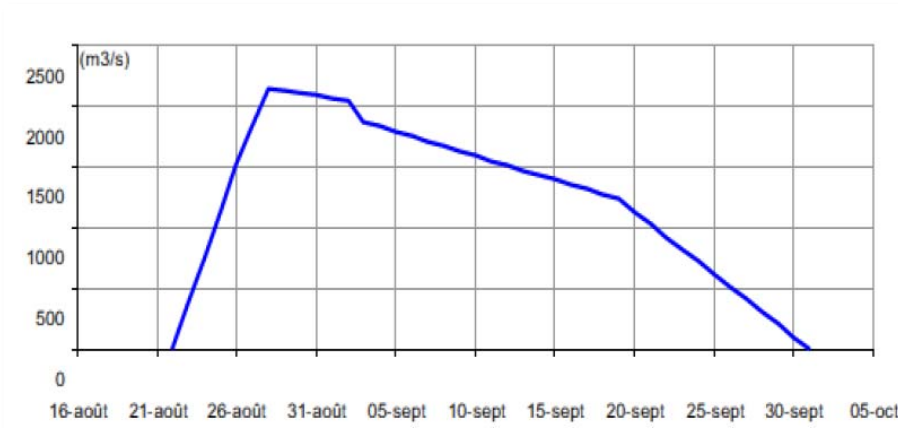


Figure 28 : Hydrogramme minimal de crue nécessaire à Bakel pour permettre d'irriguer en moyenne 50 000 hectares de cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal (Source : POGR, 2002)

Le débit à lâcher du barrage doit être déterminé à partir des éléments suivants :

- ▶ **Contraintes de gestion imposées par les caractéristiques physiques de l'ouvrage ;**
- ▶ **Consignes de sécurité visant à protéger l'ouvrage ;**
- ▶ **Consignes de gestion concernant la régularisation des débits et la production d'énergie.**

Tous ces éléments sont intégrés au logiciel SIMULSEN (au travers notamment de tous les projets P.O.G.R.).

## CONTRAINTES DE GESTION

Les caractéristiques physiques de l'ouvrage permettent de déterminer le débit lâché du barrage lorsque ses organes d'évacuation sont ouverts au maximum. Ceci constitue pour le débit total lâché, une limite maximale croissante en fonction de la cote du plan d'eau amont.

Quand la retenue dépasse la cote 208,05 m, ces mêmes caractéristiques imposent un certain déversement sous les vannes de surface destiné à éviter la submersion de ces dernières. Ceci constitue pour le débit total lâché, une limite minimale croissante en fonction de la cote du plan d'eau amont.

## CONSIGNES DE SECURITE

### A1 : Précaution contre la submersion des digues du barrage

Limite minimale imposée au débit total lâché, pour éviter que le niveau du lac ne dépasse la cote maximale de sécurité (210,50 m) dans les jours à venir, tout en limitant au mieux le débit maximal lâché durant cette période.

### B1 : Submersion permanente de la partie basse du parement amont de l'ouvrage

Afin d'éviter l'endommagement par la houle du parement amont du barrage, cette consigne vise à maintenir le lac au-dessus de la cote 187 m durant les jours à venir, tout en évitant des restrictions trop sévères sur les lâchures.

### A2 : Production d'énergie électrique

Dans un but de rentabilité, il est souhaitable qu'une énergie donnée soit produite en turbinant le moins d'eau possible.

### A3 : Lâcher de débit sanitaire réservé

**A4 : Soutien de crue**

Il s'agit de lâcher du barrage un débit suffisant pour produire à Bakel dans les jours suivants, un débit supérieur ou égal à un hydrogramme objectif de crue  $Q_c(t)$  prédéfini. La décision de soutien de crue est prise une fois par an à une date prédéfinie  $T_c$ .

**A5 : Soutien immédiat des basses eaux**

Il s'agit de lâcher du barrage un débit suffisant pour produire à Bakel dans les jours suivants, un débit supérieur ou égal à un hydrogramme objectif d'étiage  $Q_{et}(t)$  prédéfini.

**A6 : Conservation d'une revanche suffisante pour le laminage futur des crues**

Il s'agit de lâcher un volume suffisant du barrage pour conserver une revanche (volume libre dans la retenue) permettant de laminar les crues futures au palier de débit souhaité avec un taux de réussite probable prédéfini. Cette revanche nécessaire, qui correspond à une cote limite maximale du niveau dans le lac, est variable dans l'année.

**B2 : Laminage immédiat des crues**

Deux types de laminage des crues envisagés :

- ▶ Le laminage immédiat des crues à la sortie du barrage consiste à lâcher un débit total  $Q_t$  inférieur ou égal à un certain débit limite  $Q_{l1}$  prédéfini.
- ▶ Le laminage des crues au niveau de Bakel consiste à lâcher un débit  $Q_t$  suffisamment faible pour que le débit des jours suivants à Bakel ne dépasse pas une limite  $Q_{l2}$  prédéfinie (aujourd'hui fixée à 4500 m<sup>3</sup>/s). Dans ce cas, le débit maximal à lâcher est calculé en fonction des débits observés sur le Bakoye et la Falémé, et sur le Sénégal à Kayes et Bakel.

**B3 : Conservation d'un stock d'eau suffisant pour le soutien d'étiage futur**

Il s'agit de limiter le débit total lâché du barrage afin de conserver le stock nécessaire pour pouvoir satisfaire le soutien d'étiage futur avec un taux de réussite probable prédéfini.



## 5.3 PRESENTATION DU BARRAGE DE DIAMA

### 5.3.1 Présentation générale

Situé à 10 km à vol d'oiseau de la cote océanique et à 30 km à l'amont de la ville de Saint-Louis, le barrage de Diama est un ouvrage spécifique dont la fonction majeure est de permettre et de maintenir un rehaussement du niveau du bief amont (de l'ordre de 1,0 m à 1,5 m) pendant toute la période sèche, permettant ainsi d'arrêter la remontée de la langue salée qui se propageait en période sèche à plus de 200 km en amont de l'embouchure et qui empêchait ainsi le développement des cultures de contre saison.

Une fiche synoptique du barrage ainsi que des plans sont insérés dans les pages suivantes.



Figure 29 : Plan de localisation - barrage de Diama

Après sa réalisation en 1985, cette contrainte majeure a disparu.



Figure 30 : Vue en plan - barrage de Diama



Caractéristiques	unité	Barrage de DIAMA
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
longitude		16° 24' 53.37" W
latitude		16° 13' 0.64" N
rivière		Sénégal
pays		Sénégal
implantation de l'ouvrage en rivière		ouvrage rectiligne perpendiculaire à l'axe du fleuve
contexte géologique		
<b>2 - Barrage proprement dit</b>		
type de barrage		Seuil en béton armé équipé de vannes segment prolongé d'une digue de fermeture en rive droite
niveau du couronnement hors superstructure	NG	4.80
Niveaux amont caractéristiques		
Niveaux des plus hautes eaux (PHE)		3.22
Niveau retenue normale (saison sèche)		2.50
Niveaux aval caractéristiques		
Niveau aval haut (PHE aval)		2.40
Niveau aval bas (PBE aval)		-0.50
Niveau bas des fondations		-17.00
longueur hydraulique nette	ml	140
longueur hydraulique totale	m	167

Tableau 7 : Fiche synoptique du barrage de Diama

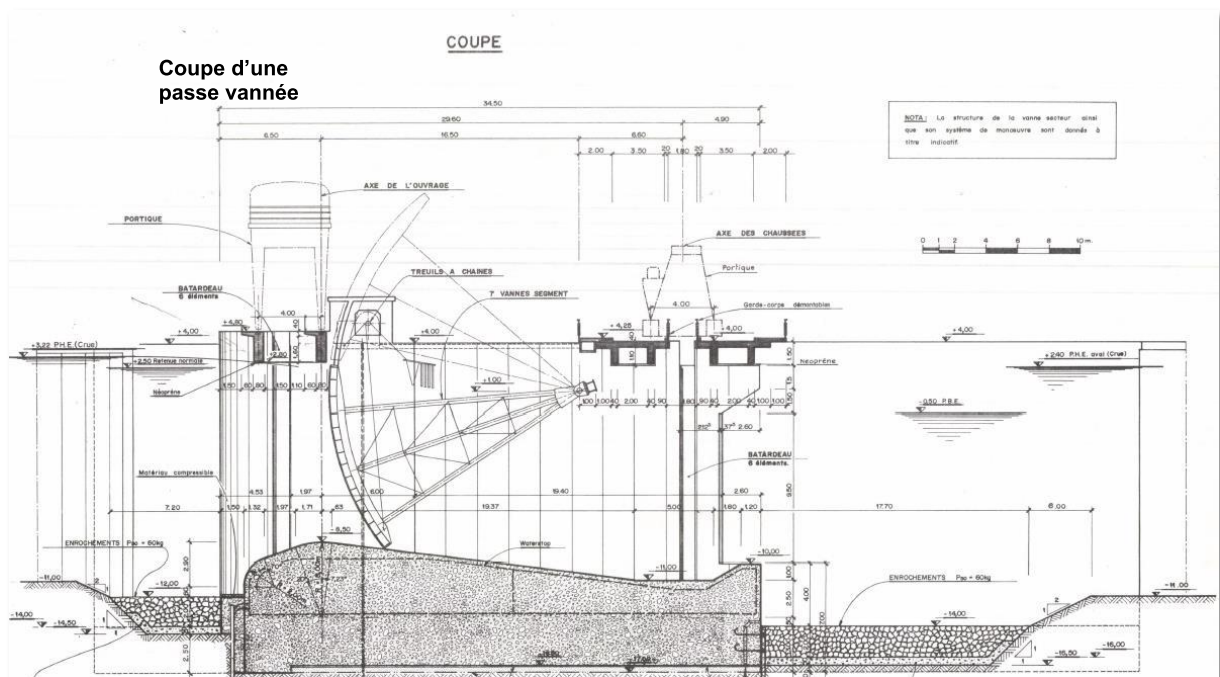


Figure 31 : Extraits de plans du barrage de Diama (coupe passe vannée)

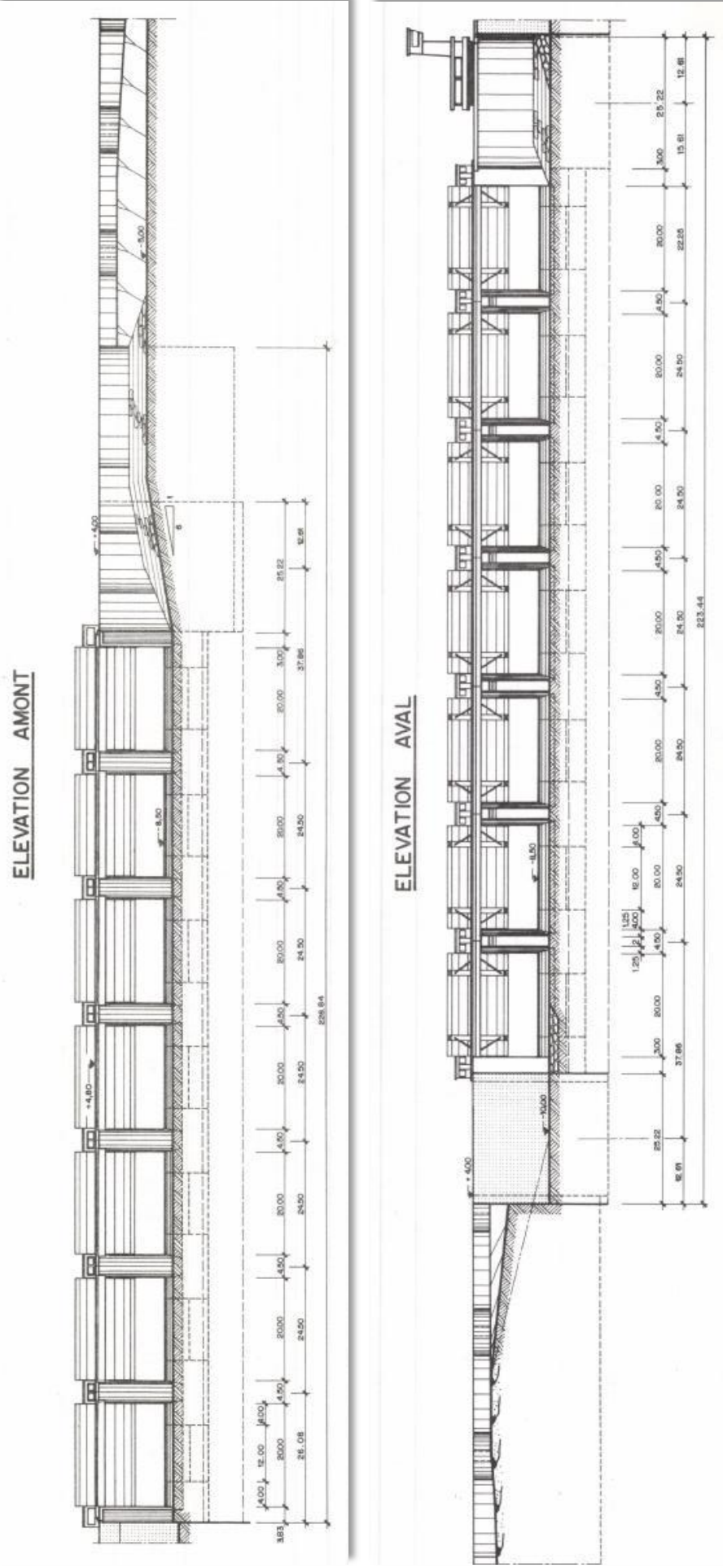


Figure 32 : Extraits de plans du barrage de Diama (élevations amont et aval)





En outre, ce barrage a permis de créer une réserve d'eau à l'amont d'environ 250 millions de m<sup>3</sup>. Pour les barrages au fil de l'eau comme Diama, l'estimation des volumes retenus est toujours sujette à caution car les volumes naturels (qui seraient présents sans le barrage) représentent une part importante du volume retenu. La courbe hauteur-surface-volume du complexe « barrage de Diama/endiguements latéraux » n'a pas pu être recueillie.

L'eau stockée, douce en permanence, permet l'irrigation des périmètres en rives gauche et droite et l'alimentation humaine et animale. A la cote de 2,5 m IGN, la surface potentielle irrigable à l'amont de la retenue est de 120 000 ha. Par ailleurs, le barrage a aussi permis de maîtriser le remplissage de grandes dépressions du delta et de la basse vallée situées en amont (lac de Guiers au Sénégal, lac de R'Kiz et dépression d'Aftout Es Saheli en Mauritanie). Ces zones humides jouent un rôle essentiel pour l'alimentation en eau potable, la pêche, l'élevage et la faune sauvage.

### 5.3.2 Bref historique de sa réalisation

Les études de faisabilité du barrage de Diama, financées par le PNUD, ont démarré en 1971.

Les études détaillées financées par le Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française (FAC/ France) ont démarré en 1976. Ces études incluaient notamment la mise en œuvre d'un modèle physique réduit.

L'Appel d'Offre pour la réalisation des travaux a été lancé en novembre 1978.

L'Ordre de Service de démarrage des travaux a été notifié en Septembre 1982.

La mise en service de l'ouvrage est intervenue en 1985.

Les travaux ont été réceptionnés en aout 1986, pour un coût total de l'ordre de 36 milliards de Francs CFA (conditions 1986).

### 5.3.3 La structure de l'ouvrage et ses aménagements connexes

On trouve successivement, de la rive gauche vers la rive droite du fleuve :

- ▶ Une écluse de 13 m de largeur utile et 175 m de longueur de sas et son bajoyer de rive gauche formant quai d'embarquement ;
- ▶ Un long musoir isolant la trajectoire des bateaux des courants éventuellement traversiers s'engouffrant dans le barrage évacuateur ;
- ▶ Le barrage évacuateur proprement dit constitué de 7 passes mobiles équipées chacune d'une vanne segment de 20 m de large par 11,50 m de hauteur ; chaque passe du barrage est également batardable à l'amont et à l'aval grâce à des portiques mobiles à demeure prévus à cet effet ;
- ▶ Un musoir assurant la transition entre le barrage évacuateur et la digue de fermeture de rive droite ;
- ▶ Une digue de fermeture en rive droite de 440 m de longueur.

Il est à noter que l'ensemble de ces ouvrages est franchi par une route importante qui assure la continuité de circulation entre les 2 rives du fleuve, le Sénégal et la Mauritanie.

Au niveau de l'écluse, cette continuité est assurée par un pont levant.

L'ensemble constitue un ouvrage longiligne se confondant avec l'horizon sur près de 700 m de longueur. Seuls émergent de cet ensemble longiligne horizontal et bas, le bâtiment d'exploitation et surtout la tour de contrôle gérant et surveillant la circulation alentours.



58

Figure 33 : Vue d'ensemble du barrage de Diama prise dans l'axe de la route qui franchit l'ensemble des ouvrages



Figure 34 : Autre vue d'ensemble de l'ouvrage depuis la rive droite aval. Seuls émergent de l'horizon la tour de contrôle et le portique de manœuvre des batardeaux



### 5.3.4 Le barrage évacuateur et ses équipements connexes

Le barrage évacuateur se présente sous la forme d'une série de sept passes identiques, chacune des 7 passes étant constituée :

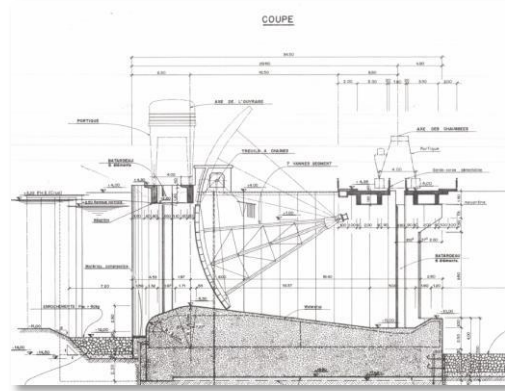
- ▶ D'un radier immergé en permanence ;
- ▶ De piles parallélépipédiques formant deux grandes échancrures entre lesquelles s'inscrit un local de commande abritant les organes de manœuvre des vannes ;
- ▶ D'une vanne segment de 20 m de largeur par 11,50 m de hauteur, le plus souvent peu visible car en grande partie immergée ;
- ▶ D'une structure en béton armé amont supportant le chemin de roulement du portique de manœuvre amont permettant la mise en place des batardeaux ;
- ▶ Enfin, la partie aval des piles supporte le tablier du pont routier dont le nombre d'appuis est égal au nombre de passes du barrage (plus un), le tablier du pont routier supportant également le chemin de roulement du portique de manœuvre aval.



