



HAUT COMMISSARIAT DE L'OMVS

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

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



RAPPORT DES RECONNAISSANCES COMPLÉMENTAIRES (VERSION PROVISOIRE)

Janvier 2012



**SNC•LAVALIN
International**

020857-2000-40ER-0001-PA

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

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

**RAPPORT DES RECONNAISSANCES COMPLÉMENTAIRES
(VERSION PROVISOIRE)**

Janvier 2012

Préparé par : Rédacteurs multiples

Vérifié par : Thierry TURQ

Approuvé par : Ramy K. LOUIS

Le présent rapport est la version provisoire du rapport des reconnaissances complémentaires (topographie, géologie et géotechnique).

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

Ont participé aux reconnaissances complémentaires de 2011 et contribué à la préparation du présent rapport :

Pierre de COURVAL	Expert géologue
François FERLAND	Ingénieur en géotechnique
Diakalia KOUYATE	Ingénieur résident
Adama A. MAIGA	Ingénieur géotechnicien
Mansa TOUNKARA	Expert topographe
Sébastien VIAU	Ingénieur géologue

SLII tient à remercier l'équipe de l'OMVS pour son support dans la préparation et le déroulement des campagnes de reconnaissances complémentaires de 2011, et plus particulièrement, Monsieur Mahamadou M. DIAKITE, Chef Division Aménagements Hydraulique, Hydroélectrique et Transport Fluvial à la DIR, pour sa participation active à la mission de contrôle des travaux sur le terrain effectuée dans la zone de Gourbassi en mars 2011.

AVIS AU LECTEUR

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

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

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

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
1. INTRODUCTION	1.1
1.1 Préambule	1.1
1.2 Situation géographique	1.1
1.2.1 Localisation et accès principaux	1.1
1.2.2 Configuration générale du site de Gourbassi	1.2
1.3 Rappel des études et reconnaissances antérieures	1.2
1.3.1 Études de référence	1.2
1.3.2 Travaux de reconnaissance antérieurs	1.3
1.4 Objectifs et portée des reconnaissances complémentaires de 2011	1.4
1.4.1 Objectifs des reconnaissances complémentaires	1.4
1.4.2 Organisation de SLII pour les reconnaissances complémentaires	1.5
1.4.3 Portée des reconnaissances complémentaires de 2011	1.5
1.4.3.1 Topographie à grande échelle du bassin de retenue	1.5
1.4.3.2 Relevés topographiques et hydrographiques	1.6
1.4.3.3 Cartographie géologique	1.6
1.4.3.4 Puits d'exploration	1.7
1.4.3.5 Forages carottés et essais <i>in situ</i>	1.8
1.4.3.6 Recherche de bancs d'emprunt et de carrières.	1.9
1.4.3.7 Essais de laboratoire	1.10
1.4.4 Échéancier et logistique	1.10
1.4.4.1 Travaux de terrain	1.10
1.4.4.2 Travaux au siège	1.11
2. RECONNAISSANCES TOPOGRAPHIQUES	2.1
2.1 Rappel des données topographiques disponibles	2.1
2.2 Rattachements en altimétrie et planimétrie	2.1
2.2.1 Nivellement	2.1
2.2.2 Géodésie	2.2
2.3 Topographie à grande échelle du bassin de retenue	2.3
2.3.1 Données d'entrée	2.3
2.3.2 Réalisation	2.4
2.3.2.1 Numérisation	2.4
2.3.2.2 Géoréférencement	2.5
2.3.2.3 Vectorisation	2.8
2.3.3 Résultats	2.9
2.4 Relevés topographiques et hydrographiques dans la zone des ouvrages	2.10
2.4.1 Procédés de mesure	2.10
2.4.1.1 Rattachement altimétrique	2.10
2.4.1.2 Levers topographiques et relevés bathymétriques	2.10
2.4.2 Résultats	2.12
2.5 Synthèse et conclusion des travaux topographiques réalisés en 2011	2.13
3. TRAVAUX DE RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE	3.1
3.1 Rappel des données géologiques et géotechniques disponibles	3.1
3.2 Géologie	3.1
3.2.1 Géologie et tectonique régionale	3.1
3.2.1.1 Les formations birrimiennes	3.1

3.2.1.2	Les granitisations	3.2
3.2.1.3	Géologie de surface	3.3
3.2.1.4	Géologie structurale	3.3
3.2.2	Séismicité	3.5
3.3	Résultats des reconnaissances de terrain	3.6
3.4	Cartographie géologique	3.6
3.5	Puits d'exploration	3.7
3.5.1	Explorations et programme d'essais en laboratoire	3.7
3.5.2	Stratigraphie observée et résultats des essais de laboratoire	3.9
3.6	Forages carottés et essais in situ	3.13
3.7	Géologie du site du barrage	3.16
3.7.1	Description générale	3.16
3.7.1.1	Lithologie	3.16
3.7.1.2	Structure	3.17
3.7.2	Fondation des ouvrages	3.17
3.7.2.1	Généralités	3.17
3.7.2.2	Lit mineur	3.17
3.7.2.3	Appui rive droite	3.18
3.7.2.4	Appui rive gauche	3.19
3.7.2.5	Digue de col	3.20
3.8	Géologie de la cuvette de retenue	3.20
3.8.1.1	Géomorphologie	3.20
3.8.1.2	Lithologie et structure	3.21
3.8.1.3	Stabilité des versants	3.21
3.8.1.4	Étanchéité de la cuvette de retenue	3.23
3.9	Matériaux de construction	3.23
3.9.1	Généralités	3.23
3.9.2	Matériaux imperméables	3.24
3.9.2.1	Localisation et description générale de la source d'emprunt	3.24
3.9.2.2	Explorations et programme d'essais en laboratoire	3.24
3.9.2.3	Résultats des essais de laboratoire	3.26
3.9.2.4	Calcul des quantités prouvées et potentielles	3.29
3.9.3	Enrochements	3.30
3.9.4	Granulats	3.35
3.9.5	Matériaux d'excavation	3.35
3.10	Synthèse et conclusion des travaux de reconnaissance géologique et géotechnique	3.36
3.11	Reconnaissance géologiques et géotechniques complémentaires pour la phase d'APD	3.37
3.11.1	Reconnaissances géologiques	3.37
3.11.2	Reconnaissances géotechniques	3.37

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS

Date	N° de révision	Description de la modification et/ou de l'émission
Janvier 2012	PA	Version provisoire

PHOTO DE COUVERTURE : Foreuse en position sur FC-10-04 (île centrale),
juin 2011

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A PLANCHES

ANNEXE B DOSSIER DE BORNAGE ET DE PIQUETAGE

ANNEXE C RAPPORTS DES FORAGES

ANNEXE D RAPPORTS DES PUIITS D'EXPLORATION

ANNEXE E PHOTOGRAPHIES DES CAROTTES DE FORAGES

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1-1 Tableau récapitulatif des puits réalisés	1.7
Tableau 1-2 Tableau récapitulatif des forages et essais <i>in situ</i> réalisés	1.9
Tableau 3-1 Liste des séismes enregistrés dans un rayon de 500 km autour de Goubassi	3.5
Tableau 3-2 Puits d'exploration le long de l'ouvrage de retenue - Localisation	3.8
Tableau 3-3 Puits d'exploration le long de l'ouvrage de retenue – Essais de classification géotechnique	3.9
Tableau 3-4 Stratigraphie au droit des puits d'exploration	3.9
Tableau 3-5 Puits d'exploration le long de l'ouvrage de retenue – Caractéristiques géotechniques	3.11
Tableau 3-6 Coefficient d'activité de certains minéraux	3.13
Tableau 3-7 Forages carottés - Stratigraphie	3.13
Tableau 3-8 Forages carottés – Essais SPT	3.14
Tableau 3-9 Forages carottés – Récupération et RQD (roc altéré)	3.15
Tableau 3-10 Forage carottés FC-10-01 – Essais Lugeon (roc altéré)	3.15
Tableau 3-11 Forages carottés – Récupération et RQD (roc sain)	3.15
Tableau 3-12 Forage carotté FC-10-03 – Essais Lugeon (roc sain)	3.16
Tableau 3-13 Source potentielle d'emprunt – Localisation des puits d'exploration	3.24
Tableau 3-14 Source potentielle d'emprunt – Essais index de laboratoire	3.26
Tableau 3-15 Source potentielle d'emprunt – Caractéristiques géotechniques	3.27
Tableau 3-16 Source potentielle d'emprunt – Essais de compactage modifié	3.29
Tableau 3-17 Source potentielle d'emprunt – Caractéristiques physiques	3.29

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Figure 1-1 Vues des foreuses utilisées pour les sondages.....	1.8
Figure 2-1 NGAO - Canevas de base de l'Afrique de l'Ouest – Situation en 1985.....	2.2
Figure 2-2 Emprise des travaux topographiques IGN sur fond carte mondiale Delorme.....	2.4
Figure 2-3 Exemple de carte numérisée – Carte 1N – Zone des ouvrages à Gourbassi.....	2.4
Figure 2-4 Écart entre 2 feuilles – Les courbes raccordent bien en haut de l'image mais divergent en bas.....	2.5
Figure 2-5 Mosaïque géoréférencée.....	2.6
Figure 2-6 Index des 38 dalles géoréférencées composant la mosaïque du bassin de retenue de Gourbassi.....	2.7
Figure 2-7 Exemple de rendu au 1 : 20 000 ^e en zone de raccord.....	2.8
Figure 2-8 Exemple de rendu altimétrie et hydrographie au 1 : 20 000 ^e	2.9
Figure 2-9 Étendue du MNT du bassin de retenue de Gourbassi.....	2.10
Figure 2-10 Vue des bornes permanentes implantées au site des ouvrages – Côté Mali.....	2.11
Figure 2-11 Vue des bornes permanentes implantées au site des ouvrages – Côté Sénégal.....	2.12
Figure 2-12 Modèle numérique de terrain de la zone des ouvrages.....	2.13
Figure 3-1 Esquisse géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba.....	3.2
Figure 3-2 Schéma géologique et structurel de la fenêtre de Kéniéba.....	3.4
Figure 3-3 Position des séismes enregistrés dans un rayon de 500 km autour de Gourbassi.....	3.6
Figure 3-4 Affleurement de quartzite en rivière.....	3.7
Figure 3-5 Axe des ouvrages de retenue – Distribution granulométrique des sols résiduels.....	3.11
Figure 3-6 Axe des ouvrages de retenue – Abaque de plasticité des sols résiduels....	3.12
Figure 3-7 Géologie et structure du bassin de retenue de Gourbassi.....	3.22
Figure 3-8 Source potentielle d'emprunt – Distribution granulométrique.....	3.28
Figure 3-9 Source potentielle d'emprunt – Abaque de plasticité.....	3.28
Figure 3-10 Vue de l'affleurement A.....	3.32
Figure 3-11 Vue de l'affleurement B.....	3.32
Figure 3-12 Vue de l'affleurement C.....	3.33
Figure 3-13 Vue de l'affleurement D.....	3.33

Figure 3-14 Vue de l'affleurement E3.34
Figure 3-15 Vue de l'affleurement F3.34

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Réf. 1 **BASSOT Jean-Pierre**, *ÉTUDE GÉOLOGIQUE DU SÉNÉGAL ORIENTAL ET DE SES CONFINS GUINÉO-MALIENS*, Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières N° 40, 1966
- Réf. 2 **GAC Jean Yves et al.**, *LE HAUT BASSIN VERSANT DU FLEUVE SÉNÉGAL*, Octobre 1990
- Réf. 3 **MICHEL Pierre**, *LES BASSINS DES FLEUVES SÉNÉGAL ET GAMBIE – ÉTUDE GÉOMORPHOLOGIQUE*, Mémoires ORSTOM n° 63, 1973
- Réf. 4 **SENEGAL-CONSULT SUISSE**, *ETUDE DE PREINVESTISSEMENT POUR LA REGULARISATION DU FLEUVE SENEGAL, PROJET D'UN SYSTEME DE CONTROLE DES DEBITS DANS LE BASSIN DU HAUT SENEGAL, VOLUME 1.A, RAPPORT GENERAL*, 1970
- Réf. 5 **SENEGAL-CONSULT SUISSE**, *ETUDE DE PREINVESTISSEMENT POUR LA REGULARISATION DU FLEUVE SENEGAL, PROJET D'UN SYSTEME DE CONTROLE DES DEBITS DANS LE BASSIN DU HAUT SENEGAL, VOLUME 2, TOPOGRAPHIE*, 1970
- Réf. 6 **SENEGAL-CONSULT SUISSE**, *ETUDE DE PREINVESTISSEMENT POUR LA REGULARISATION DU FLEUVE SENEGAL, PROJET D'UN SYSTEME DE CONTROLE DES DEBITS DANS LE BASSIN DU HAUT SENEGAL, VOLUME 7, AMENAGEMENTS DE GOUBASSI, MANANTALI ET BOUREYA*, 1970
- Réf. 7 **SENEGAL-CONSULT SUISSE**, *ETUDE DE PREINVESTISSEMENT POUR LA REGULARISATION DU FLEUVE SENEGAL, PROJET D'UN SYSTEME DE CONTROLE DES DEBITS DANS LE BASSIN DU HAUT SENEGAL, VOLUME 9, GEOLOGIE*, 1970
- Réf. 8 **SNC-Lavalin International Inc.**, *ÉTUDE DE FAISABILITÉ ET D'AVANT-PROJET SOMMAIRE (APS) DE L'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE GOUBASSI – Rapport de lancement et d'orientation (Version finale)*, Octobre 2010
- Réf. 9 **SRK Consulting**, *OJVG Sabodala Project Feasibility Study Revised Technical Report*, October 2010

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES UTILISÉS DANS LE TEXTE

APD	Avant-projet détaillé
APS	Avant-projet sommaire
CRD	Centre Régional de Documentation de l'OMVS
E	Est
IGM	Institut Géographique du Mali
IGN	Institut Géographique National (France)
Lu	Unité Lugeon
Ma	Millions d'années
MNT	Modèle numérique de terrain
m s.m.	mètre au-dessus du niveau de la mer
N	Nord
NGAO	Nivellement Général de l'Afrique de l'Ouest.
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
PGIRE	Programme de Gestion Intégrée des Ressources en Eau et de Développement des Usages à Buts Multiples dans le Bassin du Fleuve Sénégal
S	Sud
SENCO	SENEGAL-CONSULT
SLII	SNC-Lavalin International Inc.
SPT	Essai de pénétration standard
USBR	<i>United States Bureau of Reclamation</i>
UTM	« <i>Universal Transverse Mercator</i> »
W	Ouest
WGS84	« <i>World Geodetic System 1984</i> » (système géodésique mondial)

LISTE DES UNITÉS

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

CHAPITRE 1

Introduction

1. INTRODUCTION

1.1 PRÉAMBULE

Le site du projet d'aménagement hydroélectrique de Gourbassi se trouve sur la rivière Falémé au kilomètre 250 en amont de la confluence Falémé – fleuve Sénégal, dans une section où le cours d'eau marque la frontière entre le Mali et le Sénégal.

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

Le présent rapport des reconnaissances complémentaires constitue un recueil des résultats des reconnaissances complémentaires (topographie, géologie et géotechnique) menées par SLII pour caractériser les terrains de fondation et le type de barrage le plus approprié au site de Gourbassi préalablement à l'établissement de l'APS de l'aménagement.

Ce rapport est le quatrième rapport remis à l'OMVS dans le cadre de l'étude de faisabilité et d'avant-projet sommaire de l'aménagement hydroélectrique de Gourbassi conformément aux termes du Contrat entre le Haut Commissariat de l'OMVS et SLII.

1.2 SITUATION GÉOGRAPHIQUE

1.2.1 Localisation et accès principaux

Le projet de Gourbassi se situe sur la rivière Falémé 250 km en amont de sa confluence avec le fleuve Sénégal, à la frontière avec le Mali en rive droite (région de Kayes, cercle de Kéniéba, commune rurale de Dialafara) et le Sénégal en rive gauche (région de Kédougou, préfecture de Saraya, communauté rurale de Missira Sirimana).

Le site du barrage envisagé est localisé entre les villages maliens de Bérola (anciennement Gourbassi) et Farinkounda sur le tronçon de la Falémé s'écoulant en direction Nord, aux coordonnées UTM 29N WGS84 suivantes : 208 000 m E et 1 483 614 m N (jonction de l'axe proposé et de la piste d'accès rive droite).

Deux accès routiers sont possibles pour rejoindre le site de Gourbassi (voir planche Go1 en annexe A) :

1) Accès Est (rive droite)

De Kayes (Mali) au Nord, la route Kayes-Kéniéba non revêtue dessert les mines de Yatéla et Sadiola puis conduit vers le Sud jusqu'au village de Bourdala. De Kéniéba (Mali) au Sud, la même route dessert d'abord les mines de Tabakoto et Loulo vers le Nord avant de conduire jusqu'à Bourdala.

De Bourdala, en direction de l'Ouest jusqu'à Kéniégoulou puis du Sud en direction de Linguékoto, une piste ravinée conduit jusqu'au village de

Bérola en rive droite de la Falémé. De Bérola, la petite piste longeant la Falémé en direction de Farinkounda permet de rejoindre la rive droite du site des ouvrages.

2) Accès Sud (rive gauche)

De Kédougou (Sénégal), la route nationale bitumée RN7 en direction du Nord-Est conduit à Saraya. De Saraya, en direction du Nord, la route départementale D507 non revêtue traverse les villages de Kondokhou, Missira-Sirimana, Balakonko et conduit jusqu'au village de Saiensoutou en rive gauche de la Falémé, village situé en face de celui de Bérola. Une petite piste vers l'Ouest permet de rejoindre la rive gauche du site des ouvrages.

1.2.2 Configuration générale du site de Gourbassi

Dans la zone située entre les villages de Bérola et Farinkounda, la vallée de la Falémé est caractérisée par une absence relative de relief. Il s'agit essentiellement d'une plaine horizontale ou à pente très douce, et sur laquelle il est facile de circuler en véhicule, même à l'extérieur des pistes ; seules quelques petites collines rocheuses s'élèvent ici et là au-dessus de la plaine tandis que de petits marigots l'entaillent.

Au site envisagé pour les ouvrages, le cours de la Falémé est séparé par une île rocheuse d'une largeur de 200 m et d'une longueur de 650 m environ. À cet endroit, la rive droite présente une plaine assez uniforme, séparée par des pédiplaines, avec un plateau assez étendu à la cote 80 m s.m. Le terrain y est très peu accidenté. En rive gauche, il y a une colline assez marquée qui atteint la cote 123 m s.m. Sur le cours de la rivière, le chenal principal est, en général, de l'ordre de 5 à 10 m plus bas que le niveau général des berges. En rive droite, le talus est constitué d'une colline latéritique alors qu'en rive gauche, il est principalement rocheux.

1.3 RAPPEL DES ÉTUDES ET RECONNAISSANCES ANTÉRIEURES

1.3.1 Études de référence

Il existe un grand nombre d'études et de documents consacrés principalement à la topographie, hydrologie, géomorphologie, podologie, géologie, écologie du bassin du fleuve Sénégal et dans une moindre mesure du bassin du Sénégal Supérieur. La géologie de la zone birrimienne (boutonnière de Kédougou-Kéniéba) de la vallée de la Falémé à cheval sur le Sénégal oriental et l'Ouest du Mali a pour sa part fait l'objet de nombreux travaux en raison du nombre d'indices minéralisés et gisements de métaux qu'elle contient (or en particulier).

Toutefois, seules les études de SENEGAL-CONSULT entreprises en 1968-1970 dans le cadre du projet d'un système de contrôle des débits dans le bassin du Sénégal Supérieur (ou « Haut Bassin ») traitent spécifiquement de l'aménagement de Gourbassi. Depuis lors, aucune nouvelle reconnaissance ou prospection de la zone du barrage projeté et aucune révision de l'avant-projet de Gourbassi n'ont été menées.

Les rapports de SENEGAL-CONSULT représentent donc la seule étude de référence relative à cet aménagement : le rapport général expose les objectifs et le déroulement des études menées par SENEGAL-CONSULT et fournit une description du bassin du

fleuve Sénégal [Réf. 4] ; le volume 2 est consacré aux données de base topographiques [Réf. 5] ; l'aménagement de Gourbassi est décrit dans le volume 7 [Réf. 6] ; et le volume 9 présente l'étendue et les résultats des travaux de reconnaissance géologique réalisés sur différents sites [Réf. 7].

1.3.2 Travaux de reconnaissance antérieurs

La première mission de reconnaissance du site de Gourbassi a été effectuée par SENEGAL-CONSULT en novembre 1967 essentiellement par voie aérienne (survol par hélicoptère et avion du cours de la Falémé situé en territoires malien et sénégalais). Pendant cette première reconnaissance, le site de Gourbassi sur la Falémé a été repéré¹. Suite à cette première mission, les travaux suivants ont été réalisés :

Topographie et cartographie

SENEGAL-CONSULT avait sous-traité à l'IGN la cartographie au 1 : 20 000^e des principaux bassins de retenue. En novembre et décembre 1967, des photographies aériennes ont été prises pour l'établissement des cartes. Des restitutions au 1 : 20 000^e avec équidistances de 5 m jusqu'à la cote 106 IGN ont été effectuées pour le bassin de retenue de Gourbassi (667 km²).

Pour la cartographie au 1 : 2 000^e du site du barrage, des topographes se sont rendus sur le terrain début 1968 et ont effectué des travaux de triangulation et chaînes de nivellement en préparation de la couverture aérophotogrammétrique. SENEGAL-CONSULT a effectué l'aérophotogrammétrie de deux sites potentiels à Gourbassi². La restitution a été faite au 1 : 2 000^e avec équidistance de 2 m et intercalaire de 1 m en terrain plat avec un système planimétrique indépendant de celui des cartes IGN bien que s'en rapprochant.

Géologie

D'avril à juin 1968, quatre sondages mécaniques ont été réalisés au site de Gourbassi, pour une longueur totale de 164 m.

Une seconde campagne a débuté en novembre 1968 pour se terminer en mars 1969 et concerne trois sondages pour une longueur totale de 120 m.

Il convient ici de rappeler que SENEGAL-CONSULT avait inventorié trois sites potentiels de barrages à Gourbassi jugés plus ou moins équivalents du point de vue topographique : un premier site situé dans le coude de la Falémé près du village de Farinkounda, un second site localisé dans le premier coude de la rivière en aval du village de Bérola (ex-Gourbassi) et un troisième site situé entre les deux premiers sur un tronçon de la Falémé s'écoulant en direction Nord où le cours de la rivière est séparé par une île rocheuse. La première campagne de sondages a montré que le second site répertorié présentait un contexte géologique défavorable. Les données cartographiques restituées du premier site à partir de cartes topographiques au 1 : 50 000^e indiquaient

¹ Ainsi que ceux de Moussala et Yaléa sur la Falémé, sites qui ont ensuite été éliminés après une reconnaissance plus approfondie.

² Désignés plus loin dans le texte comme deuxième et troisième sites.

que la hauteur des appuis pour ce site potentiel était insuffisante. Les deux premiers sites ont été abandonnés et seul le troisième site a été retenu et étudié par SENEGAL-CONSULT.

Au cours de sa première prospection de terrain en juin 2010, SLII a effectué la reconnaissance de plusieurs sites potentiels d'implantation d'un barrage dans la zone Goubassi-Farinkounda, dont les trois sites répertoriés par SENEGAL-CONSULT.

SLII a pu faire les observations directes suivantes :

Premier site

Une colline quartzitique forme un relief marqué en rive droite alors que la rive gauche est, par contre, constituée d'un éperon rocheux sans relief ; le lit de la rivière n'est pas rocheux ; le site n'est pas favorable à la construction d'un barrage de retenue.

Deuxième site

Le lit de la rivière présente un seuil rocheux, mais la hauteur des reliefs de part et d'autre de la rivière est nettement insuffisante pour pouvoir créer une retenue importante.

Troisième site

À cet endroit un alignement de petites collines se retrouve de part et d'autre de la Falémé et de grandes étendues de quartzite affleurent en rivière et sur les rives.

La visite de terrain de juin 2010 a permis de recouper les résultats des travaux de SENEGAL-CONSULT et de valider le choix du troisième site comme présentant seul des conditions à la fois topographiques et géologiques propices à la construction d'un barrage de retenue.

1.4 OBJECTIFS ET PORTÉE DES RECONNAISSANCES COMPLÉMENTAIRES DE 2011

1.4.1 Objectifs des reconnaissances complémentaires

Au vu des données de base disponibles limitées, SLII a établi un programme de reconnaissances complémentaires (tel que décrit dans le rapport de lancement et d'orientation³) et fait réaliser des travaux topographiques et hydrographiques au site de l'aménagement projeté ainsi qu'une reconnaissance géologique et géotechnique sur l'axe du barrage retenu et aux sites des sources d'emprunt.

Les reconnaissances complémentaires avaient pour objectifs principaux :

- 1) D'établir les courbes hauteur-volume-surface de la retenue à partir du plan topographique de la cuvette ;

³ Chapitre 5 de [Réf. 8]

- 2) De connaître la topographie détaillée du site sélectionné afin de choisir la meilleure implantation et orientation du barrage et de ses ouvrages annexes (évacuateur de crues, digues latérales, etc.), de pouvoir établir les plans et dessins nécessaires à l'APS ; et de produire un bordereau des quantités détaillé ; et
- 3) D'obtenir une meilleure connaissance et compréhension de la géologie du site présumé du barrage ainsi que des propriétés des matériaux rencontrés aux sites des ouvrages et des bancs d'emprunt.

1.4.2 Organisation de SLII pour les reconnaissances complémentaires

Les reconnaissances complémentaires impliquent plusieurs domaines d'étude et de travaux : géologie, géotechnique, hydrographie, topographie et cartographie.

Ces travaux de reconnaissance ont demandé la sélection d'entreprises spécialisées et l'octroi de contrats de topographie, forage et essais en laboratoire.

SLII a donc fait appel à plusieurs sous-traitants :

- IGN France International pour la cartographie de la cuvette ;
- TOPO-DOUMBADJI, cabinet d'expertise topographique malien, pour les levés topographiques et relevés hydrographiques ;
- Société AGTS Mali pour les sondages par forages carottés et les essais de perméabilité ;
- Laboratoire SIED Sarl (Bamako, Mali) pour les essais en laboratoire.

Un ingénieur en géotechnique et un expert topographe de BEHYGEC (Mali) ont assuré en continu, pour le compte de SLII, la supervision du déroulement des travaux sur site et la vigilance du respect des règles de sécurité et d'environnement par les entreprises. La coordination entre les équipes sur le terrain et les équipes au siège de SLII a été assurée quant à elle par l'Ingénieur résident (BEHYGEC).

Plusieurs spécialistes de SLII ont fait des visites de courte durée sur le terrain permettant de contrôler les données et informations recueillies sur place et d'assurer la continuité entre les travaux de reconnaissance, l'interprétation des résultats et les études de conception ultérieures correspondant à leur spécialité.

1.4.3 Portée des reconnaissances complémentaires de 2011

1.4.3.1 Topographie à grande échelle du bassin de retenue

Compte tenu de la non disponibilité avérée des cartes topographiques de SENEGAL-CONSULT au 1 : 20 000^e du bassin hydrographique de Gourbassi, IGN France International a été chargé par SLII de la fourniture, de la numérisation, du géoréférencement et de la vectorisation des données résultant des travaux de topographie au 1 : 20 000^e réalisés par l'Institut Géographique National sur la région de Gourbassi en 1968 pour le compte de SENEGAL-CONSULT.

1.4.3.2 Relevés topographiques et hydrographiques

Les travaux topographiques et hydrographiques menés par TOPO-DOUMBADJI ont consisté en :

- 1) Lever topographique au site des ouvrages afin d'établir des courbes de niveau équidistantes de 1 m d'une bande de terrain de 100 m en amont et en aval de l'axe présumé qui englobe l'emprise du barrage et des ouvrages annexes (zone de 100 ha au total); y compris :
 - a) établissement d'un canevas de points rattaché en altimétrie au réseau général du nivellement IGN et en planimétrie au système de coordonnées géodésiques WGS84 sur les deux rives de la rivière Falémé ;
 - b) lever des détails incluant localisation et identification des cours d'eau, et tous autres éléments géomorphologiques caractéristiques des zones à lever, et localisation et identification de toutes les pistes, routes, clôtures, bâtiments et tous autres ouvrages le cas échéant.
- 2) Bornage et piquetage des zones à lever incluant l'implantation de deux bornes permanente sur chaque rive de la rivière, rattachées au système de coordonnées géodésiques WGS84.
- 3) Rattachement en altimétrie du niveau zéro de l'échelle limnimétrique de Gourbassi au réseau général du nivellement IGN.
- 4) Mesure de deux lignes d'eau le long de la rivière Falémé (mesure du niveau d'eau) au site des ouvrages, sur une distance d'environ 15 km chacune à partir de la station hydrométrique de Gourbassi en allant vers l'aval.
- 5) Relevé de trente (30) sections bathymétriques et topographiques sur les deux berges (jusqu'à 10m au-dessus du niveau du lit majeur) en travers de la rivière tous les 500 m sur une distance d'environ 5 km à l'amont et à l'aval de l'axe du barrage prévu; dans le secteur du barrage (entre 500 m à l'amont et 500 m à l'aval), les relevés ont été pris tous les 100 m.

L'envergure des travaux topographiques et hydrographiques réalisés est montrée aux planches Go12a et Go12b en annexe A.

1.4.3.3 Cartographie géologique

La définition du contexte géologique local pour la zone à l'étude a porté sur l'étude des documents disponibles : carte géologique de l'Afrique au 1 : 5 000 000 (planche Go5), carte géologique Dalafi/Kossanto, Mali au 1 : 200 000 (planche Go6), carte géologique du Sénégal Oriental – Kossanto au 1 : 200 000 (planche Go7), images satellitaires et études déjà réalisées dans la région [Réf. 1] [Réf. 3].

La cartographie géologique du site de Gourbassi s'appuie sur la carte géologique dressée par SENEGAL-CONSULT calée sur les données topographiques au 1 : 20 000^e de l'IGN, validée à travers les observations du site des experts en géologie et géotechnique qui se sont rendus sur le terrain et complétée par une cartographie des affleurements visibles dans la zone (planche Go8). Les affleurements rocheux se retrouvent essentiellement dans le lit de la rivière et sur les collines avoisinantes en rive droite.

1.4.3.4 Puits d'exploration

Des reconnaissances visuelles des terrains de fondation et des zones d'emprunt présumées ont été effectuées sous forme de puits d'exploration au site de Gourbassi : 19 puits à l'endroit du barrage et des ouvrages connexes et 15 puits à l'endroit des sources de matériaux d'emprunt (planches Go9 et Go10).

Les puits ont été excavés manuellement (pics et pelles) par des puisatiers locaux des villages avoisinants sous supervision de l'ingénieur en géotechnique, en veillant au strict respect des règles de sécurité compte tenu des risques d'effondrement des parois de fouilles. Les puits ont été comblés à la fin de la campagne. Les profondeurs atteintes variaient de 90 cm à 5,10 m. Le Tableau 1-1 suivant présente le récapitulatif des puits réalisés.

Tableau 1-1 Tableau récapitulatif des puits réalisés

Puits	Coordonnées UTM WGS84		Localisation	Profondeur atteinte (m)
	Est	Nord		
PE-10-01	208530,3	1484476,8	Barrage, rive droite	1,3
PE-10-02	208519,8	1484352,4		2,5
PE-10-03	208457,1	1484106,6		4,9
PE-10-04	208400,8	1483987,7		5,1
PE-10-05	208269,4	1483949,0		3,0
PE-10-06	208417,4	1483826,9		2,5
PE-10-07	208190,9	1483871,6		1,1
PE-10-08	208262,3	1483802,0		1,3
PE-10-09	208338,9	1483738,3		1,2
PE-10-10	208407,1	1483667,3		1,8
PE-10-11	Annulé (sous eau au moment de la campagne)			-
PE-10-12	207484,9	1483489,8	Barrage, rive gauche	2,6
PE-10-13	207912,0	1483410,2		2,35
PE-10-14	207993,8	1483352,0		1,0
PE-10-15	207793,9	1483274,3		1,1
PE-10-16	207883,9	1483223,7		0,9
PE-10-17	207522,6	1482924,8		Digue de col, rive gauche
PE-10-18	207378,2	1482866,6	3,3	
PE-10-19	207569,1	1482786,1	5,0	
PE-10-20	207353,1	1482585,2	1,7	
<i>Sous-total :</i>				<i>22,35</i>
S1	209456	1482656	Source d'emprunt présumée de matériau imperméable	5,0
S2	209395	1482550		5,0
S3	209375	1482428		5,0
S4	209388	1482347		5,0
S5	209399	1482252		5,0
S6	209507	1482637		4,8
S7	209454	1482518		5,0
S8	209423	1482379		5,0
S9	209451	1482308		5,0
S10	209408	1482187		5,0
S11	209402	1482700		5,0
S12	209308	1482549		5,0

Puits	Coordonnées UTM WGS84		Localisation	Profondeur atteinte (m)
	Est	Nord		
S13	209314	1482473		5,0
S14	209317	1482377		5,0
S15	209334	1482286		5,0
			<i>Sous-total :</i>	<i>74,8</i>
			TOTAL :	97,15

Tous les puits d'exploration ont fait l'objet d'un échantillonnage en vrac des matériaux meubles en vertu de la stratigraphie observée. Des échantillons remaniés de sol résiduel ont été récupérés dans chaque strate dans le but de déterminer les caractéristiques géotechniques de base du sol résiduel, à savoir la teneur en eau naturelle, la distribution granulométrique du sol et les limites de consistance de la fraction fine.

