



REPUBLIQUE DU NIGER  
MINISTERE DE L'AGRICULTURE  
DIRECTION GENERALE DU GENIE RURAL

## ETUDE DE L'APD DU BARRAGE DE DENDIRE, REGION DE TILLABERI AU NIGER

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT  
OPTION : GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

...

Présenté et soutenu publiquement le 06 août 2018 par :

**Mahamat Djamal Mabrouka**

**Travaux dirigés par :**

**M. Moussa LO**

Enseignant GCH à 2iE

Et

**M. Idrissa Younoussa**

Ingénieur-concepteur à DGGR/Niger

Jury d'évaluation du stage :

Président : Pr Hamma YACOUBA

Membres et correcteurs : Dr Abdou LAWANE

M. Moussa FAYE

M. Moussa LO

Promotion 2014/2015 - janvier 2016

## **CITATIONS**

*« It is our responsibility to do something about climate change »*

*B. OBAMA*

*« Les barrages, de part leur importance, ont changé les paysages, les écosystèmes mais aussi et surtout les caractéristiques socio-économiques locales »*

*UICN/IRAM/IIED, 2011*

## **REMERCIEMENTS**

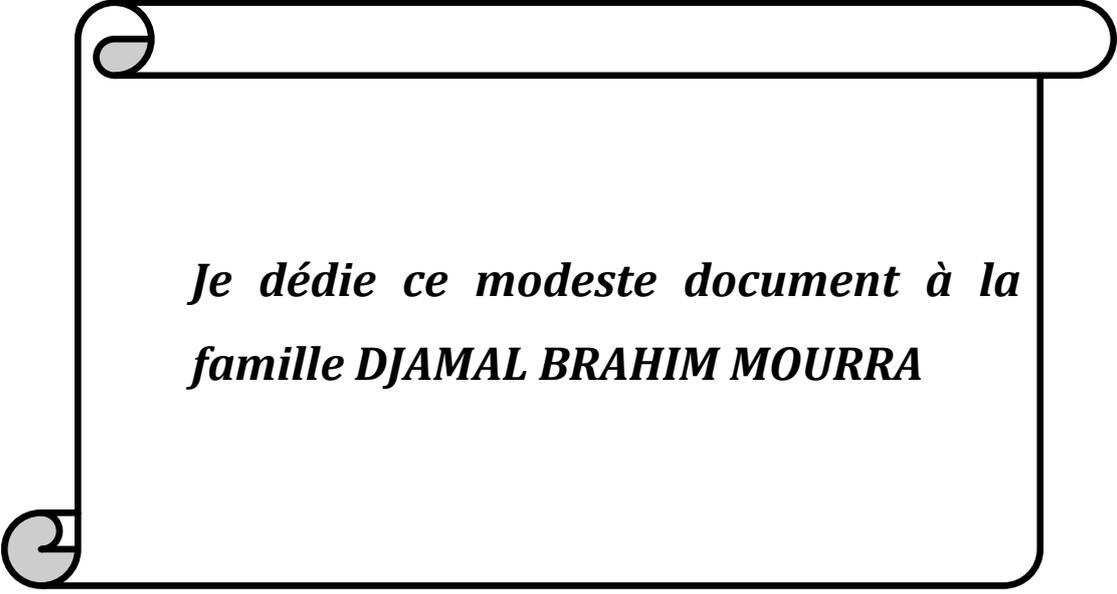
Nous remercions tout d'abord Allah pour sa miséricorde et ses bénédictions infinies qui couvrent tous nos œuvres.

Nos sincères remerciements vont à l'endroit de :

- Mes encadreurs Dr. Gueye Ismaila, M. Moussa LO et Mr Idrissa Younoussa qui n'ont ménagé aucun effort et ont été toujours disponibles ;
- du personnel de la Direction Général du Génie Rural de Niamey pour m'avoir acceptée et encadrée ;
- La famille MAHAMANE SANI pour leur accueil et leur soutien ;
- Le corps professoral de la Fondation 2ie
- La famille Khandahar ;

Nous ne saurions terminer remerciement sans évoquer mes amis et camarades de promotion pour leur aide et conseil durant notre cursus.

## **DEDICACE**



*Je dédie ce modeste document à la  
famille DJAMAL BRAHIM MOURRA*

## **RESUME**

Le présent projet de fin de cycle de Master s'inscrit dans le cadre de la mobilisation des eaux de surface du Niger et traite de l'étude de conception d'un barrage à vocation agro-pastorale dans la commune d'Ouro Guéladjo, région de Tillabéri au Niger.

La cuvette du barrage se situe à l'exutoire de Dendiré du bassin versant de Goroubi d'une superficie de 14977 km<sup>2</sup>. La digue est naturelle formée par une chaîne de collines tout au long de la cuvette mais une partie d'environ 30 mètres est en remblai latéritique. Quant au déversoir, situé entre les deux collines est frontal, conçu en béton pour évacuer une crue de deux cent ans de 869,55 m<sup>3</sup>/s. il est calé à la cote de 206,3 m et ayant une longueur de 290 m. l'ouvrage de prise vidange est conçu pour un éventuel aménagement d'un périmètre à l'aval du barrage et est calé à la cote 203,4 m. les simulations ont permis d'estimer les superficies irrigables à 450 hectares.

La capacité de stockage du barrage est de 9 175 000 m<sup>3</sup> d'eau au PEN couvrant les besoins de 14737 personnes, 64 386 têtes de bétails (40l/jr/tête) et l'irrigation de 450 ha dont 200 ha de maraîchage en contre saison et 250 hectares de cultures vivrières (maïs et mil) en saison pluvieuse. Le choix des cultures est fait en tenant compte des habitudes des populations locales.

Le coût du projet s'élève à **1 913 912 500 F CFA** toutes taxes comprises (TTC).

### **Mots Clés :**

---

- 1 – Barrage**
- 2 – Irrigation**
- 3 – Maraîchage**
- 4 – Dendiré**
- 5 – Ouro Guéladjo**

## **ABSTRACT**

This final Master's degree project is part of the gathering Niger's surface waters and discusses the design study of a dam for agro-pastoral use in the town of Ouro Guéladjo region Tillabéri Niger.

The basin of the dam is located at the outlet of Dendiré at the catchment basin of Goroubi and has an area of 14 977 km<sup>2</sup>. The embankment consists of a natural hills chain throughout the basin but some 30 meters is in lateritic backfill. As for the spillway, located between the two hills, is frontal, concrete designed to drain off a twice-a-century flood of 869, 55 m<sup>3</sup> /s. It's propped up to 206,3 m and having a length of 290 m. the water intake structure is designed for a possible development of an area downstream of the dam and is propped up to 203.4 m . Simulations enabled to estimate the irrigable area to 450 hectares.

The dam's storage capacity is 9 175 000 m<sup>3</sup> of water at PEN (full water level) covering the needs of 14 737 people, 64 386 heads of cattle (40l / day / head) and the irrigation of 450 hectares including 200 hectares for truck farming in counter-season and 250 hectares for food-producing cultures (maize and millet) in the rainy season. Crop choice is made taking into account the habits of local people.

The project cost amounts to 1 913 912 500 FCFA including all taxes (TTC).

### **Key words:**

---

- 1 – Dam**
- 2 – Irrigation**
- 3 – Gardening**
- 4 – Dendiré**
- 5 – Ouro Guéladjo**

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

3N : « les Nigériens Nourrissent les Nigériens »

AHA : Aménagement Hydro Agricole

CIEH : Comité Interafricain des Etudes Hydrauliques

COFOCOM : Comité Foncier Communal

COFODEP : Comité Foncier Départemental

DGGR : Direction Générale du Génie Rural

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation

HCI3N : Haut Commissariat pour l'Initiative 3N

INSN : Institut National de la Statistique du Niger

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

ORSTOM : Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer

PBE : Plan des Basses Eaux

PDES : Plan de Développement Economique et Social

PEN : Plan d'Eau Normale

PGES : Plan de Gestion Economique et Social

PHE : Plan des Hautes Eaux

RGP/H : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

## Table des matières

|   |            |
|---|------------|
| <i>CITATIONS</i> .....                                  | <i>i</i>   |
| <i>REMERCIEMENTS</i> .....                              | <i>ii</i>  |
| <i>DÉDICACE</i> .....                                   | <i>iii</i> |
| <i>RÉSUMÉ</i> .....                                     | <i>iv</i>  |
| <i>ABSTRACT</i> .....                                   | <i>v</i>   |
| <i>LISTE DES ABREVIATIONS</i> .....                     | <i>vi</i>  |
| <i>LISTE DES TABLEAUX</i> .....                         | <i>4</i>   |
| <i>LISTE DES FIGURES</i> .....                          | <i>5</i>   |
| <b>I. INTRODUCTION</b> .....                            | <b>6</b>   |
| <i>I.1. Problématique et contexte</i> .....             | <i>6</i>   |
| <i>I.2. Objectifs de stage</i> .....                    | <i>7</i>   |
| <i>I.3. Méthodologie</i> .....                          | <i>8</i>   |
| <b>II. GENERALITE</b> .....                             | <b>10</b>  |
| <i>II.1. Localisation du site</i> .....                 | <i>10</i>  |
| <i>II.2. Climat – Sols – Végétation</i> .....           | <i>11</i>  |
| <i>II.3. Relief et hydrographie</i> .....               | <i>11</i>  |
| <i>II.4. Milieu sociodémographique</i> .....            | <i>11</i>  |
| <i>II.5. Activités et ressources économique</i> .....   | <i>12</i>  |
| <i>II.6. Ressource en eau disponible</i> .....          | <i>12</i>  |
| <b>III. études préliminaires</b> .....                  | <b>13</b>  |
| <i>III.1. analyse socio - agro - économique</i> .....   | <i>13</i>  |
| <i>III.2. Etudes géotechniques</i> .....                | <i>14</i>  |
| <i>III.3. Étude hydrologique</i> .....                  | <i>17</i>  |
| <i>III.3.1. Caractérisation du bassin versant</i> ..... | <i>17</i>  |

|   |    |
|---|----|
| <i>III.3.2. Prédétermination de la crue de projet</i> .....                       | 17 |
| <i>III.3.3. Apports en eau du bassin</i> .....                                    | 20 |
| <i>III.3.4. Dépôts solides</i> .....  | 20 |
| <i>III.4. Etude de la cuvette</i> .....   | 20 |
| <i>III.4.1. Laminage de crue</i> .....  | 20 |
| <i>III.4.2. Revanche libre</i> .....  | 21 |
| <i>III.4.3. Evaporation</i> .....   | 21 |
| <i>III.4.4. Infiltration</i> .....  | 21 |
| <i>III.4.5. Exploitation de la retenue</i> .....                                  | 21 |
| <i>III.4.6. Dimensionnement de la Digue et ses annexes</i> .....                  | 22 |
| <i>III.5. Etude de la stabilité</i> .....   | 24 |
| <i>III.6. Notice d'impacts environnemental</i> .....                              | 26 |
| <i>III.6.1. Activités générant des impacts négatifs sur l'environnement</i> ..... | 27 |
| <i>III.6.2. Composantes du Plan de Gestion Environnemental et Social</i> .....    | 27 |
| <i>IV. résultats de l'étude de conception de l'ouvrage</i> .....                  | 29 |
| <i>IV.1. Fiche synoptique du barrage de Dendire</i> .....                         | 29 |
| <i>IV.2. Etude hydrologique</i> .....   | 30 |
| <i>IV.2.1. Caractérisation du Bassin Versant</i> .....                            | 30 |
| <i>IV.2.2. Prédétermination de la crue de Projet</i> .....                        | 31 |
| <i>IV.2.3. Etude des apports</i> .....  | 33 |
| <i>IV.3. Étude de la retenue</i> .....  | 34 |
| <i>IV.3.1. Courbe hauteur-volume Hauteur-Surface</i> .....                        | 34 |
| <i>IV.3.2. Calage du Plan d'Eau</i> .....   | 35 |
| <i>IV.3.3. Lame d'eau déversante</i> .....  | 35 |
| <i>IV.3.4. Calage du Plan d'Eau Normal (PEN)</i> .....                            | 36 |
| <i>IV.3.5. Volume utile de la retenue</i> .....                                   | 36 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>IV.4. Étude de la digue et des ouvrages annexes .....</i> | <i>38</i> |
| <i>IV.4.1. Tranchée d'ancrage .....</i>                      | <i>39</i> |
| <i>IV.4.2. Infiltration à travers la digue.....</i>          | <i>39</i> |
| <i>IV.4.3. Tapis filtrant.....</i>                           | <i>39</i> |
| <i>IV.4.4. Protection de la digue.....</i>                   | <i>40</i> |
| <i>IV.4.5. Évacuateur de crue.....</i>                       | <i>40</i> |
| <i>IV.4.6. Bassin de dissipation .....</i>                   | <i>41</i> |
| <i>IV.4.7. Chenal d'évacuation.....</i>                      | <i>41</i> |
| <i>IV.4.8. Ouvrage de prise.....</i>                         | <i>42</i> |
| <i>IV.5. Stabilité de l'ouvrage.....</i>                     | <i>42</i> |
| <i>IV.6. Avant-métré et cout de l'ouvrage.....</i>           | <i>43</i> |
| <i>V. CONCLUSION.....</i>                                    | <i>44</i> |
| <i>VI. RECOMMANDATIONS – PERSPECTIVES .....</i>              | <i>45</i> |
| <i>BIBLIOGRAPHIE.....</i>                                    | <i>46</i> |
| <i>ANNEXES .....</i>   | <i>48</i> |

## LISTE DES TABLEAUX

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1: Effectif du cheptel .....                                      | 13 |
| Tableau 2: caractéristique géotechnique du lit mineur .....               | 15 |
| Tableau 3: Caractéristiques des matériaux pour béton .....                | 16 |
| Tableau 4: caractéristiques des matériaux pour digue .....                | 16 |
| Tableau 5 : choix de la période de retour (G. DEGOUTE, 1997).....         | 19 |
| Tableau 6 : Evaporation moyenne annuelle de 1984-2013 .....               | 21 |
| Tableau 7 : Coefficients culturaux des cultures .....                     | 22 |
| Tableau 8: Fiche synoptique du barrage de Dendiré.....                    | 29 |
| Tableau 9 : coordonnées du barrage de Dendiré .....                       | 30 |
| Tableau 10: caractéristiques du bassin versant du barrage de Dendiré..... | 30 |
| Tableau 11 : Apports en eau du bassin.....                                | 33 |
| Tableau 12: Caractéristiques du PEN.....                                  | 36 |
| Tableau 13: Caractéristiques de la Digue.....                             | 38 |
| Tableau 14: Caractéristiques de l'évacuateur .....                        | 40 |
| Tableau 15: Caractéristiques du Bassin de dissipation .....               | 41 |
| Tableau 16: Caractéristiques du chenal.....                               | 41 |
| Tableau 17: Récapitulatif de calcul de stabilité .....                    | 42 |
| Tableau 18: Récapitulatif de calcul de stabilité de la digue .....        | 43 |

## **LISTE DES FIGURES**

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : localisation de la Commune de Ouro-Guéladjo.....   | 10 |
| Figure 2: hydrogramme de crue .....                           | 33 |
| Figure 3 : Courbe hauteur-volume du barrage de Dendiré.....   | 34 |
| Figure 4 : courbe hauteur- surface du barrage de Dendiré..... | 35 |
| Figure 5: Courbe d'exploitation de la retenue .....           | 38 |

## **I. INTRODUCTION**

### **I.1. PROBLEMATIQUE ET CONTEXTE**

Le développement social et économique en Afrique subsaharienne demeure une situation préoccupante pour tous les Etats. En effet, les enjeux démographiques auxquels elle est confrontée, l'accroissement consécutif des besoins en eau et énergie, la menace d'une poursuite du cycle de sécheresse débuté en début d'années 1970 et les enjeux environnementaux (S.Chazot et al. 2012) y contribuent infiniment.

Aujourd'hui plus de cent millions d'habitants vivant dans le bassin du fleuve Niger dont les conditions de vie sont menacées par une forte réduction des écoulements du fleuve liée à la baisse des précipitation (Ahmed R. et Boubakar O. 2001) s dues aux changement climatiques. Ainsi assurer à l'ensemble des populations, une alimentation en eau de qualité et en quantité suffisante demeure une priorité du développement.

Pays enclavé, le Niger est l'un des plus vastes pays d'Afrique dont les trois-quarts (3/4) de sa superficie sont des zones arides. Il figure parmi les pays les plus pauvre et dont l'Indice de Développement Humain (IDH) du PNUD de 2012, le classe au 186<sup>e</sup> rang sur 187 (INSN, 2013). Il est aussi confronté à une dégradation accélérée de ses ressources naturelles impactant directement les moyens de subsistance de la population. Ceci constitue un problème majeur pour son essor socio-économique du moment où plus de 80% de la population est en zone rurale et leur principale activité économique est l'agriculture.

La sécheresse représente le principal risque au Niger dont il en a connu sept (7) entre 1980-2010, lesquelles ont nuis à la production agricole nationale. En effet, au cours des 12 dernières années, le Niger fait l'expérience de 4 années (2001, 2005, 2010, 2012) de graves insécurité alimentaires qui l'ont amené à faire appel à l'aide humanitaire internationale et à l'aide alimentaire.

Afin d'atteindre les objectifs en matière de sécurité alimentaire et développement agricole durable, le Gouvernement nigérien avec l'appui de ses partenaires a adopté la Stratégie de la Réduction de la pauvreté (SRP) depuis 2001 lors de la 3<sup>e</sup> Conférence des Nations Unies et le Plan de Développement Economique et Social couvrant la période de 2012-2015 (INSN, 2013). L'un des axes du PDES est l'Initiative 3N qui vise à la lutte contre la famine et

l'autosuffisance alimentaire par la réalisation des ouvrages de mobilisation des ressources en eau et leur exploitation rationnelle et des aménagements hydro-agricoles (HCI3N, 2012). De ce fait, la production agricole s'accroîtra autour des ouvrages à travers les périmètres aménagés en aval et permettra l'augmentation des revenus des populations et la réduction de la migration des jeunes (main d'œuvre valide et abondante) vers d'autres contrées. Ceci contribue de manière significative à la réduction de la pauvreté en milieu rural (YONABA, 2012).

C'est dans cette optique que le ministère de l'Agriculture à travers la Direction Générale du Génie Rural (DGGR) a lancé les travaux d'étude de huit barrages dans trois régions (Tillabéri, Tahoua et Agades) pour l'accroissement des productions sous irrigation. En ce qui concerne la région de Tillabéri, deux sites ont été retenus, notamment celui de Dendiré qui fait l'objet de notre étude.

## **I.2. OBJECTIFS DE STAGE**

La présente étude a pour objectif global la mise à jour des paramètres techniques de dimensionnement du barrage de Dendiré dont l'étude a été menée par la Direction Générale du Génie Rural du Niger.

Les objectifs spécifiques qui constituent l'apport personnel à ce projet concernent les points suivants :

- Vérifier les études de base notamment l'étude hydrologique du bassin versant afin d'estimer correctement les apports et s'assurer du remplissage de la retenue ;
- Analyser les données démographiques et les paramètres agro-pédologiques de la zone du projet pour estimer la capacité de l'ouvrage;
- analyser les études géotechniques pour apprécier les caractéristiques hydromécaniques de l'assise de l'ouvrage pour sa stabilité ;
- Faire une étude technique des ouvrages pour le choix du type d'ouvrage et son dimensionnement ;
- Evaluer les impacts environnementaux et sociaux.

