



BURKINA FASO



MINISTRE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT
SECRETARIAT GENERAL
DIRECTION GENERALE DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES

Etudes intégrées de valorisation du barrage souterrain de Naré
et contrôle des travaux de réhabilitation des infrastructures
connexes et d'aménagement de périmètre irrigué



**RAPPORT D'ETUDES INTEGRES DE REHABILITATION
ET DE VALORISATION DU BARRAGE SOUTERRAIN DE
NARE**

VERSION DEFINITIVE

FINANCEMENT: Facilité Africaine de l'Eau (FAE)

Avril 2019

GROUPEMENT



SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	6
1.1	CONTEXTE ET ORIGINE DU PROJET	6
1.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
1.3	PHASES DE L'ETUDE :	7
1.4	LOCALISATION DU BARRAGE SOUTERRAIN	7
1.5	CARACTERISTIQUES DU BARRAGE SOUTERRAIN	8
2	APERÇUS SUR LES RESULTATS DE LA PHASE DE CARACTERISATION DU SITE ET DE L'AQUIFERE	9
2.1	HYDROLOGIE DU SITE	9
2.1.1	CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT :	9
2.1.2	DONNEES PLUVIOMETRIQUES ET EVAPOTRANSPIRATION	9
2.1.3	BILAN HYDROLOGIQUE	9
2.2	CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES DU SITE	10
2.2.1	GEOLOGIE DE LA VALLEE FOSSILE	10
2.2.2	CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES	10
2.3	HYDROGEOLOGIE DU SITE	11
2.3.1	APERÇU HYDROGEOLOGIQUE	11
2.3.2	FRACTURATION DU SOCLE	11
2.3.3	NIVEAU D'ALTERATION	11
2.3.4	ZONES DE RECHARGE DE LA NAPPE FOSSILE	12
2.3.5	ZONES DE DECHARGE DE LA NAPPE FOSSILE	13
2.3.6	NIVEAU STATIQUE DE LA NAPPE	13
2.3.7	CAPACITE DE STOCKAGE DU BARRAGE	15
3	APERÇUS SUR LES RESULTATS DE L'ETUDE DU MILIEU SOCIOECONOMIQUE	16
3.1	RESULTATS DES FOCUS GROUP	16
3.2	ANALYSE CRITIQUE DE LA SITUATION DU PROJET	16
3.3	CHOIX DU SITE DU FUTUR PERIMETRE IRRIGUE	17
3.4	ETAT DE LA TUTELLE ACTUELLE	17
3.5	MESURES D'ACCOMPAGNEMENT	18
4	SYNTHESE DU DIAGNOSTIC DES INFRASTRUCTURES EXISTANTES	20
4.1	INTRODUCTION	20
4.2	MINI-ADDUCTION D'EAU	20

4.3	SYSTEME DE SUIVI DE LA NAPPE (PIEZOMETRES).....	20
4.4	JARDINS PILOTES.....	21
4.5	AUTRES EQUIPEMENTS SOCIOECONOMIQUES.....	21
4.5.1	L'ECOLE PRIMAIRE.....	21
4.5.2	LES MOULINS.....	21
4.5.3	LE CAMP DE BASE.....	21
4.6	CONCLUSIONS ET ACTIONS PROPOSEES.....	22
5	MODELISATION DE L'AQUIFERE.....	25
5.1	INTRODUCTION.....	25
5.2	PRESENTATION DU MODELE.....	25
5.3	ETAPE DE MODELISATION.....	26
5.3.1	CONSTRUCTION DU MODELE CONCEPTUEL.....	26
5.3.2	CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE.....	26
5.3.3	VALIDATION DU MODELE.....	26
5.3.4	ESTIMATION DES PARAMETRES DE CALAGE.....	26
5.4	CONSTRUCTION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE.....	27
5.4.1	CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE DU BARRAGE SOUTERRAIN DE NARE EN REGIME PERMANENT.....	27
5.4.2	RESULTAT DE CALAGE ET BILAN DE LA NAPPE EN REGIME PERMANENT.....	29
5.5	CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE DU BARRAGE SOUTERRAIN DE NARE EN REGIME TRANSITOIRE	30
5.5.1	DEFINITION DES CONDITIONS INITIALES ET DES CRITERES DE CALAGE DU MODELE.....	31
5.5.2	LES PARAMETRES STRUCTURAUX D'INITIALISATION DE CALAGE.....	31
5.5.3	CALAGE DE LA PIEZOMETRIE.....	31
5.5.4	RESULTAT DE CALAGE ET BILAN DE LA NAPPE EN REGIME TRANSITOIRE.....	32
5.6	SIMULATIONS PREVISIONNELLES.....	33
5.6.1	SCENARIO N°1.....	34
5.6.2	SCENARIO N°2.....	35
6	PROPOSITIONS DE CONFORTATION ET DE VALORISATION DU BARRAGE SOUTERRAIN.....	36
6.1	ACTIONS DE VALORISATION.....	36
6.1.1	RESUME DES ETUDES TECHNIQUES DE REHABILITATION DU SYSTEME AEPS EXISTANT ET DE CONSTRUCTION DE NOUVELLES BORNES FONTAINES.....	36
6.1.2	RESUME DE ETUDES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT D'UN PERIMETRE DE 5 HA IRRIGUE EN GOUTTE A GOUTTE.....	38
6.1.3	ETUDES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT D'UNE PISTE DE DESSERTE.....	40
6.2	ACTIONS DE CONFORTATION ET DE SUIVI.....	41

6.2.1	RESUME DE ETUDES TECHNIQUES DE REHABILITATION DES OUTILS DE SUIVI DE LA RESSOURCE	41
6.2.2	ETUDES TECHNIQUES DE CONFORTATION DU BARRAGE SOUTERRAIN DE NARE	42
7	ANALYSE FINANCIERE DU PROJET	45
7.1	DEMARCHE.....	45
7.2	AVANTAGES INDUITS PAR LE PROJET	45
7.3	COUT D'INVESTISSEMENT DU PROJET :	45
7.4	COUT D'ENTRETIEN :	46
7.5	COUT DE RENOUVELLEMENT :	46
7.6	INDICATEURS DE RENTABILITE	47
7.7	RESULTATS	47
8	ANNEXES	50
8.1	ANNEXE 1 : RESULTATS DES SIMULATIONS DE LA NAPPE	51
8.2	ANNEXE 2 : PLAN D'IMPLANTATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES ET DES NOUVELLES INFRASTRUCTURES	70
8.3	ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES GEOPHYSIQUES DES SITES PROPOSES POUR LE FORAGE	71

Liste des Tableaux

Tableau 2-1 : Principales caractéristiques du bassin versant (Source : STUDI/BERA).....	9
Tableau 2-2 : Simulations des lames infiltrées annuelles en années sèches et humides.....	9
Tableau 2-3 : Résultats des essais de perméabilité in-situ (Source : STUDI/BERA).....	10
Tableau 2-4 : Porosité des différents types de sol de la cuvette (Source : STUDI/BERA)	10
Tableau 2-5 : Volume stockée dans les formations (STUDI/ BERA)	15
Tableau 4-1 : Caractéristiques des ouvrages de l'AEPS (Source STUDI/BERA).....	20
Tableau 4-2 : Coordonnées et caractéristiques des jardins maraichers (Source STUDI/BERA).....	21
Tableau 4-3 : Caractéristiques des abris des moulins (Source STUDI/BERA).....	21
Tableau 4-4 : Caractéristiques du camp (Source STUDI/BERA).....	22
Tableau 4-5 : Listes des infrastructures et les actions proposés (Source STUDI/BERA).....	22
Tableau 5-1 : Bilan global du barrage souterrain de Naré, calculé par le modèle en 1998 (m ³ /s).....	30
Tableau 5-2 : piézométrie observée au niveau du barrage souterrain durant l'année 2018.....	32
Tableau 5-3 : Côtes piézométriques simulées (Source STUDI/BERA).....	32
Tableau 5-4 : Cotes piézométriques simulées pour le scénario n°1 (Source STUDI/BERA).....	34
Tableau 5-5 : Cotes piézométriques simulées pour le scénario n°2 (Source STUDI/BERA).....	35
Tableau 6-1 : Nombre de cheptel à l'horizon 2030 de Kombang-bédo (Source STUDI/BERA)	36
Tableau 6-2 : Superficie des quartiers d'irrigation (Source STUDI/BERA)	38
Tableau 6-3 : Devis estimatif – Piste de desserte	41
Tableau 6-4 : Caractéristiques des piézomètres à installer	42
Tableau 6-5 : Devis estimatif – Barrage souterrain	44
Tableau 7-1 : ventilation du coût d'investissement.....	46
Tableau 7-2 : Coût d'entretien.....	46
Tableau 7-3 : Calcul du TRI	47
Tableau 7-4 : Calcul du VAN.....	48
Tableau 7-5 : Calcul du CMLT	48

Liste des Figures

Figure 1-1 : Localisation de la zone d'étude.....	7
Figure 1-2 : Coupe en travers et profil en long du barrage souterrain	8
Figure 2-1 : Pluie et ETP mensuelles moyennes	9
Figure 2-2 : Carte de fracturation (amont immédiat du barrage souterrain).....	11
Figure 2-3 : Carte des isopaques des altérites.....	12
Figure 2-4 : Zones de recharge de la nappe de la vallée fossile.....	12
Figure 2-5 : Zones de décharge de la nappe de la vallée fossile.....	13
Figure 2-6 : Fluctuation du niveau statique de la nappe	14
Figure 2-7 : Carte du niveau statique en juin 2018	14
Figure 3-1 : Délimitation/implantation du site du périmètre irrigué	17
Figure 5-1 : Diagramme de la méthodologie de la modélisation hydrodynamique adoptée.....	27
Figure 5-2 : Schéma conceptuel du barrage souterrain de Naré (Source STUDI/BERA).....	28
Figure 5-3 : Plan de situation du barrage souterrain de Naré (Source STUDI/BERA).....	29
Figure 5-4 : Carte piézométrique simulée en régime permanent (Source STUDI/BERA).....	30
Figure 5-5 : pluviométrie calculée pour l'année 2018	31
Figure 5-6 : Carte piézométrique simulée en juin 2018 (Source STUDI/BERA).....	33
Figure 5-7 : Carte piézométrique simulée en octobre 2018 (Source STUDI/BERA).....	33
Figure 5-8 : Pluviométrie calculée en année décennale sèche.....	34
Figure 6-1 : Architecture du réseau de la mini-adduction d'eau potable (Source STUDI/BERA).....	37
Figure 6-2 : Plan d'aménagement du périmètre irrigué (Source STUDI/BERA)	39
Figure 6-3 : Tracé de piste de desserte	40
Figure 6-4 : Carte d'iso-résistivité.....	42
Figure 6-5 : Tracé du barrage souterrain projeté (Source STUDI/BERA)	43
Figure 6-6 : Coupe en travers type de la digue (Source STUDI/BERA).....	44

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE ET ORIGINE DU PROJET

L'économie du Burkina Faso repose sur le secteur agro-sylvo-pastoral qui contribue fortement au PIB national et occupe plus de 90% de la population active. Cependant, ce secteur est soumis régulièrement aux effets de la variabilité et du changement climatique tels que les sécheresses et les inondations qui affectent négativement la performance de l'économie nationale limitant ainsi le développement socio-économique du pays.

Dans ce contexte, le Japon à travers le Centre de Coopération Outre-mer pour l'Environnement (OECC) et en collaboration avec l'ONU, a choisi le Burkina Faso pour développer la technique des barrages souterrains et ceci dans le cadre de lutte contre la désertification.

Les travaux de construction du barrage souterrain ont été réalisés pendant la saison sèche de novembre 1997 à juin 1998. Les infrastructures connexes à savoir les installations de pompage, le système d'alimentation en eau potable simplifié, l'écluse, les installations d'observation de la nappe phréatique et les champs d'expérience, ont été mises en place à partir d'octobre 1998.

Les premiers essais d'observation de la nappe phréatique, de débit de la rivière ainsi que les essais agricoles et de la végétation ont été menés durant les deux premières années 1999 et 2000, puis des observations supplémentaires ont été effectuées entre 2001 et 2003.

Le projet en tant que tel s'est terminé au mois de mars 2003 avec des résultats positifs concernant le barrage souterrain et les autres installations.

Suite à des actes de vandalisme et de vol, tout le système a cessé de fonctionner et le projet se trouvait dans l'impasse.

Aussi, dans le souci d'améliorer la gouvernance de l'eau, le Gouvernement burkinabè a répondu à l'appel à proposition lancé en septembre 2014 par la FAE pour le financement de la «préparation de projets d'investissements sur l'eau et le changement climatique» ; le projet soumis été sélectionné et inclus par la FAE dans son portefeuille 2015 des projets.

Ensuite, le projet « Etudes intégrées de valorisation du barrage souterrain de Naré et réhabilitation des infrastructures connexes (cas de résilience à la forte désertification et dégradation dans un contexte de changement climatique dans le sahel) a été inscrit dans le cadre du Programme National de Développement Economique et Social (PNDES) et adopté par le Gouvernement burkinabè en 2016.

Le projet s'exécute sur les 4 composantes suivantes :

- **Composante 1** : Etudes intégrées de valorisation du barrage souterrain de Naré et de réhabilitation d'infrastructures connexes ;
- **Composante 2** : Etudes sur le changement climatique et les technologies d'adaptation ;
- **Composante 3** : Travaux de réhabilitation des infrastructures connexes et d'aménagement du périmètre pilote ;
- **Composante 4** : Renforcement des capacités des acteurs et Gestion du projet.

C'est dans ce contexte, et suite à un appel d'offres international lancé par le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement (MEA) en 2017, que la composante 1 a été confiée au groupement de bureaux d'étude STUDI International/BERA.

1.2 OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les trois objectifs principaux de l'étude sont les suivants :

- ❖ Réalisation des études intégrées de valorisation du barrage souterrain et de réhabilitation des infrastructures connexes : plan de gestion durable et de valorisation du barrage et projets d'exploitation de la ressource en eau à court, moyen et long terme ;
- ❖ Définition des outils de suivi de la ressource et de l'évolution de la végétation : étude d'un dispositif technique de suivi du barrage ;
- ❖ Aménagement d'un périmètre irrigué en goutte à goutte de 5 ha environ ;

1.3 PHASES DE L'ETUDE :

L'étude se décompose en trois (03) missions suivantes :

- ❖ Mission 1 : Etat des lieux et caractérisation du site du barrage souterrain ;
- ❖ Mission 2 : Etudes intégrées de valorisation du barrage et de réhabilitation des infrastructures connexes ;
- ❖ Mission 3 : Etudes d'Impact Environnemental et Social (EIES).

La durée de chaque mission se présente comme suite :

- Mission 1 : 2,5 mois ;
- Mission 2 : 2,5 mois ;
- Mission 3 : 1,5 mois.

La durée globale de l'étude est de cinq (05) mois.

1.4 LOCALISATION DU BARRAGE SOUTERRAIN

Le barrage souterrain est situé dans le village de Naré, qui relève de la Commune de Tougouri rattachée à la Province du Namentenga (avec Boulsa pour chef-lieu), elle-même faisant partie de la Région du Centre Nord (avec Kaya comme chef-lieu) du Burkina Faso. Il est distant de 154 km de Ouagadougou, 53 km de Kaya et 15 km de Tougouri.

La commune de Tougouri est localisée entre les méridiens 00°42' et 00°18' de longitude Ouest et les parallèles 12°59' et 13°26' de latitude Nord.

Le barrage souterrain est construit sur la rivière Kolongo, un affluent de la rivière Gouya.

Les coordonnées géographiques du site sont :

- Latitude : 13°18'16,19"N
- Longitude : 0°37'23,75"O

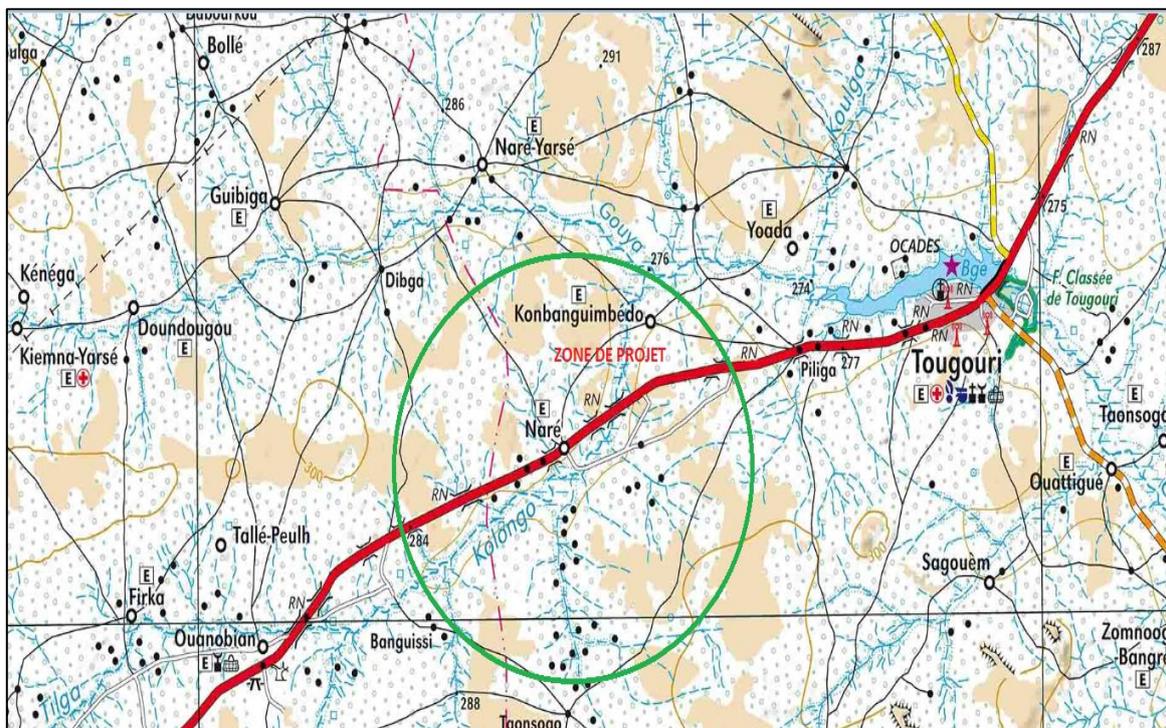
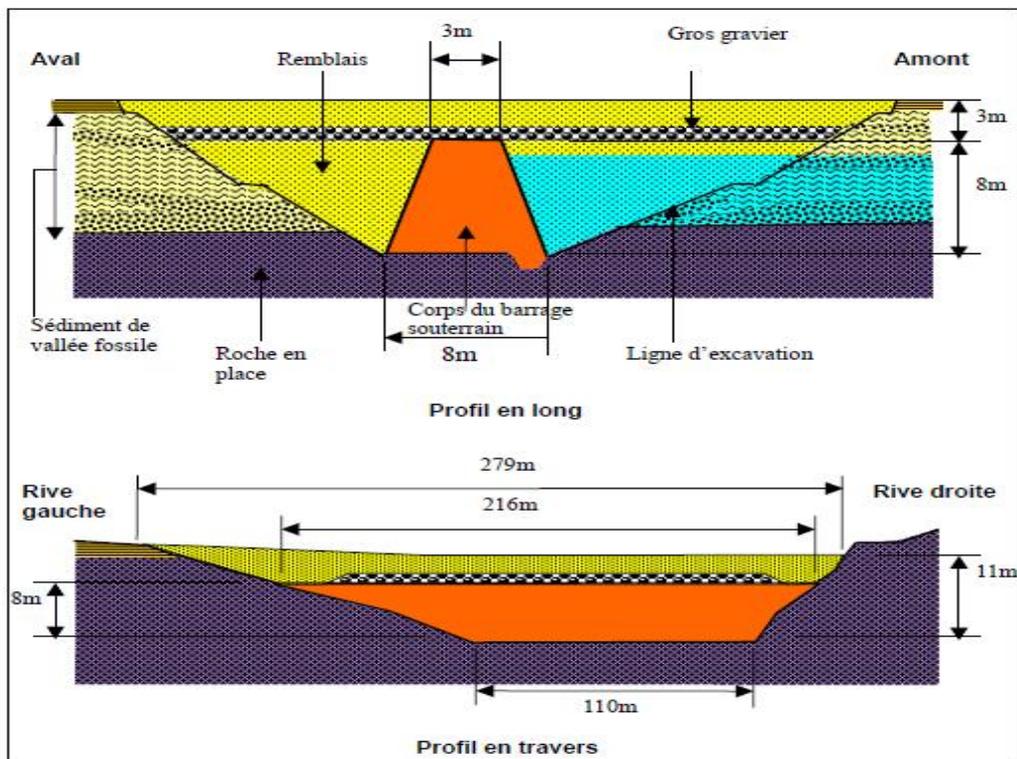


Figure 1-1 : Localisation de la zone d'étude

1.5 CARACTERISTIQUES DU BARRAGE SOUTERRAIN

Les caractéristiques du barrage souterrain de Naré, d'après le rapport de Projet expérimental de lutte contre la désertification – technologie du barrage souterrain de Naré du Ministère de l'Environnement du JAPON (2004) sont :

- Cote de crête : - 3 m/TN ;
- Longueur en crête : 216,3 m ;
- Largeur en crête : 3 m ;
- Hauteur maximale de la digue : 8,4 m ;
- Largeur à la base : 8,6 m ;
- Volume de remblai : 7 144 m³ ;
- Matériaux de remblai : limon argileux ;
- Coefficient de perméabilité : 10⁻⁷ à 10⁻⁸ cm/s (en partie très réduite, 10⁻⁶ cm/s) ;
- Profondeur d'ancrage dans le substratum : 1,5 m ;



Source : OECC – JAPON – Mars 2004

Figure 1-2 : Coupe en travers et profil en long du barrage souterrain

2 APERÇUS SUR LES RESULTATS DE LA PHASE DE CARACTERISATION DU SITE ET DE L'AQUIFERE

2.1 HYDROLOGIE DU SITE

2.1.1 CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT :

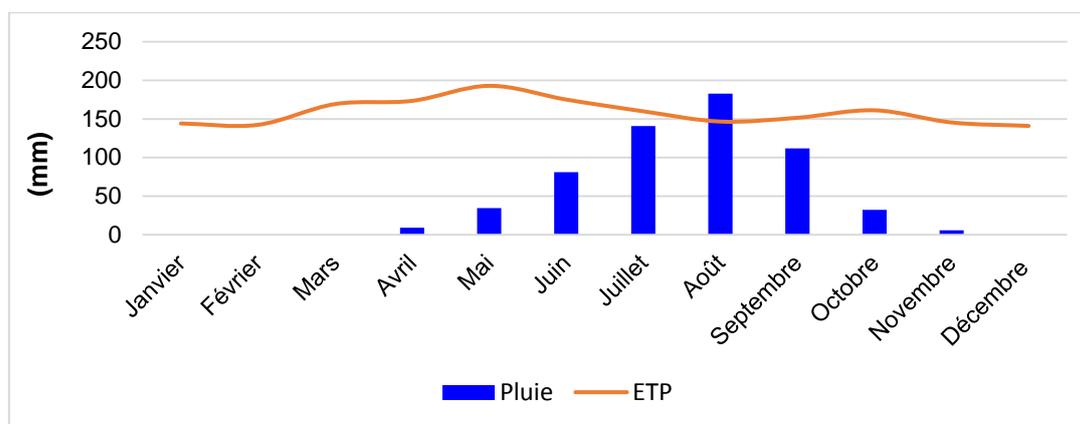
Les principales caractéristiques du bassin versant du barrage souterrain sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 2-1 : Principales caractéristiques du bassin versant (Source : STUDI/BERA)

Surface du bassin versant	(S)	Km ²	778
Périmètre du bassin versant	(P)	Km	143
Longueur du cours d'eau	Lc	km	49,7
Altitude en crête	(H _{max})	m	319,38
Altitude en aval	(H _{min})	m	277,0
Pente moyenne	l	(%)	0,14
Indice de compacité	lc	-	1,44
Indice de pente	l _g	m/km	0,85
Dénivelée spécifique	D _s	m	0.05
Relief			R1

2.1.2 DONNEES PLUVIOMETRIQUES ET EVAPOTRANSPIRATION

Les données pluviométriques et d'évapotranspirations mensuelles moyennes au niveau des deux stations les plus proches (Tougouri pour la pluviométrie et Dori pour l'évapotranspiration) du site sont présentées à travers le graphique suivant :



(Source : STUDI/BERA)

Figure 2-1 : Pluie et ETP mensuelles moyennes

2.1.3 BILAN HYDROLOGIQUE

Les valeurs quantiles de la lame infiltrées caractéristiques des années sèches et humides sont données dans le tableau suivant :

Tableau 2-2 : Simulations des lames infiltrées annuelles en années sèches et humides

(Source : STUDI/BERA)

T (ans)	Années sèches					Médiane	Années humides				
	100	50	20	10	5		5	10	20	50	100
Lame infiltrée (mm)	4,0	5,2	7,7	10,9	16,6	37,1	82,8	126,1	178,4	263,6	342,0

Pour l'évaluation des ressources en eau de la nappe, la lame moyenne annuelle infiltrée est considérée de l'ordre de 37 mm par an.