1.4.3.5 Forages carottés et essais *in situ*

Sept forages carottés, pour une longueur totale de 156,60 m, ont été effectués le long et près de l'axe des ouvrages projetés afin de déterminer un profil stratigraphique des matériaux de surface, du roc altéré et du roc sain (planche Go9).



Foreuse FORDIA en position sur FC-10-02



Foreuse APAFOR en position sur FC-10-07

Figure 1-1 Vues des foreuses utilisées pour les sondages

Les sondages effectués étaient du type carottés et ils ont été réalisés à l'aide d'une foreuse FORDIA 450C forant en diamètre 101 mm montée sur chenilles ainsi que d'une

foreuse APAFOR 330 forant en diamètre 66 mm également montée sur chenilles, propriété du sous-traitant AGTS Mali (Figure 1-1). Les sondages ont été descendus à des profondeurs variant entre 12,55 m et 40 m, selon les instructions de SLII.

Aussitôt un forage terminé, les carottes ont été photographiées dans leurs boîtes et transportées à Bamako ; les photographies des carottes de forages sont présentées à l'annexe E ; elles sont aussi disponibles en format électronique (fichiers de type « JPG »). Il est à noter que deux boîtes de carottes provenant du forage FC-10-05 ont été emportées par le courant de la rivière suite à la montée abrupte des eaux le 24 août 2011 avant d'avoir pu être photographiées.

Des essais de pénétration standard (SPT) ont été réalisés afin de pouvoir évaluer la compacité des fondations meubles. Ces essais n'ont pu être effectués que dans les forages FC-10-01 et FC-10-02 compte tenu de la présence de sols meubles dans ces seuls sondages. Ces essais SPT ont été exécutés conformément à la norme européenne NF EN ISO 22476-3 de juillet 2005 et à des intervalles de 1,50 m.

Des essais de perméabilité de type Lugeon ont été effectués dans les sondages FC-10-01 et FC-10-03 suivant la norme française NF P 94-131 de septembre 1994, par passes descendantes et ascendantes.

Le Tableau 1-2 résume les travaux de forage et le nombre d'essais effectués pour chacun des sondages.

Tableau 1-2 Tableau récapitulatif des forages et essais *in situ* réalisés

Forage	Coordonnées UTM WGS84		Pendage	Niveau du terrain (m s.m.)	Longueur du forage (m)	Essai SPT (Qté)	Essai Lugeon (Qté)
	Est	Nord					
FC-10-01	208498,0	1484230,2	90°	82,0	20,0	5	5
FC-10-02	208324,6	1483876,5	90°	80,9	30,0	1	
FC-10-03	208145,0	1483702,0	90°	74,5	40,0		9
FC-10-04	208084,2	1483612,3	90°	74,4	14,3		
FC-10-05	207959,9	1483473,4	90°	74,1	25,7		
FC-10-06	207839,8	1483342,4	90°	84,6	12,6		
FC-10-07	207424,5	1482725,0	90°	91,1	20,0		
TOTAL :					156,6	6	14

1.4.3.6 Recherche de bancs d'emprunt et de carrières.

Une source d'emprunt de matériau imperméable a été identifiée à moins de 2 km à l'amont du site du barrage. Tel que mentionné plus haut, la source potentielle d'emprunt a été investiguée au moyen de 15 puits d'exploration et d'un programme d'essais de laboratoire sur des échantillons remaniés de sol résiduel.

Six sites de carrière potentiels ont été visités lors de la campagne de reconnaissance. Le roc observé à chacun de ces affleurements a fait l'objet d'une description pétrographique et a été localisé ainsi que photographié. Ces sites ont été nommés comme étant Affleurement A, B, C, D, E, F et sont localisés sur la planche Go9.

1.4.3.7 Essais de laboratoire

Des essais en laboratoire sur les sols provenant des forages ont été réalisés afin d'obtenir les caractéristiques de ces matériaux et afin d'obtenir les propriétés mécaniques des sols de fondation de l'ouvrage.

Pour leur part, des essais sur les sols provenant des puits d'exploration ont servi à caractériser et à évaluer les propriétés mécaniques des matériaux de construction.

Des essais granulométriques par tamisage et à l'hydromètre, la détermination de la teneur en eau naturelle et la détermination des limites de consistance des sols résiduels ont été effectués sur des échantillons récupérés dans les puits d'exploration.

Quatre descriptions pétrographiques mégascopiques ont également été effectuées sur des échantillons de roc provenant de différents affleurements; ces échantillons de roc ont été prélevés lors de la campagne de reconnaissance de 2011.

1.4.4 **Échéancier et logistique**

1.4.4.1 Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont été réalisés en plusieurs étapes exposées ci-dessous :

Topographie et cartographie

Les travaux topographiques et hydrographiques de terrain ont été réalisés du 8 avril au 12 mai 2011, en saison sèche, mettant ainsi à profit l'absence d'écoulement dans la Falémé pour mesurer le niveau du fond de la rivière.

Une fois le site du barrage et les échelles limnimétriques rattachés en planimétrie et altimétrie, les deux activités ont été lancées simultanément par deux équipes distinctes : une équipe chargée des levés topographiques et une équipe chargée des relevés hydrographiques.

Au total, cette campagne a mobilisé à temps plein sur sa durée trois techniciens supérieurs topographes et trois chaineurs, en plus de l'expert topographe en charge de la supervision des travaux ; leur camp de base était établi à Bérola.

Géologie et géotechnique

La campagne de forages carottés et d'essais in situ s'est déroulée du 23 février au 4 octobre 2011.

Sa durée notablement longue au vu de l'envergure des sondages à réaliser (7 forages pour une longueur totale de 156,6 m) s'explique par le nombre de défis auxquels elle a dû faire face.

En ce qui concerne les carottages :

- Traversées de terrain très friables présentant des alternances d'argile, blocs rocheux et couches de sable sur la terrasse en rive droite (sondages FC-10-01 et FC-10-02) conduisant à une mauvaise récupération et demandant de changer de méthode de forage ;
- Reprise de l'écoulement en rivière qui a fait interrompre le sondage FC-10-04 (île centrale) à 14,33 m de profondeur ;
- Nature des roches rencontrées dans les sondages effectués dans le lit de la rivière, très riches en quartz et extrêmement dures et abrasives. Ces roches ont entraîné la destruction rapide des couronnes et du tube d'extension du carottier et le taux de pénétration du carottier a été très lent.

En ce qui concerne les accès aux points de sondage :

- Impraticabilité de la piste liant Bérola au site du barrage (rive droite) du 15 mai au 6 juillet 2011 en raison des pluies ;
- Impraticabilité de la piste liant Saiensoutou au site du barrage (rive gauche) du 26 juillet au 6 août 2011 ;
- Inondation de la zone de travaux du 23 au 30 août 2011 qui a empêché toute activité sur le site.

Compte tenu de l'absence de passage carrossable entre les deux rives de la Falémé dans la zone de Gourbassi, le sous-traitant AGTS et l'ingénieur en géotechnique chargé de la supervision des travaux se sont successivement installés à Bérola (rive droite) puis à Saiensoutou (rive gauche) en fonction de la localisation des sondages à effectuer ; le transfert des équipements de la rive droite (au Mali) vers la rive gauche (au Sénégal) s'est effectué par la route Bérola – Bourdala – Djidian Kéniéba – pont de Moussala – Saraya – Missira Sirimana – Saiensoutou.

Les puits d'exploration ont été exécutés en deux temps :

- 1) Les puits à l'endroit du barrage et des ouvrages connexes ont été réalisés du 31 janvier au 16 février 2011, avant l'arrivée de l'équipe de forage car ces puits ont servi à confirmer la position des forages.
- 2) Les puits à l'endroit de la source présumée de matériaux d'emprunt ont été réalisés du 9 au 21 mars 2011, en parallèle avec la campagne de forages.

1.4.4.2 Travaux au siège

Topographie et cartographie

Après de multiples recherches infructueuses à l'OMVS (CRD de St-Louis et Direction Technique à Dakar) ainsi qu'auprès des services cartographiques nationaux du Mali et du Sénégal, SLII a, le 24 novembre 2010, passé commande à IGN France International d'une copie numérisée et vectorisée des cartes au 1 : 20 000^e du bassin de retenue de Gourbassi réalisées par l'IGN en 1968. SLII prenait réception le 19 janvier 2011 des données

vectorisées sur fond image de sorte qu'il était alors possible de monter le modèle numérique de terrain du bassin de retenue nécessaire aux études hydrologiques, hydrauliques et socio-environnementales.

SLII a reçu le 4 novembre 2011 de son sous-traitant les résultats topographiques et bathymétriques en format numérique. SLII s'est alors attachée à monter un modèle numérique de terrain avec équidistances aux 1 m de la zone du barrage et de le caler par rapport à celui au 1 : 20 000^e du bassin.

Géologie et géotechnique

Les travaux géologiques et géotechniques au siège ont consisté depuis octobre 2010 à la définition, la préparation et au suivi des travaux de reconnaissance, puis à la mise au net et à l'interprétation des résultats des sondages, reconnaissances géologiques et géotechniques et essais de laboratoire.

Le modèle de roc du site du barrage et le profil géologique dans l'axe du barrage ont pu être établis dès le mois de novembre 2011, après réception des données topographiques et compilation des résultats des forages et puits d'exploration (planches Go11a-b-c-d en annexe A).

CHAPITRE 2

Reconnaitances topographiques

2. RECONNAISSANCES TOPOGRAPHIQUES

2.1 RAPPEL DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES DISPONIBLES

L'inventaire et l'analyse des données topographiques de base disponibles en début d'étude sont présentés au Chapitre 3 du rapport de lancement de l'étude [Réf. 8].

2.2 RATTACHEMENTS EN ALTIMÉTRIE ET PLANIMÉTRIE

Nous savons que les cartes à l'échelle 1 : 20 000^e effectuées par l'IGN pour le compte de SENEGAL-CONSULT sont rattachées en altimétrie aux chaînes de nivellement de précision IGN et sont référencées en planimétrie dans le système de coordonnées IGN⁴. La précision planimétrique de ces cartes est de 20 à 30 m et la précision altimétrique de 2 à 3 m en valeur absolue [Réf. 5].

Les cartes à l'échelle 1 : 2 000^e des sites de barrages produites par SENEGAL-CONSULT sont rattachées en altimétrie aux chaînes de nivellement de précision IGN mais sont données dans un système de coordonnées locales. La précision de ces cartes est de l'ordre de 3 à 5 m en planimétrie et de 0,30 m en altimétrie [Réf. 5].

Les Termes de référence de l'étude demandent à ce que « *les courbes de niveau et les isobathes soient rattachés en altimétrie au réseau général du nivellement IGN et en planimétrie au système géodésique dit du fleuve Sénégal* ».

2.2.1 Nivellement

Le réseau général du nivellement IGN se nomme NGAO : Nivellement Général de l'Afrique de l'Ouest.

Le repère fondamental de ce réseau a été observé en 1953 au marégraphe de Dakar. Ensuite des traverses ont été mesurées et calculées sur toute l'Afrique de l'Ouest jusqu'aux années 80 (Figure 2-1). C'est donc un système assez ancien, de qualité moyenne : 5 cm en relatif sur l'altitude des repères de nivellement.

Les photos aériennes utilisées pour dessiner les cartes topographiques de 1968 à l'échelle 1 : 20 000^e sur la région de Gourbassi ont été calées géométriquement en utilisant pour l'altitude le NGAO. Donc, l'altitude des courbes de niveau de ces cartes est effectivement directement rattachée au NGAO.

Les bornes géodésiques les plus proches du site de Gourbassi, soit les bornes KY43 (Bourdala, Mali), KY44 (Dialafara, Mali) et KY49 (Kéniébandi, Mali), sont des bornes repères de premier ordre du Nivellement Général du Mali qui est rattaché au NGAO.

⁴ Projection UTM, ellipsoïde de Clarke 1880 (Adindan)

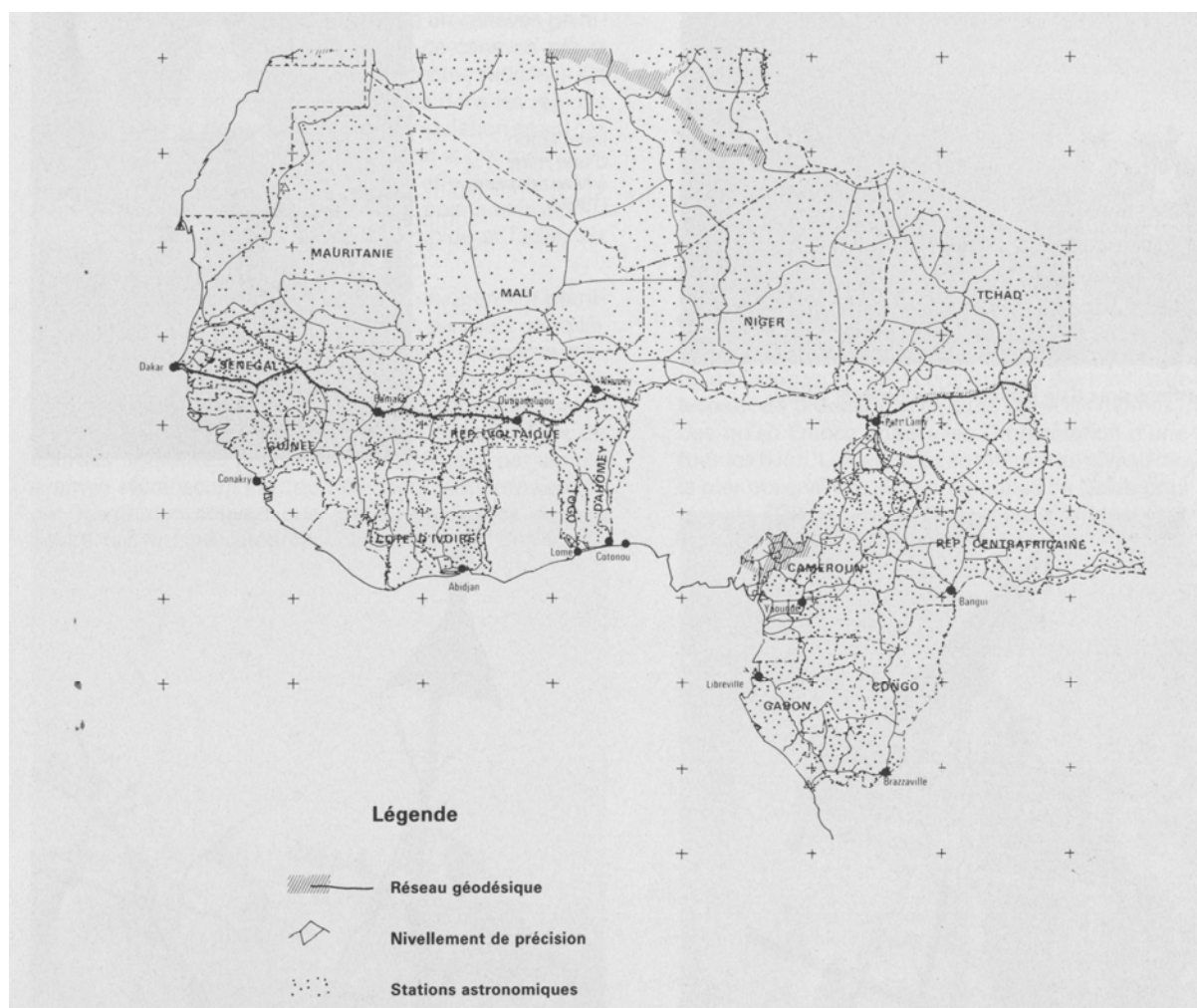


Figure 2-1 NGAO - Canevas de base de l'Afrique de l'Ouest – Situation en 1985⁵

2.2.2 Géodésie

Le système géodésique dit du fleuve Sénégal est connu également sous le nom de OMVS1979 (1979 parce que ce système a été créé en 1979).

Un cheminement géodésique de l'OMVS a en effet été réalisé en 1979 dans tout le bassin du fleuve Sénégal appuyé sur des mesures Doppler et rattaché au 12^{ème} parallèle, à Thiès et à Kidira au Sénégal ; le cheminement géodésique dit du 12^{ème} parallèle, qui traverse le Sénégal de Dakar à Kidira, est quant à lui rattaché au système d'Adindan Datum69. Pour le système OMVS1979, il s'agit toutefois d'une réalisation tridimensionnelle qui diffère conceptuellement des travaux du 12^{ème} parallèle et il ne peut donc pas directement être assimilable à l'ensemble Adindan Datum1969. Le « référentiel » OMVS1979 est donc assez éloigné du WGS84.

Ultérieurement, ce réseau a également servi d'appui à une mission géodésique de mesures GPS transfrontalières avec la Mauritanie en 1992 et 1994. Lors de ce dernier calcul, les coordonnées de départ ont été celles des points OMVS re-stationnées et transformées en WGS84 de manière approchée avec les informations existant alors.

⁵ Source : IGN France International

Après ajustement des vecteurs GPS, les coordonnées ont été publiées dans le système Adindan avec les mêmes réserves que précédemment, compte tenu des différences de nature des systèmes en présence. Ces coordonnées des réseaux du bassin du fleuve Sénégal, calculées à différentes époques et dites « Adindan », forment un ensemble spécifique différencié appelé OMVS1979.

Paramètres du Système du Fleuve Sénégal OMVS79 :

Ellipsoïde associé : Clarke 1880 Anglais $a = 6378249,1453$ $1/f = 293,465000$

Méridien origine : Greenwich (Observatoire)

Projection associée : UTM Nord, fuseau 28

Latitude origine : $0^{\circ}00'00.0000''$

Méridien Central : $15^{\circ}00'00.0000''$ Ouest

Coordonnées origine : $x_0 = 500\ 000\ m$

$y_0 = 0\ m$ (nord de l'équateur)

Facteur d'échelle : 0.9996

Le Système du Fleuve Sénégal OMVS1979 est ainsi un système ancien et de **qualité métrique** et ne présente, de nos jours, aucun avantage à être utilisé par rapport au système mondial WGS84.

À des fins de précision des données topographiques et de cohérence avec les données géomatiques disponibles, il a donc été décidé avant le lancement des travaux de topographie et la production des données topographiques du projet que celles-ci seraient toutes rattachées en altimétrie au réseau général du nivellement IGN et géoréférencées dans la projection UTM, fuseau 29, système géodésique mondial WGS84.

2.3 TOPOGRAPHIE À GRANDE ÉCHELLE DU BASSIN DE RETENUE

2.3.1 Données d'entrée

La zone concernée est celle qui a été couverte par aérophotogrammétrie au $1 : 40\ 000^e$ et restituée au $1 : 20\ 000^e$ jusqu'à la cote 106 IGN en 1968, telle que délimitée par le contour rouge dans la Figure 2-2 ci-dessous.

L'IGN dispose encore en archives d'une copie des travaux spéciaux de topographie de 1968 sur la région de Gourbassi. Ces archives se composent de 3 exemplaires de 15 cartes papier monochromes de format 63x90 cm environ et des 45 négatifs correspondants aux couches altimétrie, planimétrie et hydrographie.

À la demande de SLII, IGN France International a procédé à la numérisation et au géoréférencement de chaque feuille monochrome et à la vectorisation des éléments altimétrie (courbes de niveau aux 5 m, points cotés) et hydrographie. Il n'a pas été jugé utile de vectoriser les éléments planimétriques car les pistes et contours des agglomérations de 1968 ne correspondent pas aux réalités du terrain d'aujourd'hui.

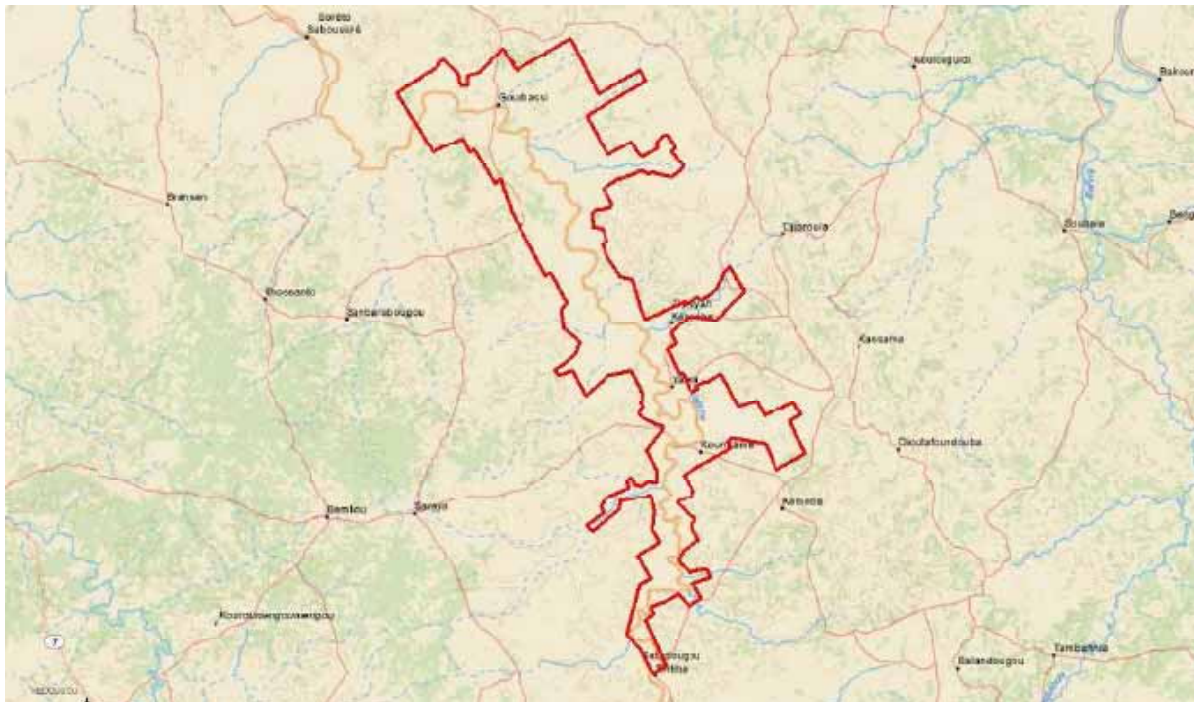


Figure 2-2 Emprise des travaux topographiques IGN sur fond carte mondiale Delorme

2.3.2 Réalisation

2.3.2.1 Numérisation

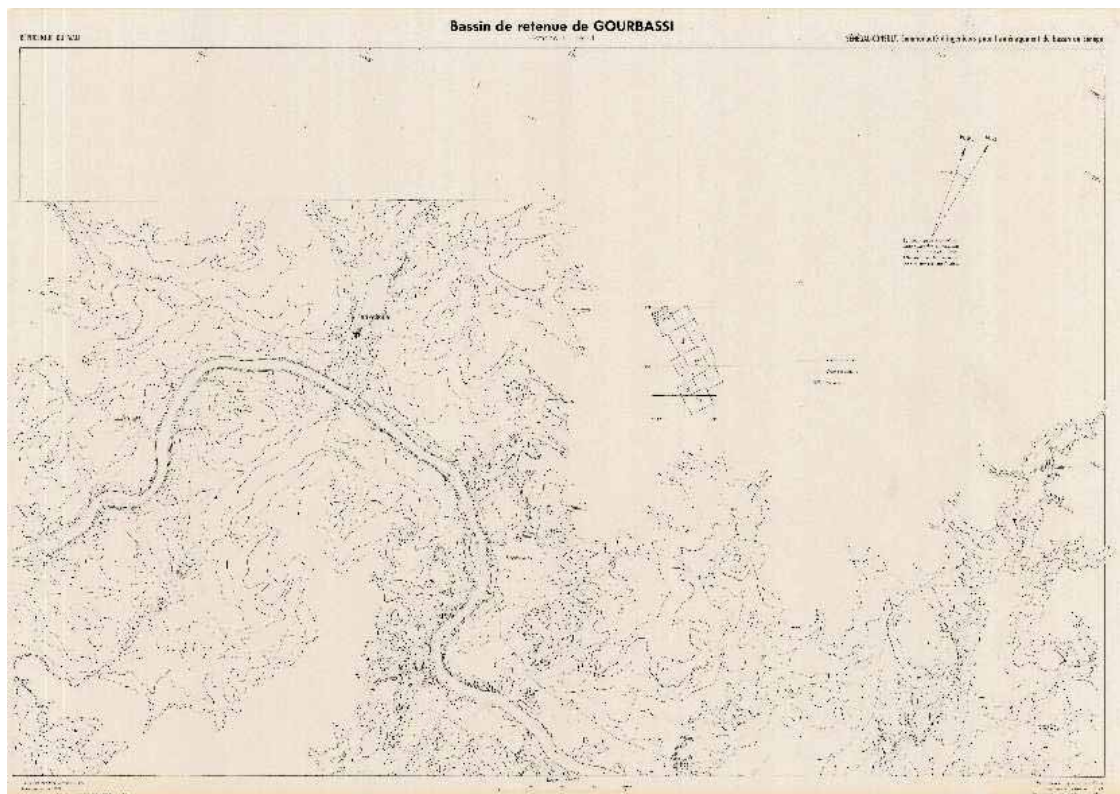


Figure 2-3 Exemple de carte numérisée – Carte 1N – Zone des ouvrages à Gourbassi

La numérisation des 15 cartes IGN au 1 : 20 000^e a été réalisée à une résolution de 600 dpi afin d'assurer une bonne visibilité lors de l'utilisation comme support de vectorisation. Les cartes scannées en pleine résolution ont été produites au format TIFF. La Figure 2-3 fournit un exemple du résultat de numérisation.

2.3.2.2 Géoréférencement

Le géoréférencement des 15 cartes a été réalisé par la prise de points de calage sur l'orthoimage Reference3D, sous Geoview©. Comme les cartes ont été dessinées dans un système cartographique local, dont les amorces du quadrillage sont présentes sur les cartes, qui ne peut pas être rattaché précisément au système global WGS84, l'utilisation de l'orthoimage Reference3D a permis une rectification plus simple et plus précise des scans directement à partir d'une orthoimage plutôt qu'en utilisant les croisillons.

Les cartes ont été d'abord géoréférencées puis assemblées dans ce système cartographique local afin de produire une mosaïque globale qui minimise les écarts entre feuilles (Figure 2-5).

Au cours de cette étape, le travail a été réalisé sur le calage relatif des feuilles entre-elles.

Des écarts entre feuilles (jusqu'à 40 m d'écart) ont été constatés (Figure 2-4). Cela n'est pas dû qu'à la mauvaise qualité du calage relatif mais aussi au fait que les cartes ont été réalisées indépendamment l'une de l'autre. Les courbes de niveaux n'ont donc pas exactement la même forme sur chaque carte. Un tracé intermédiaire a été choisi lors de la vectorisation.

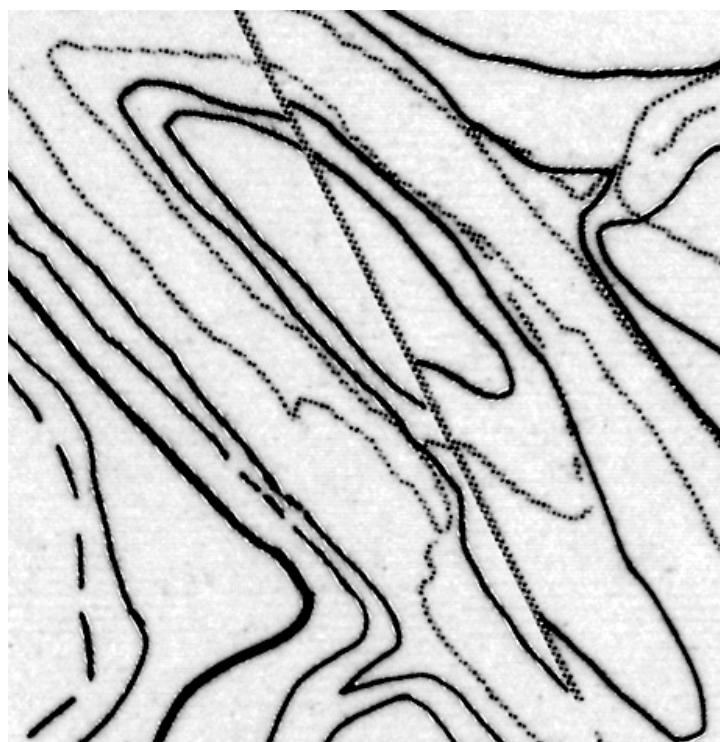


Figure 2-4 Écart entre 2 feuilles – Les courbes raccordent bien en haut de l'image mais divergent en bas

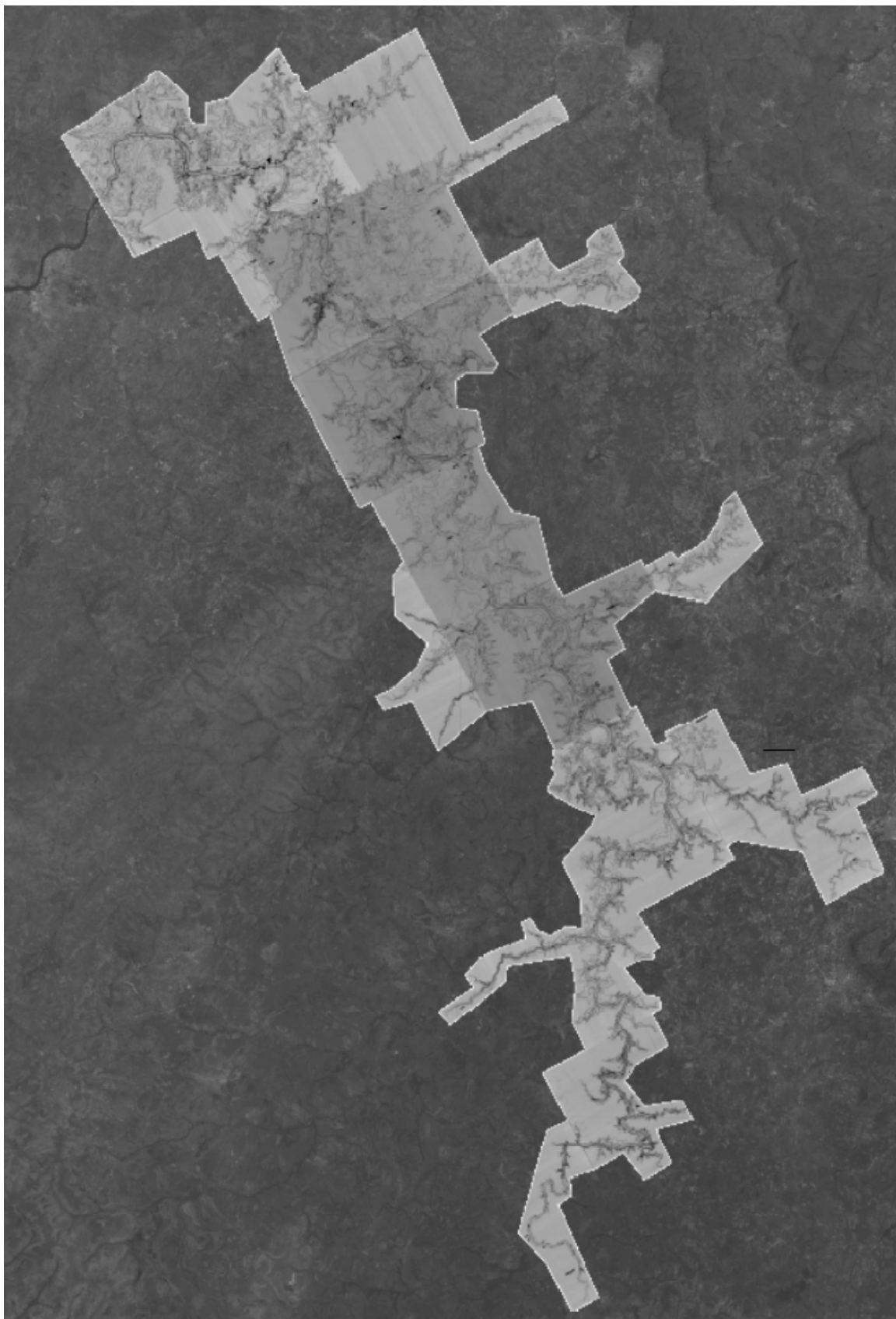


Figure 2-5 Mosaïque géoréférencée

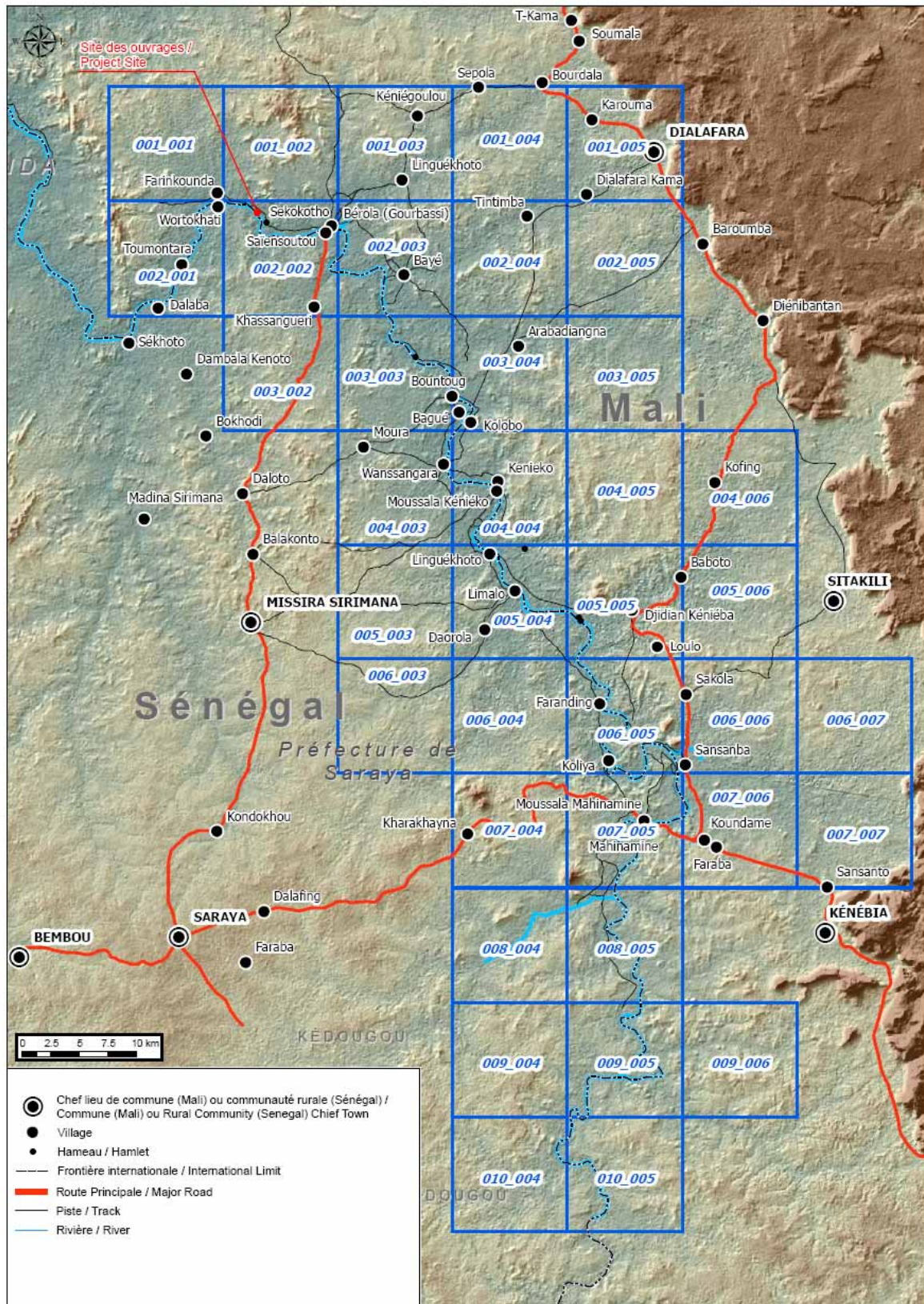


Figure 2-6 Index des 38 dalles géoréférencées composant la mosaïque du bassin de retenue de Gourbassi

La mosaïque est géoréférencée dans le système WGS84, projection UTM29, à l'aide de points d'appui pris sur l'orthoimage issue de la Base de Données Référence3D. Au cours de cette étape, on travaille sur le calage absolu de la mosaïque.