### **I.3. METHODOLOGIE**

La méthodologie adoptée pour la rédaction du présent mémoire s'articule sur trois parties qui sont :

- La collecte documentaire ;
- La visite de terrain ;
- Le traitement et l'analyse.

#### **❖ Collecte documentaire**

Cette phase constitue le préliminaire de l'étude et consiste à rechercher et collecter les documents et les données disponibles afin de les exploiter pour mieux appréhender le thème. A l'issue de cette phase, tous les documents déjà élaborés à savoir, l'APD, les rapports de socio-économique et géotechniques, les cartes et les plans en rapport avec le thème ont été répertoriés et analysés.

Un prétraitement a été établi à la fin de cette étape, ce qui a permis de redéfinir le contexte, les objectifs et les approches méthodologiques du travail et de rédiger une synthèse bibliographique pour une exploitation ultérieure.

#### **❖ Visite de terrain**

Elle consiste à entreprendre une visite du terrain afin de permettre au stagiaire la connaissance du site et de recueillir des informations complémentaires pour une actualisation des données existantes. Cette phase permet de faire un diagnostic du site en appréciant les emprises des ouvrages, la morphologie du cours d'eau, la description du relief et de la végétation, et d'éventuelles dégradations environnementales en décelant d'éventuels affleurement du substratum rocheux ou toutes suspectes, en repérant les atouts et les contraintes particulières et en vérifiant les positionnements des infrastructures existants à proximité du site.

#### **❖ Traitement et analyse**

Pendant cette phase, toutes les données seront traitées et analysées pour une bonne évaluation des conditions socio-économiques, topographiques, géotechniques ou géologiques et hydrologiques de la zone du projet. Des variantes seront aussi proposées et analysées pour le choix d'un ouvrage approprié à la mise en œuvre du projet.

### **Etape 1 : Conception de la digue et des ouvrages annexes**

Cette étape consiste à l'étude technique du projet. Il s'agit de faire les calculs préliminaires et de dimensionnement en tenant compte des aspects préétablis précédemment afin de concevoir un ouvrage technico-économique et répondant aux normes de construction. Il s'agit de faire :

- Les calculs des besoins et des pertes;
- La délimitation du bassin versant et sa caractérisation ;
- L'établissement des courbes hauteurs - volume et hauteur – surface ;
- L'estimation des apports et vérification du remplissage;
- La détermination de la crue du projet ;
- Le choix du type d'ouvrages et son dimensionnement ;
- L'estimation du coût du projet.

### **Etape 2 : Rédaction**

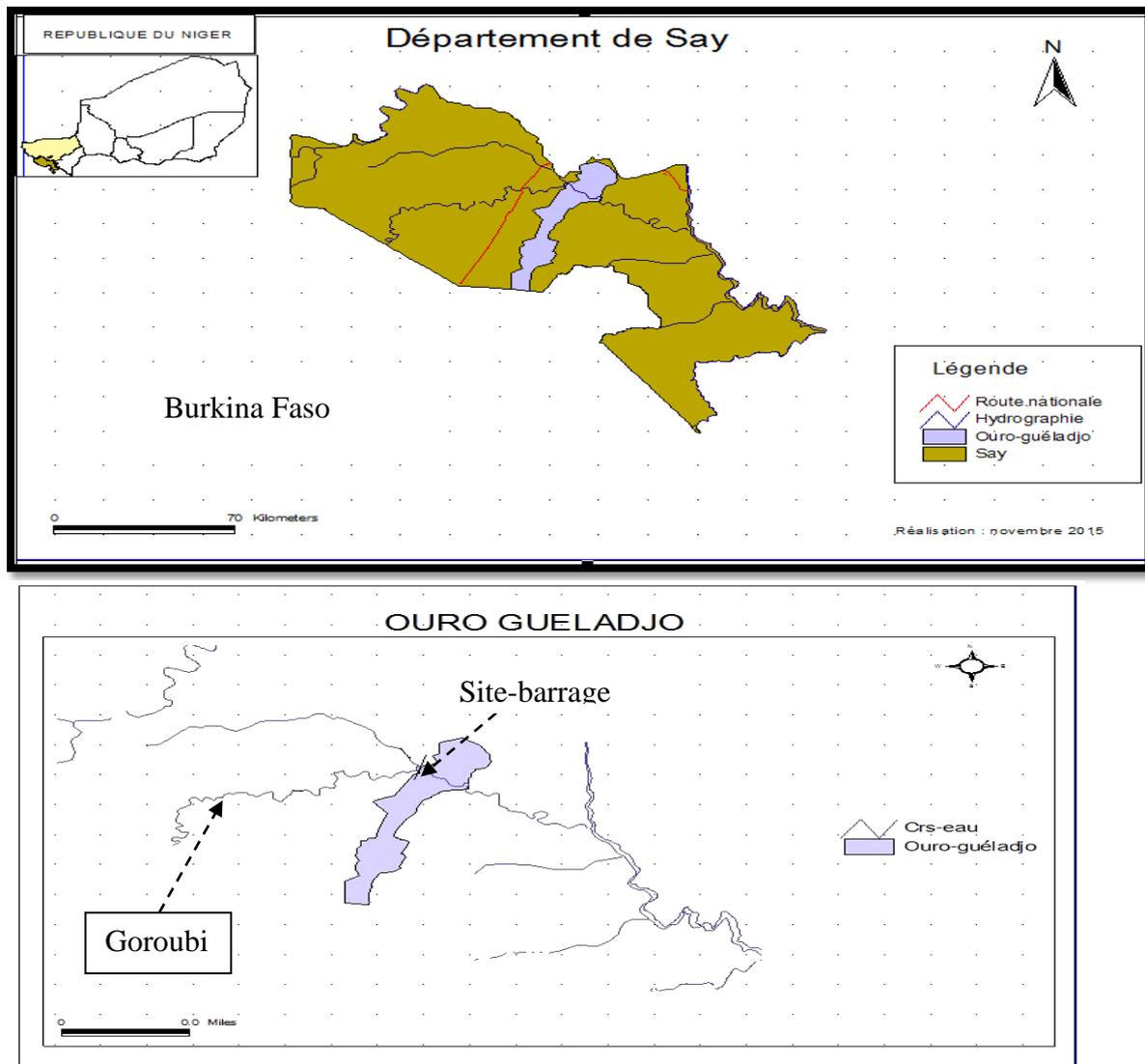
Elle consiste à la rédaction du mémoire et la mise au propre et en commun des étapes précédentes. Cette étape permet d'avoir un document bien rédigé et complet de toute l'étude menée. Elle répond à des normes et de style de rédaction qui lui sont propres.

## II. GENERALITE

### II.1. LOCALISATION DU SITE

Le site du projet de barrage est situé dans la localité de Dendiré, village de la commune d'Ouro Guéladjo, département de Say dans la région de Tillabéri à l'Ouest du Niger. Il est situé à environ 80 km de la capitale Niamey. Il se trouve à environ 500m de l'axe Say – Kobadjé. Ses coordonnées géographiques sont : **13°6'51.3''Nord** et **01°58'50.6''Est**.

La commune d'Ouro Guéladjo est limitée au Nord par la commune de Bitincoji, au Sud par la commune de Tamou, à l'Est par celle de Say et à l'Ouest par Torodi. Elle couvre une superficie de 758 km<sup>2</sup> (figure 1).



## II.2. CLIMAT – SOLS – VEGETATION

Située en zone sahélienne, la commune d'Ouro Guéladjo est caractérisée par un climat de type sahélien à deux saisons :

- Une saison sèche assez longue de 8 mois allant d'octobre jusqu'en mai ;
- Une saison pluvieuse courte d'environ 4 mois allant de juin jusqu'en septembre.

La moyenne pluviométrique annuelle sur la période de 1984-2013 de la station de Say est de 558.67 mm dont les mois les plus pluvieux sont juillet et août.

L'ensoleillement moyen annuel est de 8,7 heures par jour et l'évaporation moyenne annuelle est de 2148,8 mm sur la même période.

Les sols de la zone sont des sols bruns peu évolués dans les dunes et des sols hydro-morphes moyennement argileux dans les cuvettes, fragiles et sensibles à l'érosion hydrique et éolienne. Notons aussi que ces sols sont pauvres en éléments minéraux.

La végétation est caractérisée par la steppe avec la présence des arbustes épineuses et des acacias tels qu'Acacia seyal, acacia nilotica, Balanites aegyptiaca, acacia raddiana, etc.

## II.3. RELIEF ET HYDROGRAPHIE

Le relief est constitué des plaines alluviales et des dunes avec des affleurements rocheux de type cristallin.

Le réseau hydrographique est marqué par la présence d'un cours d'eau intermittent appelé Goroubi et d'autres cours d'eau temporaires qui l'alimentent. Le bassin versant prend sa source au Burkina Faso (Fada Gourma) avant d'atteindre son exutoire à Dendiré.

## II.4. MILIEU SOCIODEMOGRAPHIQUE

Suite aux résultats du RGP/H (RGP/H 2012), la commune d'Ouro comptabilise **27553 habitants (+2,2% par an)** en 2012 (**36 hbt/km<sup>2</sup>**) dont 47,95 % sont des femmes. La population active de la Commune est estimée à 33% et celle de Dendiré exploitant le site, est estimé à 7214 habitants en 2013 à partir du RGP/H de 2001 (RGPH 2001). Cette population représente 42% de la population active et dont 50,4% des femmes.

L'ethnie majoritaire est le Peulh mais nous notons aussi la présence des Touaregs, Djerma, des Gourmantché et des Haoussa (DGGR, 2014).

## **II.5. ACTIVITES ET RESSOURCES ECONOMIQUES**

La principale activité économique est l'agriculture comme dans la plupart des communes rurales appuyées par l'élevage. Les résultats des enquêtes menées montrent que plus de 80% de la population pratique l'agriculture.

## **II.6. RESSOURCE EN EAU DISPONIBLE**

Les ressources en eau disponible dans la localité est le Goroubi et plusieurs mares et koris temporaires (DGGR, 2014).

### III. ETUDES PRELIMINAIRES

#### III.1. ANALYSE SOCIO - AGRO - ECONOMIQUE

##### ❖ Agriculture

D'après les résultats des enquêtes socio-économiques sur trois localités autour du site à savoir Dendiré, Ouro Bauyame et Kagélo, les principales spéculations cultivées sont le mil, le sorgho, le niébé et l'arachide.

Notons aussi que l'horticulture et la culture fruitière sont pratiquées également.

##### ❖ Elevage

Le cheptel de la zone du projet est celui du Département de Say dont le nombre s'élève à 782332 têtes de bétails de toutes races confondues. Le cheptel sédentaire est de 640665 têtes soit 81,9% et le cheptel transhumant est de 141667 têtes soit 18,1% (RGAC 2007). Le [Tableau 1](#) qui suit donne les différentes espèces du Département :

**Tableau 1: Effectif du cheptel**

| Cheptel         | Effectif du cheptel |                 |                     |                 |
|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
|                 | 2007                |                 | 2040                |                 |
|                 | Effectif par espèce | Effectif en UBT | Effectif par espèce | Effectif en UBT |
| <b>Bovins</b>   | 22 097              | 18 783          | 40 026              | 34 023          |
| <b>Ovins</b>    | 25 963              | 2 856           | 72 873              | 8 016           |
| <b>Caprins</b>  | 29 459              | 2 062           | 95 547              | 6 688           |
| <b>Camelins</b> | 20                  | 20              | 31                  | 31              |
| <b>Asins</b>    | 16 566              | 7 041           | 22 328              | 9 490           |
| <b>Equins</b>   | 76                  | 76              | 138                 | 138             |
| <b>Total</b>    | <b>77 520</b>       | <b>23 701</b>   | <b>230 943</b>      | <b>58 386</b>   |

Source : RGAC, 2007

##### ❖ Organisation et Gestion Foncière

Les principaux modes d'accès à la terre sont par ordre d'importance : l'héritage, la location, l'achat et le prêt qui est très peu pratiqué. La donation et le gage ont presque disparus des modes de transaction foncière.

La COFODEP est la principale institution chargée de la gestion du foncier rural. La commune

a bénéficié de la mise en place de la COFOCOM.

Les principaux types de conflits liés au foncier dans la commune sont :

- liés aux dégâts des animaux, opposant agriculteurs et éleveurs ;
- liés à l'héritage, opposant les membres d'une même famille ;
- liés aux limites des champs, opposant les agriculteurs ;
- liés à l'usage des pistes pendant la saison hivernale, opposant les agriculteurs aux usagés.

Les principaux modes de gestions des conflits sont :

- La conciliation : elle est faite au niveau village, sous la conduite du chef de village et les sages du village en présence des parties en conflit. Au cas échéant, l'affaire est portée à la cours du chef de canton.
- Les jugements : à l'échec de la conciliation, les parties en conflit font soit recours au sermon coranique chez le juge religieux ou à la justice de Say.

Ainsi, les principaux acteurs impliqués dans la gestion des conflits sont : les parties en conflit, les autorités coutumières et sages des villages, les leaders religieux et les juges. Au cas extrême, la gendarmerie intervient pour éviter ou stoppée les affrontements. Cependant, l'avènement de la COFODEP et la COFOCOM, avec la mise en place progressive des commissions foncières de base commence à apporter ses fruits en rapport avec la prévention des conflits avec la délivrance des actes des transactions foncières et un regard attentif sur la gestion des ressources d'appropriation commune.

### **III.2. ETUDES GEOTECHNIQUES**

Les études géotechniques permettent la caractérisation du sol du site plus particulièrement celui de l'emprise du barrage et l'identification des zones d'empreint des matériaux de construction à utiliser ultérieurement pendant les travaux de construction.

A cet effet des études géotechniques ont été menées pour définir les caractéristiques du sol de fondation de l'axe de l'ouvrage, la cuvette et les éventuelles zones d'empreint des matériaux.

❖ **Sol de fondation**

Cinq (5) puits de sondage ont été réalisés sur le site :

3 puits de 0,3 à 2,00 m sur l'axe du barrage dont un puits sur l'axe central et un sur chaque rive.

2 puits de 1 à 2 m de profondeur dans la cuvette.

❖ **En rive (gauche et droite)**

En rive gauche et droite, les sols correspondent à des graves latéritiques avec des moellons.

❖ **A l'axe**

A l'axe du barrage, les sols sont de nature argileuse dont les caractéristiques sont consignées dans le [Tableau 2](#) qui suit :

Tableau 2: caractéristique géotechnique du lit mineur

| <b>LIMITES D'ATTERBERG</b>     |                      |                      |         |         |
|--------------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|
| Limite de liquidité            | limite de plasticité | Indice de plasticité |         |         |
| 21,30                          | 17,08                | 4,22                 |         |         |
| <b>Analyse Granulométrique</b> |                      |                      |         |         |
| > 0.80 mm                      | > 2 mm               | > 5 mm               | > 10 mm | > 20 mm |
| 61,61                          | 99,83                | 99,98                | 100,00  | 100,00  |

Source : rapport géotechnique, 2014

La perméabilité est de l'ordre de  $1,78E^{-8}$  m/s d'où le sol est peu perméable (cf. [Annexes V](#): Plans et cartes).

Selon la classification HRB, les sols sont de classe A-4 correspondant aux sols argileux peu plastiques.

❖ **Matériaux d'empreint**

Le site renferme d'énormes potentialités en matériaux de terrassement que ce soient du sable, du gravier ou du moellon. Les zones d'empreint du gravier sont à environ 600 m du village de Dendiré alors que les moellons se trouvent sur le site même. Le sable du lit du cours d'eau est de bonne qualité d'après les essais géotechniques.

❖ **Matériau pour béton**

Ce sont des roulés quartziques qui présentent les caractéristiques présentées dans le Tableau 3 suivant :

**Tableau 3: Caractéristiques des matériaux pour béton**

| Nature          | Coordonnées                  |                 | Superficie             | Hauteur | Volume Exploitable  | Los Angeles | Equivalent de sable |
|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------|---------|---------------------|-------------|---------------------|
|                 | Ou PK                        | Nature          |                        |         |                     |             |                     |
| Sable (100 %)   | N=13,11855°<br>E=001,977751° | Sable du koris  | >10 000 m <sup>2</sup> | 0,45 m  | >4500m <sup>3</sup> |             | 83,89               |
| Graviers (60 %) | N=13,11286°<br>E=001,98900°  | Roulés (Quartz) | >10 000 m <sup>2</sup> | 1,00 m  | >6000m <sup>3</sup> | 36          |                     |
| Moellons (60 %) | N=13,11767°<br>E=001,98247°  |                 | >10 000 m <sup>2</sup> | 0,30 m  | >3000m <sup>3</sup> |             |                     |

❖ **Matériau pour corps de la digue**

Le grave latéritique identifié présente les caractéristiques dans le Tableau 4 suivant :

**Tableau 4: caractéristiques des matériaux pour digue**

| N° ZONES/PK   | Emprunt Latéritique                      |          |
|---|--|----------|
|   | Profondeur                               | 1,00m    |
| <b>PROCTOR MODIFIE (NFP 94-093)</b>                             | <b>Densité à l'OPM (T/m<sup>3</sup>)</b> | 2,26     |
|   | <b>Teneur en eau (%)</b>                 | 8,05     |
| <b>Perméabilité (m/s)</b>                                       |  | 3,29E-09 |
| <b>Tassement (%)</b>  |  | 5        |
| <b>Contrainte minimale à 2,00m (bars)</b>                       |  |          |
| <b>LIMITES D'ATTERBERG (NFP 94 - 051)</b>                       | <b>WL</b>                                | 25,00    |
|   | <b>WP</b>                                | 20,26    |
|   | <b>IP</b>                                | 4,74     |
| <b>ES</b>   |  | X        |
| <b>ANALYSE GRANULOMETRIQUE (MODE OPERATOIRE G2 -DUNO PARIS)</b> | <b>&lt;0,80mm</b>                        | 18,06    |
|   | <b>&lt; 2 mm</b>                         | 27,91    |
|   | <b>&lt; 5 mm</b>                         | 48,85    |

|                           |         |       |
|---------------------------|---------|-------|
|                           | < 10 mm | 69,85 |
|                           | < 20 mm | 87,45 |
| <b>INDICE DE GROUPE</b>   |         | 0,00  |
| <b>CLASSIFICATION HRB</b> |         | A.2.4 |

### III.3. ÉTUDE HYDROLOGIQUE

#### III.3.1. CARACTÉRISATION DU BASSIN VERSANT

La délimitation du bassin est faite à partir des logiciels Global Mapper et Google Earth pour déterminer ses caractéristiques géomorphologiques à savoir la surface, le périmètre, la pente moyenne, la typologie, etc.

Les détails sont en annexes (cf. *ANNEXE II : Etudes hydrologiques*) et les caractéristiques sont consignées dans la partie résultats.

