

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1999

Présenté par :

DAYNOU Mathurin

Analyse des risques potentiels d'impacts sur l'environnement en aval du barrage de Ziga

E. I. E. R.
Enregistré à l'Arrivée le _____ s/N° 369/99

MENTION :

Encadrement

S. YONKEU

L. MAR

DÉDICACE

Très chère Maman,

Sous la pluie comme sous le soleil ardent, de nuit comme de jour, contre vents et marées, patiemment et méticuleusement, tu n'a cessé de gratter ici et là; de bêcher avec force et conviction, d'arroser et de protéger contre les mauvaises herbes la semence que tu as mise en terre ce matin du 28 Mars 1966. Il était exactement 1 h 30 mn du matin...

Puisse ce travail t'apporter un peu de joie et de réconfort et justifier tant de patience et de peine.

Jadis tu me le rappelais sans cesse :

"Quand on est patient et travailleur, on sait qu'un échec dans la vie n'est pas l'échec de la vie"

Avec tout mon amour, je te dédie les résultats de ce travail

Chère petite sœur, TCHAKA Madeleine Bernadette

Tu étais encore de ce monde lorsque je quittais le Cameroun pour le Burkina en quête de Connaissance. Tu ne seras pas là pour participer à la récolte car rappelée à Dieu le lendemain de mon arrivé à l'EIER.

J'espère toutefois, que ce travail honorera à sa juste valeur ta mémoire.

Que la terre de nos ancêtres te soit légère...

A tout mes Ami(e)s, frères et soeurs, pour leur soutien constant et leur amour sans cesse renouvelé, je dédie le fruit de ce travail ainsi que toute ma reconnaissance.



REMERCIEMENTS

Le présent travail, fruit de plusieurs années d'étude et de dure labeur, n'a pu être mené à son terme que grâce au soutien constant et à l'appui moral, intellectuel, matériel et financier de personnes morales et/ou physiques à qui il nous plairait ici d'adresser nos sincères remerciements:

- ◆ *Que le **Docteur YONKEU Samuel**, principal encadreur du présent mémoire trouve ici l'expression de notre profonde gratitude pour la qualité de l'appui dont il nous a fait bénéficier tout au long du présent travail*
- ◆ *Au **Docteur DA DAPOLA Evariste**, nous adressons nos vifs remerciements pour la qualité du suivi et pour les critiques judicieusement prodiguées,*
- ◆ *Que Monsieur **Lamine MAR** veuille bien trouver ici nos remerciements sincères pour son aide précieuse ,*
- ◆ *Pour le soutien moral et matériel dont il nous a fait bénéficier, pour avoir orienté notre sujet et pour nous avoir guidé dans nos recherches documentaires aussi bien que dans nos investigations de terrain, nous adressons ici à Monsieur **Nébié Boureima** , notre profonde gratitude ; l'intérêt qu'il a porté à notre étude a été déterminant pour sa conduite heureuse Nous lui en sommes très reconnaissant,*
- ◆ *Nous ne saurions oublier Monsieur **TRAORE Omar** qui, malgré un emploi de temps très chargé à bien voulu dégager du temps pour nous assister dans nos investigations et qui nous a fait bénéficier de sa bibliothèque personnelle.*
- ◆ *A toutes les personnes ressources contactées (une liste exhaustive se trouve en annexe) , et dont les conseils et les recommandations ont été déterminants pour l'aboutissement de ce travail, nous adressons ici nos sincères remerciements,*
- ◆ *A tout le personnel de la Maîtrise d'ouvrage de Ziga, et particulièrement à Son Directeur Technique, Monsieur **SOUALLA Louis**, nous adressons ici nos sincères remerciements et notre profonde gratitude pour les suggestions et les conseils reçus ainsi que pour l'assistance matérielle et le soutien logistique dont nous avons bénéficiés de la part de la MOZ,*
- ◆ *A La Direction des Etudes ainsi qu'à l'ensemble du corps professoral de l'EIER, nous adressons nos remerciements pour la qualité de la formation reçue,*
- ◆ *Nous remercions du fond du coeur la République Fédérale Allemande pour l'opportunité de formation qu'elle m'a offerte à travers l'octroi d'une bourse d'étude,*
- ◆ *A tout ceux qui de près ou de loin ont aidé à l'aboutissement heureux de travail et en particulier:*

*Qu'il me soit permis de témoigner ici à **Mlle BETEL N. Modeste** toute ma sympathie et mon admiration : elle aura été d'un apport remarquable et d'un soutien sans faille tout au long de ce travail. Du fond du coeur , nous lui adressons nos sincères remerciements.*



A Mlle NDJIKEUTCHI Françoise qui m'a soutenu tout au long de mes études dans les moments de joie comme dans la détresse, je renouvelle ici ma profonde sympathie et ma profonde gratitude.

Je ne saurais oublier Mlle Consolata MANIRAKIZA qui sans être auprès de moi a été d'un apport sans pareil à travers des lettres d'encouragement et par une assistance matérielle très généreuse. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Que ceux qui, d'une manière ou d'une autre ont oeuvré pour l'aboutissement heureux de ce travail et/ou de ma formation et dont il n'a pas été nommé fait mention ici, veuillent bien accepter l'expression de ma profonde gratitude.

Malgré les riches apports des uns et des autres pour améliorer le présent mémoire, il se peut que des insuffisances demeurent. Si elles venaient à être décelées, nous en porterions l'entière responsabilité.

A TOUS, NOUS EXPRIMONS NOTRE PROFONDE GRATITUDE

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIERES.....	v
LISTE DES TABLEAUX ET SCHEMAS.....	x
PRINCIPALES ABREVIATIONS	xi
RESUME.....	xii
SUMMARY.....	xiv
AVANT PROPOS.....	xvi
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE	4
CHAPITRE 1 : GENERALITES.....	5
I. BREF APERCU SUR LES BARRAGES AU BURKINA FASO.....	5
1.1. Historique	5
1.1.1- Les grandes barrages du Burkina	5
1.1.2- Ruptures ou accidents graves de barrages au Burkina	5
1.2. Typologie des ruptures de barages.....	6
II. CAUSES DES ACCIDENTS DE BARRAGE AU BURKINA ET DANS LE MONDE:.....	7
II.1. Principales causes de rupture.....	7
CHAPITRE 2 : PRESENTATION SOMMAIRE DU BARRAGE DE ZIGA	9
I. FICHE DE PROJET.....	9
1.1. Hydrologie :	9
1.2. Cuvette :	9
1.3. Barrage :	9
1.4. Ouvrage hydraulique central :	9
II. CONCEPTION GENERALE.....	10
II.1. Barrage en remblai	10
II.2. La fondation du barrage.....	10
II.2.1- Section centrale de la vallée.....	10
II.2.2- Section en rives.....	11
II.3. Auscultation du barrage.....	11
II.3.1- Mesure des Déplacements.....	11
II.3.2- Mesure des Tassements.....	11
II.3.3- Mesure de la Ligne Phréatique	12
II.4. OUVRAGES HYDRAULIQUES	12
II.4.1- L'évacuateur de crues	12
a). Critères de base	12
b). Dessin du seuil	12
II.4.2- Le bassin de dissipation	13
II.4.3- Le Chenal de restitution	13
II.4.4- Le bajoyer de l'entonnement	13
II.4.5- La vidange de fond	13
CHAPITRE 3: PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE	15
I. LES FACTEURS HYDROCLIMATIQUES	15