La mosaïque a ensuite été découpée en 38 dalles de 10 km x 10 km. L'index des 38 dalles résultantes est présenté à la Figure 2-6.

2.3.2.3 Vectorisation

Les éléments souhaités en résultat ont été digitalisés directement sur les scans des cartes géoréférencées, en fichiers shapefile séparés par couche, en utilisant ArcGIS.

Altimétrie

Lors de la vectorisation les écarts entre feuilles après assemblage ont été pris en compte. Les courbes et les points cotés ont été vectorisés en premier, de façon à pouvoir aider par la suite au processus d'interprétation nécessaire pour la saisie de l'hydrographie.

La Figure 2-7 ci-dessous présente un exemple des données vectorisées sur des zones de raccord des feuilles.

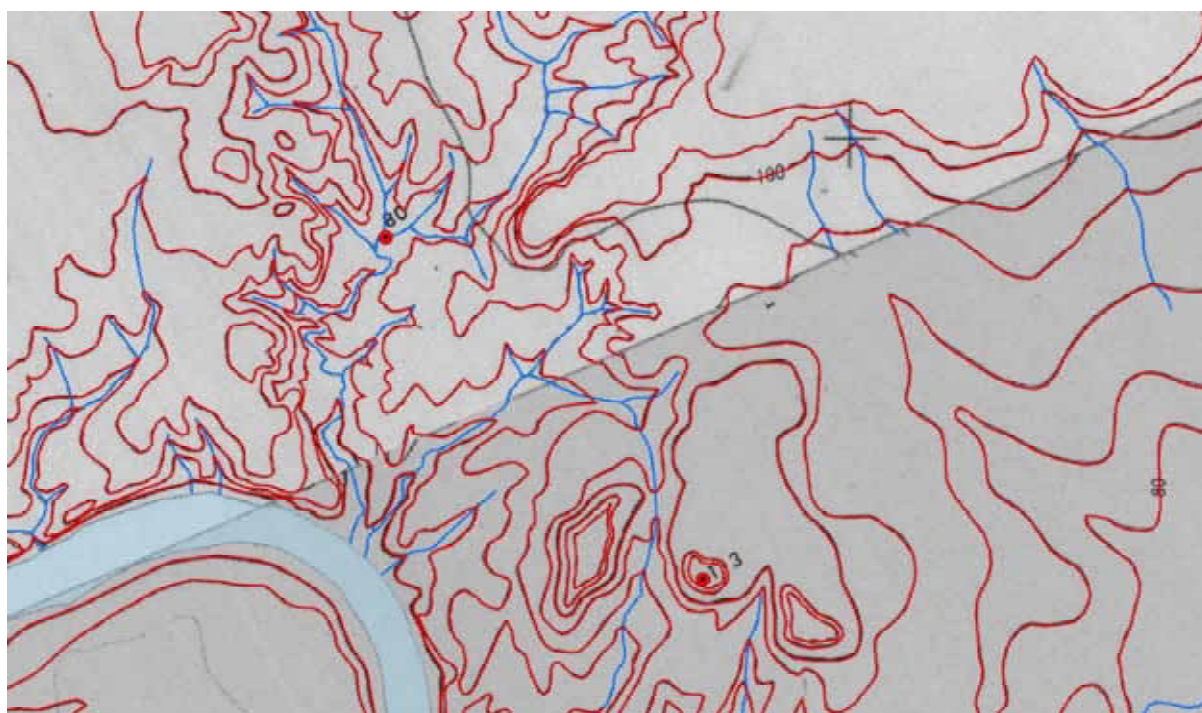


Figure 2-7 Exemple de rendu au 1 : 20 000° en zone de raccord

Hydrographie:

Les éléments hydrographiques vectorisés, linéaires aussi bien que surfaciques, ont été identifiés sur les cartes scannées en associant au travail de vectorisation un travail d'interprétation des cartes, et en utilisant les courbes pour cette identification par rapport aux autres éléments de planimétrie qui n'étaient pas précisés dans les légendes originales.

La Figure 2-8 présente un exemple des résultats de vectorisation des éléments altimétriques et hydrographiques.

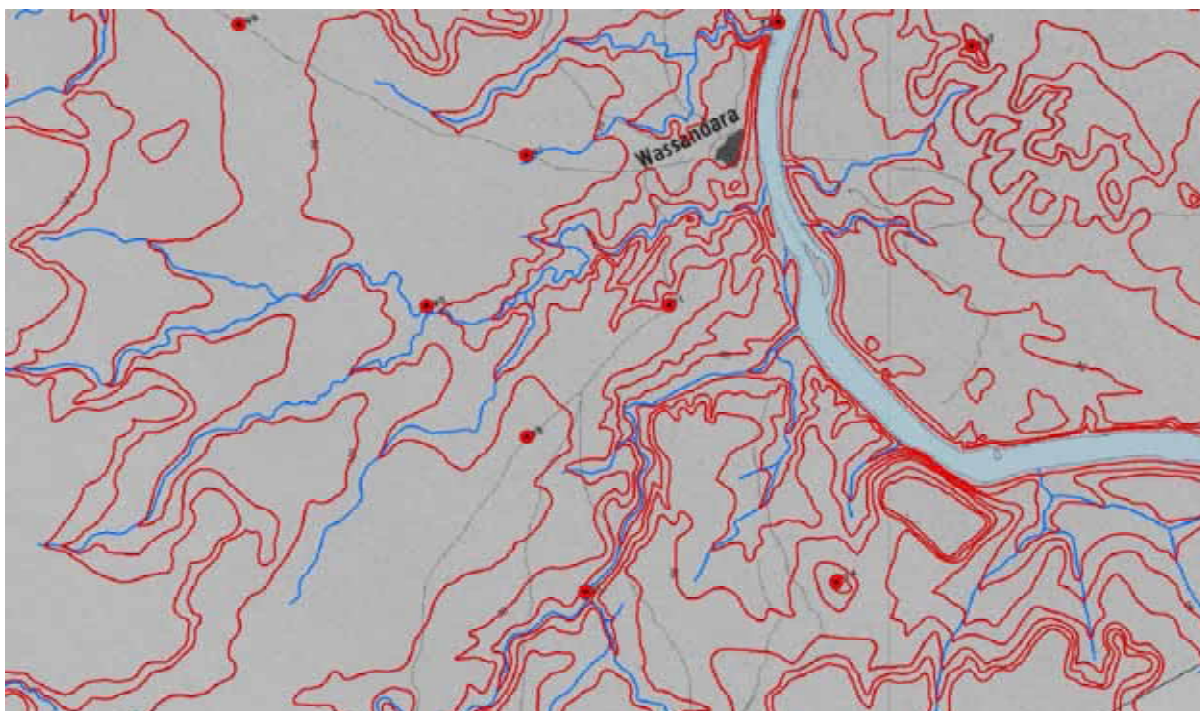


Figure 2-8 Exemple de rendu altimétrie et hydrographie au 1 : 20 000^e

2.3.3 Résultats

Les éléments topographiques au 1: 20 000^e de la zone de Gourbassi livrés par IGN France International et disponibles pour l'étude se composent donc :

- D'une copie numérique à une résolution de 600 dpi des 15 cartes topographiques monochromes au 1 : 20 000^e IGN 1968 ;
- De la copie numérique des 38 dalles de 10 km sur 10 km composant la mosaïque du bassin de retenue, géoréférencées dans le système WGS84 Projection UTM29 ; et
- Des éléments altimétriques et hydrographiques vectorisés.

Tous ces éléments sont disponibles sous forme de fichiers électroniques.

Un modèle numérique de terrain (MNT) a été généré à partir du module ArcGIS®⁶ pour les besoins des calculs hydrauliques. A partir de ce modèle, la zone inondée pour les variantes de dimensionnement considérées a été définie (différents niveaux de barrage pour les CG_{Max} de 91, 94, 97 et 100 m s.m.).

La Figure 2-9 suivante illustre l'étendue du MNT obtenu jusqu'à la cote 106 IGN.

⁶ ArcGIS® est une plate forme développée par la société ESRI (<http://www.esrifrance.fr/>)

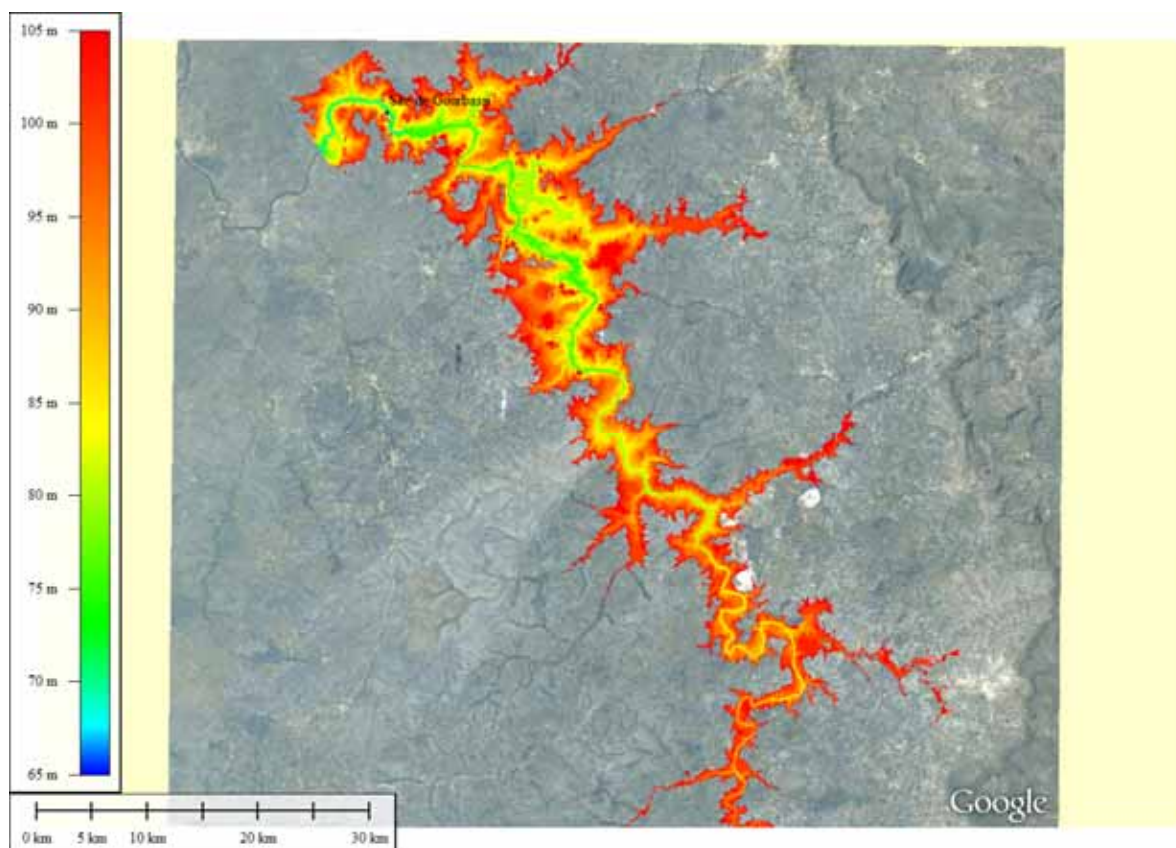


Figure 2-9 Étendue du MNT du bassin de retenue de Gourbassi

2.4 RELEVÉS TOPOGRAPHIQUES ET HYDROGRAPHIQUES DANS LA ZONE DES OUVRAGES

2.4.1 Procédés de mesure

2.4.1.1 Rattachement altimétrique

La zone des ouvrages (borne Gourba7) a été rattachée en altimétrie à la borne IGM KY43 sise à Bourdala dont les coordonnées UTM WGS84 X, Y et Z sont connues (X = 232 742, Y = 1 495 228, Z = 130,7772 m s.m.) par nivellement direct en double station avec un niveau automatique de haute précision. Ce processus de nivellement a été effectué le long de la route d'accès entre Bourdala (borne IGM KY43) et le site des ouvrages à Gourbassi (borne Gourba7), en passant par Sépola (borne Gourba1), Kéniégoulo (borne Gourba2), Linguékoto (borne Gourba3), Bérola (bornes Gourba4 et Gourba5) et Séguékoto (borne Gourba6).

Les échelles limnimétriques de Bérola ont été rattachées en altimétrie à la borne Gourba5 qui fait donc partie du réseau allant de la borne KY43 de Bourdala à la borne Gourba7 au site du barrage.

2.4.1.2 Levers topographiques et relevés bathymétriques

Les levés topographiques dans la zone des ouvrages ont été effectués par méthode classique en utilisant un tachéomètre électronique (« Station totale ») LEICA de type TC805L, après implantation au GPS différentiel LEICA Système 1200 des points de délimitation de la zone et de quatre bornes permanentes.

Le récepteur du GPS 1200 utilisé comme la base étant placé en station sur la colline de Kanimadjan (rive droite), il a été procédé avec le récepteur mobile (« Rover ») à l'implantation :

- des bornes de délimitation PI-01, PI-02, PI-05, PI-06 côté Mali et PI-03, PI-04 côté Sénégal dont les coordonnées X et Y sont connues ;
- des bornes permanentes BM1, BM2 côté Mali et BS1, BS2 côté Sénégal qui ont été rattachées en altimétrie à la borne Gourba7 ; et
- des trente sections bathymétriques à mesurer.

Les levés topographiques ont commencé par le côté Nord de la zone à lever en se dirigeant vers le Sud. Compte tenu de la densité de la végétation, il a été procédé à des levés par méthode de rayonnement avec un cheminement de courte distance.

Les lignes d'eau et les niveaux d'eau ont été relevés avec le GPS différentiel. Les profondeurs de certaines sections ont été relevées avec la station totale.

Borne BM1



Borne BM2



Figure 2-10 Vue des bornes permanentes implantées au site des ouvrages – Côté Mali

Borne BS1**Borne BS2**

Figure 2-11 Vue des bornes permanentes implantées au site des ouvrages – Côté Sénégal

2.4.2 Résultats

Les résultats des levés topographiques et relevés hydrographiques de la zone de Goubassi consistent en :

- un dossier de bornage et de piquetage avec le schéma du canevas de base et la liste des coordonnées des points déterminés au sol (voir tableaux des coordonnées en annexe C) ;
- les relevés topographiques et bathymétriques ;
- deux (2) profils en long (les points mesurés sont espacés d'environ 30 m approximativement) ; et
- trente (30) sections transversales réparties uniformément entre le village de Bérola soit 5.5 km en amont de l'axe des ouvrages et jusqu'à 5.5 km en aval de l'axe.

Les relevés topographiques et bathymétriques ainsi que les profils en long et en travers sont disponibles sous format électronique (fichiers de type « DWG »)

Ces données ont permis de générer un MNT au 1 : 2 000^e spécifique à la zone des ouvrages (Figure 2-12), calé sur celui au 1 : 20 000^e du bassin de retenue, qui permettra par la suite d'établir les plans du barrage et des ouvrages annexes.

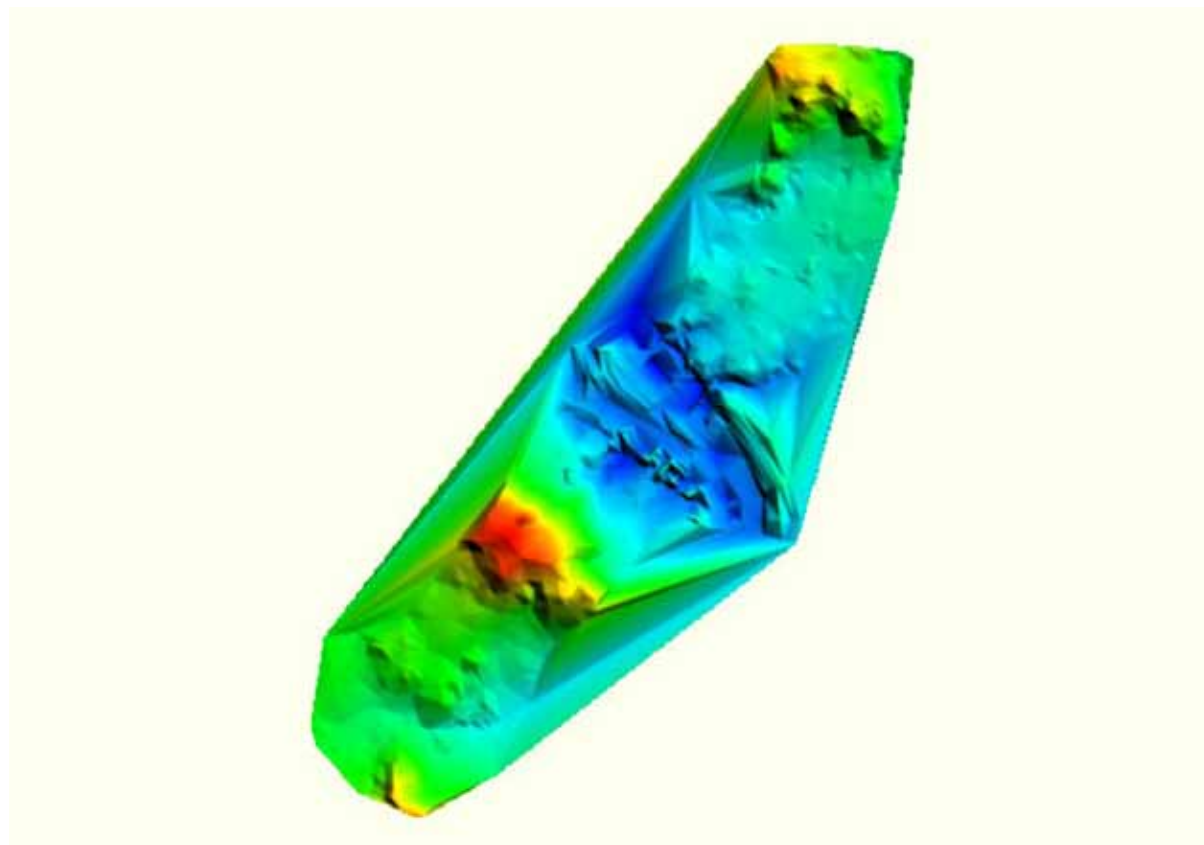


Figure 2-12 Modèle numérique de terrain de la zone des ouvrages

L'analyse des données topographiques et bathymétriques dans la zone des ouvrages ainsi que le relevé du zéro de l'échelle de Bérola (Gourbassi) réalisé à cette occasion (cote rattachée mesurée à 72,85 m s.m.) permet de constater que la courbe de tarage en aval de la centrale utilisée par SENEGAL-CONSULT en 1970 ne concorde pas avec la topographie observée en 2011. Les relevés de ligne d'eau réalisés au site confirment également cette discordance. La courbe de tarage utilisée en 1970 présentée par SENEGAL-CONSULT [Réf. 6] faisait état d'un niveau de 66,8 m s.m. pour un débit nul en aval du barrage alors que la zone la plus profonde de la rivière relevée est à la cote 70 m s.m. au voisinage des ouvrages. Le niveau aval au débit nul est donc de 72,5 m s.m. et de 73,8 m s.m. au débit d'équipement de la centrale et non tel qu'énoncé par SENEGAL-CONSULT. La **chute brute** au site avait donc été **surestimée en 1970**. Les calculs hydrauliques réalisés lors de l'étude des variantes utiliseront la version révisée de la courbe de tarage aval établie sur la base des relevés topographiques et bathymétriques de 2011.

2.5 SYNTHÈSE ET CONCLUSION DES TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES RÉALISÉS EN 2011

Les données topographies IGN à l'échelle 1 : 20 000^e du bassin de retenue (courbes de niveau espacées de 5 m, avec une précision de $\pm 2,5$ m en intercalaire) sont suffisantes pour les besoins immédiats de l'étude d'APS et pour une optimisation préliminaire du

niveau de la retenue (à $\pm 2,5$ m de précision) mais elles ne pourront pas répondre aux besoins ultérieurs de l'avant-projet détaillé (APD), en particulier pour ce qui concerne l'optimisation définitive du niveau de la retenue et pour confirmer qu'aucune digue de col supplémentaire n'est requise pour la fermeture du réservoir, ainsi qu'aux besoins des études d'impact environnemental et socio-économique réglementaires.

Une campagne de reconnaissances topographiques détaillées de type LiDAR de la zone de retenue et de la zone des ouvrages projetés s'avère donc indispensable et devra être incluse dans le programme de reconnaissances complémentaires pour la phase d'étude d'APD.

Il est d'autre part recommandé d'effectuer un relevé bathymétrique plus détaillé de la zone des ouvrages afin de préciser plus finement la chute brute disponible au site ; un relevé de type LiDAR du lit mineur de la Falémé, effectué en période d'étiage, répondrait judicieusement à ce besoin.

CHAPITRE 3

Travaux de reconnaissance géologique et géotechnique

3. TRAVAUX DE RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

3.1 RAPPEL DES DONNÉES GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES DISPONIBLES

L'inventaire et l'analyse des données de base disponibles avant d'entreprendre les présentes reconnaissances complémentaires sont présentés au Chapitre 3 du rapport de lancement de l'étude [Réf. 8].

3.2 GÉOLOGIE

3.2.1 Géologie et tectonique régionale

Le projet d'aménagement hydroélectrique de Gourbassi (barrage et retenue) est situé dans la vallée de la moyenne Falémé qui se trouve à cheval sur le Sénégal oriental et l'Ouest du Mali. Géologiquement, le projet s'étend sur la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (ou fenêtre de Kéniéba, couvrant environ 15 000 km²), un affleurement du socle ouest-africain qui, figé depuis 2 milliards d'années environ, est l'une des portions stables du continent africain (voir planche Go5 en annexe A).

Contrairement aux bassins des autres affluents du fleuve Sénégal, le bassin de la Falémé est ainsi situé dans une zone d'affleurement du socle complexe, constitué d'un ensemble de roches volcano-sédimentaires plissées, métamorphisées et granitisées au cours de l'orogénèse éburnéenne (1 850 Ma).

3.2.1.1 Les formations birrimiennes

Dans les formations métamorphiques, une succession lithostratigraphique de trois séries a été identifiée d'Ouest en Est⁷ (Figure 3-1) :

- 1) La série de Mako : il s'agit d'une bande orientée SW-NE quasi-continue depuis la région de Mako (Sénégal) jusqu'à la falaise de Tambaoura qu'elle atteint au nord de Sadiola (Mali). Elle est généralement considérée comme l'ensemble le plus ancien et est caractérisée par un important volcanisme sous-marin à dominante tholéitique. On y observe la présence d'anciennes roches volcaniques basiques interstratifiées avec des argilites, tufs, grauwackes, schistes. Une intrusion granitoïde de grande ampleur, le batholite intrusif de Kakadian, la recoupe.
- 2) La série du Dialé se situe entre la série de Mako et la bordure occidentale du massif de granite orienté de Saraya. Vers le NE, la série du Dialé se raccorde avec la série du Daléma en territoire malien. Vers le SW, elle disparaît sous les formations subhorizontales des séries de Ségou-Madina Kouta et de Mali, qui sont beaucoup plus récentes. Elle est constituée, pour sa majeure partie, par des roches d'origine sédimentaire qui ont subi un léger métamorphisme de la zone des micaschistes supérieurs.
- 3) La série du Daléma se situe à l'Est du granite de Saraya. Vers le Sud, elle disparaît sous les grès subhorizontaux qui forment la bordure Nord du Fouta-Djalon ; elle s'étend à l'Est de la Falémé en territoire malien.

⁷ [Réf. 1]

Formée de roches sédimentaires d'origines diverses légèrement métamorphisées (schistes à l'Ouest, grauwackes et cipolins vers l'Est), elle semble constituer une structure synclinale complexe.

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

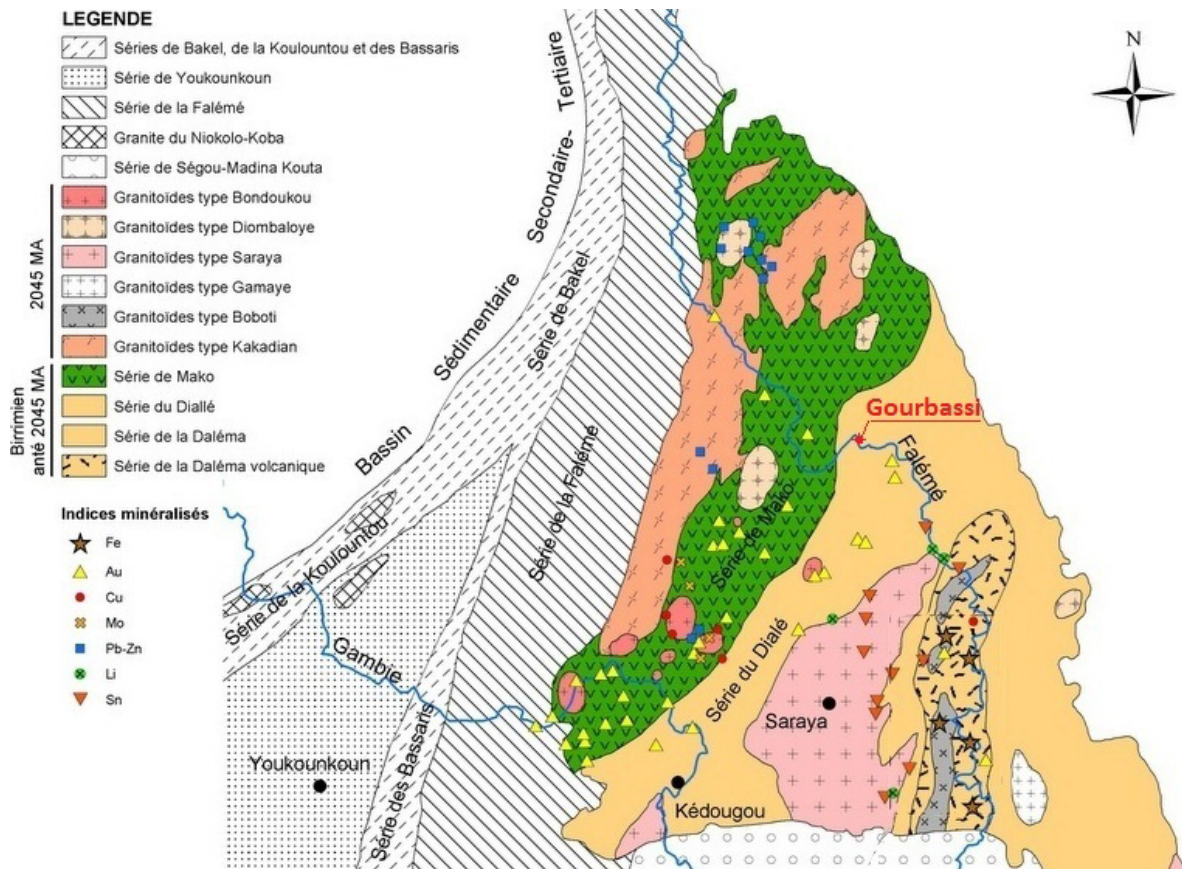


Figure 3-1 Esquisse géologique de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba⁸

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

3.2.1.2 Les granitisations

Une partie relativement importante de la fenêtre de Kéniéba est occupée par des granites ou des roches granitoïdes. Ces roches présentent de grandes hétérogénéités au point de vue pétrographie et structure.

⁸ Source : www.pangeaminerals.org (modifiée)

Trois grands groupes apparaissent définis comme suit⁹ :

- Le groupe des granites de type Baoulé : batholites et intrusifs, à affinités soit métasomatiques (type Kakadian), soit magmatiques (type Saraya) :
 - Les granites de type Kakadian sont très hétérogènes et forment une bande allongée, plus ou moins régulière, qui s'étend depuis le village de Badon au Sénégal jusqu'au Nord du village de Sadiola au Mali où il disparaît sous des grès horizontaux ;
 - Les granites de type Saraya se sont mis en place dans les séries du Dialé et du Daléma; il s'agit de granites orientés, relativement homogènes et leucocrates. Ils forment un immense massif d'environ 2 000 km² de superficie qui disparaît au Sud sous les grès horizontaux de Ségou-Madina Kouta et au Nord à la hauteur de la Falémé sous les cipolins de Linguékphoto.
- Le groupe correspondant au complexe granitique du Boboti, qui est caractérisé par une mise en place sous forme de filons et de stock intrusifs concordants dans un axe volcanique centré sur le village de Bambadji. Ce groupe est représenté par trois massifs principaux alignés N-S. Ce sont du Nord au Sud: le massif de Balangouma qui se poursuit en territoire malien jusqu'au village de Didian-Kéniéba, le massif de Bambadji étroitement associé au volcanisme andésitique; enfin le massif centré sur Madina Bafé et qui s'ennoie au Sud sous la falaise de grès du Protérozoïque supérieur.
- Le groupe des granites de type Bondoukou en batholites intrusifs, qui forment une série de petits massifs de forme arrondie ou elliptique dont la plupart se sont mis en place dans la série de Mako, au milieu des anciennes roches volcaniques basiques.

3.2.1.3 Géologie de surface

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

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

3.2.1.4 Géologie structurale

Les formations birrimiennes sont fortement tectonisées et déformées dans le bassin de la Falémé.