2.2 CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES ET GEOTECHNIQUES DU SITE

2.2.1 GEOLOGIE DE LA VALLEE FOSSILE

L'aquifère du site de Naré est une vallée fossile formée dans la roche mère par l'action de l'érosion hydrique et comblée par la suite par un dépôt alluvionnaire. Cette morphologie propice a permis aux décideurs de choisir le site de Naré pour réaliser un barrage souterrain.

Lors de l'excavation du site du barrage, une section entière de la vallée fossile a été mise à nue sur une profondeur de 11 m. Ses caractéristiques sont :

- largeur d'environ 180 m en crête et de 130 m au fond ;
- sa profondeur varie entre 5,9 et 8,5 m ;
- elle est supposée enfouie sous le lit actuel du Kolongo.

Cette section excavée a montré la stratigraphie suivante :

- les alluvions récentes constituent la strate superficielle formée par les dépôts du cours d'eau actuel, elles sont argilo-sableuses sur une épaisseur de 0,3 à 0,7 m ;
- la strate supérieure du dépôt alluvial ancien, composée d'argiles et de limons sur une épaisseur de 4 à 5,5 m, avec quelques lentilles de sables de 0,5 à 1 m d'épaisseur ;
- la strate inférieure du dépôt alluvial ancien, composée de sable, graviers, limons et lignites sur une épaisseur de 4 à 5,5 m ;
- la strate basale est composée d'une roche dure qui pourrait être assimilable à la cuirasse latéritique.

L'arène grenue se trouve à une profondeur qui varie de 7 à 10 m de profondeur. Au niveau du barrage souterrain, l'arène a été interceptée à une profondeur de 13 m.

2.2.2 CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

Les sondages carottés réalisés pendant la campagne géotechnique dans la cuvette confirment cette stratigraphie et montrent que la séquence alluvionnaire est formée du haut en bas :

- d'une couche d'argile limoneuse de 2 à 5 m d'épaisseur,
- d'un dépôt de sable fin à moyen de 3 à 5 m d'épaisseur,
- d'un dépôt alluvionnaire grossier formé de nodules latéritiques et de quartz de 0,5 à 1,5 m d'épaisseur.

Les résultats des essais de perméabilité in-situ sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 2-3 : Résultats des essais de perméabilité in-situ (Source : STUDI/BERA)

Essai	Sondage	Profondeur	Nature	KI (m/s)	UL
Lefranc	SC1	9 – 12 m	Argile limoneuse compacte	$1,55 \times 10^{-6}$	-
	SC2	7 – 9,2 m	Sable et arène grenue	$7,03 \times 10^{-7}$	-
	SC3	7 – 10 m	Sable	$5,1 \times 10^{-5}$	-
		10 – 13 m	Arène grenue	$5,03 \times 10^{-7}$	-
SC4	8 – 10 m	Arène grenue	$5,58 \times 10^{-7}$	-	
Lugeon	SC1	15 – 18,5 m	Granite altéré	-	25

La porosité des différents types de sol rencontrés dans la cuvette du barrage souterrain est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 2-4 : Porosité des différents types de sol de la cuvette (Source : STUDI/BERA)

Puits	Niveau de prélèvement	Nature	Poids spécifique grains solides γ_s (g/cm ³)	Poids spécifique γ_d (g/cm ³)	Porosité (n) en %
P5	0,4 – 2,9 m	Argile limoneuse	2,544	1,63	36
P4	0,2 – 1,5 m	Grave latéritique argileuse	2,215	1,84	17
P7	2 – 3,5 m	Sable argileux	2,48	1,82	27
P5	2,9 – 5 m	Sable fin	2,52	1,79	29

2.3 HYDROGEOLOGIE DU SITE

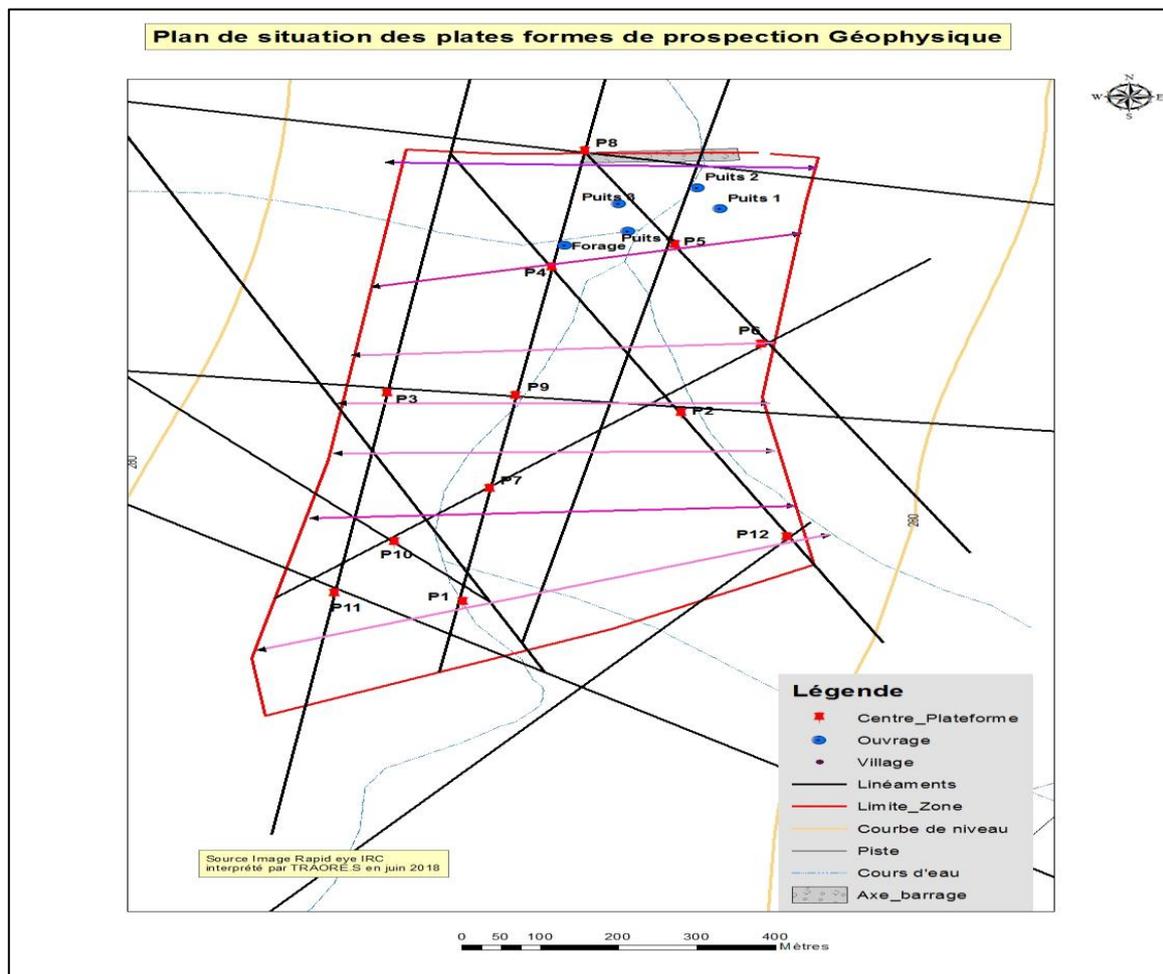
2.3.1 APERÇU HYDROGEOLOGIQUE

Sur le plan hydrogéologique, le site du barrage souterrain de Naré est constitué par deux systèmes aquifères :

- Les aquifères constitués par les horizons alluvionnaires de la vallée fossile. La nappe y est exploitée essentiellement par les puits réalisés par le projet ;
- Les aquifères du socle qui sont semi-continus ou discontinus suivant la densité, l'extension et le degré d'interconnexion des réseaux de fissuration qui affectent la roche encaissante. Le socle peu ou pas altéré, dur ou très dur correspond essentiellement à des formations constituées de roches telles que les granites, les granitoïdes, les migmatites, les gneiss, les quartzites, les schistes, les roches vertes et les gabbros.

2.3.2 FRACTURATION DU SOCLE

Le tracé des courbes de trainées électriques ont montré que les fractures majeures du socle en amont immédiat du barrage sont orientées principalement dans les directions Nord-Sud et certaines traversent l'axe de la fondation de la digue.



(Source : STUDI/BERA)

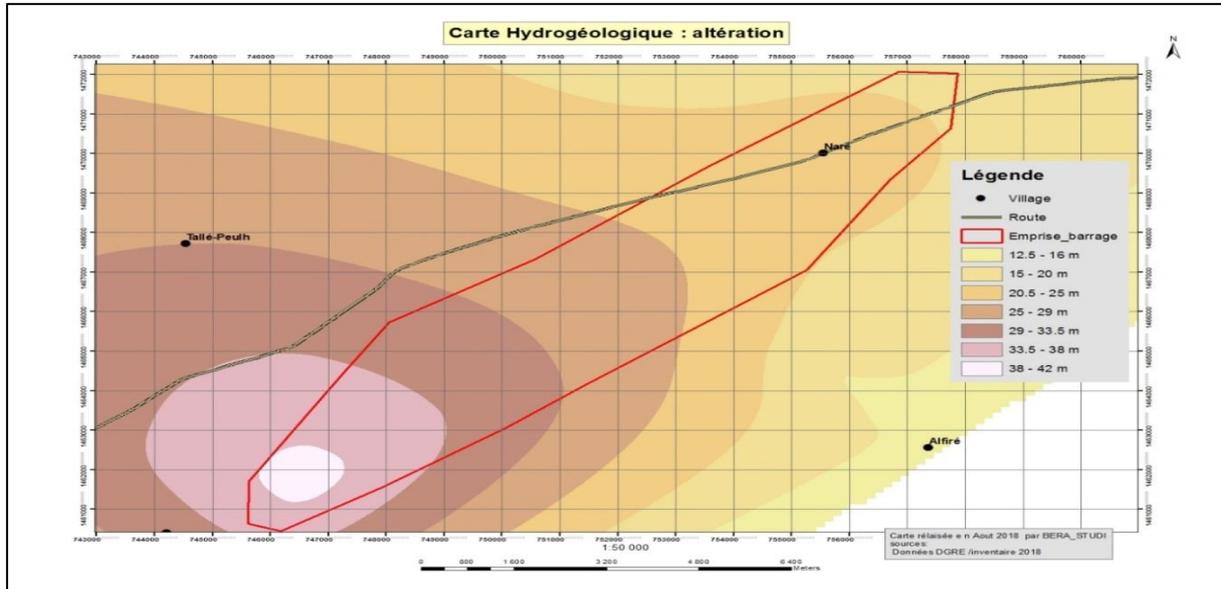
Figure 2-2 : Carte de fracturation (amont immédiat du barrage souterrain)

2.3.3 NIVEAU D'ALTERATION

Les 13 profils et les 51 sondages électriques réalisés ont montré que l'épaisseur de l'altération varie en fonction de la morphologie de la vallée fossile. Elle atteint une maximale de 20 m dans le lit mineur

et se situe entre 5 et 8 m quand on se rapproche des deux rives.

Le niveau d'altération au niveau de l'aquifère du barrage souterrain est représenté par la figure suivante



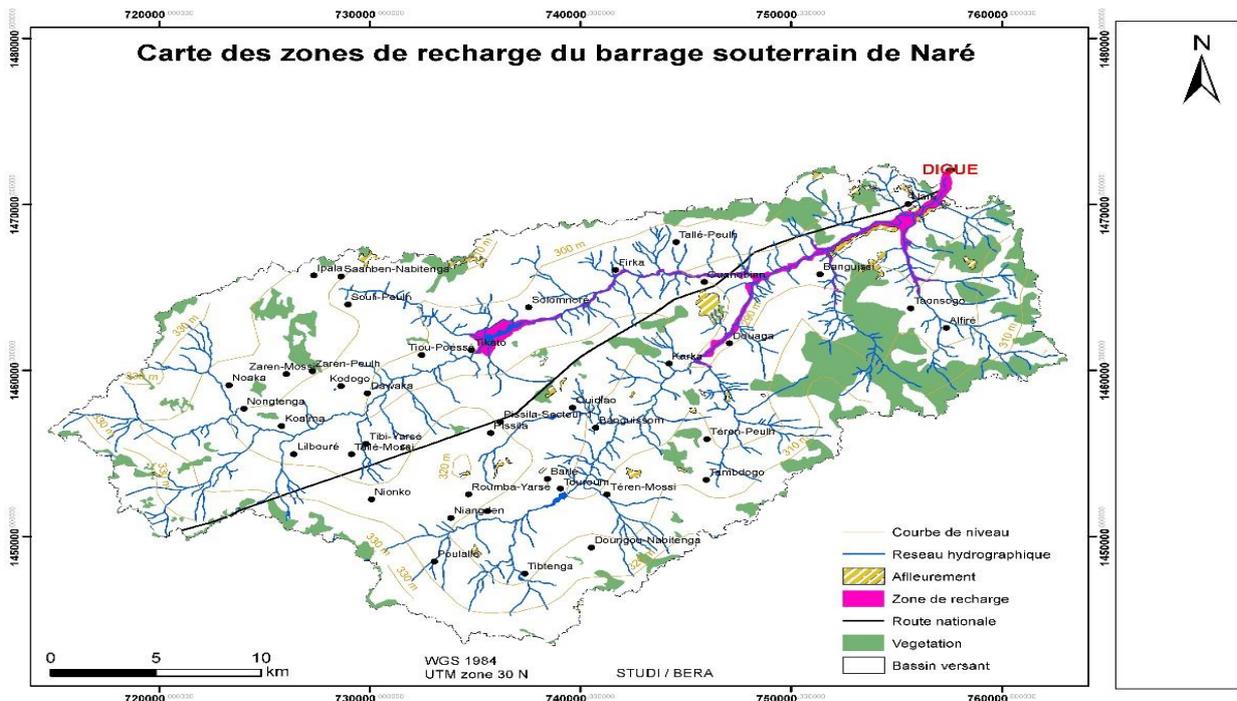
(Source : STUDI/BERA)

Figure 2-3 : Carte des isopaques des altérites

2.3.4 ZONES DE RECHARGE DE LA NAPPE FOSSILE

La géomorphologie du terrain montre que l'ensemble des eaux de ruissellement du bassin versant du cours d'eau Kolongo en saison pluvieuse converge après infiltration vers le barrage souterrain pour alimenter l'aquifère. En saison sèche, ce sont les retenues d'eau situées en amont comme en aval qui peuvent recharger la nappe fossile.

La délimitation de la zone de recharge est indiquée dans la figure suivante :



(Source : STUDI/BERA)

Figure 2-4 : Zones de recharge de la nappe de la vallée fossile

2.3.5 ZONES DE DECHARGE DE LA NAPPE FOSSILE

Les zones de décharge sont constituées non seulement par les différents ouvrages de captages réalisés dans la nappe de la vallée fossile (puits, forages) et l'évapotranspiration au niveau de l'écluse mais surtout par la brèche détectée en rive gauche dans le prolongement de l'axe du barrage existant comme le témoigne la carte d'iso-résistivité (voir Fig.6-4 P42) établie à partir de la campagne de géophysique.

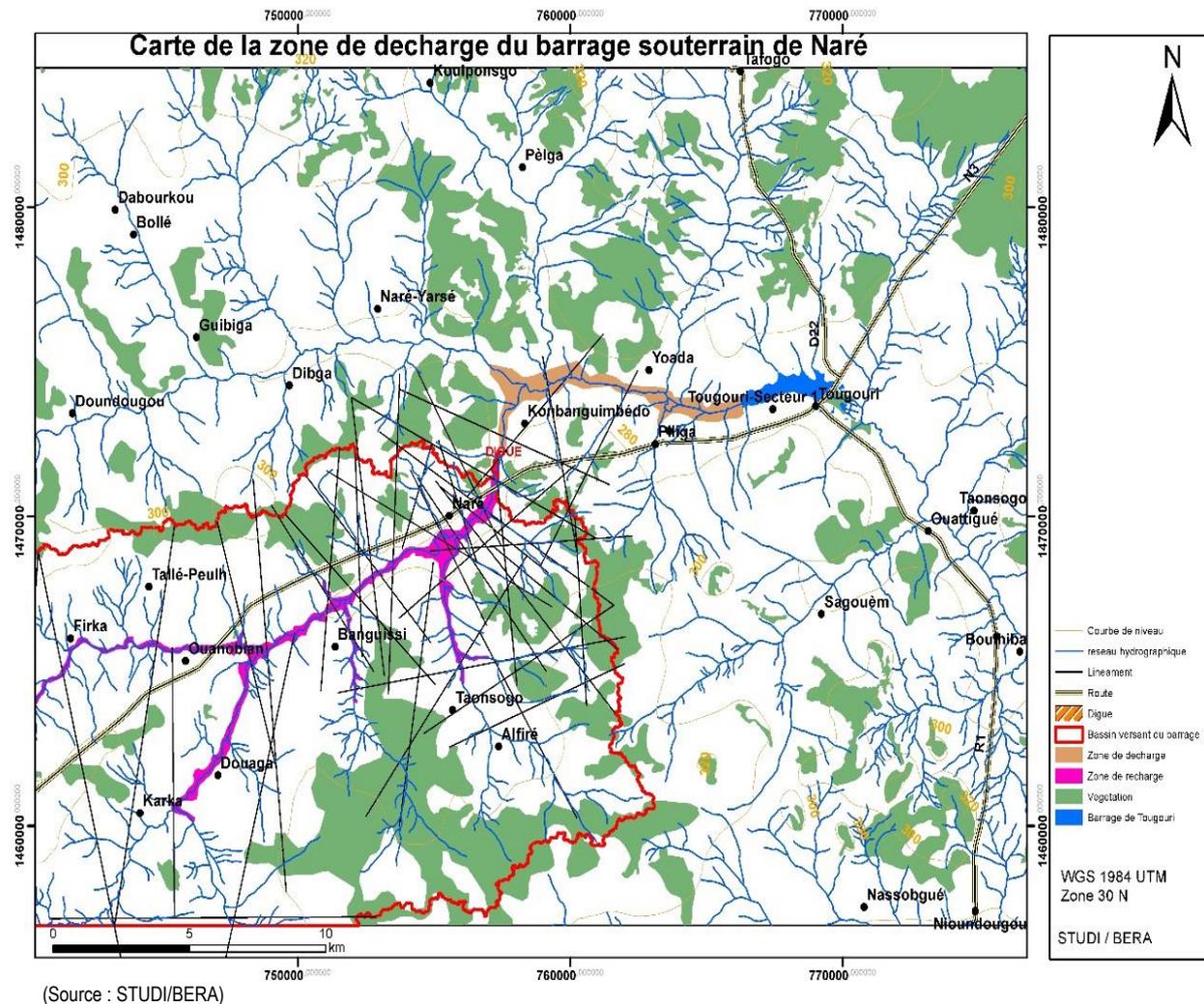


Figure 2-5 : Zones de décharge de la nappe de la vallée fossile

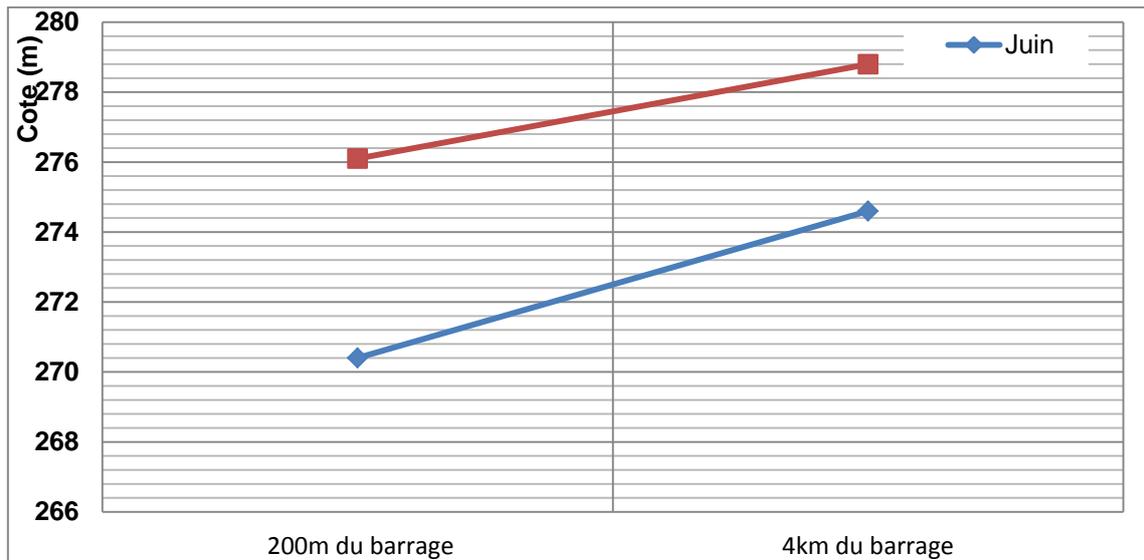
2.3.6 NIVEAU STATIQUE DE LA NAPPE

Tous les piézomètres étant bouchés, le niveau statique de la nappe de la vallée fossile a été suivi à partir des puits d'exploitation, des puits d'observation existants et des piézomètres installés lors de la campagne géotechnique.

Durant cette courte durée, deux lectures ont été réalisées :

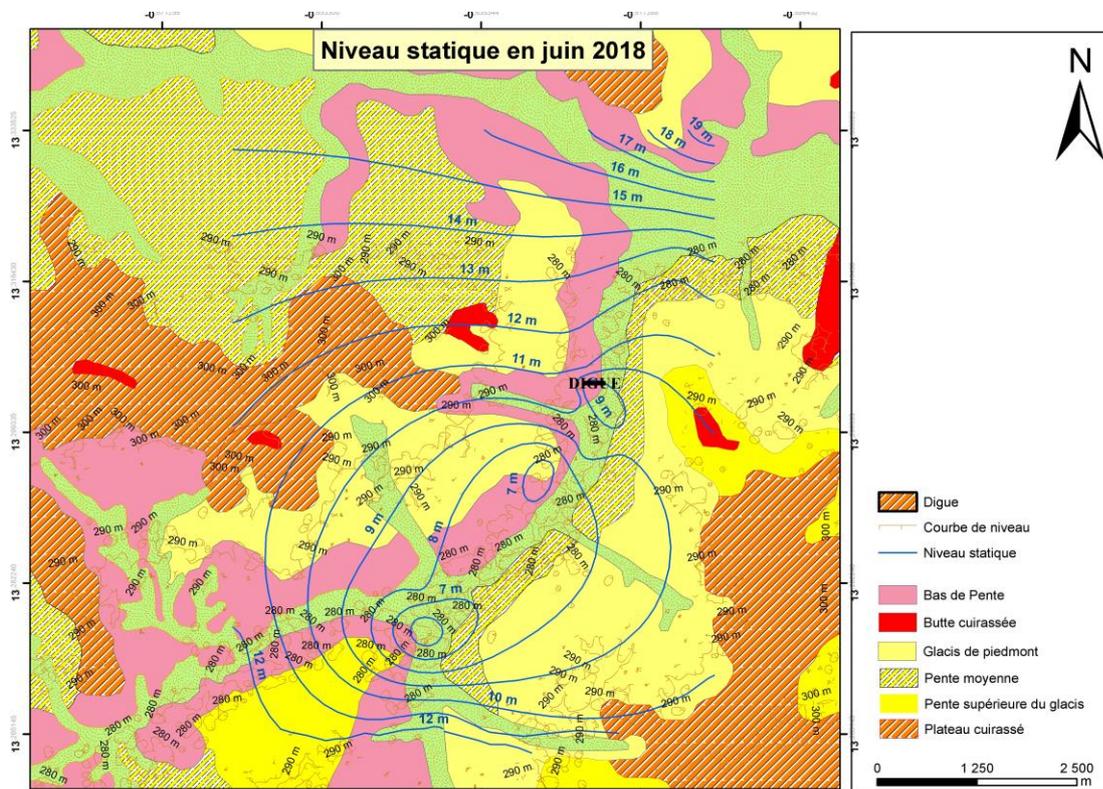
- Une première lecture réalisée pendant le mois de juin annonçant la fin de la saison sèche et le début de la saison humide,
- Une deuxième lecture réalisée pendant le mois d'octobre marquant la fin de la saison humide.