Figure 35 : Vue générale du barrage mobile prise dans l'axe de son chemin de roulement amont. À l'horizon : la Mauritanie



Vue partielle du tablier d'une vanne segment en position partiellement relevée



Coupe type d'une passe avec sa vanne segment et ses superstructures associées



Vue détaillée du portique de manœuvre d'un élément de batardeau amont en cours de mise en place



Détail d'un organe de manœuvre d'une vanne (motoréducteur et son moteur d'entraînement)

60

Figure 36 : Détails des organes hydromécaniques du barrage de Diama

### 5.3.5 Son écluse de 13 m par 175 m

L'écluse qui équipe le barrage de Diama est une écluse de type à grand gabarit qui permet de recevoir des navires de 1500 tonnes, voire plus. Cette écluse a été équipée de tous les organes et équipements modernes telles que :

- ▶ Portes busquées amont et aval commandées par vérins hydrauliques ;
- ▶ Aqueducs amont et aval équipées de vannes de 1 m par 2 m permettant l'alimentation et la vidange rapide du sas ;
- ▶ Un garage aval équipé de 10 passerelles d'accostage ;
- ▶ Des éléments de batardeaux amont et aval manœuvrables par portique ;
- ▶ Des éléments de batardeaux des aqueducs.



Figure 37 : Vue détaillée de la porte busquée amont (photo prise vers l'amont)



Figure 38 : Vue générale du sas de l'écluse du barrage de Diama en direction de l'aval



Figure 39 : La porte busquée amont et le pont levant franchissant l'écluse, en position baissée en levée



Figure 40 : Le chenal d'approche de l'écluse coté fluvial avec le mur guideau soutenant le musoir à gauche et la lisse de guidage des bateaux à droite

62

### 5.3.6 Ses équipements et infrastructures connexes

On notera le pont à péage et l'ensemble des postes et bâtiment de commande, surveillance et exploitation.



Le pont à péage

Ensemble des postes et bâtiment de commande, surveillance et exploitation

Figure 41 : Équipements et infrastructures connexes



### 5.3.7 Ses endiguements latéraux

De par sa fonction et sa raison d'être, le barrage de Diama est indissociable des endiguements qui lui sont associés et qui ont été créés le long des berges amont du fleuve de Diama à Rosso en rive gauche et droite. Ces endiguements sont cartographiés schématiquement sur la carte ci-dessous :



Figure 42 : Les endiguements de Diama à Rosso

Ces endiguements latéraux assurent trois fonctions principales : la fermeture de la retenue, la protection des populations contre les crues et le contrôle de l'alimentation gravitaire des périmètres irrigués et des cuvettes situés dans le delta du fleuve le long du bief Diama – Rosso.

Les travaux de construction de l'endiguement rive droite Diama – Rosso ont été réalisés en deux tranches de 1989 à 1995. Ancienne digue existante, l'endiguement rive gauche a été réhabilité en deux tranches de travaux de 1993 à 1995.

Le niveau de protection de ces endiguements correspond à la ligne d'eau de référence équivalente au remous de la crue centennale à Diama augmenté d'une revanche de 0,5 m.

En rive droite, coté mauritanien, l'endiguement s'étend de Diama à Rosso sur 77 km environ et comprend 9 ouvrages de réalimentation gravitaire de marigots et de zones d'épandage des crues du fleuve Sénégal (Gouère, Ibrahima, Dalagona, Dioup, Aftout-Es-Saheli, Cheyal, Lemer, Bell I et Bell II). Ces ouvrages sont équipés de vannes.

En rive gauche, un endiguement règne sur 79 km environ dans lequel s'incorporent 10 ouvrages de réalimentation gravitaire des marigots naturels (ouvrages de N'Thiagar, Ronq, Diawar, Caimans, Debi, Djoudj, Gorom, Tieng, Maraye et Dieg), et 8 ouvrages de franchissement hydraulique.

Un projet d'extension des endiguements en amont de Rosso (Rosso – Gani en rive droite et Rosso – Dagana en rive gauche) existe et a donné lieu à un Dossier d'Appel d'Offre de travaux, mais à ce jour la réalisation de ce projet se heurte à la recherche de financements.



### 5.3.8 Le réseau de routes et pistes d'accès

Il faut mentionner ici pour mémoire que l'aménagement de Diama comprend également un réseau de routes et pistes d'accès :

- ▶ La route d'accès au barrage en rive gauche pour 18 km,
- ▶ La piste d'accès du barrage à l'endiguement rive gauche, pour 25 km,
- ▶ La piste de liaison du barrage à l'endiguement de rive droite, pour 9 km.

### 5.3.9 Mode de gestion du barrage de l'ouvrage

L'exploitation et la maintenance du barrage (manœuvre des vannes, entretien et inspections périodiques) est confiée à la SOGED (Société de Gestion et d'Exploitation de Diama).

Son mode de gestion est décrit sommairement ci-dessous.

#### Contrainte générale

**Ne pas dépasser une énergie de dissipation de 1000 m<sup>4</sup>/s (l'équivalent de 1000 m<sup>3</sup>/s avec une dénivelée amont/aval de 1,0 m)**

#### Période d'étiage

Pendant l'étiage, l'objectif de gestion consiste à maintenir le plan d'eau amont à un niveau élevé (autour de 2,20 m ces dernières années) pour faciliter l'alimentation des périmètres irrigués.

#### Période de crue

Pendant le passage de la crue, l'objectif de gestion consiste à maintenir le plan d'eau amont à la cote 1,50 m (réglage possible des vannes tant que le débit moyen à évacuer reste inférieur à environ 1850 m<sup>3</sup>/s ; au-delà, les vannes sont complètement effacées et le niveau évolue au-dessus de 1,50 m en fonction du débit, tant que celui-ci reste supérieur à 1850 m<sup>3</sup>/s).

#### Fin de crue

A la fin de la crue, l'objectif de gestion consiste à faire remonter le plus rapidement possible le niveau du plan d'eau à l'amont du barrage, tout en ne prenant aucun risque de dépassement de la limite admise pour la dissipation d'énergie. Les deux situations suivantes doivent donc être évitées :

- ▶ Une diminution trop précoce de l'ouverture des vannes peut entraîner le risque de devoir évacuer du barrage des débits encore très forts alors que le niveau amont aura déjà été rehaussé de façon importante. Il y a alors un risque élevé de dépassement de la dissipation d'énergie autorisée.
- ▶ Une diminution trop tardive de l'ouverture des vannes représente certes une sécurité vis-à-vis de la dissipation d'énergie, mais pénalise de façon superflue l'agriculture irriguée du delta.





## 5.4 AUTRES BARRAGES EXISTANTS

### 5.4.1 Barrage de Félou

L'aménagement hydroélectrique des rapides de Félou est situé sur le fleuve Sénégal, à 250 km environ en aval du barrage de Manantali et à 15 km en amont de la ville de Kayes. Le site est caractérisé par un dénivelé naturel de l'ordre de 15 m (chute existante équipée) et par un rétrécissement de la vallée ; sur 800 m de longueur, la largeur du fleuve passe de 1000 m dans sa partie amont à 300 m dans sa partie aval. Le barrage étant un ouvrage au fil de l'eau, la courbe hauteur-surface-volume de la retenue n'a pas été calculée.

Le site de Félou précédemment équipé d'une usine hydroélectrique mise en service en 1927, et réhabilitée en 1952 disposait jusqu'en 2013 d'une puissance installée de 600 kW obtenue en turbinant 5 m<sup>3</sup>/s soit environ 1% du débit du fleuve Sénégal.

En 2013, le nouveau barrage et la nouvelle usine de Félou ont vu le jour. Le barrage est aujourd'hui équipé d'une centrale hydroélectrique au fil de l'eau avec un débit d'équipement de 500 m<sup>3</sup>/s pour une puissance nominale de 60 MW environ. L'ouvrage est constitué d'un canal construit hors du lit du fleuve qui dirige tout ou partie de l'eau du fleuve vers les turbines, d'un seuil de 900 m de longueur en cumulé et d'un ouvrage de tête d'une longueur de 165 m.

Figure 43 : Photos du barrage de Félou





Les travaux terminés en 2013 ont compris les réalisations suivantes :

- La réhabilitation du seuil existant rehaussé à la cote 40,15 m et muni d'échancrures,
- L'ouvrage de tête : ouvrage d'entonnement du débit du fleuve à l'extrémité amont du canal d'aménée, équipé d'une ligne de pré-grilles, de batardeaux à l'amont et à l'aval de l'ouvrage, manœuvrable par un portique à l'amont et à l'aval. La longueur de l'ouvrage de tête est de 165 m environ et sa largeur varie de 120 à 32 m.
- Le canal d'aménée, entre l'ouvrage de tête et les prises usinières, caractérisé par une longueur de 630 m, une largeur de 28 m et une profondeur de 10 m.
- L'ouvrage des prises usinières assurant la mise en charge de l'usine équipé de grilles et de batardeaux, d'un portique combiné avec un dégrilleur monté sur rail.
- Les équipements principaux de l'usine dont :
  - 3 groupes turbine-alternateur à attaque directe d'une puissance installée de 59 MW ;
  - 3 vannes de sécurité (1 par groupe) situées à l'aval, permettant aux groupes de s'arrêter en sécurité en cas de défaillance de la turbine ;
  - le système de contrôle commande SCADA ;
  - les équipements de télécommunications avec dispatching avec Manantali.
- Le canal de fuite caractérisé par une longueur de 120 m et une largeur de 66 m calé à la cote 22 m. Il restitue l'eau à l'aval des rapides.

Le tableau synoptique ainsi que les plans insérés dans les pages suivantes synthétisent les caractéristiques du barrage de Félou.

Caractéristiques	unité	Barrage de Félou
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
rivière		Bafing
pays		Mali
implantation de l'ouvrage en rivière		seuil rectiligne perpendiculaire à l'axe de la rivière permettant d'alimenter le canal usinier
contexte géologique		présence uniforme d'affleurements de grès
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	155 000
Module	m <sup>3</sup> /s	420
débit de crue T1/10	m <sup>3</sup> /s	4 000
débit de crue T1/100	m <sup>3</sup> /s	6 700
débit de crue T1/1000	m <sup>3</sup> /s	8 700
débit de crue T1/10 000 (crue de projet)	m <sup>3</sup> /s	10 800
<b>3 - Reservoir</b>		
niveau de remplissage normal	m NG	40.00
cote des plus hautes eaux (PHE)	m NG	42.70
<b>4 - Barrage proprement dit</b>		
type de barrage		Barrage au fil de l'eau Seuil équipé d'un canal de dérivation usinier
hauteur approximative	m	15
longueur du seuil RD	m	225
cote de crête du seuil RD	m NG	40.00
longueur du seuil RG	m	714
cote de crête du seuil RG	m NG	40.00
longueur ouvrage de tête	m	165
largeur ouvrage de tête	m	120 à 32
cote de crête ouvrage de tête	m NG	44.00
pré-grilles (nombre x largeur)	nb x m	12 x 7,5 m
passes jonction canal (nombre x largeur)	nb x m	4 x 7,0 m
<b>5 - Ouvrages hydrauliques associés</b>		
<b>5.1- Canal d'aménée</b>		
longueur du canal	m	630
largeur du canal	m	28
profondeur du canal	m	10
<b>5.2 - Groupes de turbinage</b>		
prises d'eau usinières	nb	3
nombre de groupes de turbines	nb	3
débit maximal turbiné par groupe	m <sup>3</sup> /s	165
puissance maximale développée par groupe	MW	21
puissance totale installée	MW	59

Tableau 8 : Fiche synoptique du barrage de Félou

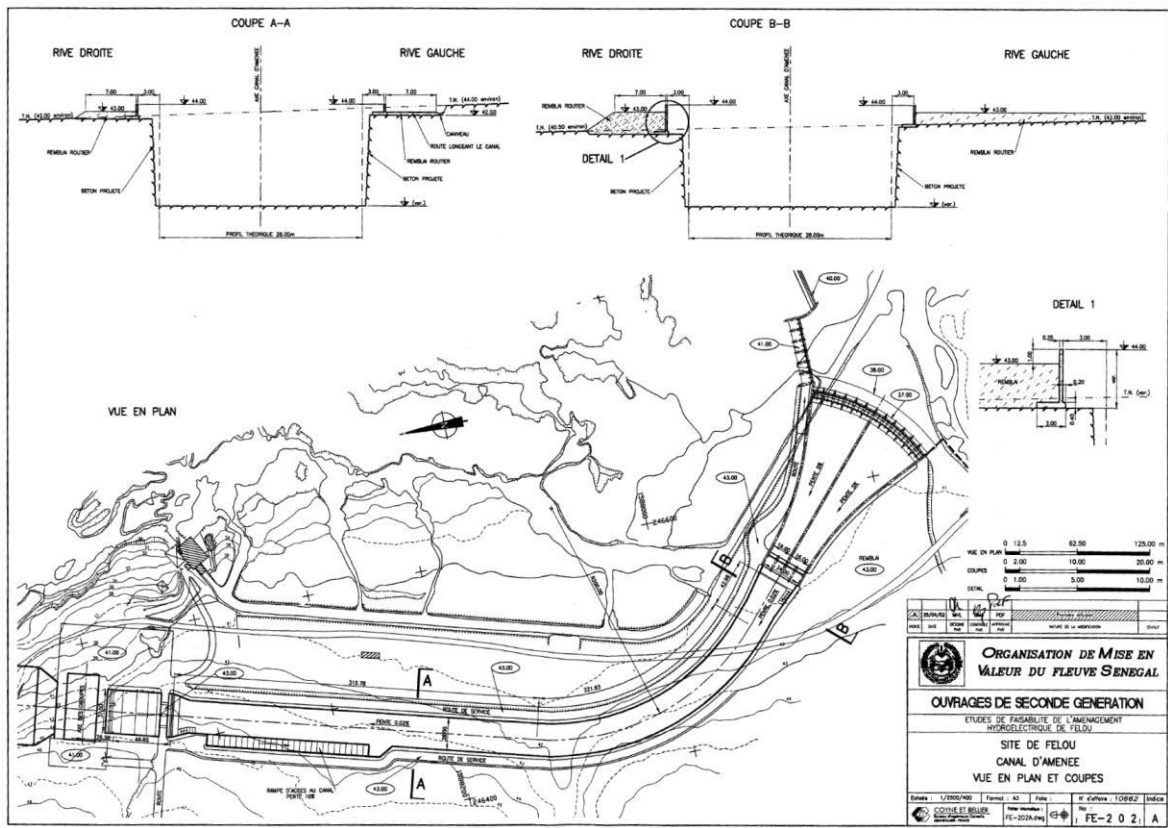
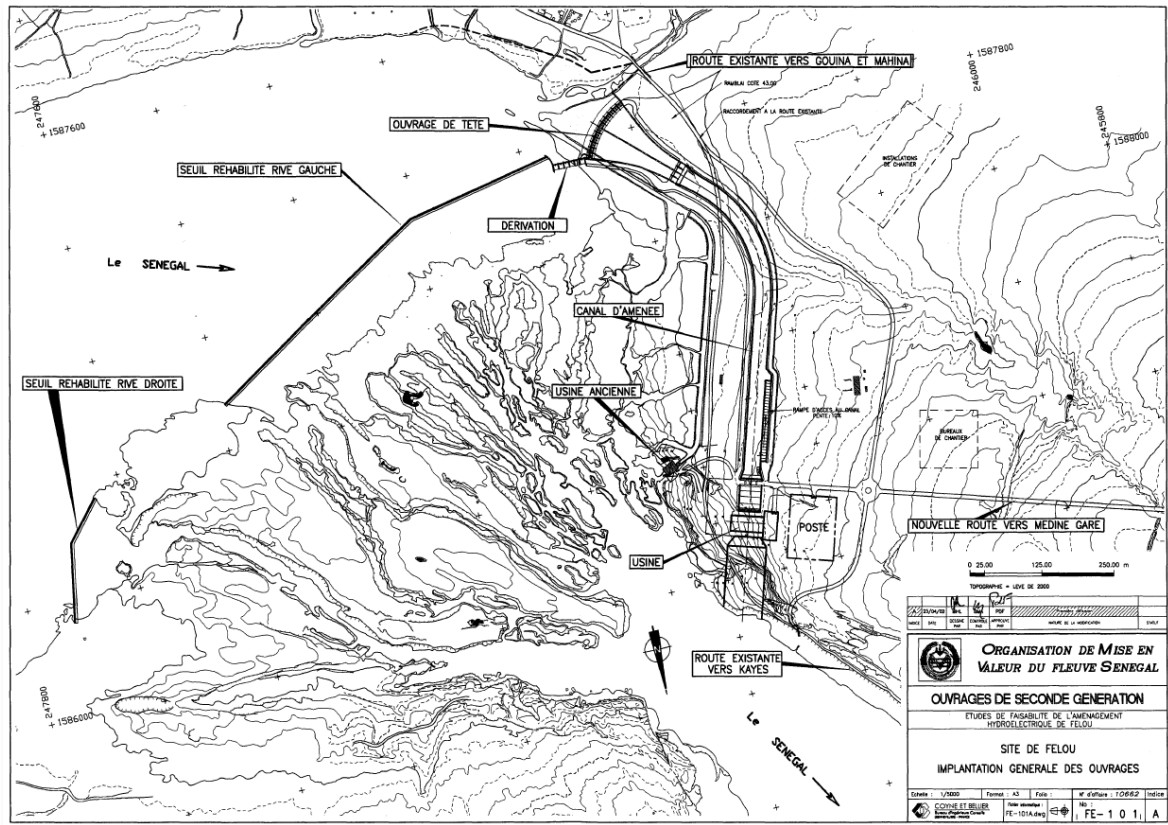
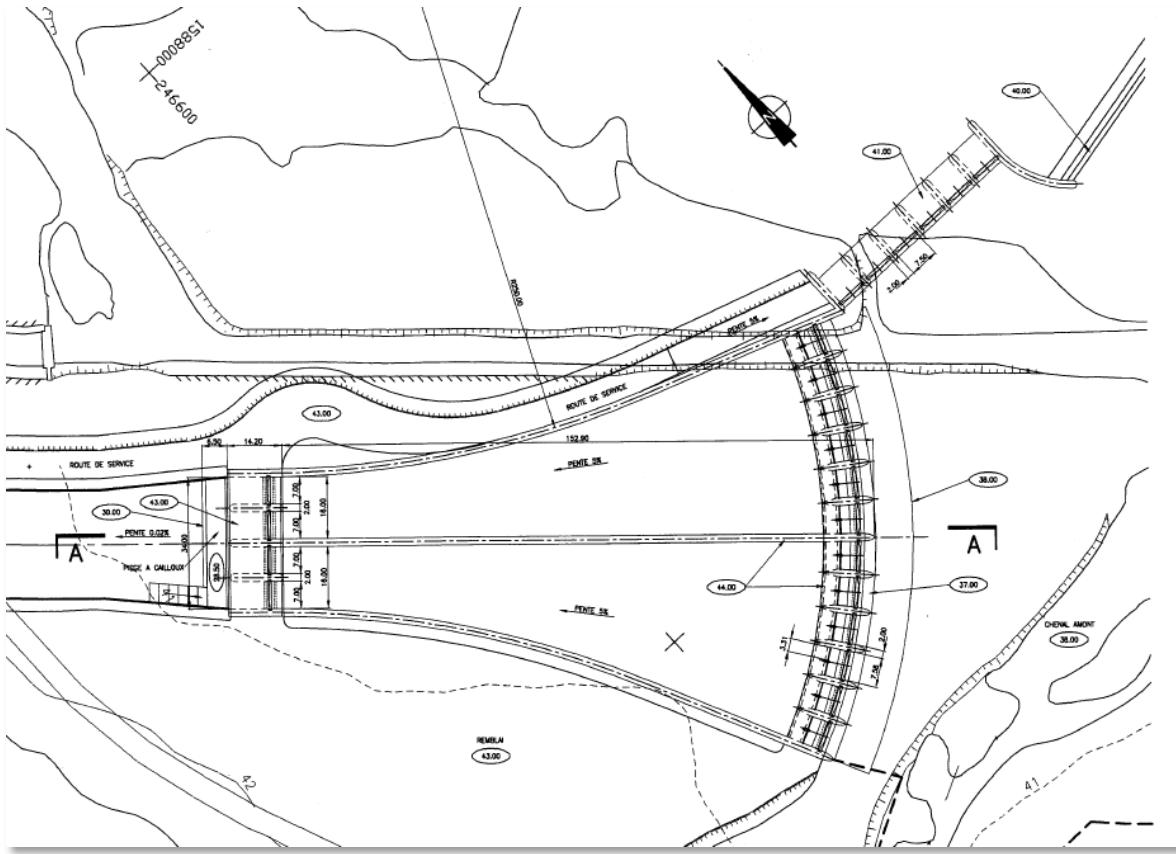