#### III.3.2. PRÉDÉTERMINATION DE LA CRUE DE PROJET

##### ❖ Méthode CIEH

Employée pour les bassins versants de superficie allant jusqu'à 1000 km<sup>2</sup> de la zone tropicale sèche et sahélienne de l'Afrique de l'Ouest et centrale (Puech et al. 1983), cette méthode s'inspire de la méthode de l'IRD et donne des résultats satisfaisants compte tenu de la géomorphologie du bassin. Elle peut avoir des valeurs extrêmes qui peuvent fortement erroné les calculs. L'équation servant aux calculs est la suivante :

$$Q_{10} = aS^b P_{an}^c I_g^d K_{r10}^e D_d^f P_{m10}^g$$

#### Équation 1 : Débit de la crue décennale (EIER/CIEH)

$Q_{10}$  : débit de crue décennal (m<sup>3</sup>/s)

a, b, c, d, e, f, g : coefficient de régression multiple

S : superficie du bassin égale à 14977 km<sup>2</sup>

$P_{an}$  : pluie moyenne annuelle, 558,7 mm

$I_g$  : indice global de pente

$K_r$  : coefficient de ruissellement décennal

$D_d$  : densité de drainage

$P_{m10}$  : pluie journalière décennale

❖ Méthode ORSTOM

Elle est appliquée aux bassins versants dont la superficie s'étend jusqu'à 1500 km<sup>2</sup> voir quelques hectares de l'Afrique tropicale sèche et sahélienne (Puech et al. 1983). Du fait de la situation du bassin en zone sahélienne et de classe d'infiltrabilité I, le débit de crue décennal est déterminé par :

$$Q_{10} = 1,03 \times Q_{r10}$$

**Équation 2 : Débit de rue décennale (ORSTOM)**

Avec  $Q_{r10}$  déterminé par :

$$Q_{r10} = \frac{A \times P_{10} \times K_{r10} \times \alpha_{10} \times S}{T_{b10}}$$

**Équation 3 : Débit de retour de la crue décennale**

$Q_{10}$  : débit de la crue décennale (m<sup>3</sup>/s)

$Q_{r10}$  : débit de retour de la crue décennale (m<sup>3</sup>/s)

A : coefficient d'abattement de VUILLAUME : 0,42

$P_{10}$  : pluie décennale ponctuelle égale à 95 mm

$K_r$  : coefficient de ruissellement décennal

$\alpha_{10}$  : coefficient de pointe égal à 2,6

$T_{b10}$  : temps de base de la crue décennale

S : superficie du bassin

❖ Détermination de la crue de projet

- Durée de la crue de projet

Pour un dimensionnement allant dans le sens de la sécurité, G. DEGOUTE (1997) recommande le choix de la durée de retour de crue de projet suivant les conditions suivantes :

**Tableau 5 : choix de la période de retour (G. DEGOUTE, 1997)**

|  |     |      |        |         |       |
|--|-----|------|--------|---------|-------|
| H <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> )/√V (hm <sup>3</sup> ) | <5  | 5-30 | 30-100 | 100-700 | >700  |
| Période de retour                                      | 100 | 500  | 1000   | 5000    | 10000 |

○ Méthode du GRADEX

Le débit de crue centennal est obtenu par la formule du GRADEX en appliquant un coefficient de majoration :

$$Q_{100} = C \times Q_{10}$$

**Équation 4 : Débit centennal (GRADEX)**

Avec :

$$C = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{T_b}{24}\right)^{0,12}}{K_{r10}}$$

**Équation 5 : Coefficient de majoration**

C : coefficient de majoration

P<sub>100</sub> : pluie centennale ponctuelle en mm

P<sub>10</sub> : pluie ponctuelle décennale

T<sub>b</sub> : temps de base

K<sub>r10</sub> : coefficient de ruissellement décennal

### III.3.3. APPORTS EN EAU DU BASSIN

La formule utilisée est celle de Rodier

$$V = K_e \times P \times S$$

#### Équation 6 : Formule de Rodier

$K_e$  : coefficient d'écoulement obtenu par les abaques de Rodier

P : quantile pluviométrique considéré

S : surface du bassin

### III.3.4. DÉPÔTS SOLIDES

La formule utilisée est celle de GOTTSCHALK (USA)

$$D_s = 260 \times S^{-0,1}$$

#### Équation 7 : Formule du dépôt solide (GOTTSCHALK)

## III.4. ETUDE DE LA CUVETTE

Le tracé des courbes hauteur-volume et hauteur-surface est fait à partir du fond topographique

### III.4.1. LAMINAGE DE CRUE

Formulation du problème de laminage de crue :  $(Q_c(t) - Q_e(z))dt = A(z)dz$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_c(t) - Q_e(z)}{A(z)}$$

Loi de débit :  $Q_{emax} = mL_1\sqrt{2g}h^{3/2}$  seuil dénoyé

$$L_{cal} = \frac{Q_c}{m\sqrt{2g}h^{3/2}}$$

$L_{cal}$  : longueur du seuil déversant (m)

$Q_c$  : débit de crue de projet ( $m^3/s$ )

H : lame d'eau déversant admise : 1 m

La méthode utilisée est la méthode de l'EIER/CIEH ou la méthode de «  $x_0$  »

$$x_0 = \frac{m^2 g L_i^2 Q_{cmax} t_m^3}{S^3}$$

### Équation 8 : méthode x0

m : coefficient de débit du seuil déversant (profil trapézoïdal) pris égal à 0.4

g : accélération de la pesanteur, 9.81 m/s<sup>2</sup>

L<sub>i</sub> : longueur du seuil déversant modifiée à chaque itération (m)

Q<sub>cmax</sub> : débit de la crue de projet (m<sup>3</sup>/s)

T<sub>m</sub> : temps de montée des eaux estimée au tiers du temps de base de la crue

S : surface du plan d'eau normal (m<sup>2</sup>)

#### III.4.2. REVANCHE LIBRE

Elle est calculée par la formule de GAILLARD :

$$R = 0,75H + \frac{(1,5 + 2H)^2}{2g}$$

#### III.4.3. EVAPORATION

La formule utilisée pour évaluer l'évaporation moyenne annuelle est celle de POUYAUD :

$$E_{Lac} = 1,664E_{bac}$$

Le coefficient correcteur est de 0,93.

Les données utilisées sont celle de la station de Say de la période de 1984-2013.

**Tableau 6 : Evaporation moyenne annuelle de 1984-2013**

| Mois             | Jan   | Fév.  | Mars  | Avr.  | Mai   | Juin  | Juil. | août  | Sept  | Oct   | Nov.  | Déc.  | Total         |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| E <sub>bac</sub> | 163,7 | 170,8 | 206,7 | 192,7 | 218,8 | 210,1 | 196,7 | 173,8 | 165,2 | 154,4 | 145,6 | 150,3 | <b>2148,8</b> |

#### III.4.4. INFILTRATION

Pour évaluer l'infiltration, nous avons procédé à l'infiltration non compensée pendant la saison sèche.

#### III.4.5. EXPLOITATION DE LA RETENUE

- ❖ Hypothèse d'évaluation des besoins
  - Agricole : irrigation gravitaire (Efficience : 0,6)

$$ETM = K_0 * ET_0$$

**Tableau 7 : Coefficients cultureux des cultures**

| Mois                 | Cycle (jrs) | 1 <sup>er</sup> mois | 2 <sup>e</sup> mois | 3 <sup>e</sup> mois | 4 <sup>e</sup> mois | 5 <sup>e</sup> mois |
|----------------------|-------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Cultures vivrières   | 120         | 0,7                  | 1,05                | 0,8                 | 0,75                |                     |
| Cultures maraîchères | 135         | 0,5                  | 0,8                 | 1,1                 | 1,15                | 0,95                |

- Humains : 7212 habitants + à l'horizon + 20 ans
- Pastoraux : 14760 UBT

### III.4.6. DIMENSIONNEMENT DE LA DIGUE ET SES ANNEXES

- **Hauteur de la digue**

**E = côte crête – côte fond**

Côte crête = côte PHE + Revanche

- **Largeur en crête**

Les formules utilisées :

Formule de KNAPPEN :  $l_c = 1,65E^{0,5}$

Formule de PREECE :  $l_c = 1,1E^{0,5} + 1$

- **Largeur en base**

La largeur en base est déterminée par :

$$l_b = l_c + (m_{amont} + m_{aval})E_t$$

$m_{amont}$  : fruit du talus amont

$m_{aval}$  : fruit du talus aval

- **Tranchée d'ancrage**

La profondeur de l'ancrage de la digue est déterminée par la règle de LANE :

$$P_{min} = \frac{(CH - L_h/3 - \sum L_v)}{2}$$

C : coefficient de LANE

H : hauteur d'eau

- **Infiltration à travers la digue**

**Loi de DARCY**

$$q = K_h H \frac{H}{L}$$

Kh : perméabilité de la digue (m/s) prise égale à  $3,29 \cdot 10^{-9}$

H : hauteur d'eau en amont de la digue, égale à 5,5 m

L : longueur du cheminement d'écoulement

**Parabole de KOZENY**

$$y^2 = y_0^2 + 2y_0x \rightarrow y = \sqrt{y_0^2 + 2y_0x}$$

$$q = K_r \times y_0$$

Les paramètres à prendre en compte :

$$b = H \times m_{amont}$$

$$d = lb - 0,7b - lf$$

$$y_0 = (H^2 + d^2)^{0,5} - d$$

- **Tapis filtrant**

La formule utilisée est celle de POST-LONDE (M.L compaore, 1996) :

$$e = 2 \sqrt{\frac{q \left( lf - \frac{q}{K_r} \right)}{K_f}}$$

- **Bassin de dissipation**

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = \sqrt{2g[(0,9(H_0 + P) + h) - Y_1]} \\ Y_1 = \frac{\beta Q_{cmax}}{LV_1} \end{array} \right\}$$

- **Chenal d'évacuation**

La formule utilisée est celle de MANNING-STRICKLER :  $Q = R_s S(y) R_h(y)^{2/3} \sqrt{I}$

$$\frac{Q}{K_s \sqrt{I}} = \frac{y_n (b + my)^{5/3}}{(b + 2y_n \sqrt{1 + m^2})^{2/3}}$$

- **Ouvrage de prise**

Pour dimensionner l'ouvrage de prise – vidange, la formule de Torricelli et l'équation de Bernoulli sont utilisées.

$$V_{sortie} = \sqrt{2gH} \text{ Formule de Torricelli}$$

$$Q_{sortie} = \omega \sqrt{2gH}$$

$$\frac{P_{plan}}{\rho g} + Z_{plan} + \frac{V_{plan}^2}{\rho g} = \frac{P_{sortie}}{\rho g} + Z_{sortie} + \frac{V_{sortie}^2}{\rho g}$$

Les détails pour le calcul de la section de l'orifice sont consignés en ANNEXE III : ETUDE DE LA CUVETTE

### III.5. ETUDE DE LA STABILITE

Le bilan des forces agissant sur une tranche de 1 m de déversoir fait intervenir la poussée hydrostatique amont, le poids propre du déversoir et les sous pressions.

Soumis à une lame d'eau déversant, la poussée hydrostatique est donnée par :

$$P_{hyd} = \frac{1}{2} \gamma_w H(H + 2h)$$

Par décomposition en éléments simples du déversoir avec un poids volumique de béton égal à 24 KN/m<sup>3</sup>, nous avons :

$$W_i = S_i \times \gamma_b$$

La poussée des terres est déterminée par :

$$P_t = \frac{1}{2} \gamma_i \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) h^2$$

- ❖ **Stabilité au glissement**

Elle est vérifiée par :

$$Fg = \frac{\sum(W - U) \tan \varphi}{\sum Fv} > 1,2$$

❖ **Stabilité au renversement**

La stabilité au renversement est assurée lorsque la résultante des forces s'appliquant sur la semelle se trouve au tiers central. Elle est vérifiée par :

$$Fr = \frac{\sum \text{Moments stabilisants}}{\sum \text{Moments renversants}} > 1,5$$

❖ **Règle du tiers central**

L'excentricité  $e$  doit être compris en  $-b/6$  et  $b/6$  avec  $b$ , la largeur en base du déversoir. Il est calculé par :

$$e = \frac{AB}{2} - X$$

Avec  $X$ , la distance du point B à l'endroit de l'application des résultantes des forces.

$$X = \frac{\sum \text{Moments stabilisants} - \sum \text{Moments renversants}}{\sum F \text{ verticales}}$$

❖ **Stabilité au poinçonnement du déversoir**

La stabilité est vérifiée par :

$$F_s = \frac{q_{adm}}{\sigma_{réf}} \geq 1,5$$

Avec  $\sigma_{réf}$  est la contrainte de référence donnée par :

$$\sigma_{réf} = \frac{2N}{3\left(\frac{b}{2} - e\right)}$$

$q_{adm}$  est la pression admissible du sol de fondation déterminée par :

$$q_{adm} = \frac{1}{2} \times \gamma b N_\gamma + C N_c + \gamma D N_q$$

❖ **Stabilité des pentes du talus**

Le calcul de la stabilité de la digue repose sur la vérification de la stabilité des pentes des talus amont et aval au glissement. Il consiste à déterminer le coefficient de stabilité minimum pour un profil du barrage adopté. L'analyse de la stabilité du remblai est traitée comme un problème d'équilibre limite d'une masse de sol ayant tendance à se séparer du reste du remblai suivant une surface de rupture privilégiée. Nous avons utilisé la méthode de surface de glissement cylindrique qui consiste à rechercher les rayons et la position du centre de cercle de glissement critique ayant le coefficient de stabilité minimal. Les méthodes utilisées pour la détermination de ce coefficient sont celles de BISHOP et Fellenius.

La formule simplifiée du coefficient de sécurité par la méthode Fellenius est :

$$F_S = \frac{\sum(N \times \tan \varphi_i + C_i dl)}{\sum T}$$

Avec ;

$$N = W \cos \Phi$$

$$T = W \sin \varphi_i$$

$C_i$  : cohésion du matériau

$dl$  : portion de du cercle de glissement interceptée par la tranche considérée

La formule simplifiée du coefficient de sécurité par la méthode de Bishop est :

$$F_S = \frac{\sum \frac{(W - Pb) \tan \varphi'_i + C'_i b}{mx}}{\sum T}$$

Avec,

$$mx = \cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \varphi}{F_S} \right)$$

$P$  : pression interstitielle ;

$\varphi$  : angle de frottement du matériau de remblai ;

$b$  : largeur de la tranche ;

les détails sont ANNEXE III : ETUDE DE LA CUVETTE

### III.6. NOTICE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAL

La construction d'un barrage comme tout ouvrage de génie civil présente d'impacts positifs autant que négatifs sur l'environnement. Les aspects les plus affectés sont le sol, la faune, la

flore, les ressources en eau, l'air et les populations.

### **III.6.1. ACTIVITES GENERANT DES IMPACTS NEGATIFS SUR L'ENVIRONNEMENT**

Nous avons énuméré les principales qui sont (les détails cf. [Annexe I](#): Plan de gestion sociale et environnementale) :

- Les travaux de déboisement et de terrassement dans les différentes surfaces du site ;
- Les travaux d'installation de chantier ;
- L'exploitation des zones d'emprunts de matériaux ;
- Le déplacement des gros engins de travaux et des véhicules, le transport et les emprunts des matériaux.

### **III.6.2. COMPOSANTES DU PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL**

Afin de valoir la protection de l'ensemble des ressources naturelles et de préserver un minimum d'équilibre sur l'écosystème, le plan de gestion mis en place se définit sur les axes suivants :

- Mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification du projet (cf. [Annexe I](#): Plan de gestion sociale et environnementale);
- Programme de surveillance environnemental ;
- Plan de suivi environnemental.

Le programme de surveillance environnemental impliquera l'ensemble des acteurs du projet, à savoir la Direction Régionale du Génie Rural, la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement, la Direction Régionale de l'Environnement, de la Salubrité et du Développement Durable, les entreprises en charge des travaux, la mission de contrôle des travaux, la COFODEP, la COFOCOM, les autorités locales et communales et les populations. Il visera ainsi le contrôle et l'inspection des conditions et les exigences du PGES.

Le plan de suivi environnemental impliquera quant à lui le suivi et l'observation des impacts réels les plus préoccupants du projet (cf. [Annexe I](#): Plan de gestion sociale et environnementale).

L'ensemble des mesures mises en place pour la réalisation du PGES sont chiffrés de manière indicative, à hauteur de 5% du cout total de réalisation soit **118 708 000** FCFA (cf. [Annexe I](#) : Plan de gestion sociale et environnementale).

## IV. RESULTATS DE L'ETUDE DE CONCEPTION DE L'OUVRAGE

### IV.1. FICHE SYNOPTIQUE DU BARRAGE DE DENDIRE

**Tableau 8: Fiche synoptique du barrage de Dendiré**

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| Localité : Dendiré                            |                                 |
| Commune : Ouro Guéladjo                       |                                 |
| Coordonnées : 01°58'50.6'' E et 13°6'51.3'' N |                                 |
| <b>I. Digue</b>                               |                                 |
| Type  | Homogène en remblai latéritique |
| Côte de calage                                | 200 m                           |
| Côte du niveau fini                           | 207,87 m                        |
| Largeur en crête                              | 4,2 m                           |
| Talus amont- aval                             | 2H/1V                           |
| Revanche                                      | 0,7 m                           |
| Largeur en base                               | 34 m                            |
| Hauteur maximale                              | 7,67 m                          |
| Tranchée d'ancrage                            | 4,2 m                           |
| Pente des talus de la tranchée                | 1H/3V                           |
| Epaisseur du tapis filtrant                   | 0,7 m                           |
| <b>II. Déversoir</b>                          |                                 |
| Position                                      | Frontal                         |
| Longueur du seuil déversant                   | 290 m                           |
| Lame d'eau déversante                         | 1 m                             |
| Côte PEN                                      | 206.3 m                         |
| Hauteur au PEN                                | 5,3 m                           |
| Capacité cuvette au PEN                       | 9 175 000 m <sup>3</sup>        |
| Surface au PEN                                | 1100 ha                         |
| Niveau au PHE                                 | 207,14                          |
| Crue de projet                                | 869,55 m <sup>3</sup> /s        |
| <b>III. Ouvrage de prise</b>                  |                                 |
| Diamètre                                      | 250 mm                          |
| longueur                                      | 38 m                            |
| matériau                                      | Fonte                           |

|  |   |
|--|---|
| Côte de calage                             | 203,4                                       |
| Hauteur d'eau au dessus de la prise au PEN | 3 m   |
| Niveau au PBE                              | 203,8 m                                     |
| Position de la prise                       | Entre les profils P21 et P22 (2,8 m de P22) |

## IV.2. ETUDE HYDROLOGIQUE

### IV.2.1. CARACTERISATION DU BASSIN VERSANT

L'exutoire du bassin versant en amont de la cuvette est défini par les coordonnées suivantes :

**Tableau 9 : coordonnées du barrage de Dendiré**

| Longitude        | Latitude          | Description                |
|------------------|-------------------|----------------------------|
| 01°58'50.6'' Est | 13°06'51.3'' Nord | Coordonnées en rive gauche |

Les caractéristiques du bassin versant sont consignées dans le tableau qui suit (cf. [ANNEXE II](#): Etudes hydrologiques) **Pluviométrie**

L'analyse statistique de la série des pluies est conduite sur deux échantillons de données pluviométriques de la station synoptique de Say :

- ✓ Les pluies maximales journalières de 1984-2013 (30 ans), ajustées à la loi de GUMBEL ;
- ✓ Les pluies moyennes annuelles de 1984-2013 (30 ans), ajustées à la loi de GAUSS.