Les résultats sont illustrés et présentés par le graphique et la figure suivants :



(Source : STUDI/BERA)

Figure 2-6 : Fluctuation du niveau statique de la nappe



(Source : STUDI/BERA)

Figure 2-7 : Carte du niveau statique en juin 2018

Eu regard aux résultats ci-dessus, on peut constater que :

- Le niveau statique moyen de la nappe varie entre 7,7 et 8,5 m par rapport au TN dans la zone en amont immédiat du barrage souterrain (rayon de 200m),
- Le niveau statique moyen de la nappe varie entre 5,3 et 9,5 m par rapport au TN dans la zone située à environ 4km en amont du barrage souterrain (à côté du village de Naré),

- La fluctuation du niveau statique pendant la fin de la saison sèche et pendant la période de la fin de la saison humide est importante ; elle est en moyenne de 5,7 m dans la zone en amont immédiat et de 4,2 m dans la zone à 4 km en amont.

2.3.7 CAPACITE DE STOCKAGE DU BARRAGE

Dans le but d'éviter les inondations en amont dues à la saturation des formations, la crête de la digue est située à 3 m en dessous de la surface du terrain naturel. Les ressources de la retenue sont donc situées ente la profondeur d'altération et 3 m en dessous du terrain naturel. L'épaisseur moyenne des formations comprise dans cette tranche est calculée à partir des sondages carottés, des puits manuels et les sondages géophysiques. La largeur du réservoir est obtenue à partir des profils électriques et des pseudo-sections. Elle est comprise entre 100 et 200 m avec une moyenne de 150m.

Avec une altération de 10 m, l'épaisseur moyenne des formations de la zone de stockage est de 7m.

Le volume stocké est compris entre -3 m et -10 m de la surface du terrain naturel.

Les formations de la zone de stockage sont essentiellement des silts argileux, des sables argileux, des sables fins, des alluvions à nodules de quartz et des arènes grenues. La cuirasse latéritique, la terre végétale, les argiles limoneuses sont situées au-dessus du niveau de la crête de la digue et ne constituent donc pas des formations de stockage du barrage. En cas de remplissage, ces formations permettent un écoulement latéral de l'eau vers l'aval, empêchant ainsi les inondations en amont.

Tableau 2-5 : Volume stockée dans les formations (STUDI/ BERA)

Formations de stockage	Epaisseur moyenne (m)	Porosité (n)	Volume stockée (m ³)
Silt argileux	0,5	36%	324 000
Sable argileux	0,5	27%	243 000
Sable fin	2	29%	1 044 000
Alluvions à nodules de quartz	1	10%	180 000
Arène grenue	3	10%	540 000
Volume total stockable			2 331 000 m³

3 APERÇUS SUR LES RESULTATS DE L'ETUDE DU MILIEU SOCIOECONOMIQUE

3.1 RESULTATS DES FOCUS GROUP

Les principaux résultats et enseignements du diagnostic participatif et de la campagne de concertations avec les parties prenantes sont résumés et rappelés dans les développements suivants.

Les principaux points discutés avec les autorités et les services techniques sont :

- ❖ Les causes profondes de l'échec de la première tentative du projet (le pourquoi) et de la situation actuelle ;
- ❖ Les orientations pour la gestion et la mise en valeur du périmètre pilote et des infrastructures et équipements associés ;
- ❖ Les orientations pour la gestion du système AEP à réhabiliter (avec extension éventuelle) ;
- ❖ Le montage institutionnel : Etat de la tutelle actuelle et orientations futures pour réussir la réalisation (DIRH) et l'exploitation (DA) ;
- ❖ Participation à l'évaluation des sites, du périmètre pilote, proposés par le Consultant ;
- ❖ Prise de rendez-vous (RDV) pour la collecte des données/statistiques agricoles (prix, rendements...).

Les principaux points discutés avec les bénéficiaires sont :

- ❖ Diagnostic participatif de la situation actuelle : Les causes profondes de l'échec de la première tentative du projet (le pourquoi) et de la situation actuelle ;
- ❖ Le périmètre pilote :
 - Evaluation des sites, du périmètre pilote, proposés par le Consultant et proposition/choix d'un site à étudier par le Consultant ;
 - Les orientations pour la gestion du périmètre pilote et des infrastructures et équipements associés ;
 - les orientations pour la mise en valeur du périmètre pilote ;
 - Les besoins en encadrement et en appui.
- ❖ Le système AEP :
 - Les attentes et propositions pour le type de desserte : Bornes fontaines versus branchements particuliers et les implications associées ;
 - Les orientations pour la gestion du système AEP à réhabiliter (avec extension éventuelle).

3.2 ANALYSE CRITIQUE DE LA SITUATION DU PROJET

Les causes profondes de la situation actuelle, et particulièrement l'avortement de la tentative initiale du Projet sont résumés dans les développements suivants :

- ❖ Le Projet a été conçu et mis en œuvre sans implication des parties prenantes (administration & population). En effet, le projet était mené comme une action totalement externalisée par rapport à la communauté locale. Une seule personne (un blanc/étranger) s'occupait de tout et travaillait à huis clos et les bénéficiaires étaient gérés comme des clients et non pas comme des partenaires du Projet.
- ❖ La clôture du Projet s'est déroulée de façon non satisfaisante (pas de passation d'information). Ce qui s'est traduit par l'absence d'interlocuteur chargé de la supervision/suivi du Projet afin de lui rendre compte des événements enregistrés sur le terrain (vol des équipements...).
- ❖ L'absence d'interlocuteur du côté de l'administration (services techniques et autorités) conjugué à l'absence de la prise en charge du projet par les bénéficiaires a induit le délaissement du Projet (absence d'entretien...). Ce qui a engendré la dégradation progressive des équipements (conduites, piézomètres...).
- ❖ Après quelques années du démarrage, le Projet n'assurait plus les fonctions dévolues avec le rabattement excessif de la nappe en amont du barrage souterrain et l'ensablement des puits à grand diamètre.

Selon les bénéficiaires, ces phénomènes s'expliquent par des fuites à travers ou sous le corps de la digue et une mauvaise conception des puits à grand diamètre. Ces hypothèses méritent d'être vérifiées par le diagnostic technique.

- ❖ Un historique « triste » de la région marqué par l'insécurité et le banditisme ayant induit un comportement passif presque généralisé (laisser faire) au point où une partie de la population a commencé à se livrer à des actes de vandalisme/vol.

Selon les bénéficiaires, les interventions (controversées) des groupes d'auto-défenses locaux appelés « Koglweogo » ont permis de rétablir la sécurité dans la zone et d'amorcer un changement de comportement.

3.3 CHOIX DU SITE DU FUTUR PERIMETRE IRRIGUE

Lors de la réunion tenue le 08 août 2018 dans le village de Naré, en présence de l'autorité coutumière (Chef de village) et des autorités officielles (Préfet et Adjoint au Maire de Tougouri), il a été convenu d'organiser une mission de choix de site par une délégation regroupant les représentants des différentes parties (bénéficiaires, autorités coutumières et officielles, Consultant).

Sur la base d'un travail de concertation avec les bénéficiaires et les autorités coutumières et sur la base des vérifications techniques (pédologie...) effectués par le Consultant, le site couvrant plus de 5 ha près du château d'eau, proposé par les bénéficiaires, a été retenu.

L'implantation/délimitation du site est présentée dans la figure suivante :



Source STUDI/BERA

Figure 3-1 : Délimitation/implantation du site du périmètre irrigué

3.4 ETAT DE LA TUTELLE ACTUELLE

Comme signalé au niveau de l'analyse critique de la situation actuelle, la clôture non satisfaisante du Projet s'est traduite par l'absence d'interlocuteurs chargés de l'exploitation (bénéficiaires) et le suivi du Projet (administration). Ce qui a induit la dégradation et la perte des équipements du Projet.

Pour la suite du Projet, avec la mise en œuvre des actions envisagées dans le cadre de la présente étude, les discussions avec les différentes parties ont mis en relief une prise de conscience des enjeux et des risques encourus. Les différentes parties sont favorables à une organisation efficace, avec un partage clair des rôles et tâches dévolues à chaque partie, dans le seul but d'assurer la réussite du Projet (atteindre les objectifs fixés).

Plus précisément, la gestion future du Projet et sa tutelle sont décrites par les dispositions suivantes :

- ❖ Le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, représenté par la Direction Régionale du Centre Nord basé à Kaya (DREA-CN), assure la tutelle du Projet. Ce rôle n'est pas contesté par la Direction Régionale de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques du Centre Nord (DRAAH-CN).

Le Projet hébergé au Ministère de l'Eau et de l'Assainissement sera exploité sous la supervision et l'encadrement conjoint de deux Ministères, à savoir :

- ✓ Le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement, représenté par la DREA-CN, pour le suivi des ressources en eau et l'alimentation en eau potable ;
- ✓ Le Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, représenté par la DRAAH-CN, pour le suivi et l'encadrement du périmètre irrigué.

Ce montage peut induire des difficultés voire même des conflits dans la mise en œuvre et/ou l'exploitation du Projet. Selon les responsables interviewés, les facteurs clés de réussite du Projet sont :

- ✓ Implication de toutes les parties dès le début du Projet.
A ce sujet, la DRAAH-CN a été impliquée dès le début. Elle a participé à la réunion de cadrage convoquée par la DREA-CN ;
- ✓ Planification et coordination à temps des activités du Projet afin d'assurer l'implication des parties concernées ;
- ✓ Information en temps réel/opportun, des parties concernées, sur les activités du Projet ;
- ✓ Prédilection à la coopération et bonne volonté des responsables concernés/impliqués ;
- ✓ Budgétisation des moyens nécessaires au bon déroulement des activités du Projet et non prévues dans le mandat des parties concernées.

Au terme des entretiens, il a été mis en relief un niveau satisfaisant de coopération et de concertation entre la DREA-CN et la DRAAH-CN à même d'assurer le bon déroulement des activités du Projet.

- ❖ L'encadrement et le suivi des futurs exploitants du périmètre irrigué sera assuré, comme pour les autres sites maraîchers, par la DRAAH-CN conformément au mandat du Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques ;

Au cas où un encadrement spécifique, impliquant un effort supplémentaire pour la DRAAH-CN, est requis, les moyens supplémentaires doivent être budgétisés (dans le coût du Projet) et mis à la disposition de la DRAAH-CN en temps opportun.

- ❖ L'exploitation du Périmètre irrigué (PI) sera assurée par les bénéficiaires représentés par une Association des Usagers de l'Eau (AUE) à créer et un comité de gestion à instaurer/désigner.

3.5 MESURES D'ACCOMPAGNEMENT

Les focus group ont permis également de recueillir les attentes et doléances des parties prenantes et particulièrement les groupes cibles / bénéficiaires. Ces attentes et doléances, formulées sous la forme de mesures d'accompagnement, sont décrites dans les développements suivants :

- Les bénéficiaires espèrent que l'activité dans le futur périmètre sera profitable. Ils n'ont pas d'expérience et n'arrivent pas à imaginer les revenus escomptés sous une conduite rationnelle du périmètre et des spéculations envisagées.
Afin de maximiser les chances de réussite du Projet, il est attendu un appui/accompagnement rapproché durant les premières années (gestion de l'irrigation, conduite des cultures, gestion et entretien des équipements, etc.) ;
- Afin d'assurer la réussite de l'expérience pilote et garantir sa durabilité, il est attendu de prévoir, dans le montage du Projet, un budget pour l'exploitation du périmètre pendant deux à trois ans au même titre que les investissements. Ce budget permettra à la Direction Régionale de l'Agriculture (DRAAH-CN) de dispenser un encadrement rapproché et spécifique au périmètre et de réussir l'expérience pilote ;
- Le batardeau en bois de l'écluse associée au barrage est en mauvais état. Les bénéficiaires souhaitent sa réhabilitation dans le cadre du Projet ;
- Afin d'éviter la divagation des animaux et les conflits subséquents avec les éleveurs, les bénéficiaires recommandent d'ériger une clôture du périmètre irrigué ;
- Le comptoir régional de commercialisation des produits agricoles, construit à Tougouri, représente un espoir, pour la commercialisation des produits du futur périmètre irrigué, dès sa mise en service.

Toutefois, l'exigüité du marché et la limitation des moyens de transport et frigorifiques des bénéficiaires plaident en faveur d'une action d'appui à la commercialisation des produits du futur périmètre irrigué.

- Les bénéficiaires souhaitent le raccordement de l'école primaire du village (située en amont du barrage) au réseau d'eau potable. Cet équipement socio-collectif est composé de 6 classes, accueillant environ deux cent (200) élèves et six (06) enseignants ;
- Les femmes de Naré sont préoccupées par les difficultés rencontrées lors de l'accouchement avec un déplacement risqué mais incontournable à Tougouri. Elles réclament la création d'une maternité dans le village et espèrent que cette action soit prise en charge dans le cadre du Projet ;
- Les jeunes ont également leur préoccupation spécifique. Ils réclament une maison de jeunes pour mieux encadrer les jeunes et lutter contre l'oisiveté et un dispensaire pour assurer un service minimal de santé aux habitants de Naré.

4 SYNTHÈSE DU DIAGNOSTIC DES INFRASTRUCTURES EXISTANTES

4.1 INTRODUCTION

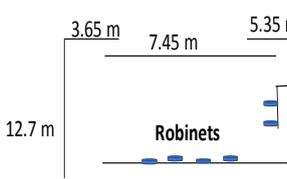
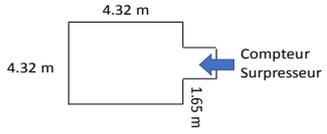
Après l'achèvement de la construction du barrage souterrain du Naré et pour atteindre les objectifs spécifiques du projet en matière d'amélioration des conditions de vie de la population, des infrastructures connexes ont été réalisées à savoir :

- Des forages et des puits ;
- Une Mini-adduction d'eau potable alimentée par un système de pompage photovoltaïque à partir de 3 puits à grand diamètre et qui dessert une borne fontaine à 6 robinets, un abreuvoir, un jardin pilote (0,25 ha) à l'aval du barrage (Kombang-bédo) et la ferme agricole de Koulikaré (0,25 ha) en amont du barrage ;
- Un Château d'eau de 10 m³ de capacité ;
- D'autres équipements sociaux : moulins et établissement scolaire (Ecole primaire).

4.2 MINI-ADDITION D'EAU

Les caractéristiques des ouvrages constituant l'Adduction d'Eau Potable Simplifiée (AEPS) sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4-1 : Caractéristiques des ouvrages de l'AEPS (Source STUDI/BERA)

Désignation/ Type d'ouvrage	Coordonnées		Caractéristiques
	Latitude	Longitude	
Château d'eau	N 13°18'16"	W 0°37'17.7"	Capacité : 10 m ³ ; diam pied : 40cm ; platine : 65cm*65cm, épaisseur : 4mm
Site plaques solaires	N 13°18'14.6"	W 0°37'18.4"	Entièrement vandalisé
Local technique			1.85 m * 2.58
Zone de desserte et borne fontaine	N 13°18'49.9 "	W 0°36'59.6"	 <p>Hauteur mur de protection = 1.25 m Support en béton pour prise d'eau : 50cm*50cm*30cm Tubes : 32 mm Regard compteur : 62 cm*82cm</p>
Abreuvoir pastoral	N 13°18'50.0"	W 0°37'2.5"	Forme rectangulaire : longueur = 6.1 m, largeur = 1 m ; hauteur = 0.4 m
Bassin de stockage			 <p>Hauteur = 1.7 m ; Regard compteur = 65cm * 65 cm</p>

4.3 SYSTEME DE SUIVI DE LA NAPPE (PIEZOMETRES)

De nombreux piézomètres ont été installés pour le suivi de la nappe aussi bien en amont qu'en aval du barrage. Tous ces piézomètres ont été vandalisés et bouchés.

4.4 JARDINS PILOTES

Les périmètres aménagés sont essentiellement des jardins pilotes et des fermes agricoles destinées à la culture maraichère.

En tout huit (08) jardins maraichers ont été répertoriés. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4-2 : Coordonnées et caractéristiques des jardins maraichers (Source STUDI/BERA)

Types d'ouvrages	Coordonnées		Caractéristiques	Etat actuel
Jardin J1	13°16'56.00"N	0°38'52.90"O	Superficie = 0,1 ha	- Terrain en bon état - Clôture défailante
Jardin J2	13°18'15.80"N	0°37'23.00"O	Superficie = 0,25 ha	- Terrain en bon état - Clôture inexistante - Périmètre pilote goutte à goutte
Jardin J3	13°16'57.80"N	0°38'48.80"O	Superficie = 0,5 ha	- Terrain abandonné - Clôture inexistante
Jardin J4	13°16'55.30"N	0°38'52.30"O	Superficie = 0,02 ha	- Terrain abandonné - Clôture inexistante
Jardin J5	13°16'53.70"N	0°38'31.20"O	Superficie = 0,25 ha	- Terrain en mauvais état
Jardin J6	13°18'43.20"N	0°36'59.40"O	Superficie = 0,5 ha	- Terrain abandonné - Clôture inexistante
Jardin J7	13°16'45.49"N	0°38'29.66"O	Superficie = 1,1 ha	- Jardin maraicher financé par DFID et équipé de 5 puits à grand diamètre - Jardin clôturé
Périmètre irrigué PI1	13°16'36.20"N	0°38'30.00"O	Superficie = 1 ha	

4.5 AUTRES EQUIPEMENTS SOCIOECONOMIQUES

4.5.1 L'ECOLE PRIMAIRE

L'école comporte trois (03) salles de classe et une pièce dédiée à l'Administration. Lors de la visite de diagnostic, il a été constaté la présence de classe sous paillote. Ceci dénote du besoin en classes supplémentaires. L'école comporte également 3 logements pour les enseignants et des toilettes en assez bon état. Les clôtures des logements des enseignants sont néanmoins en mauvais état.

4.5.2 LES MOULINS

La gestion des moulins était assurée par une coopérative de groupement féminin, Le groupement TEGG Wendé. Tous les moulins sont défectueux. Les bâtiments ont été réalisés suivant le même plan et sont pour la plupart en très mauvais état.

Ci-dessous les caractéristiques des abris des moulins :

Tableau 4-3 : Caractéristiques des abris des moulins (Source STUDI/BERA)

Cordonnées		Dimensions (m)					Etat
Latitude	Longitude	Longueur	Largeur	Hauteur	Hangar		
					Longueur	Largeur	
N 13°16'52.9"	W 0°38'55.8"	6.46	5.77	3.5	3	2.3	Passable
N 13°15'56.1"	W 0°38'19.6"	6.2	5.62	3.61	2.92	2.3	Très défectueux
N 13°18'49.9"	W 0°36'59.6"	6.1	5.6	3.5	2.9	2.3	Très défectueux

4.5.3 LE CAMP DE BASE

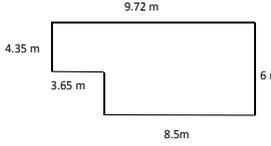
D'une superficie de 1 ha, on y retrouve :

- Un château d'eau de capacité 5 m³ alimenté initialement par un forage et un groupe électrogène. Les ouvrages sont tous défectueux et le groupe électrogène absent ;
- Une borne fontaine défectueuse ;
- Un local technique dédié au groupe électrogène ;

- 2 bâtiments construits suivant le même plan : 1 chambre, 1 salon, 1 douche, 1 terrasse.

Les caractéristiques du camp ainsi que celles de ses éléments constitutifs sont données dans le tableau suivant :

Tableau 4-4 : Caractéristiques du camp (Source STUDI/BERA)

Désignation/ Type d'ouvrage	Coordonnées		Caractéristiques	Observations
	Latitude	Longitude		
Site du camp	N 13°18'15.3 "	W 0°37'35.6 "	Rectangulaire (S =n1 ha)	Clôture en grillage vandalisée
Maisons (2)				Hauteur : 3.6 m Chambre : 3.47 m * 3.97 m Douche : 1.95m * 1.97 m Terrasse : 4.2 m * 3.75 m
Château d'eau (1)			Capacité : 5m ³ ; hauteur château : 6m ; hauteur cylindre : 2 m	Défectueux
Local technique + toilette				Construction en banco, initialement dédié au groupe électrogène

4.6 CONCLUSIONS ET ACTIONS PROPOSEES

Les coordonnées, les caractéristiques et leurs états de toutes les infrastructures existantes, ainsi que les actions à réaliser pour les rendre fonctionnels sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 4-5 : Listes des infrastructures et les actions proposés (Source STUDI/BERA)

Types d'ouvrages	Coordonnées		Caractéristiques	Etat actuel	Action à réaliser
	Latitude	Longitude			
Infrastructures d'AEPS					
Puits P1	13°18'15.72"N	0°37'21.42"O	Profondeur = 19,6 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,4 m	- Superstructure très dégradée - Pompe enlevé	- Superstructures à reconstruire - Puits seront équipés de pompes et exploités pour l'irrigation
Puits P2	13°18'14.10"N	0°37'22.00"O	Profondeur = 9,5 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,6 m	- Superstructure très dégradée - Pompe enlevé	- Désensablement des puits et augmentation de leurs profondeurs (P2 et P3)
Puits P3	13°18'12.50"N	0°37'24.30"O	Profondeur = 8,07 m Ø Cuvelage = 1,94 m Ø Captage = 1,4 m	- Superstructure très dégradée - Pompe enlevé	
Puits P4	13°18'14.38"N	0°37'24.67"O	Profondeur = 4,77 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,4 m	Travaux inachevés	- Acheter les travaux pour satisfaire le besoin de l'irrigation du PI en cas de besoin
Château d'eau (CH-E)	13°18'16.18"N	0°37'17.73"O	Capacité = 10 m ³	- Pieds fortement rouillés, - Partie inférieure de l'échelle coupée sur environ 2m.	- Renforcement par soudure du pied attaqué par la rouille - Application de la peinture anti-rouille - Ajouter l'élément manquant de l'échelle - Vérifier l'étanchéité du réservoir et le désinfecter
Panneaux solaires (PS)	13°18'14.60"N	0°37'18.40"O		Entièrement vandalisés	Mettre un nouveau système d'énergie solaire
Borne fontaine (BF)	13°18'49.80"N	0°36'59.50"O	- Hauteur du mur de protection = 1,25 m - Regard de compteur : 62 x 82 cm - Support en béton pour prise d'eau = 50 x 50 x	- Mur de protection en bon état, - Regard compteur non protégé - Robinets défectueux	- Remplacer les robinets - Construire une nouvelle chape à béton - Aménager un système de drainage des eaux perdues