⁹ [Réf. 1]

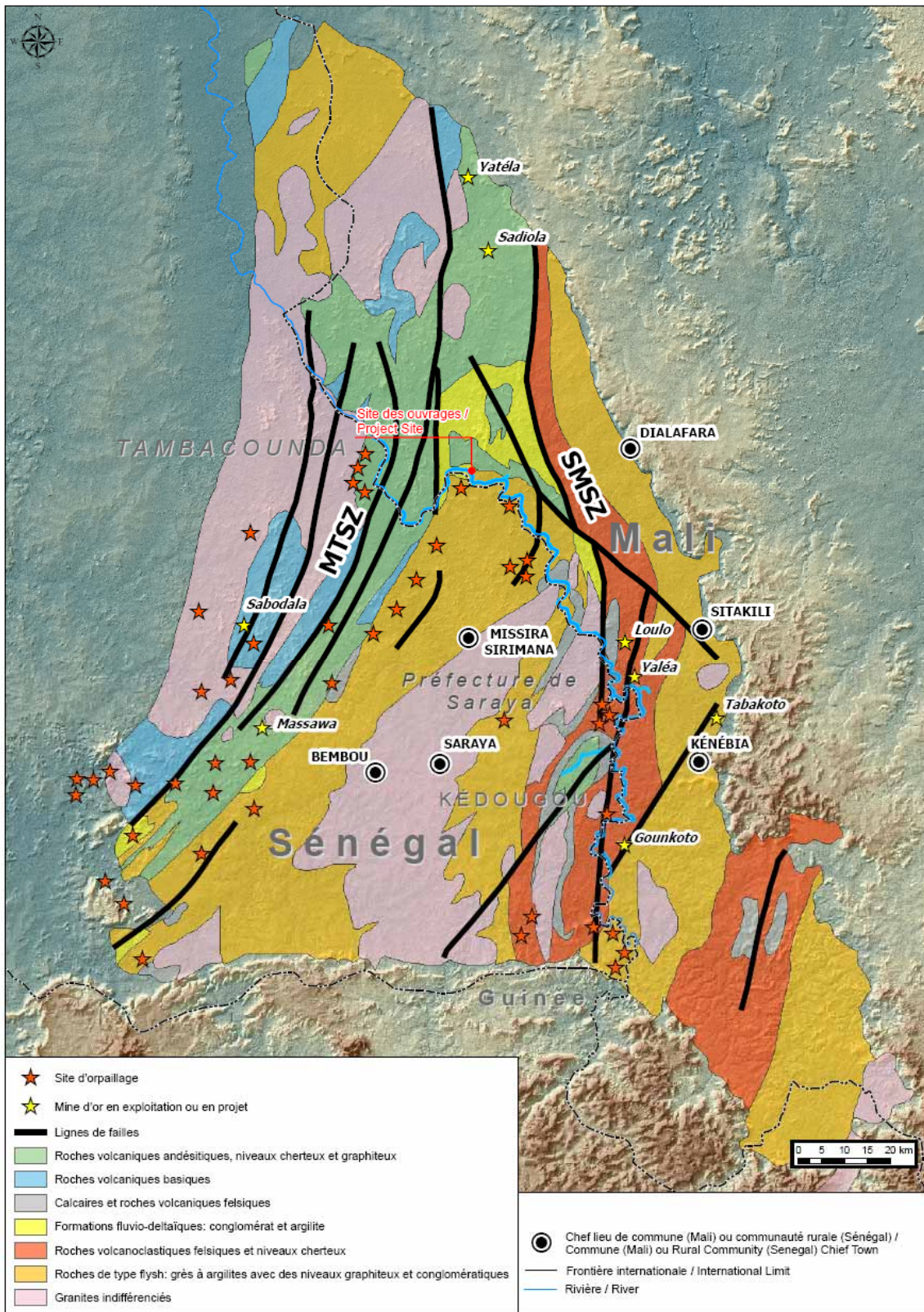


Figure 3-2 Schéma géologique et structurel de la fenêtre de Kénédia¹⁰

¹⁰ Source : [Réf. 9] modifiée

La boutonnière de Kédougou-Kéniéba est affectée par deux systèmes de failles d'extension régionale tel que décrit par Ledru *et al.* (1991) : l'importante zone de cisaillement sénégalo-malienne qui est globalement orientée N-S (SMSZ – « *Senegalese-Malian Shear Zone* ») et la zone de décrochement principale d'orientation NE-SW (MTSZ – « *Main Transcurrent Shear Zone* ») qui affecte les métasédiments le long du contact de la formation de Mako. En fonction de la position des basaltes tholéïtiques rencontrés le long des axes de ces cisaillements, Ledru *et al.* en ont conclu que ces structures sont les centres originaux de dispersion volcanique. Le déplacement le long de ces systèmes de faille principaux est dominé par un mouvement décrochant senestre. On pense donc que ces systèmes régionaux sont des structures héritées qui ont été réactivées comme zones de déformation décrochante.

Une foliation ductile développée à l'échelle régionale, d'orientation 30° semble reliée à toutes les échelles de plissement à travers la boutonnière. Il est présumé que cette structure s'est formée au cours de l'orogénèse éburnéenne et est associée avec le développement du MTSZ. Les structures de déformation contenues dans les roches granitisées plutoniques laissent penser que le phénomène de plissement régional a été contemporain du phénomène de granitisation. Il semble que les zones de cisaillement régional et leurs structures annexes ont joué un rôle important dans la mise en place des importants gisements de minéraux qui se retrouvent dans la région. Dans l'Ouest du Mali, plusieurs mines d'or (en exploitation ou en projet) sont situées le long de la faille sénégalo-malienne SMSZ, y compris Yatéla, Sadiola, Loulo, Tabakoto et le projet de Goukoto. De même, au Sénégal oriental, les roches affectées par le MTSZ abritent les gisements de Sabodala et Massawa (Figure 3-2).

3.2.2 Séismicité

Du point de vue de la tectonique globale, le site de Gourbassi se trouve à l'intérieur de la plaque africaine, une unité géologique très stable où les mouvements tectoniques ont été minimales depuis l'orogénèse éburnéenne (environ 1 850 Ma). Aucun événement tectonique majeur susceptible d'affaiblir le socle ne s'est produit depuis cette orogénèse et la géologie régionale présente donc un aspect rassurant pour la sécurité du barrage projeté à Gourbassi.

Une recherche dans le catalogue de l'USGS¹¹ a été effectuée afin de définir les épïcêtres des séismes survenus dans un rayon de 500 km autour du site de Gourbassi. Cette recherche a confirmé la grande stabilité de la région car, tel que montré à la Figure 3-3, il n'y a que quatre séismes documentés dans cette région (Tableau 3-1).

Tableau 3-1 Liste des séismes enregistrés dans un rayon de 500 km autour de Gourbassi

Année	Latitude	Longitude	Profondeur (km)	Magnitude	Distance du site (km)
1983	11.87° N	13.53° W	11	6.4	301
1987	11.44° N	13.44° W	10	4.2	316
1999	13.97° N	8.60° W	33	4.2	280
2004	10.39° N	14.08° W	10	4.3	441

¹¹ Source : USGS *Earthquake Data Base*

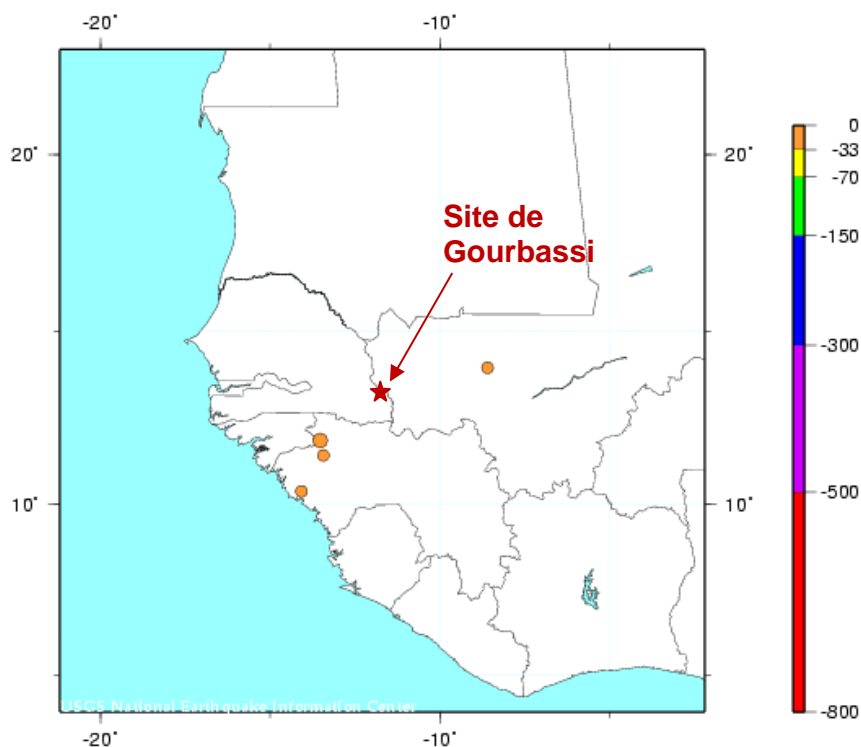


Figure 3-3 Position des séismes enregistrés dans un rayon de 500 km autour de Gourbassi

Trois de ces séismes se situent en bordure du craton à la zone mobile de l'Afrique de l'Ouest. Le plus gros d'entre eux a été enregistré en 1983 en Moyenne Guinée aux confins de la Guinée-Bissau et du Sud du Sénégal ; il peut être considéré comme fort avec une magnitude de 6,4.

Pour les calculs préliminaires de dimensionnement des ouvrages on pourra adopter un coefficient égal à 0,08 g comme valeur d'accélération.

3.3 RÉSULTATS DES RECONNAISSANCES DE TERRAIN

3.4 CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

La planche Go8 en annexe A présente la carte de géologie de surface du site des ouvrages projetés.

Compte tenu de la présence du couvert végétal, et surtout de la couverture de mort-terrain et de roches latérisées qui masquent presque entièrement les formations rocheuses, la carte géologique de la zone de Gourbassi dressée en son temps par SENEGAL-CONSULT doit être considérée comme étant relativement imprécise.

Les matériaux visibles en surface dans la zone du projet sont essentiellement constitués d'alluvions et de colluvions ainsi que de matériaux latéritiques silteux, sableux-graveleux, et de cuirassement ferrugineux. Les affleurements rocheux sont peu fréquents et se retrouvent surtout en rivière où ils forment des îlots et des verrous isolés, le plus grand de ceux-ci étant situé sur l'axe des ouvrages en rivière (Figure 3-4). Des affleurements sont également visibles localement dans le lit de certains marigots. Les

collines sont, en surface, constituées d'accumulations de blocs, ce qui tend à indiquer que le socle se retrouve à plus faible profondeur.



Figure 3-4 Affleurement de quartzite en rivière

3.5 PUIITS D'EXPLORATION

3.5.1 Explorations et programme d'essais en laboratoire

Un total de dix-neuf (19) puits d'exploration a été excavé le long de l'axe de retenue pour des fins de reconnaissance géotechnique des sols en place. Les puits ont été identifiés PE-10-01 à PE-10-20 ; le puits PE-10-11 a dû être annulé, l'emplacement prévu étant sous eau au moment des travaux de reconnaissance. La planche Go9 illustre la position des puits réalisés.

Les puits d'exploration ont été excavé manuellement au moyen d'une pelle et d'une pioche jusqu'à une profondeur maximale avoisinant 5,0 m. Des échantillons ont été récupérés en vrac afin de mener des essais de caractérisation géotechnique au laboratoire. Une fraction de chaque échantillon était scellée de façon à ce que la teneur en eau naturelle soit conservée. Toute les observations relatives à l'infiltration d'eau (ou la présence de suintement) ainsi que la stabilité des parois d'excavation ont été systématiquement notées et consignées dans les rapports de puits. Une photo montrant l'excavation ainsi que les matériaux excavés a été prise pour chaque puits.

Le Tableau 3-2 donne les coordonnées des puits excavés le long de l'axe des ouvrages ainsi que leur localisation par rapport à ces ouvrages. La localisation des puits est montrée sur la planche Go9 en annexe A. Le Tableau 3-3 donne le programme d'essais de laboratoire effectués sur des échantillons de sols provenant des puits d'exploration localisés le long de l'axe des ouvrages. Les rapports de description des puits sont fournis à l'annexe D.

Tableau 3-2 Puits d'exploration le long de l'ouvrage de retenue - Localisation

Puits	Coordonnées UTM WGS84		Localisation
	Est	Nord	
PE-10-01	208530,3	1484476,8	Barrage, rive droite
PE-10-02	208519,8	1484352,4	Barrage, rive droite
PE-10-03	208457,1	1484106,6	Barrage, rive droite
PE-10-04	208400,8	1483987,7	Barrage, rive droite
PE-10-05	208269,4	1483949,0	Barrage, rive droite
PE-10-06	208417,4	1483826,9	Barrage, rive droite
PE-10-07	208190,9	1483871,6	Barrage, rive droite
PE-10-08	208262,3	1483802,0	Barrage, rive droite
PE-10-09	208338,9	1483738,3	Barrage, rive droite
PE-10-10	208407,1	1483667,3	Barrage, rive droite
PE-10-11	Annulé dû au niveau élevé de la rivière		
PE-10-12	207484,9	1483489,8	Barrage, rive gauche
PE-10-13	207912,0	1483410,2	Barrage, rive gauche
PE-10-14	207993,8	1483352,0	Barrage, rive gauche
PE-10-15	207793,9	1483274,3	Barrage, rive gauche
PE-10-16	207883,9	1483223,7	Barrage, rive gauche
PE-10-17	207522,6	1482924,8	Digue de col, rive gauche
PE-10-18	207378,2	1482866,6	Digue de col, rive gauche
PE-10-19	207569,1	1482786,1	Digue de col, rive gauche
PE-10-20	207353,1	1482585,2	Digue de col, rive gauche

Des essais de classification ont été réalisés sur les échantillons de sols afin d'évaluer leurs propriétés géotechniques de bases. La granulométrie de trois (3) échantillons a été déterminée par tamisage pour évaluer la distribution de leur fraction grossière (sable et gravier) ainsi que la proportion constituant la fraction fine (silt et argile). Pour sept (7) échantillons additionnels, la distribution de la fraction fine a également été évaluée par des analyses sédimentométriques au moyen d'un hydromètre. La détermination des limites de consistance (limites d'Atterberg) de la fraction fine des matériaux meubles a également été effectuée sur une portion des échantillons qui devaient être soumis à une analyse sédimentométrique.

La répartition des essais de laboratoire réalisés sur des échantillons de sol provenant des fondations des ouvrages de retenue est donnée au Tableau 3-3 qui suit.

Tableau 3-3 Puits d'exploration le long de l'ouvrage de retenue – Essais de classification géotechnique

Puits	Essais index		
	Granulométrie	Sédimentométrie	Limites de consistance
PE-10-01			
PE-10-02			
PE-10-03	1	1	1
PE-10-04	1	1	1
PE-10-05			
PE-10-06			
PE-10-07			
PE-10-08		1	1
PE-10-09			
PE-10-10			
PE-10-11	Annulé		
PE-10-12		1	1
PE-10-13		1	1
PE-10-14			
PE-10-15			
PE-10-16			
PE-10-17		1	1
PE-10-18	1		
PE-10-19		1	1
PE-10-20			

3.5.2 Stratigraphie observée et résultats des essais de laboratoire

Un résumé de la stratigraphie observée au droit des puits d'exploration est donné au Tableau 3-4. Les puits d'exploration ont révélé la présence d'un couvert organique dont l'épaisseur varie entre 0,15 m au droit du puits PE-10-03 situé en rive droite et 0,50 m à l'endroit du puits PE-10-19 situé en rive gauche, le long de l'axe de la digue de col. En moyenne, l'épaisseur de la terre végétale est de 0,30 m.

Tableau 3-4 Stratigraphie au droit des puits d'exploration

Puits	Épaisseur de terre végétale	Épaisseur de sol résiduel	Profondeur du roc altéré	Profondeur du refus
-	m	m	m	m
PE-10-01	0,30	0,60	0,90	1,30
PE-10-02	0,20	2,30	na	2,50
PE-10-03	0,15	4,75	na	4,90
PE-10-04	0,40	> 4,70	na	> 5,10
PE-10-05	0,40	2,60	na	3,00
PE-10-06	0,20	1,40	1,60	2,50
PE-10-07	0,25	0,25	0,50	1,10
PE-10-08	0,20	1,10	na	1,30
PE-10-09	0,25	0	0,25	1,20

Puits	Épaisseur de terre végétale	Épaisseur de sol résiduel	Profondeur du roc altéré	Profondeur du refus
-	m	m	m	m
PE-10-10	0,25	1,55	na	1,80
PE-10-12	0,20	1,40	1,60	2,60
PE-10-13	0,20	1,80	2,00	2,40
PE-10-14	0,40	0	0,40	1,00
PE-10-15	0,35	0	0,35	1,10
PE-10-16	0,40	0	0,40	0,90
PE-10-17	0,40	4,00	na	4,40
PE-10-18	0,20	3,10	na	3,30
PE-10-19	0,50	> 4,50	na	> 5,00
PE-10-20	0,30	1,40	na	1,70

Une couche de sol résiduel constitué de gravier sableux silteux à silt avec un peu de sable a été observée dans tous les puits à l'exception des puits PE-10-09 (situé à 170 m de la rivière en rive droite) et des puits PU-10-14 à PE-10-16 (regroupement de puits situés dans le secteur de l'appui gauche du barrage, à environ 250 m de la rivière). Au droit de ces puits, le roc altéré a été observé directement sous la couverture organique. L'épaisseur de sol résiduel varie entre 0,60 m dans le puits PE-10-01 situé à l'extrémité de l'appui droit du barrage en rive droite, et au-delà de 4,70 m au droit du puits PE-10-04 localisé à mi-chemin le long de l'axe du barrage en rive droite.

Aucune infiltration d'eau ni instabilité de parois n'ont été observées dans les puits d'exploration.

Il est à noter que la notion de refus sur roc doit être interprétée dans le contexte d'une excavation réalisée au moyen de pelles et pioches. Il demeure par conséquent possible qu'un horizon de sol résiduel d'épaisseur appréciable subsiste sous la limite de refus observé, tel qu'observé au droit de certains forages. Ainsi, la topographie du toit du roc devrait essentiellement être interprétée à partir de résultats de forage et non par la stratigraphie déterminée au droit des puits d'exploration.

L'importance des puits réside incontestablement dans la qualité des échantillons qui peuvent y être prélevés et, par extension, dans la description du sol résiduel qui est obtenue par l'entremise d'essais de caractérisation en laboratoire. Le Tableau 3-5 ci-dessous donne les résultats des analyses granulométriques et des limites de consistance pour les dix (10) échantillons de sol résiduel qui ont été récupérés dans les puits excavés le long de l'axe des ouvrages. La distribution granulométrique de chaque échantillon est également illustrée à la Figure 3-5 tandis que les limites de consistance de la fraction fine sont montrées sur l'abaque de plasticité de Casagrande de la Figure 3-6.

Tableau 3-5 Puits d'exploration le long de l'ouvrage de retenue – Caractéristiques géotechniques

Puits	Échantillon	Profondeur	Fraction graveleuse	Fraction sableuse	Fraction fine	Limites de consistance		
						Limite de plasticité	Limite de liquidité	Indice de plasticité
-	-	m	%	%	%	%	%	%
PE-10-03	1	0,4 à 1,7	27	45	28	-	-	-
PE-10-03	2	1,7 à 4,9	0	16	84	18	31	13
PE-10-04	1	0,4 à 1,8	31	48	21	-	-	-
PE-10-04	2	1,8 à 5,1	0	15	85	22	38	16
PE-10-08	1	0,2 à 1,6	62	15	23	19	33	14
PE-10-12	1	0,2 à 1,6	43	37	20	19	36	17
PE-10-13	1	0,2 à 2,0	44	34	22	19	35	16
PE-10-17	2	3,1 à 4,4	10	31	59	23	41	18
PE-10-18	1	1,4 à 3,3	17	33	50	-	-	-
PE-10-19	1	1,4 à 5,0	3	28	69	25	47	22

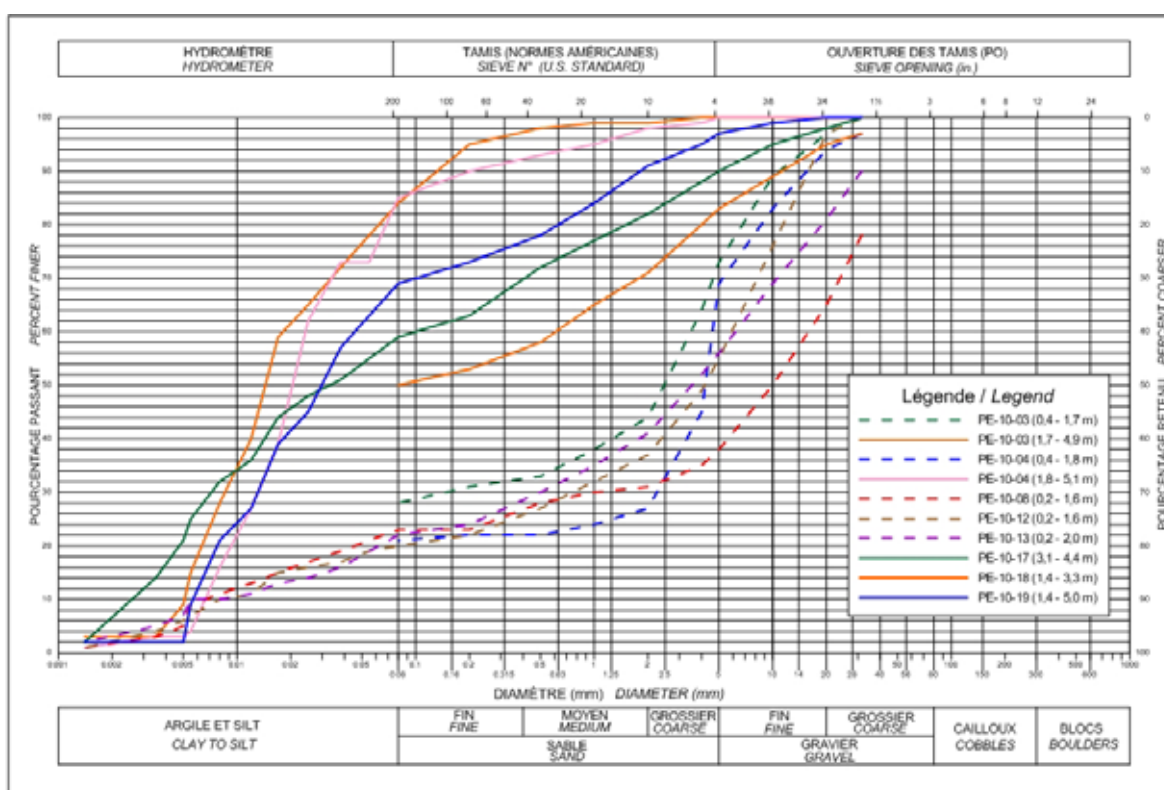


Figure 3-5 Axe des ouvrages de retenue – Distribution granulométrique des sols résiduels

Abaque de plasticité de Casagrande - Matériaux de fondation

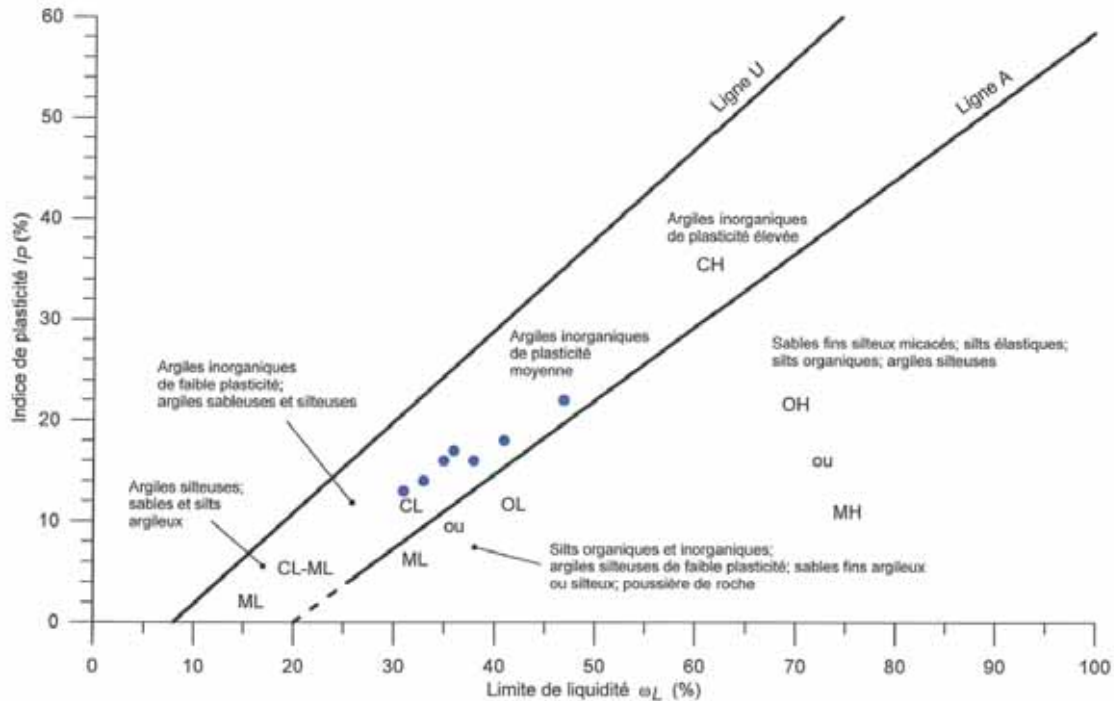


Figure 3-6 Axe des ouvrages de retenue – Abaque de plasticité des sols résiduels

Les résultats des essais de laboratoire permettent de tirer les grandes lignes suivantes :

- Tel qu'illustré dans la Figure 3-5, il y a une nette différence dans la distribution granulométrique des matériaux de fondation issus des deux premiers mètres depuis le niveau du terrain naturel comparativement aux matériaux récupérés à de plus grandes profondeurs. En effet, la couche superficielle présente une distribution granulométrique uniforme pour les constituants de gravier et sable grossier, puis devient subitement étalée dans les proportions de particules dont le diamètre varie entre celui de sable moyen jusqu'à celui du silt. Le sol résiduel de la couche superficielle peut être décrit comme étant constitué d'un gravier avec un peu de sable et un peu de silt avec traces d'argile. La couche sous-jacente de sol résiduel présente une granulométrie significativement plus riche en fines et pauvre en gravier étant constituée principalement de silt sableux avec un peu de gravier et traces d'argile à silt avec un peu de sable et traces d'argile. Ce profil présente fort probablement un niveau éluvial qui est typique des sols résiduels soumis à un écoulement d'eau souterraine saisonnier qui amène un lessivage progressif de la matrice fine. Ce phénomène a pour effet de créer des vides au sein du sol résiduel et d'augmenter considérablement le coefficient de conductivité hydraulique de l'horizon superficiel. L'établissement du niveau éluvial demeure une caractéristique importante à considérer pour l'évaluation de l'étanchéité de la fondation aux appuis des ouvrages et dans la cuvette en général.

- La limite de liquidité (ω_L) varie entre 31 et 47% pour une valeur moyenne de 37% (voir Figure 3-6) ce qui confère un comportement de plasticité moyenne à la fraction fine du sol résiduel. A priori ce résultat peut sembler étonnant compte tenu du faible pourcentage d'argile (< 200 μm) mesuré à l'hydromètre, ce dernier variant entre 2 et 7% pour une moyenne de 3,4%. Le coefficient d'activité moyen calculé, lequel correspond au ratio entre l'indice de plasticité moyen et le pourcentage d'argile moyen, est de 4,9. Ce résultat suggère que la fraction argileuse soit composée de montmorillonite de sodium. Le Tableau 3-6 ci-dessous tiré de Skempton¹² donne le coefficient d'activité de différents minéraux.
- La montmorillonite de sodium pourrait être dérivée de l'hydrolyse d'une roche mère sédimentaire terrigène, riche en silice et feldspaths sodiques tels que les quartzites issus de la série du Dialé qui prédominent dans la région de Gourbassi. Il est à noter que certains sols résiduels constitués de silt micacé peuvent également présenter une forte activité et ce malgré l'absence de smectites.

Tableau 3-6 Coefficient d'activité de certains minéraux

Minéral	Activité
Montmorillonite de sodium	4 – 7
Montmorillonite de calcium	1,5
Illite	0,5 – 1,3
Kaolinite	0,3 – 0,5
Halloysite (déshydraté)	0,5
Halloysite (hydraté)	0,1
Attapulgite	0,5 – 1,2
Allophane	0,5 – 1,2
Mica (muscovite)	0,2
Calcite	0,2
Quartz	0

L'origine du comportement plastique de la fraction fine devrait être confirmée à l'aide d'un examen par diffraction aux rayons-X.

3.6 FORAGES CAROTTÉS ET ESSAIS IN SITU

Afin de caractériser le site à l'étude, sept forages carottés, identifiés FC-10-01 à FC-10-07, ont été réalisés. La planche Go9 illustre la position des forages en plan. Le Tableau 3-7 suivant résume les types de matériaux récupérés dans les forages.

Tableau 3-7 Forages carottés - Stratigraphie

Forage	Longueur forée (m)			Total
	Mort-terrain	Roc altéré	Roc sain	
FC-10-01	7,5	12,5	-	20,0
FC-10-02	7,5	2,3	20,2	30,0

¹² Skempton, A.W. « *The Colloidal Activity of Clays* », *Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. I, 1953, p. 57-61.

Forage	Longueur forée (m)			
	Mort-terrain	Roc altéré	Roc sain	Total
FC-10-03	0,0	0,0	40,0	40,0
FC-10-04	0,0	0,0	14,3	14,3
FC-10-05	17,7	2,1	5,9	25,7
FC-10-06	3,5	1,8	7,3	12,6
FC-10-07	4,3	2,5	13,2	20,0
Total	40,5	21,2	100,9	162,5

À l'exception des forages FC-10-03 et FC-10-04 qui ont été réalisés directement sur les affleurements de roc sain dans le lit de la rivière Falémé, les forages ont rencontré des épaisseurs de mort-terrain/sol résiduel variant entre 3,5 et 17,7 m. Six essais SPT ont été réalisés à l'intérieur des forages FC-10-01 et FC-10-02 et ont révélé une compacité dense à très dense (Tableau 3-8).

Tableau 3-8 Forages carottés – Essais SPT

Forage	Profondeur (m)	Essai SPT	
		Comptage / enfoncement de 15 cm	Valeur « N »
FC-10-01	1,5	12, 12, 18	30
	3	> 50	Refus
	4,5	> 50	Refus
	6	> 50	Refus
	7,5	> 50	Refus
FC-10-02	1,5	> 50	Refus

L'enfoncement de l'échantillonneur (cuillère fendue) ayant été beaucoup trop faible et par conséquent la représentativité granulométrique des échantillons prélevés étant douteuse, il n'a pas été jugé pertinent de procéder à l'analyse en laboratoire des faibles quantités de sols résiduels récupérées par l'entremise des essais SPT. Toutefois, ces sols ont pu être analysés dans les puits exploratoires PE-10-01 à PE-10-20.

Sous cette couche de sol résiduel, un horizon de roc altéré a été observé sur des épaisseurs variant entre 1,8 et plus de 12,6 m (le roc sain n'a pas été observé dans le forage FC10-01). Des poches d'argile, de silt et/ou de sable ont été observées à l'intérieur de cette couche. Les valeurs moyennes de l'indice RQD de cet horizon de roc altéré varient entre 19% et 79% (Tableau 3-9).

Les forages effectués indiquent que l'épaisseur totale des couches d'éluvions, de roc complètement altéré (latéritisé) et de roc faiblement altéré varie entre 5 et 10 m dans 3 des 5 forages effectués sur les 2 rives. Dans les 2 autres forages, cette épaisseur atteint 20 m (FC-10-05) ou excède 20 m (FC10-01).

Tableau 3-9 Forages carottés – Récupération et RQD (roc altéré)

Forage	Récupération moyenne (%)	Indice RQD moyen (%)
FC10-01	79	36
FC10-02	91	23
FC10-03	NA	NA
FC10-04	NA	NA
FC10-05	84	19
FC10-06	100	79
FC10-07	85	38

Des essais Lugeon ont été réalisés dans le roc altéré et des valeurs de 4 à 47 unités Lugeon (avec une moyenne de 25 Lu) ont été calculées à des profondeurs variant entre 11,2 et 17,7 m (Tableau 3-10).

Tableau 3-10 Forage carottés FC-10-01 – Essais Lugeon (roc altéré)

Forage	Profondeur (m)		Matériau	Unité Lugeon
	De	À		
FC-10-01	11,2	12,5	Roc altéré	31
	12,5	13,8	Roc altéré	47
	13,8	15,2	Roc altéré	4
	15,2	16,4	Roc altéré	26
	16,4	17,7	Roc altéré	16

Le roc sain a été observé en surface dans le lit mineur de la rivière Falémé, ainsi qu'au droit des forages FC-10-03 et FC-10-04 situés en rivière. Ailleurs, le roc sain a été observé à des profondeurs variant entre 5,3 et 19,8 m sauf pour le forage FC-10-01 qui s'est terminé à la profondeur de 20,0 m sans atteindre le roc sain. En se basant sur les valeurs moyennes de l'indice RQD, la qualité du roc peut être considérée comme variant de moyenne à excellente, la majeure partie étant de bonne qualité tel qu'indiqué au Tableau 3-11.