**Tableau 10: caractéristiques du bassin versant du barrage de Dendiré**

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Climat                              | Sahélien                  |
| Classe de perméabilité              | RI (P3)                   |
| Surface (km <sup>2</sup> )          | 14977                     |
| Périmètre (km)                      | 645,78                    |
| Longueur cours d'eau principal (km) | 263                       |
| Typologie suivant la taille         | Très Grand bassin versant |

|                                       |               |
|---------------------------------------|---------------|
| Typologie du réseau hydrographique    | Dendritique   |
| Coefficient de compacité de GRAVELUS  | 1,48          |
| Longueur du rectangle équivalent (km) | 266.74        |
| Largeur du rectangle équivalent (km)  | 56,15         |
| Indice global de pente $I_g$ (m/km)   | 0,21          |
| Dénivelée spécifique (m)              | 33,04         |
| Typologie du relief                   | Relief faible |
| Forme du bassin                       | Allongé       |
|                                       |               |

Les détails des calculs sont en [ANNEXE II](#) : Etudes hydrologiques

Les résultats sont consignés en [ANNEXE II](#) : Etudes hydrologiques permettant de définir les quantiles caractéristiques à un niveau de confiance de 80% des maximales journalières et des moyennes annuelles.

#### IV.2.2. PREDETERMINATION DE LA CRUE DE PROJET

Bien que le bassin soit jaugé, nous proposons d'estimer la crue de projet par les méthodes de prédétermination des débits de crue et des apports. Les méthodes appliquées pour les bassins de l'Afrique sub-saharienne sont celles du CIEH et ORSTOM. Les paramètres ayant servis à leur prédétermination sont présentés ici et les détails de calculs en [ANNEXE II](#) : Etudes hydrologiques

##### ❖ Méthode CIEH

Les équations sélectionnées pour l'application de la méthode CIEH sont 2, 5, 10, 11 et 42. Les coefficients de chacun des paramètres utilisés par ces équations sont fournis en annexes. La valeur du débit de crue décennale que nous avons retenu est la moyenne des débits des différentes équations soit  $Q_{10}$  égal à **166.51 m<sup>3</sup>/s**.

##### ❖ Méthode ORSTOM

Le débit de crue décennale obtenu est de 422,6 m<sup>3</sup>/s

Les détails sont en annexes.

### ❖ Débit de crue décennale retenu

Les deux méthodes de prédétermination donnent des valeurs de débit nettement différent. Cela peut être expliqué par l'urbanisation qui influe sur les paramètres utilisés pour les calculs de débits.

En s'appuyant sur la check-list du Bulletin FAO, la typologie du bassin indique que le débit de crue décennale par la méthode CIEH est proche des débits observés. Après l'analyse fréquentielle des débits maximaux journaliers, nous avons comparé ces résultats à ceux obtenus par la méthode CIEH.

Compte tenu des manques de données, nous avons jugé utile de retenir la valeur obtenue par la méthode CIEH pour la suite des calculs.

### ❖ Durée de retour de la crue de projet

Pour un dimensionnement allant dans le sens de la sécurité, G. DEGOUTTE (1997) recommande le choix de la durée de retour de la crue de projet en tenant compte du ratio  $H^2/\sqrt{V}$ .

Dans notre cas, nous définissons un volume prévisionnel maximal de 9 millions de  $m^3$  pour une hauteur 5m soit un ratio de  $H^2/\sqrt{V}$  égal à 8. Ainsi une crue de 500 ans est recommandée. Toutefois, pratiquement, nous avons choisi une crue deux cent ans pour des raisons économiques et de l'importance de l'ouvrage.

### ❖ Crue de projet

La crue centenaire est de  $Q_{100} = 499,53 \text{ m}^3/\text{s}$

La crue de projet est :

$$Q_{200} = 869,55 \text{ m}^3/\text{s}$$

### ❖ Hydrogramme de crue

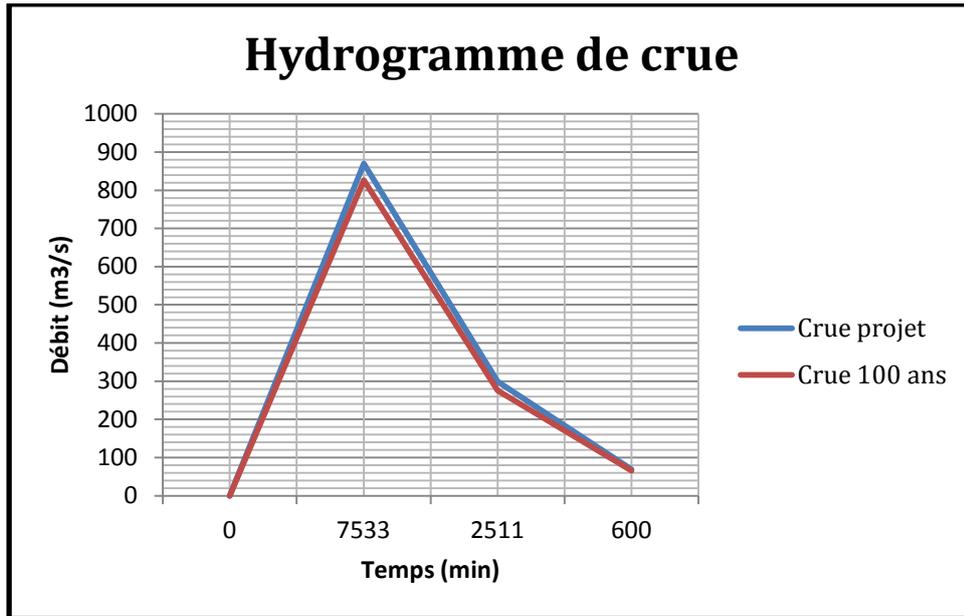


Figure 2: hydrogramme de crue

#### IV.2.3. ETUDE DES APPORTS

L'estimation des apports nous permet de s'assurer du remplissage de la cuvette en toute saison. Nous les avons évalués par la méthode de Rodier qui s'appuie sur la notion de bassin-type. Le bassin-type utilisé est celui de Dargol (Téra) étant donné sa proximité du notre. En s'appuyant sur la courbe de distribution des lames d'eau écoulées pour les quantiles critiques secs et humides et aussi celle de la pluie médiane annuelle, nous avons obtenu des écoulements générés par ces quantiles sur le bassin versant. (Campaoré, 1996 ; Duraud, 1996 ; Karambiri, 2005)

Tableau 11 : Apports en eau du bassin

|   |             |  |               |
|---|-------------|--|---------------|
| Année cinquantenier sèche (m <sup>3</sup> ) | 43 045 396  | Année cinquantenier humide (m <sup>3</sup> ) | 3 261 002 218 |
| Année décennale sèche (m <sup>3</sup> )     | 147 450 063 | Année décennale humide (m <sup>3</sup> )     | 1 608 919 202 |
| Année quinquennale sèche (m <sup>3</sup> )  | 213 104 738 | Année quinquennale humide (m <sup>3</sup> )  | 1 064 493 270 |

L'apport moyen annuel est de **503 047 476 m<sup>3</sup>** pour **K<sub>e</sub> = 16,5 %**.

### IV.3. ÉTUDE DE LA RETENUE

#### IV.3.1. COURBE HAUTEUR-VOLUME HAUTEUR-SURFACE

Le tracé des courbes hauteur-volume et hauteur-surface est obtenu à partir de l'estimation des surfaces moyennes définies par les courbes de niveau se refermant sur l'axe du barrage que nous avons implanté au préalable à partir du fond topo (cf. [ANNEXE III](#) : ETUDE DE LA CUVETTE et [Annexes IV](#) : )

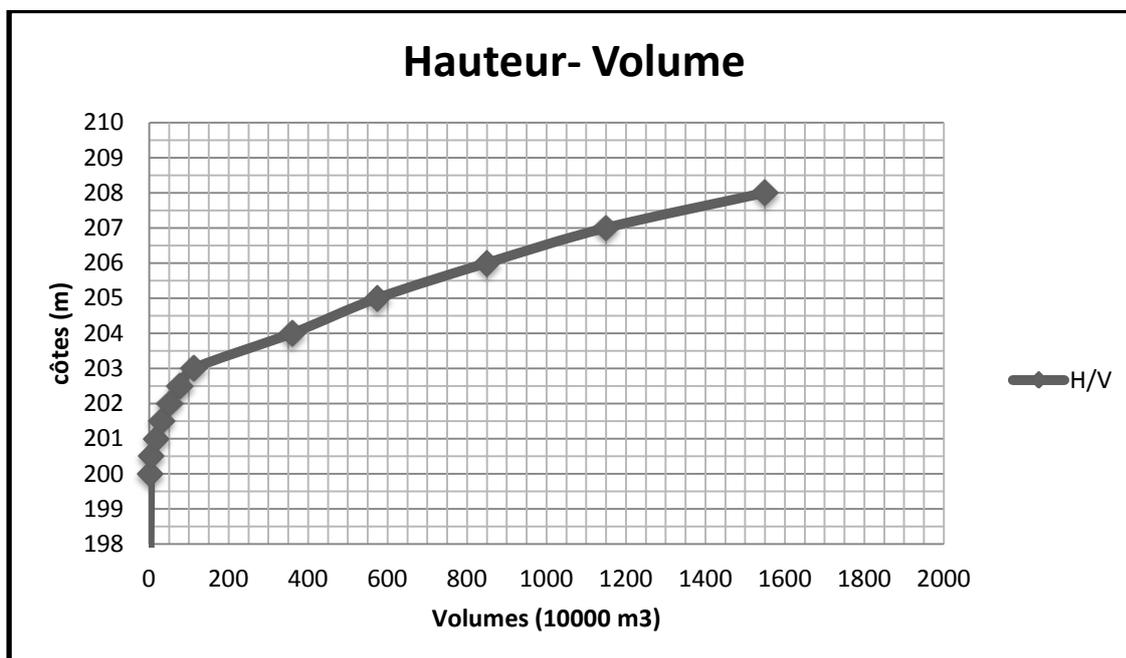
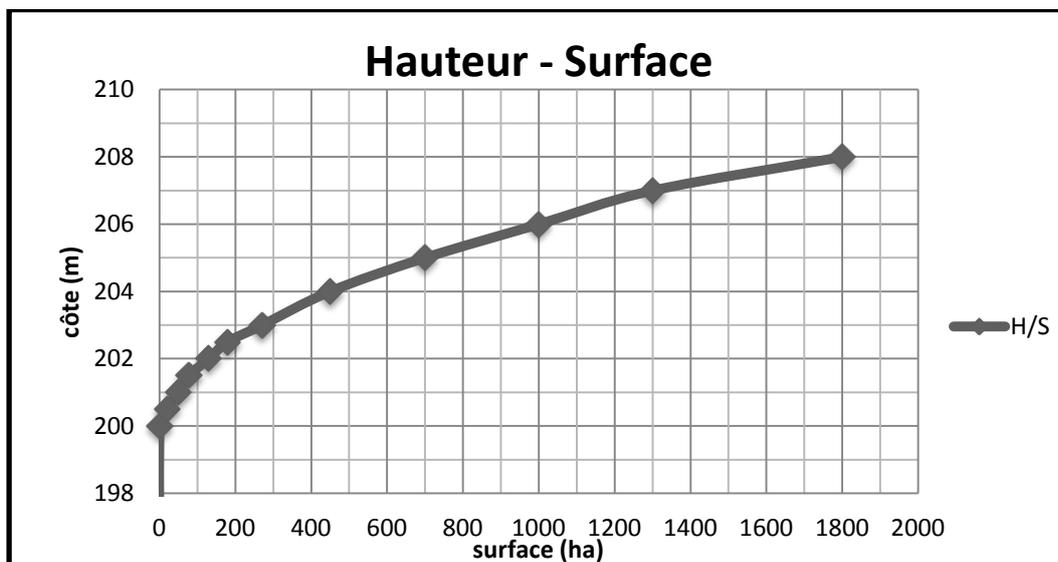


Figure 3 : Courbe hauteur-volume du barrage de Dendiré



**Figure 4 : courbe hauteur- surface du barrage de Dendiré**

**IV.3.2.CALAGE DU PLAN D'EAU**

Le calage du plan d'eau normal permet de définir la capacité de stockage de la retenue. Il est donc nécessaire de prendre en compte les besoins en eau.

Pour ce calage, certains éléments présents sur le site doivent être pris en compte.

- Ouvrage de franchissement de la route nationale RN06 (Niamey- Torodi) situé la côte 208,89 m est une limite primaire franchissant le cours d'eau;
- Local sanitaire est à la côte 208,14 m.

Il ya aussi la présence d'autres éléments tels que quatre (4) forages, un couloir de passage, des villages, des jardins et une colline présents dans la cuvette.

Nous avons pris en compte la lame d'eau déversant ainsi que la revanche libre à adopter. Le but est de fixer une côte maximale des plus hautes eaux qui ne pourraient entrainer la submersion de la RN06. En supposant que la revanche libre maximale est de 75 cm, communément admise pour les petits barrages, nous avons :

**PHE = 207,14 m**

Les caractéristiques du plan d'eau à cette côte sont les suivantes :

| Désignation            | Côte (m) | Surface plan d'eau (ha) | Volume stocké (m <sup>3</sup> ) |
|------------------------|----------|-------------------------|---------------------------------|
| Plus Hautes Eaux (PHE) | 207,14   | 1300                    | 12 200 000                      |

**IV.3.3.LAME D'EAU DEVERSANTE**

L'hypothèse que nous avons émise pour le laminage repose sur le fait que la crue de projet survient au moment où le niveau de la retenue est au PEN. Le but est de déterminer les paramètres cruciaux qui sont :

- La longueur du seuil déversant;
- La lame d'eau maximale passant par-dessus le seuil déversant.

Nous avons utilisé la méthode EIER-CIEH en procédant par itérations et en fixant la lame déversant. (cf. [ANNEXE III](#): ETUDE DE LA CUVETTE) (M Duraud, 1996; M Gresillon, 1975)

Les résultats obtenus sont :

- Longueur du seuil déversant **L = 290 m**
- Lamme d'eau déversante, **h = 1 m**

#### ❖ **Revanche libre**

À partir de la formule de MOLITOR, nous avons déterminé la hauteur des vagues  $h$  qui nous permis de calculer la revanche libre à partir de la formule de GAILLARD. Sa valeur est égale à 0.69 m.

Nous prenons une revanche libre de 0.70 m.

#### **IV.3.4. CALAGE DU PLAN D'EAU NORMAL (PEN)**

Le PEN est à la côte :

$$\text{PEN} = 206.3 \text{ m}$$

Les caractéristiques du plan d'eau à cette côte sont consignées dans le tableau qui suit :

**Tableau 12: Caractéristiques du PEN**

| Désignation              | Côte (m) | Surface plan d'eau (ha) | Volume stocké (m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|----------|-------------------------|---------------------------------|
| Plan d'Eaux Normal (PEN) | 206,3    | 1100                    | 9 175 000                       |

#### **IV.3.5. VOLUME UTILE DE LA RETENUE**

L'étude des apports en eau du bassin, déjà abordé dans l'étude hydrologique nous amène à conclure que les conditions de remplissage de la cuvette sont satisfaisantes. Le volume d'eau

requis au PEN peut être atteint à la moindre année sèche.

#### ❖ Pertes par dépôts solides

La dégradation spécifique annuelle du bassin a été estimée par la formule de GOTTSCHALK (Campaoré, 1996, Gueye, 2015) et sa valeur est de **99,41 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/an** soit un volume annuel de dépôt de **1 448 866,2 m<sup>3</sup>** dès la première année.

Pour estimer les dépôts durant la durée d'exploitation de l'ouvrage, nous avons pris comme hypothèse une décroissance de 40% les années qui suivront puisqu'il y aura pavage du fond et l'épandage sur toute l'étendue de la cuvette. Ainsi les dépôts diminueront progressivement. Le volume cumulé pendant sa période d'exploitation (20 ans) est de **8 933 181,42 m<sup>3</sup>** à la côte **205,4 m**.

#### ❖ Pertes par évaporation

L'évaporation d'un plan d'eau libre se fait à partir des mesures d'évaporation au bac « classe A » et de la relation de B. POUYAUD (Gueye, 2015).

Après calculs, nous avons obtenu une valeur annuelle de **3325,31 mm**.

#### ❖ Pertes par infiltration

L'infiltration moyenne journalière en zone sahélienne varie de 1 à 4 mm/jr (M.L Campaoré, 1996). Toutefois l'infiltration est un processus non constant qui diminue avec le temps du fait des dépôts argileux du fond de la cuvette (M Grésillon, 1975).

Les essais géotechniques ont donné une perméabilité de la cuvette égale à  $2.19 \cdot 10^{-9}$  m/s soit une infiltration de **1,56 mm/jr**. Nous avons considéré cette valeur tout au long de la durée de vie de l'ouvrage. Les pertes prises en compte sont celles de la saison sèche ayant une hauteur annuelle de **340,8 mm**.

#### ❖ Potentiel d'irrigation

Nous avons effectué des simulations de calculs afin de déterminer les surfaces réellement irrigables en cultures vivrières et cultures maraîchères à partir du volume utile de la retenue. En effet, il n'est possible d'envisager que deux campagnes dans l'année. Ainsi les simulations nous ont conduits à conclure que le potentiel d'irrigation du barrage permettrait de couvrir

200 hectares de cultures maraichères en contre saison et 250 ha de cultures vivrières en hivernage (irrigation d'appoint).

❖ **Niveau des Plus Basses Eaux (PBE)**

Après avoir évalué tous les besoins, le tracé de la courbe d'exploitation en partant de la côte du PEN (début octobre) à la côte des plus basses eaux (fin avril) nous a conduits à caler l'ouvrage de prise à la côte **203,4 m**.

❖ **Courbe d'exploitation de la retenue**

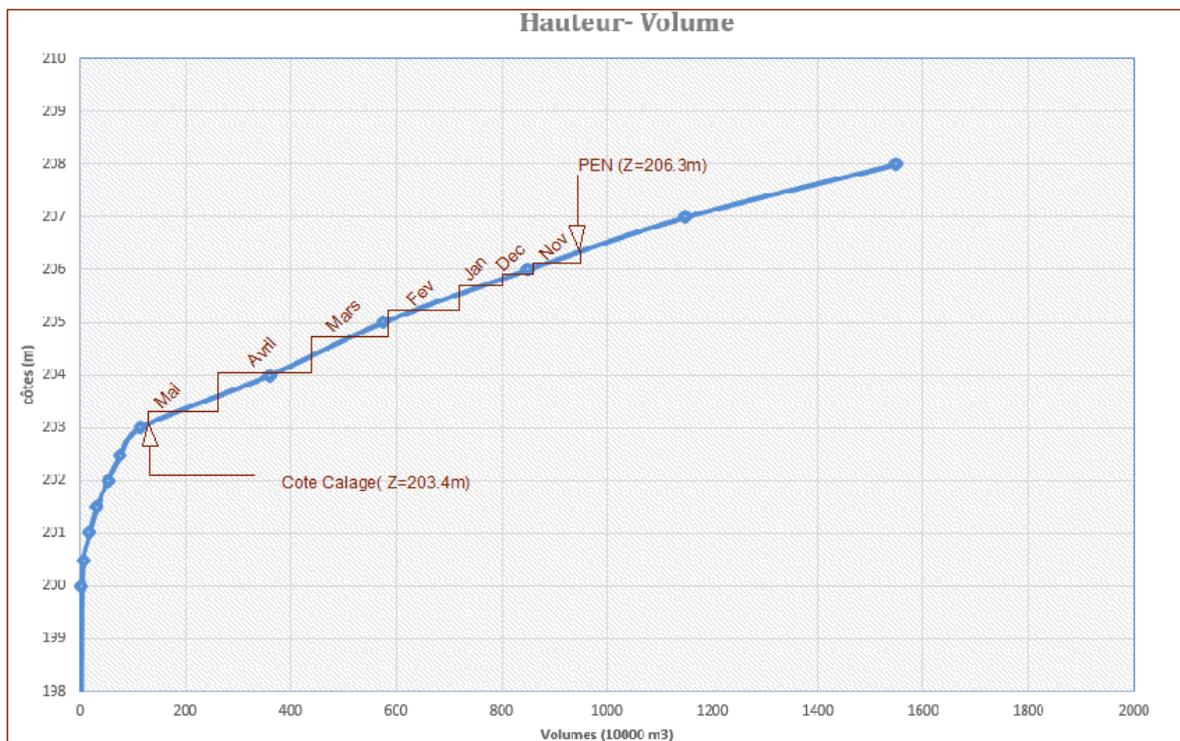


Figure 5: Courbe d'exploitation de la retenue

**IV.4. ÉTUDE DE LA DIGUE ET DES OUVRAGES ANNEXES**

La digue du barrage sera en homogène en terre latéritique compactée à 98 % de l'OPN. Elle servira également de piste. Nous avons prévu un déversoir frontal de forme trapézoïdale et un ouvrage de prise d'eau pour d'éventuelle irrigation et qui assurera également la vidange.