II. LE CONTEXTE PHYSIQUE ET BIOLOGIQUE.....	15
II.1. Réseau hydrographique	15
II.2. Géomorphologie	16
II.3. Contexte géologique et hydrogéologique	16
II.4. Bref aperçu morpho-pédologique	16
II.5. Caractéristiques des différentes formations végétales	17
II.5.1- Les terrains dénudés :	17
II.5.2- La savane arbustive claire :	17
II.5.3- La savane arbustive dense :	18
II.5.4- La savane arborée :	18
II.5.5- Les formations ripicoles arborées :	18
II.5.6- La formation ripicole herbeuse	19
II.5.7- Les champs et les jachères	19
II.5.8- Les zones de cultures maraîchères	19
II.6. Les forêts classées	19
II.6.1- La forêt classée de Wayen	20
II.6.2- La forêt classée du Nakambé	20
II.7. Les ressources fauniques	20
II.8. Les ressources halieutiques.....	20
II.9. Les ressources pastorales.....	21
CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DU MILIEU SOCIO-ECONOMIQUE.....	22
I. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES	22
II. CARACTERISTIQUES DES VILLAGES :	22
II.1. Les Villages Mossi	22
II.2. Les Villages Bissa :	23
III. LES ACTIVITES ECONOMIQUES	23
III.1. L'agriculture.....	23
III.2. L'élevage.....	24
III.3. La peche	24
III.4. Le maraîchage	24
III.5. L'artisanat	25
III.6. Les activités rémunératrices des femmes	25
IV. INFRASTRUCTURES COLLECTIVES DE LA ZONE D'ETUDE	25
IV.1. Infrastructures Collectives	25
IV.2. Equipements.....	26
IV.3. Les infrastructures de désenclavement.....	26
V. IDENTIFICATION DES VILLAGES DE LA ZONE D'ETUDE	26
V.1. Le village de kougri.....	26
V.1.1- Patrimoine bâti.....	26
V.1.2- Infrastructures collectives.....	27
V.2. village de fingla.....	27
V.2.1- Patrimoine bâti.....	27
V.2.2- Infrastructures collectives.....	27
V.3. Le village de beguedo	27
V.3.1- Généralités : Situation, historique et caractéristiques démographiques	27
V.3.2- Patrimoine bâti.....	28
V.3.3- Infrastructures collectives.....	28
V.4. Le village de niaogo	29
V.4.1- Généralités : Situation, historique et caractéristiques démographiques	29
V.4.2- Patrimoine bâti.....	29
V.4.3- Infrastructures collectives.....	29
V.5. VILLAGES AVV :	29
DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE D'APPROCHE DE L'ETUDE.....	30
I. COLLECTE DES DONNEES :	31

I.1. Les enquêtes dans les services :	31
I.1.1- Le choix des services :	31
I.1.2- Le déroulement des enquêtes et données recueillies:	32
I.2. Les enquêtes Collectives :	32
I.2.1- Observations du milieu :	32
II. TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES:	32
II.1. Cartographie de la zone concernée par l'étude.....	33
a). Approche Méthodologique.....	33
II.2. Analyse des Impacts Environnementaux du Projet	33
II.3. Proposition de Mesure d'accompagnement et d'atténuation :	34
TROISIEME PARTIE : EXPOSÉ DES PRINCIPAUX RÉSULTATS.....	36
CHAPITRE 6: ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE DU BARRAGE DE ZIGA	37
I. PROBLEMATIQUE DE LA SECURITE DU BARRAGE DE ZIGA.....	37
I.1. Analyse de la possibilité de rupture du barrage de ziga a partir des données bibliographiques.	37
I.1.1- Rupture par séisme :	37
I.1.2- Rupture par tassement excessif avec fissuration du remblai :	37
I.1.3- Rupture du fait de l'hétérogénéité des fondations :	38
I.1.4- Ruptures par glissement de talus :	38
I.1.5- Ruptures par renard :	39
I.1.6- Rupture suite à l'érosion du déversoir :	39
I.1.7- Submersion du barrage :	40
I.2. Fiabilité des études de conception du barrage de ziga:	41
I.3. Qualité des travaux d'exécution :	41
I.4. Suivi du barrage.....	42
II. CONCLUSION	42
CHAPITRE 7 : DÉLIMITATION DE LA ZONE DE RISQUE.....	44
I. CONSTAT DU MANQUE DE DONNEES.....	44
II. DEFINITION DE LA ZONE DE RISQUE:	44
II.1. CONCLUSION	45
CHAPITRE 8 : TYPOLOGIE DES RISQUES ENVISAGEABLES ET RECHERCHE DE LEURS CAUSES PROBABLES.....	46
I. TYPOLOGIE DES RISQUES POTENTIELS A L'AVAL DU BARRAGE DE ZIGA	46
I.1. Les risques écologiques	46
I.2. Des risques pour l'homme et son environnement socio-économique :	46
II. CAUSES PROBABLES DES RISQUES IDENTIFIES :	47
II.1. La présence du barrage.....	47
II.2. Les crues passant par le déversoir	47
II.3. Les lâchés pour compenser le manque à gagner au niveau des apports à bagré.....	47
II.4. La rupture du barrage	47
CHAPITRE 9 : EVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX RETENUS.....	49
I. EVALUATION DES RISQUES ECOLOGIQUES :	49
I.1. Effet sur le climat et le microclimat :	49
I.2. Impact sur le sol :	50
I.3. Effet sur les eaux souterraines :	51
I.4. Effet sur les eaux de surface :	51
I.5. Végétation ligneuse et herbacée :	52
I.6. Végétation utilitaire :	53
I.7. Effet sur la faune terrestre :	54
I.8. Effet sur la faune aquatique :	54
II. RISQUES SUR L'HOMME ET SON ENVIRONNEMENT SOCIO-ECONOMIQUE : ..	55