			30 cm - Conduites : Ø32mm - Nombre de robinets = 6	- Compteur non fonctionnel - Réseau de desserte enlevé	- Réhabiliter le regard du compteur - Installer un nouveau compteur - Désinfecter les conduites existantes.	
Abreuvoir (Abr)	13°18'50.00"N	0°37'2.50"O	- Forme rectangulaire : longueur = 6,1 m, largeur = 1 m ; hauteur = 0,4 m	- Structure en béton en bon état - Conduites, vanne et compteur enlevés	- Remplacer le robinet - Réhabiliter le regard du compteur - Installer un nouveau compteur - Installer une nouvelle conduite de branchement	
Infrastructures de suivi de la nappe						
Piézomètre PZ1	13°16'52.10"N	0°38'15.70"O	Ø PVC = 110 mm	- Trou bouché - Piézomètres non fonctionnels	- A installer un nouveau système de suivi de la nappe.	
Piézomètre PZ 2	13°16'51.90"N	0°38'14.70"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 3	13°17'44.40"N	0°37'34.80"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 4	13°17'44.00"N	0°37'36.20"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 5	13°18'19.80"N	0°37'25.50"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 6	13°18'30.30"N	0°37'23.30"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 7	13°18'19.80"N	0°37'23.30"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 8	13°18'11.40"N	0°37'25.10"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 9	13°18'12.70"N	0°37'25.10"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 10	13°18'10.60"N	0°37'23.20"O	Ø PVC = 110 mm			
Piézomètre PZ 11	13°18'10.10"N	0°37'20.40"O	Ø PVC = 110 mm			
Forages et Puits individuels						
Puits P 5	13°16'38.80"N	0°39'10.70"O	Profondeur = 9,81 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,4 m	Puits non fonctionnel	A réhabiliter en cas de besoin	
Puits P6	13°18'19.63"N	0°37'24.01"O	Profondeur = 3,5 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,3 m	- Travaux inachevés	A achever en cas de besoin	
Puits P7	13°16'37.30"N	0°38'29.90"O	Profondeur = 4,29 m Ø Cuvelage = - m Ø Captage = 1,45 m	Puits en état passable	Pas d'intervention	
Puits P8	13°16'35.50"N	0°38'30.50"O	Profondeur = 7,14 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,8 m	Puits en état passable		
Puits P9	13°16'34.00"N	0°38'28.70"O	Profondeur = 7,14 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,8 m	Puits en état passable		
Puits P10	13°16'35.60"N	0°38'28.70"O	Profondeur = 8,13 m Ø Cuvelage = 2 m Ø Captage = 1,8 m	Puits en état passable		
Puits P11	13°17'44.40"N	0°37'40.70"O	Profondeur = 7,32 m Ø Cuvelage = 1,4 m Ø Captage = 1,24 m	Puits en état passable		
Forage F1	13°16'55.30"N	0°38'53.10"O	Hauteur superstructure = 0,5m	- Ouvrage en bon état et Pompe fonctionnel		Pas d'intervention
Forage F2	13°15'55.50"N	0°38'26.00"O	Hauteur superstructure = 0,5 m			
Forage F3	13°16'53.60"N	0°38'31.60"O	Hauteur superstructure = 0,43 m			
Forage F4	13°18'23.80"N	0°37'24.70"O	Hauteur superstructure = 0,22 m			
Forage F5	13°18'11.70"N	0°37'27.00"O	Hauteur superstructure = 0,19 m	- Ouvrage défectueux - Pompe en panne	- Réaliser un nouveau forage	
Forage F6	13°16'29.23"N	0°39'46.70"O	Hauteur superstructure = 0,38 m	- Ouvrage mauvais état - Pompe défaillante	- Réaliser un nouveau forage	
Forage F7	13°19'8.00"N	0°36'46.70"O	Hauteur superstructure	- Ouvrage en bon	Pas d'intervention	

			= 0,4 m	état et Pompe fonctionnel	
Infrastructures sociales					
Ecole primaire	13°16'56.58"N	0°38'48.09"O	Compositions : - 3 salles de classe - 1 pièce pour d'administration - 3 logements d'enseignement - Toilettes - 1 Classe sous paillote	- Clôtures des logements des enseignants en mauvais état - Salle et logements en bon état - Toilettes en assez bon état	- Réhabiliter les clôtures des maisons des enseignants - Construire de nouvelles classes en cas de nécessité
Moulin 1	13°16'52.90"N	0°38'55.80"O		- Moulins défectueux - Bâtiments en mauvais état	- Réhabiliter les bâtiments - Installer des nouveaux moulins
Moulin 2	13°15'56.10"N	0°38'19.60"O			
Moulin 3	13°18'49.90"N	0°36'59.60"O			
Camp de base	13°18'15.30"N	0°37'35.60"O	Compositions : - Château d'eau de 5 m3 - Borne fontaine - Local technique - 2 bâtiments (1 chambre + salon + douche et terrasse)	- Tous les ouvrages sont en état avancé de dégradation - Le système AEP est non fonctionnel	- Réhabiliter les bâtiments - Rendre le système AEPS fonctionnel (forage, conduites et borne fontaine).
Jardins et périmètre irrigué					
Jardin J1	13°16'56.00"N	0°38'52.90"O	Superficie = 0,1 ha	- Terrain en bon état - Clôture défailante	- Mise en place des clôtures - Construction des bassins de stockage
Jardin J2	13°18'15.80"N	0°37'23.00"O	Superficie = 0,5 ha	- Terrain en bon état - Clôture inexistante	
Jardin J3	13°16'57.80"N	0°38'48.80"O	Superficie = 0,5 ha	- Terrain abandonné - Clôture inexistante	
Jardin J4	13°16'55.30"N	0°38'52.30"O	Superficie = 0,02 ha	- Terrain abandonné - Clôture inexistante	
Jardin J5	13°16'53.70"N	0°38'31.20"O	Superficie = 0,25 ha	- Terrain en mauvais état	
Jardin J6	13°18'43.20"N	0°36'59.40"O	Superficie = 0,5 ha	- Terrain abandonné - Clôture inexistante	
Jardin J7	13°16'45.49"N	0°38'29.66"O	Superficie = 1 ha	- Jardin maraicher financé par DFID et équipé de 5 puits à grand diamètre - Jardin clôturé	
Périmètre irrigué P11	13°16'36.20"N	0°38'30.00"O	Superficie = 1 ha		Pas d'intervention

5 MODELISATION DE L'AQUIFERE

5.1 INTRODUCTION

La quantification des réserves et la simulation de leurs variations en fonction des forçages naturels et anthropiques sont nécessaires afin d'établir les plans de gestion adéquats pour les ressources en eau. Pour une exploitation optimale et durable des ressources, l'approche par modélisation constitue un outil d'aide à la décision permettant, après des phases de calibrage et de vérification, de simuler sous différents scénarii l'évolution de la piézométrie.

Un modèle hydrodynamique peut être défini comme étant une représentation simplifiée de la réalité du système. Le but est de simuler la réponse de celui-ci à une série de sollicitations. Cette représentation doit, cependant, être la plus conforme possible du point de vue des mécanismes et des processus simulés.

L'objectif de cette partie est d'élaborer un modèle hydrodynamique qui simule le comportement du barrage souterrain de Naré. Le système est modélisé en régime permanent afin de connaître la distribution spatiale de la charge hydraulique.

Les résultats obtenus du modèle hydrodynamique en régime permanent servent par la suite à la modélisation du régime transitoire afin de suivre la réponse du barrage souterrain vis-à-vis à l'exploitation des eaux.

Afin d'évaluer les risques liés à l'exploitation future, deux scénarii prévisionnels du comportement hydrodynamique du barrage souterrain de Naré ont été élaborés.

5.2 PRESENTATION DU MODELE

Le logiciel de simulation choisi est la version 5 du logiciel Processing Modflow (PM5), développé par l'USGS¹. Il utilise la méthode de différences finies pour la simulation des écoulements des eaux souterraines. Il décrit et prévoit le comportement des systèmes aquifères par la résolution des équations d'écoulement des eaux souterraines à travers un milieu poreux. Le modèle MODFLOW sert à calculer les flux d'eau et les hauteurs piézométriques à partir de la loi de Darcy et de l'équation de diffusivité. L'équation de l'écoulement tridimensionnel de densité constante dans un milieu poreux des eaux souterraines peut être écrite comme suit :

$$K \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} + q$$

Avec

- K [LT-1] : perméabilité
- h [L] : niveau piézométrique
- q [T-1] : Débit prélevé par unité de volume
- S_s [L-1] : Coefficient d'emmagasinement spécifique de milieu poreux
- t [T] : temps

La discrétisation c'est de faire approcher les termes de dérivation par des quotients différentiels. En se basant sur la définition de la dérivée (Pollock, 1998), nous pouvons écrire, que pour un pas h infiniment petit, la dérivée centrée s'exprime de la manière suivante:

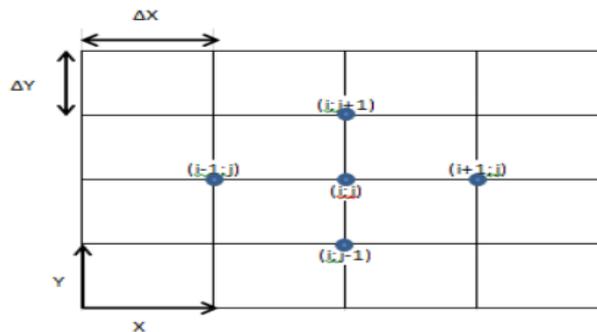
$$\frac{\partial f(x)}{\partial x} \approx \frac{f(x+h) - f(x-h)}{h^2}$$

Les termes d'ordre 2 sont approchés par :

¹ McDonald, M., G. et Harbaugh, A., 1988, A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model: U.S. Geological Survey, Techniques of Water Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, 586 p.

$$\frac{d^2 f(x)}{dx^2} \approx \frac{f(x+h) - 2f(x) + f(x-h)}{h^2}$$

La résolution de l'équation de diffusivité par la méthode des différences finies nécessite donc un maillage du domaine :



On définit h_{ij} la charge hydraulique au point d'abscisse $x = x_i$ et l'ordonnée $y = y_i$. Plus-le maillage est fin (c'est à dire plus le pas h est petit), plus l'approximation est meilleure.

5.3 ETAPE DE MODELISATION

5.3.1 CONSTRUCTION DU MODELE CONCEPTUEL

Pour construire le modèle conceptuel du barrage souterrain de la Naré, l'étude de la géométrie de l'aquifère a été basée sur les données géologiques et l'analyse des études antérieures.

Conformément à cette analyse, la structure du modèle hydrodynamique adoptée comprend une seule couche aquifère constituée par plusieurs entités hydrogéologiques interconnectées. Le modèle d'écoulement réalisé dans cette étude a été calé sur les conditions qui régnaient en 1998.

5.3.2 CONSTRUCTION DU MODELE NUMERIQUE

Cette étape consiste à la résolution de problèmes d'écoulement et de transport dans les roches :

- Les équations aux dérivées partielles qui expriment les lois de conservation sont remplacées par un système d'équations algébriques ;
- La solution est trouvée en des points discrets du domaine spatio-temporel ;
- La solution du problème est obtenue pour un choix spécifié des valeurs des paramètres du modèle mathématique ;
- Le nombre d'équations à résoudre simultanément dans les systèmes est souvent très important. Il faut donc avoir recours à un programme informatique (code) qui soit efficace à cette tâche².

5.3.3 VALIDATION DU MODELE

Cette étape consiste à vérifier les résultats du modèle qui correspondent au mieux à la réalité mesurée, ou observée ; il faut donc que, malgré les simplifications opérées dans la définition aussi bien, des processus que dans la précision du domaine et de ses conditions aux limites, la réponse du modèle soit aussi proche que possible de la réalité.

5.3.4 ESTIMATION DES PARAMETRES DE CALAGE

Lors de cette étape, on essaye de minimiser l'écart entre les mesures disponibles des grandeurs d'état du système, telles que la piézométrie, et les valeurs obtenues par le modèle.

² Trabelsi, R., 2015. Modélisation hydrogéologique et transport des radionucléides dans la nappe côtière de Shkira au niveau de la centrale nucléaire projetée sur le site. Mémoire de Master. ENIT, Tunis. 166p

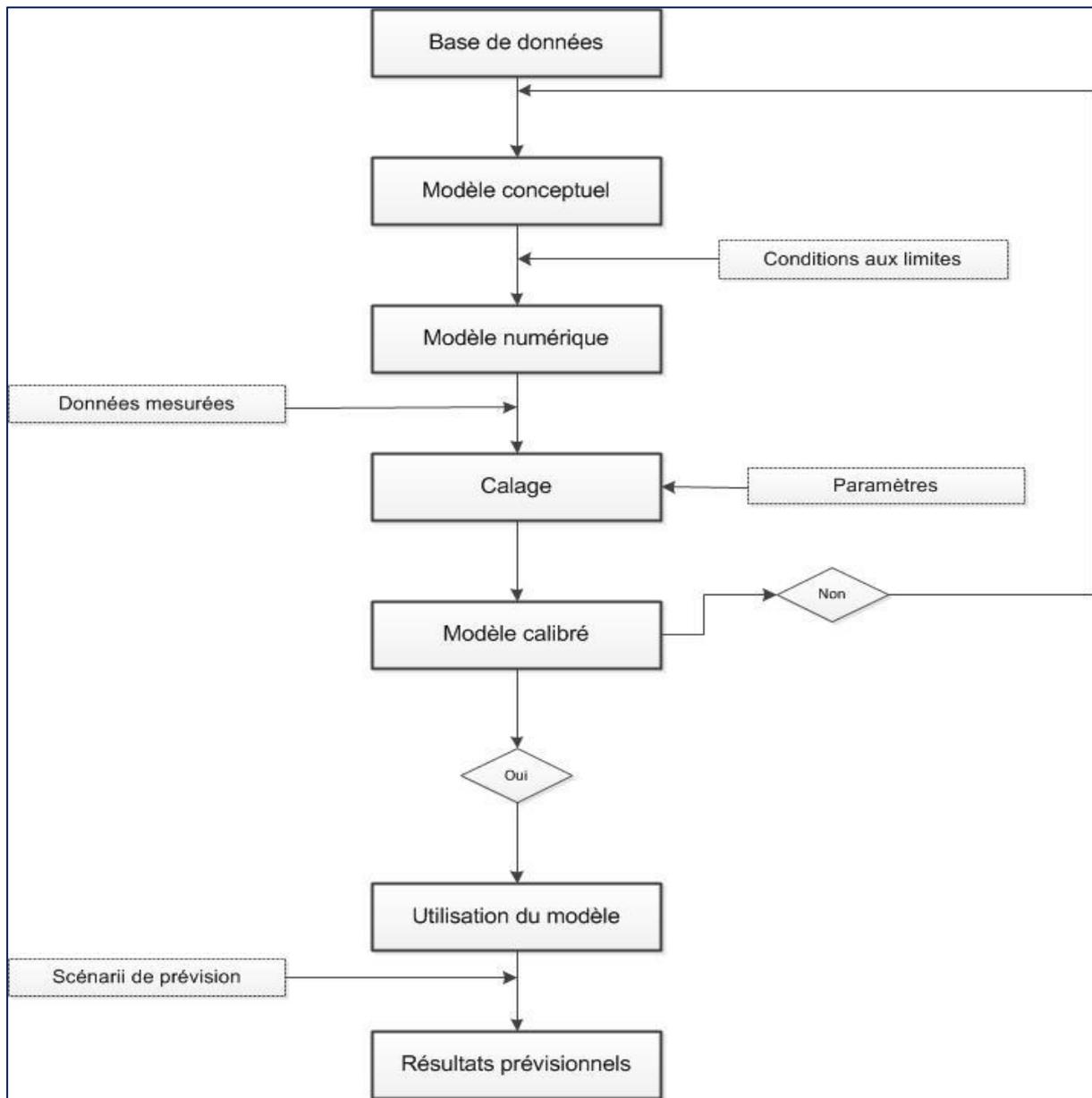


Figure 5-1 : Diagramme de la méthodologie de la modélisation hydrodynamique adoptée³

5.4 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRODYNAMIQUE

5.4.1 CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE DU BARRAGE SOUTERRAIN DE NARE EN REGIME PERMANENT

5.4.1.1 Maillage

La superficie totale du barrage souterrain de la Naré établie dans ce modèle est de 43 km². Modflow nécessite la discrétisation du domaine du modèle en mailles rectangulaires. Compte tenu de l'extension du domaine d'étude, de la densité des informations disponibles, des mailles carrées dont la côte est de 250 m ont été adoptées. La zone d'étude est inscrite dans une grille de 68 colonnes et 53 lignes. Au niveau de la digue du barrage, et pour une superficie totale de 2,5 km, ce maillage est affiné par des mailles de côte 50m. A chaque maille, il a été affecté des paramètres géométriques et hydrodynamiques nécessaires pour la simulation.

³ Trabelsi, R., 2015. Modélisation hydrogéologique et transport des radionucléides dans la nappe côtière de Shkira au niveau de la centrale nucléaire projetée sur le site. Mémoire de Master. ENIT, Tunis. 166p

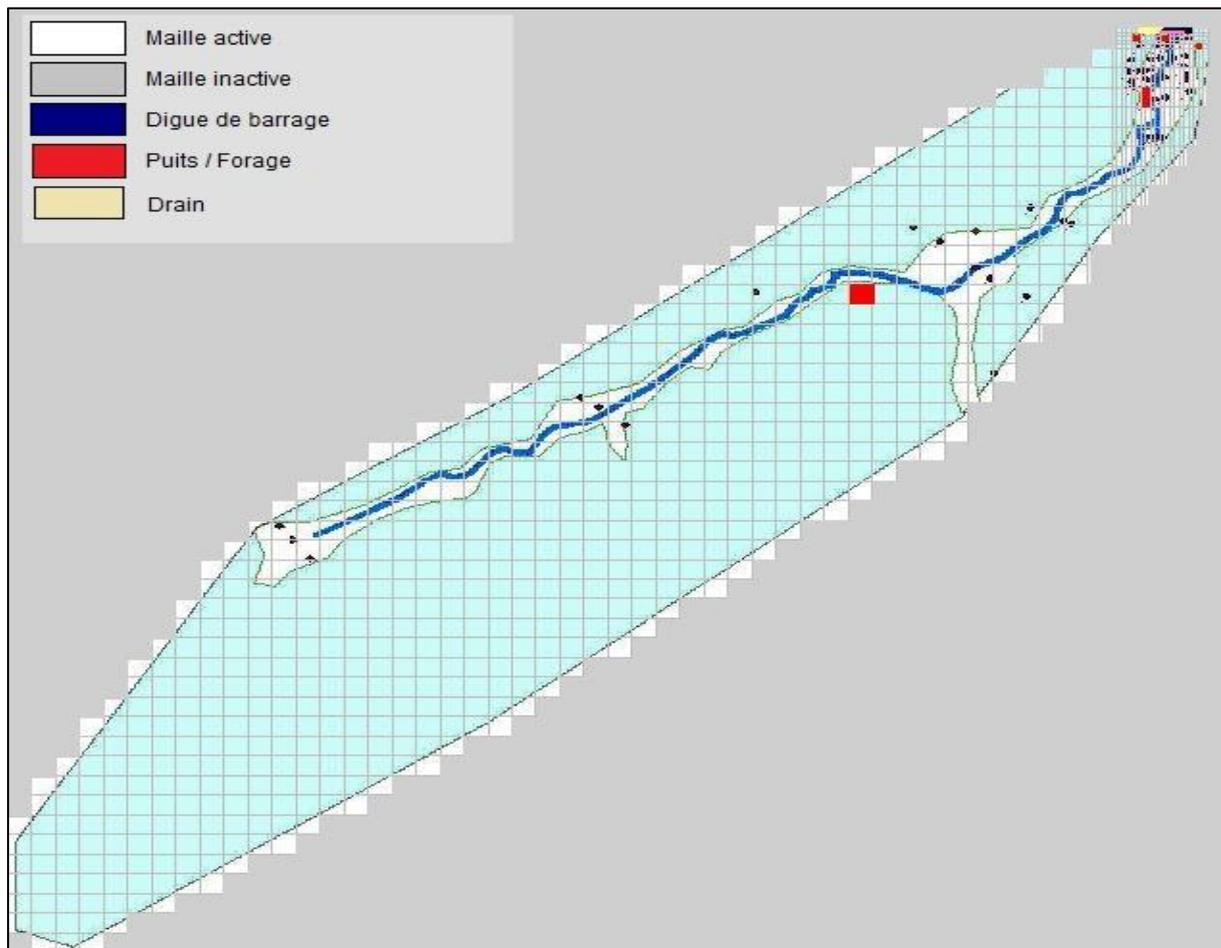


Figure 5-2 : Schéma conceptuel du barrage souterrain de Naré (Source STUDI/BERA)

La figure ci-dessus représente le schéma adopté du barrage de Naré pour la modélisation du système en régime permanent. La traduction de ces conditions sur MODFLOW s'est faite à travers un tableau (IBOUND) qui permet d'identifier si une maille est active (1), inactive (0) et à charge fixe (imposé) (-1).

5.4.1.2 Les conditions aux limites

Les conditions aux limites imposées dans le modèle représentant le barrage souterrain de Naré sont :

- Conditions à potentiels imposés ou encore appelées conditions de DIRICHLET : c'est la condition qui caractérise les zones d'alimentation ou d'exutoire de la nappe ;
- Conditions à débits imposés : c'est le cas de l'infiltration directe des eaux de pluie, des pompages ou de l'alimentation naturelle à partir des nappes voisines ;
- Conditions de Drainage : dans notre cas, le drainage représente les débits de fuite par les failles multiples détectées lors des travaux de terrain.

La digue du barrage est modélisée en utilisant le module horizontal flow-barriers qui permet de simuler les murs de suspension qui entravent l'écoulement horizontal des eaux souterraines. La longueur de la digue est 216 m. La perméabilité caractéristique du corps de la digue du barrage est 10^{-7} m/s.

5.4.1.3 La recharge

L'étude hydrologique établie précédemment a montré que, pour l'évaluation des ressources en eau de la nappe, une lame infiltrée moyenne annuelle est considérée de l'ordre de 37 mm par an. Dans la zone d'étude, la recharge s'effectue essentiellement par infiltration directe des eaux de pluie sur toute la surface du barrage souterrain et par l'infiltration des eaux de ruissellement de la rivière Kolongo.



Figure 5-3 : Plan de situation du barrage souterrain de Naré (Source STUDI/BERA)

5.4.1.4 Exploitation

Le débit exploité par pompage a été considéré à ce stade de l'établissement du modèle et en régime permanent comme nul. En effet, le but de l'établissement du modèle en régime permanent est d'établir le bilan du barrage souterrain de Naré.

5.4.1.5 Calage du modèle en régime permanent

Le calage en régime permanent consiste à minimiser le nombre de paramètres à ajuster en régime transitoire, et a pour objectif d'assurer la cohérence de l'ensemble des données introduites concernant les conditions aux limites, la piézométrie et les transmissivités. Pour le régime permanent, le calage des paramètres du modèle se fait par l'ajustement des valeurs de certains paramètres qui sont généralement connus avec moins de précision, à savoir la transmissivité et la recharge.

Le calage en régime permanent a permis de dresser la carte piézométrique de référence du système simulé. Les paramètres adoptés pour le calage sont les mesures effectuées en 1998 au niveau du piézomètre P4 se trouvant à 200m à l'amont du barrage.

5.4.2 RESULTAT DE CALAGE ET BILAN DE LA NAPPE EN REGIME PERMANENT

Le principal critère de calage consiste à la reconstitution la plus proche de la carte piézométrique de référence et des valeurs piézométriques observées ponctuellement. Dans le cas présent, on ne dispose pas d'une carte piézométrique de référence, on ne dispose que de mesures ponctuelles relatives au piézomètre P4 se trouvant à 200 m en amont du barrage. En partant des informations disponibles, une carte piézométrique de référence du barrage souterrain de Naré a été établie, en régime permanent. La figure suivante représente la carte piézométrique de référence, calée par rapport aux lectures du piézomètre P4 en 1998.