Figure 44 : Vues en plan du barrage de Férou



68

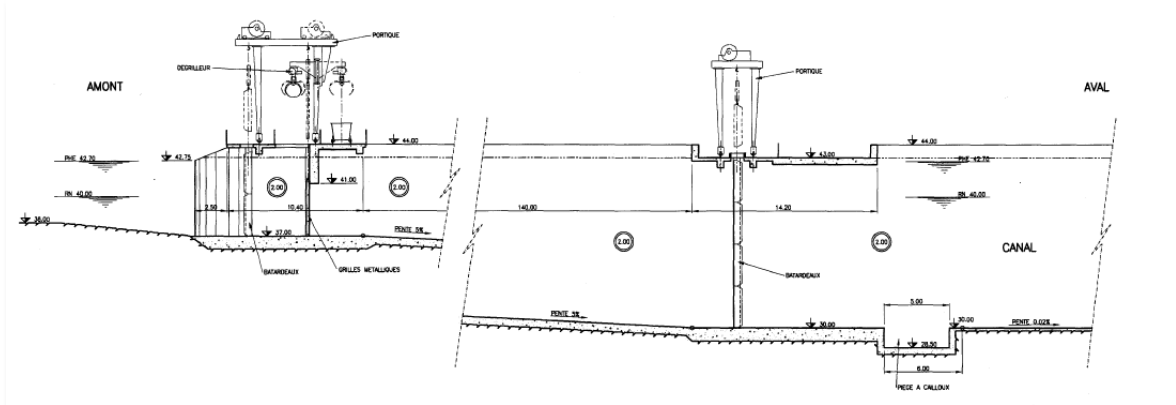


Figure 45 : Barrage de Félou (ouvrage de tête)

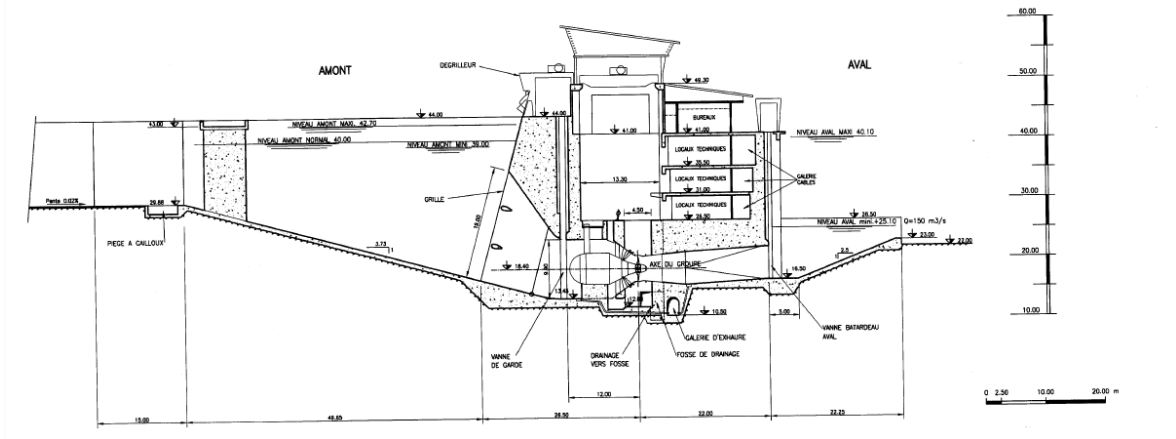


Figure 46 : Barrage de Félou (usine)



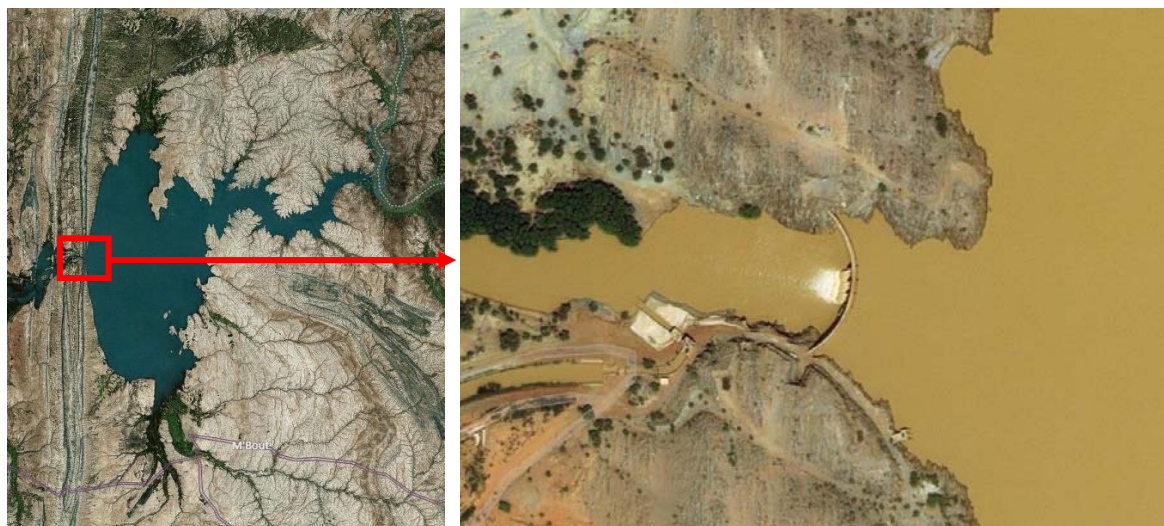
## 5.4.2 Barrage de Fom-Gleïta

Le barrage de Fom-Gleïta est un barrage voûte, d'une hauteur de 45 m sur fondation et d'une longueur de l'ordre de 115 m, contrôlant le Gorgol Noir. Il est situé une vingtaine de kilomètres au Nord-Ouest de M'Bout sur les monts de Wawa en Mauritanie. Le barrage est fondé sur des roches saines, des schistes quartzitiques.

Sa construction s'est étalée de 1981 à 1984. Sa principale vocation est d'irriguer une superficie de cultures de 4000 ha via un canal de dérivation équipé de 2 vannes glissantes caractérisées par une largeur de 2,50 m et une hauteur de 1,40 m.

Les photos ainsi que le tableau synoptique insérés ci-après synthétisent les caractéristiques du barrage de Fom-Gleïta.

Figure 47 : Photos du barrage de Fom-Gleïta



Les surfaces et volumes de la retenue pour la retenue normale (RN) et les plus hautes eaux (PHE) sont insérés dans le tableau synoptique en page suivante. Nous n'avons toutefois pas pu recueillir la courbe hauteur-surface-volume.

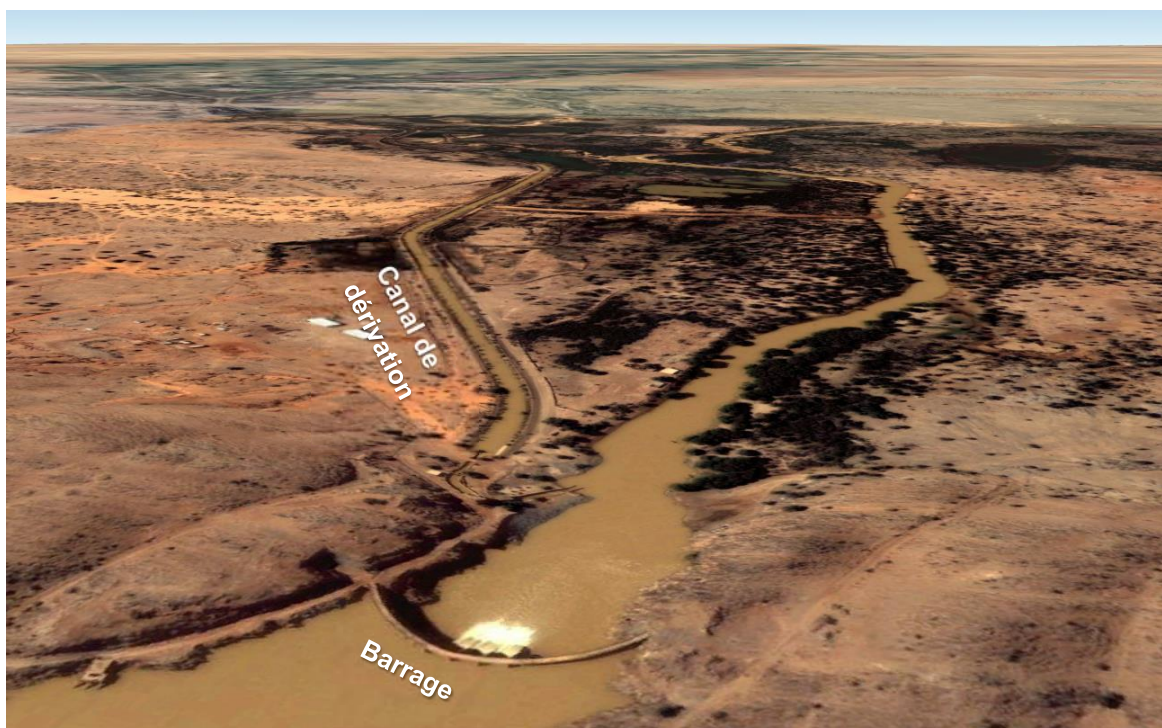


Figure 48 : Vue 3D du barrage de Fom-Gleïta

Caractéristiques	unité	Barrage de Fom-Gleïta
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
rivière		Gorgol
pays		Mauritanie
implantation de l'ouvrage en rivière		perpendiculaire à l'axe de la rivière
contexte géologique		fondé sur roches (schistes quartzitiques)
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	8 950
apports annuels moyens	Mm <sup>3</sup>	340
débit de crue T1/10 (avant laminage)	m <sup>3</sup> /s	825
débit de crue T1/100 (avant laminage)	m <sup>3</sup> /s	2 080
<b>3 - Reservoir</b>		
niveau de remplissage normal	m NG	33,80
superficie à la RN	km <sup>2</sup>	160,00
volume à la RN	Mm <sup>3</sup>	400,00
cote des plus hautes eaux (PHE)	m NG	36,90
superficie à la cote des PHE	km <sup>2</sup>	250,00
volume à la cote des PHE	Mm <sup>3</sup>	1100,00
<b>4 - Barrage proprement dit</b>		
type de barrage		Barrage voûte
hauteur maximale sur fondation	m	45
longueur en crête	m	117
largeur en crête	m	3,05
largeur à la base	m	13
<b>5 - Ouvrages hydrauliques associés</b>		
<b>5.1- Déversoir</b>		
type		seuil libre
capacité	m <sup>3</sup> /s	300
cote du déversoir	m NG	33,80
<b>5.2- Vidange de fond</b>		
dimensions	m <sup>2</sup>	1,70 x 1,70
nombre de vannes	nb	2
<b>5.3- Prise d'eau</b>		
Diamètre	m	3,70
Vanne	nb	1
<b>5.4 - Equipement hydroélectrique</b>		
type		Francis horizontale
vocation		électricité du barrage et manoeuvre des vannes
capacité	kW	15

Tableau 9 : Fiche synoptique du barrage de Fom-Gleïta



## 5.5 BARRAGES PROJETES

Un schéma synoptique et un plan de localisation de ces ouvrages sont présentés dans le § 5.1.

### 5.5.1 Barrage de Balassa (Bafing)

Les éléments de ce paragraphe sont issus du rapport d'APS du groupement BRL-HATCH de février 2019.

Le barrage projeté de Balassa, d'une hauteur sur fondation de l'ordre de 60 m, est situé sur le Bafing en Guinée. Il a comme principale vocation la production hydroélectrique.

Il est composé :

- D'un barrage essentiellement en BCR pour l'évacuateur et la prise d'eau,
- De deux ailes en remblai pour la fermeture de la vallée du Bafing.

La solution établie fin 2018 avait retenu comme hypothèses les éléments suivants :

- Cote de retenue à 596 m ;
- Débit d'équipement de 107 m<sup>3</sup>/s ;
- Capacité totale de 46,9 MW ;
- Marnage de 30%, soit un niveau minimum d'exploitation de 580,70 m ;
- Quatre turbines type Francis de 11,75 MW nominal chacune ;
- Évacuateur de crue à déversement libre, rehausse mobile optionnelle de type clapet métallique ;
- Dérivation provisoire transformée en vidange de fond vannée au cours du chantier.

Il est à noter que le niveau aval de Balassa est influencé par les niveaux de la retenue du barrage projeté de Koukoutamba.

La figure ci-dessous illustre en 3D le barrage projeté :

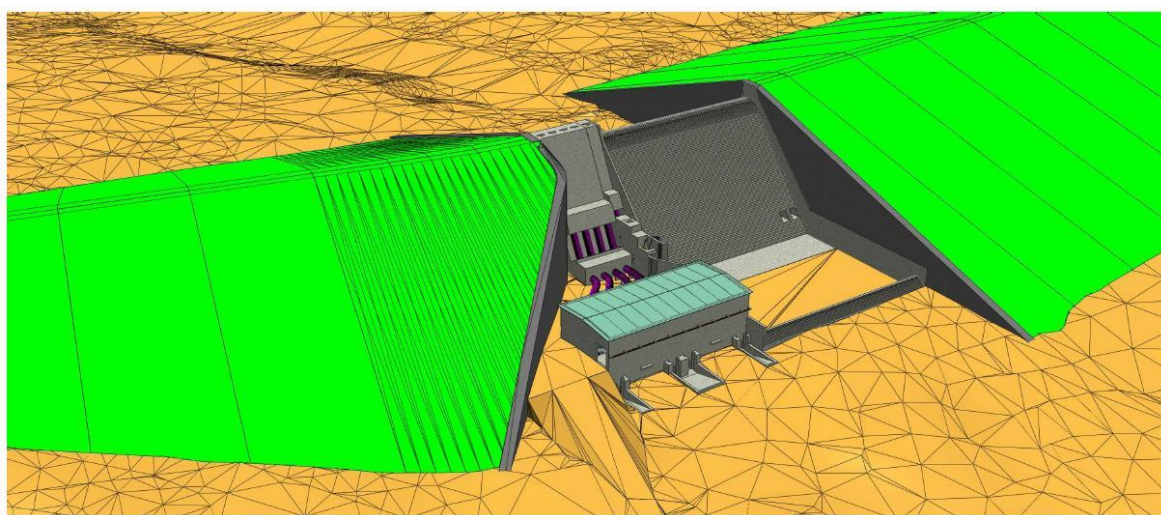


Figure 49 : Illustration 3D du barrage de Balassa

Le tableau synoptique ainsi que les plans insérés dans les pages suivantes synthétisent les caractéristiques du barrage de Balassa.