II.1. Effet sur les populations :	55
II.2. Effet sur les ressources naturelles :	56
II.3. Effet sur les cultures :	56
II.4. Effet sur l'élevage :	56
II.5. Effet sur les équipements socio-économique	57
II.6. Effets sur les voies de communication :	57
II.7. L'emploi :	57
II.8. L'artisanat et le commerce :	58
II.9. Les revenus :	58
II.10. La santé publique :	58
II.11. Influence du barrage de ziga sur celui de bagré	59
II.11.1- Influence de ziga sur les apports à bagré	59
a). Année sèche.....	59
b). Année normale.....	59
c). Année humide.....	59
II.11.2- Influence de ziga sur la production d'énergie a bagré.....	59
a). Les données essentielles.....	60
b). Niveaux caractéristiques et règles de gestion à bagré :	60
c). Résultats des simulations.....	60
II.11.3- Réduction de volumes d'eau a l'aval de Bagré.....	61
a). Estimation des volumes turbinés.....	61
II.11.4- Conclusion partielle.....	62

III. ESTIMATION QUANTITATIVE DES RISQUES : CAS DU VILLAGE DE KOUGRI 62

CHAPITRE 10 : PROPOSITION DE MESURES D'ATTÉNUATION OU DE COMPENSATION DES IMPACTS RECENSES..... 67

I. MESURES REDUCTRICES : 67

I.1. Mesures préventives :	67
I.2. Etudes complémentaires :	67

II. MESURES COMPENSATOIRES : 68

II.1. Les mesures de protection de l'environnement :	68
II.1.1- Site d'emprunt argileux :	68
II.1.2- Les zones nus ou « zipellé » :	69
a). Les Actions mécaniques :	69
b). Les Actions biologiques :	69
II.1.3- Les berges dégradées :	69
II.1.4- Les mises en défens :	69
II.2. Mesures de protection des hommes et des activités socio-économiques:	70

III. MESURES D'ACCOMPAGNEMENT : 71

III.1. Le programme de gestion intégrée de l'ensemble du bassin versant du Nakambé:	71
III.2. Les actions spécifiques diverses :	71

CONCLUSION..... 74

BIBLIOGRAPHIE 78

ELEMENTS PHOTOGRAPHIQUES REALISES PAR L'AUTEUR AU COURS DES TRAVAUX DE TERRAIN..... 82

ANNEXES..... 83

RÉSULTAT DE L'ENQUÊTE VILLAGEOISE..... 84

I. ETAT DU MILIEU AVANT LA MISE EN PLACE DU BARRAGE 84

II. ETAT DE PERCEPTION DES RISQUES POTENTIELS EN AVAL DU BARRAGE 84

III. PROPOSITION DE SOLUTIONS..... 85

LISTE DES PERSONNES RESSOURCES RENCONTRÉES 89

LISTE DES TABLEAUX ET SCHEMAS

<i>Tableau N°1 : Grands barrages du Burkina.....</i>	<i>5</i>
<i>Tableau N°2 : Situation des accidents graves de barrages au Burkina.....</i>	<i>6</i>
<i>Tableau N°3 : Répartition des ruptures de barrage dans le monde selon leur cause.....</i>	<i>7</i>
<i>Tableau N°4 : Répartition des ruptures de barrage en fonction de l'âge.....</i>	<i>8</i>
<i>Tableau N°5 : Liste des espèces ichtyennes peuplant le Nakambé moyen.....</i>	<i>21</i>
<i>Tableau N°6 : Répartition de la population par rive et par zone.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau N°7 : Critères d'appréciation des impacts, qualification et symbolisme.....</i>	<i>34</i>
<i>Tableau N°8 : Calcul de la stabilité du barrage de Ziga.....</i>	<i>39</i>
<i>Tableau N°9 : Valeurs estimatives de la crue du projet.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau N°10 : Débit estimatif du Nakambé en aval du barrage de Ziga.....</i>	<i>52</i>
<i>Tableau N°11 : Influence de Ziga sur la productivité d'énergie à Bagré.....</i>	<i>60</i>
<i>Tableau N°12 : Estimation des volumes d'eau turbiné à Bagré.....</i>	<i>61</i>
<i>Tableau N°13 : Matrice D'impact Environnementale Des Risques Analyses.....</i>	<i>65</i>
<i>Tableau N°14 : Mesures et aménagements à mettre en oeuvre suivant les sols et les formations géomorphologiques en présence.....</i>	<i>73</i>

PRINCIPALES ABREVIATIONS

PGAIE	: Plan gouvernemental d'atténuation des impacts sur l'environnement
EIE	: Etude d'Impact sur l'Environnement
PRRR	: Plan de Recasement et de Restauration des Revenus lié à l'implantation de la conduite
ONAT	: Office National de l'Aménagement des Terroirs
ONEA	: Office National de l'Eau et de l'Assainissement
MOZ	: Maîtrise d'Ouvrage de Ziga
MOB	: Maîtrise d'Ouvrage de Bagré
AVV	: Aménagement des Vallées des Volta (appellation actuelle ONAT)
ONG	: Organisme Non Gouvernemental
IGB	: Institut Géographique du Burkina
DIRH	: Direction des Inventaires des Ressources Hydrauliques
DGEF	: Direction Générale des Eaux et Forêts.
ORSTOM	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (actuellement IRD)
BUMIGEB	: Bureau des Mines et Géologie du Burkina
BUNASOL	: Bureau National des Sol
ONBAH	: Office National des Barrages et des Aménagements Hydrauliques
DRS	: Défense et Restauration des sols
CES	: Conservation de Eaux et des Sols
APD	: Avant Projet Détaillé
APS	: Avant Projet Sommaire
Mm ³	: Million de mètre cube
CSPS	: Centre de Santé et de Protection Sociale

RESUME

La construction d'un grand barrage perturbe généralement les écosystèmes naturels dont l'homme tire profit depuis des générations. Avec pour soucis majeur le développement durable, notre étude, qui concerne l'analyse des risques potentiels en aval du barrage de Ziga, permet de faire le bilan des effets liés à la mise en place de ce barrage et en cas de sa rupture éventuelle afin de proposer les dispositions techniques et institutionnelles nécessaires à l'atténuation ou à l'élimination des impacts négatifs.

Pour l'identification et l'évaluation des risques potentiels, trois méthodes ont été utilisées à savoir, l'analyse documentaire, les interviews individuelles ou semi-structurées de groupe et les observations de terrain.

La comparaison de l'état initial de la zone d'étude avec la situation qui pourrait survenir en l'aval du barrage après sa réalisation a permis d'identifier les impacts sur l'environnement qui peuvent se résumer comme suit.

En situation normale (hors sinistre), la réalisation du barrage va empêcher l'eau de s'écouler en aval, sauf en cas de débordement par l'ouvrage évacuateur des crues, de restitution d'un débit de fuite dans le cours d'eau, ou lors d'une vidange de la retenue. L'effet immédiatement perceptible en aval sera donc l'absence d'un écoulement habituel dans le lit du cours d'eau. La zone de marnage entre les plus hautes eaux et l'étiage en temps de situation sans barrage sera l'une des plus affectées.