Les caractéristiques de la digue sont :

**Tableau 13: Caractéristiques de la Digue**

|  |       |
|--|-------|
| Hauteur maximale du remblai de digue (m) | 7,67  |
| Largeur en crête (m)                     | 4,2   |
| Pente des talus (amont – aval)           | 2H/1V |
| Largeur maximale en base (m)             | 34    |

Les détails des calculs sont annexes (cf.[ANNEXE III](#) : ETUDE DE LA CUVETTE)

#### **IV.4.1. TRANCHEE D'ANCRAGE**

La tranchée d'ancrage sera remblayée en matériaux étanches pour lutter contre les infiltrations. Elle est de forme trapézoïdale avec pour pente des talus 1H/3V pour faciliter la mise en œuvre lors de l'exécution.

La profondeur est de 2,6 m pour une largeur en gueule de 7,20 m

#### **IV.4.2. INFILTRATION A TRAVERS LA DIGUE**

Les infiltrations à travers la digue sont évaluées par deux approches :

- La loi de DARCY;
- La parabole de KOZENY

Nous avons calculé le débit de fuite d'eau par les deux approches et les valeurs diffèrent peu. Sa valeur est de  $1,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{ml}$  soit un volume annuel infiltré de  $2432,06 \text{ m}^3$  (0,02% du volume de la retenue au PEN) ce qui est donc négligeable.

#### **IV.4.3. TAPIS FILTRANT**

Nous avons émis comme hypothèse que la perméabilité est de type  $K_f = 100 K_r$  pour le matériau filtrant.

Nous avons pris une épaisseur de 70 cm pour une longueur de 9 m. le filtre sera en sable dont les plus gros éléments auront un diamètre inférieur à 75mm et la teneur en éléments fin ( $<80\mu\text{m}$ ) doit être inférieure à 5%.

Le filtre est placé dans les endroits où la charge d'eau est supérieure à 2,5 m aux PHE.

#### IV.4.4. PROTECTION DE LA DIGUE

- **Crête**

Afin de lutter contre la dessiccation de la crête, une couche de graveleux latéritique d'une épaisseur de 20 cm sera mise lors de l'exécution. Aussi des murets de crête en maçonnerie de moellons d'une hauteur de 40 cm et de 25 cm d'épaisseur seront construits pour évacuer les eaux de ruissellement de la crête vers l'aval et de lutter contre d'éventuelles érosions des talus amonts.

- **Talus**

Le talus amont sera protégé par un perré rangé à la main d'une épaisseur de 50 cm avec une couche de pose de tout-venant gravillonnaire latéritique (0/25 et d'épaisseur 20 cm).

Quant au talus aval, il sera protégé une couche de matériaux latéritique de 25 cm d'épaisseur (compactée à 98 % de l'OPN). Un drain sera aménagé au pied du talus pour collecter les eaux de ruissellement et de percolation à travers le remblai. Il sera rempli d'enrochements rangés à la main.

#### IV.4.5. ÉVACUATEUR DE CRUE

La digue étant de type routier pour faciliter le trajet entre la rive gauche et la rive droite et aussi les villages bénéficiaires. Le déversoir est de type frontal, ce qui nous a permis d'utiliser le lit naturel comme chenal d'évacuation des crues.

Le calage du déversoir est à la côte du PEN soit 206,3 m. les caractéristiques du déversoir sont :

**Tableau 14: Caractéristiques de l'évacuateur**

|                        |     |
|------------------------|-----|
| Longueur en base (m)   | 290 |
| Hauteur (m)            | 5,3 |
| Pente des rampes (m)   | 13  |
| Longueur en gueule (m) | 290 |

Les détails sont annexes

#### IV.4.6. BASSIN DE DISSIPATION

Le bassin de dissipation a pour rôle de dissimuler l'énergie de chute et son action érosive.

Après les calculs, sachant que la crue de projet après laminage est de 834,768 m<sup>3</sup>/s, nous avons opté pour un bassin à ressaut de type II en béton cyclopéen. Ce choix découle du fait que le nombre de Froude est supérieur à 4,5 et la vitesse d'entrée est inférieure à 15 m/s (*M.L compaore, 1996*).

**Tableau 15: Caractéristiques du Bassin de dissipation**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Longueur du bassin de dissipation (m) | 7   |
| Profondeur du bassin (m)              | 0,7 |
| Épaisseur du bassin (m)               | 0,3 |
| Hauteur du seuil terminal (cm)        | 30  |
| Hauteur des blocs de chicanes (cm)    | 40  |
| Distance entre les chicanes (cm)      | 35  |

Lors de la mise en œuvre, une couche de sable de 10 cm sera mise en dessous du béton cyclopéen et à l'aval du bassin, une rangée de gabions de blocage de 2\*1\*0,5 (ancrés à 30 cm) pour sa protection.

#### IV.4.7. CHENAL D'EVACUATION

Le chenal d'évacuation permet de drainer les eaux déversées hors de zones de cultures. Les lois d'écoulement à surface libre (Bonvin, 2015) nous ont permis de définir les caractéristiques du chenal qui sont :

**Tableau 16: Caractéristiques du chenal**

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Pente longitudinale (m/km) | 4     |
| Pente des talus            | 3H/2V |
| Profondeur (m)             | 2     |
| Ks                         | 40    |
| Largeur en gueule (m)      | 154   |
| Tirant d'eau maximal (m)   | 1,2   |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Débit maximal (m <sup>3</sup> /s) | 878,4 |
| Vitesse d'écoulement (m/s)        | 3,51  |
| Longueur du chenal (m)            | 40    |

Le détail en ANNEXE III : ETUDE DE LA CUVETTE.

#### IV.4.8. OUVRAGE DE PRISE

L'ouvrage de prise est placé en rive droite où il ya un grand potentiel en superficie aménageables. Il est composé de l'amont vers l'aval:

- Un bac de réception en amont en béton armé, protégé par une grille à mailles serrées. La côte d'entrée de l'eau dans le bac est de 203.3 m. la hauteur d'eau est de 3 m au PEN et 50 cm au PBE;
- Une conduite en PVC de diamètre D200 de pente longitudinale de 1‰ et de longueur 38 m.
- Un bac de réception aval en béton comportant une chambre de vanne, une chambre de réception et d'un mur d'impact en béton armé.
- Des écrans anti-renards en béton armé de 1,5m\*0,8\*0,2

#### IV.5. STABILITE DE L'OUVRAGE

L'étude de la stabilité du barrage nous permet de vérifier si l'ouvrage peut résister aux phénomènes de glissement et de renversement sous l'effet des sollicitations auxquelles il est soumis. Il est question de faire :

- Une étude de la stabilité de la digue pour la stabilité des talus;
- Une étude de stabilité du déversoir par rapport au glissement, au renversement et au poinçonnement.

Après les calculs, les résultats sont consignés dans le Tableau 17 qui suit :

**Tableau 17: Récapitulatif de calcul de stabilité**

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Poids propre W (KN/ml)          | 859,5   |
| Poussées hydrostatiques (KN/ml) | 250,51  |
| Poussée des terres (KN/ml)      | 0,224   |
| Moments stabilisants (KN.m)     | 9346,09 |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Moments renversants (KN.m) | 2559  |
| Facteur de glissement      | 1,25  |
| Facteur de renversement    | 3,65  |
| Facteur de poinçonnement   | 2,47  |
| Excentricité e (m)         | -1,23 |

Le tableau qui suit nous donne les résultats de l'étude de stabilité des pentes des talus

**Tableau 18: Récapitulatif de calcul de stabilité de la digue**

| Situation de calcul | Fs BISHOP | FS Fellenius | Fs min |
|---------------------|-----------|--------------|--------|
| Retenue à vide      | 2,46      | 2,05         | 1,5    |
| Retenue pleine      | 2,32      | 2,03         |        |

Les résultats obtenus nous permettent de conclure que les caractéristiques géométriques prédéfinis sont acceptables et que le barrage est stable.

#### **IV.6. AVANT-METRE ET COUT DE L'OUVRAGE**

L'avant-métré nous a permis de faire les calculs de cubatures de la tranchée d'ancrage et d'estimer la quantité des matériaux pour béton, et tous autres travaux. Le coût du projet s'élève à 1 913 912 500 F CFA (cf. [Annexes IV](#): métré et devis )

## **V. CONCLUSION**

Tout au long de notre présente étude d'avant projet détaillé initié par le Gouvernement nigérien pour la lutte contre l'insécurité alimentaire et l'épanouissement socio-économique de la commune d'Ouro Gueladjo, nous sommes amenés à concevoir un ouvrage qui mobilisera plus de 9 millions de mètre cube d'eau et dont les retombées ne sont énormes et sa mise en œuvre ne sera assez complexe. Le but de la construction du barrage est d'assurer la pérennité de la source d'eau pour la population et faciliter les activités agropastorales.

En effet le relief et la topographie du site sont favorables : la cuvette d'une bonne compacité et de bonne étanchéité, les matériaux d'empreints d'assez bonne qualité et à proximité, un remplissage de la retenue même en année décennale sèche et de surcroît l'implication effective des populations locales au projet.

Sur le plan technique, le choix d'un barrage en terre avec un évacuateur en béton a été retenu pour des multiples avantages techniques et socio-économiques. La retenue nous permet d'envisager l'irrigation en aval de 200 hectares en maraîchage en contre saison et 250 hectares de cultures vivrières en saison des pluies, ce qui impacte considérablement sur la vie des populations et contribuera à l'essor économique de la commune.

Toutefois, la prise en main et l'implication des populations sur la gestion, l'entretien et l'organisation des activités autour de l'ouvrage est nécessaire pour une exploitation rationnelle et la pérennité de l'ouvrage.

Cependant, la présente étude n'est qu'une phase préliminaire pour la conception de l'ouvrage, il est nécessaire d'envisager d'autres études complémentaires (pédologiques et géotechniques) lors de la phase d'exécution des travaux et la mise en valeur des terres agricoles.

Au terme de notre projet, nous avons pu nous confronter à des réelles difficultés de terrain entre autre la méconnaissance des langues locales, le manque des informations sur des ouvrages similaires déjà réalisés, la difficulté d'aménagement etc. et avons proposé des solutions d'aménagements adéquats et surtout que nous avons acquis assez des techniques pratiques plus utiles.

## **VI. RECOMMANDATIONS – PERSPECTIVES**

L'étude actuelle menée pour la réalisation d'un barrage viable (technique et économique) va au-delà de son exécution. La durabilité et la viabilité de l'ouvrage nécessitent une implication de toutes les parties prenantes, des populations locales aux autorités compétentes, et surtout une responsabilité partagée.

Ainsi, avant l'exécution des travaux, il est recommandé de :

- Mener des campagnes de sensibilisation des populations pour l'expropriation de leurs terres ;
- Procéder aux dédommagements si nécessaire dans les cas de déguerpissement ;

Après la construction de l'ouvrage, il est aussi recommandé de mettre en place un comité de pilotage. Ce comité sera chargé de veiller à l'entretien, le suivi et la surveillance de l'ouvrage en menant les actions suivantes :

- Le suivi du niveau d'eau dans la retenue ;
- Le désherbage de la retenue et de la digue ;
- Le curage de la retenue chaque cinq ans pour éviter l'envasement.

## **BIBLIOGRAPHIE**

### **Ouvrages et articles**

Ahmed O. et Boubakar R. (2001), Bilan et analyse des aspects hydro-environnementaux du bassin du fleuve Niger au Niger, Rapport de l'Autorité du Bassin du Niger.

BONVIN (2015), cours de modélisation hydraulique : Ecoulement à surface libre, 2iE

Chazot S. et al. (2012), Gestion des ressources en Eau du fleuve Niger au Niger, ABN.

CIEH, ORSTOM et LCF-CEMAGREF-ENAGREF, (1994), Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, In Bulletin FAO d'irrigation et de Drainage N°54.

COMPAORE M. L. (1996), cours de barrage, EIER, CI6325.

DGGR (2014), Diagnostic des AHA dans la région de Tillabéri.

DGGR (2014), rapport d'études géotechniques pour l'étude d'APD de Dendiré.

DURAND J-M. (1995), la pathologie, l'entretien, le suivi et l'exploitation des petits barrages en Afrique : Mémento à l'usage du technicien supérieur, EIER, ISBN6325

DURAND J-M. (1996), Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique, ESTHER.

GRESILLON J-M. (1975), Barrages en terre, ISBN CI 08396.

HCI3N (2013), cadre stratégique de l'initiative 3N.

INSN (2001), recensement général de la population et de l'habitat.

INSN (2012), recensement général de la population et de l'habitat.

INSN (2012), Tableau de bord social.

KARAMBIRI H. et GUEYE I. (2005), Petits barrages en terres, UTER-GVEA/UTER-ISM (2iE).

MAR A. (2004), cours d'hydraulique : Ecoulement à surface libre, EIER-ET HG (67)

PUECH C. et CHABI-GONNI D. (1983), Méthode des calculs des débits de la crue décennale pour les petits et moyens bassins versants de l'Afrique de l'ouest et centrale, CIEH, ISBN ET GOPI (25).

RGAC (2007), Recensement général de l'Agriculture et du cheptel, volume II.

RODIER J. et AUVRAY C. (1965), Estimation des débits pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique occidentale, ORSTOM, ISBN ER0257.

### **Sites internet**

[www.surveymonkey.com](http://www.surveymonkey.com)

[www.news.aniamey.com/h/1178.html](http://www.news.aniamey.com/h/1178.html) (12/11/2015 à 10h 43)

[www.care.org/work/world-hunger/focus-food/cultivating-equality](http://www.care.org/work/world-hunger/focus-food/cultivating-equality) (08/09/2015 à 9h23)

<http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/2012/10/16880465/africa-can-help-feed-africa-removing-barriers-regional-trade-food-staples> (10/09/2015 à 20h12)

<http://www.hydrosciences.fr/sierem/consultation/consultationgraphpays.asp?paysid=NE>  
(15/08/2015 à 8h08)

<http://iwlearn.net/iw-projects/1093/reports/niger-river-basin-gef-background-report-niger-updated.pdf/view> (27/10/2015 à 15h 56)

## **ANNEXES**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I. Annexe I : Plan de gestion sociale et environnementale .....</b> | <b>49</b> |
| <b>II. ANNEXE II : Etudes hydrologiques.....</b>                       | <b>51</b> |
| <b>a. Synthèse de l'analyse fréquentielle des pluies.....</b>          | <b>51</b> |
| <b>b. Caractérisation du bassin versant .....</b>                      | <b>52</b> |
| <b>c. Détermination de la crue de projet.....</b>                      | <b>52</b> |
| <b>d. Apport en eau du bassin versant.....</b>                         | <b>54</b> |
| <b>e. Dépôts solides.....</b>  | <b>55</b> |
| <b>III. ANNEXE III : ETUDE DE LA CUVETTE.....</b>                      | <b>55</b> |
| <b>1. Données pour le tracé des courbes caractéristiques.....</b>      | <b>55</b> |
| <b>2. Laminage de crue .....</b>                                       | <b>55</b> |
| <b>3. Evaporation.....</b>   | <b>56</b> |
| <b>4. Infiltration.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>5. Besoins en eau.....</b>  | <b>56</b> |
| <b>6. Dimensionnement de la Digue et ses ouvrages annexes.....</b>     | <b>57</b> |
| <b>7. Etude de la stabilité.....</b>                                   | <b>61</b> |
| <b>IV. Annexes IV : métré et devis.....</b>                            | <b>64</b> |
| <b>V. Annexes V : Plans et cartes.....</b>                             | <b>66</b> |

**I. ANNEXE I : PLAN DE GESTION SOCIALE ET ENVIRONNEMENTALE**

| Risques identifiés                          | Milieu récepteur | Phase                          | Mesures d'atténuations   | Acteurs concernés  |
|---|------------------|--------------------------------|--|--|
| Destruction des habitats                    | Naturel          | Phase d'exécution du projet    | Dédommagement  | Maître d'œuvre, riverains  |
| Destruction de la faune et de la flore      | Naturel          | Phase d'exécution du projet    | Faire des pépinières de l'espèce déboisée  | Comité villageois de développement, le maître d'œuvre, groupement des femmes |
| Contamination par les IST et VIH SIDA       | Humain           | Phase d'exécution du projet    | Campagne de sensibilisation et de distribution des préservatifs                            | CVD, Centres de santé, groupement des femmes                                 |
| Accidents de travail                        | Humain           | Phase d'exécution du projet    | Souscrire un contre d'assurance tout risque chantier                                       | Entreprise, maître d'ouvrage   |
| Pollution du sol par les intrants chimiques | Naturel          | Phase d'exploitation du projet | Privilégier les engrais vert et mettre un conseiller technique pour le dosage des intrants | CVD, Exploitants   |
| Pollution des eaux souterraines (AEP)       | Naturel          | Phase d'exploitation du projet | Faire un traitement in situ sans excavation de terre                                       | Entreprise, exploitants  |

**Evaluation du coût du PGES**

| Mesure                                  | Détails d'Evaluation   | unité | Quantité | Coût Unitaire | Coût Total         |
|---|--|-------|----------|---------------|--------------------|
| Etudes complémentaires                  | Evaluation précise des biens affectés et des enquêtes complémentaires          | ff    | 1        | 5 000 000     | 5 000 000          |
| Sensibilisation                         | Santé, Sécurité et changement climatique                                       | ff    | 1        | 3 000 000     | 3 000 000          |
| Indemnisations                          | Expropriations des terres  |       |          | 50 000 000    | 50 000 000         |
| Reboisement                             | Reboisement des espèces végétales abattues lors des travaux par des pépinières | ha    | ff       | 10 000 000    | 10 000 000         |
| Réalisation des forages                 | 2 forages  | U     | 2        | 9 000 000     | 18 000 000         |
| Construction de locales Sanitaires      | 1 bâtiment   | U     | 1        | 5 000 000     | 5 000 000          |
| Suivi Environnemental                   | Suivi mensuel de la mise en œuvre du PGES par le service forestier             | mois  | 24       | 150 000       | 3 600 000          |
| Remise en état du site et des carrières | Remise en état du site par les populations locales, végétalisation             | ha    |          | 3 000 000     | 3 000 000          |
| Protection des berges                   | aménagement et plantation des berges par des espèces locales                   | ha    |          | 3 000 000     | 3 000 000          |
| <b>Total HT</b>                         |  |       |          |               | <b>100 600 000</b> |
| <b>TVA (18%)</b>                        |  |       |          |               | <b>18 108 000</b>  |
| <b>Total TTC</b>                        |  |       |          |               | <b>118 708 000</b> |

## II. ANNEXE II : ETUDES HYDROLOGIQUES

### a. SYNTHÈSE DE L'ANALYSE FREQUENTIELLE DES PLUIES

- ❖ Données d'entrée
  - Série de pluies maximales journalières : 1984-2013 (30 valeurs), ajustement à la loi de GUMBEL justifiant la nature extrême du phénomène caractérisé par les données (pluies maximales) ;
  - Série de pluies moyennes annuelles : 1984-2013 (30 valeurs), ajustement à la loi de GAUSS de la série avec des valeurs de la moyenne et de la médiane qui sont proches.