Tableau 3-11 Forages carottés – Récupération et RQD (roc sain)

Forage	Récupération moyenne (%)	Indice RQD moyen (%)
FC-10-01	-	-
FC-10-02	92	82
FC-10-03	98	95
FC-10-04	97	68
FC-10-05	97	80
FC-10-06	93	94
FC-10-07	98	83

Selon les essais Lugeon réalisés, la partie supérieure du roc sain (jusqu'à la profondeur de 13,0 m) apparaît moyennement perméable avec des valeurs atteignant 28 Lu. Toutefois, sous cette profondeur, le roc est considéré comme très peu perméable avec des valeurs inférieures ou égales à 3 Lu.

Tableau 3-12 Forage carotté FC-10-03 – Essais Lugeon (roc sain)

Forage	Profondeur (m)		Matériau	Unité Lugeon
	De	À		
FC-10-03	3,0	4,3	Roc sain	6
	4,3	8,7	Roc sain	21
	8,7	13	Roc sain	28
	13	17,3	Roc sain	1
	17,3	21,6	Roc sain	3
	21,6	25,9	Roc sain	1
	25,9	30,2	Roc sain	3
	30,2	34,5	Roc sain	1
	34,5	38,8	Roc sain	1

3.7 GÉOLOGIE DU SITE DU BARRAGE

3.7.1 Description générale

Des travaux de reconnaissance ont été effectués par SENEGAL-CONSULT en 1968-1969 le long de 3 axes distincts dans la région de Gourbassi. Ces travaux ont compris 7 forages totalisant 284 m, ce qui a permis de conclure à l'époque que les conditions géologiques au site de Gourbassi étaient complexes. Ainsi les roches au site ainsi qu'aux environs du site de Gourbassi font partie d'une série légèrement métamorphique, généralement d'origine détritique (grès, pélites, etc.), parfois volcanique (andésite, tufs, laves) ou chimique (calcaires). Cette grande hétérogénéité des roches est souvent accompagnée d'une altération profonde et forte, tel que noté dans certains forages.

3.7.1.1 Lithologie

Une classification préliminaire des roches d'après leur aspect microscopique et en tenant compte de leur altération a été établi en son temps sur la base des résultats des forages effectués en 1968-1969. Les variétés suivantes ont été distinguées :

- 1) Roches de couleur claire
 - a) Schistes fortement séricitisés incluant des quartzites, grauweekes et brèches de texture schisteuse et avec fort pourcentage de séricite. Cette variété est très répandue ;
 - b) Quartzites légèrement séricitisés ; cette variété est peu répandue ;
 - c) Calcaires et dolomies ; cette variété n'a été observée qu'en une seule zone.
- 2) Roches à patine foncée
 - a) Quartzite, grauweekes et jaspes de couleur noirâtre, violette ou brune foncée, de texture massive ; cette variété est très répandue ;
 - b) Méta-andésite, agglomérats et tufs de couleur verte, ainsi que dolérites ou basaltes métamorphisés.

De nombreux filons de quartz sont également observés.

Les travaux effectués en 1968-1969 ont permis d'établir que les passages d'une variété de roche à l'autre sont extrêmement rapides. L'intensité et la profondeur de l'altération

varient selon la lithologie; l'altération est plus accentuée dans les roches schisteuses que dans les roches massives.

Ces mêmes travaux ont aussi permis d'établir que l'altération dans la région de Gourbassi s'est traduite soit par une ferralitisation sous forme d'encroûtement latéritique avec développement de concrétions ou de cuirassement ferrugineux.

3.7.1.2 Structure

Au site retenu pour l'aménagement de Gourbassi, le socle rocheux est en très grande partie recouvert de mort terrain et n'est généralement pas visible ; le socle n'est exposé qu'à certains endroits dans le lit de la Falémé, notamment dans l'axe des ouvrages, et dans certains marigots ainsi qu'à l'endroit des quelques buttes rocheuses en relief. Malgré le fait que le socle est présumé être fortement plissé, les éléments structuraux tels que les plis sont rarement visibles sur les affleurements. Par contre, il est possible de reconnaître deux systèmes de clivage prononcés dans les quelques affleurements plus sains.

Certains indices morphologiques pourraient être interprétés comme indiquant la présence de failles dans la région de Gourbassi, mais ces indices sont peu probants. En l'absence de données plus précises, ces failles ne sont pas indiquées sur les dessins.

3.7.2 **Fondation des ouvrages**

3.7.2.1 Généralités

Ce chapitre décrit les conditions de fondation rencontrées au droit des ouvrages et discute brièvement des implications qu'ont ces conditions sur la conception des ouvrages. Sont passés en revue, dans l'ordre, le lit mineur de la Falémé, l'appui droit, l'appui gauche puis la digue de col.

Il a été déterminé lors de l'exécution des campagnes d'investigation par forage de 1968 et 1969, que le socle rocheux est très hétérogène dans la région de Gourbassi. Pour cette raison, ce sont les conditions géologiques qui ont présidé au choix de l'emplacement de l'axe des ouvrages. La première campagne de 4 forages a été effectuée le long d'un axe qui s'est révélé défavorable des points de vue géologique et topographique. La deuxième campagne de forages a été effectuée en 1969 près du site de l'axe présentement considéré ; elle a indiqué des conditions géologiques nettement plus favorables. Ces résultats ont été affinés avec ceux de la campagne de forages de 2011.

3.7.2.2 Lit mineur

Le rocher affleurant dans le lit de la rivière Falémé à l'endroit de l'axe des ouvrages est constitué de quartzites sombres relativement homogènes. Ce roc est considéré comme étant de bonne qualité.

Effectivement, les deux forages, FC-10-03 et FC-10-04, réalisés en 2011 de part et d'autre des ouvrages de béton (évacuateur de crues et centrale) prévus dans le lit mineur de la Falémé ainsi que les observations de terrain confirment que ces ouvrages reposeront sur du roc sain qui affleure en surface sur la totalité de la largeur des

ouvrages prévus. Le roc qui affleure dans le lit de la Falémé est composé de quartzite très dure et très peu altérée, de couleur noire avec teinte violacée. C'est un roc jugé très abrasif basé sur sa haute teneur en quartz. Localement, les quartzites sont légèrement fissurés et fracturés.

Tel qu'illustré sur la Figure 3-4, la surface de l'affleurement de quartzite en rivière a été soumise à l'érosion par l'eau et elle est très accidentée. La surface présente des arêtes polies, parfois arrondies, parfois angulaires et tranchantes, ainsi que des cavités arrondies parfois profondes.

Selon la littérature, la résistance à la compression uniaxiale des quartzites est de l'ordre de 150 à 600 MPa. Les difficultés rencontrées pour casser, à l'aide du marteau géologique, des morceaux de quartzite dans le but d'obtenir des échantillons témoignent de la résistance élevée de ces quartzites. Selon les essais de perméabilité de type Lugeon réalisés dans le forage FC-10-03, les quartzites sont considérées comme étant moyennement perméables de la surface jusqu'à la profondeur de 13,0 m (6 à 28 Lu) et très peu perméables sous ce niveau (de 1 à 3 Lu).

3.7.2.3 Appui rive droite

Lors de la deuxième campagne de forages effectuée en 1969, deux forages, FA 11 et FA 12, avaient été réalisés en rive droite à environ 0,5 km en aval de l'axe présentement considéré pour les ouvrages. Le forage FA 11 avait récupéré des quartzites saines à partir de 5 m de profondeur et le forage FA 12 avait récupéré des quartzites saines mais fissurées à partir de 10 m de profondeur.

Selon les sondages réalisés en 2011 dans l'emprise du barrage en rive droite (forages carottés FC-10-01 et FC-10-02 et puits d'exploration PE-10-01 à PE-10-10), une épaisseur de sol résiduel pouvant atteindre 7,5 m est présente sous l'appui du barrage en rive droite. De façon générale, cette épaisseur diminue en se dirigeant vers la rivière Falémé où aucun sol résiduel n'a été observé (FC-10-03); cette épaisseur diminue également en se dirigeant vers l'extrémité Nord du barrage où des affleurements sont observés.

Sous le sol résiduel, du roc altéré a été observé sur une épaisseur variant entre 2,3 m (FC-10-02) à plus de 12,5 m dans le forage FC10-01, où le roc sain n'a pas été atteint. Des poches de sol résiduel blanchâtre et brunâtre ont été observées dans cet horizon. Selon les essais de perméabilité de type Lugeon réalisés dans le forage FC-10-01, le roc altéré est considéré comme étant perméable avec des valeurs Lugeon variant de 4 à plus de 45 Lu (avec une moyenne de 25 Lu). Tel qu'attendu, le roc altéré est de qualité nettement moindre que le roc sain; cette qualité varie de mauvaise à très mauvaise avec des indices RQD moyens variant de 36% à 23%.

Le roc sain a été rencontré à la profondeur de 9,8 m dans le forage FC-10-02 mais il n'a pas été observé dans le forage FC-10-01, de 20 m de longueur, situé au NE du forage FC-10-02 et donc plus près de l'extrémité du barrage en rive droite.

Le roc sain est peu fracturé tel qu'indiqué par les valeurs de l'indice RQD. Les essais de type Lugeon réalisés dans le forage FC-10-03 situés dans le lit mineur près de la rive droite, indiquent que le roc sain est moyennement perméable de la surface jusqu'à la profondeur de 13,0 m (de 6 à 28 Lu) et très peu perméable sous ce niveau (de 1 à

3 Lu). Toutefois, en considérant l'emplacement du forage FC-10-03 (dans le lit mineur), il est hasardeux de conclure sur la perméabilité du roc sain sous le barrage en rive droite. Des essais de perméabilité supplémentaires sont donc recommandés sous le barrage en rive droite.

Dans le secteur compris entre le forage FC-10-01 et la berge droite de la rivière, la profondeur du roc altéré et du roc sain étant de l'ordre de 8 et 20 m respectivement, il devient économiquement plus avisé de considérer que le noyau sera fondé sur le roc altéré traité et injecté. Les recharges du remblai devront être construites à partir d'un niveau de fondation qui sera jugé acceptable au niveau de sa compacité. Sur la base de l'information obtenue à partir des puits d'exploitation et des forages, le niveau de la fondation acceptable pourrait se situer à l'intérieur de la strate de sol résiduel dense. Le niveau de la fondation acceptable pourrait varier selon la coupe type de la retenue qui sera choisie. Ainsi, pour un barrage en enrochement dont les pentes sont plus raides que pour un barrage dont les recharges sont constituées de sol latéritique, il doit être anticipé que le critère de fondation acceptable soit plus sévère en terme de compacité afin de résister au cisaillement de la fondation associé au poids des recharges

3.7.2.4 Appui rive gauche

En rive gauche, le forage FA 14 effectué en 1969 juste en aval de l'axe présentement considéré, avait récupéré des alternances de schistes séricitiques et de quartzites, altérées jusqu'à 6 m de profondeur puis saines mais très fissurées à plus grande profondeur.

Au droit de l'appui du barrage en rive gauche, à proximité de la rive de la Falémé, une épaisseur de sol résiduel de plus de 17 m a été observée dans le forage FC-10-05 effectué en 2011. L'épaisseur de sol résiduel diminue en se dirigeant vers la butte rocheuse qui sépare le barrage rive gauche de la digue de col ; ainsi, l'épaisseur de la couche de sol résiduel n'atteint que 3,5 m dans le forage FC-10-06 situé juste au nord-est de la butte rocheuse.

Les puits PE-10-12 à PE-10-16, effectués en 2011 le long de l'axe des ouvrages en rive gauche, ont également récupérés des sols résiduels reposant sur du roc altéré et confirment ainsi les résultats des forages.

L'épaisseur de « sol résiduel » observée dans le forage FC-10-05 laisse envisager la présence en bordure gauche du lit actuel de la rivière, soit d'un sillon creusé anciennement par la rivière, soit d'une roche plus susceptible à une altération profonde. Une investigation complémentaire devra être réalisée à cet endroit.

Sous le sol résiduel, du roc altéré a été observé dans les forages FC-10-05 et FC-10-06 sur une épaisseur approximative de 2,0 m. Des poches de sol résiduel témoignant du processus d'altération de la roche mère ont été observées dans l'horizon de roc altéré.

Le roc altéré est de qualité mauvaise (FC-10-05) à bonne (FC-10-06) selon les indices RQD.

Sous le roc altéré, le roc sain, constitué de quartzite et schiste, a été rencontré à la profondeur de 19,75 m dans le forage FC-10-05 et à la profondeur de 5,30 m dans le forage FC-10-06.

Aucun essai de perméabilité n'a été réalisé dans les forages effectués en rive gauche durant la campagne de 2011. Des essais de perméabilité sont donc recommandés sur cette rive du barrage.

En l'absence d'essais de perméabilité en rive gauche, il faut se baser sur les valeurs Lugeon observées dans le forage FC-10-03 pour tenter d'estimer la perméabilité du roc sain en rive gauche. Basé sur les valeurs observées dans le forage FC-10-03, le roc sain est considéré comme étant moyennement perméable de la surface jusqu'à la profondeur de 13 m (de 6 à 28 Lu) et très peu perméable sous ce niveau (de 1 à 3 Lu).

Les explorations réalisées en rive gauche suggèrent que le concept de barrage devrait retenir l'option de fonder le noyau au niveau du roc altéré préalablement traité à sa surface et injecté en profondeur, principalement dans le secteur compris entre la berge de la rive gauche et un point situé à une quarantaine de mètres avant l'emplacement du forage FA-14. Les recharges du barrage pourraient reposer sur le sol résiduel dense. Il importe cependant de statuer sur la faisabilité d'un rideau d'injection au sein du roc altéré par l'entremise d'essais de perméabilité Lugeon.

Les investigations laissent croire qu'au-delà de l'emplacement du forage FA-14 les recharges du barrage pourraient être fondées sur le roc altéré tandis que la clé parafouille du noyau pourrait être fondée sur le roc sain traité et injecté.

3.7.2.5 Digue de col

Un forage, le FC-10-07, ainsi que quatre puits d'exploration, ont été réalisés à l'endroit prévu pour la digue de col. Du sol résiduel a été observé sous le couvert organique jusqu'à des profondeurs variant entre 1,7 et 4,4 m. Sous le sol résiduel, du roc altéré et fragmenté avec présence de poches de sable et argile a été observé dans le forage FC-10-07 jusqu'à la profondeur de 6,80 m où le roc sain est atteint. La qualité du roc altéré, basée sur l'indice RQD, est considérée mauvaise avec un indice RQD moyen de 38%. Toutefois, le roc sain est considéré comme étant de bonne qualité avec un indice RQD moyen de 83%.

Aucun essai de perméabilité n'a été réalisé dans le forage FC10-07 effectué à l'endroit de la digue de col. Des essais de perméabilité sont donc recommandés lors de la prochaine campagne.

Sur la base de l'information géologique pertinente obtenue dans le secteur de la digue de col, les recharges de la retenue en remblai pourraient être construites à partir du niveau du roc altéré. Le noyau pourrait, quant à lui, être fondé directement sur le roc sain traité et injecté.

3.8 GÉOLOGIE DE LA CUVETTE DE RETENUE

3.8.1.1 Géomorphologie

La majeure partie de la future cuvette de retenue, qui s'allonge sur une soixantaine de kilomètres à vol d'oiseau, est recouverte d'un manteau latéritique résultant de l'altération de la roche mère sous l'effet du climat tropical; une cuirasse latéritique s'est développée sur ce manteau.

Dans cette zone, où prédominent des roches sensibles à l'altération biochimique, le haut glacis cuirassé a été fortement disséqué par l'érosion et il se réduit à des tables ferrugineuses faiblement inclinées se dressant à proximité des cours d'eau. Elles dominent ainsi le lit majeur de la Falémé ou du bas glacis dans la région de Gourbassi par un escarpement de hauteur variable.

Des fragments du moyen glacis cuirassé, qui s'est développé par érosion différentielle dans les formations ameublées par l'altération biochimique, dominent en plusieurs endroits la vallée de la Falémé.

Le bas glacis, qui se caractérise par l'absence de cuirasse ferrugineuse et qui s'est formé aux dépens des glacis antérieurs, longe la Falémé et ses petits affluents en contrebas des tables ferrugineuses des moyen et haut glacis.

La Falémé recoupe aussi en de nombreux endroits des dépôts de graviers sous berge qui affleurent sous une épaisseur variable de dépôts détritiques beaucoup plus fins (observables à une dizaine d'endroits en descendant la Falémé de Wassangara à Gourbassi). Ils jalonnent la rive concave du grand méandre de la Falémé juste en amont de Saiensoutou. Les prospections minières des alluvions de la Falémé dans la zone de la future cuvette de retenue ont partout traversé en bordure du lit actuel ce niveau de graviers sous berge qui tapisse le socle rocheux et qui peut être d'une épaisseur variant entre 0,5 et 9 m. Les graviers sous berge sont aussi visibles dans le lit mineur des affluents de la Falémé. [Réf. 3].

3.8.1.2 Lithologie et structure

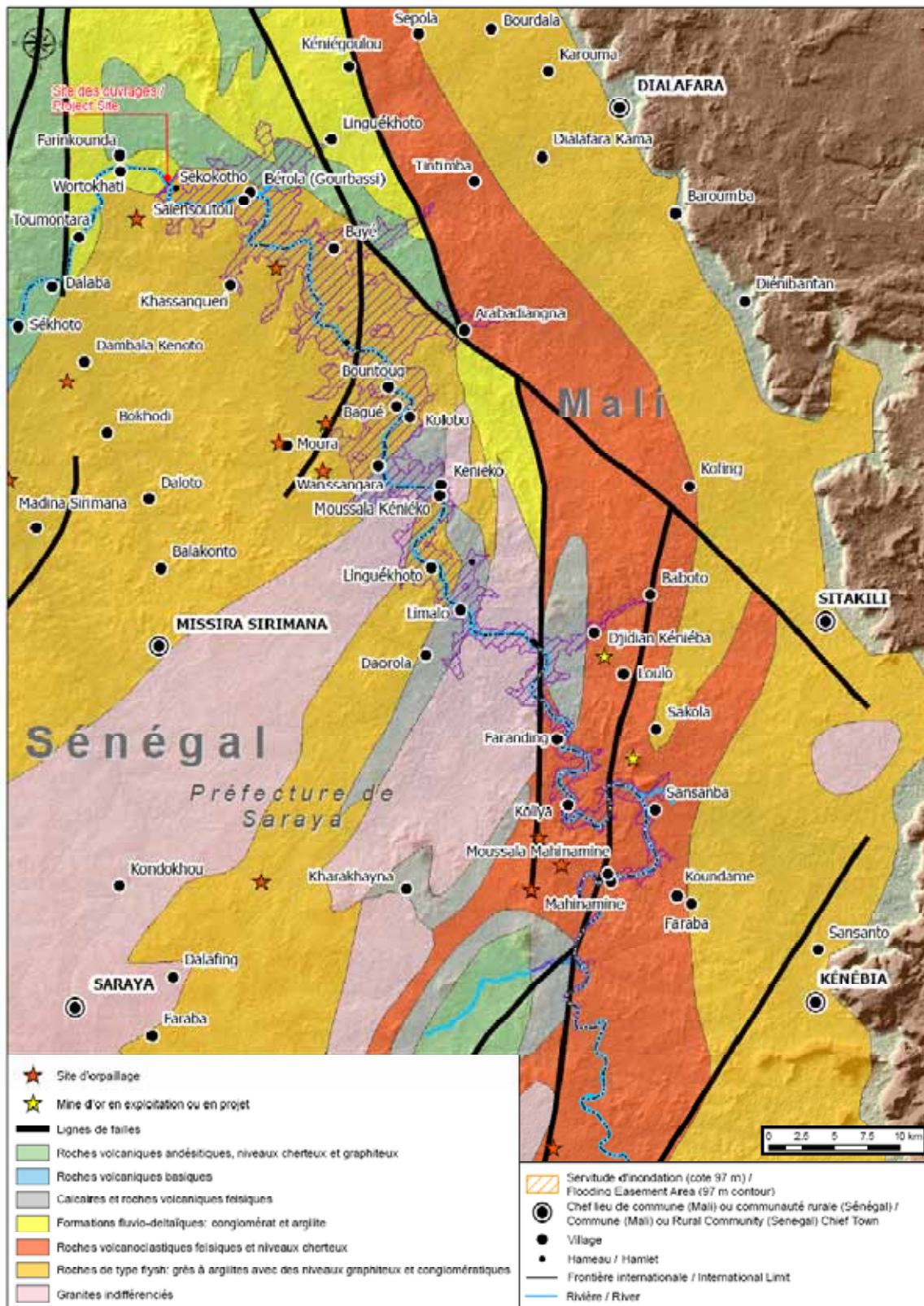
Le socle birrimien qui se retrouvera sous la cuvette de retenue appartient à la boutonnière de Kédougou-Kéniéba (ou fenêtre de Kéniéba) qui représente une des portions stables du continent africain. Les roches qui se retrouveront dans la cuvette sous un couvert de formations superficielles sont hétérogènes; il s'agit essentiellement de roches volcaniques, de quartzites, de granites et autres granitoïdes, de grauwackes, de schistes et autres roches sédimentaires métamorphisées (Figure 3-7).

Ces roches peuvent permettre des écoulements d'eau dans les fissures et joints qui les recoupent mais, contrairement à des roches poreuses, karstiques ou solubles, leur perméabilité devrait être modérée. Par ailleurs, ces roches sont altérées en surface et la forte proportion d'argile provenant des altérations aura pour effet de colmater les fissures ouvertes, réduisant ainsi la perméabilité.

Il faut dire toutefois que l'étanchéité de la cuvette de retenue reste à confirmer; dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible d'éliminer complètement la possibilité de pertes d'eau importantes par écoulement souterrain.

3.8.1.3 Stabilité des versants

La stabilité des versants de la retenue potentielle est favorisée par un relief peu accentué mais également par la présence des glacis cuirassés sur de grandes étendues. Aucune trace de glissement de terrain n'a été observée ni dans la zone du barrage ni dans celle de la cuvette de retenue.



¹³ Source : [Réf. 9] modifiée

3.8.1.4 Étanchéité de la cuvette de retenue

Les informations géologiques disponibles à ce jour n'indiquent pas de zone spécifique à l'intérieur des limites de la cuvette de retenue projetée où il pourrait y avoir de fortes infiltrations (par exemple des grès perméables, des calcaires karstiques ou des roches solubles). De plus, la forte proportion d'argile résultant de l'altération du socle et qui se retrouve comme matériau de remplissage dans les fractures du roc limite d'autant les possibilités d'infiltration.

Suite à l'ennoisement de la cuvette de retenue, une déposition des matériaux en suspension, silt et argile, se produira et ces matériaux recouvriront le fond de la retenue. Au passage des ans, l'épaisseur de ce tapis naturel imperméable augmentera progressivement, ce qui aura pour effet de réduire les éventuelles pertes d'eau par infiltration dans le socle.

Lors de la prochaine phase des travaux d'investigation du site, une cartographie géologique plus détaillée de la retenue sera requise.

3.9 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

3.9.1 Généralités

La recherche de matériaux d'emprunt pour la construction des ouvrages visait à identifier :

- Des matériaux imperméables pour assurer l'étanchéité des digues et des batardeaux ;
- Des sites de carrières pour les granulats du béton et pour les différents types d'enrochement requis pour le barrage et les aménagements connexes.

Une recherche de matériaux granulaires, requis entre autre pour les besoins des filtres et des granulats fins du béton, a été effectuée mais cette recherche s'est avérée infructueuse puisqu'aucun dépôt d'importance n'a été identifié. Les filtres et granulats fins devront donc être produits à partir du roc sain excavé au site des ouvrages et à partir du roc de carrière.

De façon générale, la recherche de bancs d'emprunt de matériaux imperméables s'est amorcée au voisinage immédiat des ouvrages projetés, sur les sites précédemment identifiés en 1969 par SENEGAL CONSULT, pour s'étendre progressivement sur une distance d'environ 2 km en amont de l'axe retenu pour les ouvrages, le long ainsi que de part et d'autre de la Falémé.

Le moyen utilisé a été le puits d'exploration excavé manuellement, ce qui a indirectement favorisé l'exploration des zones les plus meubles aux dépens des formations partiellement indurées telles que les latérites recouvertes d'une cuirasse ferrugineuse. L'exploration détaillée des zones latéritiques pourra se poursuivre en phase d'APD, mais avec des moyens mécaniques cette fois.

Des échantillons ont été prélevés pour identification et pour évaluer les propriétés physiques et mécaniques des matériaux rencontrés.

3.9.2 Matériaux imperméables

3.9.2.1 Localisation et description générale de la source d'emprunt

Une source potentielle d'emprunt de matériau imperméable a été localisée en rive droite de la rivière Falémé, à une distance d'approximativement 1,8 km au Sud-est du site des ouvrages principaux. Il est à noter que la recherche de sources d'emprunt s'est concentrée principalement dans le secteur amont de la retenue afin de minimiser les impacts environnementaux suite à leur exploitation.

La recherche de secteurs pouvant renfermer des matériaux imperméables reposait essentiellement sur des évidences géomorphologiques tels que des versants offrant un drainage marginal suggérant la présence d'éluvions à granulométrie étalée produits par l'altération in-situ de la roche mère ou encore de zones d'accumulation colluvionnaire aux pied des collines.

Située au pied d'une butte faisant une vingtaine de mètre de hauteur, la zone investiguée forme une petite cuvette d'environ 10 m de profondeur mesurée depuis le pied de ladite butte. Les pentes de la cuvette sont douces et varient entre 1V : 30H au nord et à l'est, et 1V : 10H du côté ouest. Le flanc sud de cette source potentielle d'emprunt est bordé par la berge de la rivière Falémé qui dans cette zone a une orientation Est-Ouest.

La topographie peu accidentée et la faible densité de la végétation en rive droite dans cette zone font en sorte que l'accès à la source d'emprunt est facilement praticable depuis le site des ouvrages.

La localisation de la source d'emprunt par rapport au site des ouvrages est illustrée sur la planche Go9 de l'annexe A.

3.9.2.2 Explorations et programme d'essais en laboratoire

Au total quinze (15) puits d'exploration ont été excavés afin de statuer sur la qualité des matériaux imperméables. Ces puits, identifiés S1 à S15, ont servi à déterminer les caractéristiques géotechniques des matériaux d'emprunt, à établir les limites d'exploitation du dépôt, à évaluer les besoins en décapage de la couverture organique, et à estimer les quantités prouvées et potentielles de matériau imperméable disponibles.

Le Tableau 3-13 donne les coordonnées des puits excavés pour la recherche de matériau de construction imperméable.

Tableau 3-13 Source potentielle d'emprunt – Localisation des puits d'exploration

Puits	Coordonnées UTM WGS 84	
	Est	Nord
S1	209456	1482656
S2	209395	1482550
S3	209375	1482428
S4	209388	1482347
S5	209399	1482252

Puits	Coordonnées UTM WGS 84	
	Est	Nord
S6	209507	1482637
S7	209454	1482518
S8	209423	1482379
S9	209451	1482308
S10	209408	1482187
S11	209402	1482700
S12	209308	1482549
S13	209314	1482473
S14	209317	1482377
S15	209334	1482286

Les localisations des puits d'exploration réalisés dans le cadre de la recherche d'une source d'emprunt sont illustrées sur les planches Go9 et Go10 de l'annexe A. Les rapports de description des puits sont fournis à l'annexe D.

À l'instar des puits excavés au site de la retenue, chacun des puits d'exploration a été excavé manuellement au moyen d'une pelle et d'une pioche jusqu'à une profondeur avoisinant 5,0 m. Des échantillons ont été récupérés en vrac afin de mener des essais de caractérisation géotechnique au laboratoire. Une fraction de chaque échantillon était scellée de façon à ce que la teneur en eau naturelle soit conservée. Les observations relativement aux infiltrations et la stabilité des parois d'excavation ont été notées et transcrites dans les rapports de puits. Une photo montrant l'excavation a été prise pour chaque puits.

Des essais de classification ont été réalisés sur les sols afin d'en évaluer leurs propriétés géotechniques de bases. La distribution granulométrique de dix-sept (17) échantillons de sol a été déterminée au moyen d'analyses granulométriques conventionnelles par tamis afin d'évaluer la distribution de la fraction grossière (sable et gravier) et la proportion constituant la fraction fine (silt et argile). Un total de sept (7) échantillons ont été soumis à une analyse sédimentométrique au moyen d'un hydromètre. Des mesures de la teneur en eau naturelle des sols et la détermination des limites de consistance de la fraction fine des matériaux meubles ont été effectuées sur les vingt-quatre (24) échantillons de sol récupérés. Tous les essais de caractérisation ont été réalisés sur des échantillons de sol récupérés en vrac à même les puits d'exploration réalisés à la source d'emprunt.

Cinq (5) essais de compactage Proctor modifié ont également été réalisés sur des échantillons composites provenant de la source d'emprunt. Les essais de compactage Proctor modifié permettent d'établir la relation entre la densité maximale du matériau et sa teneur en eau.

La répartition des essais de caractérisation réalisés sur des échantillons de sol provenant de la source d'emprunt de matériau imperméable est donnée au Tableau 3-14.

Tableau 3-14 Source potentielle d'emprunt – Essais index de laboratoire

Puits	Essais index de laboratoire			
	Granulométrie	Sédimentométrie	Teneur en eau	Limites de consistance
S1	2		2	2
S2	2		2	2
S3		2	2	2
S4	2		2	2
S5	2		2	2
S6		1	1	1
S7	2		2	2
S8	2		2	2
S9		1	1	1
S10		1	1	1
S11		1	1	1
S12		1	1	1
S13	2		2	2
S14	1		1	1
S15	2		2	2
Total	17	7	24	24

3.9.2.3 Résultats des essais de laboratoire

Les résultats des essais de caractérisation sont donnés dans le Tableau 3-15 ci-après. L'ensemble des courbes granulométrique est illustré à la Figure 3-8. Les résultats indiquent que le dépôt, dans sa partie superficielle allant jusqu'à 5 m de profondeur, est constitué de sols dont la distribution granulométrique est étalée et pour lesquels la fraction fine est, dans tous les cas, supérieure à 15%. La teneur moyenne en particules fines s'établit 50%, tandis que la teneur en eau naturelle moyenne est de 6,36%.

Il est à noter que les analyses à l'hydromètre indiquent que la composante argileuse, c'est à dire la fraction inférieure à 200 µm, est à toute fin pratique nulle. L'absence d'argile détonne par rapport aux résultats montrés à la Figure 3-9. En effet, les limites de consistance mesurées en laboratoire suggèrent que les sols sont de plasticité moyenne, ce qui est typiquement observé lorsque les sols en question renferment une fraction argileuse non négligeable ou, si cette dernière existe en proportions marginales, est constituée de montmorillonite de sodium. Tel que mentionné au § 3.5.2, certains sols résiduels composés de silt micacé exhibent également une activité élevée malgré l'absence de montmorillonite. La confirmation de la nature de la fraction fine qui constitue le dépôt méritera donc une attention particulière lors de la phase suivante du projet puisque la résistance au cisaillement des sols riches en montmorillonite est généralement plus faible que pour les sols ne contenant pas de ce type d'argile. De plus, le comportement potentiellement très plastique du matériau d'emprunt (tout dépend de sa teneur en argile) s'en verra affecté au moment de son conditionnement avant la mise en place du remblai ainsi que durant la vie utile des ouvrages de retenue (tassements).

Les résultats des essais de compactage Proctor modifié sont montrés au Tableau 3-16. Tel que mentionné plus haut, les essais ont été réalisés sur des échantillons composites représentatifs du dépôt. Les résultats indiquent que la teneur en eau optimale varie

entre 10,1 et 14,2% avec une valeur moyenne de 11,6%. Considérant que la teneur en eau naturelle moyenne est de 6,36%, soit de 5 à 8 points de pourcentage inférieurs à la teneur en eau optimale moyenne, le traitement requis avant la mise en place et le compactage de tels sols devrait être facilement réalisable au moment de la construction dans la mesure où la teneur en montmorillonite, si celle-ci s'avérait confirmée, demeurait marginale.

À la lumière de ces résultats il est envisageable que le dépôt soit exploitée comme source d'emprunt de matériau imperméable, toutefois, la méthode de leur mise en place dépendra largement de la confirmation de la teneur et du type d'argile présent dans le dépôt. De plus, il y aurait lieu, lors du traitement des matériaux ou de leur mise en pile dans des aires de stockage, de différencier la provenance des produits d'excavation en fonction de leur profondeur puisque la teneur en particules fines des sols résiduels tend à augmenter en fonction de la profondeur. Cette précaution vise à simplifier la mise en place du remblai puisque l'augmentation de la teneur en particule fines se traduit par des caractéristiques physiques et mécaniques différentes des sols plus pauvres en particules fines.