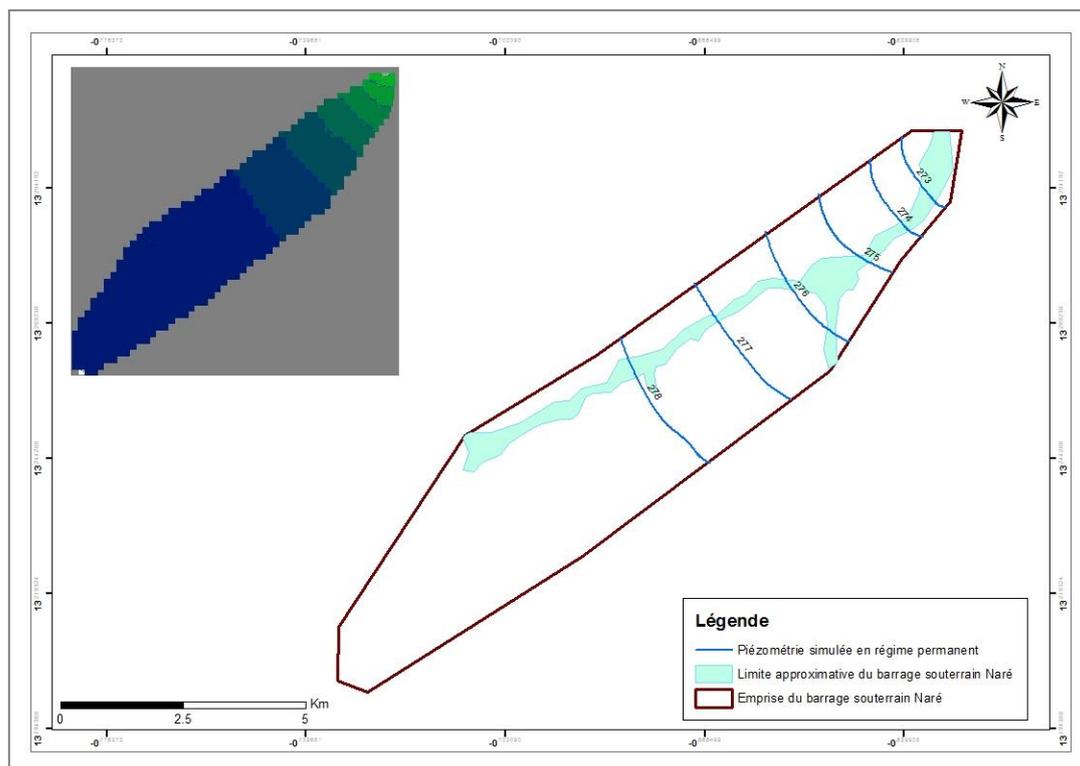


Figure 5-4 : Carte piézométrique simulée en régime permanent (Source STUDI/BERA)

Le tableau ci-dessous montre le bilan hydraulique du barrage souterrain de Naré, issu de la modélisation en régime permanent en 1998.

Tableau 5-1 : Bilan global du barrage souterrain de Naré, calculé par le modèle en 1998 (m³/s)

(Source STUDI/BERA)

Paramètres	Entrées	Sorties
Conditions aux limites	-	0,0293
Recharge	0,0503	-
Prélèvement	-	-
Drain	-	0,0210
Total	0,0503	0,0503

Le bilan global de la nappe est évalué à 0,0503 m³/s soit un volume de 1 585 315 m³/an. Ce volume est obtenu après simulation pour l'année de référence 1998 dont la pluviométrie totale est de 775 mm/an.

Dans le cas présent, les drains sont simulés par le modèle pour reproduire le comportement des failles. Le débit passant par ces failles est estimé à 0,021 m³/s soit un volume de 772 632 m³/an. De ce fait, on peut conclure qu'environ la moitié du volume emmagasiné par le barrage souterrain est perdue à travers les failles.

5.5 CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE DU BARRAGE SOUTERRAIN DE NARE EN REGIME TRANSITOIRE

5.5.1 DEFINITION DES CONDITIONS INITIALES ET DES CRITERES DE CALAGE DU MODELE

L'objectif de cette phase d'étude est de reproduire au mieux les fluctuations piézométriques mesurées dans les puits de surface, et ce en faisant modifier les conditions d'alimentation et de prélèvement selon une certaine périodicité, afin de simuler notamment l'influence piézométrique d'épisodes pluviométriques et de cycles de pompage. Les calculs portent sur des périodes de temps successives d'une année où la recharge est précisée en fonction de la pluviométrie mensuelle.

Sur une période d'une année, les conditions initiales correspondent à l'état piézométrique calculé en année de référence 1998, représentant le régime permanent. Sur toutes les limites d'alimentation, les conditions de potentiels imposés sont transformées en conditions de débits imposés. Ces débits sont déduits par application de la loi de Darcy sur ces frontières avec la répartition de la piézométrie obtenue après calibrage du modèle en régime permanent. Les pompages annuels d'eau souterraine qui s'opèrent pour satisfaire les besoins dans le village (Irrigation, AEP, abreuvement du cheptel).

5.5.2 LES PARAMETRES STRUCTURAUX D'INITIALISATION DE CALAGE

Le barrage souterrain de Naré constitue une source en eau souterraine cruciale pour la subvenir les besoins du village. En régime transitoire, trois paramètres vont déterminer le comportement de la nappe (l'exploitation, le coefficient d'emménagement et la recharge)=.

L'année de simulation du régime transitoire est 2018. Les constatations montrent que c'est une année pluvieuse. Alors, en se basant sur les observations de terrain et à partir de l'historique pluviométrique collecté de 1998 à 2016, la série pluviométrique de l'année 2018 a été constituée. La pluviométrie totale est de 889 mm/an.

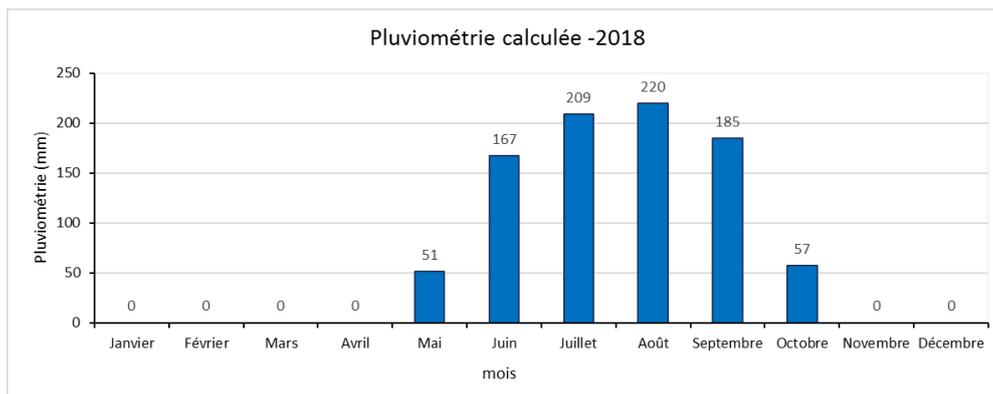


Figure 5-5 : pluviométrie calculée pour l'année 2018

La recharge constitue une donnée connue avec précision. En effet, la lame d'eau infiltrée a été calculée à partir des annuaires pluviométriques pour la période de 1998 à 2016 et elle est évaluée à 37mm/an. De ce fait, le calage en régime transitoire n'a concerné que le coefficient d'emménagement.

5.5.3 CALAGE DE LA PIEZOMETRIE

Tous les piézomètres étant bouchés, le niveau statique de la nappe de la vallée fossile a été suivi à partir des puits d'exploitation, des puits d'observation existants et des piézomètres installés lors de la campagne géotechnique effectuée dans le cadre de la présente étude en 2018. Durant cette courte durée, deux lectures ont été réalisées :

- Une première lecture réalisée pendant le mois de juin annonçant la fin de la saison sèche et le début de la saison humide ;
- Une deuxième lecture réalisée pendant le mois d'octobre marquant la fin de la saison humide ;

Les côtes piézométriques sont calculées par rapport à un niveau de sol de 280 m. Les résultats sont illustrés et présentés par le tableau suivant :

Tableau 5-2 : piézométrie observée au niveau du barrage souterrain durant l'année 2018

(Source STUDI/BERA)

	Côte piézométrique (m)	
	A 200 m du barrage	A 4 km du barrage
juin-18	270,43	274,14
oct.-18	276,13	278,33

5.5.4 RESULTAT DE CALAGE ET BILAN DE LA NAPPE EN REGIME TRANSITOIRE

La simulation est établie avec un pas de temps mensuel. Chaque mois est caractérisé par une recharge proportionnelle à pluviométrie. Le modèle élaboré a permis d'avoir un bilan spécifique pour chaque mois. Le tableau suivant résume les piézométries simulées en durant les 12 mois de l'année 2018.

Tableau 5-3 : Côtes piézométriques simulées (Source STUDI/BERA)

	Côtes piézométriques simulées (m)	
	A 200 m du barrage	A 4 km du barrage
Mai	270	271,3
Juin	270,6	273,6
Juillet	271,5	275,8
Août	272,4	276,2
Septembre	273,2	277,2
Octobre	275,8	277,7
Novembre	274,6	277,1
Décembre	273	276,3
Janvier	272,3	276
Février	271,6	275
Mars	269,8	274
Avril	268,4	273

En comparant les valeurs de la piézométrie observée et celles simulées par le modèle, on constate que le système permet d'approcher les valeurs ciblées. En effet :

- à 200 m en amont du barrage la piézométrie observée au mois de juin est de 270,43 m et celle simulée est de 270,6 m ;
- à 4 km en amont du barrage la piézométrie observée au mois de juin est de 274,14 m et celle simulée est de 273,6 m ;
- à 200 m en amont du barrage la piézométrie observée au mois d'octobre est de 276,13 m et celle simulée est de 275,8 m ;
- à 4 km en amont du barrage la piézométrie observée au mois de juin est de 278,33 m et celle simulée est de 277,7 m.

Les figures suivantes représentent les cartes piézométriques simulées du barrage souterrain de Naré pour le mois de juin et pour le mois d'octobre.

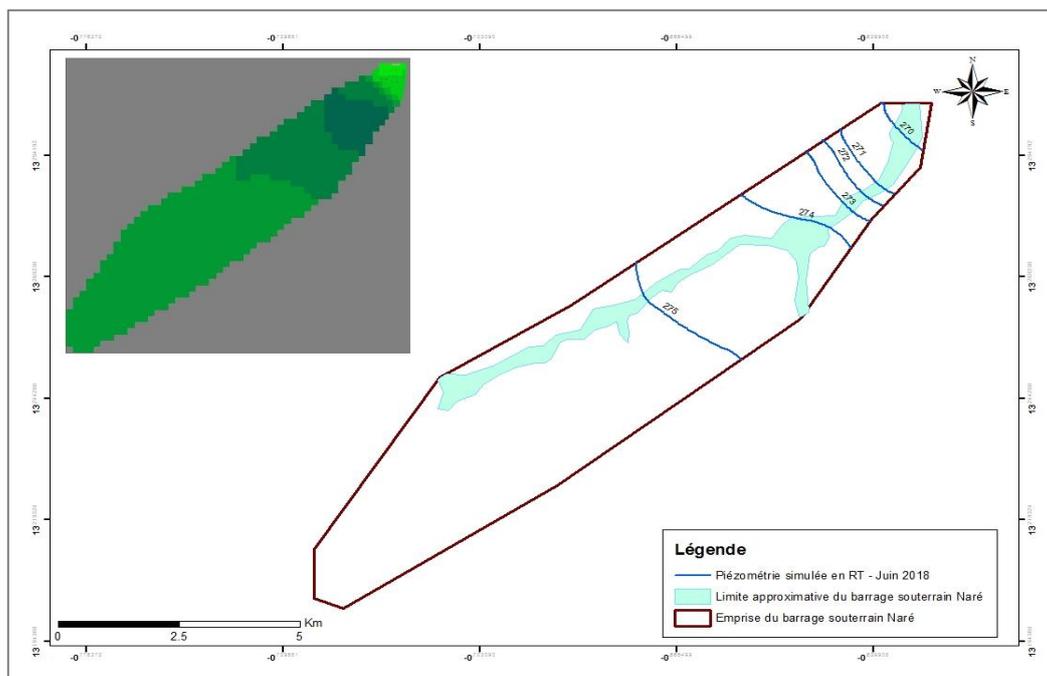


Figure 5-6 : Carte piézométrique simulée en juin 2018 (Source STUDI/BERA)

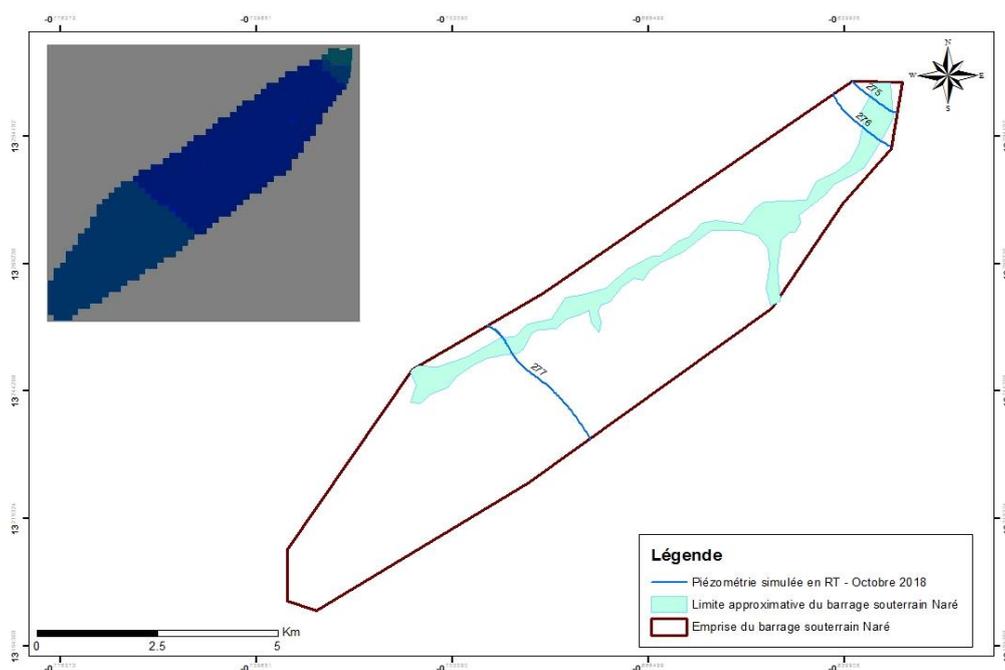


Figure 5-7 : Carte piézométrique simulée en octobre 2018 (Source STUDI/BERA)

5.6 SIMULATIONS PREVISIONNELLES

Le présent projet « Etudes intégrées de valorisation du barrage souterrain de Naré et contrôle des travaux de réhabilitation des infrastructures connexes et aménagement de périmètre irrigué de 5 ha » a pour objectif de subvenir aux besoins en eau potable de la population, l'abreuvement du cheptel et l'aménagement de 5 ha sous culture irriguée en goutte à goutte.

Pour atteindre ces objectifs, une étude d'évaluation doit simuler le comportement du barrage souterrain de Naré face à ces différentes sollicitations projetées (pompage et recharge) et cela en considérant des hypothèses sur le climat.

L'année adoptée pour la simulation des différents scénarii est l'année décennale sèche. L'étude hydrologique précédemment établie a révélé qu' en année décennale sèche, la pluviométrie annuelle est de 418 mm.

La durée totale de chaque simulation est 12 mois avec un pas de temps mensuel. La pluviométrie mensuelle de l'année décennale sèche a été reconstituée en se basant sur la répartition statistique des pluies mensuelles durant la période allant de 1998 jusqu'à 2016. La figure ci-dessous illustre la pluviométrie mensuelle calculée en année décennale sèche.

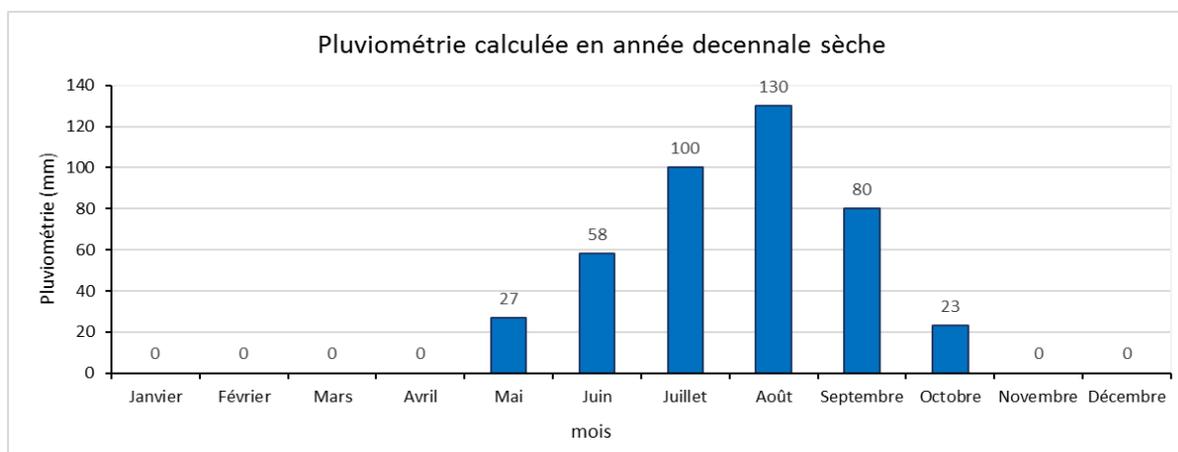


Figure 5-8 : Pluviométrie calculée en année décennale sèche

5.6.1 SCENARIO N°1

Le scénario N°1 consiste à prévoir le comportement hydrodynamique du barrage souterrain de Naré pour une année. Les besoins en eau potable, l'abreuvement du cheptel et l'eau d'irrigation (pour 5 ha) sont intégrés dans le modèle en spécifiant le débit pompé spécifique pour chaque mois. Le nombre des sources de pompage modélisées dans notre système est 5 (4 puits et 1 forage).

Le tableau suivant résume les piézométries simulées en durant les 12 mois du scénario n°1 en année décennale sèche.

Tableau 5-4 : Cotes piézométriques simulées pour le scénario n°1 (Source STUDI/BERA)

Mois	Cote piézométrique (m)		Cote de pompage	Charge (m)
	A 200 m du barrage	A 4 km du barrage		
Mai	268,4	270,8	265	3,4
Juin	268,2	271,1	265	3,2
Juillet	269,2	272,2	265	4,2
Août	269,5	273,8	265	4,5
Septembre	269,4	273,5	265	4,4
Octobre	269,3	273,1	265	4,3
Novembre	269,0	272,8	265	4,0
Décembre	268,8	272,6	265	3,8
Janvier	268,5	272,5	265	3,5
Février	268,1	272,3	265	3,1
Mars	267,6	272,1	265	2,6
Avril	266,3	271,8	265	1,3

Le modèle établi permet de simuler les cotes piézométriques mensuelles afin de pouvoir subvenir aux différents besoins en eau. La plus profonde est atteinte en mois d'avril et elle est égale à 266,3 m à

200m en aval du barrage.

Les puits sont équipés de pompe de HMT= 15m. La cote du terrain naturel est de 280 m, d'où le pompage peut atteindre la cote de 265m.

A partir du mois de mars, la charge d'eau au-dessus de la pompe se trouve en dessous de 3 m et atteint un minimum de 1,3 m en mois d'avril.

Les simulations établies ont permis de conclure que, pour le scénario n°1, les ressources en eau issues du barrage souterrain de Naré couvrent les besoins en eau pour l'AEP, l'abreuvement du cheptel et l'irrigation et à partir du mois de mars, la ressource en eau est au limite pour satisfaire les besoins.

5.6.2 SCENARIO N°2

Le scénario N°2 consiste à prévoir le comportement hydrodynamique du barrage souterrain de Naré en année décennale sèche en supposant que la superficie des terres agricoles irriguées est de 10 ha. Les besoins en eau potable, l'abreuvement du cheptel sont aussi doublés. Le débit mensuel pompé chaque mois, permettant de couvrir les besoins, est spécifié dans le modèle. Le nombre des sources de pompage modélisées dans le système est 5 (4 puits et 1 forage). Le tableau suivant résume les piézométries simulées en durant les 12 mois du scénario n°2 en année décennale sèche.

Tableau 5-5 : Cotes piézométriques simulées pour le scénario n°2 (Source STUDI/BERA)

	Côte piézométrique (m)		Cote de pompage	Charge (m)
	A 200 m du barrage	A 4 km du barrage		
Mai	267	271	265	2,0
Juin	267,2	271,4	265	2,2
Juillet	267,6	272,2	265	2,6
Août	268,4	273,2	265	3,4
Septembre	269,1	273,5	265	4,1
Octobre	268,2	273,3	265	3,2
Novembre	268	272,9	265	3,0
Décembre	267,6	272,7	265	2,6
Janvier	267,4	272,5	265	2,4
Février	266,5	272,2	265	1,5
Mars	265,6	271,9	265	0,6
Avril	264,7	271,6	265	-0,3

Le modèle établi permet de simuler les cotes piézométriques mensuelles afin de pouvoir subvenir aux différents besoins en eau. La plus profonde est atteinte en mois d'avril et elle est égale à 264,7 m à 200m en aval du barrage.

Les puits sont équipés de pompe de HMT= 15m. La cote du terrain naturel est de 280 m, d'où le pompage peut atteindre la cote de 265m.

Les simulations établies ont permis de conclure que, pour le scénario n°2, les ressources en eau issues du barrage souterrain de Naré ne couvrent pas les besoins en eau pour l'AEP, l'abreuvement du cheptel et l'irrigation puisque la charge d'eau est au niveau bas à partir du mois de janvier et les pompes se trouvent à sec à partir du mois de mars.

6 PROPOSITIONS DE CONFORTATION ET DE VALORISATION DU BARRAGE SOUTERRAIN

6.1 ACTIONS DE VALORISATION

Eu regard des résultats de la modélisation de la nappe fossile pour la décennale sèche, il ne sera pas prudent d'envisager une augmentation des prélèvements de la ressource en eau au-delà des besoins des projets programmés à savoir la réhabilitation du système AEPS et l'irrigation des 5 ha de maraichage en goutte à goutte. Aussi les actions de valorisation du barrage souterrain de Naré proposées sont limitées à :

- La réhabilitation de la borne fontaine existante y compris la réalisation d'un nouveau forage ;
- La construction de deux nouvelles bornes fontaines ;
- L'aménagement d'un périmètre irrigué en goutte à goutte de 5 ha de superficie.
- La réalisation d'une piste de desserte qui relie le périmètre irrigué à la route nationale RN3,

Les trois premières actions sont prioritaires et elles ont fait l'objet d'une étude d'avant-projet détaillée suivi de l'établissement d'un DAO et les travaux seront réalisés et pris en charge par le projet.

Les installations existantes ainsi que les ouvrages et les aménagements à réaliser dans le cadre du projet sont présentés en annexe 2.

6.1.1 RESUME DES ETUDES TECHNIQUES DE REHABILITATION DU SYSTEME AEPS EXISTANT ET DE CONSTRUCTION DE NOUVELLES BORNES FONTAINES

L'étude APD complète des travaux de réhabilitation du système AEPS existant a fait l'objet d'un rapport séparé. Nous donnons ci-après les principales données d'entrée ainsi que les hypothèses admises et les résultats sont présentés ci-après :

- L'année 2030 est choisie comme horizon du projet pour se caler à l'horizon de planification nationale du Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable 2016-2030 ;
- La population bénéficiaire est estimée à 1 576 habitants à l'horizon 2030 ;
- Le nombre de cheptel estimé au même horizon est donné dans le tableau suivant :

Tableau 6-1 : Nombre de cheptel à l'horizon 2030 de Kombang-bédo (Source STUDI/BERA)

Type de cheptel	Nombre moyen/ménage	Nombre total en 2030
Bovins	5	1 315
Ovins	7	1 841
Caprins	11	2 893
Porcins	2	526

- Les consommations spécifiques adoptées pour dimensionnement du réseau sont comme suit :
 - Habitants : 20 l/j/habitant ;
 - Petit cheptel (ovins, caprins et porcins) : 8 l/j/tête ;
 - Bovins : 30 l/j/tête.
- Le coefficient de pointe journalier pris en compte est égal à 1,1.
- Le rendement technique du réseau est pris égale à 95%, soit des pertes de 5%.

Pour tenir compte des pertes (5%) et des possibles branchements privés (20%), les besoins finaux sont estimés à $68 \text{ m}^3/\text{j}$, soit un débit soutenu de 2,4 litres par seconde pour un temps de pompage de 8 heures.