Nous avons ajusté à la loi normale.

- ❖ Pluies maximales journalières

| Période sèche |             | période de retour | Période humide |             |
|---------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|
| Fréquence     | Pluies (mm) |                   | Fréquence      | Pluies (mm) |
| 0,0001        | 24,58       | 10000             | 0,9999         | 201,76      |
| 0,001         | 29,04       | 1000              | 0,999          | 166,06      |
| 0,002         | 30,68       | 500               | 0,998          | 155,31      |
| 0,005         | 33,16       | 200               | 0,995          | 141,09      |
| 0,01          | 35,33       | 100               | 0,99           | 130,30      |
| 0,02          | 37,86       | 50                | 0,98           | 119,48      |
| 0,05          | 41,99       | 20                | 0,95           | 105,04      |
| 0,1           | 46,07       | 10                | 0,9            | 93,88       |
| 0,2           | 51,62       | 5                 | 0,8            | 82,25       |
| 0,25          | 53,94       | 4                 | 0,75           | 78,31       |
| 0,5           | 64,68       | 2                 | 0,5            | 64,68       |

- ❖ Pluies annuelles

| Moyenne | Médiane | Maximum | Minimum | Ecart-type |
|---------|---------|---------|---------|------------|
| 558.67  | 559.8   | 927.9   | 324.1   | 139.75     |

| Période sèche |             | période de retour | Période humide |             |
|---------------|-------------|-------------------|----------------|-------------|
| Fréquence     | Pluies (mm) |                   | Fréquence      | Pluies (mm) |
| 0,0001        | 276,94      | 10000             | 0,9999         | 1375,88     |
| 0,001         | 304,60      | 1000              | 0,999          | 1154,46     |
| 0,002         | 314,76      | 500               | 0,998          | 1087,78     |
| 0,005         | 330,10      | 200               | 0,995          | 999,54      |
| 0,01          | 343,58      | 100               | 0,99           | 932,66      |
| 0,02          | 359,26      | 50                | 0,98           | 865,53      |

|      |        |    |      |        |
|------|--------|----|------|--------|
| 0,05 | 384,92 | 20 | 0,95 | 775,95 |
| 0,1  | 410,22 | 10 | 0,9  | 706,75 |
| 0,2  | 444,65 | 5  | 0,8  | 634,60 |
| 0,25 | 459,00 | 4  | 0,75 | 610,18 |
| 0,5  | 525,64 | 2  | 0,5  | 525,64 |

## b. CARACTERISATION DU BASSIN VERSANT

- Surface : 14977 km<sup>2</sup>
- Périmètre : 645,78 km
- Longueur réseau hydrographique : 263 km
- Indice de forme :  $Kg = 0,282 \times P \times \sqrt{S} = 1,48$
- Longueur du rectangle équivalent :  $L = P + \sqrt{P^2 - 16S}/4 = 266,742 \text{ km}$
- Largeur du rectangle équivalent :  $l = P/4 - \sqrt{\left(\frac{P^2}{16} - S\right)} = 56,15 \text{ km}$
- Densité de drainage :  $Dd = L_{res}/S = 0,02 \text{ km}^{-1}$
- Indice globale de pente :  $Ig = 0,026 \times S^{-0,5} \times 1000 = 0,212$
- Dénivelée spécifique :  $Ds = Ig \times \sqrt{S} = 26 \text{ m}$
- Climat : type sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 559 mm
- Classe de perméabilité : RI (P3)
- Typologie de relief : faible

## c. DETERMINATION DE LA CRUE DE PROJET

### ❖ Paramètres

- ✓ Coefficient d'abattement (VUILLAUME)
- ✓  $A = 1 - 0,001(9 \log_{10} T - 0,042Pan + 152) \log_{10} S = 0,42$
- ✓ Pluie journalière décennale (atlas CIEH)  $P_{j10} = 95 \text{ mm}$
- ✓ Pluie journalière décennale moyenne :  $P_{m10} = A * P_{j10} = 40,45 \text{ mm}$
- ✓ Coefficient de ruissellement décennal :  $K_{r10} = 11,77 \%$ 
  - \* Classe d'infiltrabilité : RI (P3)- régime sahélien
  - \* Coefficient de ruissellement décennal :  $K_{r10i} = a/(S + b) + C$

|                   | a   | b  | C    | K <sub>ri</sub> (%) | K <sub>r10</sub> (%) |
|-------------------|-----|----|------|---------------------|----------------------|
| K <sub>r70</sub>  | 164 | 17 | 10.5 | 10,51               | 11,77                |
| K <sub>r100</sub> | 250 | 20 | 12   | 12,02               |                      |

### ❖ Crue décennale CIEH

#### Débit de crue décennal à Dendiré

| Equation | r <sup>2</sup> | a | S | Ig | Pan | Pm10 | Kr10 | Dd | Q10 | Q CIEH |
|----------|----------------|---|---|----|-----|------|------|----|-----|--------|
|----------|----------------|---|---|----|-----|------|------|----|-----|--------|

| N° |       |        |       |      |  |  |       |        | (m <sup>3</sup> /s) |        |
|----|-------|--------|-------|------|--|--|-------|--------|---------------------|--------|
| 2  | 0,57  | 2,03   | 0,59  | 0,59 |  |  |       |        | 235,25              | 166,51 |
| 5  | 0,598 | 1,83   | 0,52  | 0,62 |  |  | 0,122 | 64,45  |                     |        |
| 10 | 0,806 | 0,0833 | 0,696 | 0,73 |  |  | 0,534 | 80     |                     |        |
| 11 | 0,716 | 0,41   | 0,524 | 0,95 |  |  | 0,982 | 160,8  |                     |        |
| 42 | 0,755 | 0,905  | 0,643 | 0,4  |  |  | 1,019 | 292,07 |                     |        |

### Débit de crue décennal à Diangoré

| Equation N° | r <sup>2</sup> | a      | S     | Ig   | Pan | Pm10 | Kr10  | Dd    | Q10 (m <sup>3</sup> /s) | Q CIEH |
|-------------|----------------|--------|-------|------|-----|------|-------|-------|-------------------------|--------|
| 2           | 0,57           | 2,03   | 0,59  | 0,59 |     |      |       |       | 239,2                   | 169,09 |
| 5           | 0,598          | 1,83   | 0,52  | 0,62 |     |      |       | 0,122 | 65,28                   |        |
| 10          | 0,806          | 0,0833 | 0,696 | 0,73 |     |      | 0,534 |       | 81,38                   |        |
| 11          | 0,716          | 0,41   | 0,524 | 0,95 |     |      | 0,982 |       | 162,89                  |        |
| 42          | 0,755          | 0,905  | 0,643 | 0,4  |     |      | 1,019 |       | 296,72                  |        |

### Débit maximum journaliers du Goroubi à Diangoré

| Années | Débits (m <sup>3</sup> ) |
|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|--------------------------|
| 1962   | 171                      | 1971   | 67,10                    | 1983   | 42,6                     | 1997   | 37,5                     |
| 1963   | 19,10                    | 1972   | 22,4                     | 1985   | 102                      | 1998   | 227                      |
| 1964   | 121                      | 1973   | 100                      | 1986   | 64,2                     | 2006   | 124,04                   |
| 1965   | 33,7                     | 1974   | 56,8                     | 1987   | 62,10                    | 2007   | 168,6                    |
| 1966   | 25,9                     | 1976   | 18,20                    | 1988   | 85,2                     | 2008   | 116,9                    |
| 1967   | 122                      | 1977   | 18,80                    | 1989   | 111                      | 2009   | 99,16                    |
| 1968   | 5,16                     | 1978   | 15,30                    | 1990   | 38,20                    | 2010   | 181                      |
| 1969   | 39,9                     | 1979   | 15,9                     | 1991   | 63,8                     | 2011   | 218,8                    |
| 1970   | 102                      | 1980   | 54,6                     | 1992   | 99,5                     | 2012   | 223,1                    |

### Analyse fréquentielle des débits observés

| Période de retour     |                  | 2ans | 5ans  | 10 ans | 20 ans | 50 ans | 100 ans |
|-----------------------|------------------|------|-------|--------|--------|--------|---------|
| Q (m <sup>3</sup> /s) | Valeur Théorique | 75   | 131   | 168    | 203    | 249    | 283     |
|                       | Borne inf.       | 72,9 | 127,1 | 162,3  | 195,3  | 236,5  | 262,7   |
|                       | Borne sup.       | 77,9 | 134,9 | 173,3  | 210,9  | 261,2  | 303,4   |

#### ❖ Crue décennale ORSTOM

- Temps de base :  $Tb = 250 * S^{0.35} + 300 = 7533,34 \text{ min}$
- Temps de montée :  $Tm = Tb/3 = 2511,11 \text{ min}$
- Lamé d'eau ruisselée décennale :  $L_{r10} = P_{m10} \times K_{r10} = 4,76 \text{ mm}$



### e. DEPOTS SOLIDES

Formules de GOLTSCHALK :

$$D_s = 260 \times S^{-0.1}$$

Soit  $D_s = 99.51 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$  pour un ratio de décroissance constant de 0.40.

| T (ans)    | 1            | 5            | 10           | 15           |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| cumul (m3) | 1 488 863,57 | 2 977 727,14 | 5 955 454,28 | 8 933 181,42 |
| côte (m)   | 203,1        | 203,5        | 205,1        | 206,1        |

## III. ANNEXE III : ETUDE DE LA CUVETTE

### 1. Données pour le tracé des courbes caractéristiques

| Cotes | Surface (10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> ) | Hauteur (m) | Surface Moyenne (10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> ) | Volume (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ) | Volume Cumul (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ) |
|-------|---|-------------|---|--|--|
| 195,5 | 0   | 0           | 0   | 0  | 0  |
| 200   | 1   | 4,5         | 0,5   | 2,25                                     | 2,25   |
| 200,5 | 21  | 0,5         | 11  | 5,5                                      | 7,75   |
| 201   | 50  | 0,5         | 35,5  | 17,75                                    | 25,5   |
| 201,5 | 78  | 0,5         | 64  | 32                                       | 57,5   |
| 202   | 130                                       | 0,5         | 104   | 52                                       | 109,5  |
| 202,5 | 180                                       | 0,5         | 155   | 77,5                                     | 187  |
| 203   | 271                                       | 0,5         | 225,5   | 112,75                                   | 299,75   |
| 204   | 450                                       | 1           | 360,5   | 360,5                                    | 660,25   |
| 205   | 700                                       | 1           | 575   | 575                                      | 1235,25  |
| 206   | 1000                                      | 1           | 850   | 850                                      | 2085,25  |
| 207   | 1300                                      | 1           | 1150  | 1150                                     | 3235,25  |
| 208   | 1800                                      | 1           | 1550  | 1550                                     | 4785,25  |

### 2. Laminage de crue

Longueur du déversoir

| Méthode du "x0"- longueur du déversoir |        |        |          |      |              |        |
|--|--------|--------|----------|------|--------------|--------|
| Itération                              | L (m)  | Xo     | Log (Xo) | β(%) | Qemax (m3/s) | Lf (m) |
| 1                                      | 301,86 | 617,66 | 2,79     | 0,96 | 834,77       | 289,79 |
| 2                                      | 289,79 | 569,25 | 2,76     | 0,95 | 826,07       | 286,77 |
| 3                                      | 286,77 | 557,45 | 2,75     | 0,95 | 826,07       | 286,77 |

Nous prenons une longueur du seuil déversant égale à 290 m avec un débit laminé de 834,768 m<sup>3</sup>/s.

### 3. Evaporation

| Mois             | E.bac         |                |
|------------------|---------------|----------------|
| <b>Janvier</b>   | 163,7         | 253,33         |
| <b>Février</b>   | 170,8         | 264,32         |
| <b>Mars</b>      | 206,7         | 319,87         |
| <b>Avril</b>     | 192,7         | 298,21         |
| <b>Mai</b>       | 218,8         | 338,60         |
| <b>Juin</b>      | 210,1         | 325,13         |
| <b>Juillet</b>   | 196,7         | 304,40         |
| <b>Août</b>      | 173,8         | 268,96         |
| <b>Septembre</b> | 165,2         | 255,65         |
| <b>Octobre</b>   | 154,4         | 238,94         |
| <b>Novembre</b>  | 145,6         | 225,32         |
| <b>Décembre</b>  | 150,3         | 232,59         |
| <b>Total</b>     | <b>2148,8</b> | <b>3325,31</b> |

### 4. Infiltration

| Désignation  | Unités | J    | F    | M    | A  | M | J | J | A | S | O    | N  | D    | Total |
|--------------|--------|------|------|------|----|---|---|---|---|---|------|----|------|-------|
| Infiltration | mm     | 49,6 | 46,4 | 49,6 | 48 |   |   |   |   |   | 49,6 | 48 | 49,6 | 340,8 |

### 5. Besoins en eau

|                                   |               |        |               |        |                    |     |            |
|-----------------------------------|---------------|--------|---------------|--------|--------------------|-----|------------|
| Hypothèse de simulation (besoins) | Population    | 14 737 | Pastoraux     | 64 386 | Agricoles          |     | Efficience |
|                                   | C (l/jr/hab.) | 20     | C (l/jr/tête) | 40     | cultures Vivrières | 250 |            |
|                                   |               |        |               |        | maraîchage         | 250 |            |

| Désignation                             | Unités | J     | F     | M     | A      | M    | J      | J     | A    | S     | O     | N    | D      |
|---|--------|-------|-------|-------|--------|------|--------|-------|------|-------|-------|------|--------|
| Evaporation                             | mm     | 253,3 | 264,3 | 319,9 | 298,21 | 339  | 325,13 | 304,4 | 269  | 255,7 | 238,9 | 225  | 232,59 |
| Infiltration                            | mm     | 49,6  | 46,4  | 49,6  | 48     |      |        |       |      |       | 49,6  | 48   | 49,6   |
| <b>Besoins domestiques et pastoraux</b> |        |       |       |       |        |      |        |       |      |       |       |      |        |
| Domestiques                             | 1000m3 | 6,9   | 6,4   | 6,9   | 6,4    | 6,9  | 6,4    | 6,9   | 6,4  | 6,9   | 6,4   | 6,9  | 6,4    |
| Pastoraux                               | 1000m3 | 79,8  | 74,7  | 79,8  | 77,3   | 79,8 | 77,3   | 79,8  | 79,8 | 77,3  | 79,8  | 77,3 | 79,8   |
| <b>Besoins agricoles</b>                |        |       |       |       |        |      |        |       |      |       |       |      |        |
| Cultures vivrières                      | m3/ha  |       |       |       |        |      | 692    | 1010  | 0    | 507,5 | 351   |      |        |
| Maraîchage                              | m3/ha  | 1308  | 1940  | 2998  | 1220   |      |        |       |      |       |       |      | 7260   |
| BN                                      | 1000m3 | 327   | 485,1 | 749,5 | 305    |      | 173    | 252,5 | 0    | 126,9 | 87,75 | 0    | 1815   |
| BB                                      | 1000m3 | 545   | 808,5 | 1249  | 508,33 | 0    | 288,33 | 420,8 | 0    | 211,5 | 146,3 | 0    | 3025   |

| <b>Simulation: Maraîchage (saison sèche)</b> |           |           |           |           |           |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mois   | décembre  | janvier   | février   | mars      | avril     |
| Besoins agricoles (m3)                       | 3 025 000 | 545 000   | 808 333   | 1 249 167 | 508 333   |
| Besoins pastoraux (m3)                       | 79 839    | 79 839    | 74 688    | 79 839    | 77 263    |
| Besoins Domestiques (m3)                     | 9 137     | 9 137     | 8 547     | 9 137     | 8 842     |
| Consommations (m3)                           | 3 113 976 | 633 976   | 891 569   | 1 338 142 | 594 439   |
| Infiltration (m)                             | 0,233     | 0,253     | 0,264     | 0,320     | 0,298     |
| Evaporation (m)                              | 0,050     | 0,050     | 0,046     | 0,050     | 0,048     |
| Pertes (m)                                   | 0,282     | 0,303     | 0,311     | 0,369     | 0,346     |
| Apports (m3)                                 | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| PE Initial (m)                               | 206,01    | 205,72    | 205,41    | 205,04    | 204,70    |
| Volume Initial (m)                           | 8 502 476 | 7 250 000 | 6 500 000 | 5 756 000 | 5 000 000 |
| Volume après consommations (m3)              | 6 799 918 | 6 165 943 | 5 274 374 | 3 936 231 | 3 341 792 |
| PE après consommations (m)                   | 205,5     | 205,3     | 204,7     | 204,3     | 204,1     |

## 6. Dimensionnement de la Digue et ses ouvrages annexes

- **Hauteur de la Digue**

Côte crête : côte PHE + Revanche = 207,14 + 0,7 = 208,14 m

Côte fond : 201 m

Hauteur maximale de la digue : 7,84 m

Nous la fixons à 7.84 m

- **Largeur en crête  $l_c$**

Formule de KNAPPEN :  $l_c = 4,5$  m

Formule de PREECE :  $l_c = 4,01$  m

La valeur retenue est de 4,20 m

- **Largeur de base**

Fruit du talus amont = fruit du talus aval =  $m = 2$

Largeur de base = 34,2 m

Nous la fixons à 35 m

- **Tranchée d'ancrage**

Talus de la tranchée : 1H/3V

Coefficient de LANE :

$C = 3$  pour le lit mineur et  $C = 2,5$  en rive droite

Hauteur d'eau :  $H = 5,3$  m

$L_h$  = longueur des cheminements horizontaux, 35 m

$L_v$  = longueur des cheminements verticaux, 6,5 m

**$P_{min} = 2,6$  m**

- **Infiltration à travers la digue**

- **Protection de la digue**

L'épaisseur minimum de la couche d'enrochement est donnée par la relation suivante utilisée par la "TENNESSEE VALLEY AUTHORITY" (T.V.A) :

$$e = C.V^2$$

Avec :

- $V$  = vitesse des vagues en  $m/s$  selon la formule de GAILLARD = 2,77  $m/s$  ;
- $C$  = coefficient dépendant de la pente du talus et du poids spécifique de l'enrochement utilisé = 0,028 (pour un talus amont 1/2 et un poids spécifique  $\gamma = 2,65$   $t/m^3$ );
- $e$  = épaisseur minimum de la couche d'enrochement en m.