Le régime hydrologique du cours d'eau en aval sera profondément modifié. Le lit sera précocement sec par rapport à la situation sans barrage. Les crues annuelles se produiront plus tardivement et seront nivelées. Les années sèches, elles seront inexistantes. Cependant, cette influence va en diminuant à mesure que l'on s'éloigne du site du barrage à cause de l'apport d'importants affluents du Nakambé.

En aval immédiat du barrage, si la perméabilité de la roche des fondations du barrage le permet, la nappe sera rechargée de façon appréciable. Mais plus loin en aval, le déficit d'écoulement provoqué par la présence du barrage pourrait être à l'origine d'un manque à gagner sur le plan de la recharge de la nappe phréatique.

Au plan qualitatif, les risques de pollution des eaux souterraines par les eaux de crues, quelques fois chargées de matières organiques et de déchets provenant de l'amont, sont possibles.

Une érosion des berges du cours d'eau pourrait s'observer pendant les crues, du fait de la vitesse relativement élevée de l'eau.

Avec l'assèchement du lit du Nakambé, les espèces spécifiques des zones périodiquement inondables vont se trouver dans une situation qui perturbera leur régénération.

Le changement du régime du cours d'eau aura un impact négatif sur certaines activités socio-économiques, notamment la pêche, les cultures de décrue, l'élevage, la vannerie et le maraîchage.

En cas de rupture du barrage, les dommages potentiels en aval seront très importants et concerneront aussi bien :

- Les pertes en vie humaine** : l'effectif de la population vivant en aval du barrage de Ziga serait de l'ordre de 1.7 millions d'habitants (recensement de 1991).
- Les dommages de biens matériels** : (habitations, bâtiments commerciaux, aménagements hydro-électrique de Bagré, aménagement agricole sur environ 7400 ha à terme, Ponts, routes nationales et internationales ,ligne de haute tension).

☐ **des dommages à l'environnement** (faune, flore, forêts galeries, forêts classées, dégradation des terres fertiles etc.).

Au terme de cette étude, des recommandations ont été proposées à savoir :

- la réalisation d'une étude approfondie d'impacts sur l'environnement en aval de Ziga ;
- la réalisation d' études techniques complémentaires, notamment :
 - * une étude complémentaire sur les simulations de rupture du barrage,
 - * une étude des quantités d'eau à lâcher de Ziga pour compenser le déficit en apports à Bagré,
 - * une étude socio-économique des effets sur le cheptel de la zone d'étude;
- la sensibilisation des populations sur les risques encourues et sur méthode de lutte ;
- la mise en place des mesures compensatoires en cas de dommages.
- la mise sur pied d'un système de gestion intégré du bassin versant du Nakambé.

SUMMARY

Construction of a large dam causes damage to the Biol ecosystem. The aim of our study is to bring out major effects arised after the building of Ziga dam on the Nakambé River. In this way, we would be able to find technical and institutional dispositions which would attenuate or eliminate negative effects.

We used three methods to identify and to evaluate potential risks. These methods are: documentary analysis, interviews and local observation.

The comparison of initial conditions of the research area with those which would occur at the downstream after the building of Ziga dam has helped to identify the environmental impacts which can be resumed as follows:

In normal conditions, the dam is designed to prevent water from flowing out to the downstream, except in case of overflowing or in case of emptying of the reservoir.

The immediate and most perceptible effect in the downstream will be the absence of the flow in the bed of the stream. The hydrology rating will be modified deeply at the downstream. The bed will run dry precociously in comparison with the normal conditions. Meanwhile, this influence will decrease as we move away from the dam because of the contribution of Nakambe tributaries.

When permeability alloys it, at the close downstream of the dam, the water table will be appreciable refilled. But , farther, a water flow deficit created by the dam presence may reduce the water table recharge. The quality of the underground water may also be affected by over flows which sometimes countains organic matter and upstream refuses if the rock structure and texture allowed.

A relatively hight speed of water may cause erosion on the stream bank which can be observed after flows.

With the periodically drying of Nakambe river due to the dam presence, some particular spices adapted to temporary inondation areas will regenerated. Some social and economical activities (such as fishing, gardenning during the dry season, animal breeding) will be negatively affected by the temporally flow of the river because of reduction of grazing areas, reduction of drinking water in wells around the stream.

In case of dam breaking, damages will be very important and the following aspects will be concerned :

- loses of human life : About 1.7 millions people live down Stream the Ziga dam (according to 1991 census) and their lifes are very risky in case of Ziga dambreaking.
- damages of goods and infrastructures (houses, stores, Bagré hydroelectric dam, improved agricultural land on the river valley, some other infrastructures such as national and international road or electrical high tension line can be damaged)
- environmental damages (fauna, flora, various forests, destruction of fertile lands)

At the end of this study, the following proposals have been made :

1. The environment impact assesment of the project downstream should be complete.
2. Further technical studies should be done particulary on the following aspects :
 - simulation on the dam breakage
 - quantity of water to supply by Ziga dam to compensate deficit in Bagré Dam
 - social and économical effects on the livestock of the area
3. Environmental follow up system of the NAKAMBE valley in general and of the concern zone in particular should be set up.
4. Sensitize the populations on the encountered risks and on their behaviour towards the risks
5. Compensating mesures make available to populations.

AVANT PROPOS

Aujourd'hui, La ville de Ouagadougou, est alimentée en eau potable à partir de la retenue de Loumbila, des trois Barrages de Ouagadougou et de plusieurs forages périphériques. Suite à la croissance de la ville, ces sources, qui produisent entre 11 et 14 millions de m³, sont devenues insuffisantes face à des besoins estimés à 42.5 millions (hypothèse basse) en l'an 2010. C'est dans ce contexte qu'est né le projet d'alimentation en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir du barrage de Ziga.