Le schéma d'aménagement proposé est composé de :

- un château d'eau de 10 m^3 de volume existant à réhabiliter ;
- un nouveau champ solaire (panneaux photovoltaïques) à installer ;
- un forage neuf à exécuter ;
- une électropompe neuve à acquérir ;
- une nouvelle conduite de refoulement ;
- une nouvelle conduite principale de distribution ;
- une borne fontaine comportant 6 robinets à réhabiliter et située à environ 1,3 km du château d'eau ;
- deux nouvelles bornes fontaines ;
- un abreuvoir situé à environ 100 m de la borne fontaine.

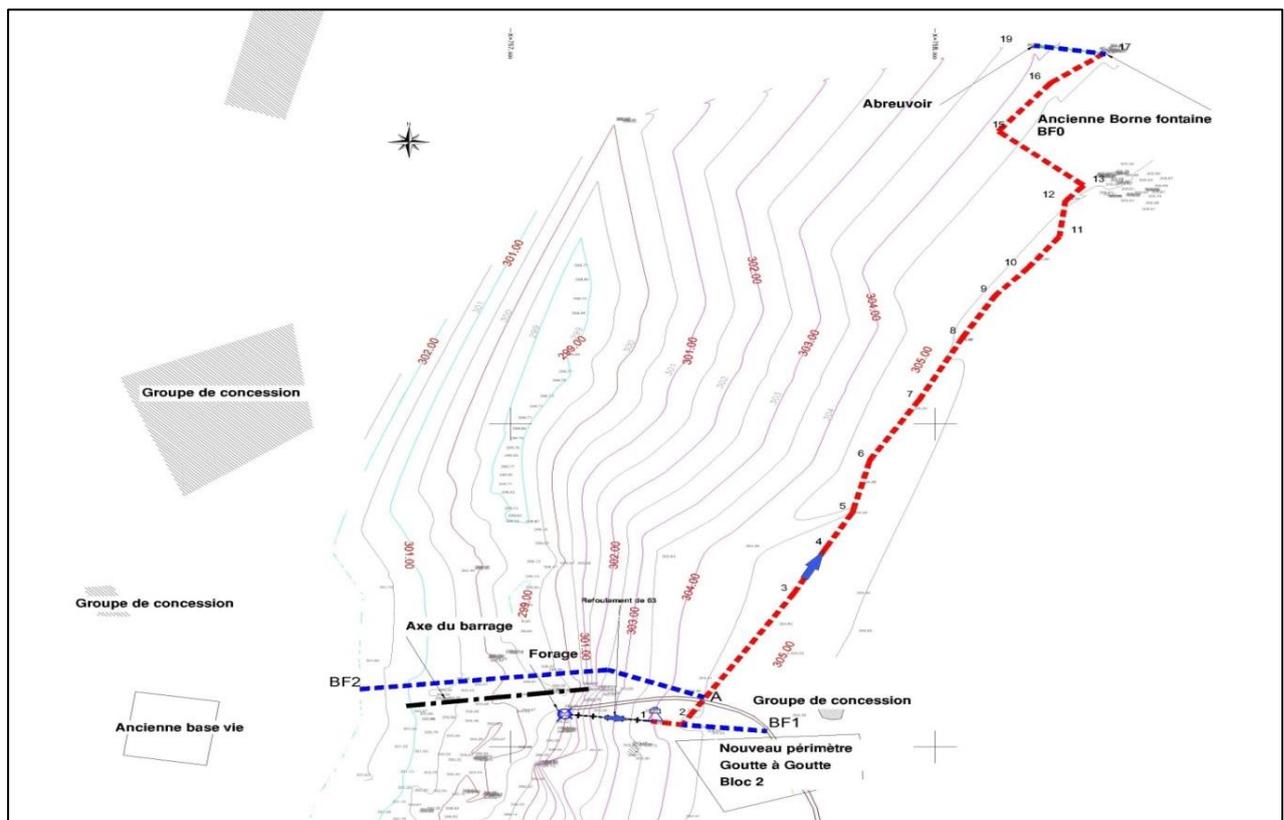


Figure 6-1 : Architecture du réseau de la mini-adduction d'eau potable (Source STUDI/BERA)

La consistance des travaux se présente comme suit :

- la pose d'une conduite de refoulement de $\varnothing 63$ type PEHD PE100PN10, qui relie la tête de forage au château d'eau ;
- la pose d'une conduite de distribution principale de $\varnothing 90$ type PEHD AEP PE100 PN10, reliant le Château à la borne fontaine à réhabiliter ;
- la pose de conduites de distribution secondaires ou antennes de $\varnothing 63$ type PEHD AEP PE100 PN10, servant à alimenter l'abreuvoir et les deux nouvelles bornes fontaines BF1 et BF2 ;
- la réhabilitation du château d'eau existant,
- la réhabilitation de la zone de desserte,

- la réhabilitation de l'abreuvoir,
- la réalisation de deux nouvelles bornes fontaines,
- la réalisation d'un forage et son équipement dont les caractéristiques géophysiques des 2 sites proposés sont données en annexe 3,
- la fourniture et l'installation des équipements électro-hydrauliques,
- la fourniture et la mise en place d'un champ photovoltaïque pour la production de l'électricité,
- la construction d'un local technique.

6.1.2 RESUME DE ETUDES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT D'UN PERIMETRE DE 5 HA IRRIGUE EN GOUTTE A GOUTTE

L'étude APD complète des travaux d'aménagement du périmètre irrigué de 5ha a fait l'objet d'un rapport séparé. Nous donnons ci-après les principales données d'entrée ainsi que les hypothèses admises et les résultats sont données ci-après.

Après avoir choisi le site à aménager en commun accord avec le client, les autorités locales, coutumières et les bénéficiaires, le périmètre a fait l'objet d'études topographique et pédologique qui ont servi à la délimiter la zone à aménager.

Les études pédologiques ont permis de choisir les cinq (05) hectares à aménager.

Le périmètre irrigué a été découpé en 14 quartiers en suivant la topographie du terrain et dans le but de limiter les frais des installations à mettre en place.

Les superficies des quartiers sont données dans le tableau suivant :

Tableau 6-2 : Superficie des quartiers d'irrigation (Source STUDI/BERA)

Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4	
Quartier	Surface (ha)	Quartier	Surface (ha)	Quartier	Surface (ha)	Quartier	Surface (ha)
Quartier 1-1	0,24	Quartier 2-1	0,40	Quartier 3-1	0,39	Quartier 4-1	0,40
Quartier 1-2	0,25	Quartier 2-2	0,38	Quartier 3-2	0,38	Quartier 4-2	0,39
Quartier 1-3	0,26			Quartier 3-3	0,45	Quartier 4-3	0,35
Quartier 1-4	0,27			Quartier 3-4	0,42	Quartier 4-4	0,42
Total par bloc (ha)	1,02		0,78		1,64		1,56
Total (ha)							05,0

Les besoins en irrigation sont estimés à 2,22 l/s/ha pour 7 heures de service en mois de pointe, soit 280 m³/j.

Le système d'irrigation conçu est de type localisé par goutte à goutte. Il satisfait les besoins en eau des cultures maraîchères via un réseau de conduites ramifié et connecté à trois puits à grands diamètres.

Le schéma d'aménagement proposé se compose essentiellement de :

- trois puits à grand diamètre ;
- trois stations en tête du réseau, équipée chacune :
 - d'électropompe immergée ;
 - de clapet anti-retour ;
 - de compteur d'eau ;
 - d'une ventouse ;
 - d'un manomètre ;
 - d'une vanne de sectionnement.

- une conduite principale connectée aux trois stations de pompage ;
- cinq conduites secondaires connectées à la conduite primaire ;
- douze conduites tertiaires ou porte rampe connectées aux conduites secondaires;
- lignes de goutteurs ou rampes apportant la dose aux racines des plants maraîchers ;
- un tank fertilisant raccordé à la conduite primaire ;
- une station de filtre de tête ;
- une clôture grillagée équipée de 4 portails en raison d'un portail par bloc ;
- une station de panneaux solaires fournissant de l'énergie électrique pour le fonctionnement des électropompes.

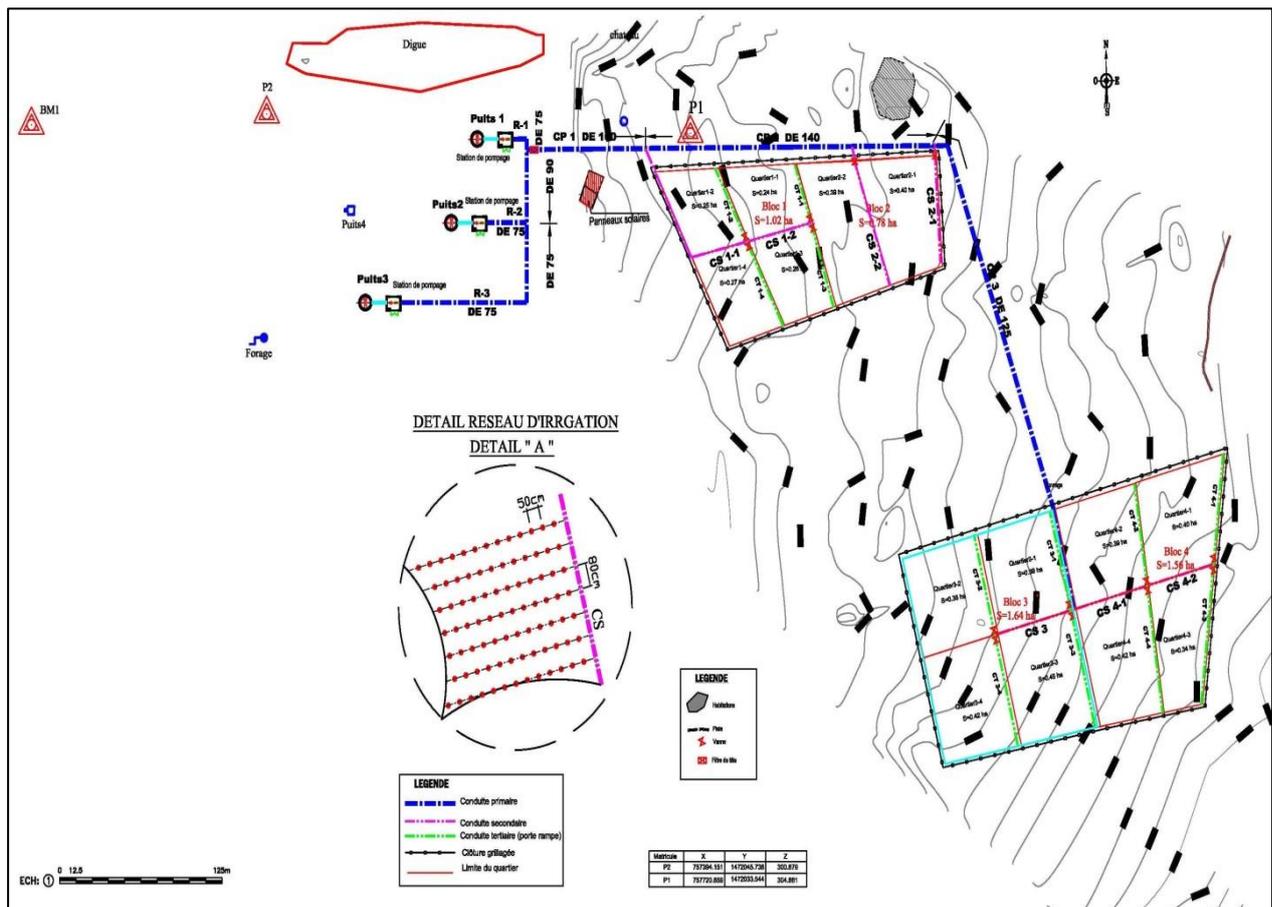


Figure 6-2 : Plan d'aménagement du périmètre irrigué (Source STUDI/BERA)

La consistance des travaux d'aménagement du périmètre irrigué est comme suit :

- Conduites principales :
 - 95 ml en PVC DE 160 PN 10 ;
 - 225 ml en PVC DE 140 PN 10 ;
 - 325 ml en PVC DE 125 PN 10 ;
 - 250 ml en PVC DE 75 PN 10.
- Conduites secondaires :
 - 500 ml en PVC DE 63 PN 6.
- Conduites tertiaires :
 - 800 ml en PVC DE 63 PN 6.

- 5 vannes de sectionnement en tête des conduites secondaires DE 63,
- 12 vannes de sectionnement en tête des conduites tertiaires DE 63,
- Une station de fertilisation comportant 1 tank de 200 l, un agitateur et une pompe d'injection de 100l/h à 6 bars. Le tank sera alimenté à partir de la conduite sortant du puits 1 et le produit sera injecté dans la conduite DE160. La station sera protégée par un hangar métallique et le terrain sera couvert par une chape en béton légèrement armé,
- 3 filtres à disque 2", 130 µm et un débit de 15m³/h,
- 1 181 rampes (lignes de goutteurs DE 16) dont la longueur totale est de 61 200 m,
- la fourniture et la mise en place d'un champ photovoltaïque pour la production de l'électricité,
- la réhabilitation et l'équipement des trois (03) puits à grand diamètre existant,
- la construction d'un local technique.

6.1.3 ETUDES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT D'UNE PISTE DE DESSERTE

Le tracé de la piste à aménager est présenté dans la figure suivante :

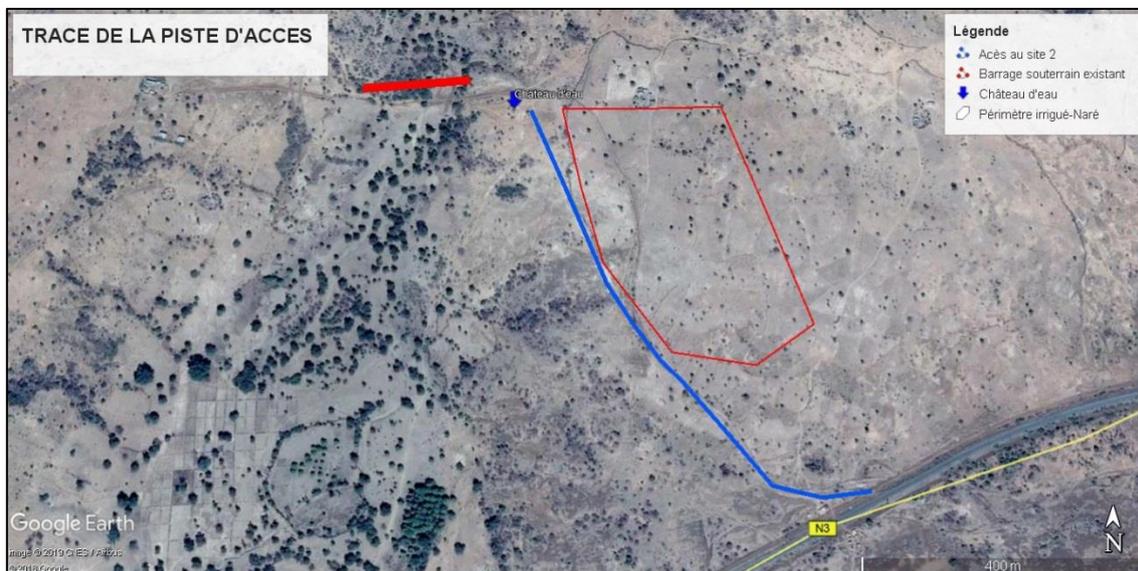


Figure 6-3 : Tracé de piste de desserte

La piste de desserte facilitera l'accès des camions au futur périmètre irrigué et aux différentes installations du projet. Elle aura les caractéristiques suivantes :

- largeur : 5 m,
- Longueur : 850 m.

Vu la bonne portance du sol du sentier existant (cuirasse latéritique), la piste sera conçue en suivant au maximum le niveau du terrain naturel afin d'éviter de mettre en place une grande quantité de remblai.

Les travaux de construction à entreprendre consistent à :

- Ouvrir l'emprise de la piste (décapage) ;
- Mettre en place d'une couche de roulement de latérite de 20 cm d'épaisseur ;
- Construire un dalot au niveau du raccordement avec la route nationale RN3 pour ne pas déranger l'écoulement des eaux de pluie ;

- Mettre un panneau de signalisation « STOP » au niveau du raccordement avec la route nationale RN3.

Le coût des travaux de réalisation de la nouvelles piste de desserte est estimé à vingt-six million (26 000 000) FCFA-HT, détaillé comme suit :

Tableau 6-3 : Devis estimatif – Piste de desserte

Libellé	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Prix Total
Décapage	m ²	4 250	1 500	6 375 000
Remblai latéritique	m ³	1 600	7 500	12 000 000
Dalot 1x1m	U	1	3 500 000	3 500 000
Panneau de signalisation verticale	U	1	500 000	500 000
Total				22 375 000
Divers et imprévus			15%	3 356 250
Total –HT arrondi				26 000 000

6.2 ACTIONS DE CONFORTATION ET DE SUIVI

Les actions de confortation et de suivi du barrage souterrain de Naré proposées sont :

- La réhabilitation des outils de suivi de la ressource,
- la confortation de la digue du barrage existant par son prolongement en rive gauche pour barrer le couloir de fuite.

La première action est prioritaire et a fait l'objet d'une étude d'avant-projet détaillée suivi de l'établissement d'un DAO et les travaux seront réalisés et pris en charge par le projet.

Pour la seconde action, elle fait l'objet d'une étude sommaire. Les études détaillées et la réalisation des travaux ne peuvent être entreprises qu'après au moins une année d'observation des niveaux piézométriques à l'amont et à l'aval du barrage souterrain et l'actualisation du modèle numérique de la nappe par l'entrée d'une série longue de mesure. Ceci permettra de déterminer la quantité d'eau à mobiliser en cas de fermeture de la brèche en rive gauche.

6.2.1 RESUME DE ETUDES TECHNIQUES DE REHABILITATION DES OUTILS DE SUIVI DE LA RESSOURCE

L'étude APD complète des travaux de réhabilitation des outils de suivi de la ressource a fait l'objet d'un rapport séparé. Nous donnons ci-après les principales données d'entrée ainsi que les hypothèses admises et les résultats sont données ci-après.

Les visites de diagnostic ont relevé que tous les piézomètres installés pour le suivi de la nappe ont été vandalisés et bouchés. A ce jour, aucun piézomètre n'est fonctionnel.

Dans le but de reprendre et mettre en service le suivi du niveau piézométrique de l'aquifère, des nouveaux piézomètres seront installés en amont (04) et en aval du barrage souterrain (02).

La vallée fossile est subdivisé en 3 zones : aval, amont proche (entre le barrage et la RN3) et amont lointain (le reste de la cuvette). Dans chaque zone, il sera implanté 2 piézomètres pour bien couvrir la cuvette et avoir au moins 2 lectures par zone,

Vu ce qui précède, il est proposé de réalisé six (06) piézomètres répartis comme suit :

- Deux (02) sont situés juste en amont immédiat du barrage souterrain : le premier est à environ 50m et le deuxième est à environ 900m en aval du pont de la route nationale RN3.
- Deux (02) sont situés en amont dans le village de Naré à environ 4 km du site du barrage.
- Deux (02) en aval : le premier est situé à environ 50 m du barrage souterrain et l'autre à environ 150 m.

Les coordonnées et les profondeurs de ces six piézomètres sont données dans le tableau suivant :

Tableau 6-4 : Caractéristiques des piézomètres à installer

Piézomètre	Coordonnées		Profondeur (m)	Diamètre du PVC (mm)
	Latitude	Longitude		
PZ1	13°18'15,40"N	0°37'24,40"O	10	150
PZ2	13°17'47,00"N	0°37'26,60 "O	10	150
PZ3	13°18'19.80"N	0°37'23.45"O	10	150
PZ4	13°18'20.16"N	0°37'26.65"O	10	150
PZ5	13°16'38,00"N	0°38'32,70"O	15	150
PZ6	13°17'10,35"N	0°37'47,70"O	15	150

En plus de la réalisation et l'équipement des piézomètres, une sonde manuelle capacitive (sonore) et un pluviomètre seront fournis.

6.2.2 ETUDES TECHNIQUES DE CONFORTATION DU BARRAGE SOUTERRAIN DE NARE

La prospection géophysique, réalisée au droit du barrage souterrain de Naré, a montré la présence d'un couloir en rive gauche formé de matériau perméable favorisant l'écoulement de l'eau de l'aquifère de l'amont vers l'aval en contournant la digue du barrage.

La carte d'iso-résistivité montrant l'emplacement de ce couloir est présentée par la figure suivante :

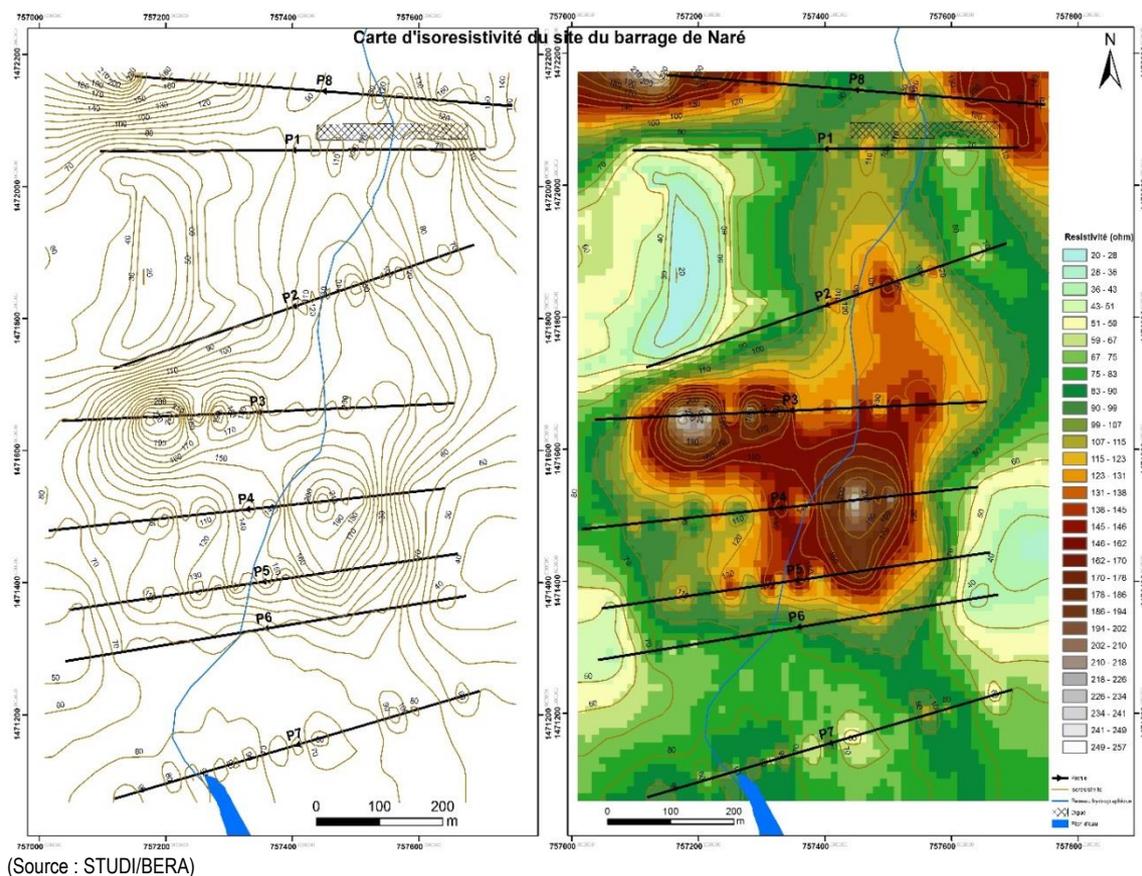


Figure 6-4 : Carte d'iso-résistivité

En plus de la présence de cette couche perméable en rive gauche, les sondages carottés réalisés au niveau de la cuvette ont montré que l'aquifère, formé de sable limoneux, sable fin à grossier et de graviers, se trouve en contact direct avec l'arène granitique et le socle fracturé. Cette disposition favorise et accélère la vidange de l'aquifère à travers les fractures du socle dès que l'eau commence à se retirer en aval du barrage.