$$e = C.V^2 = 0.028*2.77^2 = 0.215 \text{ m}$$

• Bassin de dissipation

|  |                          |         |
|--|--------------------------|---------|
| Lame d'eau sur le déversoir            | $h_0$ (m)                | 1       |
| Hauteur maximale au droit du déversoir | H (m)                    | 5,3     |
| Enfoncement du bassin                  | D (m)                    | 0,7     |
| Débit de crue laminé                   | Q (m <sup>3</sup> /s)    | 834.768 |
| Débit unitaire                         | q (m <sup>3</sup> /s/ml) | 2,879   |
| Vitesse d'eau au dessus du seuil       | V0 (m/s)                 | 2,88    |
| Ligne d'eau                            | H0 (m)                   | 1,18    |
| Hauteur de chute                       | Z (m)                    | 6       |
| Tirant d'eau avant ressaut             | Y1 (m)                   | 0,27    |
| Vitesse d'eau à l'entrée du bassin     | V1 (m/s)                 | 10,48   |
| Froude                                 | Fr                       | 6,34    |
| Tirant d'eau conjugué                  | Y2 (m)                   | 2,3     |
| Longueur du bassin de dissipation      | L (m)                    | 7       |

Bassin retenu : bassin de type II en béton cyclopéen

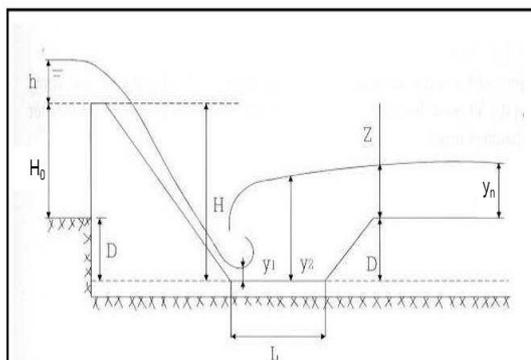
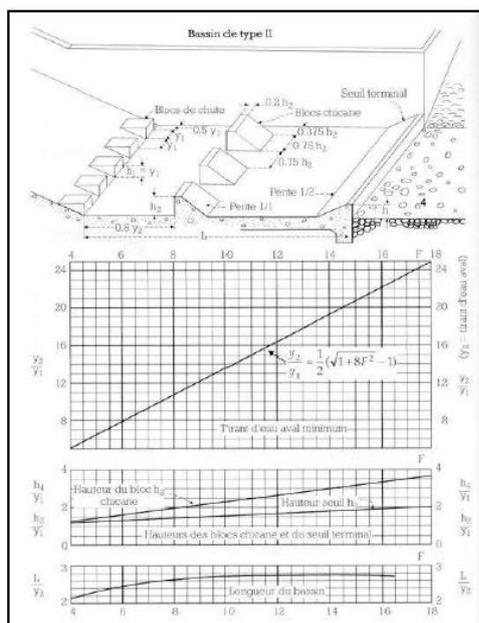
Longueur : 7 m profondeur : 0.7 m

Epaisseur : 25 cm

Hauteur du seuil terminal : 30 cm hauteur blocs chicanes : 40 cm

Distance entre chicane : 35 cm Ecart talus : 1.80 m

Protection aval : gabion de blocage de 2\*1\*0.5 ancré à 30 cm.



- **Chenal d'évacuation**

$$\frac{Q}{K_s \sqrt{I}} = \frac{y_n (b + my)^{5/3}}{(b + 2y_n \sqrt{1 + m^2})^{2/3}}$$

Pente I = 4 m/km

Talus : 3H/2V      largeur en gueule : 154 m

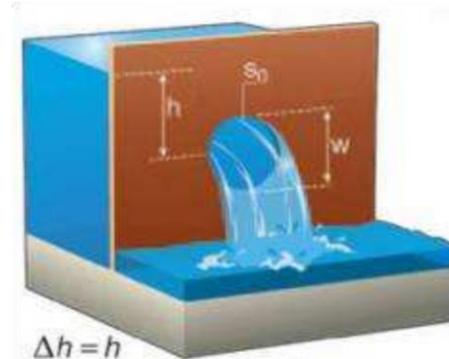
Tirant d'eau maximal : 1.2 m

- **Ouvrage de prise**

Côte ouvrage de prise : 203.3 m

Hauteur d'eau au PEN : 5.3 m

Hauteur d'eau au PBE : 0.5 m



Nous assimilons la vidange du barrage à un cas de vidange sous charge représentée par la figure ci-dessus qui n'est rien d'autre qu'une vidange d'un simple réservoir.

La formule de Torricelli permet d'exprimer la vitesse du fluide à la sortie du réservoir. Ainsi en appliquant Bernoulli entre le plan d'eau et à la sortie, nous avons :

$$\frac{P_{plan}}{\rho g} + Z_{plan} + \frac{V_{plan}^2}{\rho g} = \frac{P_{sortie}}{\rho g} + Z_{sortie} + \frac{V_{sortie}^2}{\rho g}$$

La pression au plan d'eau et à la sortie n'est rien d'autre que la pression atmosphérique et la vitesse au plan d'eau est nulle. Soit h la charge d'eau à l'amont au dessus du centre de l'orifice et ω la section de sortie de l'orifice.

De ce qui précède, nous avons :

$$V_{sortie} = \sqrt{2gh} \quad \text{Formule de Torricelli}$$

$$Q_{sortie} = \omega \sqrt{2gh}$$

Ensuite nous avons exprimé le phénomène de vidange par une égalité entre le volume entrant et le volume sortant :

$$\omega \sqrt{2gh} = -\Omega(z) dz$$

$\Omega(z)$  est la relation qui exprime la surface du plan d'eau par rapport à la côte Z, avec  $h = Z - Z_{\text{fond}}$ .

Afin de calculer la section  $\omega$  nous avons procédé à une intégration et aussi et en fixant un temps de vidange.

$$\omega = -\frac{1}{T\sqrt{2g}} \int_0^h \int \frac{\Omega(h+zf)d(h+z)}{\sqrt{h}}$$

Nous avons opté pour une section circulaire et les résultats sont consignés dans le tableau qui suit :

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| Temps de vidange (jours)             | 4     |
| Section calculée (mm)                | 186,8 |
| Section commerciale choisie (mm)     | 200   |
| Débit de vidange (m <sup>3</sup> /s) | 26,54 |

## 7. Etude de la stabilité

| stabilité du déversoir               |               |              |                   |                  |                |
|--------------------------------------|---------------|--------------|-------------------|------------------|----------------|
| Désignations                         | Force [kN/ml] |              | Bras de levier[m] | Moments [KN.m]   |                |
|                                      | Vertical e    | Horizontal e |                   | stabilisants [+] | renversants[+] |
| <b>Poids propre</b>                  |               |              |                   |                  |                |
| W1 = 6*0.4*24                        | 57.60         |              | 13.20             | 760.32           |                |
| W2 = 5.3*1*3/2*24                    | 826.80        |              | 8.67              | 7165.60          |                |
| W3 = 13*0.7*24                       | 218.40        |              | 6.50              | 1419.60          |                |
| <b>Poussées externes</b>             |               |              |                   |                  |                |
| P-e1 = 12*6                          |               | 72.00        | 3.00              |                  | 216.00         |
| P-e2 = 60*6/2                        |               | 180.00       | 2.00              |                  | 360.00         |
| P-ea = 7*0.7/2                       |               | 2.45         | 0.23              | 0.57             |                |
| <b>Sous pressions</b>                |               |              |                   |                  |                |
| Pi-1 = 28.57*0.4                     | 11.21         |              | 13.20             |                  | 147.95         |
| Pi-2 = 7*1*3                         | 91.00         |              | 6.50              |                  | 591.50         |
| Pi-3 = 22.31*0.4/2                   | 4.46          |              | 13.27             |                  | 59.20          |
| Pi-4 = 21.02*1*3/2                   | 136.63        |              | 8.67              |                  | 1184.12        |
| <b>Poussées des terres Amont</b>     |               |              |                   |                  |                |
| P-T = 2.74*0.7/2                     |               | 0.96         | 0.23              |                  | 0.22           |
| somme des forces verticales : W      | 859.50        |              |                   |                  |                |
| somme des forces horizontales : U    | 250.51        |              |                   |                  |                |
| somme des moments stabilisants : M-s |               |              |                   | 9346.09          |                |
| somme des moments renversants : M-r  |               |              |                   |                  | 2559.00        |

$$Fg = \frac{(859.5) \tan 20}{250.11} = 1.25$$

$$Fr = \frac{9346.09}{2559.00} = 3.65$$

$$X = \frac{(9346.09 - 2559.0)}{859.5} = 7.90 \text{ m}$$

$$e = \frac{13.4}{2} - 7.9 = -1.23$$

La règle du tiers central

$$-\frac{b}{6} \leq e \leq \frac{b}{6}$$

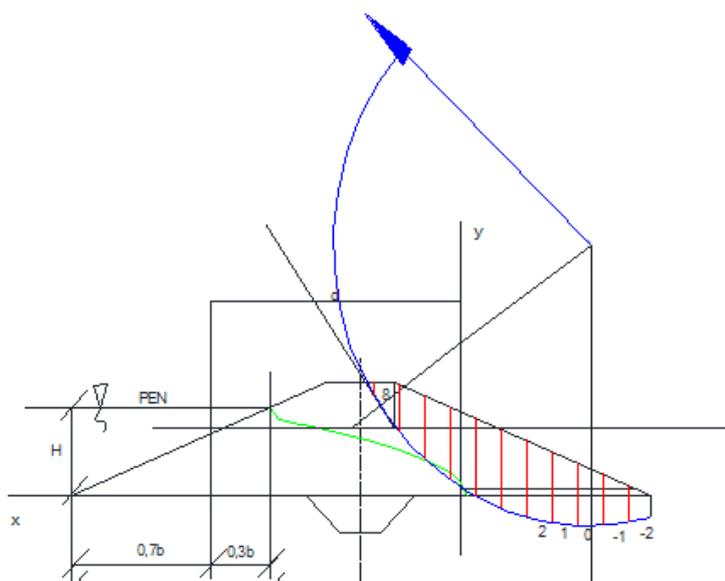
$$-\frac{13.4}{6} \leq e \leq \frac{13.4}{6} \rightarrow -2.23 < e < 2.23$$

$$e = -1.23 \text{ m}$$

### Stabilité au poinçonnement

| Paramètres   | Valeur      |
|--|-------------|
| Forces verticales N (KN/ml)                          | 859.5       |
| Largeur du déversoir b (m)                           | 13.4        |
| Excentricité e (m)                                   | -1.23       |
| Contrainte de référence $\sigma_{ref}$               | 72.26       |
| Poids volumique du sol $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> ) | 2.2         |
| Coefficient de capacité portante $N\gamma$           | 5.39        |
| Cohésion du sol C (t/m <sup>2</sup> )                | 4           |
| Facteur de capacité portante $N_c$                   | 14.83       |
| Profondeur d'ancrage D (m)                           | 2.6         |
| Facteur de capacité portante $N_q$                   | 6.4         |
| Contrainte admissible $q_{adm}$ (kN/m <sup>2</sup> ) | 175.38      |
| <b>Facteur de poinçonnement <math>F_p</math></b>     | <b>2.43</b> |

### Stabilité des pentes du talus



|         | $\gamma d$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | 2.65     | C                                   | 4                         | L (m)                  | 17.42  | $\varphi$ (rad)     | 0.192 |
|---------|-----------------------------------|----------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|--------|---------------------|-------|
| Tranche | $V = S \cdot l$                   | $\alpha$ | $W = V \cdot (9.81 \cdot \gamma d)$ | $N = W \cdot \cos \alpha$ | $N \cdot \tan \varphi$ | CL     | $T = W \sin \alpha$ |       |
| 1       | 1.606                             | 1.026    | 41755.58                            | 21624.283                 | 4203.33                | 696800 | 35720.00            |       |
| 2       | 3.98                              | 0.834    | 103466.07                           | 69486.911                 | 13506.89               |        | 76660.27            |       |
| 3       | 5.64                              | 0.678    | 146620.26                           | 114202.57                 | 22198.73               |        | 91952.56            |       |
| 4       | 6.45                              | 0.539    | 167677.43                           | 143923.18                 | 27975.83               |        | 86033.93            |       |
| 5       | 6.24                              | 0.289    | 162218.16                           | 155497.71                 | 30225.69               |        | 46208.16            |       |
| 6       | 5.783                             | 0.172    | 150337.76                           | 148130.6                  | 28793.67               |        | 25666.48            |       |
| 7       | 3.056                             | -        | 79445.30                            | 78432.189                 | 15245.67               |        | -12647.06           |       |
| 8       | 0.701                             | -        | 18223.55                            | 16917.941                 | 3288.51                |        | -6773.54            |       |
| TOTAUX  |                                   |          |                                     | 748215.38                 | 145438.34              |        | 342820.81           |       |
| Fs      |                                   |          |                                     | 2.46                      |                        |        |                     |       |

#### IV. ANNEXES IV : METRE ET DEVIS

| N° PRIX  | DESIGNATION   | UNITE | Quantité | P.U (FCFA) | PRIX TOTAL (FCFA)  |
|----------|---|-------|----------|------------|--------------------|
| <b>1</b> | <b>Installation et Services</b>   |       |          |            |                    |
| 1.1      | Installation, amenée et repli du chantier   | ff    | 1        | 50.000.000 | 50.000.000         |
| 1.2      | Etudes techniques complémentaires (géotechnique, conception, dimensionnement)                                 | ff    | 1        | 10 000 000 | 10 000 000         |
| 1.3      | Dossier d'exécution et plans de recollement   | ff    | 1        | 10 000 000 | 10 000 000         |
| 1.4      | Implantation des ouvrages   | ff    | 1        | 5 000 000  | 5 000 000          |
|          | <b>Sous total installation et service</b>   |       |          |            | <b>75 000 000</b>  |
| <b>2</b> | <b>Digue pour barrage</b>   |       |          |            |                    |
| 2.1      | Abattage d'arbres de DN supérieur à 1 m   | u     | 10       | 20 000     | 200 000            |
| 2.2      | Débroussaillage et décapage de l'emprise  | m2    | 31445    | 500        | 15 722 500         |
| 2.3      | Déblai grande masse aux engins  | m3    | 3011     | 1 500      | 4 516 500          |
| 2.4      | Déblai à la main en terrain meuble  | m3    | 312      | 1 500      | 468 000            |
| 2.5      | Remblai latéritique compacté du corps de la digue   | m3    | 4500     | 7 000      | 31 500 000         |
| 2.6      | Remblai argileux compacté pour tranchée d'ancrage   | m3    | 3200     | 6 000      | 19 200 000         |
| 2.7      | Sable calibré pour drains et filtres  | m3    | 1410     | 6 000      | 8 460 000          |
| 2.8      | Matériaux sélectionnés pour couche de pose (protection talus amont)   | m3    | 1570     | 7 500      | 11 775 000         |
| 2.9      | Perré sec pour fossé de garde au pied du talus aval   | m3    | 110      | 15 000     | 1 650 000          |
| 2.10     | Perré sec pour la protection des talus amont y compris boutisses intercalaires                                | m3    | 1656     | 15 000     | 24 840 000         |
| 2.11     | Maçonnerie de moellons pour muret de crête  | m3    | 55       | 30 000     | 1 650 000          |
|          | <b>Sous total digue pour barrage</b>  |       |          |            | <b>119 982 000</b> |
| <b>3</b> | <b>Ouvrage de prise et de vidange</b>   |       |          |            |                    |
| 3.2      | Puisard aval de type impact de dimensions prévues par les plans y compris toutes suggestions de mise en œuvre | u     | 1        | 8 000 000  | 8 000 000          |
| 3.3      | Puisard amont de 1,5x6,6x6,35 y compris toutes suggestions de mise en œuvre                                   | u     | 1        | 7 000 000  | 7 000 000          |
| 3.4      | Chambre de vannes de 1,90x1,20x2,20 y compris toutes suggestions de mise en œuvre                             | u     | 1        | 1 500 000  | 1 500 000          |
| 3.5      | Réalisation de conduite en fonte DN250  | ml    | 38       | 15 000     | 570 000            |
| 3.6      | Ecran anti renard de 1,4x2, 20x0,10 y compris toutes suggestions de mise en œuvre                             | u     | 7        | 200 000    | 1 400 000          |
| 3.7      | Vanne papillon DN 1200  | u     | 1        | 1 000 000  | 1 000 000          |
| 3.8      | Vanne à crémaillère   | u     | 1        | 500 000    | 500 000            |
| 3.9      | Crépine DN 1200 (locale)  | u     | 1        | 150 000    | 150 000            |
| 3.10     | Grille de protection  | u     | 1        | 150 000    | 150 000            |

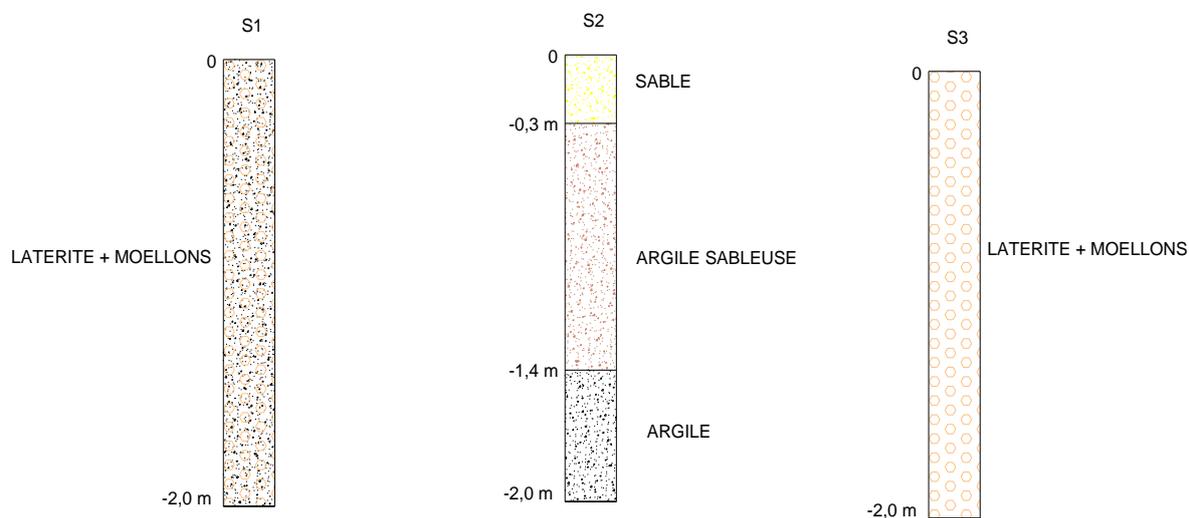
|                                    |   |    |      |         |                      |
|------------------------------------|---|----|------|---------|----------------------|
| 3.11                               | Fourniture et pose d'Echelle limnimétrique en 10 batteries              | ml | 10   | 20 000  | 200 000              |
| 3.12                               | Fourniture et pose de passerelle  | ml | 25   | 150 000 | 3 750 000            |
|                                    | <b>Sous total ouvrage de prise et de vidange</b>                        |    |      |         | <b>24 220 000</b>    |
| <b>4</b>                           | <b>Evacuateur de crues et bassin de dissipation</b>                     |    |      |         |                      |
| 4.1                                | Déblai grande masse aux engins  | m3 | 9412 | 1 500   | 14 118 000           |
| 4.2                                | Déblai manuel   | m3 | 130  | 1 500   | 195 000              |
| 4.3                                | Béton de propreté dosé à 150 kg/m3                                      | m3 | 176  | 80 000  | 14 080 000           |
| 4.4                                | Béton armé dosé à 350 kg/m3   | m3 | 6540 | 175 000 | 1 144 500 000        |
| 4.5                                | Joint waterstop   | ml | 594  | 75 000  | 44 550 000           |
| 4.6                                | Enrochement pour protection aval  | m3 | 5700 | 10 000  | 57 000 000           |
| 4.7                                | Gabions pour protection de berges                                       | m3 | 100  | 40 000  | 4 000 000            |
| 4.8                                | Membrane géotextile   | m2 | 5336 | 4 000   | 21 344 000           |
| 4.9                                | Barbacanes pour les surpressions sous le bassin de dissipation en PVC63 | ml | 350  | 1 500   | 525 000              |
| 4.10                               | Sable calibré pour filtre sous bassin de dissipation                    | m3 | 1936 | 6 000   | 11.616.000           |
|                                    | <b>Evacuateur de crues et bassin de dissipation</b>                     |    |      |         | <b>1.311.928.000</b> |
| <b>SOUS TOTAL BARRAGE</b>          |   |    |      |         | <b>1.531.130.000</b> |
| <b>Frais d'adjudication (1%)</b>   |   |    |      |         | 15 311 300           |
| <b>Frais d'enregistrement (5%)</b> |   |    |      |         | 76 556 500           |
| <b>TVA (19%)</b>                   |   |    |      |         | 290 914 700          |
| <b>TOTAL TRAVAUX TTC</b>           |   |    |      |         | <b>1.913.912.500</b> |