Caractéristiques	unité	Barrage de Balassa
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
rivière		Bafing
pays		Guinée
implantation de l'ouvrage en rivière		ouvrage rectiligne perpendiculaire à l'axe de la rivière
contexte géologique		roches de l'Archéen (gneiss)
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	3 500
Apport moyen annuel	Mm <sup>3</sup> /an	2098
Débit moyen	m <sup>3</sup> /s	65,5
Crue de projet (10 000 ans)	m <sup>3</sup> /s	1895
<b>3 - Réservoir</b>		
Cote de RN (retenue normale)	m NG	596,00
Cote de PHE (plus hautes eaux)	m NG	599,95
Cote de NME (niveau minimum exploitation)	m NG	580,70
Volume à RN	Mm <sup>3</sup>	1 277,5
Volume sous NME	Mm <sup>3</sup>	440,6
Surface à RN	km <sup>2</sup>	70,3
Surface à NME	km <sup>2</sup>	38,1
Estimation transport solide à 50 ans	Mm <sup>3</sup>	0,5
<b>4 - Barrage – Ailes rive gauche et rive droite</b>		
Cote de crête	m NG	603
Longueur en crête	m	772 (RG) + 436 (RD)
Largeur en crête	m	9
Matériau noyau	-	Tout-venant latéritique compacté
Matériau remblais	-	Latérites compactées
Drainage aval	-	Graves
Inclinaison parement amont	-	3H:1V et 2.5H:1V
Inclinaison parement aval	-	3H:1V
<b>5 - Barrage – Prise d'eau</b>		
Cote de crête	m NG	603
Élévation du terrain naturel	m NG	540
Hauteur sur fondation	m	63
Longueur en crête	m	25
Largeur en crête	m	8
Largeur en pied	m	44
Matériau principal	-	BCR / BCV
Nombre de pertuis	Unité	4
Débit unitaire par pertuis	m <sup>3</sup> /s	26,75
Élévation axe pertuis	m	570,8
<b>6 - Vidange de fond et restitution</b>		
Cote de crête	m NG	603
Élévation du terrain naturel	m NG	540
Longueur en crête	m	10
Largeur en crête	m	8
Largeur en pied	m	44
Matériau principal	-	BCR / BCV
Type vidange de fond	-	Galerie en charge
Élévation axe vidange de fond	m	556,5
Hauteur vidange de fond	m	3
Largeur vidange de fond	m	4
Débit vidange de fond sous RN	m <sup>3</sup> /s	199
Diamètre restitution	m	2,5
Altitude axe restitution	m	574
Débit restitution sous RN	m <sup>3</sup> /s	73,4
<b>7 - Evacuateur de crue</b>		
Type	-	Seuil libre à marches d'escalier
Crête	m NG	596
Altitude du terrain naturel	m NG	540
Longueur en crête	m	93
Largeur en pied	m	52
Matériau principal	-	BCR
Débit maximal sous PHE	m <sup>3</sup> /s	1 456
<b>8 - Centrale hydroélectrique</b>		
Débit	m <sup>3</sup> /s	107
Puissance nominale (à l'alternateur)	MW	47,6
Energie annuelle moyenne	GWh	205 (Balassa seul)
Nombre de turbines	Unité	4
Type de turbine	-	Francis simple horizontale

Tableau 10 : Fiche synoptique du barrage de Balassa



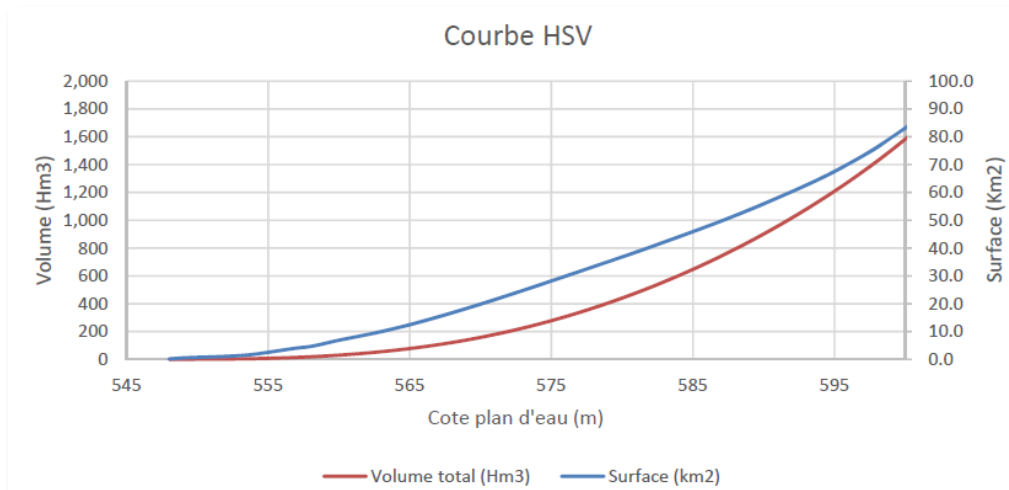
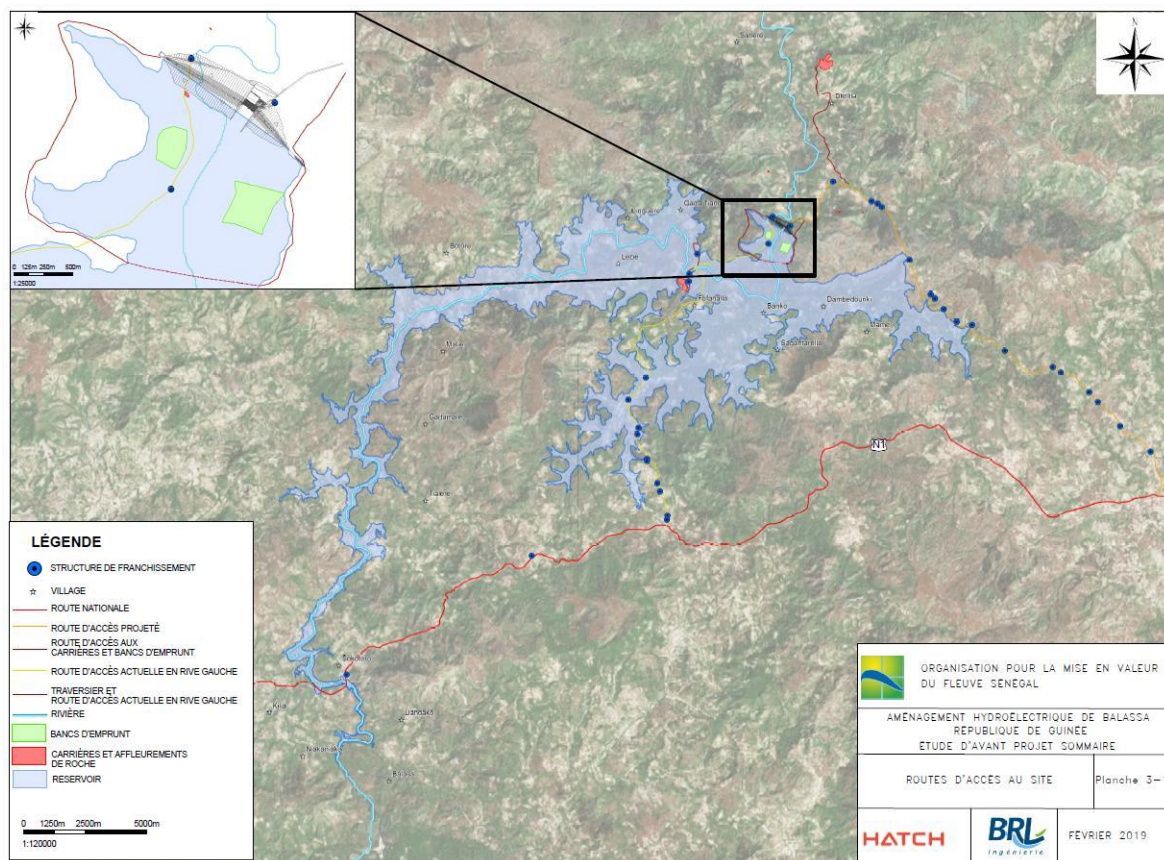