Ce projet se subdivise en sept (7) composantes principales que sont :

- ① **Un barrage en remblai** sous forme d'un ouvrage homogène de 2690m de longueur de digue, d'une hauteur maximale de 19 m au-dessus des fondations et d'une largeur en crête de 5,50 m. Un déversoir de 120 m de long et une vidange de fond seront aussi exécutés. Le lac de retenue couvrira une surface de 7000 hectares en remplissage normal et aura une capacité de 207,67 million de m³, drainant un bassin versant de 20.800 km².
- ② **Une station de pompage d'eau brute SP1** et une conduite de refoulement. La première, intégrée au barrage en rive droite, aura une capacité de 3.150 m³/h (avec possibilité d'extension à 4.725 m³/h) grâce à 5 pompes de 750 m³/h, dont une servira de secours. La conduite de refoulement de 2.200 m et de diamètre 1.000 mm, conduira l'eau brute à la station de traitement.
- ③ **Une station de traitement et une station de pompage d'eau traitée SP2.** La première sera constituée de deux modules de 1.500 m³/h (avec possibilité d'extension avec un troisième module au cours de la seconde tranche). Les différentes opérations de potabilisation retenues sont l'aération-préchloration, la coagulation-floculation, la décantation, la filtration, la neutralisation et la stérilisation. Elle comprendra une salle de contrôle et deux (2) réservoirs de stockage de 3.000 m³ chacun. La station de pompage d'une capacité de 5 X 750 m³/h grâce à 5 pompes, sera implantée à la sortie de la station de traitement.
- ④ **Une adduction** comprenant une conduite de refoulement, un réservoir intermédiaire et une conduite gravitaire. La conduite de refoulement, en fonte ductile ou en béton précontraint, aura un diamètre de 1.000 mm et une longueur de 17,3 km. Elle devra conduire l'eau au réservoir intermédiaire de Boudtenga d'une capacité 5.400 m³. De ce réservoir, l'eau sera conduite en ville par une conduite gravitaire de 1.000 mm de diamètre, en fonte ductile ou en béton précontraint, d'une longueur de 23,85 km.
- ⑤ **Une station de pompage d'eau traitée SP3**, située à l'entrée de la ville de Ouagadougou au quartier Bendogo, où arrivera l'eau traitée dans une bache au sol de 2.000 m³ (qui sera doublée en seconde phase). L'eau sera reprise par trois groupes pompes et envoyée dans 3 conduites primaires vers les quartiers Nord, centre (jusqu'à la station existante de Paspanga) et sud. L'équipement de pompage comprendra 10 pompes (430 ou 720 m³/h), dont 3 de secours. Un centre de contrôle général du système sera implanté à SP3, où seront centralisées toutes les informations concernant la production et la distribution d'eau.
- ⑥ **Un réseau de distribution primaire** se composant à partir de SP3, de trois conduites de refoulement qui alimentent une série de stations de reprise et 7 châteaux d'eau, auront tous une capacité de 2.000 m³ sur tours de hauteur variant de 20 à 30 m. Dans le détail, le réseau comprendra aussi 8 baches au sol d'une capacité comprise entre 1.000 et 2.000 m³, 9 stations de reprise, 54.574 m de canalisation en fonte (350 mm ϕ 900 mm) et 3540 m de canalisation en PVC de 150 mm.

⑦ **Des réservoirs secondaires, tertiaires et des branchements.** Le réseau secondaire à mettre en place pour l'horizon 2005 comprendra environ 150 km de conduites, dont 118 km en PVC (100 mm ϕ 300 mm) et 32 km en fonte (300 mm ϕ 800 mm). 16.000 branchements nouveaux doivent être exécutés d'ici l'année 2005, dont 9.000 durant les travaux du réseau. Le réseau tertiaire sera réalisé lors des branchements.

Plusieurs dispositions ont été prises afin de minimiser les effets que ce projet pourrait induire sur l'environnement ; en effet, le gouvernement du Burkina Faso a retenu à ce sujet de mettre en place un Plan Gouvernemental d'Atténuation des Impacts sur l'Environnement du projet (PGAIE).

Plusieurs actions ont concrétisé la mise en place du PGAIE :

- étude d'impact sur l'environnement (EIE) réalisée par le Bureau d'étude TRACTBEL ;
- recrutement d'un coordonnateur environnementaliste pour conduire le PGAIE ;
- renforcement des acquis de l'EIE par la réalisation du Plan d'Atténuation des Impacts Biophysiques (PAIB) avec le Bureau d'ingénieurs-conseils « SOCREGE », du Plan de Recasement des Personnes et de Restauration des Revenus (PRPRR) rédigé par l'ONAT et du Plan de Recasement et de Restauration des Revenus (PRRR) lié à l'implantation de la conduite d'eau rédigé également par Bureau d'ingénieurs-conseils « SOCREGE » ;
- séminaire atelier d'octobre 1995... etc.

Le P.G.A.I.E a noté que l'Étude d'Impact sur l'Environnement (EIE) élaborée par TRACTBEL s'est peu appesantie sur les problèmes environnementaux en aval du barrage pendant et après les travaux de réalisation de celui-ci.

La dernière conférence des bailleurs de fonds du projet tenu les 27, 28 octobre 1997 a recommandé et suggéré qu'un avant projet sommaire d'étude d'impact sur l'environnement en aval du barrage de Ziga soit réalisé pour débayer le terrain à une étude plus approfondie sur la question. Ce qui a été fait.

C'est dans un soucis d'approfondissement des études d'impacts en aval du barrage de Ziga que s'inscrit notre étude intitulée « ANALYSE DES RISQUES POTENTIELS D'IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT EN AVAL DU BARRAGE DE ZIGA ».

Ce thème répond ainsi à deux soucis majeurs :

1. Il permet à l'E.I.E.R de parachever sa formation d'ingénieur par un sujet de recherche qui prend en compte non seulement les aspects techniques mais également les aspects sociaux et environnementaux ;
2. D'autre part, il répond à un besoin réel puisqu'il s'applique à un projet en cours de réalisation. En cela, il se place dans un axe « application ». Axe pour lequel le thème d'étude permet à l'E.I.E.R d'apporter sa contribution au développement du Burkina Faso.

INTRODUCTION

Dans les pays en développement, la problématique de l'environnement se présente de manière plus aiguë, en terme de déséquilibre entre les ressources naturelles (ressources en sols cultivables, en eau de qualité, en végétation ligneuse, etc.), et les besoins accrus des populations en croissance rapide pour leur survie et l'amélioration générale de leurs conditions de vie.

Le cas de la ville de Ouagadougou n'échappe pas à cette règle et le projet AEP Ouaga-Ziga en est la confirmation. Cependant, le développement, y compris l'urbanisation, doit être de plus en plus un compromis entre ce qui est techniquement possible, ce qui est socialement souhaitable, ce que l'on juge économiquement intéressant et ce qui est écologiquement acceptable.

La construction d'un grand barrage n'a jamais procuré tous les effets escomptés et a quelques fois considérablement perturbé les écosystèmes naturels dont l'homme tire profit depuis des générations. Les études d'impacts, avec pour soucis majeurs le développement durable, permettent de faire le bilan des effets possibles du projet afin d'ajuster les dispositions techniques et institutionnelles nécessaires à l'atténuation ou à l'élimination des impacts négatifs.

Notre thème doit son existence à un constat : l'étude d'impacts sur l'environnement (EIE) élaborée par TRACTEBEL(1995), n'a porté que très peu sur les problèmes environnementaux qui se poseront en aval du barrage, pendant et après les travaux de réalisation de celui-ci. L'avant projet sommaire de l'étude d'impact sur l'environnement en aval du barrage de Ziga, élaboré par le bureau CIMEX (Décembre 1997) n'a fait que déblayer le terrain pour une étude plus approfondie. Notre étude, trouve donc tout son intérêt dans la mesure où elle constitue une amorce à l'étude d'avant projet détaillée programmée pour un avenir proche.