La présence d'une mare pérenne en aval du barrage témoigne de la présence d'un écoulement à travers le couloir en rive gauche et/ou à travers les fractures du socle.

Afin de limiter les fuites constatées et pour prolonger la durée d'exploitation des ressources, deux types de travaux d'étanchéités sont préconisés :

- améliorer l'étanchéité du socle fracturé par la création d'un rideau d'étanchéité en suivant la méthode d'injection du coulis de béton à travers les fractures sur des profondeurs allant à 10m. Cette technique, coûteuse, exige l'utilisation d'un matériel spécifique et la mobilisation d'une entreprise ayant une expérience dans ce genre de travaux. En plus, ces fuites à travers ces fractures permettent de garder un écoulement écologique en aval du barrage.
- Barrer la couche perméable en rive gauche par le prolongement de la digue existante jusqu'à la fermeture sur la colline. Cette technique, moins coûteuse, ne nécessite pas d'engins sophistiqués et peut être réalisée pendant la saison sèche avec la baisse du niveau de la nappe souterraine et moyennant d'une technique de soutènement des talus localisée et d'un système de pompage d'eau en cas de besoin.



Figure 6-5 : Tracé du barrage souterrain projeté (Source STUDI/BERA)

La digue projetée aura les mêmes caractéristiques que celle existante avec un noyau étanche formé de matériau argileux de perméabilité faible provenant de la couche argileuse de la cuvette.

Les caractéristiques de la digue projetée sont comme suit :

- La longueur de la digue en crête : environ 240 m,
- La largeur en crête du noyau étanche : 3m,
- La côte de crête du noyau : -3/TN,
- La largeur au fond du noyau étanche : 8 m,
- Largeur au fond de la digue : 10 m,
- Pente des talus d'excavation 2/1 dans la partie inférieure (sous la nappe),
- Pente des talus d'excavation 1/1 dans la partie supérieure,
- Fruits amont et aval du noyau 0,5/1,
- Profondeur moyenne d'excavation : 10m.

A la base du noyau argileux dans la zone amont, sera réalisée une tranchée d'ancrage de largeur 3 m et de 2,0 m de profondeur dans le socle rocheux pour protéger la base de la digue.

Au-dessus de la crête, une couche d'environ 0,5 m de graviers sélectionnés sera mise en place le long de la crête pour assurer un bon écoulement et protégeant ainsi la crête de toute érosion.

Les matériaux argileux qui seront utilisés pour le remblai du noyau étanche seront extraits de la cuvette après l'élimination de la terre végétale. Cette procédure favorisera l'infiltration des eaux de ruissellement.

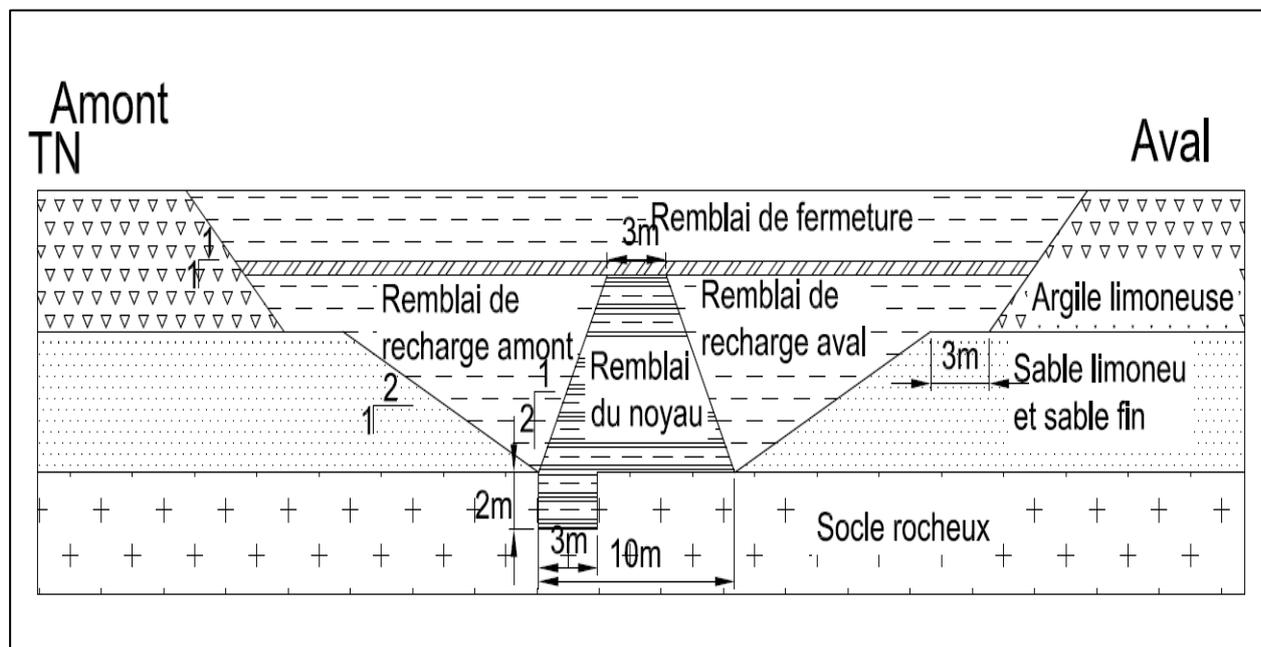


Figure 6-6 : Coupe en travers type de la digue (Source STUDI/BERA)

Le coût des travaux de réalisation du nouveau barrage souterrain est estimé à environ sept cent cinquante million (750 000 000) FCFA-HT, détaillé comme suit :

Tableau 6-5 : Devis estimatif – Barrage souterrain

Libellé	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Prix Total
Déblai ordinaire	m ³	49 200	3 000	147 600 000
Déblai sous la nappe	m ³	24 000	5 500	132 000 000
Déblai rocheux	m ³	1 440	10 000	14 400 000
Remblai d'argile compacté – noyau	m ³	10 920	6 000	65 520 000
Remblai d'argile compacté - tranchée	m ³	1 440	7 500	10 800 000
Remblai tout venant	m ³	61 920	4 500	278 640 000
Remblai graveleux	m ³	360	7 500	2 700 000
Total				651 660 000
Divers et imprévus			15%	97 749 000
Total –HT arrondi				750 000 000

7 ANALYSE FINANCIERE DU PROJET

7.1 DEMARCHE

La rentabilité financière du projet concerné par l'étude en cours est réalisée sur la base de la méthode "Avantage-Coût" qui consiste à confronter les avantages aux coûts induits par le projet, sachant que la situation de référence (sans le projet) n'engendre ni avantages ni coûts.

Généralement, on procède de la manière suivante :

- Évaluer les avantages et les coûts de la situation avec le projet ;
- Les avantages et les coûts du projet sont calculés sur la base des prix de l'année de référence (pour isoler l'effet de l'inflation).

Le travail est donc mené conformément à la logique suivante :

- Etape 1 : appréciation des avantages induits par le projet envisagé, pour toute la durée de vie de 30 ans. Ces avantages induits seront calculés sur la base des coûts d'opportunité d'un m³ d'eau fourni pour l'usage domestique et de la valeur ajoutée procurée par un hectare de périmètre irrigué ;
- Etape 2 : appréciation des coûts (investissement, entretien et fonctionnement) induits par la réalisation du projet pour toute sa durée de vie ;
- Etape 3 : calcul des indicateurs de rentabilité financière (VAN, TRI) après calcul du cash-flow du projet.

Il faut noter que l'analyse financière est basée essentiellement sur le calcul des valeurs actualisées nettes et du TRI.

7.2 AVANTAGES INDUITS PAR LE PROJET

Les avantages du projet sont induits par l'aménagement d'un périmètre irrigué et la réhabilitation du système AEPS existant.

La quantification des avantages du projet est basée sur l'approche suivante :

- La détermination des avantages du PI est basée sur les études réalisées en 2007 avec l'appui technique de la FAO intitulées « *Analyse de la filière maraichage au Burkina Faso* ». la valeur ajoutée d'un hectare de maraichage est estimée à 2 000 000 FCFA.
- nous avons adopté pour l'usage domestique, un prix de 1 000 FCFA/m³ qui est à rapprocher des 20 francs payés pour un bidon de 20 litres d'eau.

La valeur des avantages annuels du projet est estimée à **33 275 000 FCFA**, réparti comme suit :

- Avantages tirés de l'AEPS : 23 275 000 FCFA (volume d'eau annuel de l'ordre de 23 275 m³),
- Avantages tirés du PI : 10 000 000 FCFA (2 000 000 x 5 ha).

7.3 COUT D'INVESTISSEMENT DU PROJET :

Les travaux à réaliser dans le cadre du projet de valorisation du barrage souterrain de Naré sont de 3 types :

- Réhabilitation du système AEPS existant y compris la réalisation de 2 nouvelles bornes fontaines,
- La réhabilitation du système de suivi de nappe,
- L'aménagement du périmètre irrigué de 5 ha en goutte à goutte.

Le coût d'investissement du projet est ventilé comme suit :

Tableau 7-1 : ventilation du coût d'investissement

Actions	Coût en 1000 FCFA
1- Réhabilitation du système AEPS existant	89 000
- Terrassement	6 000
- Conduites PEHD	34 000
- Equipements de ligne de refoulement	1 000
- Accessoires et pièces spéciales	3 000
- Travaux Génie Civil	7 000
- Réalisation du forage	8 000
- Equipements hydro-électromécaniques	30 000
2- Réhabilitation du système de suivi de la nappe	13 000
- Réalisation des piézomètres	10 600
- Sonde pour lecture piézométrique	1 200
- Un pluviomètre	1 200
3- Aménagement du périmètre irrigué	139 000
- Terrassement	5 200
- Tête des puits et équipements de ligne de refoulement	10 700
- Tuyaux PVC	6 750
- Tuyaux PE	11 220
- Rampe PE16	17 830
- Station d'injection de fertilisant	1 200
- Vannes en PVC	1 100
- Accessoires et pièces spéciales	1 400
- Equipements hydro-électromécaniques	58 900
- Aménagements internes	1 840
- Génie civil	23 140
Total (1000FCFA)	241 000

7.4 COUT D'ENTRETIEN :

Les frais d'entretien sont établis en pourcentage des investissements en fonction des paramètres suivants :

Tableau 7-2 : Coût d'entretien

Désignation	Durée de vie (ans)	Frais annuels d'entretien	Coût d'entretien annuel
Terrassement	15	2,5 %	326
Génie civil	15	1%	301
Tuyauterie PEHD	30	1%	631
Tuyauterie PVC	30	3%	203
Tubage	20	3%	558
Equipements PVC	15	3%	894
Equipements hydro électromécaniques	15	5%	4 445
Total (1000 FCFA)			7 465

Les frais annuels d'entretien, sont estimés à environ **7,5 millions Francs CFA/an.**

7.5 COUT DE RENOUELEMENT :

Le coût de renouvellement couvre les types des travaux suivants :

- Equipements de ligne de refoulement des forages et des puits ;
- Les pièces spéciales et les accessoires ;
- Les groupes électropompes y compris sonde ;

- Les instruments de mesure (pluviomètre et sonde de lecture piézométrique) ;
- La rampe d'irrigation ;
- La station d'injection de fertilisant.

Le cout total estimé de renouvellement de ces équipements est de l'ordre de **42 450 000 FCFA**.

7.6 INDICATEURS DE RENTABILITE

La rentabilité financière du projet sera évaluée à travers le calcul d'indicateurs financiers suivants :

- Valeur Actualisée nette (VAN) pour différents taux d'actualisation (5% et 10%),
- Le coût marginal à long terme (CMLT) d'un mètre cube d'eau mobilisé,
- Taux de Rentabilité Interne (TRI).

7.7 RESULTATS

Les résultats du calcul des indicateurs de rentabilité sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 7-3 : Calcul du TRI

Année	Coûts du projet (1000 FCFA)			Avantages (1000 FCFA)		Calcul TRI		
	Investissement	Renouvellement	Entretien & Gestion (3%)	AEPS	Périmètre irrigué	Coût net global	Bénéfice net global	Cash-Flow
0	241 000	-	-	0	0	241 000	0	- 241 000
1	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
2	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
3	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
4	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
5	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
6	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
7	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
8	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
9	-	42 450	7 500	23 275	10 000	49 950	33 275	- 16 675
10	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
11	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
12	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
13	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
14	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
15	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
16	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
17	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
18	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
19	-	42 450	7 500	23 275	10 000	49 950	33 275	- 16 675
20	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
21	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
22	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
23	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
24	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
25	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
26	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
27	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
28	-	-	7 500	23 275	10 000	7 500	33 275	25 775
29	-	42 450	7 500	23 275	10 000	49 950	33 275	- 16 675

Total	241 000	127 350	217 500			585 850		
							TRI	9%

Tableau 7-4 : Calcul du VAN

Année	Coûts actualisés (1000 FCFA)		Avantages actualisés (1000 FCFA)		Calcul VAN	
	5%	10%	5%	10%	5%	10%
0	241 000	241 000	0	0	- 241 000	- 241 000
1	7 143	6 818	31 690	30 250	24 548	23 432
2	6 803	6 198	30 181	27 500	23 379	21 302
3	6 479	5 635	28 744	25 000	22 265	19 365
4	6 170	5 123	27 375	22 727	21 205	17 605
5	5 876	4 657	26 072	20 661	20 195	16 004
6	5 597	4 234	24 830	18 783	19 234	14 549
7	5 330	3 849	23 648	17 075	18 318	13 227
8	5 076	3 499	22 522	15 523	17 446	12 024
9	32 198	21 184	21 449	14 112	-10 749	-7 072
10	4 604	2 892	20 428	12 829	15 824	9 937
11	4 385	2 629	19 455	11 663	15 070	9 034
12	4 176	2 390	18 529	10 602	14 352	8 213
13	3 977	2 172	17 646	9 639	13 669	7 466
14	3 788	1 975	16 806	8 762	13 018	6 787
15	3 608	1 795	16 006	7 966	12 398	6 170
16	3 436	1 632	15 244	7 242	11 808	5 609
17	3 272	1 484	14 518	6 583	11 246	5 099
18	3 116	1 349	13 826	5 985	10 710	4 636
19	19 767	8 167	13 168	5 441	-6 599	-2 726
20	2 827	1 115	12 541	4 946	9 714	3 831
21	2 692	1 013	11 944	4 496	9 252	3 483
22	2 564	921	11 375	4 088	8 811	3 166
23	2 442	838	10 833	3 716	8 392	2 879
24	2 326	761	10 318	3 378	7 992	2 617
25	2 215	692	9 826	3 071	7 611	2 379
26	2 109	629	9 358	2 792	7 249	2 163
27	2 009	572	8 913	2 538	6 904	1 966
28	1 913	520	8 488	2 307	6 575	1 787
29	12 135	3 149	8 084	2 098	-4 051	-1 051
Total	409 034	338 892	503 819	311 774	94 786	- 27 118

Tableau 7-5 : Calcul du CMLT

Année	Coûts actualisés (1000 FCFA)		Volume d'eau mobilisé (m³)	Volumes d'eau actualisés		CMLT du m³ d'eau mobilisé	
	5%	10%		5%	10%	5%	10%
0	241 000	241 000	0	0	0		
1	7 143	6 818	100 000	95 238	90 909		
2	6 803	6 198	100 000	90 703	82 645		
3	6 479	5 635	100 000	86 384	75 131		
4	6 170	5 123	100 000	82 270	68 301		
5	5 876	4 657	100 000	78 353	62 092		
6	5 597	4 234	100 000	74 622	56 447		

7	5 330	3 849	100 000	71 068	51 316		
8	5 076	3 499	100 000	67 684	46 651		
9	32 198	21 184	100 000	64 461	42 410		
10	4 604	2 892	100 000	61 391	38 554		
11	4 385	2 629	100 000	58 468	35 049		
12	4 176	2 390	100 000	55 684	31 863		
13	3 977	2 172	100 000	53 032	28 966		
14	3 788	1 975	100 000	50 507	26 333		
15	3 608	1 795	100 000	48 102	23 939		
16	3 436	1 632	100 000	45 811	21 763		
17	3 272	1 484	100 000	43 630	19 784		
18	3 116	1 349	100 000	41 552	17 986		
19	19 767	8 167	100 000	39 573	16 351		
20	2 827	1 115	100 000	37 689	14 864		
21	2 692	1 013	100 000	35 894	13 513		
22	2 564	921	100 000	34 185	12 285		
23	2 442	838	100 000	32 557	11 168		
24	2 326	761	100 000	31 007	10 153		
25	2 215	692	100 000	29 530	9 230		
26	2 109	629	100 000	28 124	8 391		
27	2 009	572	100 000	26 785	7 628		
28	1 913	520	100 000	25 509	6 934		
29	12 135	3 149	100 000	24 295	6 304		
Total	409 034	338 892	2 900 000	1 514 107	936 961	270	362

Avec un TRI de 9%, le projet de réhabilitation des infrastructures existantes et de l'aménagement d'un périmètre irrigué de 5 ha est considéré rentable sur le plan financier.

8 ANNEXES

8.1 ANNEXE 1 : RESULTATS DES SIMULATIONS DE LA NAPPE

❖ Bilan annuel du barrage de Naré

```
*****
PMWBLF (SUBREGIONAL WATER BUDGET) RUN RECORD
FLOWS ARE CONSIDERED "IN" IF THEY ENTER THE MODEL OR A SUBREGION
THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/T]
*****
```

```
*****
*                               TIME STEP    1 OF STRESS PERIOD    1                               *
*****
```

```
=====
WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:
=====
```

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	2.9963426E-02	-2.9963426E-02
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	2.0457095E-02	-2.0457095E-02
RECHARGE	5.0272567E-02	0.0000000E+00	5.0272569E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
SUM	5.0272569E-02	5.0420523E-02	-1.4795363E-04
DISCREPANCY [%]	-0.29		

❖ Bilan annuel du barrage de la Naré- Régime transitoire – sans exploitation

PMWBLF (SUBREGIONAL WATER BUDGET) RUN RECORD
 FLOWS ARE CONSIDERED "IN" IF THEY ENTER THE MODEL OR A SUBREGION
 THE UNIT OF THE FLOWS IS [L³/T]

Time series data are saved in the WATERBDG.CSV file located in the model's folder. You can open the file with a text editor, MS Excel, or similar spreadsheet applications.

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 1 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.0215345E-02	3.2879179E-02	-2.2663834E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	1.1592289E-03	-1.1592289E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	3.2350979E-03	-3.2350980E-03
RECHARGE	2.6775150E-02	0.0000000E+00	2.6775150E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM 3.6990497E-02 3.7273508E-02 -2.8301030E-04

DISCREPANCY [%] -0.76

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 2 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	1.5636979E-01	-1.5636979E-01
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	1.4673711E-03	-1.4673711E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	1.9124607E-02	-1.9124607E-02
RECHARGE	1.7702492E-01	0.0000000E+00	1.7702492E-01
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

 SUM 1.7702492E-01 1.7696178E-01 6.3136220E-05
 DISCREPANCY [%] 0.04

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 3 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	1.6494196E-01	-1.6494197E-01
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	2.6190195E-03	-2.6190195E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	2.2158313E-02	-2.2158314E-02
RECHARGE	1.8959287E-01	0.0000000E+00	1.8959287E-01
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

 SUM 1.8959287E-01 1.8971929E-01 -1.2642145E-04
 DISCREPANCY [%] -0.07

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 4 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	2.3451045E-05	7.6784092E-02	-7.6760642E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	3.5680865E-03	-3.5680865E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	1.4169845E-02	-1.4169846E-02
RECHARGE	9.4454571E-02	0.0000000E+00	9.4454572E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

 SUM 9.4478019E-02 9.4522022E-02 -4.4003129E-05
 DISCREPANCY [%] -0.05

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 5 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	1.3831576E-01	-1.3831577E-01
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	4.2342339E-03	-4.2342339E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	2.0338994E-02	-2.0338994E-02
RECHARGE	1.6280019E-01	0.0000000E+00	1.6280019E-01
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.6280019E-01	1.6288899E-01	-8.8796020E-05
DISCREPANCY [%]	-0.05		

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 6 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.5419615E-02	7.6079373E-03	7.8116772E-03
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	6.0133077E-03	-6.0133077E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	1.8738627E-03	-1.8738627E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.5419615E-02	1.5495108E-02	-7.5493008E-05
DISCREPANCY [%]	0.22		

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 7 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.6005723E-02	7.8357654E-03	8.1699584E-03
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	6.0267586E-03	-6.0267588E-03

WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	2.3144628E-03	-2.3144628E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.6005723E-02	1.6176987E-02	-1.7126463E-04
DISCREPANCY [%]	-1.06		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 8 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.4888004E-02	3.4882207E-03	1.1399784E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	4.3087692E-03	-4.3087695E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	7.2117514E-03	-7.2117513E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.4888004E-02	1.5008741E-02	-1.2073666E-04
DISCREPANCY [%]	-0.81		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 9 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.2713670E-02	9.9248790E-04	1.1721183E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	3.6705004E-03	-3.6705004E-03
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	8.1574309E-03	-8.1574311E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

```

INTERBED STORAGE  0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE   0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
-----
SUM 1.2713670E-02  1.2820419E-02 -1.0674912E-04
DISCREPANCY [%] -0.84

```

```

*****
*                TIME STEP      1 OF STRESS PERIOD      10                *
*****

```

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

```

FLOW TERM          IN              OUT              IN-OUT
STORAGE  1.2945868E-02  3.4343631E-05  1.2911525E-02
CONSTANT HEAD  0.0000000E+00  2.9365805E-03 -2.9365805E-03
WELLS      0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
DRAINS     0.0000000E+00  1.0076083E-02 -1.0076083E-02
RECHARGE   0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
ET         0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
INTERBED STORAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
-----
SUM 1.2945868E-02  1.3047007E-02 -1.0113884E-04
DISCREPANCY [%] -0.78

```

```

*****
*                TIME STEP      1 OF STRESS PERIOD      11                *
*****

```

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

```

FLOW TERM          IN              OUT              IN-OUT
STORAGE  1.7698394E-02  0.0000000E+00  1.7698394E-02
CONSTANT HEAD  0.0000000E+00  8.6370832E-04 -8.6370832E-04
WELLS      0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
DRAINS     0.0000000E+00  1.6876756E-02 -1.6876755E-02
RECHARGE   0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
ET         0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
INTERBED STORAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE 0.0000000E+00  0.0000000E+00  0.0000000E+00
-----
SUM 1.7698394E-02  1.7740464E-02 -4.2069703E-05
DISCREPANCY [%] -0.24

```

```

*****

```

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 12 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	2.0502751E-02	0.0000000E+00	2.0502752E-02
CONSTANT HEAD	7.0310620E-04	0.0000000E+00	7.0310617E-04
WELLS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
DRAINS	0.0000000E+00	2.1292200E-02	-2.1292200E-02
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
SUM	2.1205857E-02	2.1292200E-02	-8.6342916E-05
DISCREPANCY [%]	-0.41		

❖ **Annexe 3 : Bilan annuel du barrage de la Naré- Régime transitoire SC1**

PMWBFLF (SUBREGIONAL WATER BUDGET) RUN RECORD
 FLOWS ARE CONSIDERED "IN" IF THEY ENTER THE MODEL OR A SUBREGION
 THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/T]

Time series data are saved in the WATERBDG.CSV file located in the model's folder. You can open the file with a text editor, MS Excel, or similar spreadsheet applications.