Figure 50 : Retenue du barrage de Balassa

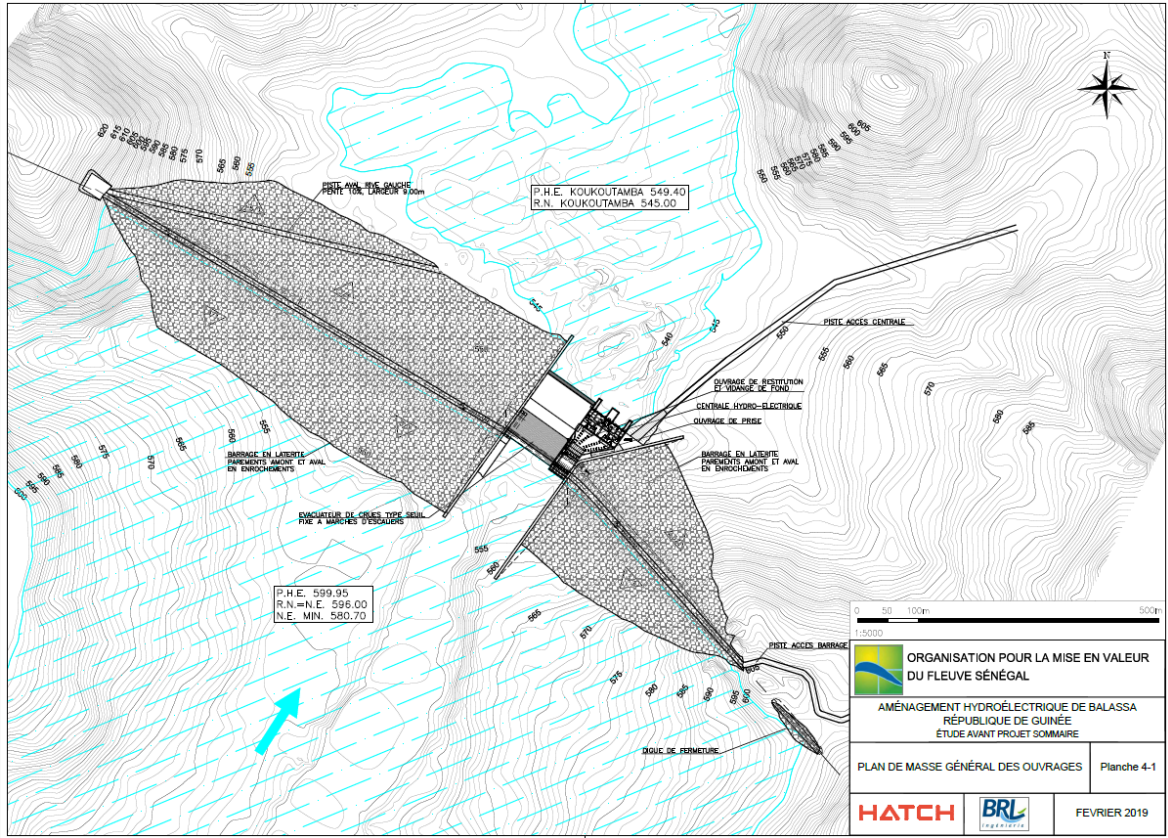


Figure 51 : Vue en plan du barrage de Balassa

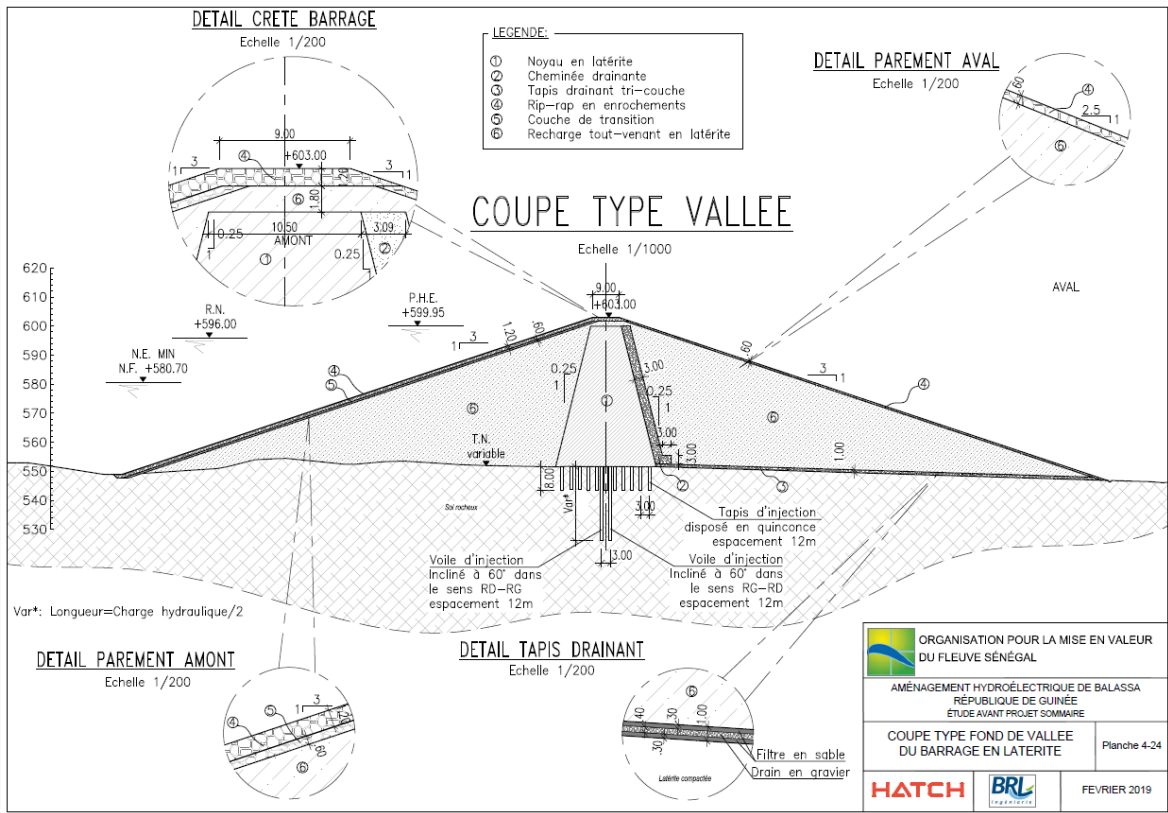


Figure 52 : Coupe-type aile en remblai du barrage de Balassa

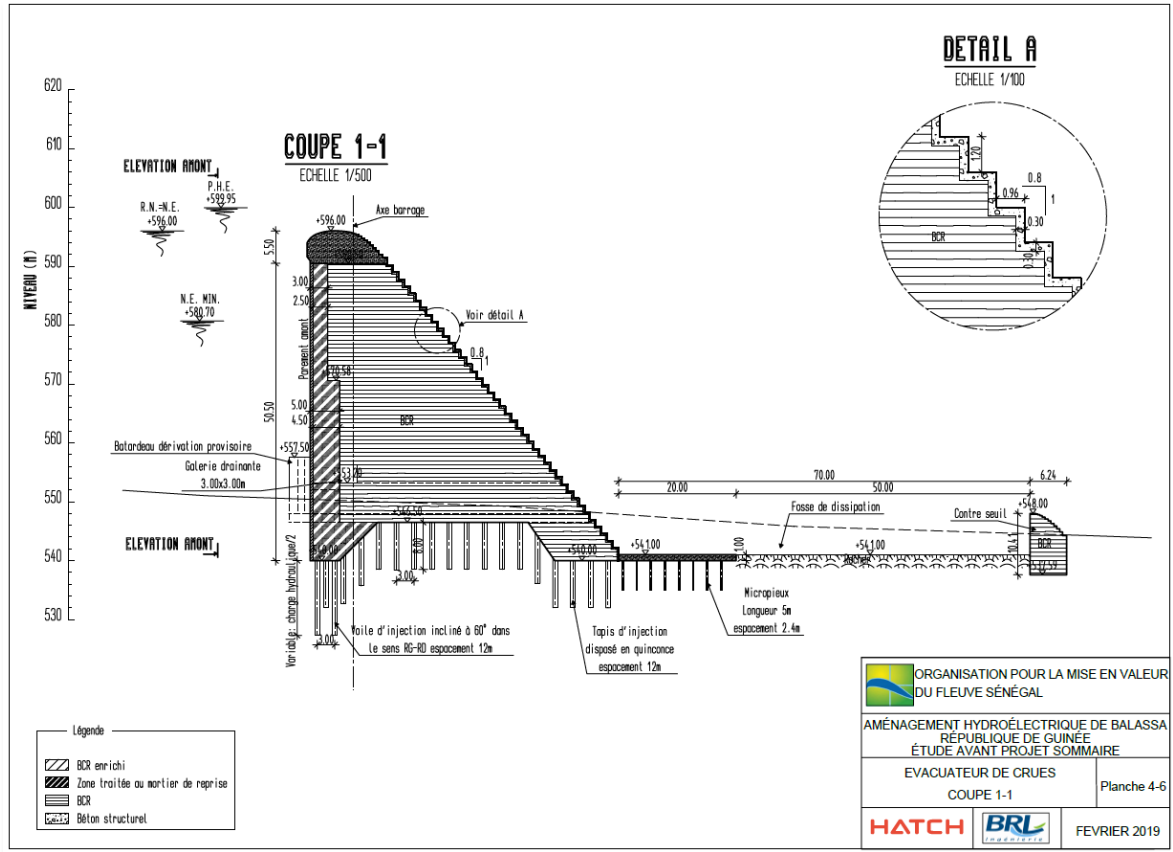


Figure 53 : Coupe-type évacuateur de crue du barrage de Balassa

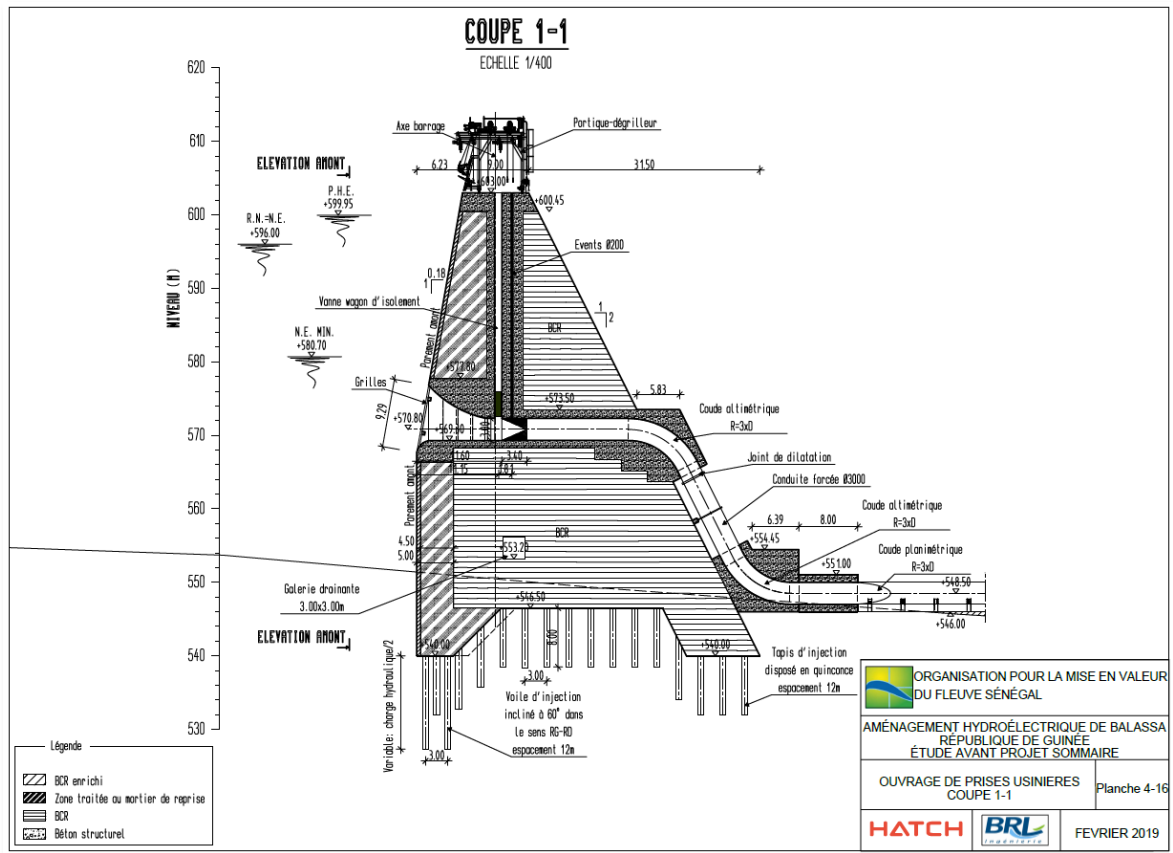


Figure 54 : Coupe-type ouvrage de prises usinières du barrage de Balassa



### 5.5.2 Barrage de Koukoutamba (Bafing)

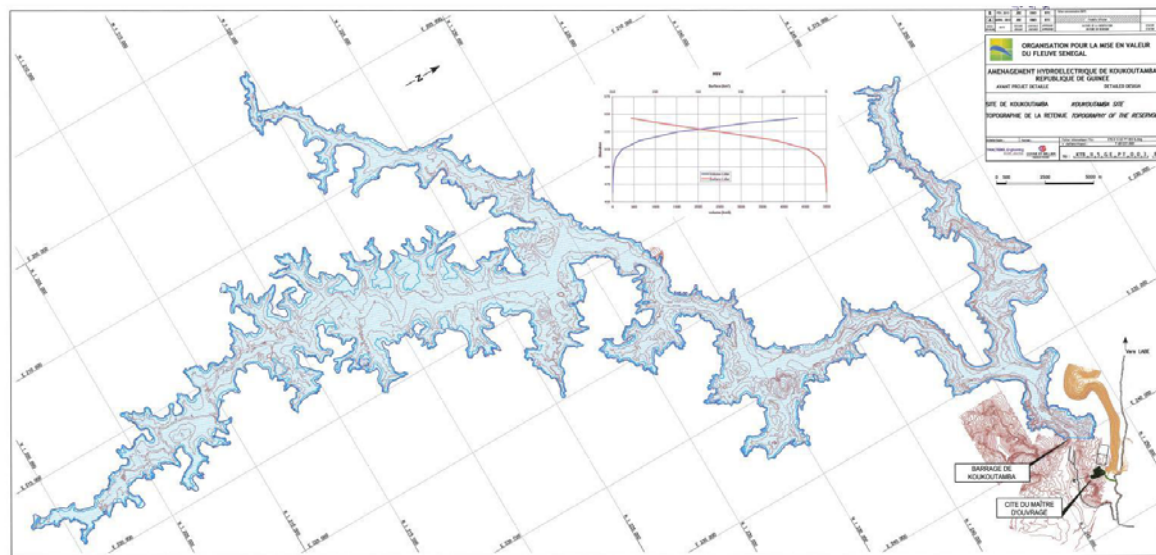
Les éléments de ce paragraphe sont issus du rapport d'APD de Tractebel Engineering (CoB) de février 2013.

L'aménagement hydroélectrique projeté de Koukoutamba, situé sur le Bafing en Guinée, consiste en une retenue d'environ 4,3 milliards de m<sup>3</sup> stockés et destinés à produire environ 888 GWh/an en moyenne d'énergie électrique avec une puissance installée de 294 MW.

Cet aménagement comprend :

- Un barrage de 86 m de hauteur maximale implanté en amont des chutes du Bafing à Koukoutamba, ayant une partie centrale en Béton Compacté au Rouleau (BCR) et des ailes en enrochement/remblais. Ce barrage permet de créer une chute nette de 85 m environ.
- Un évacuateur de crue à seuil libre situé dans la partie centrale en BCR.
- Un ouvrage de restitution qui permet de relâcher à l'aval les débits nécessaires au fonctionnement de Manantali en période d'étiage, lorsque l'usine de Koukoutamba serait en arrêt de fonctionnement.
- Une usine au pied du barrage constitué de 4 groupes de type Francis de puissance nominale unitaire 73,5 MW.

Le tableau synoptique ainsi que les plans insérés dans les pages suivantes synthétisent les caractéristiques du barrage de Koukoutamba.



76

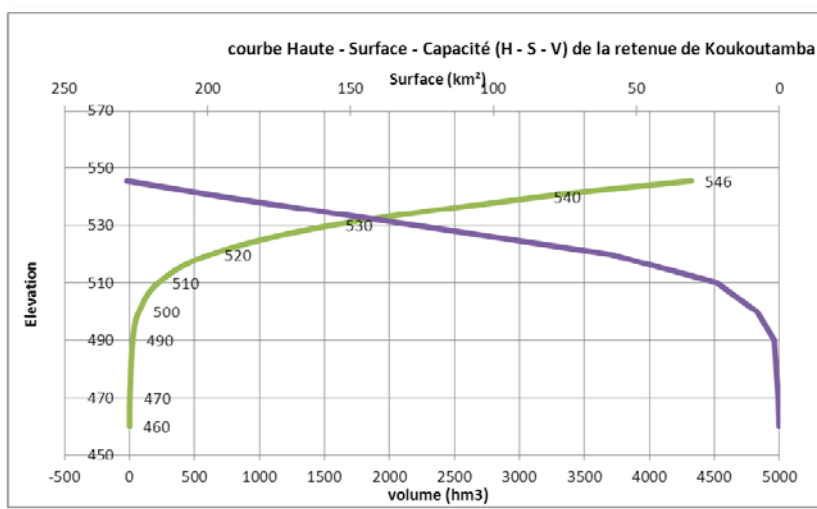


Figure 55 : Retenue du barrage de Koukoutamba



Caractéristiques	unité	Barrage de Koukoutamba
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
rivière		Bafing
pays		Guinée
type		Barrage mixte constitué d'un bloc central en béton compact (BCR) et de digues en remblais et en enrochements en rive
implantation de l'ouvrage en rivière		perpendiculaire au cours d'eau
contexte géologique		grès dans l'axe et latérites sur les versants
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	10 670
Apport moyen annuel	Mm <sup>3</sup> /an	5 300
Débit moyen	m <sup>3</sup> /s	167
Crue 10 ans	m <sup>3</sup> /s	1 530
Crue 100 ans	m <sup>3</sup> /s	2 205
Crue 1000 ans	m <sup>3</sup> /s	2 917
Crue 10 000 ans	m <sup>3</sup> /s	3 682
Crue CMP	m <sup>3</sup> /s	4 331
<b>3 - Réservoir</b>		
Cote de RN (retenue normale)	m NGG	545,00
Surface à RN	km <sup>2</sup>	220
Volume à RN	Mm <sup>3</sup>	4 300
Cote de PHE (plus hautes eaux)	m NGG	549,40
Surface aux PHE	km <sup>2</sup>	250
Volume aux PHE	Mm <sup>3</sup>	5 000
<b>4 - Barrage BCR</b>		
Cote de crête	m NGG	552,10
Largeur en crête	m	7
Hauteur maximale au-dessus des fondations	m	86
Inclinaison parement amont	-	Vertical
Inclinaison parement aval	-	0,80H/1V
<b>5 - Digue en enrochement rive droite</b>		
Cote de crête	m NGG	551,50
Hauteur maximale au-dessus des fondations	m	86
Longueur en crête	m	351
Largeur en crête	m	10
Inclinaison parement amont	-	1,7H/1V
Inclinaison parement aval	-	1,7H/1V
<b>6 - Digue en enrochement / remblai rive gauche</b>		
Cote de crête	m NGG	551,50
Hauteur maximale au-dessus des fondations	m	88
Longueur en crête	m	894
Largeur en crête	m	10
Inclinaison parement amont	-	1,7 à 3,0 H/1V
Inclinaison parement aval	-	1,7 à 2,5 H/1V
<b>7 - Evacuateur de crue</b>		
Type	-	Seuil libre à marches d'escalier
Crête	m NGG	545,00
Cote sortie évacuateur	m NGG	467,50
Inclinaison parement amont	-	Vertical
Inclinaison parement aval	-	0,80H/1V
Largeur	m	160
Débit maximal (crue 10 000 ans)	m <sup>3</sup> /s	3 680
<b>8 - Restitution aval</b>		
Type		Pertuis vanné
Nombre de pertuis	nb	1
Cote du radier à l'entonnement	m NGG	468,50
Section du pertuis (L x H)	m x m	3,5 x 2,5
Débit maximal sous RN	m <sup>3</sup> /s	200
Vannes		1 vanne sous carter et 1 vanne radiale
<b>9 - Prise d'eau</b>		
Cote du seuil	m NGG	505,00
Nombre de prises d'eau	nb	4
Débit unitaire par pertuis	m <sup>3</sup> /s	100
<b>10 - Centrale hydroélectrique</b>		
Débit équipement	m <sup>3</sup> /s	400
Energie annuelle moyenne	GWh	888
Nombre de turbines	Unité	4
Puissance nominale / turbine	MW	73,5
Type de turbine	-	Francis

Tableau 11 : Fiche synoptique du barrage de Koukoutamba

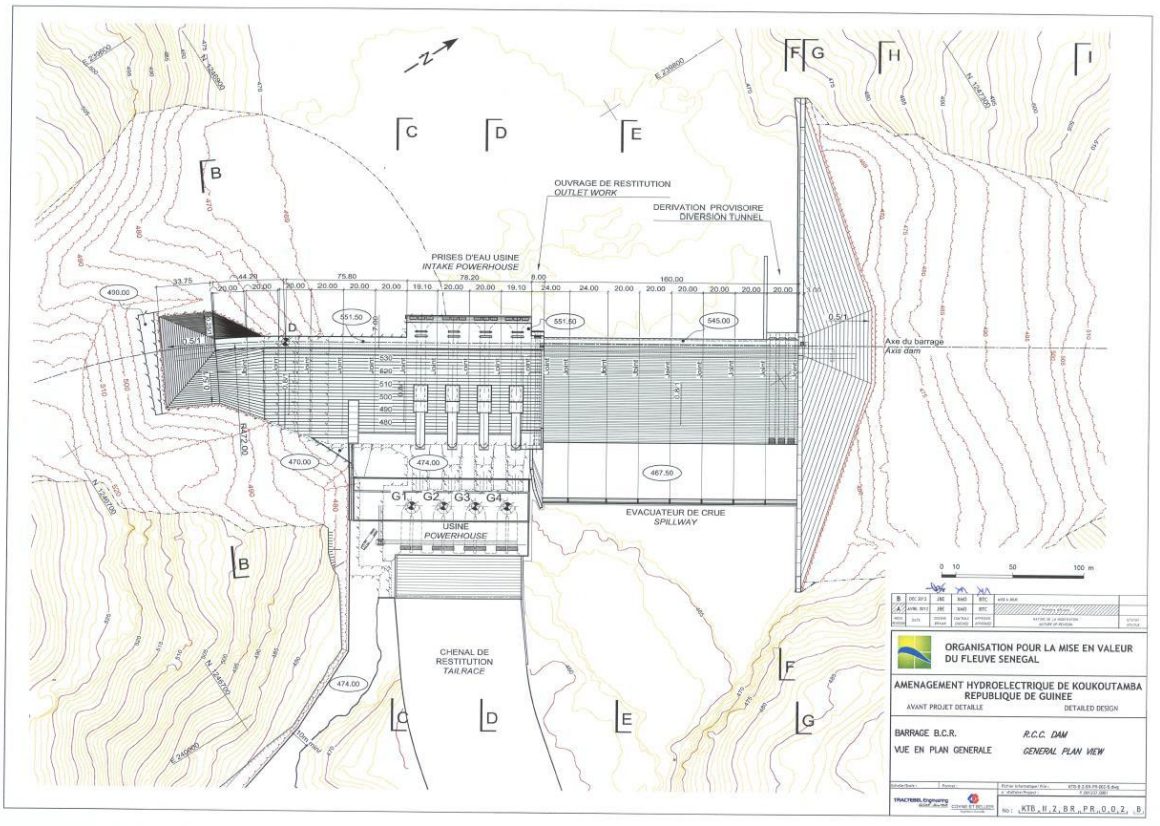
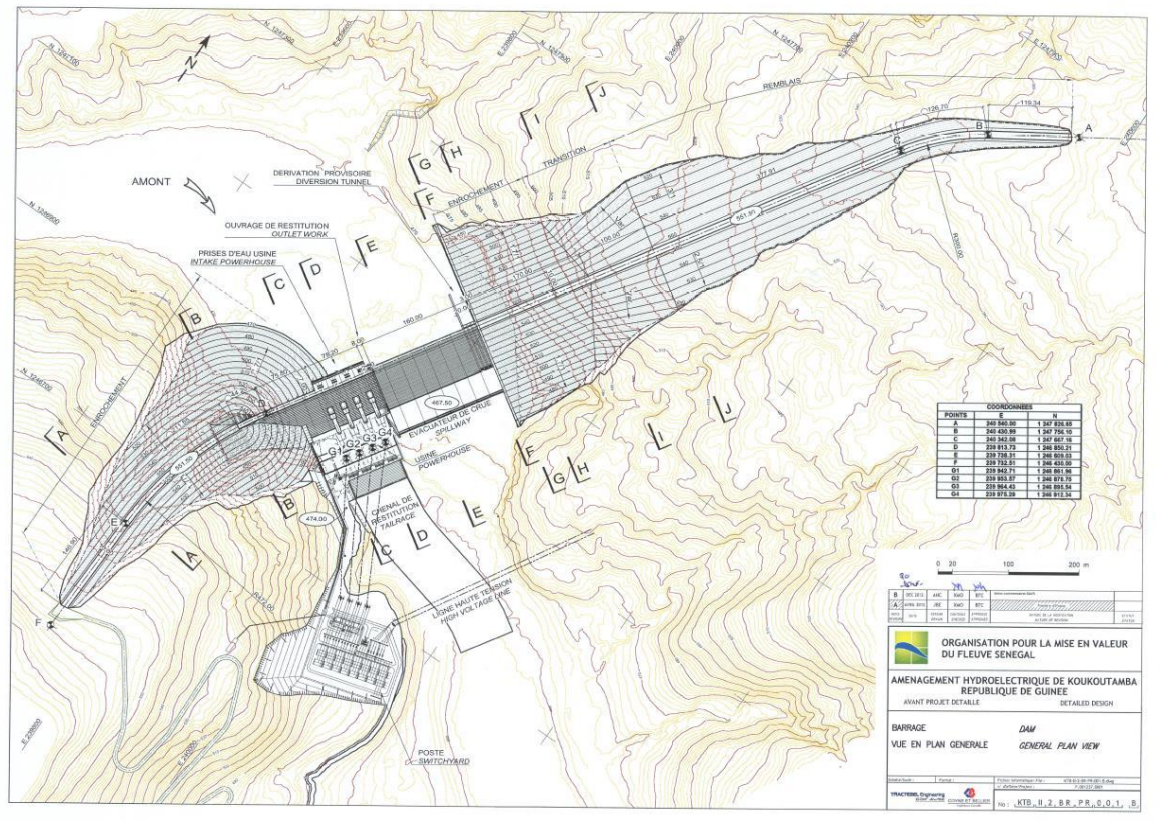