Tableau 3-15 Source potentielle d'emprunt – Caractéristiques géotechniques

Puits	Échantillon	Profondeur	Fraction graveleuse	Fraction sableuse	Fraction fine	Teneur en eau	Limites de consistance			
							Limite de plasticité	Limite de liquidité	Indice de plasticité	Indice de liquidité
-	-	m	%	%	%	%	%	%	%	-
S1	1	0,2 à 1,2	25	33	42	7,72	25	47	22	-0,79
S1	2	3,0 à 5,0	3	39	58	7,95	24	45	21	-0,76
S2	1	0,2 à 1,2	30	37	33	4,65	23	45	22	-0,83
S2	2	1,2 à 5,0	2	14	84	10,46	27	53	26	-0,64
S3	1	0,3 à 1,0	33	42	25	3,76	15	23	8	-1,41
S3	2	2,7 à 5,0	19	38	43	6,70	23	43	20	-0,82
S4	1	0,4 à 1,1	5	77	18	2,90	17	26	9	-1,57
S4	2	3,2 à 5,0	18	29	53	5,82	23	45	22	-0,78
S5	1	0,3 à 1,3	21	31	48	6,55	28	54	26	-0,83
S5	2	3,7 à 5,0	7	37	56	4,74	25	46	21	-0,96
S6	1	0,9 à 2,5	11	22	67	6,91	22	43	21	-0,72
S7	1	0,7 à 1,8	19	35	46	7,03	26	49	23	-0,82
S7	2	1,8 à 5,0	21	32	47	5,87	24	39	15	-1,21
S8	1	0,3 à 1,2	5	19	76	8,04	21	39	18	-0,72
S8	2	1,2 à 3,0	37	45	18	3,71	24	40	16	-1,27
S9	1	1,1 à 2,4	24	52	24	5,16	22	43	21	-0,80
S10	1	0,3 à 1,3	9	18	73	8,96	26	51	25	-0,68
S11	1	2,7 à 5,0	0	40	60	5,89	24	39	15	-1,21
S12	1	1,0 à 5,0	4	25	71	6,50	24	45	21	-0,83
S13	1	0,3 à 1,3	5	22	73	6,62	22	44	22	-0,70
S13	2	1,3 à 5,0	6	45	49	2,90	19	34	15	-1,07
S14	1	0,3 à 1,5	28	38	34	4,27	25	44	19	-1,09
S15	1	0,4 à 1,4	19	39	42	10,00	28	53	25	-0,72
S15	2	1,4 à 5,0	10	27	63	9,50	25	47	22	-0,70

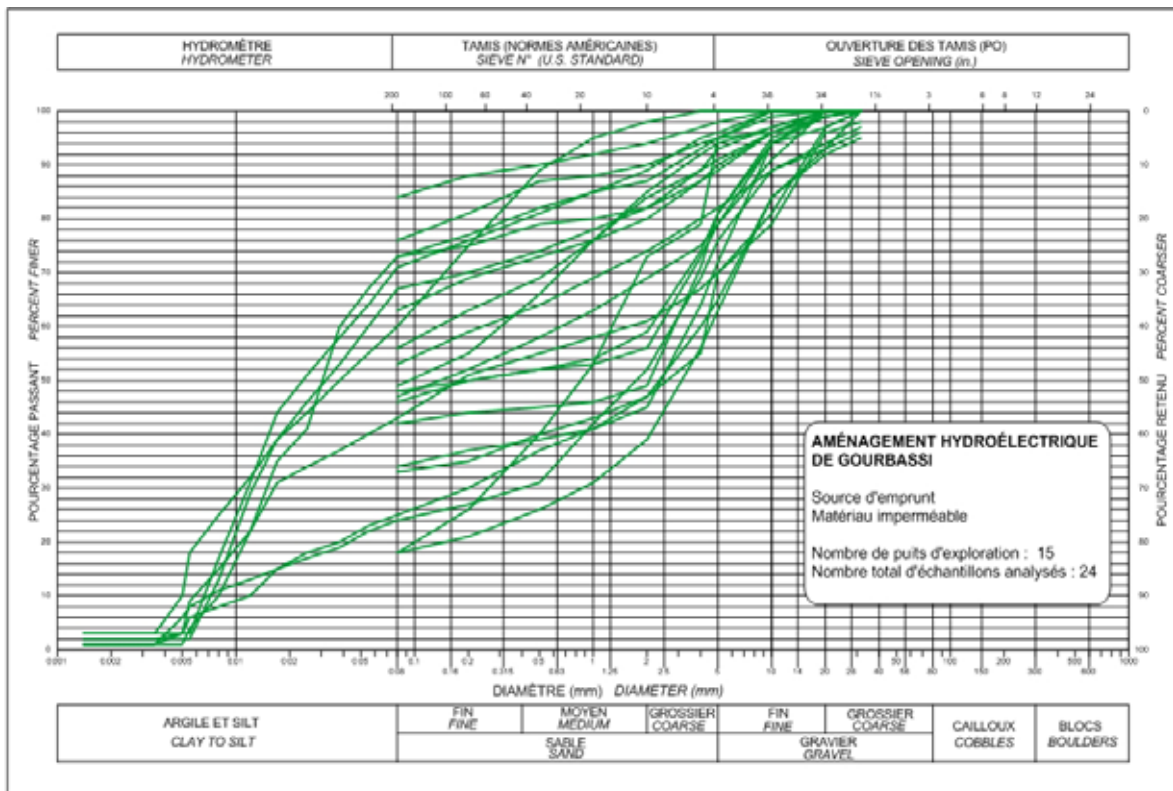


Figure 3-8 Source potentielle d'emprunt – Distribution granulométrique

Abaque de plasticité de Casagrande - Source d'emprunt

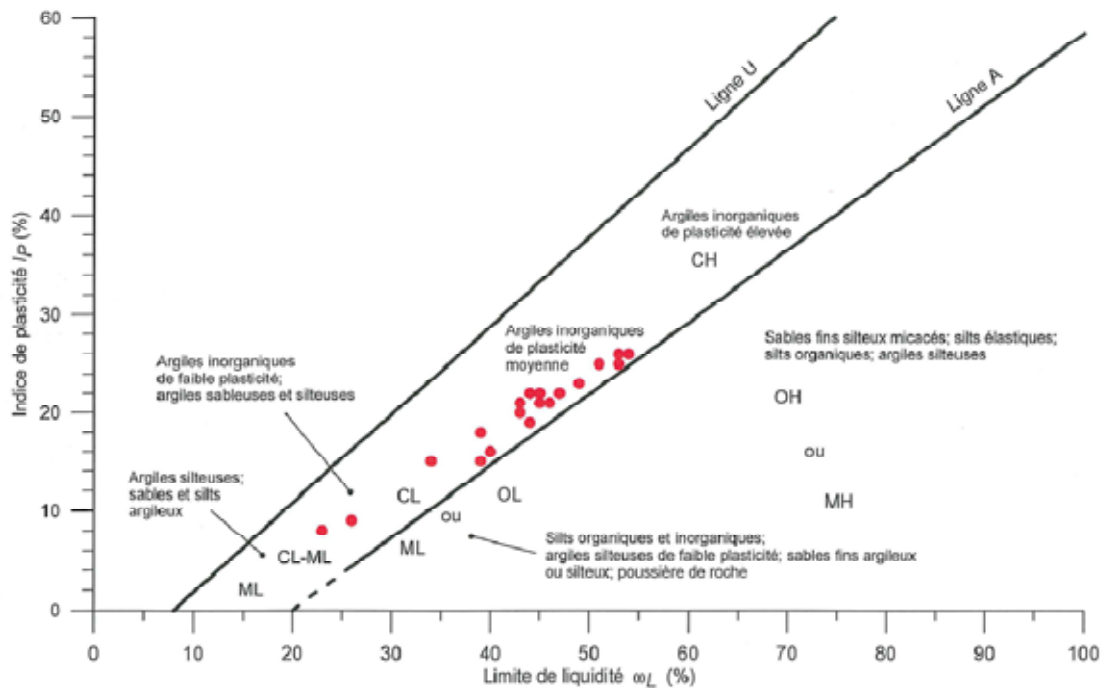


Figure 3-9 Source potentielle d'emprunt – Abaque de plasticité

Tableau 3-16 Source potentielle d'emprunt – Essais de compactage modifié

Échantillon composite	Teneur en eau optimale	Densité sèche max.
Puits (échantillon)	%	T/m ³
S1(1) + S2(1) + S3(1) + S4(1) + S5(1)	10,4	2,09
S7(1) + S8(1) + S10(1) + S13(1) + S14(1)	12,6	1,98
S6(1) + S12(1) + S13(1) + S15(1)	10,1	1,97
S1(2) + S2(2) + S3(2) + S4(2) + S5(2) + S7(2) + S11(2)	14,2	18,2
S8(2) + S9(1) + S15(1)	10,5	2,12

3.9.2.4 Calcul des quantités prouvées et potentielles

Les limites spécifiques à la source d'emprunt explorée sont montrées sur la planche Go10. Deux (2) zones présentant les caractéristiques géomorphologiques typiques à celles de versants éluviaux et démontrant un potentiel d'exploration sont également illustrées sur cette planche. Ces secteurs pourraient contenir des quantités importantes de matériau imperméable pouvant servir à la construction du noyau des ouvrages de retenue en remblai.

Quantités prouvées

Les limites de la source d'emprunt à l'intérieur desquelles les quantités prouvées sont estimées ont été établies essentiellement sur la base des explorations menées. Ainsi, les quantités assurées de matériau imperméable sont le produit de la superficie explorée par la profondeur moyenne des puits dont les sols présentent les caractéristiques géotechniques requises pour un matériau devant servir à la construction de l'élément d'étanchéité du corps de remblai. Ces caractéristiques peuvent se résumer comme suit :

- 1) Matériau situé au dessus de la nappe phréatique ;
- 2) Matériau à granulométrie étalée et renfermant une fraction fine d'au moins 15 % ;
- 3) Matériau renfermant moins de 50 % de blocs et cailloux (particules dont le diamètre excède 80 mm).

Un facteur de sécurité de 1,5 est considéré dans le calcul des quantités prouvées.

L'information relative à la profondeur explorée renfermant des sols acceptables ainsi que la profondeur de décapage requis au droit des puits est donnée au Tableau 3-17.

Tableau 3-17 Source potentielle d'emprunt – Caractéristiques physiques

Puits	Profondeur totale	Profondeur de décapage	Profondeur explorée acceptable
-	m	m	m
S1	5,0	0,2	4,8
S2	5,0	0,3	4,7
S3	5,0	0,3	4,7
S4	5,0	0,4	4,6

Puits	Profondeur totale	Profondeur de décapage	Profondeur explorée acceptable
-	m	m	m
S5	5,0	0,3	4,7
S6	4,8	0,1	4,7
S7	5,0	0,2	4,8
S8	5,0	0,2	4,8
S9	5,0	1,0	4,0
S10	5,0	0,3	4,7
S11	5,0	0,2	4,8
S12	5,0	0,2	4,8
S13	5,0	0,3	4,7
S14	5,0	0,3	4,7
S15	5,0	0,4	4,6
Moyenne	5,0	0,3	4,7

La superficie explorée et la profondeur moyenne renfermant des sols acceptables sont de 145 000 m² et 4,7 m, respectivement. Considérant un facteur de sécurité de 1,5 les quantités prouvées de matériau imperméable exploitables dans la source d'emprunt sont estimées à 450 000 m³.

Quantités potentielles

Les limites de la source d'emprunt à l'intérieur desquelles les quantités potentielles sont estimées ont été établies à partir de la superficie totale estimée de la source d'emprunt, suite à l'examen des photos aériennes, des courbes topographiques et à la réalisation des sondages. Ces limites tiennent compte des critères géotechniques applicables de granulométrie et de teneur en eau. La profondeur potentielle de la source d'emprunt correspond à l'épaisseur totale jugée apte à l'exploitation basée sur la géomorphologie du dépôt et les résultats des sondages. Pour les sources de matériau imperméable, l'épaisseur potentielle est généralement limitée par la profondeur de la nappe phréatique ou par le niveau du terrain environnant si la nappe n'a pas été rencontrée. Aucun facteur de sécurité n'est considéré dans le calcul de telle sorte que les quantités potentielles de matériau imperméable sont le produit de la superficie potentielle par la profondeur estimée pour laquelle les sols présenteraient les caractéristiques géotechniques requises.

Compte tenu de l'information disponible à cette étape du projet, à savoir la topographie du dépôt ainsi que le niveau et la proximité de la rivière, la superficie potentielle et la profondeur potentielle sont estimées à 265 000 m² et 7,0 m, respectivement. Sur la base de ce qui précède, les quantités potentielles de matériau imperméable sont évaluées à 1 855 000 m³.

3.9.3 Enrochements

Les enrochements et granulats de béton nécessaires à la construction des divers ouvrages proviendront des excavations ainsi que de l'exploitation d'une carrière.

Tel que mentionné au § 1.4.3.6, six sites de carrière potentiels ont été examinés lors de la campagne d'investigation. Ces sites sont identifiés « Affleurement A, B, C, D, E et F » sur la planche Go9 ; ils sont illustrés sur les figures qui suivent.

L'affleurement A est localisé sur la rive droite de la Falémé à une distance d'environ 400 m en aval de l'axe des ouvrages, à proximité de la piste reliant le site au village de Farikounda. Selon les observations faites, cet affleurement est constitué d'un metasédiment (roche sédimentaire légèrement métamorphisée) de couleur grisâtre avec une structure microgrenue. L'observation à la loupe permet d'identifier des feldspaths, des pyroxènes ainsi que des sulfures de fer altérés. On y observe aussi de petites veines de feldspaths. Le roc visible en surface est très dur, peu altéré et peu fissuré dans sa partie centrale, plus massive. De nombreux blocs angulaires de cette même roche sont visibles dans la zone. La superficie approximative de cet affleurement est de l'ordre de 70 000 m².

L'affleurement B est localisé sur la rive droite de la Falémé à une distance de 60 m en aval de l'axe des ouvrages (donc à proximité du pied aval du barrage) et à 60 m au Nord-est de la piste reliant le site au village de Farikounda. Cet affleurement est divisé en deux zones de dimensions 120 m x 150 m (B1) et 250 m x 200 m (B2) pour une superficie totale de l'ordre de 68 000 m². Les deux zones de cet affleurement sont constituées d'un quartzite extrêmement dur à granulométrie microlitique (grains de taille très fine), de couleur grise à noire, peu altérée. Le roc est en grande partie visible sous forme de blocs sub-angulaires à sub-arrondis et il est présumé que le roc massif se retrouve à faible profondeur sous les matériaux de surface. La proximité de cet affleurement au pied aval du barrage pourra restreindre son utilisation.

L'affleurement C est localisé sur la rive droite de la Falémé à une distance de 70 m en amont de l'axe des ouvrages (donc à proximité du pied amont du barrage). Cet affleurement est constitué de dolérite extrêmement dure avec une coloration gris-vertâtre et microgrenue. Cette dolérite a une minéralogie essentiellement composée de feldspaths et de pyroxène ; elle comporte des microfissures remplis par des veinules de feldspaths. Le roc est peu altéré et peu fragmenté dans sa partie centrale, avec présence de quelques joints et fissures peu profondes. Autour de la partie centrale se retrouvent des amas de blocs angulaires de dolérite de tailles diverses tel qu'illustré sur la photo de la Figure 3-12. La superficie approximative de cet affleurement est de l'ordre de 30 000 m². Il faut noter que la proximité de cet affleurement au pied amont du barrage pourra restreindre son utilisation.

L'affleurement D est localisé sur la rive droite de la Falémé à une distance d'environ 500 m au Nord-est de l'extrémité Nord de l'axe des ouvrages. Cet affleurement est constitué de quartzite extrêmement dur, de granulométrie microlitique (grains de taille très fine) et de couleur grise. Le roc visible en surface est disloqué et se retrouve sous forme d'amas de blocs; le roc est peu altéré. Une cassure lisse huilée avec une coloration brunâtre a également été observée sur cet affleurement dont la superficie approximative est de l'ordre de 175 000 m².



Figure 3-10 Vue de l'affleurement A



Figure 3-11 Vue de l'affleurement B



Figure 3-12 Vue de l'affleurement C



Figure 3-13 Vue de l'affleurement D



Figure 3-14 Vue de l'affleurement E



Figure 3-15 Vue de l'affleurement F

Le site de l'affleurement E est localisé sur la rive droite de la Falémé à une distance d'environ 1,4 km en amont de l'axe des ouvrages, le long de la route reliant le site au village de Bérola. Cet affleurement n'est pas massif en surface mais constitué de blocs de roc dur, légèrement à moyennement altéré et de couleur grise. Les blocs ont des formes en plaquettes et tabulaires ce qui permet de supposer qu'il s'agit d'un métasédiment. La superficie approximative de cet affleurement est de l'ordre de 22 500 m².

Il faut souligner que les forages FA 3 et FA 5 effectués en 1968 à une distance de l'ordre de 600 m du site de l'affleurement E ont montré une forte profondeur d'altération. Ces deux forages ont récupéré du roc très altéré jusqu'à de grandes profondeurs; la profondeur maximale d'altération atteinte étant de 57 m dans le forage FA 5. Ainsi, en considérant cette information ainsi que l'état d'altération du roc de l'affleurement observé, tout porte à croire que ce site ne pourra pas être retenu que suite à une confirmation par forage que le roc sain se retrouve à une profondeur acceptable.

Le site de l'affleurement F est localisé sur la rive droite de la Falémé à une distance d'environ 1,3 km en aval de l'axe des ouvrages, le long de la route reliant le site au village de Farikounda. Cet affleurement est constitué de roc de couleur blanche à grise, très altéré et fissuré. Plusieurs veines de quartz ont été observées à l'intérieur de ce roc dont la nature n'a pas été établie. La superficie approximative de cet affleurement est de 15 000 m².

3.9.4 Granulats

Une recherche de matériaux granulaires, requis entre autre pour les besoins des granulats fins du béton, a été effectuée aux alentours du site des ouvrages projetés, mais cette recherche s'est avérée infructueuse puisqu'aucun dépôt d'importance n'a été identifié. Les granulats grossiers ainsi que les granulats fins du béton devront donc être produits à partir du roc sain excavé au site des ouvrages et à partir du roc sain provenant du site retenu pour la carrière.

3.9.5 Matériaux d'excavation

Sur la base de l'information obtenue par l'entremise des puits d'exploration excavés le long de l'axe de la retenue, il appert que le sol résiduel qui sera excavé pour le traitement de fondation du barrage et de la digue de col pourrait être réutilisé.

La couche de sol superficiel ayant fait l'objet d'un lessivage plus intense et par conséquent, présentant une distribution granulométrique qui indique une proportion de gravier et sable grossier d'au-delà de 60 % et une teneur en particules fines de 20 %, pourrait être réutilisée comme matériau semi-imperméable. Il est à noter que le pourcentage de fines de la couche superficielle d'éluvions qui demeure néanmoins relativement élevé fait en sorte qu'il ne peut être contemplé de réutiliser cette dernière à titre de matériau filtre sans procéder au préalable à un traitement par lavage demandant le déploiement d'efforts et de ressources significatifs.

La couche de sol résiduel située directement au-dessus du roc altéré et pour laquelle la teneur en fine est typiquement supérieure à 50 % pourrait être réutilisée comme matériau de construction imperméable.

Compte tenu que ces matériaux nécessiteront un traitement différent au moment de leur mise en place dans les remblais, il importera donc, lors des travaux d'excavation réalisés dans le cadre du traitement de la fondation des ouvrages de retenue en remblai, de faire la distinction entre ces deux types de matériaux et de procéder à une mise en pile dans des aires de stockage clairement identifiées en fonction de la granulométrie des sols.

Par ailleurs, le roc sain provenant de l'excavation de l'évacuateur de crues et de la centrale pourra également être réutilisé comme granulats du béton, matériaux filtre et enrochements. Le roc dans le lit mineur de la Falémé au droit de l'axe des ouvrages est composé de quartzite très dur et très peu altéré, de couleur noire avec teinte violacée. Localement, le roc est légèrement fissuré et fracturé.

3.10 SYNTHÈSE ET CONCLUSION DES TRAVAUX DE RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

L'analyse des résultats de la campagne de reconnaissance de 2011 a permis de connaître la lithologie rocheuse, l'altération et le mort-terrain le long de l'axe qui avait été retenu en 1970.

Les sondages par forages carottés effectués dans l'axe des ouvrages projetés ainsi que les résultats des essais *in situ* ont permis de confirmer le choix de ce site comme étant favorable à la construction d'un barrage et plus avantageux que le premier site reconnu par SENEGAL-CONSULT : un quartzite de bonne qualité affleure dans le lit mineur de la Falémé sur toute la largeur des ouvrages prévus et de chaque côté de la rivière le roc sain est généralement atteint à des profondeurs variant entre 10 et 20 m.

Quelques nouveaux forages carottés avec essais d'eau seront toutefois nécessaires dans la phase ultérieure du projet afin de préciser le profil des fondations (en particulier en rive gauche).

Les sondages suggèrent que le profil d'altération est tel que le sol résiduel semble avoir subi un lessivage plus prononcé dans les deux premiers mètres depuis la surface du sol. La teneur en particules fines passe de 20% en moyenne près de la surface du terrain naturel à plus de 50% pour des profondeurs supérieures à 2 à 3 mètres environs.

Les essais d'identification géotechniques indiquent que la fraction fine des sols résiduels présente un comportement de plasticité faible à moyenne alors que la fraction argileuse est marginale avec un pourcentage moyen inférieur à 5%. Le coefficient d'activité de l'argile élevé suggère que la fraction argileuse est constituée de montmorillonite de sodium.

Une source d'emprunt de matériaux imperméables a été localisée à moins de 2 km à l'amont du site de la retenue. Les quantités potentielles et prouvées sont de 1 855 000 et 450 000 m³, respectivement. Deux zones d'intérêt situées en rive droite de la Falémé à l'intérieur d'une distance de 3 km du site de la retenue présentent également les indicateurs géomorphologiques suggérant la présence de matériaux de construction imperméables.

3.11 RECONNAISSANCE GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES POUR LA PHASE D'APD

3.11.1 Reconnaissances géologiques

Compte tenu de la complexité géologique du site de Gourbassi, la phase ultérieure du projet nécessitera des levés géologiques plus détaillés appuyés par de nombreuses analyses pétrographiques et cristallographiques accompagnés de reconnaissance du sous-sol plus étendues. Le programme détaillé en sera donné ultérieurement dans le rapport résultant de l'étude d'APS de l'aménagement retenu et le programme présenté ci-dessous se veut une première appréciation des besoins de reconnaissances complémentaires sur la base des résultats de la campagne 2011.

De façon préliminaire, le programme de reconnaissances géologiques complémentaires pourra inclure :

- Des forages additionnels au droit des ouvrages (barrage rives droite et gauche, digue de col, centrale, évacuateur, poste) et des sites de carrière dont le nombre, la répartition et la profondeur seront fixés en fonction des choix techniques définitifs pour l'aménagement ;
- Des essais in situ dans les forages tel que des essais d'eau de type Lugeon dans le roc et Lefranc ou en fond de tubage dans le roc altéré et des essais au dilatomètre ;
- L'installation de piézomètres dans certains forages ;
- Des essais de laboratoire incluant, résistance en compression avec mesures des déformations, analyses pétrographiques sur lames minces, gonflement, CERCHAR, Los Angeles, Micro-Deval, réactivité alcali-agrégats (prismes de béton), potentiel de génération d'acide, etc ;
- Des relevés de sismique réfraction le long de l'axe des ouvrages ;
- Des travaux de cartographie géologique de détail ;
- Une reconnaissance plus détaillée de la cuvette de retenue.

3.11.2 Reconnaissances géotechniques

L'étape d'avant-projet (APD) détaillée devra inclure un programme de reconnaissance qui permettra d'établir avec plus de précision certains aspects qui sont fondamentaux pour les besoins de conception. Les aspects énumérés ci-dessous ne constituent que les grandes lignes d'un programme d'envergure normale à l'étape d'APD :

- Les forages à venir devront être munis de piézomètres à tubes ouverts afin de connaître le niveau piézométrique de la nappe d'eau souterraine.
- Des essais de perméabilité de type Lefranc devraient être réalisés afin de connaître le coefficient de conductivité hydraulique des sols résiduels. Ces essais devant être réalisés sous le niveau de la nappe d'eau souterraine, il faudra nécessairement confirmer le niveau d'eau au préalable et que le fluide de forage utilisé soit de l'eau et non de la boue.
- Les paramètres de résistance mécaniques des dépôts meubles devront être déterminés en laboratoire. Pour ce faire, des échantillons intacts de sols résiduels devront être récupérés au droit de forages spécifiés à l'avance. Typiquement, l'obtention de carottes de sol résiduel intact

consiste en un défi pour lequel les mesures qui s'imposent doivent être planifiées à l'avance. Les méthodes de forage appropriées devront donc être pratiquées pour les sondages en question. Une méthode de forages au diamant avec boue de bentonite comme fluide de forage faisant l'usage d'un triple carottier de calibre PQ à partir duquel des carottes de 83 mm de diamètre sont obtenues est plus susceptible de permettre la récupération de spécimens intacts et devraient être contemplée.

- Un programme d'essais de laboratoire complet devrait être réalisé sur des échantillons de sols intacts et compactés. Outre les essais d'identification habituels, le programme de laboratoire devrait inclure au minimum :
 - des essais de cisaillement non consolidé et non drainés sur des échantillons compactés ;
 - des essais de cisaillement triaxiaux non drainés avec mesure de pressions interstitielles sur des spécimens intacts et compactés ;
 - des essais de cisaillement triaxiaux drainés sur des spécimens intacts et compactés ;
 - des essais de perméabilité triaxiale sur des spécimens compactés;
 - des essais de consolidation;
 - des essais d'identification minéralogique par rayon X.
- Des profils pressiométriques pour mesurer de façon in situ le module d'élasticité des sols résiduels.
- Une série de puits d'exploration devrait être prévue pour la recherche de sources d'emprunt de granulats fins à béton et de matériau granulaires pour les zones de filtre et de transitions des ouvrages de retenue en remblai.

ANNEXE A

Planches

LISTE DES PLANS ET DESSINS JOINTS EN ANNEXE

No. de PLANCHE PLATE Nr.	TITRE TITLE	No. de DESSIN DRAWING Nr.	REV.
Go1	PLAN DE SITUATION <i>LOCATION PLAN</i>	020857-EGTO-40DD-0001	00
Go5	CARTE GÉOLOGIQUE DU BASSIN DU FLEUVE SENEGAL <i>GEOLOGICAL MAP OF THE SENEGAL RIVER BASIN</i>	020857-EGTO-4GDD-0005	00
Go6	EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE DALAFI / KOSSANTO, RÉPUBLIQUE DU MALI <i>EXCERPT OF THE DALAFI / KOSSANTO GEOLOGICAL MAP, REPUBLIC OF MALI</i>	020857-EGTO-4GDD-0002	01
Go7	EXTRAIT DE LA CARTE GÉOLOGIQUE SÉNÉGAL ORIENTAL - KOSSANTO <i>EXCERPT OF THE GEOLOGICAL MAP – SOUTH-EAST SENEGAL</i>	020857-EGTO-4GDD-0003	01
Go8	GÉOLOGIE DE SURFACE AU SITE DES OUVRAGES <i>SURFACE GEOLOGY AT STRUCTURE LOCATION</i>	020857-EGTO-4GDD-0009	00
Go9	VUE EN PLAN DES FORAGES ET PUITS D'EXPLORATION <i>PLAN VIEW – BOREHOLES AND TEST PITS</i>	020857-EGTO-4GDD-0010	00
Go10	VUE EN PLAN – SOURCE D'EMPRUNT DE MATÉRIAU IMPERMÉABLE <i>PLAN VIEW – BORROW AREAS IMPERVIOUS MATERIAL</i>	020857-EGTO-4GDD-0011	00
Go11a-b-c-d	PROFIL GÉOLOGIQUE DANS L'AXE DU BARRAGE <i>GEOLOGICAL PROFILE ALONG THE DAM AXIS</i>	020857-EGTO-4GDD-0018	00
Go12a	VUE EN PLAN – LEVÉS TOPOGRAPHIQUES – SCHÉMA DU CANEVAS DE BASE <i>PLAN VIEW – TOPOGRAPHIC SURVEY – BASE CANVAS SCHEME</i>	020857-EGTO-40DD-0007	00
Go12b	VUE EN PLAN – RELEVÉS BATHYMÉTRIQUES – SECTIONS ET LIGNES D'EAU DE LA RIVIÈRE <i>PLAN VIEW – BATHYMETRIC SURVEY – CROSS SECTIONS AND RIVER PROFILE</i>	020857-EGTO-40DD-0008	00

ANNEXE B

Dossier de bornage et de piquetage

FICHE SIGNALÉTIQUE DE LA BORNE GÉODÉSIQUE IGM KY43 SISE À BOURDALA

FICHE SIGNALÉTIQUE			
PAYS MALI	MISSION 2003-2004	NOM DE LA STATION KY 43	
DESCRIPTON DU REPERE (NATURE INSCRIPTION etc...) BORNE EN CIMENT avec repère central			ALITUDE 130,777 2
			ORIGINE DES ALTITUDES DAKAR
LATITUDE	LONGITUDE	DATUM 58	FICHE ETABLIE
COORDONNEES		PROJECTION UTM FUSEAU 29	PAR C. FORE
E = 232 890,0055 N = 1495066,5884			Date :
COORDONNEES GPS MLR			Dec 2003 :
X = 0232742 Y = 1495 228			Janv 2004 :
<p style="text-align: center;">DESCRIPTIONS DIVERSES</p> <p style="text-align: center;">La borne se trouve au Nord du village pres de la famille SACKO</p>		<p style="text-align: center;">CROQUIS</p>	

**CANEVAS DE BASE
LISTE ET COORDONNÉES DES POINTS DU CHEMINEMENT
POLYGONOMÉTRIQUE
(UTM 29N WGS84)**

NN	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATIONS
	208719,978	1484101,981	84,643	PI-02 Borne
1	208638,376	1484000,186	82,784	
21	208741,601	1484230,995	85,658	
26	208592,858	1484255,869	83,075	
30	208758,647	1484332,693	85,181	
54	208734,019	1484383,059	93,860	
81	208657,835	1484465,800	99,189	
91	208689,321	1484530,526	97,176	
104	208655,128	1484616,241	96,182	
121	208791,269	1484609,358	88,881	
122	208810,965	1484644,620	90,128	PI-01 Borne
141	208547,391	1484624,863	100,661	
165	208436,210	1484644,703	104,398	PI-06 Borne
174	208425,920	1484583,845	107,056	
184	208485,037	1484543,128	102,082	
188	208549,347	1484517,498	99,520	
207	208534,930	1484427,791	90,233	
222	208546,445	1484332,056	82,762	
231	208532,838	1484251,621	82,746	
260	208530,945	1484109,505	82,926	
291	208425,752	1484138,072	81,981	
308	208364,038	1484216,866	82,981	
310	208369,058	1484214,759	83,012	
330	208370,960	1484258,285	86,919	PI-05 Borne
331	208374,665	1484280,215	88,079	
333	208350,675	1484232,955	84,852	
348	208439,942	1484338,298	85,995	
355	208470,815	1484384,545	88,798	
369	208491,474	1484461,104	95,837	
390	208320,429	1484162,409	79,670	
407	208256,735	1484044,022	79,880	
430	208336,513	1484029,345	80,678	
447	208414,413	1483987,139	81,631	
460	208508,911	1483919,124	81,542	
477	208439,546	1483852,692	81,179	
493	208310,541	1483798,719	80,263	
510	208192,617	1483764,219	78,768	
522	208307,628	1483887,764	80,791	
523	208568,591	1483914,188	80,836	
551	208502,688	1483798,868	78,848	
560	208469,811	1483719,670	77,984	
573	208393,535	1483680,787	76,701	
593	208326,853	1483672,195	77,527	
626	208203,168	1483694,676	78,190	
652	208097,274	1483666,866	71,861	
714	208178,740	1483877,269	79,515	
734	208266,287	1483938,292	81,214	
762	208260,781	1484175,964	78,574	

NN	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATIONS	
771	208069,400	1483593,853	74,514		
773	207931,325	1483524,144	77,634		
784	207895,050	1483497,011	77,440		
804	207827,499	1483476,319	80,280		
826	207815,958	1483521,778	76,838		
834	207807,745	1483576,134	76,017		
854	207760,783	1483553,209	80,054		
860	207754,089	1483456,300	83,632		
861	207738,680	1483468,620	83,768		
886	207679,947	1483395,158	88,855		
913	207631,782	1483334,977	101,001		
928	207592,137	1483281,005	109,586		
943	207520,879	1483190,957	110,661		
963	207470,514	1483072,047	97,778		
969	207440,212	1483096,327	96,710		
985	207380,384	1482956,842	92,896		
1002	207313,509	1482833,014	92,537		
1019	207201,377	1482792,616	88,987		
1058	207119,564	1482692,576	88,997		
1060	207085,069	1482651,458	88,500		
1084	207208,838	1482502,427	91,400		
1109	207298,332	1482597,529	89,192		
1125	207393,388	1482541,818	86,893		
1139	207367,471	1482439,592	92,279		
1153	207546,557	1482530,155	84,871		
1169	207493,727	1482572,525	83,893		
1184	207520,659	1482657,088	82,268		
1207	207485,507	1482726,102	84,944		
1233	207552,831	1482810,069	85,938		
1245	207658,001	1482823,814	84,993		
1261	207594,433	1482969,801	92,494		
1273	207718,447	1483069,810	103,511		
1290	207823,926	1483019,183	102,284		
1302	207851,007	1483035,465	104,879		
1311	207927,566	1483112,293	84,465		
1323	207883,903	1483199,512	87,551		
1333	207799,708	1483285,382	92,093		
1347	207820,060	1483325,028	88,590		
1361	207873,242	1483295,073	81,807		
1371	207955,792	1483286,513	78,546		
1400	208029,302	1483342,732	77,097		
1401	208002,771	1483315,531	78,470	BS1	Borne
1402	207901,498	1483320,838	78,215	BS2	Borne
1422	208127,736	1483355,623	73,729		
1423	207950,945	1483423,350	70,892		
1442	208506,515	1483980,283	82,487		
1443	208494,456	1483975,603	82,403	Gourba7	Borne
1444	208518,274	1484004,705	83,688	BM1	Borne
1445	208418,353	1484009,962	82,369	BM2	Borne
1446	207272,854	1482730,426	87,507		
1453	207336,664	1482801,588	92,333		
1463	207057,005	1482618,059	89,665	PI-04	Borne
1464	207345,003	1482387,008	102,993	PI-03	Borne