Les barrages sont non seulement les plus grands ouvrages de mobilisation de l'eau, mais également ceux qui peuvent engendrer des problèmes énormes de sécurité. La question de la sécurité des barrages est un des aspects cardinaux de leur conception, de leur construction et de leur exploitation. Notre étude se propose d'analyser les risques éventuels en cas d'accidents ou de rupture du barrage de Ziga d'une part, et les risques pouvant résulter des crues passant par le déversoir ou pendant les lâchés d'autre part.

Le risque selon les assureurs est : « une probabilité d'occurrence d'un événement aléatoire pouvant provoquer certains dommages, c'est parallèlement l'intensité du dommage causé par cet événement. Intuitivement, le risque est une combinaison des deux et très souvent il est quantifié sous la forme d'un produit d'une probabilité par l'expression numérique (en monnaie, en vie humaine) du dommage ».

Les risques, dans le cas qui nous concerne, sont de plusieurs natures, dont les principaux peuvent être :

- Les risques de pertes en vie humaine;
- Les risques économiques, notamment la perte de l'ouvrage qui représente un investissement important, les pertes occasionnées par l'onde de crue pouvant dévaster en aval les infrastructures, les terres agricoles, les cultures, les équipements socio-économiques;
- Les risques écologiques avec les dommages causés aux terres, forêts, faune etc sur le passage de l'onde de crue.

Cette étude vise à dresser une typologie des risques potentiels envisageables en aval du barrage de Ziga aussi bien lors des cas spécifiques (rupture du barrage, lâchés, crues) que pendant

la durée de vie normale de l'ouvrage. Puis, après avoir défini les causes probables des risques inventoriés, elle établit cette typologie en fonction de l'importance (ampleur) des risques inventoriés, de leur probabilité d'occurrence (certaine, probable, improbable, non connue), de leur durée (temporaire, durable mais non permanente, permanente) et de leur délai d'apparition (immédiat, à court terme, à moyen terme et long terme). Enfin, elle propose des voies et moyens à mettre en oeuvre pour limiter ou compenser les effets négatifs recensés.

La structuration de notre mémoire comporte trois parties principales :

La première partie est consacrée à la connaissance générale de notre milieu d'étude. En effet sa connaissance est importante pour la détermination des modifications qu'entraînera le projet sur l'environnement. Elle se subdivise en trois chapitres. La présentation succincte du barrage de Ziga faite dans le premier chapitre permet au lecteur d'avoir à l'esprit des éléments de conception du barrage nécessaires, par la suite, pour l'évaluation du risque de rupture du barrage. Le deuxième chapitre décrit le milieu biophysique tandis que le troisième chapitre présente le milieu socio-économique. Éléments capitaux à l'analyse des impacts du projet.

La deuxième partie présente dans un chapitre unique la méthodologie utilisée aussi bien pour la collecte des données que pour leur traitement. Il permet de montrer en quoi notre démarche permet d'approcher la réalité du milieu ainsi que les problèmes susceptibles de naître avec la mise en place du projet.

La troisième partie présente les principaux résultats de notre étude. Elle comprend quatre chapitres: le premier est relatif à l'évaluation de la probabilité de rupture du barrage de Ziga et s'appuie sur les études de conception du barrage ainsi que sur la qualité des travaux d'exécution. Le second s'attache à identifier les risques potentiels envisageables en aval du barrage et recherche leur cause probable. Le troisième analyse les effets environnementaux des risques inventoriés. Le quatrième propose les mesures à mettre en oeuvre pour atténuer ou compenser les impacts recensés.

PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

CHAPITRE 1 : GENERALITES

I. BREF APERCU SUR LES BARRAGES AU BURKINA FASO

I.1. HISTORIQUE

C'est en 1920, sous l'administration coloniale qu'ont été construits les premiers barrages (NOMBRE, 1995). En 1947, on comptait déjà 27 ouvrages construits ; en 1956, ce chiffre passera à 117. Ce sont là les ouvrages de premières générations. C'est à partir de 1956, que , sous la direction de Guy MATON, appuyé par plusieurs institutions, les barrages connaîtront leur plein essor pour enfin se hisser comme premier moyen de mobilisation de ressource en eau.

Dès 1980, les premiers grands barrages voient le jour et , en 1993, on peut compter 2088 barrage au Burkina parmi lesquels figurent quelques grands barrages.

I.1.1- Les grands barrages du Burkina

Ils sont résumés dans le tableau ci-après auquel viendra certainement s'ajouter d'autres barrages en cours d'étude ou en cours de construction (Ziga par exemple):

Tableau 1 : Grands barrages du Burkina

Nom du Barrage	Année de mise en service	Nature	Hauteur	Volume stocké (10 ⁶ m ³)	Région
BAGRE	1992	Terre zonée	40 m	1700	Boulougou
KOMPIENGA	1989	Terre zonée et enrochement	50 m	2200	Gourma
DOUNA	1986	Terre	35 m	50	Comoé
COMOE	1991	Terre	< 30 m	38	Comoé
SOUROU	1986	Terre	< 6 m	350	Sourou
PETIT BAGRE	1980	Terre	15 m	3.5	Boulougou
TOUSSIANA	1982	Terre	15 m	6.1	Comoé
OUMAROU K.	1994	Terre	21 m	7	Passoré/Yat.
LOUMBILA	1947	Terre	> 10 m	36	Oubritenga

source : ADAMA NOMBRE ; « La sécurité des barrages au Burkina Faso »; juin 1995

Ces grand ouvrages stockent à eux seuls 98% de la capacité en eau de l'ensemble des barrages du Burkina.

I.1.2- Ruptures ou accidents graves de barrages au Burkina

« Sont considérés comme accidents graves de barrages tous ceux ayant conduit à des lâchures involontaires et importantes d'eau en aval ». Le tableau ci-après résume la situation du Burkina en Juin 1995