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 1 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.9532875E-02	1.1275101E-02	8.2577746E-03
CONSTANT HEAD	5.6367647E-04	0.0000000E+00	5.6367647E-04
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	1.4881836E-04	-1.4881836E-04
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM 2.0096552E-02 2.0673919E-02 -5.7736784E-04

DISCREPANCY [%] -2.83

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 2 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	4.0308749E-03	1.4706979E-02	-1.0676105E-02
CONSTANT HEAD	1.0353412E-03	0.0000000E+00	1.0353413E-03
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	3.7221688E-03	-3.7221687E-03
RECHARGE	2.2527380E-02	0.0000000E+00	2.2527380E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	2.7593596E-02	2.7679147E-02	-8.5551292E-05
DISCREPANCY [%]	-0.31		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 3 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	7.0511189E-02	-7.0511192E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	1.2132004E-04	-1.2132004E-04
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	6.6198377E-03	-6.6198376E-03
RECHARGE	8.6424363E-02	0.0000000E+00	8.6424366E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	8.6424366E-02	8.6502343E-02	-7.7977777E-05
DISCREPANCY [%]	-0.09		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 4 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	1.1184734E-01	-1.1184734E-01
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	2.6367438E-04	-2.6367439E-04
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	1.3920315E-02	-1.3920315E-02
RECHARGE	1.3536996E-01	0.0000000E+00	1.3536996E-01
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.3536996E-01	1.3528134E-01	8.8617206E-05
DISCREPANCY [%]	0.07		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 5 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	5.1153155E-03	1.4039143E-02	-8.9238267E-03
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	3.2858673E-04	-3.2858673E-04
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	6.2225323E-03	-6.2225321E-03
RECHARGE	2.4503074E-02	0.0000000E+00	2.4503075E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	2.9618390E-02	2.9840263E-02	-2.2187270E-04
DISCREPANCY [%]	-0.75		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 6 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.4191410E-02	1.4422416E-03	1.2749168E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	2.7464189E-04	-2.7464190E-04
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	3.2553545E-03	-3.2553545E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.4191411E-02	1.4222238E-02	-3.0827709E-05
DISCREPANCY [%]	-0.22		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 7 *

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.2694803E-02	1.7316254E-04	1.2521640E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	5.4240485E-05	-5.4240485E-05
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	3.3033190E-03	-3.3033190E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.2694803E-02	1.2780722E-02	-8.5919164E-05
DISCREPANCY [%]	-0.67		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 8 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.2467037E-02	0.0000000E+00	1.2467037E-02
CONSTANT HEAD	1.6227852E-04	0.0000000E+00	1.6227852E-04
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	3.5198530E-03	-3.5198531E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.2629315E-02	1.2769853E-02	-1.4053751E-04
DISCREPANCY [%]	-1.11		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 9 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.2765494E-02	0.0000000E+00	1.2765494E-02
CONSTANT HEAD	4.8056729E-04	0.0000000E+00	4.8056728E-04

WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	4.1429804E-03	-4.1429806E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.3246061E-02	1.3392980E-02	-1.4691893E-04
DISCREPANCY [%]	-1.10		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 10 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.3725910E-02	0.0000000E+00	1.3725909E-02
CONSTANT HEAD	1.0028535E-03	0.0000000E+00	1.0028535E-03
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	5.5125025E-03	-5.5125025E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.4728763E-02	1.4762502E-02	-3.3739023E-05
DISCREPANCY [%]	-0.23		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 11 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.4463004E-02	0.0000000E+00	1.4463005E-02
CONSTANT HEAD	1.5280320E-03	0.0000000E+00	1.5280320E-03
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	6.8726432E-03	-6.8726433E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.5991036E-02	1.6122643E-02	-1.3160706E-04
DISCREPANCY [%]	-0.82		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 12 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.8016193E-02	0.0000000E+00	1.8016193E-02
CONSTANT HEAD	3.0817930E-03	0.0000000E+00	3.0817930E-03
WELLS	0.0000000E+00	9.2500000E-03	-9.2500001E-03
DRAINS	0.0000000E+00	1.1997633E-02	-1.1997634E-02
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	2.1097986E-02	2.1247633E-02	-1.4964677E-04
DISCREPANCY [%]	-0.71		

❖ Annexe 4 : Bilan annuel du barrage de la Naré- Régime transitoire SC2

PMWBLF (SUBREGIONAL WATER BUDGET) RUN RECORD
 FLOWS ARE CONSIDERED "IN" IF THEY ENTER THE MODEL OR A SUBREGION
 THE UNIT OF THE FLOWS IS [L^3/T]

Time series data are saved in the WATERBDG.CSV file located in the model's folder. You can open the file with a text editor, MS Excel, or similar spreadsheet applications.

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 1 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.3973965E-02	1.8042987E-02	-4.0690219E-03
CONSTANT HEAD	2.1103845E-03	0.0000000E+00	2.1103844E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	1.4708308E-04	-1.4708308E-04
RECHARGE	2.0479577E-02	0.0000000E+00	2.0479577E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM 3.6563925E-02 3.6690071E-02 -1.2614578E-04

DISCREPANCY [%] -0.34

* TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 2 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.2923171E-03	2.8617325E-02	-2.7325008E-02
CONSTANT HEAD	1.9573548E-03	0.0000000E+00	1.9573548E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	1.7864688E-03	-1.7864688E-03
RECHARGE	4.5459638E-02	0.0000000E+00	4.5459639E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	4.8709311E-02	4.8903793E-02	-1.9448251E-04
DISCREPANCY [%]	-0.40		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 3 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	5.4621263E-02	-5.4621264E-02
CONSTANT HEAD	1.5756852E-03	0.0000000E+00	1.5756851E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	4.4890948E-03	-4.4890950E-03
RECHARGE	7.5850272E-02	0.0000000E+00	7.5850271E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	7.7425957E-02	7.7610359E-02	-1.8440187E-04
DISCREPANCY [%]	-0.24		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 4 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	7.5549646E-02	-7.5549647E-02
CONSTANT HEAD	6.7839431E-04	0.0000000E+00	6.7839434E-04
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	5.2973485E-03	-5.2973484E-03
RECHARGE	9.8605310E-02	0.0000000E+00	9.8605312E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	9.9283703E-02	9.9346995E-02	-6.3292682E-05
DISCREPANCY [%]	-0.06		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 5 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	0.0000000E+00	4.2921076E-02	-4.2921077E-02
CONSTANT HEAD	0.0000000E+00	2.3208553E-04	-2.3208553E-04
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	1.3419451E-03	-1.3419450E-03
RECHARGE	6.2702937E-02	0.0000000E+00	6.2702939E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	6.2702939E-02	6.2995106E-02	-2.9216707E-04
DISCREPANCY [%]	-0.46		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 6 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	8.1391357E-03	5.4038870E-03	2.7352485E-03
CONSTANT HEAD	1.0576730E-03	0.0000000E+00	1.0576730E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	2.8736377E-03	-2.8736377E-03
RECHARGE	1.7445546E-02	0.0000000E+00	1.7445546E-02
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	2.6642354E-02	2.6777525E-02	-1.3517030E-04
DISCREPANCY [%]	-0.51		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 7 *

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.7868206E-02	1.1633650E-04	1.7751869E-02
CONSTANT HEAD	1.1051663E-03	0.0000000E+00	1.1051663E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	4.4574666E-04	-4.4574664E-04
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.8973373E-02	1.9062083E-02	-8.8710338E-05
DISCREPANCY [%]	-0.47		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 8 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.7962910E-02	0.0000000E+00	1.7962910E-02
CONSTANT HEAD	1.5322200E-03	0.0000000E+00	1.5322200E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	1.0230119E-03	-1.0230120E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.9495130E-02	1.9523012E-02	-2.7881935E-05
DISCREPANCY [%]	-0.14		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 9 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	1.7577713E-02	0.0000000E+00	1.7577713E-02
CONSTANT HEAD	1.6486780E-03	0.0000000E+00	1.6486780E-03

WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	8.6538011E-04	-8.6538011E-04
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	1.9226391E-02	1.9365380E-02	-1.3898872E-04
DISCREPANCY [%]	-0.72		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 10 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	2.0343799E-02	0.0000000E+00	2.0343799E-02
CONSTANT HEAD	2.8914433E-03	0.0000000E+00	2.8914432E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	4.7311736E-03	-4.7311736E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	2.3235241E-02	2.3231173E-02	4.0680170E-06
DISCREPANCY [%]	0.02		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 11 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	2.2029418E-02	0.0000000E+00	2.2029418E-02
CONSTANT HEAD	3.9392503E-03	0.0000000E+00	3.9392505E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	7.5867255E-03	-7.5867255E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	2.5968669E-02	2.6086725E-02	-1.1805631E-04
DISCREPANCY [%]	-0.45		

 * TIME STEP 1 OF STRESS PERIOD 12 *

=====

WATER BUDGET OF THE WHOLE MODEL DOMAIN:

=====

FLOW TERM	IN	OUT	IN-OUT
STORAGE	2.3239616E-02	0.0000000E+00	2.3239616E-02
CONSTANT HEAD	4.7793561E-03	0.0000000E+00	4.7793561E-03
WELLS	0.0000000E+00	1.8500000E-02	-1.8500000E-02
DRAINS	0.0000000E+00	9.7055929E-03	-9.7055929E-03
RECHARGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
ET	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RIVER LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
HEAD DEP BOUNDS	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
STREAM LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
INTERBED STORAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00
RESERV. LEAKAGE	0.0000000E+00	0.0000000E+00	0.0000000E+00

SUM	2.8018972E-02	2.8205592E-02	-1.8662028E-04
DISCREPANCY [%]	-0.66		

8.2 ANNEXE 2 : PLAN D'IMPLANTATION DES INSTALLATIONS EXISTANTES ET DES NOUVELLES INFRASTRUCTURES

8.3 ANNEXE 3 : CARACTERISTIQUES GEOPHYSIQUES DES SITES PROPOSES POUR LE FORAGE

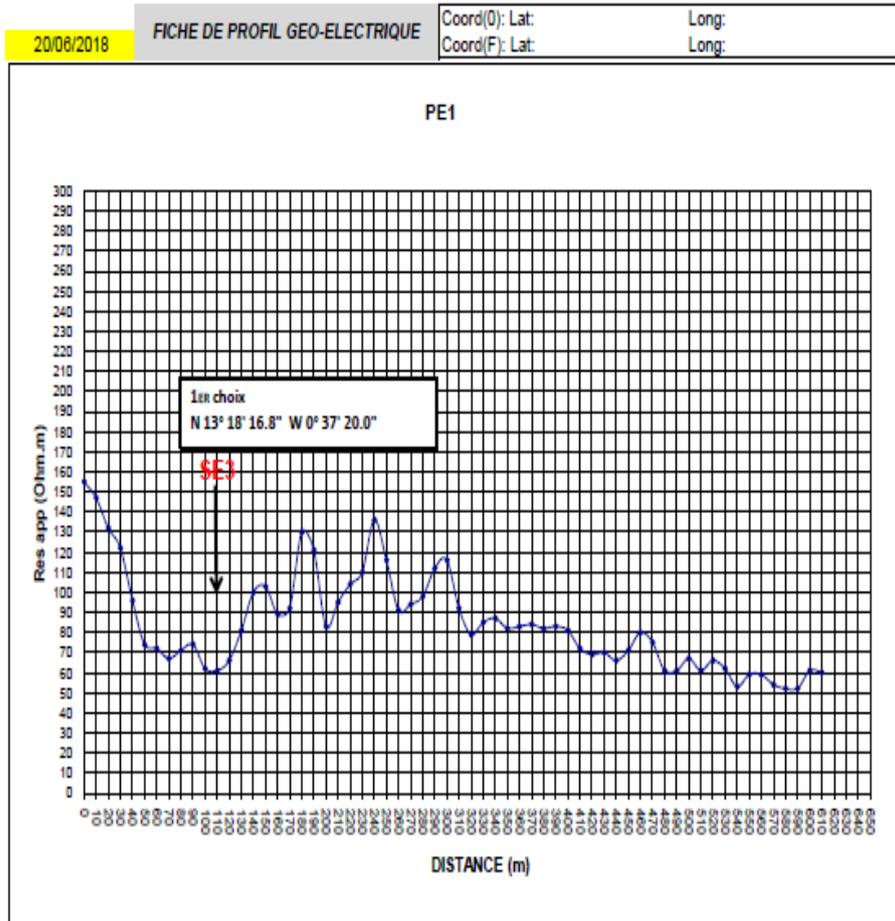
ETUDE GEOPHYSIQUE SUR LE SITE DE NARE

CADRE INSTITUTIONNEL		IDENTIFICATION DE LA LOCALITE	
Maitre d'ouvrage :	MEA	Région :	CENTRE NORD
Maitre d'Ouvrage Délégué :	DGIH	Province :	NAMENTENGA
Groupement Bureau d'Etudes :	STUDI_BERA	Commune :	TOUGOURI
Financement :	BAD	Village :	NARE
		Quartier :	

AB = 100 m	20/08/2018	FICHE DE PROFIL GEO-ELECTRIQUE	Coord(O): Lat:	Long:
MN = 20 m			Coord(F): Lat:	Long:
K = 377				

PE: 1 Azimut: 272°

Pas	Res _{app} (Ohm.m)
0	155.00
10	147.00
20	132.00
30	122.00
40	96.00
50	74.00
60	72.00
70	67.00
80	71.00
90	74.00
100	62.00
110	61.00
120	66.00
130	81.00
140	100.00
150	103.00
160	89.00
170	92.00
180	130.00
190	121.00
200	83.00
210	95.00
220	104.00
230	110.00
240	136.00
250	116.00
260	91.00
270	94.00
280	98.00

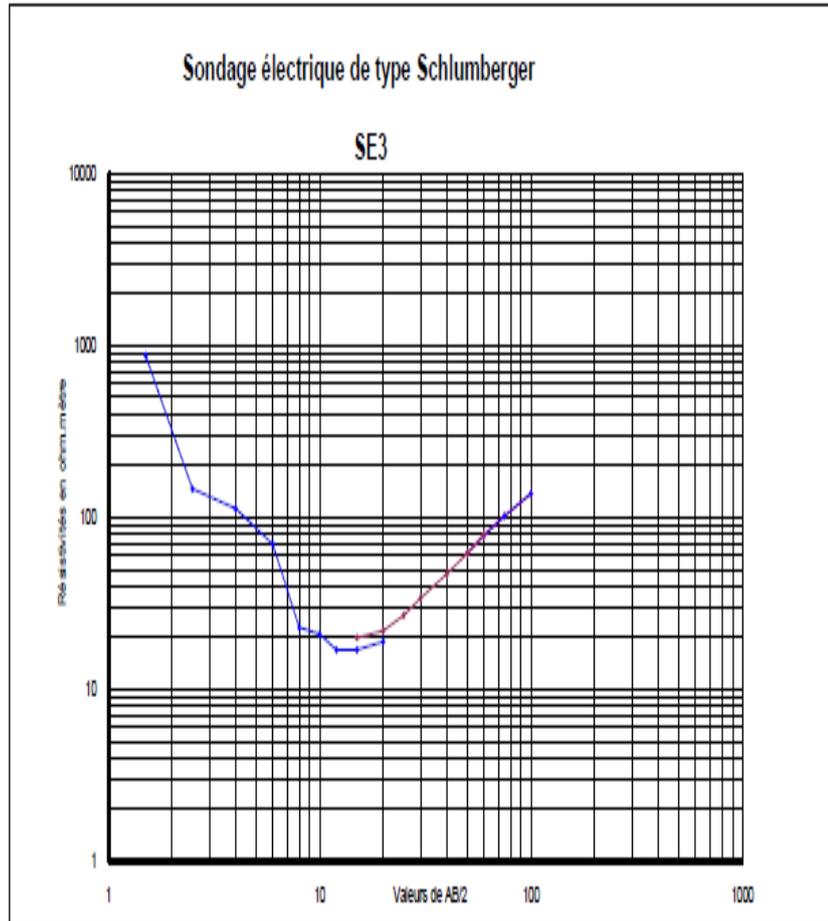


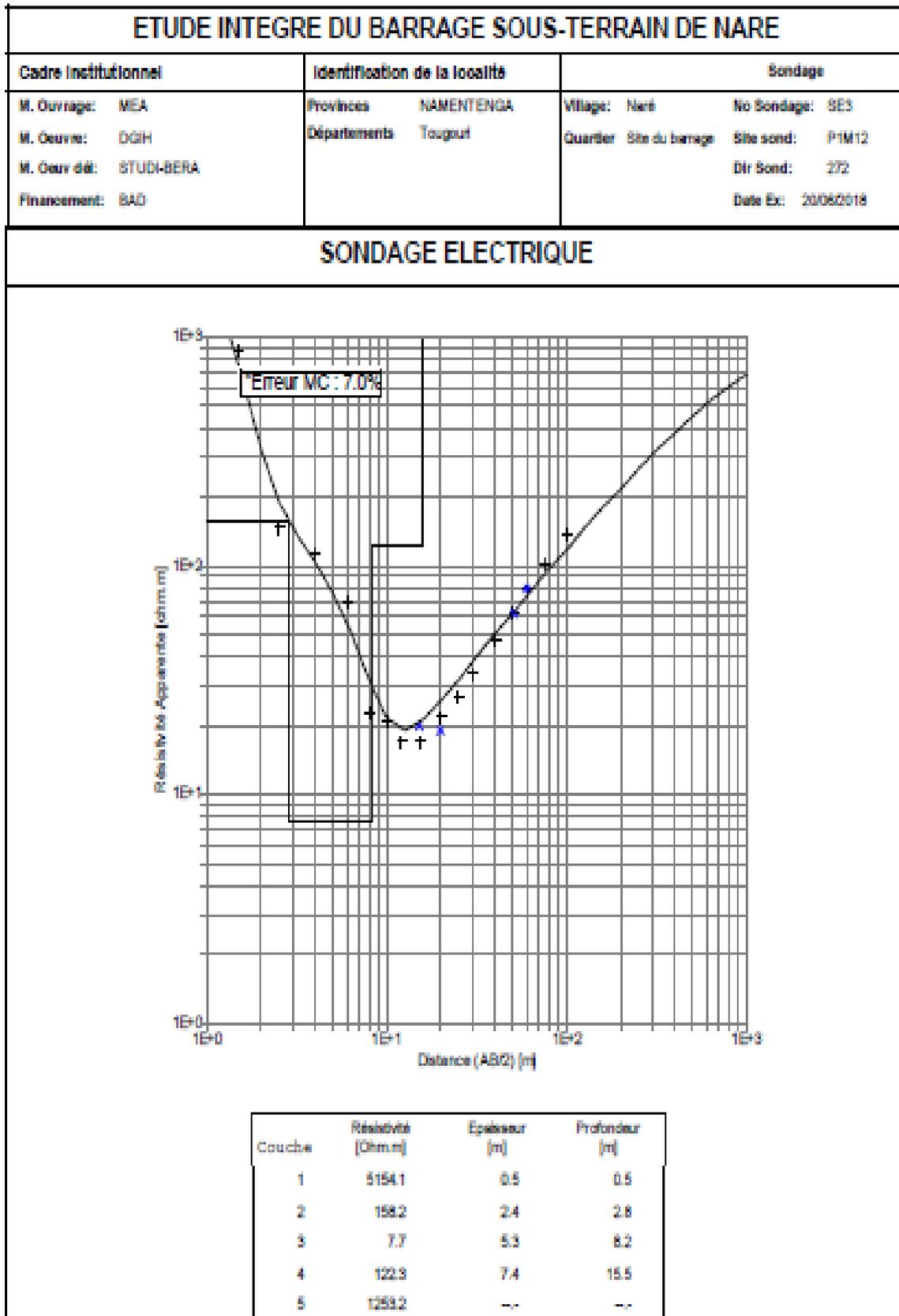
01/03/2019

FICHE DE SONDAGE GEO-ELECTRIQUE

Réf. Sondage: SE3 / PE1 / PT12/272°
 Coordonnées: Latitude N : 13° 18' 16.8"
 Longitude W : 00° 37' 20.0"

AB/2	K	Res _{app}		
1.5	6.28	878		
2.5	19	147		
4.0	50	113		
6	112	70		
8	200	23		
10	313	21		
12	452	17		
15	706	63	17	20
20	1256	118	19	22
25		188		27
30		275		34
40		495		47
50	778	377	62	62
60	1123	550	79	80
75	867		102	
100	1554		138	
125	2437			
150	3517			
175	4792			
200	6264			





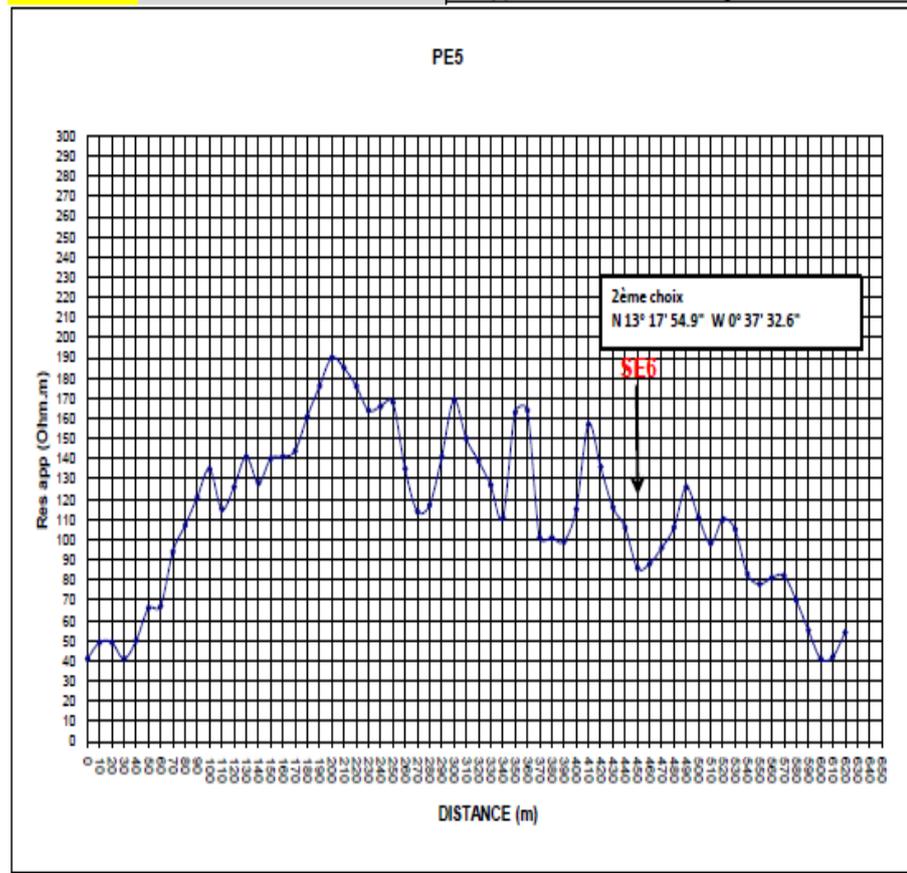
ETUDE GEOPHYSIQUE SUR LE SITE DE NARE

CADRE INSTITUTIONNEL	IDENTIFICATION DE LA LOCALITE	
Maitre d'ouvrage : MEA	Région : CENTRE NORD	Village : NARE
Maitre d'Ouvrage Délégué : DGIH	Province : NAMENTENGA	Quartier:
Groupement Bureau d'Etudes : STUDI_BERA	Commune : TOUGOURI	
Financement : BAD		

22/08/2018	FICHE DE PROFIL GEO-ELECTRIQUE	Coord(O): Lat: Long:	
		Coord(F): Lat: Long:	

AB	=	100 m
MN	=	20 m
K	=	377

PE: 5 Azimut: 265°	
Pas	Res _{app} (Ohm.m)
0	41.00
10	49.00
20	49.00
30	41.00
40	50.00
50	66.00
60	67.00
70	94.00
80	107.00
90	121.00
100	135.00
110	115.00
120	126.00
130	141.00
140	128.00
150	140.00
160	141.00
170	144.00
180	161.00
190	176.00
200	190.00
210	185.00
220	176.00
230	164.00
240	166.00
250	168.00
260	135.00
270	114.00
280	117.00



FICHE DE SONDAGE GEO-ELECTRIQUE

Réf. Sondage: SE26 / PE5 / PT46/265°
 Coordonnées: Latitude N : 13° 17' 54.9"
 Longitude W : 00° 37' 32.6"

22/06/2018

AB/2	K	Res _{app}	
1.5	6.28	48	
2.5	19	37	
4.0	50	38	
6	112	40	
8	200	41	
10	313	51	
12	452	58	
15	706	63	66
20	1256	118	70
25		188	69
30		275	77
40		495	83
50	778	377	88
60	1123	550	100
75	867		108
100	1554		136
125	2437		
150	3517		
175	4792		
200	6264		