**LISTE ET COORDONNÉES DES POINTS MESURÉS AU SOL
(UTM 29N WGS84)**

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
PI-02	208719,978	1484101,981	84,643	
1	208638,376	1484000,186	82,784	
2	208666,750	1484035,295	83,630	
3	208682,991	1484101,328	84,191	
4	208642,564	1484070,811	83,681	
5	208638,686	1484107,850	84,025	
6	208614,542	1484089,152	83,842	
7	208608,359	1484128,294	84,093	
8	208567,567	1484113,236	83,802	
9	208574,462	1484136,383	84,053	
10	208548,483	1484114,928	83,782	
11	208666,828	1484145,380	84,498	
12	208642,861	1484164,955	84,529	
13	208756,311	1484133,250	84,753	
14	208739,232	1484153,606	84,980	
15	208724,140	1484183,429	85,213	
16	208750,756	1484178,161	85,180	
17	208734,085	1484197,277	85,273	
18	208732,609	1484229,335	85,537	
19	208742,469	1484230,983	85,676	
20	208719,991	1484102,063	84,449	
21	208741,601	1484230,995	85,658	
22	208781,763	1484223,133	85,557	
23	208704,358	1484237,238	84,780	
24	208672,480	1484242,855	84,296	
25	208636,012	1484248,692	84,193	
26	208592,858	1484255,869	83,075	
27	208747,544	1484266,451	84,548	
28	208769,932	1484261,380	85,197	
29	208753,600	1484302,591	84,429	
30	208758,647	1484332,693	85,181	
31	208766,761	1484306,401	84,664	
32	208765,287	1484301,262	83,995	
33	208757,225	1484269,938	84,614	
34	208724,229	1484327,079	86,021	
35	208727,834	1484305,256	84,773	
36	208724,137	1484343,761	87,612	
37	208708,269	1484288,360	84,364	
38	208695,960	1484340,381	86,159	
39	208693,643	1484276,001	83,968	
40	208690,550	1484313,746	85,287	
41	208663,837	1484313,452	84,886	
42	208685,127	1484258,922	83,956	
43	208658,200	1484329,026	85,328	
44	208652,987	1484311,258	84,753	
45	208721,393	1484352,544	88,630	
46	208739,688	1484351,620	89,388	
47	208748,680	1484359,485	89,877	
48	208746,977	1484381,586	93,166	
49	208755,785	1484378,701	91,610	
50	208773,565	1484376,337	87,809	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
51	208786,961	1484375,155	86,264	
52	208797,388	1484404,781	87,122	
53	208800,281	1484424,011	87,141	
54	208734,019	1484383,059	93,860	
55	208715,407	1484381,011	91,242	
56	208734,975	1484426,088	92,802	
57	208721,663	1484364,653	90,621	
58	208707,744	1484355,314	88,210	
59	208734,657	1484454,182	94,980	
60	208696,506	1484369,937	87,582	
61	208706,542	1484450,912	94,778	
62	208689,909	1484391,970	88,407	
63	208677,703	1484409,513	89,034	
64	208697,004	1484479,504	97,054	
65	208653,004	1484400,966	87,987	
66	208683,335	1484499,249	97,732	
67	208654,850	1484354,056	85,917	
68	208616,007	1484366,312	85,228	
69	208616,706	1484404,505	86,716	
70	208755,752	1484480,858	92,761	
71	208637,473	1484416,553	90,368	
72	208770,964	1484460,513	90,309	
73	208671,490	1484430,028	94,178	
74	208788,916	1484433,644	88,838	
75	208695,320	1484438,930	93,061	
76	208795,480	1484419,312	87,715	
77	208702,428	1484416,522	91,300	
78	208714,576	1484404,681	92,828	
79	208764,629	1484411,121	90,793	
80	208739,459	1484419,146	92,496	
81	208657,835	1484465,800	99,189	
82	208637,330	1484480,999	101,283	
83	208675,128	1484458,060	97,373	
84	208682,630	1484491,737	97,015	
85	208656,001	1484500,373	100,370	
86	208697,527	1484462,865	95,525	
87	208699,725	1484503,475	97,327	
88	208717,145	1484459,977	94,425	
89	208713,701	1484517,048	97,395	
90	208733,714	1484459,833	95,278	
91	208689,321	1484530,526	97,176	
92	208687,629	1484555,239	95,640	
93	208656,479	1484547,476	96,411	
94	208650,321	1484523,596	97,089	
95	208657,807	1484573,582	95,874	
96	208626,973	1484556,401	97,292	
97	208637,435	1484503,861	98,858	
98	208604,029	1484565,303	100,370	
99	208614,320	1484586,669	98,549	
100	208592,002	1484569,541	102,465	
101	208626,401	1484518,726	96,222	
102	208609,649	1484532,875	98,826	
103	208602,398	1484514,586	96,704	
104	208655,128	1484616,241	96,182	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
105	208643,182	1484644,379	96,164	
106	208673,098	1484623,578	94,732	
107	208682,801	1484599,411	94,435	
108	208666,042	1484662,716	97,261	
109	208710,349	1484629,582	92,396	
110	208706,698	1484591,952	93,468	
111	208688,776	1484663,372	96,249	
112	208728,901	1484626,770	92,543	
113	208704,971	1484657,932	93,957	
114	208723,155	1484608,233	92,945	
115	208755,314	1484629,547	89,974	
116	208731,220	1484654,325	90,688	
117	208781,371	1484633,183	88,707	
118	208752,714	1484654,686	89,938	
119	208762,751	1484612,960	89,602	
120	208789,532	1484657,465	89,549	
121	208791,269	1484609,358	88,881	
122	208810,965	1484644,620	90,128	PI-01
123	208815,889	1484641,495	90,608	
124	208809,706	1484588,145	91,026	
125	208780,193	1484553,809	88,130	
126	208832,390	1484634,324	92,457	
127	208798,073	1484597,174	88,786	
128	208829,256	1484616,567	92,123	
129	208783,871	1484592,592	88,797	
130	208748,245	1484548,527	90,465	
131	208810,668	1484618,873	89,749	
132	208761,974	1484589,882	90,114	
133	208734,318	1484567,920	91,280	
134	208621,026	1484609,192	97,612	
135	208627,998	1484637,885	96,509	
136	208619,697	1484675,923	95,894	
137	208610,973	1484652,694	97,720	
138	208590,984	1484625,111	98,658	
139	208558,537	1484634,206	100,032	
140	208594,933	1484665,098	99,675	
141	208547,391	1484624,863	100,661	
142	208559,192	1484611,678	100,542	
143	208535,748	1484640,681	101,248	
144	208558,647	1484590,886	102,409	
145	208521,966	1484623,158	101,610	
146	208577,613	1484573,384	104,406	
147	208534,596	1484584,546	102,373	
148	208586,145	1484565,246	104,078	
149	208531,224	1484560,939	102,166	
150	208569,603	1484562,015	105,131	
151	208508,456	1484570,091	104,278	
152	208543,012	1484557,881	102,315	
153	208511,059	1484599,749	102,634	
154	208508,119	1484631,000	102,044	
155	208485,949	1484637,754	103,562	
156	208482,016	1484607,401	103,551	
157	208471,232	1484644,457	103,573	
158	208471,263	1484572,225	103,670	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
159	208458,927	1484606,730	104,089	
160	208440,799	1484592,780	105,718	
161	208419,870	1484594,325	107,512	
162	208445,142	1484623,915	104,366	
163	208451,045	1484649,759	103,642	
164	208419,679	1484635,001	103,769	
165	208436,210	1484644,703	104,398	PI-06
166	208434,539	1484683,340	101,934	
167	208412,599	1484661,921	101,733	
168	208401,221	1484652,688	100,970	
169	208424,921	1484616,160	106,164	
170	208401,795	1484622,302	103,675	
171	208396,837	1484640,968	100,429	
172	208385,824	1484633,717	99,464	
173	208425,222	1484584,056	107,033	
174	208425,920	1484583,845	107,056	
175	208400,408	1484571,755	102,964	
176	208419,849	1484557,463	103,418	
177	208441,644	1484552,987	101,554	
178	208409,968	1484534,071	99,426	
179	208464,700	1484543,365	100,599	
180	208493,715	1484536,645	102,307	
181	208477,152	1484507,615	99,924	
182	208493,938	1484524,596	103,098	
183	208512,549	1484553,276	102,691	
184	208485,037	1484543,128	102,082	
185	208474,088	1484520,758	101,210	
186	208486,117	1484508,586	102,011	
187	208500,041	1484507,104	102,703	
188	208549,347	1484517,498	99,520	
189	208552,381	1484535,967	100,193	
190	208564,673	1484554,746	103,689	
191	208579,886	1484525,213	99,385	
192	208589,136	1484543,225	103,132	
193	208548,517	1484494,016	95,511	
194	208592,979	1484508,639	96,540	
195	208602,218	1484528,394	99,074	
196	208561,870	1484487,849	93,183	
197	208612,801	1484500,691	94,487	
198	208574,522	1484472,024	90,574	
199	208614,442	1484483,784	94,770	
200	208577,447	1484449,060	88,787	
201	208598,553	1484468,561	90,234	
202	208619,869	1484461,736	93,595	
203	208582,967	1484425,734	87,637	
204	208607,749	1484431,762	87,920	
205	208610,664	1484407,250	86,572	
206	208607,045	1484383,710	85,519	
207	208534,930	1484427,791	90,233	
208	208520,341	1484364,474	84,162	
209	208529,179	1484476,571	96,150	
210	208512,919	1484447,663	94,122	
211	208512,506	1484332,640	82,516	
212	208494,157	1484428,847	92,124	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
213	208501,963	1484294,931	81,742	
214	208512,885	1484415,814	89,400	
215	208499,639	1484389,506	88,163	
216	208483,287	1484372,364	87,797	
217	208501,348	1484350,680	84,354	
218	208528,415	1484282,820	82,028	
219	208494,092	1484329,884	82,848	
220	208463,570	1484351,384	86,906	
221	208474,271	1484312,445	83,275	
222	208546,445	1484332,056	82,762	
223	208577,720	1484340,826	83,387	
224	208570,681	1484318,255	82,739	
225	208539,954	1484301,978	82,113	
226	208602,249	1484302,679	83,309	
227	208611,994	1484348,136	84,097	
228	208622,863	1484291,405	82,614	
229	208553,094	1484279,906	82,193	
230	208533,955	1484258,637	82,537	
231	208532,838	1484251,621	82,746	
232	208548,394	1484224,209	83,387	
233	208564,617	1484250,849	83,150	
234	208588,331	1484245,456	83,718	
235	208564,327	1484185,252	83,640	
236	208605,370	1484231,290	83,796	
237	208553,110	1484154,080	83,320	
238	208594,277	1484196,568	83,890	
239	208548,534	1484126,212	83,059	
240	208497,764	1484230,663	82,075	FC-10-01
241	208587,934	1484157,833	83,579	
242	208552,533	1484105,809	82,915	
243	208586,700	1484133,244	83,692	
244	208516,327	1484190,431	83,095	
245	208533,355	1484120,504	83,020	
246	208513,780	1484164,376	83,009	
247	208478,384	1484138,592	82,531	
248	208473,505	1484132,195	82,464	
249	208475,309	1484159,073	82,285	
250	208479,002	1484188,823	81,927	
251	208461,521	1484204,082	81,231	
252	208479,679	1484224,401	80,666	
253	208477,287	1484241,852	80,946	
254	208460,190	1484238,997	80,570	
255	208475,623	1484263,072	81,305	
256	208451,724	1484263,473	81,109	
257	208480,619	1484290,968	81,303	
258	208455,193	1484294,586	82,964	
259	208530,963	1484109,469	82,878	
260	208530,945	1484109,505	82,926	
261	208551,863	1484079,140	82,727	
262	208553,169	1484042,768	82,461	
263	208521,932	1484044,841	82,494	
264	208484,009	1484050,552	82,124	
265	208458,492	1484058,594	81,854	
266	208454,824	1484013,693	81,553	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
267	208580,843	1484072,999	82,759	
268	208606,755	1484054,218	82,607	
269	208635,023	1484040,738	82,524	
270	208681,336	1484036,804	82,533	
271	208657,042	1484062,043	82,770	
272	208595,749	1484083,224	82,852	
273	208620,859	1484014,634	82,376	
274	208589,440	1484031,224	82,324	
275	208564,002	1484027,961	82,303	
276	208571,196	1483999,245	81,940	
277	208544,040	1484007,149	82,095	
278	208559,425	1483973,654	81,703	
279	208519,621	1484013,719	83,444	
280	208501,882	1484009,951	82,358	
281	208527,337	1484028,933	82,998	
282	208515,014	1484034,037	82,604	
283	208414,182	1484027,498	81,134	
284	208421,419	1484066,336	81,353	
285	208454,125	1484062,953	81,814	
286	208426,959	1484107,971	81,870	
287	208463,527	1484097,467	82,205	
288	208426,849	1484137,636	81,918	
289	208463,877	1484126,513	82,331	
290	208429,944	1484168,817	81,728	
291	208425,752	1484138,072	81,981	
292	208408,228	1484155,435	81,630	
293	208424,953	1484176,660	81,580	
294	208369,350	1484083,477	80,616	
295	208396,849	1484191,439	80,289	
296	208379,509	1484180,933	79,940	
297	208391,956	1484195,086	79,345	
298	208372,621	1484183,485	78,990	
299	208388,820	1484198,566	80,867	
300	208366,062	1484185,032	80,190	
301	208371,314	1484205,851	81,782	
302	208352,447	1484195,435	79,705	
303	208335,702	1484094,487	80,144	
304	208325,820	1484088,515	80,129	
305	208292,465	1484119,183	79,875	
306	208298,729	1484139,678	79,768	
307	208336,012	1484138,891	80,345	
308	208364,038	1484216,866	82,981	
309	208380,854	1484139,941	81,000	
310	208369,058	1484214,759	83,012	
311	208376,711	1484217,088	83,534	
312	208359,788	1484233,986	85,229	
313	208401,960	1484216,516	82,580	
314	208374,222	1484247,405	85,968	
315	208408,836	1484225,048	82,681	
316	208383,291	1484261,995	88,155	
317	208405,122	1484239,316	84,452	
318	208360,111	1484256,475	86,970	
319	208394,561	1484276,333	89,261	
320	208356,463	1484275,183	87,108	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
321	208431,349	1484238,764	83,375	
322	208367,492	1484279,176	87,047	
323	208436,596	1484260,869	84,818	
324	208440,665	1484250,497	83,643	
325	208438,774	1484233,129	82,170	
326	208387,824	1484282,253	89,147	
327	208425,752	1484268,755	86,308	
328	208410,120	1484262,286	87,769	
329	208397,014	1484280,808	89,167	
330	208370,960	1484258,285	86,919	PI-05
331	208374,665	1484280,215	88,079	
332	208347,828	1484253,812	86,351	
333	208350,675	1484232,955	84,852	
334	208368,623	1484299,095	84,774	
335	208386,884	1484288,087	88,162	
336	208401,119	1484295,226	87,331	
337	208366,310	1484328,944	83,875	
338	208394,163	1484322,738	85,697	
339	208397,044	1484342,319	86,954	
340	208413,165	1484341,668	87,479	
341	208425,541	1484338,837	86,915	
342	208424,483	1484324,061	85,356	
343	208425,872	1484297,074	86,722	
344	208436,158	1484308,560	85,069	
345	208430,596	1484334,473	85,863	
346	208458,702	1484324,595	84,486	
347	208418,446	1484358,207	91,953	
348	208439,942	1484338,298	85,995	
349	208431,651	1484352,769	90,406	
350	208444,896	1484352,619	88,718	
351	208468,730	1484366,219	87,848	
352	208429,148	1484368,426	93,008	
353	208458,689	1484374,637	89,281	
354	208482,493	1484383,510	88,198	
355	208470,815	1484384,545	88,798	
356	208440,551	1484392,815	91,803	
357	208466,085	1484407,136	90,375	
358	208493,628	1484409,819	89,419	
359	208445,346	1484421,502	90,050	
360	208471,526	1484431,062	91,986	
361	208433,267	1484443,036	90,011	
362	208415,949	1484442,374	90,837	
363	208435,485	1484449,131	90,569	
364	208471,744	1484448,107	92,842	
365	208430,315	1484464,493	93,066	
366	208493,843	1484435,921	92,332	
367	208518,533	1484432,058	91,244	
368	208403,822	1484451,611	92,919	
369	208491,474	1484461,104	95,837	
370	208501,987	1484470,787	96,494	
371	208479,428	1484478,734	96,914	
372	208433,112	1484473,839	94,569	
373	208468,320	1484493,890	95,942	
374	208501,502	1484488,271	99,355	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
375	208422,883	1484487,461	95,749	
376	208460,239	1484505,392	96,197	
377	208486,718	1484508,294	101,446	
378	208413,741	1484506,467	96,404	
379	208453,261	1484518,834	97,966	
380	208477,836	1484506,857	99,394	
381	208338,358	1484235,844	83,401	
382	208342,804	1484215,355	81,285	
383	208313,642	1484219,709	79,890	
384	208325,621	1484201,751	79,488	
385	208346,983	1484198,758	79,632	
386	208307,135	1484181,597	78,433	
387	208337,673	1484177,435	79,233	
388	208332,259	1484161,836	79,068	
389	208320,400	1484162,341	79,546	
390	208320,429	1484162,409	79,670	
391	208302,062	1484161,534	79,644	
392	208279,531	1484163,633	79,233	
393	208262,639	1484163,943	78,803	
394	208262,573	1484161,285	78,788	
395	208247,337	1484145,293	79,000	
396	208269,057	1484122,999	79,300	
397	208280,950	1484102,528	79,509	
398	208243,515	1484101,282	78,590	
399	208263,892	1484071,079	79,125	
400	208235,861	1484112,730	78,930	
401	208257,075	1484044,875	79,769	
402	208228,391	1484088,602	78,371	
403	208279,214	1484128,919	79,474	
404	208293,610	1484112,166	79,963	
405	208315,500	1484105,172	80,225	
406	208339,576	1484090,612	80,237	
407	208256,735	1484044,022	79,880	
408	208245,033	1484019,046	80,551	
409	208231,518	1484061,071	80,624	
410	208211,098	1484072,278	79,192	
411	208201,260	1484071,947	78,737	
412	208232,561	1483991,441	81,157	
413	208217,344	1483999,147	81,202	
414	208212,425	1484036,038	80,497	
415	208188,515	1484009,602	80,977	
416	208234,819	1484019,524	80,843	
417	208174,738	1484015,050	81,189	
418	208220,333	1483962,179	81,479	
419	208161,049	1483992,137	81,420	
420	208246,718	1483948,645	81,222	
421	208185,100	1483978,591	81,895	
422	208268,799	1483978,915	80,779	
423	208294,561	1484009,156	80,613	
424	208212,523	1483965,511	82,151	
425	208294,608	1484009,252	80,633	
426	208306,472	1484035,288	80,231	
427	208313,298	1484070,472	79,881	
428	208320,222	1484098,231	80,338	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
429	208336,484	1484029,307	80,623	
430	208336,513	1484029,345	80,678	
431	208348,585	1484066,950	80,472	
432	208383,259	1484050,315	80,873	
433	208323,486	1484049,507	80,240	
434	208370,983	1484020,118	81,551	
435	208350,388	1483986,959	82,070	
436	208315,966	1484013,878	80,955	
437	208335,315	1483955,436	82,938	
438	208300,331	1483980,763	81,046	
439	208332,051	1483927,232	82,708	
440	208282,729	1483957,234	81,108	
441	208358,981	1483935,252	82,091	
442	208388,682	1483967,371	81,728	
443	208408,453	1483990,409	81,574	
444	208401,544	1483952,176	81,574	
445	208426,211	1484015,544	81,552	
446	208425,127	1483982,742	81,588	
447	208414,413	1483987,139	81,631	
448	208443,397	1484004,403	81,705	
449	208469,985	1483985,024	81,738	
450	208492,294	1483968,497	81,569	
451	208454,548	1483960,651	81,539	
452	208439,231	1483938,842	81,479	
453	208477,980	1483941,467	81,492	
454	208421,821	1483918,060	81,401	
455	208449,441	1483906,718	81,322	
456	208394,569	1483893,805	81,251	
457	208440,039	1483882,783	81,219	
458	208447,418	1483869,551	81,188	
459	208498,461	1483907,246	81,428	
460	208508,911	1483919,124	81,542	
461	208547,409	1483874,685	80,521	
462	208564,556	1483903,249	80,663	
463	208546,998	1483901,697	80,990	
464	208550,779	1483922,993	81,334	
465	208534,088	1483886,796	81,004	
466	208534,902	1483909,876	81,422	
467	208538,304	1483932,946	81,656	
468	208521,056	1483900,654	81,423	
469	208527,881	1483842,258	79,779	
470	208495,709	1483877,747	81,223	
471	208491,954	1483905,820	81,483	
472	208505,974	1483819,898	79,885	
473	208465,153	1483870,114	81,244	
474	208473,479	1483791,801	79,066	
475	208482,637	1483870,077	81,210	
476	208457,567	1483840,706	80,893	
477	208439,546	1483852,692	81,179	
478	208435,203	1483807,846	80,148	
479	208447,198	1483760,941	78,260	
480	208410,896	1483780,623	80,946	
481	208426,181	1483730,320	77,890	
482	208367,530	1483780,705	80,922	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
483	208417,163	1483869,464	81,312	
484	208385,604	1483801,552	81,213	
485	208399,137	1483887,132	81,367	
486	208361,641	1483804,511	80,995	
487	208357,844	1483775,729	80,934	
488	208374,262	1483898,935	81,533	
489	208347,292	1483869,428	81,025	
490	208323,731	1483877,077	80,862	Puits
491	208317,715	1483837,202	80,368	
492	208317,694	1483801,732	80,346	
493	208310,541	1483798,719	80,263	
494	208280,829	1483790,456	79,708	
495	208249,379	1483781,531	79,017	
496	208306,533	1483742,455	80,096	
497	208262,369	1483761,370	79,336	
498	208287,061	1483741,962	79,702	
499	208327,552	1483729,986	80,590	
500	208316,298	1483707,636	80,838	
501	208279,241	1483721,592	78,918	
502	208215,021	1483766,905	78,957	
503	208302,798	1483687,684	79,330	
504	208264,021	1483698,982	78,248	
505	208189,716	1483756,738	78,848	
506	208336,419	1483694,137	80,356	
507	208258,516	1483711,893	77,677	
508	208360,371	1483721,270	79,714	
509	208378,691	1483742,583	80,454	
510	208192,617	1483764,219	78,768	
511	208199,560	1483798,287	77,515	
512	208211,029	1483817,373	76,990	
513	208233,948	1483801,134	78,142	
514	208247,300	1483821,977	78,729	
515	208228,795	1483839,024	78,040	
516	208275,381	1483801,170	79,746	
517	208266,166	1483848,093	79,598	
518	208248,932	1483867,320	79,823	
519	208287,187	1483834,949	79,815	
520	208312,223	1483828,991	80,223	
521	208307,027	1483874,872	80,592	
522	208307,628	1483887,764	80,791	
523	208568,591	1483914,188	80,836	
524	208550,230	1483923,887	81,307	
525	208573,354	1483907,117	80,423	
526	208599,818	1483890,978	79,567	
527	208605,511	1483897,205	79,829	
528	208594,794	1483884,885	79,353	
529	208612,029	1483879,001	80,219	
530	208632,523	1483856,145	80,535	
531	208657,053	1483828,195	80,881	
532	208586,656	1483875,307	79,327	
533	208591,999	1483868,671	79,440	
534	208583,439	1483878,584	79,606	
535	208577,943	1483872,519	80,020	
536	208582,382	1483853,540	79,026	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
537	208584,365	1483852,279	79,056	
538	208569,667	1483856,025	79,502	
539	208569,556	1483866,524	80,057	
540	208559,685	1483866,266	80,287	
541	208555,655	1483841,094	79,163	
542	208544,928	1483814,381	78,670	
543	208545,202	1483858,278	79,965	
544	208555,449	1483881,090	80,586	
545	208512,419	1483816,670	79,602	
546	208589,859	1483914,153	80,563	
547	208605,245	1483926,380	80,599	
548	208540,223	1483786,553	78,252	
549	208609,461	1483916,266	80,284	
550	208623,304	1483917,150	80,257	
551	208502,688	1483798,868	78,848	
552	208515,120	1483762,472	77,724	
553	208494,442	1483764,970	77,878	
554	208523,682	1483751,798	77,071	
555	208474,340	1483765,513	78,370	
556	208507,532	1483727,506	76,706	
557	208486,839	1483741,928	77,695	
558	208490,375	1483709,630	77,378	
559	208460,885	1483729,970	77,160	
560	208469,811	1483719,670	77,984	
561	208486,622	1483681,626	76,091	
562	208453,467	1483727,164	76,709	
563	208466,285	1483681,165	75,965	
564	208452,496	1483713,337	75,805	
565	208464,585	1483697,585	75,763	
566	208445,990	1483717,000	75,521	
567	208442,748	1483700,363	76,431	
568	208438,500	1483731,270	76,956	
569	208421,214	1483698,691	76,062	
570	208424,549	1483716,696	77,937	
571	208417,275	1483696,433	75,056	
572	208403,716	1483704,865	78,512	
573	208393,535	1483680,787	76,701	
574	208417,179	1483676,201	75,268	
575	208403,122	1483671,169	74,899	
576	208406,204	1483667,592	75,756	PE-10-10
577	208394,565	1483671,394	75,437	
578	208383,968	1483664,697	74,931	
579	208398,211	1483654,350	75,907	
580	208375,814	1483683,533	76,727	
581	208370,449	1483659,738	74,878	
582	208381,507	1483644,443	75,699	
583	208365,726	1483702,287	78,764	
584	208365,700	1483655,966	74,915	
585	208342,734	1483705,867	80,528	
586	208365,425	1483648,704	74,882	
587	208374,227	1483620,379	76,262	
588	208368,575	1483642,563	74,981	
589	208336,830	1483673,550	77,559	
590	208359,855	1483631,202	75,693	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
591	208326,439	1483670,607	77,299	
592	208340,806	1483659,589	75,143	
593	208326,853	1483672,195	77,527	
594	208341,663	1483650,160	74,094	
595	208335,367	1483664,577	76,687	
596	208343,646	1483644,323	74,780	
597	208325,096	1483656,362	73,429	
598	208326,091	1483665,972	76,247	
599	208317,539	1483637,086	77,553	
600	208298,028	1483664,411	73,692	
601	208299,866	1483672,246	75,066	
602	208295,431	1483645,302	77,894	
603	208277,528	1483669,217	73,349	
604	208276,460	1483676,990	75,588	
605	208274,559	1483647,063	76,305	
606	208242,797	1483665,528	72,857	
607	208240,195	1483676,506	74,659	
608	208246,696	1483649,130	76,436	
609	208216,611	1483663,383	72,357	
610	208220,695	1483670,384	74,525	
611	208220,125	1483651,490	77,275	
612	208204,631	1483664,359	72,366	
613	208202,369	1483667,656	75,299	
614	208208,239	1483686,742	77,827	
615	208213,394	1483691,862	77,971	
616	208231,213	1483691,937	76,818	
617	208246,202	1483692,618	76,779	
618	208280,055	1483690,141	78,469	
619	208300,378	1483690,320	79,327	
620	208289,266	1483701,622	79,808	
621	208313,850	1483694,857	79,917	
622	208300,829	1483710,500	80,430	
623	208311,460	1483724,001	80,272	
624	208331,081	1483726,041	80,600	
625	208334,317	1483707,414	80,859	
626	208203,168	1483694,676	78,190	
627	208272,960	1483723,038	78,967	
628	208270,017	1483705,477	78,663	
629	208249,384	1483705,703	76,508	
630	208246,389	1483716,759	77,381	
631	208228,155	1483730,703	79,212	
632	208207,175	1483715,822	78,761	
633	208196,704	1483741,195	79,049	
634	208187,347	1483725,517	78,712	
635	208173,154	1483753,424	77,891	
636	208169,402	1483736,663	78,038	
637	208198,908	1483676,101	77,139	
638	208154,520	1483746,246	76,607	
639	208188,069	1483679,629	75,685	
640	208182,917	1483694,945	75,701	
641	208146,347	1483724,808	73,782	
642	208153,002	1483729,115	76,381	
643	208174,200	1483688,517	73,168	
644	208162,895	1483707,569	74,637	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
645	208166,963	1483713,116	76,306	
646	208178,220	1483677,870	72,926	
647	208168,273	1483692,438	72,966	
648	208176,812	1483698,342	76,539	
649	208174,766	1483686,829	72,849	
650	208185,792	1483695,446	76,343	
651	208180,477	1483675,383	72,547	
652	208097,274	1483666,866	71,861	
653	208183,752	1483671,271	70,881	
654	208141,719	1483706,155	70,770	Puits
655	208199,227	1483661,060	71,169	
656	208199,129	1483652,440	71,083	
657	208192,425	1483664,718	70,733	
658	208203,578	1483637,097	70,696	
659	208209,809	1483635,565	73,419	
660	208207,653	1483617,747	69,699	
661	208217,699	1483598,851	71,512	
662	208204,138	1483596,151	70,065	
663	208239,046	1483576,312	73,276	
664	208208,698	1483573,362	72,728	
665	208193,288	1483620,839	69,964	
666	208203,584	1483541,027	70,947	
667	208166,334	1483587,237	70,884	
668	208204,512	1483565,857	72,713	
669	208208,631	1483545,898	72,017	
670	208267,760	1483547,947	74,703	
671	208241,021	1483460,920	70,891	
672	208273,571	1483313,747	71,193	
673	208384,310	1483324,823	75,036	
674	208381,647	1483324,236	73,863	
675	208287,418	1483275,024	70,916	
676	208134,812	1483749,429	72,228	
677	208067,684	1483698,735	69,793	
678	208107,939	1483770,201	71,370	
679	208086,221	1483790,716	71,515	
680	208040,537	1483731,999	69,223	
681	208071,957	1483807,228	71,246	
682	208012,462	1483768,216	69,142	
683	208054,810	1483834,272	71,921	
684	208036,425	1483855,824	71,243	
685	207976,236	1483821,958	69,393	
686	208003,246	1483899,773	69,404	
687	208194,172	1483736,396	79,591	FC-10-03
688	208137,867	1483771,447	76,188	
689	208159,227	1483769,239	76,405	
690	208127,858	1483798,137	75,939	
691	208151,008	1483790,445	76,548	
692	208154,917	1483818,463	75,502	
693	208172,538	1483822,391	75,851	
694	208136,519	1483800,978	74,739	
695	208147,564	1483787,281	74,361	
696	208194,167	1483830,247	76,333	
697	208144,839	1483765,990	73,679	
698	208119,649	1483823,808	77,356	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
699	208139,689	1483756,123	73,032	
700	208101,065	1483842,449	79,178	
701	208129,500	1483778,649	76,811	
702	208181,447	1483774,998	78,050	
703	208176,562	1483753,526	78,268	
704	208165,326	1483838,962	78,650	
705	208175,067	1483812,145	76,249	
706	208131,495	1483843,894	77,808	
707	208186,781	1483837,362	77,026	
708	208196,050	1483853,381	78,804	
709	208150,353	1483851,393	79,879	
710	208151,511	1483875,612	79,243	
711	208189,737	1483873,318	79,349	PE-10-07
712	208221,613	1483858,879	78,939	
713	208133,240	1483869,040	78,673	
714	208178,740	1483877,269	79,515	
715	208171,643	1483902,716	79,218	
716	208217,595	1483881,764	80,200	
717	208226,338	1483910,301	80,702	
718	208139,350	1483910,573	77,946	Puits
719	208252,158	1483898,811	80,751	
720	208204,969	1483924,393	80,583	
721	208151,455	1483951,994	79,813	
722	208260,027	1483929,005	81,080	
723	208229,589	1483949,539	81,285	
724	208154,102	1483981,823	81,437	
725	208268,522	1483949,479	81,089	PE-10-05
726	208244,492	1483979,123	81,048	
727	208270,445	1483972,672	80,913	
728	208154,844	1484000,650	80,814	
729	208204,671	1483974,048	82,768	
730	208174,872	1483965,792	81,146	
731	208162,841	1483960,804	80,797	
732	208167,449	1483936,785	79,271	
733	208170,999	1483905,081	79,233	
734	208266,287	1483938,292	81,214	
735	208274,960	1483957,760	81,022	
736	208282,427	1483915,967	81,517	
737	208260,961	1483894,957	80,786	
738	208303,987	1483905,431	80,902	
739	208292,475	1483977,446	81,013	
740	208317,353	1483901,161	81,686	
741	208297,746	1483885,276	80,554	