Figure 56 : Vues en plan du barrage de Koukoutamba

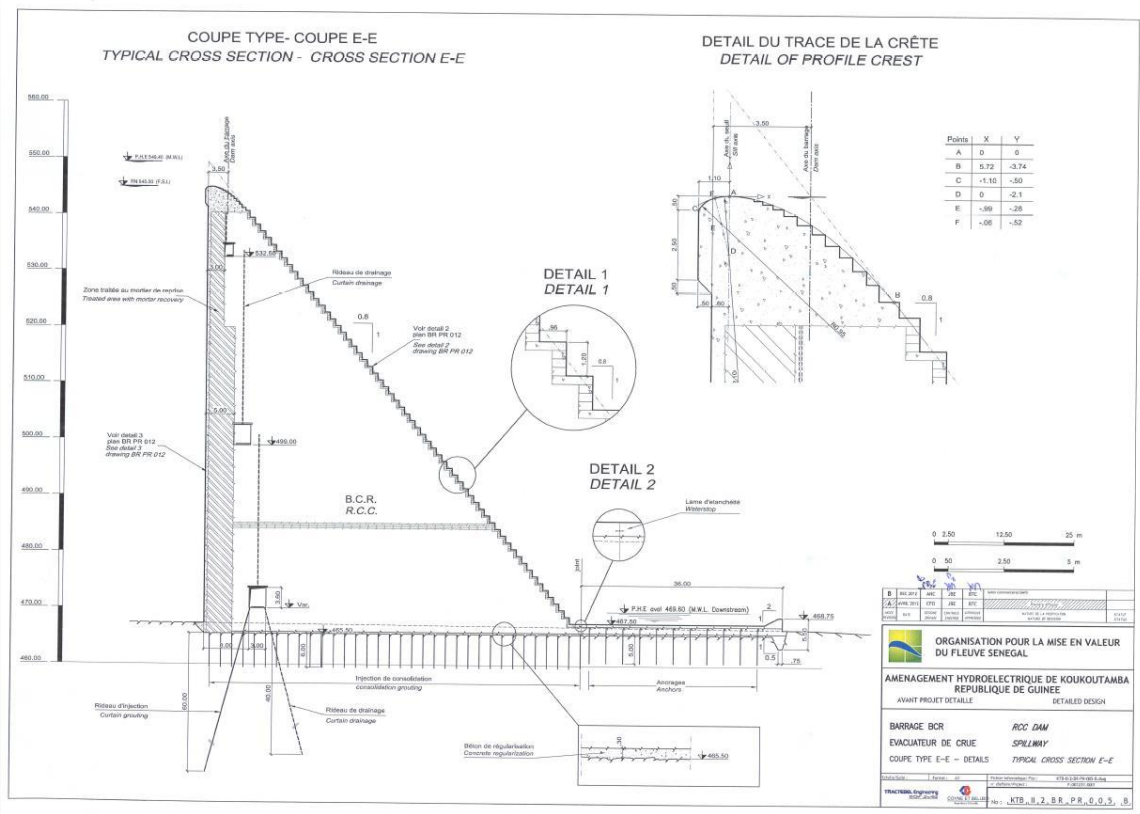


Figure 57 : Coupe-type évacuateur de crue du barrage de Koukoutamba

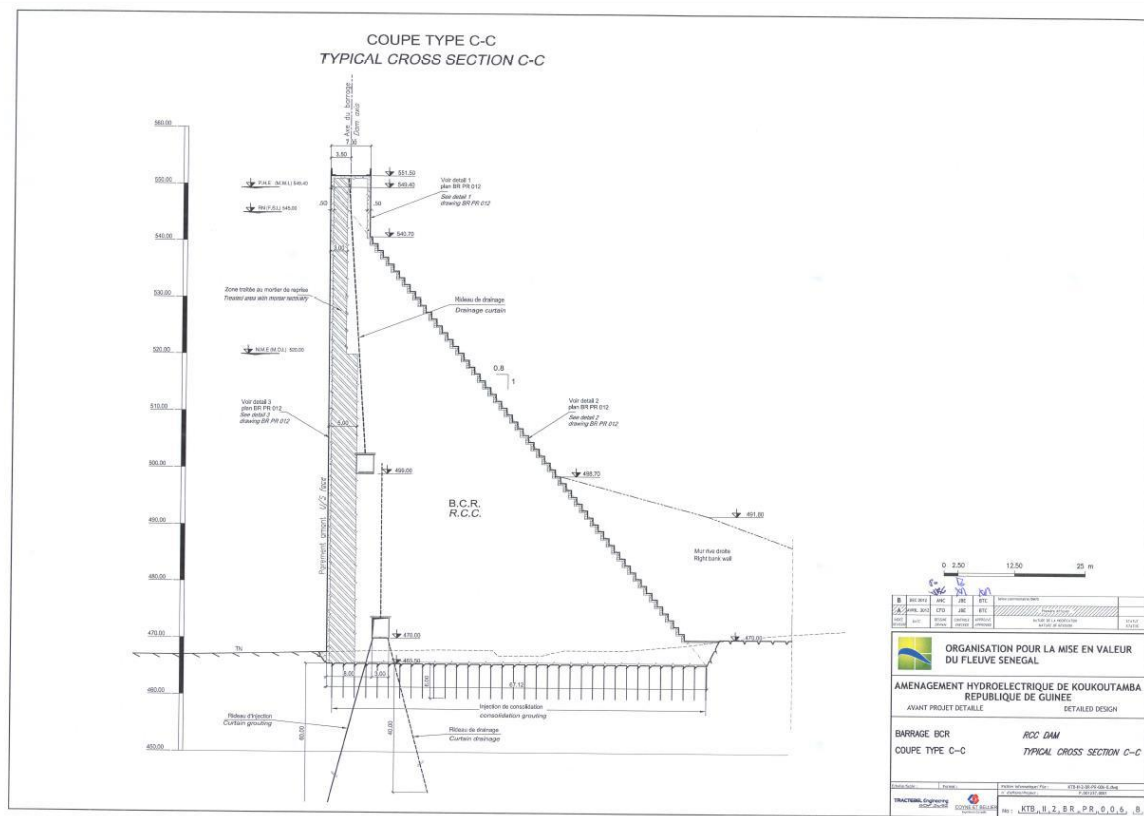


Figure 58 : Coupe-type barrage BCR de Koukoutamba

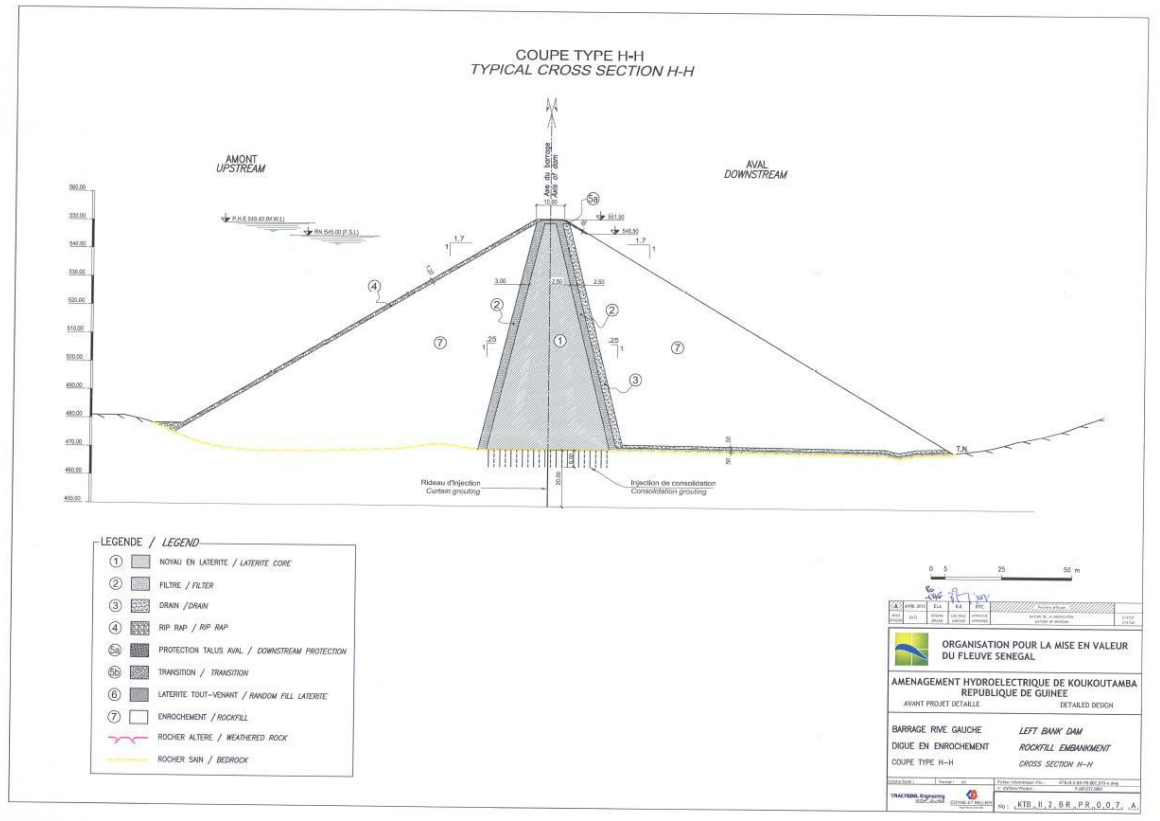


Figure 59 : Coupe-type digue en enrochement RG de Koukoutamba

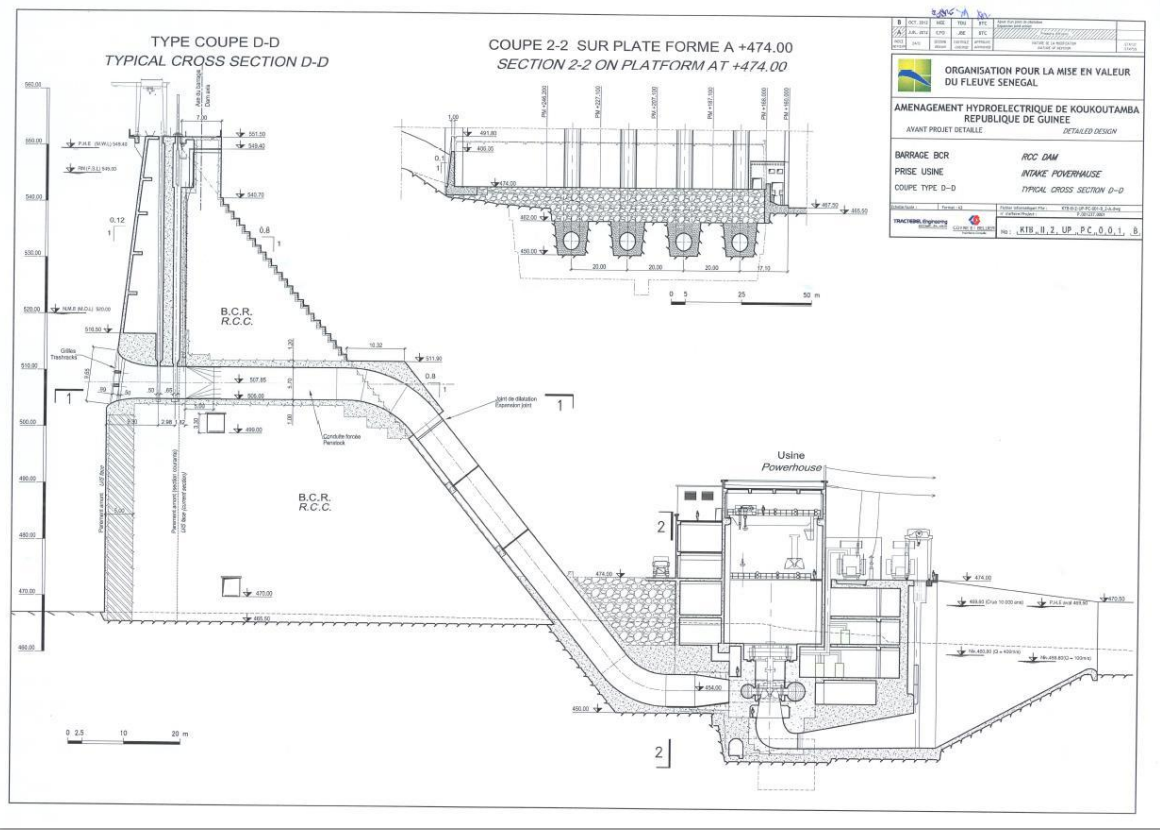


Figure 60 : Coupe-type prises usinières du barrage de Koukoutamba





### 5.5.3 Barrage de Boureya (Bafing)

Les éléments de ce paragraphe sont issus du rapport de faisabilité et d'APS du groupement ARTELIA (Sogreah) – C3I de février 2013.

Le site projeté se situe sur la rivière Bafing au lieu-dit Boureya en Guinée. Il se situe à 50 km au nord de Dinguiraye, à 7 km au nord-ouest de Diatifere et à 25 km à l'ouest de la frontière avec le Mali.

L'aménagement hydroélectrique consiste en une retenue d'environ 6,5 milliards de m<sup>3</sup> stockés et destinés à produire environ 700 GWh/an en moyenne d'énergie électrique avec une puissance installée de 160 MW environ pour un débit d'équipement de 480 m<sup>3</sup>/s.

Cet aménagement comprend :

- Un barrage de 66 m de hauteur ayant une partie centrale en Béton Compacté au Rouleau (BCR) et des ailes en enrochement/remblais (y compris une digue de col en rive droite). Ce barrage permet de créer une chute nette de 57 m environ.
- Un évacuateur de crue à seuil vanné situé dans la partie centrale en BCR.
- Un ouvrage de restitution qui permet de relâcher à l'aval les débits nécessaires au fonctionnement de Manantali en période d'étiage, lorsque l'usine de Boureya serait en arrêt de fonctionnement.
- Une usine au pied du barrage constitué de 4 groupes de type Francis de puissance nominale unitaire 40 MW.

Le tableau synoptique ainsi que les plans insérés dans les pages suivantes synthétisent les caractéristiques du barrage de Boureya.

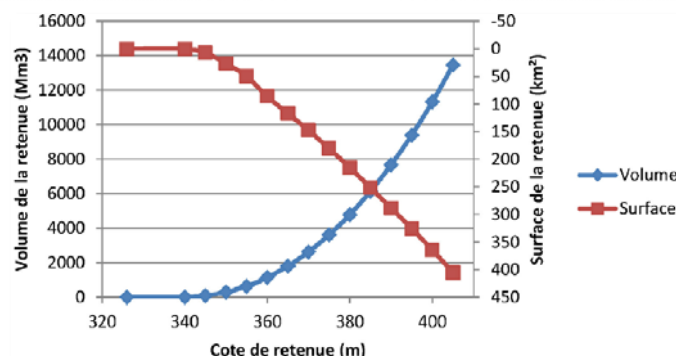
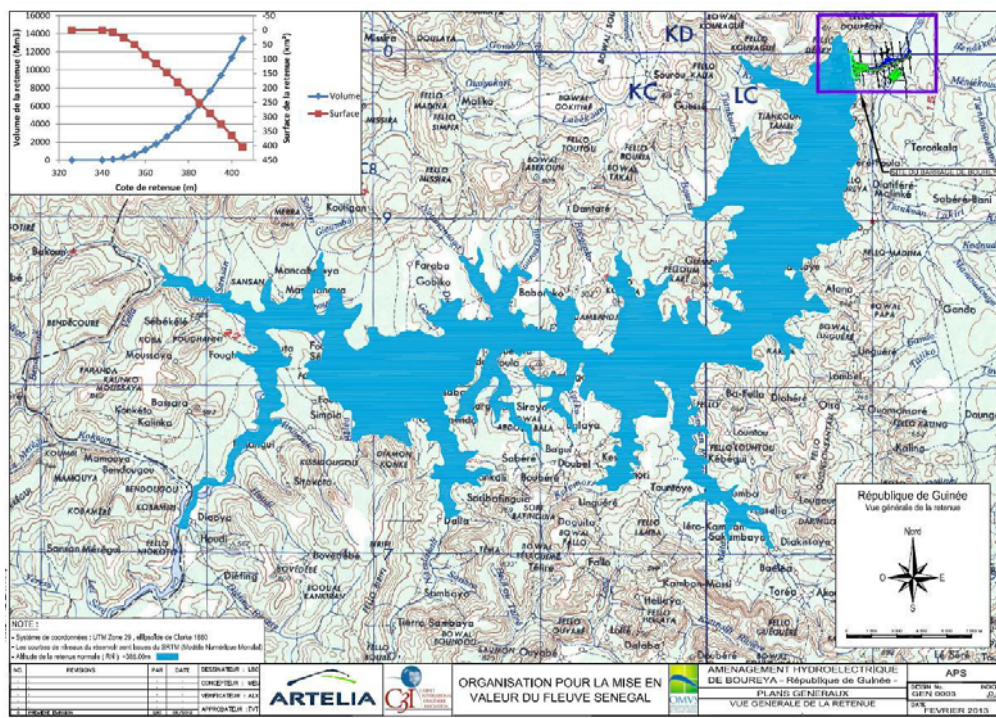


Figure 61 : Retenue du barrage de Boureya



Caractéristiques	unité	Barrage de Boureya
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
rivière		Bafing
pays		Guinée
type		Barrage mixte constitué d'un bloc central en béton compact (BCR) et de digues en remblais et en enrochements en rive
implantation de l'ouvrage en rivière		perpendiculaire au cours d'eau
contexte géologique		Gneiss dans l'axe du barrage surmonté d'horizons de latérites et de saprolites
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	14 800
Débit moyen annuel	m <sup>3</sup> /s	167
Crue 10 ans	m <sup>3</sup> /s	2 090
Crue 100 ans	m <sup>3</sup> /s	3 840
Crue 1000 ans	m <sup>3</sup> /s	5 590
Crue 10 000 ans	m <sup>3</sup> /s	7 260
<b>3 - Réservoir</b>		
Cote de RN (retenue normale)	m NGG	385,00
Surface à RN	km <sup>2</sup>	251
Volume à RN	Mm <sup>3</sup>	6 150
Cote de PHE (plus hautes eaux)	m NGG	387,20
Surface aux PHE	km <sup>2</sup>	270
Volume aux PHE	Mm <sup>3</sup>	8 500
<b>4 - Barrage BCR</b>		
Cote de crête	m NGG	389,00
Hauteur maximale au-dessus des fondations	m	66
<b>5 - Digue en enrochement rive gauche</b>		
Cote de crête	m NGG	389,00
Hauteur maximale au-dessus des fondations	m	66
Longueur en crête	m	920
Largeur en crête	m	10
Inclinaison parement amont	-	1,7H/1V
Inclinaison parement aval	-	1,7H/1V
<b>6 - Evacuateur de crue</b>		
Type	-	Seuil vanné profilé avec saut de ski
Seuil	m NGG	371,50
Fond fosse de dissipation	m NGG	304,50
Nombre de pertuis	nb	8
Dimension pertuis (L x H)	m x m	9,0 x 14,5
Largeur cumulée	m	72
Débit maximal	m <sup>3</sup> /s	8 900
<b>8 - Restitution aval</b>		
Type		Pertuis vanné
Nombre de pertuis	nb	2
Cote du radier à l'entonnement	m NGG	328,00
Section pertuis (L x H)	m x m	3,5 x 3,5
Débit maximal sous RN	m <sup>3</sup> /s	250
<b>9 - Prise d'eau</b>		
Cote du seuil	m NGG	344,60
Nombre de prises d'eau	nb	4
Débit unitaire par pertuis	m <sup>3</sup> /s	120
<b>10 - Centrale hydroélectrique</b>		
Débit équipement	m <sup>3</sup> /s	480
Energie annuelle moyenne	GWh	700
Nombre de turbines	Unité	4
Puissance nominale / turbine	MW	40
Type de turbine	-	Francis