## V. ANNEXES V : PLANS ET CARTES

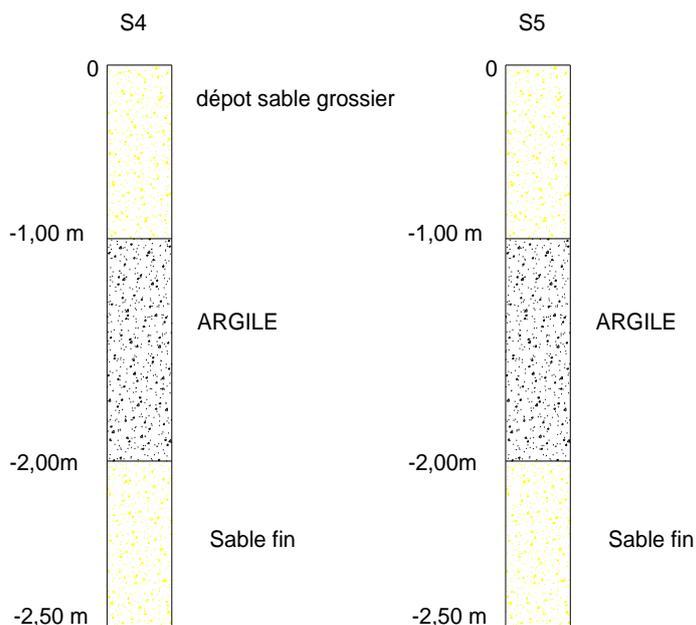
### 1. Bassin versant de Goroubi



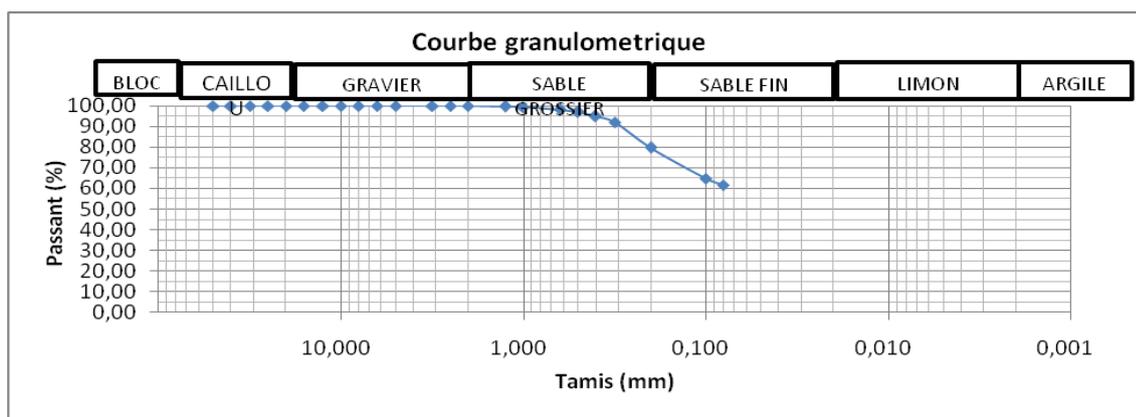
### 2. Sondage dans l'axe de la digue



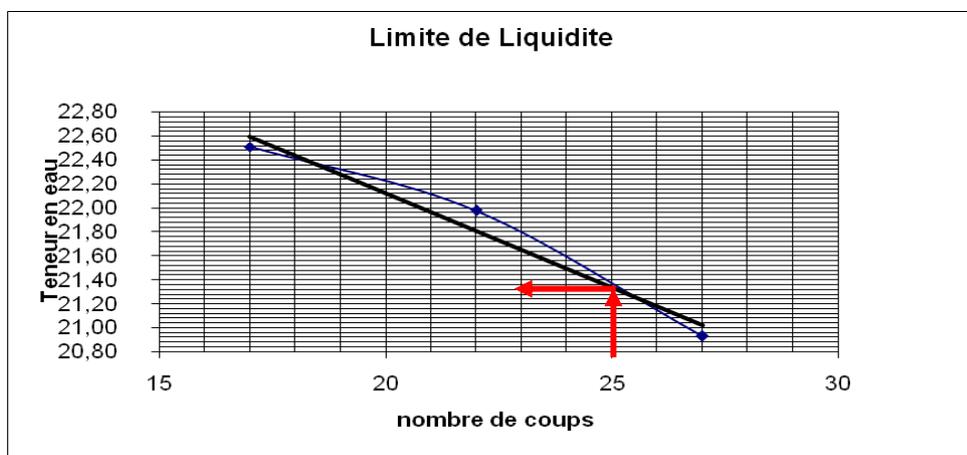
### 3. Sondage dans la cuvette



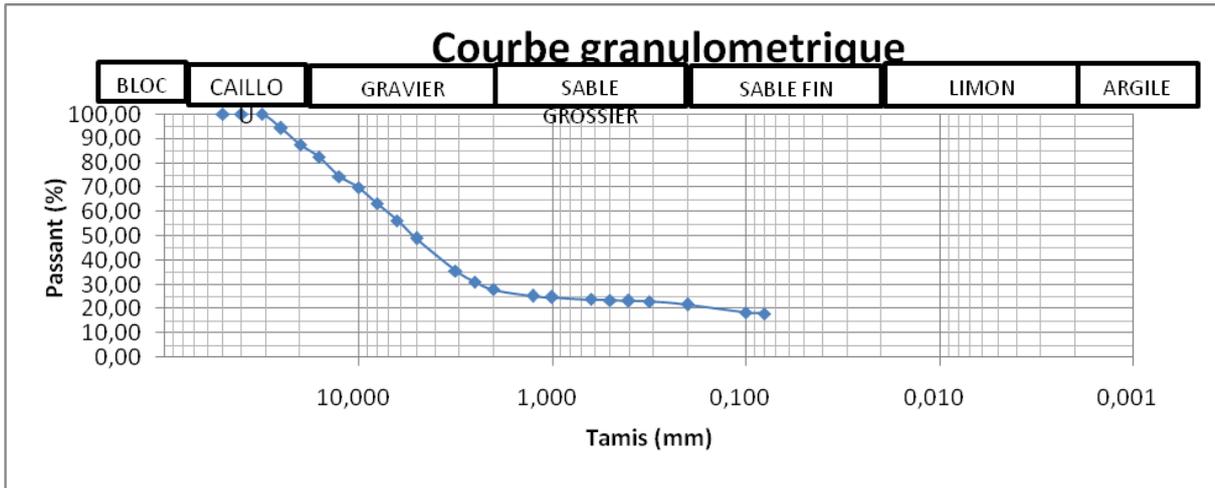
#### 4. Analyse granulométrique de l'axe du barrage



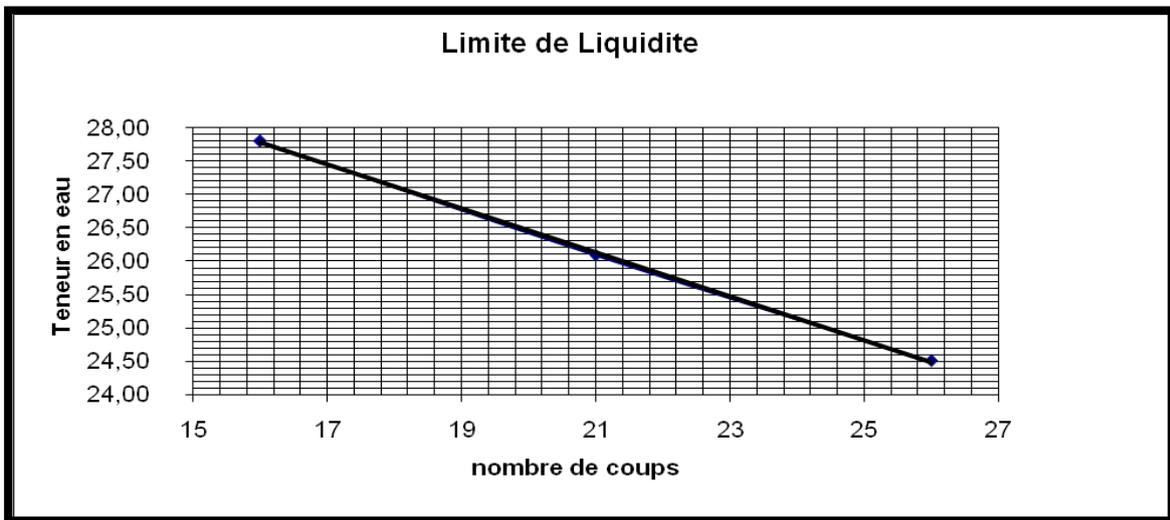
#### 5. Limites d'ATTERBERG de l'axe du barrage



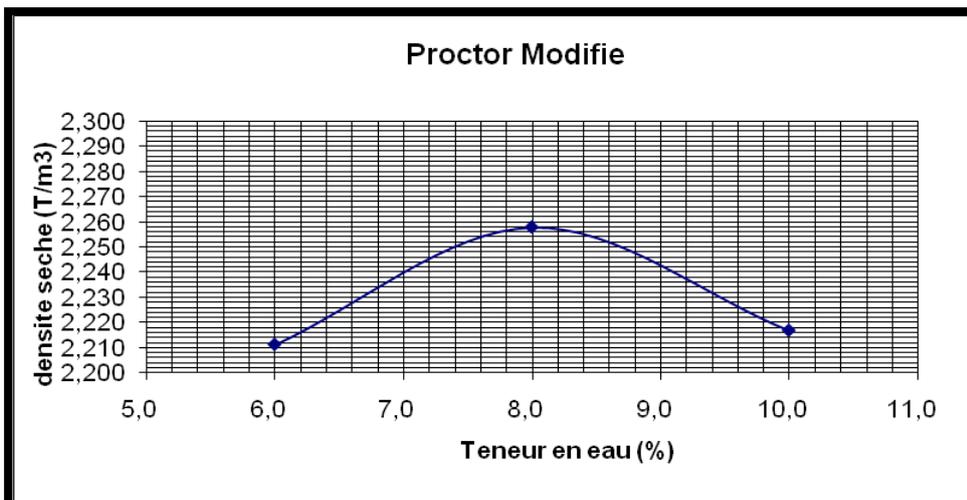
**Analyse granulométrique de la zone d'emprunt**



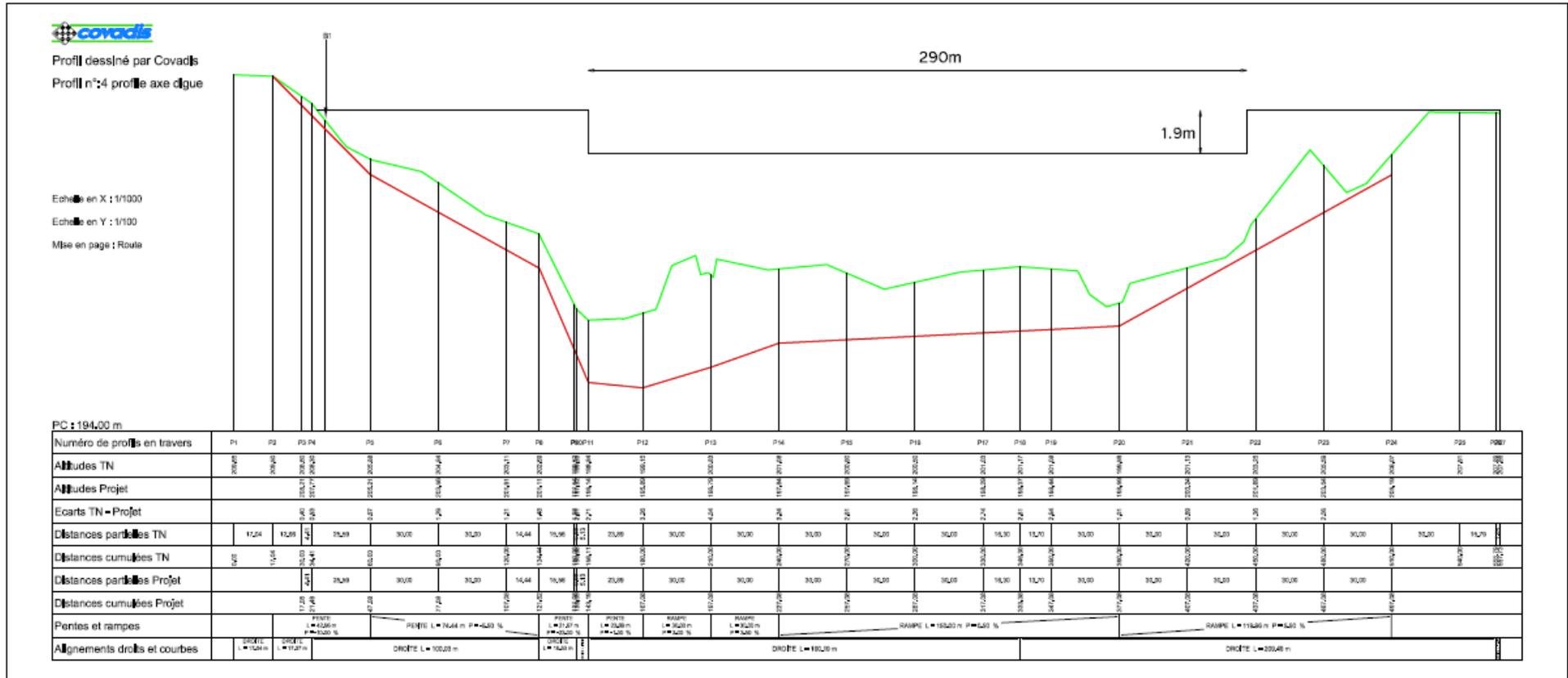
**Limites d'ATTERBERG de la zone d'emprunt**



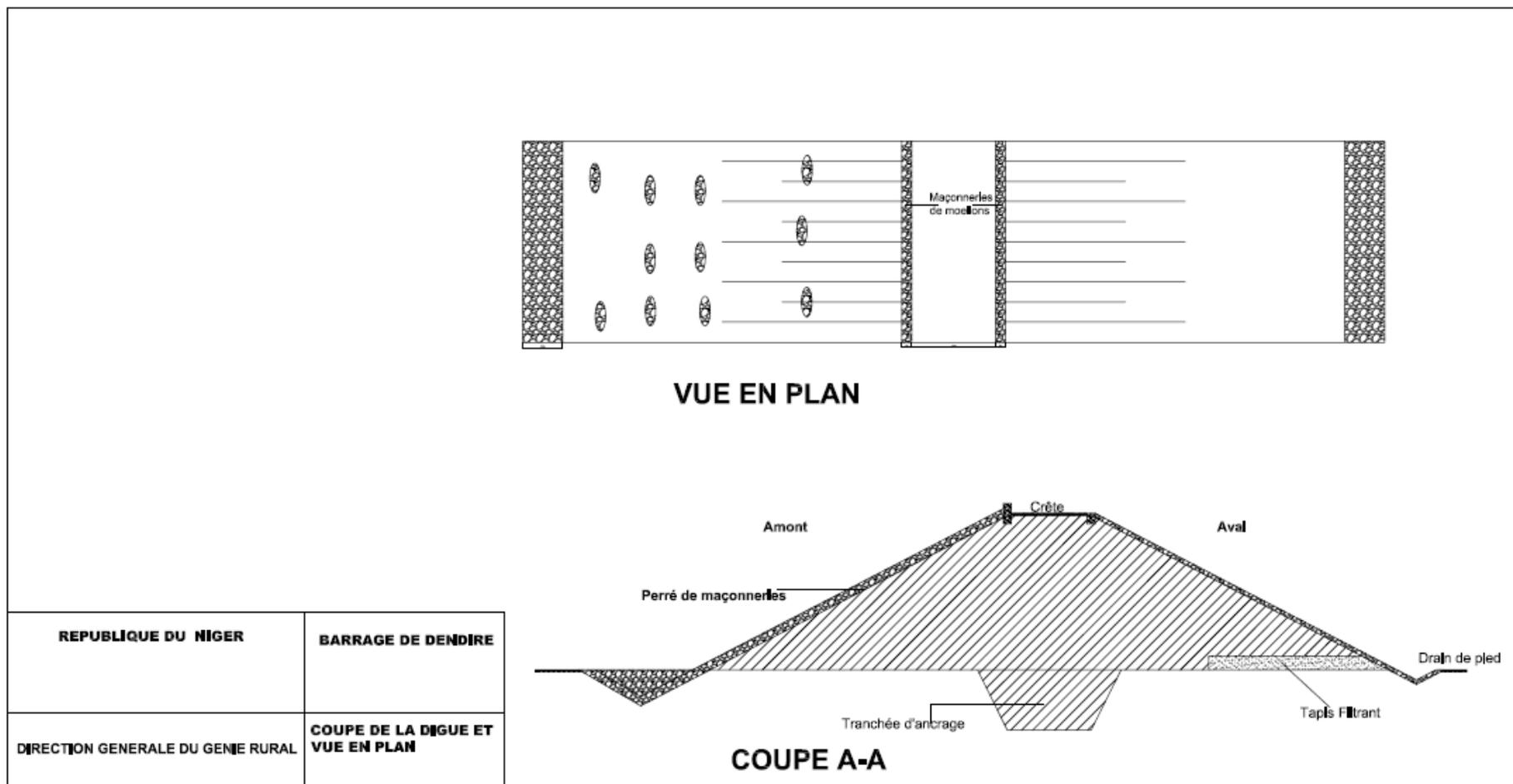
**Essai PROCTOR modifié de la zone d'emprunt**



## 6. Profil en long de la digue



7. Vue en plan et coupe de la digue



## 8. Coupe du déversoir et du bassin de dissipation