Tableau 2 : Situation des accidents graves de barrages au Burkina

Nom du barrage	Année de construction	Année de l'accident	Causes	volume stocké (10 ³ m ³)
MATTE	1985	1992	Submersion par la crue	200
MOYARGO	-	1992	Rupture par submersion	-
NAMASSA	-	1992	Rupture par submersion	-
NAGREONGO	1973	1992	Rupture par submersion	1160
KALAGHESSE	1988	1992	Rupture par submersion	-
DAMITENGA	1986	1992	Submersion par la crue	450
GOUNDRY	1983	1992	Submersion par la crue	300
DONSE	1960	1992	Submersion par la crue	1900
VOAGA	1949	1992	Rupture par submersion	470
TANGUIGA	1985	1992	Rupture digue de protection (crues)	304
GODIN	-	-	Submersion par la crue	200
LIKIGUELSE	1985	1992	Submersion par la crue	
MOYTENGA	-	1992	Submersion par la crue	
YIMKOAKA				
NAKARTENGA				
ZAMSE	1984	1984	Rupture digue de protection (crues)	800
GUESWINDE	1987	1987	Submersion par la crue	100
MOGTEDO	1962	1962	Erosion EC	2900
BITTOU	1965	1994	Erosion EC	387
TENKODOGO I	1959	1980	Rupture digue de protection (renard)	180
KONGLORE	1986	1994	Rupture digue de protection (crues)	26
BOURA	1947	1994	Rupture digue	30
LIGWARE	-	1994	Erosion régressive de l'Évacuateur	
DIAPAGA	1953	1994	Erosion régressive de l'Évacuateur	70
BOUSSOUGOU	1987	1994	Submersion-construction	
ZEGUEDEGIN	1988	1990	Soulèvement dalle/sous pressions	7800
SALTENGA	1987	1994	Submersion par la crue	278
DIAPANGO	1965	1994	Submersion par la crue	150
TIBGA	1949	1994	Submersion par la crue	60
POMPOI	1989	1990	Renard / mise en eau	
NANGOUMA	1984		submersion/disfonct. de l'Évacuateur	
NOBILI	1984		submersion/disfonct. de l'Évacuateur	502
TANTAGA	1984		Erosion régressive de l'Évacuateur	-

source : ADAMA NOMBRE (Juin 1995);

1.2. TYPOLOGIE DES RUPTURES DE BARAGES

On distingue trois types de rupture de barrage dans le monde de nos jours :

- ① **Les ruptures en construction** : Elles représentent 17% des cas de ruptures de grands barrages dans le monde et ont pour principale cause, une submersion du chantier .
- ② **Les rupture au premier remplissage** : Elles constituent 22.5 % des cas de rupture de grand barrage dans le monde. Notons que la mise en eau d'un barrage peut durer une décennie dans le cas de très gros ouvrages. Elle à été estimée à 3 ans environ dans le cas du barrage de Ziga.

- ⑥ **Les ruptures en exploitation** : Elles concernent 60,5% des cas de rupture enregistrés de nos jours dans le monde et plus de 65% au Burkina Faso.

II. CAUSES DES ACCIDENTS DE BARRAGE AU BURKINA ET DANS LE MONDE:

Les causes des accidents de barrages au Burkina et dans le monde sont résumés dans le tableau 3:

Tableau 3 : Répartition des ruptures de barrage dans le monde selon leur cause

Causes	Nombre de ruptures	Proportion en %
Submersion par une crue	22	61
Submersion par un onde de rupture d'un barrage amont	2	3
Erosion du déversoir	3	5
Renard dans la digue	3	23
Glissement de talus	5	8
TOTAL	62	100

source : ADAMA NOMBRE (Juin 1995);

II.1. PRINCIPALES CAUSES DE RUPTURE

On distingue :

- ① La submersion du barrage par une crue due à une sous-estimation de celle-ci ou à un dysfonctionnement des évacuateurs : Cette cause de rupture concerne essentiellement les barrages en terre. Elle explique 61% des cas de rupture dans le monde et 68,7% au Burkina faso.
- ② La submersion par une onde de crue générée suite à la rupture d'un barrage amont qui représentent 3% des ruptures de barrages dans le monde. Cette cause explique la rupture des barrages de Donsé et de Voaga survenu en 1992 au Burkina Faso.
- ③ La rupture suite à l'érosion du déversoir : Cette cause explique 5% des cas de ruptures dans le monde et 22% des cas au Burkina. La proportion importante observée au Burkina s'explique par l'implantation massive de petits barrages munis de déversoir latéraux sommaires généralisés surtout à partir du PPD en 1984-1985.
- ④ Les ruptures par renard (aux contacts barrages-fondation ou barrages-ouvrage annexes), ou dans le corps de digue pour insuffisance des filtres, présence d'argile dispersive ou par suite de l'action d'animaux (rongeurs, crocodiles): elles représentent 23% des cas de rupture dans le monde et 9,5% au Burkina
- ⑤ Les ruptures par glissement de talus pour insuffisance de profil ou pression interstitielle :elles expliquent 8% des cas de rupture de barrage dans le monde.
- ⑥ Les ruptures du fait de l'hétérogénéité des fondations ;
- ⑥ Les ruptures par tassement excessif avec fissuration du remblai (noyau) ;

Les ruptures par liquéfaction du matériau de remblai suite aux séismes ou à des vibrations d'engins mécaniques

Une répartition du nombre de rupture de barrage au Burkina Faso en fonction de l'âge de l'ouvrage est présenté dans le tableau 4:

Tableau 4 : Répartition des ruptures de barrage en fonction de l'âge

Age ou Etat	Nombre de rupture	Proportion du total en %
En construction	12	17
Au premier remplissage	8	11.3
Avant l'âge de 5ans	5	7
entre 6 et 10 ans	4	5.5
entre 11 et 30 ans	11	15.5
plus de 30 ans	21	29.5
En service (âge inconnu)	11	15.5
TOTAL	71	100

source : ADAMA NOMBRE (Juin 1995);

D'après les statistiques exposées dans les tableaux (2.3.4) ci-dessus, le risque de rupture reste présent quelque soit la précision des calculs et la technicité utilisée. Il est plus élevé pour les petits barrages réalisés à partir d'études sommaires, que pour des ouvrages importants dont la conception, le contrôle d'exécution et le suivi (lors de l'utilisation) sont précédés d'études plus élaborées. De plus les ruptures par submersion sont les plus nombreuses. Ce qui traduit toute la difficulté à prévoir les crues de projet. On peut également déceler que la rupture peut se produire à tout moment (aussi bien lors de la construction du barrage que pendant son vieillissement). Les risques de rupture sont également élevés pendant la période de mise en eau dont la durée peut atteindre une décennie dans le cas des grands barrages. De plus, la rupture d'un barrage peut subvenir à la suite de celle d'un autre barrage situé en amont. Tous ces éléments statistiques vont nous permettre par la suite de vérifier pour le barrage de Ziga si toutes les conditions de sécurité sont prévus afin de minimiser toute possibilité de rupture.