Tableau 12 : Fiche synoptique du barrage de Boureya

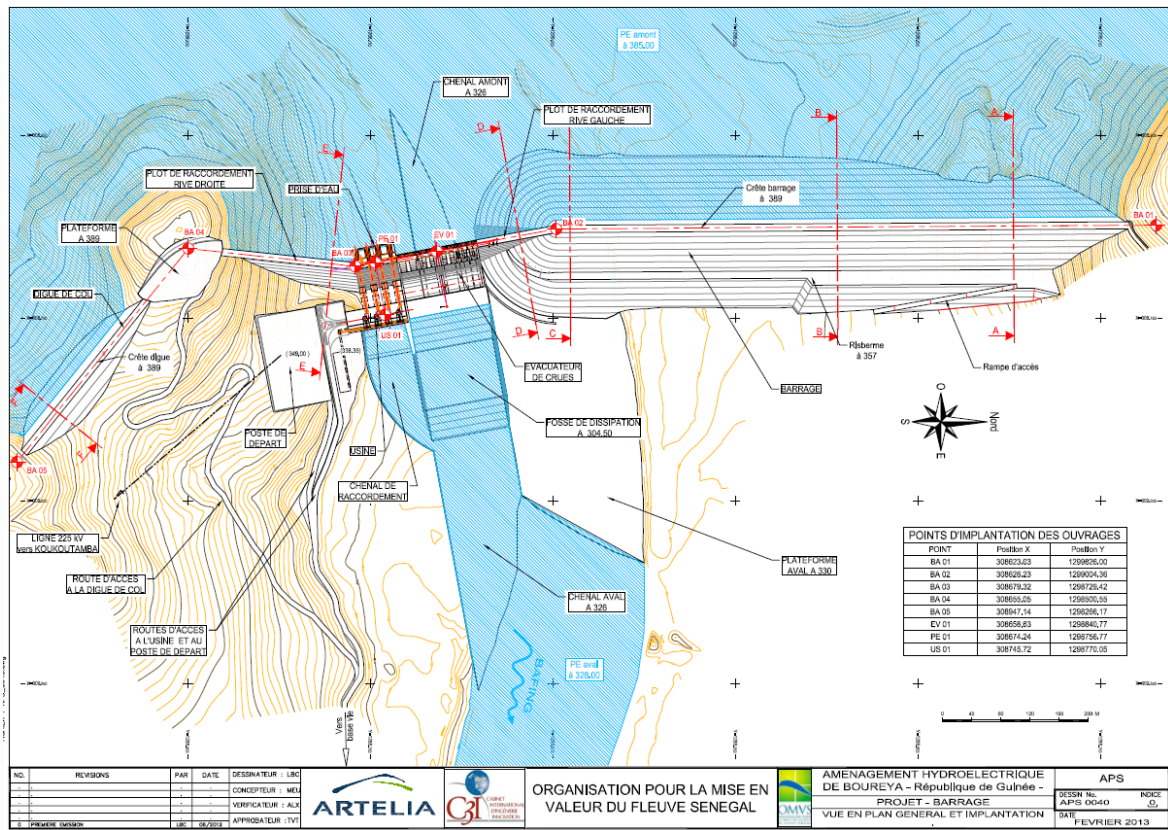


Figure 62 : Vue en plan du barrage de Boureya

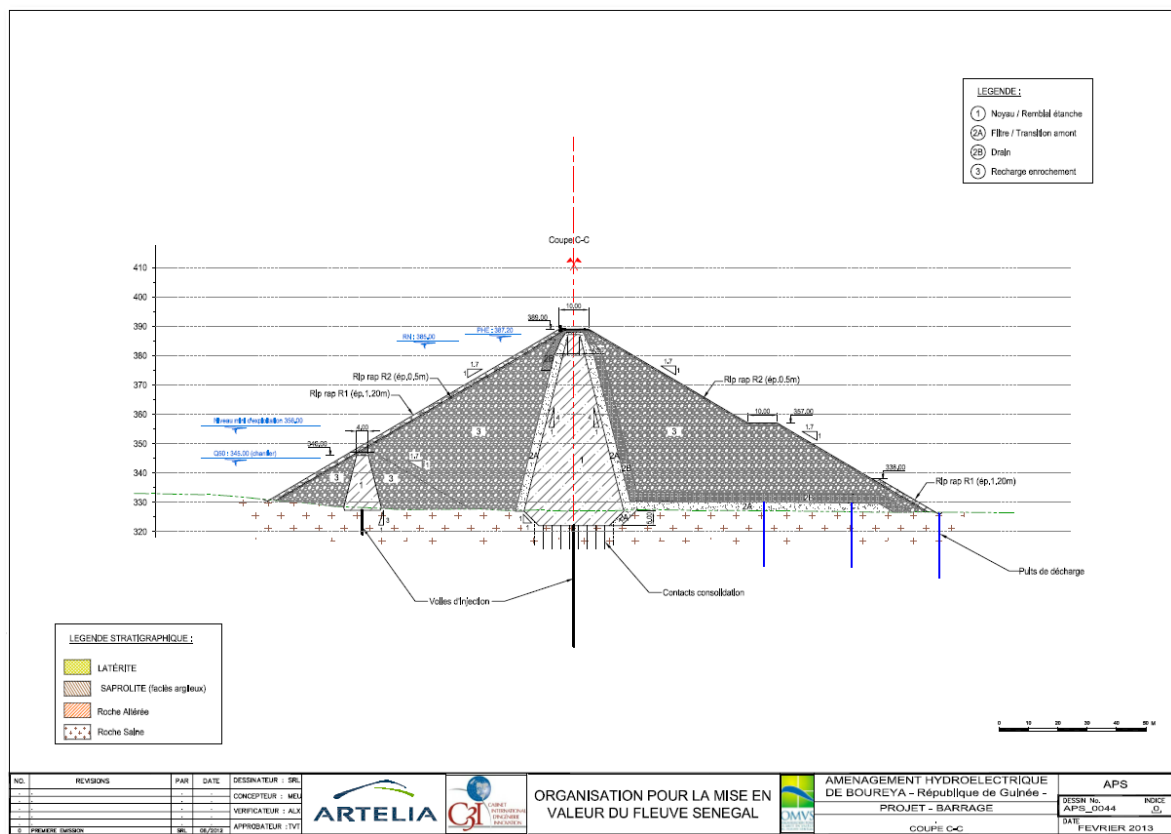


Figure 63 : Coupe-type aile en terre du barrage de Boureya

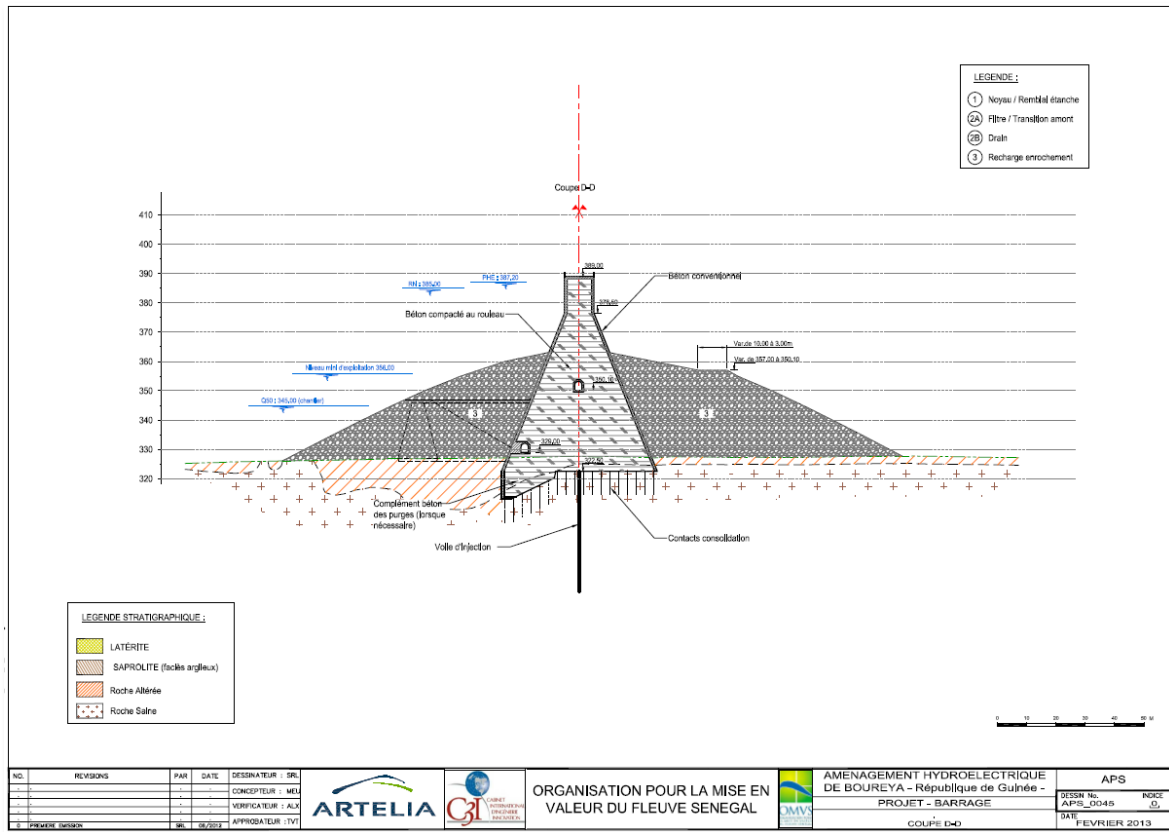


Figure 64 : Coupe-type plot de raccordement RG du barrage de Boureya

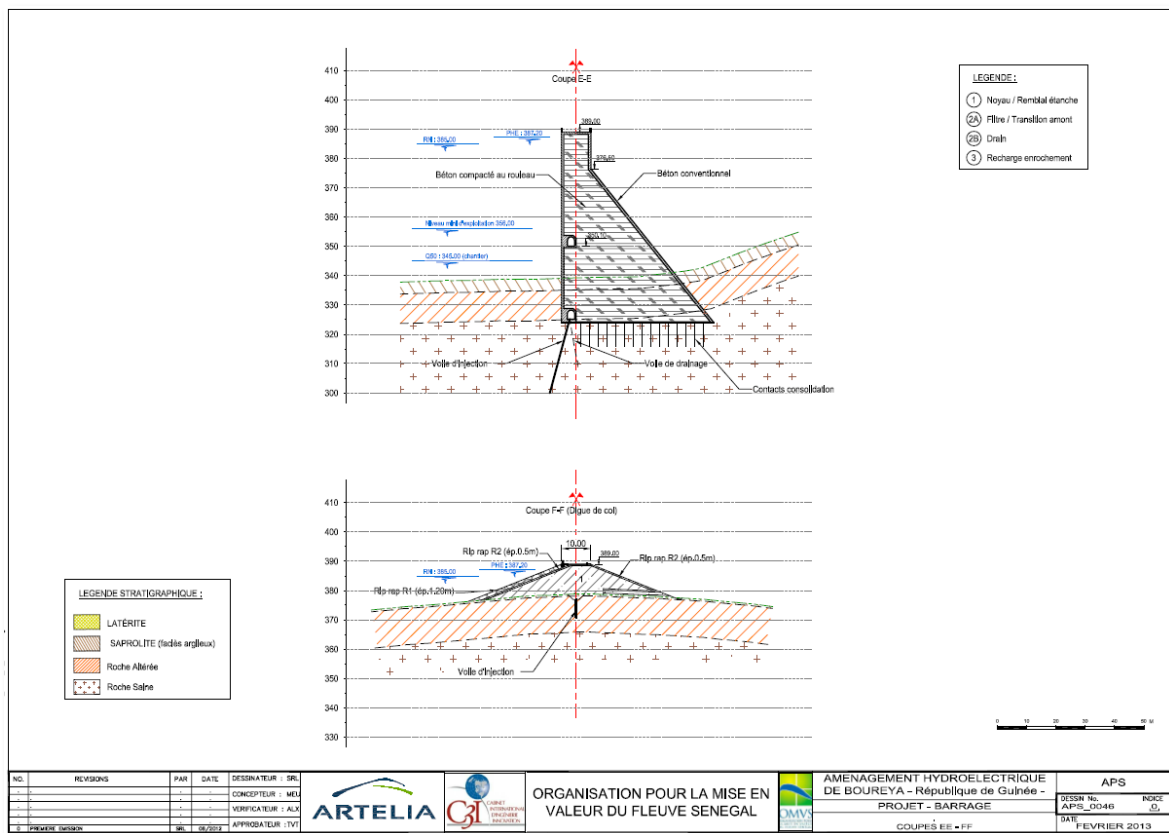


Figure 65 : Coupe-type plot de raccordement RD du barrage de Boureya

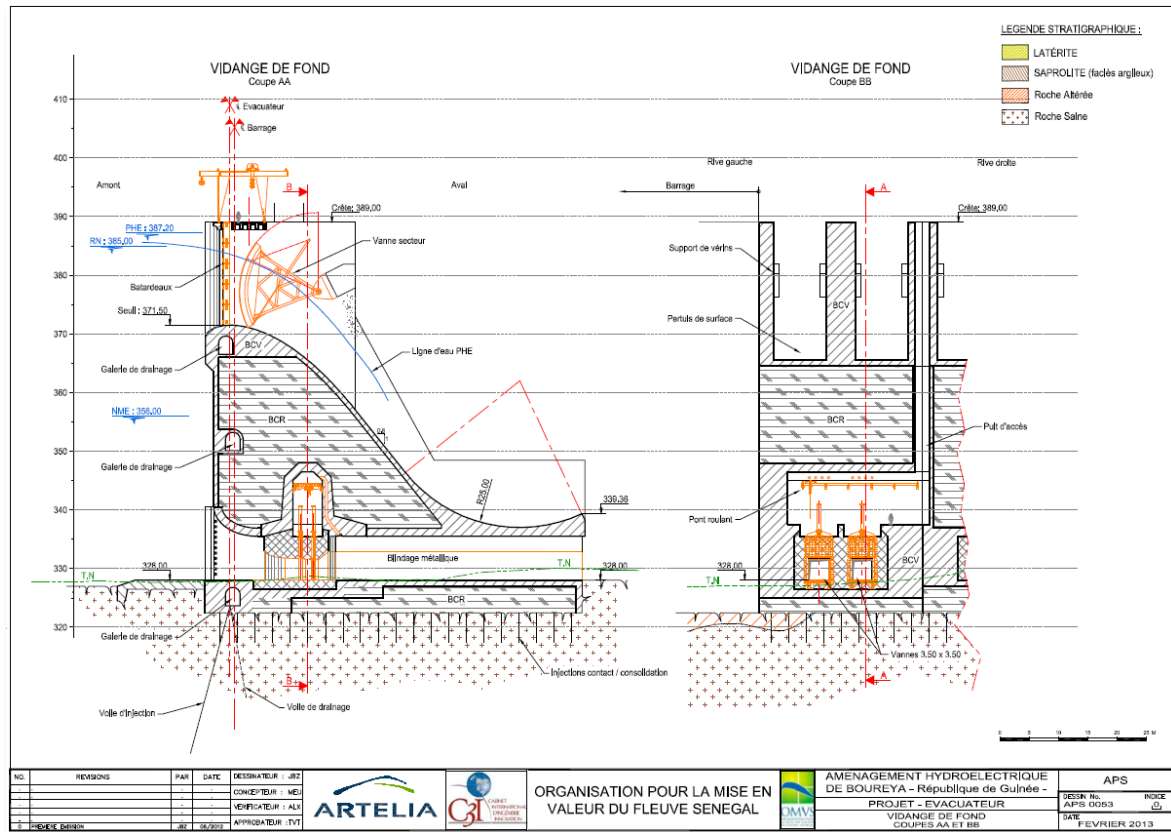


Figure 66 : Evacuateur et vidange de fond du barrage de Boureya

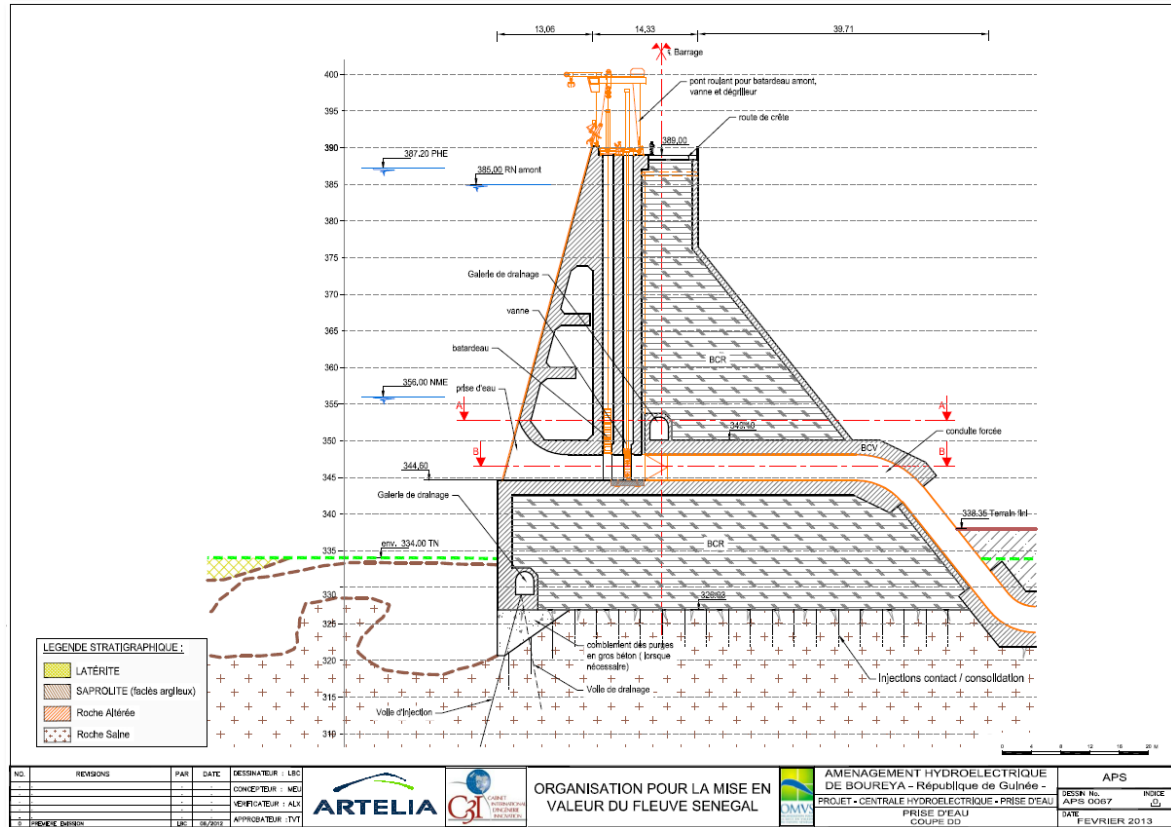


Figure 67 : Prise d'eau du barrage de Boureya



### 5.5.4 Barrage de Gouina (Bafing)

Les chutes de Gouina sont situées sur le fleuve Sénégal en territoire malien, à 80 km et 64 km respectivement en amont de la ville de Kayes et de Félou, à 195 km en aval du barrage de Manantali.