742	208320,793	1483968,649	82,449	
743	208335,510	1483932,867	82,537	
744	208338,468	1483956,372	83,041	
745	208421,817	1483854,763	81,141	
746	208416,372	1483827,472	80,715	PE-10-06
747	208397,361	1483859,999	81,126	
748	208411,335	1483844,723	81,078	
749	208401,521	1483821,883	80,968	
750	208381,667	1483878,799	81,213	
751	208382,647	1483806,785	81,005	
752	208378,478	1483836,439	81,067	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
753	208365,612	1483859,211	81,006	
754	208355,044	1483781,454	80,765	
755	208339,007	1483860,079	80,806	
756	208357,032	1483831,213	81,183	
757	208340,766	1483810,311	80,596	
758	208348,228	1483883,143	81,102	
759	208337,364	1483760,159	80,577	
760	208358,175	1483846,269	80,894	
761	208309,522	1483850,114	80,196	
762	208260,781	1484175,964	78,574	
763	208249,962	1484181,939	78,296	
764	208240,389	1484194,205	78,244	
765	208230,708	1484206,041	78,590	
766	208219,219	1484220,799	78,970	
767	208208,673	1484230,206	79,037	
768	208193,780	1484240,860	78,816	
769	208180,161	1484248,545	78,426	
770	208169,661	1484253,660	78,004	
771	208069,400	1483593,853	74,514	
772	207931,369	1483524,167	77,634	
773	207931,325	1483524,144	77,634	
774	207928,870	1483527,753	76,985	
775	207925,477	1483527,978	76,750	
776	207942,392	1483515,526	76,412	
777	207947,073	1483508,102	74,710	
778	207920,907	1483520,632	76,661	
779	207952,148	1483502,773	74,647	
780	207916,173	1483511,219	76,503	
781	207931,881	1483494,791	76,980	
782	207918,477	1483499,953	76,072	
783	207931,684	1483518,849	78,501	
784	207895,050	1483497,011	77,440	
785	207900,637	1483487,328	77,903	
786	207879,510	1483519,529	76,241	
787	207906,445	1483495,602	76,282	
788	207903,802	1483507,885	75,082	
789	207870,551	1483532,211	74,636	
790	207908,327	1483525,424	76,993	
791	207920,884	1483489,291	77,703	
792	207864,174	1483516,264	77,085	
793	207895,683	1483525,393	76,765	
794	207910,206	1483480,598	77,048	
795	207900,602	1483517,209	74,989	
796	207847,319	1483492,021	78,377	PE-10-12
797	207915,293	1483471,734	76,250	
798	207853,637	1483471,749	79,647	
799	207888,952	1483476,008	78,458	
800	207927,416	1483479,643	77,907	
801	207851,574	1483450,760	80,606	
802	207907,532	1483464,517	78,038	
803	207888,969	1483454,793	79,016	
804	207827,499	1483476,319	80,280	
805	207818,091	1483485,275	78,558	
806	207813,168	1483485,893	79,008	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
807	207830,128	1483488,126	78,899	
808	207820,451	1483481,405	78,955	
809	207811,560	1483470,283	80,129	
810	207822,732	1483498,149	76,911	
811	207807,788	1483473,097	79,816	
812	207824,379	1483497,438	77,662	
813	207835,922	1483502,494	77,369	
814	207820,387	1483498,404	77,422	
815	207797,110	1483482,938	81,004	
816	207823,926	1483511,484	76,001	
817	207841,464	1483511,005	76,984	
818	207799,266	1483501,376	79,247	
819	207846,781	1483524,122	76,244	
820	207798,223	1483514,598	78,611	
821	207829,461	1483454,280	81,028	
822	207816,691	1483442,056	81,828	
823	207805,028	1483422,921	82,574	
824	207801,495	1483448,085	82,088	
825	207787,480	1483460,373	82,215	
826	207815,958	1483521,778	76,838	
827	207826,149	1483531,042	75,119	
828	207813,706	1483537,180	76,163	
829	207794,167	1483532,337	78,038	
830	207810,121	1483561,539	75,641	
831	207837,809	1483547,946	74,800	
832	207790,929	1483548,429	77,512	
833	207807,537	1483578,058	75,937	
834	207807,745	1483576,134	76,017	
835	207830,352	1483555,940	75,218	
836	207793,974	1483557,089	76,831	
837	207810,296	1483599,494	77,233	
838	207826,344	1483567,657	76,112	
839	207801,640	1483616,778	77,285	
840	207782,851	1483589,466	77,097	
841	207814,185	1483613,487	75,627	
842	207833,456	1483594,439	76,889	
843	207780,636	1483612,159	78,290	
844	207828,169	1483610,809	76,388	
845	207796,313	1483619,919	77,423	
846	207841,349	1483601,580	76,704	
847	207767,053	1483628,186	78,981	
848	207759,516	1483572,973	78,255	
849	207780,679	1483582,826	76,170	
850	207752,955	1483551,163	80,400	
851	207786,664	1483581,267	76,098	
852	207770,732	1483526,552	80,343	
853	207773,494	1483570,710	77,816	
854	207760,783	1483553,209	80,054	
855	207754,295	1483528,364	81,115	
856	207776,182	1483528,443	79,539	
857	207770,785	1483505,829	80,879	
858	207755,616	1483483,314	82,282	
859	207775,412	1483485,389	81,627	
860	207754,089	1483456,300	83,632	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
861	207738,680	1483468,620	83,768	
862	207768,610	1483468,153	83,545	
863	207770,228	1483426,908	83,478	
864	207781,888	1483445,914	82,871	
865	207790,213	1483470,661	81,615	
866	207752,298	1483416,186	84,179	
867	207779,282	1483411,121	83,423	
868	207791,369	1483390,769	84,118	
869	207755,751	1483392,394	84,750	
870	207788,534	1483426,275	82,844	
871	207730,642	1483410,465	85,828	
872	207805,208	1483410,890	82,593	
873	207732,559	1483427,421	85,053	
874	207708,446	1483416,261	86,476	
875	207733,539	1483455,249	84,367	
876	207690,613	1483434,601	86,566	
877	207733,212	1483485,139	83,153	
878	207724,592	1483497,990	83,032	
879	207712,550	1483490,144	83,480	
880	207710,979	1483459,974	85,063	
881	207701,302	1483474,598	84,333	
882	207721,791	1483436,122	85,242	
883	207691,350	1483453,341	85,786	
884	207682,793	1483436,920	86,744	
885	207704,757	1483426,190	86,257	
886	207679,947	1483395,158	88,855	
887	207647,039	1483423,444	89,082	
888	207637,950	1483390,074	92,025	
889	207667,046	1483411,135	88,753	
890	207666,654	1483378,524	90,925	
891	207701,627	1483394,950	87,682	
892	207691,390	1483357,684	90,373	
893	207721,548	1483398,544	86,484	
894	207715,232	1483346,122	89,628	
895	207723,116	1483384,983	86,932	
896	207747,206	1483335,894	89,954	
897	207742,960	1483371,025	86,344	
898	207752,023	1483367,518	86,247	
899	207722,931	1483339,042	90,251	
900	207715,732	1483312,850	94,943	
901	207711,670	1483331,850	92,187	
902	207682,772	1483321,552	96,522	
903	207697,958	1483348,272	90,975	
904	207685,474	1483347,528	92,065	
905	207659,331	1483330,212	95,949	
906	207674,924	1483354,180	91,870	
907	207657,524	1483362,934	92,967	
908	207634,961	1483339,547	99,525	
909	207643,210	1483375,682	93,021	
910	207631,770	1483386,904	92,738	
911	207610,282	1483352,037	99,373	
912	207617,702	1483383,315	94,301	
913	207631,782	1483334,977	101,001	
914	207616,830	1483301,856	106,737	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
915	207606,633	1483272,323	109,528	
916	207580,277	1483306,727	108,284	
917	207605,884	1483270,522	109,437	
918	207634,581	1483294,411	105,581	
919	207575,562	1483293,534	108,880	
920	207653,495	1483286,112	106,055	
921	207673,769	1483284,824	104,398	
922	207678,914	1483293,696	102,181	
923	207673,221	1483270,946	108,313	
924	207667,563	1483266,417	110,639	
925	207665,848	1483264,708	111,820	
926	207635,191	1483267,699	109,240	
927	207688,700	1483267,672	106,353	
928	207592,137	1483281,005	109,586	
929	207559,912	1483284,155	109,005	
930	207551,603	1483256,560	110,183	
931	207573,696	1483258,953	110,414	
932	207605,045	1483241,133	111,209	
933	207543,136	1483231,948	110,750	
934	207571,038	1483224,428	111,744	
935	207606,554	1483210,894	112,613	
936	207539,000	1483202,554	110,936	
937	207562,628	1483197,443	111,377	
938	207546,092	1483194,077	111,109	
939	207574,375	1483185,754	111,396	
940	207641,083	1483239,932	110,791	
941	207618,611	1483200,024	112,803	
942	207639,394	1483229,373	111,769	
943	207520,879	1483190,957	110,661	
944	207600,079	1483163,603	110,826	
945	207501,349	1483198,303	108,137	
946	207544,739	1483161,641	108,381	
947	207585,176	1483140,119	110,219	
948	207497,855	1483184,781	105,230	
949	207536,570	1483137,380	105,951	
950	207502,632	1483166,156	103,303	
951	207569,202	1483107,084	108,259	
952	207517,449	1483114,193	101,860	
953	207466,645	1483166,734	100,265	
954	207466,557	1483193,194	101,106	
955	207557,987	1483077,232	104,095	
956	207515,165	1483083,220	99,761	
957	207452,384	1483133,610	99,156	
958	207560,337	1483054,782	101,831	
959	207434,089	1483111,709	97,170	
960	207500,496	1483077,867	98,826	
961	207554,232	1483037,558	100,235	
962	207526,621	1483058,206	99,466	
963	207470,514	1483072,047	97,778	
964	207537,495	1483091,143	101,827	
965	207545,157	1483124,524	105,753	
966	207550,438	1483154,691	108,026	
967	207562,631	1483178,390	109,948	
968	207440,230	1483096,313	96,710	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
969	207440,212	1483096,327	96,710	
970	207411,446	1483107,958	95,391	
971	207411,989	1483031,359	94,115	
972	207395,744	1483080,121	93,645	
973	207452,100	1483055,312	95,191	
974	207384,393	1482977,373	93,336	
975	207374,385	1483039,264	94,027	
976	207449,559	1483001,059	94,666	
977	207453,909	1482959,272	94,009	
978	207483,907	1482974,722	94,786	
979	207360,743	1483005,478	93,605	
980	207483,018	1483033,134	96,203	
981	207483,619	1483059,666	97,032	
982	207518,927	1482980,322	95,159	
983	207512,307	1483031,915	96,628	
984	207527,507	1483003,270	95,826	
985	207380,384	1482956,842	92,896	
986	207351,978	1482988,145	93,309	
987	207368,309	1482920,627	92,078	
988	207335,329	1483002,694	92,737	
989	207363,657	1482874,525	91,642	
990	207434,330	1482914,069	93,164	
991	207340,678	1483023,113	92,934	
992	207374,135	1482870,655	91,477	PE-10-18
993	207316,250	1482970,320	91,429	
994	207364,739	1482827,838	91,398	
995	207423,227	1482849,605	90,742	
996	207301,569	1482927,742	92,804	
997	207359,630	1482792,648	91,382	
998	207311,585	1482888,277	93,457	
999	207331,118	1482906,754	92,108	
1000	207360,508	1482905,526	91,897	
1001	207351,935	1482918,172	91,978	
1002	207313,509	1482833,014	92,537	
1003	207340,239	1482825,763	91,956	
1004	207303,667	1482869,561	93,021	
1005	207340,735	1482791,711	92,275	
1006	207311,406	1482808,695	92,763	
1007	207290,278	1482882,117	92,845	
1008	207310,416	1482784,745	92,627	
1009	207266,796	1482834,610	92,198	
1010	207276,723	1482893,651	92,570	
1011	207261,381	1482791,695	91,167	
1012	207233,872	1482842,749	91,259	
1013	207269,631	1482876,403	92,749	
1014	207242,544	1482794,819	90,582	
1015	207250,920	1482889,293	93,639	
1016	207242,042	1482869,506	93,937	
1017	207227,083	1482870,439	92,976	
1018	207219,446	1482881,976	93,369	
1019	207201,377	1482792,616	88,987	
1020	207193,522	1482796,740	88,832	
1021	207203,007	1482822,733	89,511	
1022	207154,622	1482834,356	89,727	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1023	207191,848	1482856,812	89,922	
1024	207108,455	1482875,067	90,159	
1025	207193,698	1482889,940	90,256	
1026	207242,358	1482750,419	88,232	
1027	207066,291	1482909,322	90,326	
1028	207163,610	1482900,266	89,538	
1029	207297,578	1482700,019	85,974	
1030	207162,028	1482923,549	89,137	
1031	207325,655	1482671,047	85,776	
1032	207106,062	1482844,544	90,442	
1033	207357,547	1482637,321	85,024	
1034	207142,151	1482897,606	89,603	
1035	207133,560	1482826,621	89,971	
1036	207157,672	1482801,652	89,524	
1037	207152,980	1482879,019	89,738	
1038	207183,804	1482768,324	88,212	
1039	207163,708	1482855,559	89,791	
1040	207269,770	1482740,062	87,776	
1041	207212,149	1482743,498	87,351	
1042	207186,669	1482826,019	89,559	
1043	207240,198	1482722,785	87,021	
1044	207223,472	1482784,771	88,962	
1045	207285,800	1482795,816	91,633	
1046	207246,210	1482778,699	90,337	
1047	207220,016	1482702,187	86,467	
1048	207240,907	1482798,498	90,179	
1049	207201,891	1482714,135	87,033	
1050	207185,087	1482693,219	86,984	
1051	207174,270	1482732,150	88,139	
1052	207158,435	1482675,884	87,321	
1053	207135,497	1482755,471	89,417	
1054	207141,579	1482714,002	88,718	
1055	207109,802	1482788,369	90,231	
1056	207101,253	1482737,544	89,950	
1057	207084,928	1482800,459	90,901	
1058	207119,564	1482692,576	88,997	
1059	207056,992	1482617,991	89,452	
1060	207085,069	1482651,458	88,500	
1061	207023,202	1482642,096	90,014	
1062	207108,875	1482642,933	87,908	
1063	207091,892	1482604,910	88,690	
1064	207023,430	1482641,865	89,989	
1065	207139,729	1482630,584	87,595	
1066	207046,616	1482668,629	89,368	
1067	207165,936	1482626,497	87,352	
1068	207174,709	1482601,948	87,859	
1069	207074,404	1482718,225	90,039	
1070	207104,224	1482621,040	88,210	
1071	207190,072	1482619,739	87,266	
1072	207182,744	1482659,918	86,974	
1073	207212,130	1482643,833	86,763	
1074	207220,811	1482670,624	86,386	
1075	207078,475	1482611,326	88,795	
1076	207109,170	1482599,378	88,215	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1077	207040,529	1482583,703	89,765	
1078	207085,419	1482584,981	88,863	
1079	207125,430	1482563,403	88,955	
1080	207081,160	1482569,329	88,904	
1081	207141,090	1482587,403	88,251	
1082	207167,970	1482534,609	90,053	
1083	207114,032	1482550,992	89,334	
1084	207208,838	1482502,427	91,400	
1085	207187,122	1482470,345	92,406	
1086	207162,866	1482566,049	88,750	
1087	207166,432	1482442,004	93,148	
1088	207194,559	1482600,817	87,321	
1089	207189,641	1482553,904	89,133	
1090	207213,023	1482540,726	89,745	
1091	207238,970	1482583,390	88,426	
1092	207199,493	1482441,022	93,527	
1093	207248,701	1482519,776	91,916	
1094	207283,657	1482559,420	91,956	
1095	207215,234	1482467,979	92,338	
1096	207244,059	1482469,622	95,764	
1097	207263,024	1482521,652	94,136	
1098	207293,610	1482603,317	88,721	
1099	207245,685	1482441,814	97,378	
1100	207273,906	1482525,078	95,433	
1101	207241,674	1482418,007	98,402	
1102	207264,054	1482625,476	87,344	
1103	207263,804	1482533,560	93,081	
1104	207266,683	1482428,055	104,397	
1105	207272,553	1482534,073	94,069	
1106	207276,189	1482651,957	86,252	
1107	207274,088	1482465,620	103,143	
1108	207287,529	1482541,555	94,804	
1109	207298,332	1482597,529	89,192	
1110	207317,455	1482620,539	86,574	
1111	207324,227	1482590,799	87,459	
1112	207348,908	1482577,691	87,063	
1113	207296,961	1482566,657	91,326	
1114	207268,353	1482683,875	85,266	
1115	207305,215	1482552,868	92,504	
1116	207390,916	1482563,763	86,024	
1117	207298,138	1482549,930	94,261	
1118	207304,623	1482673,960	85,336	
1119	207393,710	1482587,956	85,185	
1120	207315,061	1482541,733	93,053	
1121	207348,397	1482635,135	85,066	
1122	207346,276	1482604,682	86,629	
1123	207381,022	1482629,158	84,276	
1124	207311,828	1482608,818	87,297	
1125	207393,388	1482541,818	86,893	
1126	207387,387	1482532,008	87,217	
1127	207359,914	1482517,060	90,639	
1128	207390,820	1482507,157	88,008	
1129	207444,986	1482507,125	87,538	
1130	207338,077	1482495,145	95,165	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1131	207374,370	1482485,127	90,085	
1132	207327,433	1482481,967	98,380	
1133	207430,343	1482475,523	88,846	
1134	207358,928	1482475,177	92,800	
1135	207349,258	1482458,072	94,724	
1136	207404,176	1482432,514	91,266	
1137	207367,705	1482439,572	92,118	
1138	207367,454	1482439,525	92,132	
1139	207367,471	1482439,592	92,279	
1140	207404,276	1482565,166	86,019	
1141	207413,604	1482543,012	86,372	
1142	207441,464	1482551,265	85,374	
1143	207436,608	1482577,802	85,830	
1144	207453,249	1482568,816	84,714	
1145	207411,859	1482602,959	85,532	
1146	207464,091	1482545,051	85,616	
1147	207451,181	1482586,726	84,838	
1148	207482,900	1482534,235	85,461	
1149	207480,887	1482577,079	83,748	
1150	207494,105	1482519,969	86,281	
1151	207521,805	1482548,272	84,245	
1152	207508,313	1482507,804	86,544	
1153	207546,557	1482530,155	84,871	
1154	207348,735	1482432,535	94,260	
1155	207366,868	1482417,441	93,737	
1156	207324,083	1482445,817	97,395	
1157	207327,668	1482422,977	97,745	
1158	207362,105	1482414,266	94,738	
1159	207384,243	1482406,537	94,441	
1160	207344,996	1482386,993	102,790	
1161	207336,130	1482368,880	107,751	
1162	207319,418	1482384,109	105,120	
1163	207355,052	1482364,862	106,766	
1164	207357,788	1482384,176	102,112	
1165	207297,610	1482387,660	105,158	
1166	207364,569	1482401,482	97,248	
1167	207394,683	1482402,419	94,732	
1168	207584,992	1482496,824	85,894	
1169	207493,727	1482572,525	83,893	
1170	207515,815	1482601,357	82,454	
1171	207548,587	1482573,895	83,187	
1172	207485,261	1482607,382	82,967	
1173	207529,667	1482618,718	81,812	
1174	207570,878	1482599,799	82,211	
1175	207508,062	1482633,550	81,679	
1176	207510,527	1482638,909	80,621	
1177	207535,235	1482629,450	81,061	
1178	207589,370	1482622,516	81,537	
1179	207519,418	1482658,398	82,224	
1180	207485,838	1482655,839	83,855	
1181	207482,303	1482637,904	81,633	
1182	207476,175	1482608,307	83,436	
1183	207437,258	1482630,862	82,739	
1184	207520,659	1482657,088	82,268	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1185	207549,137	1482642,917	79,868	
1186	207522,236	1482637,149	81,331	
1187	207553,555	1482639,565	81,184	
1188	207599,447	1482654,339	80,195	
1189	207538,496	1482638,568	81,586	
1190	207543,693	1482644,668	81,563	
1191	207530,997	1482661,672	82,196	
1192	207502,483	1482650,595	81,729	
1193	207537,842	1482622,774	81,637	
1194	207486,697	1482646,587	82,460	
1195	207508,847	1482683,142	83,248	
1196	207524,113	1482623,065	81,591	
1197	207465,487	1482644,602	82,518	
1198	207501,065	1482638,369	81,871	
1199	207484,171	1482694,014	84,519	
1200	207479,396	1482627,942	82,500	
1201	207451,208	1482669,557	84,327	
1202	207544,796	1482683,913	83,082	
1203	207521,990	1482715,996	83,617	
1204	207467,932	1482710,485	85,597	
1205	207526,409	1482753,697	84,773	
1206	207485,526	1482726,090	84,743	
1207	207485,507	1482726,102	84,944	
1208	207452,676	1482726,681	87,773	
1209	207463,736	1482714,816	86,589	
1210	207469,272	1482736,920	88,025	
1211	207444,228	1482708,760	89,435	
1212	207471,084	1482748,853	88,672	
1213	207420,522	1482727,374	91,518	
1214	207423,025	1482705,972	91,416	
1215	207461,739	1482768,236	89,513	
1216	207450,766	1482775,528	91,132	
1217	207440,483	1482749,060	89,303	
1218	207452,945	1482739,686	87,906	
1219	207482,083	1482762,779	87,122	
1220	207521,512	1482771,065	85,741	
1221	207478,538	1482803,087	88,255	
1222	207522,866	1482784,673	85,277	
1223	207542,279	1482756,411	84,097	
1224	207475,177	1482853,198	90,113	
1225	207519,395	1482780,544	86,230	
1226	207526,754	1482792,658	86,245	
1227	207579,969	1482733,323	82,675	
1228	207501,924	1482810,777	88,294	
1229	207549,291	1482706,685	84,536	
1230	207526,331	1482717,804	83,596	
1231	207545,516	1482820,903	86,574	
1232	207506,443	1482833,017	91,628	
1233	207552,831	1482810,069	85,938	
1234	207566,015	1482789,406	84,586	PE-10-19
1235	207594,621	1482776,454	83,239	
1236	207552,337	1482839,957	86,783	
1237	207521,446	1482833,595	90,828	
1238	207625,372	1482751,628	81,677	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1239	207585,090	1482865,109	85,833	
1240	207678,755	1482709,574	79,339	
1241	207523,672	1482882,906	89,740	
1242	207619,451	1482904,040	86,764	
1243	207515,939	1482925,927	91,732	PE-10-17
1244	207631,924	1482941,460	88,844	
1245	207658,001	1482823,814	84,993	
1246	207563,911	1482922,488	89,917	
1247	207689,184	1482862,731	84,749	
1248	207656,770	1482789,657	83,189	
1249	207708,333	1482896,432	86,153	
1250	207643,222	1482882,131	86,274	
1251	207686,141	1482775,910	82,175	
1252	207728,934	1482928,539	88,771	
1253	207608,753	1482953,817	90,949	
1254	207709,265	1482805,381	82,337	
1255	207752,031	1482958,297	93,188	
1256	207725,502	1482838,408	82,953	
1257	207597,192	1482981,252	93,556	
1258	207757,139	1482896,515	85,873	
1259	207770,892	1482940,747	91,011	
1260	207655,134	1482975,916	90,649	
1261	207594,433	1482969,801	92,494	
1262	207565,445	1482992,551	94,361	
1263	207574,202	1483034,073	99,140	
1264	207587,320	1483067,080	106,593	
1265	207613,377	1483008,437	96,867	
1266	207656,806	1482961,654	89,795	
1267	207594,748	1483087,055	110,518	
1268	207626,403	1483044,650	101,583	
1269	207667,188	1482999,926	92,936	
1270	207654,984	1483069,012	104,202	
1271	207675,834	1483021,917	98,010	
1272	207671,184	1483077,923	104,593	
1273	207718,447	1483069,810	103,511	
1274	207722,720	1483039,510	101,394	
1275	207692,413	1483054,042	98,334	
1276	207736,798	1483009,338	99,942	
1277	207694,037	1483020,772	94,601	
1278	207736,694	1482983,918	96,366	
1279	207687,570	1482988,337	91,708	
1280	207765,045	1483078,068	103,836	
1281	207738,986	1482975,742	95,358	
1282	207772,360	1483027,013	104,088	
1283	207764,600	1483103,190	105,804	
1284	207793,909	1483026,272	102,431	
1285	207749,647	1483125,068	107,903	
1286	207800,466	1483023,006	102,303	
1287	207704,979	1483135,266	110,539	
1288	207801,207	1483071,580	101,957	
1289	207654,447	1483146,410	110,980	
1290	207823,926	1483019,183	102,284	
1291	207839,721	1482997,187	100,664	
1292	207790,156	1482999,905	99,736	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1293	207853,877	1482964,011	95,236	
1294	207842,759	1483050,176	104,125	
1295	207763,269	1482968,851	94,920	
1296	207834,411	1482948,005	93,755	
1297	207853,451	1483034,733	104,913	
1298	207816,683	1482968,112	96,751	
1299	207782,363	1482929,400	89,713	
1300	207874,551	1483024,118	102,987	
1301	207874,352	1482985,368	99,334	
1302	207851,007	1483035,465	104,879	
1303	207828,558	1483071,117	100,696	
1304	207861,705	1483045,071	101,071	
1305	207878,183	1483039,218	100,428	
1306	207880,614	1483064,207	95,780	
1307	207901,060	1483034,513	97,617	
1308	207885,731	1483092,996	90,671	
1309	207910,784	1483074,126	89,096	
1310	207929,700	1483086,164	85,430	
1311	207927,566	1483112,293	84,465	
1312	207938,064	1483126,274	83,446	
1313	207888,553	1483105,778	88,606	
1314	207949,211	1483083,595	83,220	
1315	207904,126	1483154,251	85,186	
1316	207862,297	1483128,268	88,689	
1317	207976,947	1483116,932	81,456	
1318	207881,905	1483178,833	89,638	
1319	207817,474	1483136,654	94,330	
1320	207944,753	1483163,153	83,001	
1321	207816,747	1483160,596	96,543	
1322	207920,796	1483190,097	82,884	
1323	207883,903	1483199,512	87,551	
1324	207903,665	1483218,073	82,997	
1325	207852,044	1483183,610	94,120	
1326	207863,673	1483221,155	87,829	
1327	207872,504	1483259,826	83,636	
1328	207811,078	1483186,727	97,928	
1329	207839,242	1483247,839	89,552	
1330	207846,332	1483293,272	86,320	
1331	207799,739	1483207,284	98,708	
1332	207817,864	1483267,006	90,597	
1333	207799,708	1483285,382	92,093	
1334	207881,879	1483225,942	84,920	PE-10-16
1335	207791,973	1483276,546	93,209	PE-10-15
1336	207774,484	1483282,942	93,451	
1337	207764,201	1483306,936	90,502	
1338	207745,364	1483257,123	98,804	
1339	207734,855	1483290,488	94,506	
1340	207730,656	1483222,996	104,927	
1341	207784,430	1483237,070	97,464	
1342	207712,048	1483251,895	102,919	
1343	207776,907	1483336,829	86,447	
1344	207779,540	1483368,556	83,125	
1345	207818,865	1483322,364	89,100	
1346	207824,138	1483332,975	87,419	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1347	207820,060	1483325,028	88,590	
1348	207840,527	1483339,529	85,119	
1349	207819,687	1483355,614	82,880	
1350	207789,098	1483392,449	81,184	
1351	207871,410	1483373,712	77,740	
1352	207838,611	1483390,868	78,429	
1353	207878,142	1483407,003	76,960	
1354	207845,818	1483420,108	78,174	
1355	207884,438	1483362,743	77,079	
1356	207894,146	1483320,320	78,115	
1357	207864,432	1483338,289	81,188	
1358	207851,368	1483316,102	85,405	
1359	207863,829	1483324,859	82,365	
1360	207891,334	1483285,104	79,885	
1361	207873,242	1483295,073	81,807	
1362	207842,903	1483274,628	86,512	
1363	207872,094	1483258,236	83,358	
1364	207918,917	1483299,036	78,420	
1365	207899,954	1483244,434	81,689	
1366	207908,197	1483270,307	79,615	
1367	207952,737	1483286,920	78,432	
1368	207911,200	1483221,525	82,143	
1369	207931,837	1483249,705	80,044	
1370	207955,815	1483286,510	78,495	
1371	207955,792	1483286,513	78,546	
1372	207963,754	1483258,196	79,743	
1373	207943,626	1483254,988	79,843	
1374	208002,664	1483282,499	78,154	
1375	207988,747	1483242,727	79,641	
1376	207948,149	1483221,056	80,959	
1377	207989,430	1483221,561	79,993	
1378	207959,997	1483196,991	81,423	
1379	208006,798	1483187,445	79,890	
1380	208037,906	1483285,250	77,027	
1381	208014,520	1483172,963	79,860	
1382	208003,136	1483241,016	79,135	
1383	208025,759	1483219,982	78,368	
1384	208025,739	1483219,933	78,379	
1385	208002,743	1483315,536	77,845	
1386	208038,386	1483286,960	76,232	
1387	207972,572	1483306,781	77,914	
1388	207947,338	1483327,373	77,158	
1389	207975,815	1483325,145	77,378	
1390	207935,260	1483360,186	75,986	
1391	207917,625	1483323,568	77,758	
1392	207991,812	1483354,143	77,062	PE-10-14
1393	207951,990	1483364,033	75,195	
1394	208023,840	1483397,855	75,583	
1395	207912,166	1483348,010	76,871	
1396	208044,406	1483371,719	76,656	
1397	208012,550	1483341,103	77,446	
1398	208011,734	1483312,088	77,899	
1399	208049,417	1483331,261	76,509	
1400	208029,302	1483342,732	77,097	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1401	208002,771	1483315,531	78,470	BS1
1402	207901,498	1483320,838	78,215	BS2
1403	208059,628	1483309,760	75,498	
1404	208070,325	1483338,292	74,985	
1405	208084,733	1483318,408	74,343	
1406	208100,379	1483353,108	72,989	
1407	208080,936	1483369,240	74,988	
1408	208100,320	1483353,333	73,025	
1409	208068,106	1483410,223	76,056	
1410	208095,189	1483403,719	73,455	
1411	208131,498	1483341,220	75,582	
1412	208082,948	1483435,079	73,460	
1413	208038,741	1483419,731	75,463	
1414	208058,127	1483405,802	75,880	PQ
1415	208013,955	1483420,251	73,556	
1416	208038,849	1483463,202	73,196	
1417	207983,159	1483424,355	71,349	
1418	208016,885	1483463,788	73,040	
1419	208001,938	1483457,340	73,149	
1420	207945,585	1483423,360	71,165	
1421	207993,104	1483438,873	71,140	
1422	208127,736	1483355,623	73,729	
1423	207950,945	1483423,350	70,892	
1424	207926,928	1483407,713	72,114	
1425	207956,937	1483456,790	70,993	
1426	207915,943	1483431,062	74,093	
1427	207912,980	1483376,625	73,422	
1428	207913,733	1483463,486	74,193	
1429	207911,629	1483410,710	72,703	PE-10-13
1430	207907,594	1483446,167	74,686	
1431	208105,404	1483331,666	73,998	
1432	208098,724	1483302,805	75,211	
1433	208134,048	1483278,441	76,634	
1434	208155,231	1483279,950	75,109	
1435	208123,805	1483380,902	72,601	
1436	208168,027	1483365,676	72,746	
1437	208113,203	1483387,428	70,783	
1438	208182,381	1483349,694	72,915	
1439	208174,025	1483317,352	72,968	
1440	208158,515	1483371,489	72,528	
1441	208145,950	1483324,942	74,810	
1442	208506,515	1483980,283	82,487	
1443	208494,456	1483975,603	82,403	Gourba7
1444	208518,274	1484004,705	83,688	BM1
1445	208418,353	1484009,962	82,369	BM2
1446	207272,854	1482730,426	87,507	
1447	207337,808	1482688,588	85,880	
1448	207351,438	1482733,776	89,500	
1449	207328,506	1482738,518	88,232	
1450	207307,014	1482757,792	90,060	
1451	207321,076	1482782,788	91,658	
1452	207336,484	1482801,297	92,216	
1453	207336,664	1482801,588	92,333	
1454	207359,673	1482792,810	91,263	

N°	EST	NORD	ALTITUDE	OBSERVATION
1455	207395,059	1482796,136	90,749	
1456	207433,563	1482784,391	90,655	
1457	207414,402	1482767,713	91,233	
1458	207438,597	1482758,334	90,333	
1459	207396,751	1482818,610	90,769	
1460	207373,214	1482809,718	91,173	
1461	207359,626	1482767,490	90,410	
1462	207316,178	1482761,679	90,312	
1463	207057,005	1482618,059	89,665	PI-04
1464	207345,003	1482387,008	102,993	PI-03

ANNEXE C

Rapports des forages

ANNEXE D

Rapports des puits d'exploration

ANNEXE E

Photographies des carottes de forages