Le but de l'aménagement est de produire de l'énergie hydroélectrique en exploitant, de façon optimale, la hauteur de chute naturelle (15 m) du site et le débit du fleuve Sénégal partiellement régularisé par le barrage de Manantali. Le barrage de Gouina est un barrage au fil de l'eau.

Les travaux débutés en 2013 et toujours en cours (la mise en service est prévue en 2021) comprennent les réalisations suivantes :

- Un barrage poids en béton d'une hauteur maximale sur terrain naturel de 19 m et d'une longueur en crête de 1230 m,
- Un canal d'amenée,
- Un canal de fuite,
- Les équipements principaux de l'usine dont 3 groupes type Kaplan d'une puissance installée totale de 140 MW.



Figure 68 : Illustration du barrage projeté de Gouina



Figure 69 : Photo des travaux du barrage de Gouina



Le tableau synoptique ci-dessous synthétise les caractéristiques du barrage de Gouina.

Caractéristiques	unité	Barrage de Gouina
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
rivière		Bafing
pays		Mali
implantation de l'ouvrage en rivière		seuil rectiligne perpendiculaire à l'axe de la rivière permettant d'alimenter le canal usinier
contexte géologique		présence uniforme d'affleurements de grès
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	140 000
Module	m <sup>3</sup> /s	430
débit de crue T1/10	m <sup>3</sup> /s	3 900
débit de crue T1/100	m <sup>3</sup> /s	6 600
débit de crue T1/1000	m <sup>3</sup> /s	8 600
débit de crue T1/10 000 (crue de projet)	m <sup>3</sup> /s	10 600
<b>3 - Reservoir</b>		
niveau de remplissage normal (RN)	m NG	75,00
surface sous RN	km <sup>2</sup>	15,7
cote des plus hautes eaux (PHE)	m NG	79,70
<b>4 - Barrage proprement dit</b>		
type de barrage		Barrage au fil de l'eau
		Seuil équipé d'un canal de dérivation usinier
hauteur maximale sur terrain naturel	m	19
longueur	ml	1230
béton	m <sup>3</sup>	290 000
excavation au rocher	m <sup>3</sup>	900 000
<b>5 - Groupes de turbinage</b>		
type		Kaplan
prises d'eau usinières	nb	3
nombre de groupes de turbines	nb	3
débit d'équipement total de l'usine	m <sup>3</sup> /s	700
chute brute maximale	m	24,9
puissance maximale développée par groupe	MW	49
puissance totale maximale (3 groupes)	MW	140
énergie moyenne	GWh	570 à 620

Tableau 13 : Fiche synoptique du barrage de Gouina



### 5.5.5 Barrage de Gourbassi (Falémé)

Les éléments de ce paragraphe sont issus du rapport de faisabilité et d'APS de SNC-LAVALIN de mai 2012.

Le barrage projeté de Gourbassi se situe sur la Falémé à cheval sur les pays du Sénégal et du Mali. La ville la plus proche est Kédougou.

Le projet consiste à créer une retenue artificielle par un barrage ; la réserve d'eau créée sous la cote de retenue normale de 97 m NGM permettra d'assurer un soutien à l'étiage de 80 m<sup>3</sup>/s à l'aval de l'ouvrage (pour 200 m<sup>3</sup>/s à Bakel) et la chute au barrage est mise à profit pour de la production d'énergie hydroélectrique.

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

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



Figure 70 : Illustration 3D du barrage de Gourbassi

Le tableau synoptique ainsi que les plans insérés dans les pages suivantes synthétisent les caractéristiques du barrage projeté de Gourbassi.



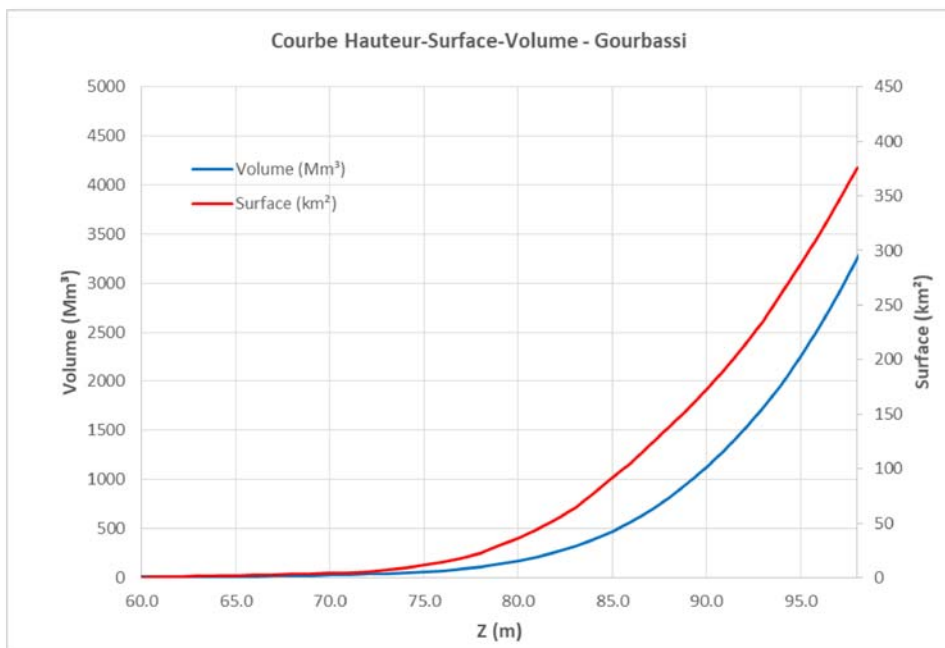
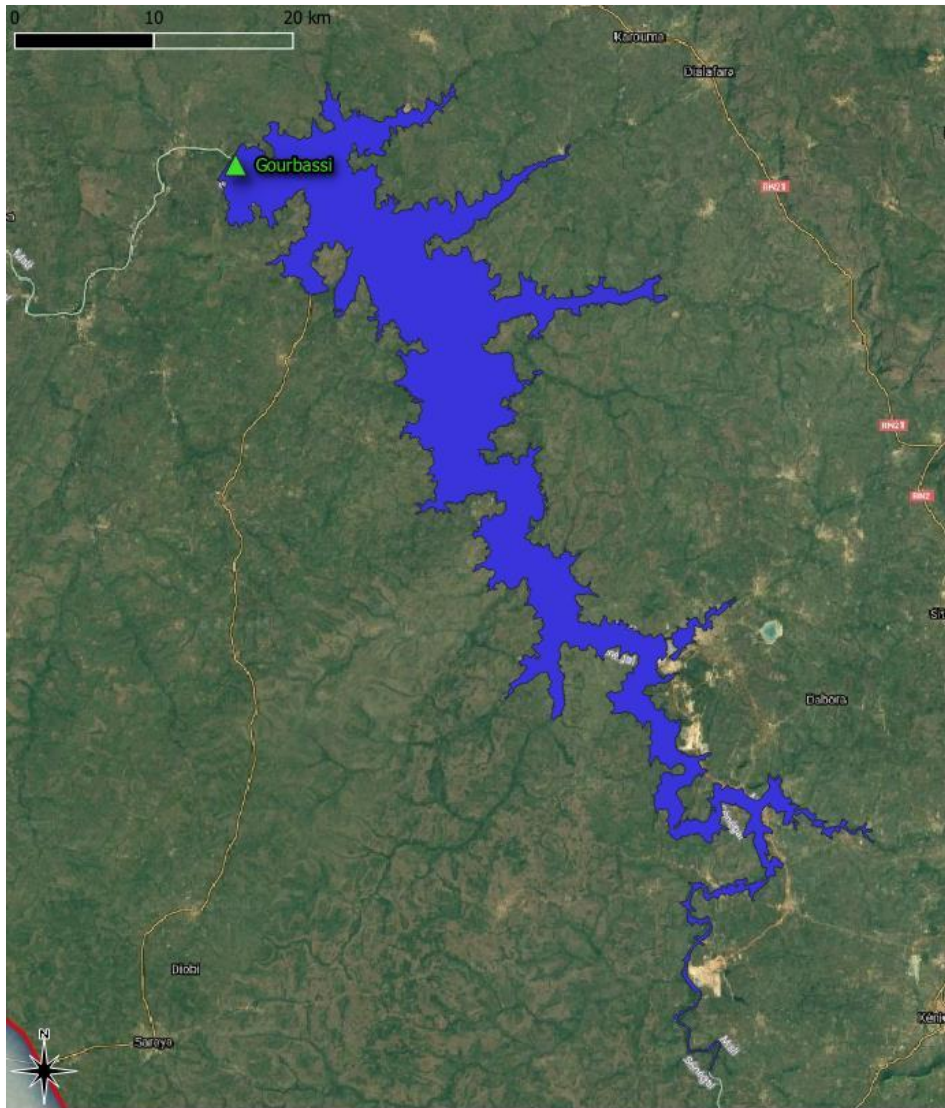


Figure 71 : Retenue du barrage de Gourbassi



Caractéristiques	unité	Barrage de Gourbassi
<b>1 - Localisation et topographie</b>		
rivière		Falémé
pays		Sénégal (RG) - Mali (RD)
type		Barrage en enrochement avec bloc centrale-évacuateur en béton
implantation de l'ouvrage en rivière		perpendiculaire au cours d'eau
contexte géologique		socle au site des ouvrages ainsi qu'aux environs très hétérogène et d'origines diverses, détritiques, volcaniques et chimiques; roc sain constitué de quartzites affleure sur la totalité de la largeur des ouvrages prévus dans le lit mineur de la Falémé
<b>2 - Bassin versant et autres données hydrologiques</b>		
superficie du bassin versant au droit du site du barrage	km <sup>2</sup>	16 250
Crue 20 ans	m <sup>3</sup> /s	1 690
Crue 100 ans	m <sup>3</sup> /s	2 050
Crue 10 000 ans	m <sup>3</sup> /s	2 690
CMP	m <sup>3</sup> /s	4 640
<b>3 - Réservoir</b>		
Cote de RN (retenue normale) - CGmax	m NGM	97,00
Surface à RN	km <sup>2</sup>	342
Volume à RN	Mm <sup>3</sup>	2 900
Cote de PHE (plus hautes eaux)	m NGM	97,61
Cote de PHE extrêmes	m NGM	98,13
<b>4 - Barrage</b>		
type		Barrage en enrochement avec bloc centrale évacuateur en béton
Cote de crête	m NGM	100,20
Hauteur maximale au-dessus du TN	m	25
Longueur en crête (barrage en remblai)	m	1 435
Longueur en crête de la digue de col	m	710
<b>5 - Evacuateur de crue vanné</b>		
Crue de projet (10 000 ans)	m <sup>3</sup> /s	2 690
Vannes	nb	4
Dimensions vannes	m x m	8,75 x 11,4
Largeur déversante	m	35
Cote du seuil	m NGM	87,30
Type de coursier		Parabolique
Longueur du coursier	m	40
Largeur aval du coursier	m	35
<b>8 - Restitution aval</b>		
Type		Pertuis de fond vanné
Cote de calage	m NGM	71
Vanne de garde		1 vanne plate
Vanne de réglage		1 vanne à jet creux Ø 3000 mm
Débit maximal sous RN	m <sup>3</sup> /s	80
<b>9 - Prise d'eau</b>		
Cote de calage	m NGM	75,80
Nombre de prises d'eau	nb	2
Débit d'équipement total	m <sup>3</sup> /s	80
Vannes de tête		Vannes wagon 3 m x 3 m
<b>10 - Centrale hydroélectrique</b>		
Débit total équipement	m <sup>3</sup> /s	80
Energie annuelle moyenne	GWh	68,4
Nombre de turbines	Unité	2
Puissance totale installée	MW	18
Type de turbine	-	Kaplan à axe vertical

Tableau 14 : Fiche synoptique du barrage de Gourbassi

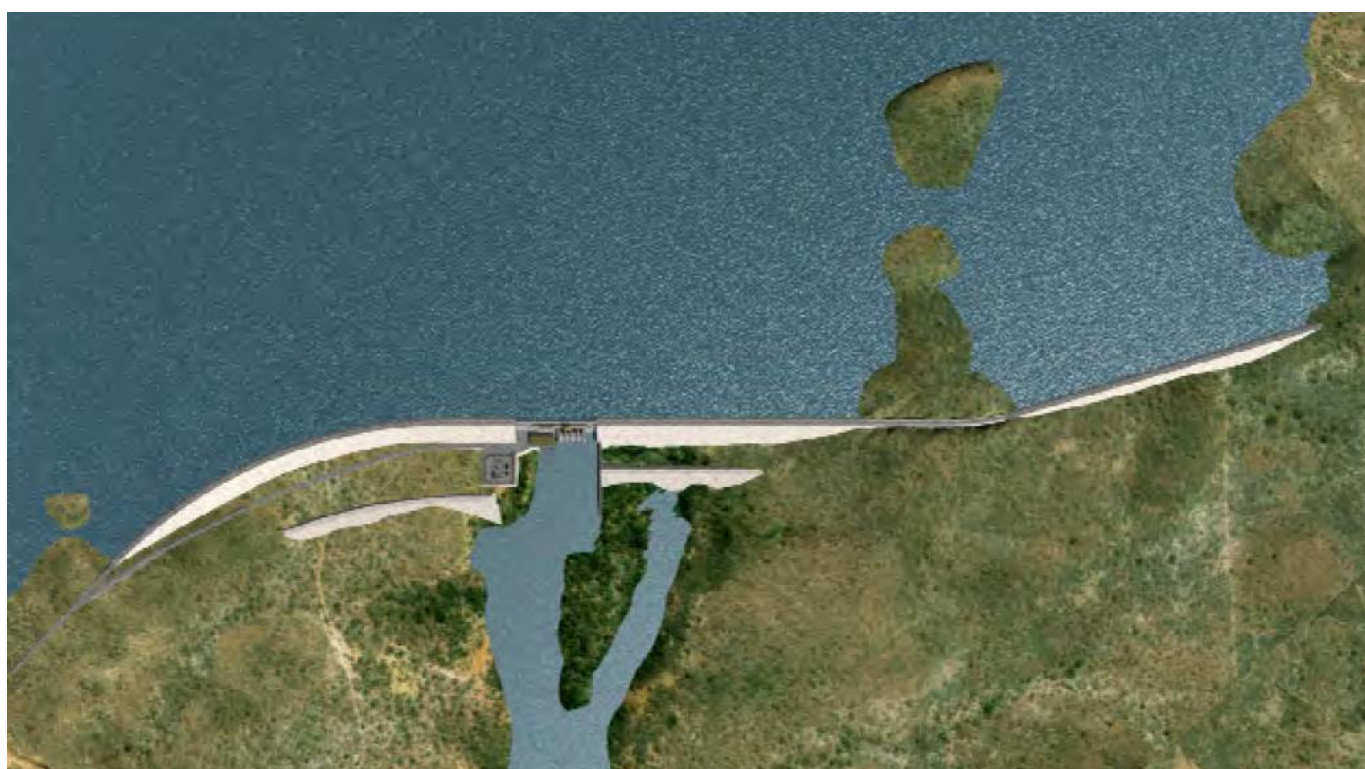
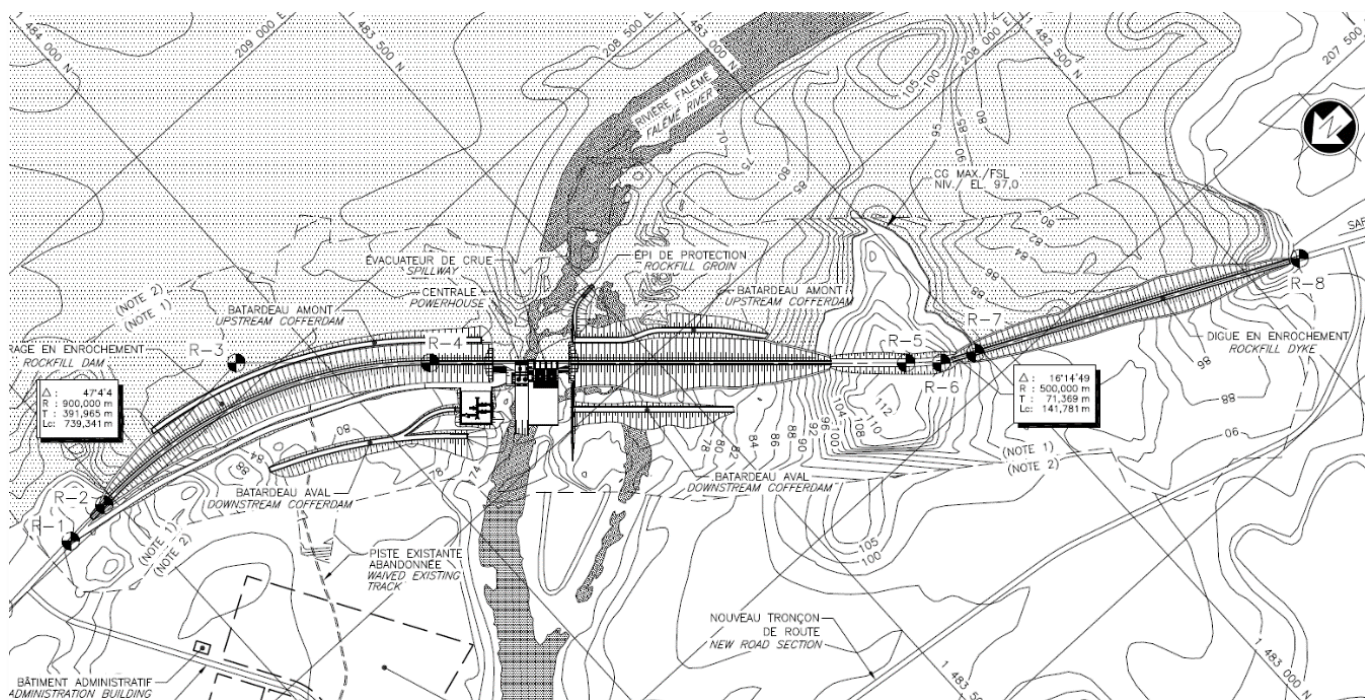


Figure 72 : Vues en plan du barrage de Gourbassi