CHAPITRE 2 : PRESENTATION SOMMAIRE DU BARRAGE DE ZIGA

Les éléments de conception du barrage de Ziga sont présenté ci-après:

I. FICHE DE PROJET

I.1. HYDROLOGIE :

- superficie du bassin versant 20800 km²
- crue quinquamillénale 2500 m³/s

I.2. CUVETTE :

- capacité de la retenue 207,67 million de m³
- superficie au RN 72 km²
- volume utile 184,7 million de m³
- plus basse eaux amont (PBE) 261,40 m IGB
- retenue normale (RN) 266,20 m IGB
- plus hautes eaux amont (PHE) 270,46 m IGB
- plus hautes eaux aval 262,79 m IGB

I.3. BARRAGE :

- type de digue barrage en terre zonée
- hauteur maximale du barrage au dessous des fondations 19 m
- longueur en crête avec ouvrage en béton intégré 2.730 m
- pente de la recharge amont 1v 2,0h
- pente de la recharge aval 1v 1,8h
- revanche 1,34 m
- cote en crête du barrage 271,80 m
- largeur en crête 5,50 m
- volume de la digue 626000 m³
- système d'étanchement du sous-sol paroi au coulis 20600 m²

I.4. OUVRAGE HYDRAULIQUE CENTRAL :

- longueur d'ouvrage en béton 145 m
- type de seuil de déversement WES
- longueur déversante 120 m
- hauteur au dessus des fondations 24,80 m
- cote de fondation 252,00 m IGB
- cote de crête du déversoir retenu normale RN 266,20 m IGB
- capacité de déversement au PHE amont 2200 m³/s
- type de bassin de dissipation USBR III modifié
- largeur du bassin de dissipation 30 m
- longueur du bassin de dissipation 120 m
- capacité des vidanges de fond (RN) 46 m³/s
- type de prise 1 chambre + 2 pertuis
- débit de prise d'eau maximum 2,9 m³/s
- volume de béton des ouvrages en béton 145 m³

II. CONCEPTION GENERALE

Au droit du site de ziga, les conditions topographiques caractérisées par une très large vallée aux versants de faible pente, sont, du point de vue économique, favorables à la construction d'un barrage en remblai ; dans cet ouvrage en terre, ont été intégrés des ouvrages annexes en béton pour pouvoir y installer les ouvrages de prise d'eau nécessaire à l'exploitation de l'aménagement, ainsi qu'un ouvrage en béton pour l'évacuation des crues et de la vidange de fond. L'exploitation de barrage avec prise d'eau et vidange de fond requiert que ces ouvrages soient disposés au point le plus bas de la vallée. De même, l'ouvrage d'évacuation des crues doit, lui aussi, être aménagé de façon à ce que les eaux de crue puissent, soit directement, soit le plus rapidement possible, être restituées à l'aval, c'est à dire par l'évacuateur dans le lit de la rivière. Les ouvrages en béton seront par conséquent, à ériger en haut de la rive droite, immédiatement à proximité du point le plus bas de la vallée. On a rejeté la solution qui consistait à construire les ouvrages annexes dans le lit de la rivière afin de laisser la rivière couler dans son lit naturel et d'éviter toutes mesures de déviation pendant la construction des ouvrages en béton.

II.1. BARRAGE EN REMBLAI

Il se présente sous forme d'un ouvrage zoné. Le barrage sera exécuté suivant la coupe type indiqué sur les schémas joints avec:

- en partie amont, une recharge en matériaux latéritiques tout venant (graveleux-sableux);
- le noyau central en argile alluviale;
- une zone de filtre vertical réalisé en sable alluvial entre le noyau et la recharge aval et,
- un filtre horizontal connecté pour drainer l'eau filtrante et pour séparer la recharge aval et la fondation.
- en partie aval, une recharge en matériaux latéritiques tout venant (limoneux-argileux);

II.2. LA FONDATION DU BARRAGE

Le barrage repose en dessous de bedrock sur différentes couches (alluvions d'arènes graveleuses, arènes et granite fracturé) présentant une perméabilité moyenne à forte.

Sur la base des investigations géotechniques effectuées en cours d'étude de planification et dont les résultats ont été confirmés par des investigations complémentaires récentes, les conditions principales régnant dans le substratum de la section centrale du barrage se présentent comme suit:

De haut en bas :

II.2.1 Section centrale de la vallée

- Couche alluviale composée de limon argilo-sableux de 6 à 9m d'épaisseur, présentant une perméabilité moyenne de 10^{-3} à 10^{-6} m/s
- Couche de sable graveleux silteux de 2 à 5 m d'épaisseur, présentant une perméabilité moyenne de 5×10^{-5} m/s, mais où il faut s'attendre à une perméabilité plus élevée dans les gîtes de sables ou de graviers purs,
- Arènes granitiques, roches granitiques décomposés, 2×10^{-6} à 2×10^{-9} m/s. moyenne 10^{-7} m/s,
- Granites diaclasés, présentant une perméabilité moyenne de 10^{-5} à 10^{-7} m/s, moyenne 5×10^{-7} m/s,
- Granites sains, perméables seulement en zone de faille F3.

II.2- Section en rives

- couches altérant des graves latéritiques de 6 à 8 m d'épaisseur en rive droite et 2.50 à 5m en rive gauche, présentant une perméabilité de 10-5 m/s pour les graves et 10-7 m/s pour les argiles,
- arènes granitiques, roches granitiques décomposées, 2×10^{-6} à 2×10^{-9} m/s, moyenne 10-7 m/s,
- granites diaclasés, présentant une perméabilité moyenne de 10^{-5} à 10^{-7} m/s, moyenne 5×10^{-7} m/s,
- granites sains, perméables seulement dans la zone de faille F4.

En conséquence, un étanchement au sol est absolument indispensable pour la sécurité du barrage si l'on veut éviter non seulement une érosion interne des fines composantes les différentes couches alluviales et les arènes meubles par percolations des eaux sous le barrage, mais aussi réduire au minimum les pertes économiques résultant de fuites d'eau sous le barrage.

Cet étanchement au sous-sol sera assuré par une paroi moulée qui aurait été aménagée jusqu'aux roches dures comme les arènes ou les granites diaclasés semi-perméables et qui étancheifie les sols perméables, spécialement les alluvions et les arènes meubles. Cette paroi aura une profondeur maximale de 18 m et une profondeur minimale de 6 m sur chaque coté. La paroi sera enterrée sur 1.60 m de longueur dans la tranchée du noyau du barrage ; ce qui permettra d'assurer un raccordement étanche entre le noyau et la paroi. L'épaisseur de la paroi prévue est de 0.60 m . En outre, il est prévu la réalisation d'une paroi au coulis par la méthode d'une phase. La paroi devrait avoir une résistance en compression simple de l'ordre de 0.5 MPa à 28 jours et un coefficient de perméabilité inférieur à 1×10^{-8} m/s.

II.3.AUSCULTATION DU BARRAGE

Bien que le barrage de Ziga ne présente qu'une hauteur relativement faible, la mise en place d'un réseau d'auscultation efficace s'avère indispensable, en raison du volume relativement important du barrage, de son utilité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Ouagadougou et des risques de dégâts considérables que pourrait entraîner un rupture du barrage. Ce réseau permettra de surveiller le comportement du barrage, en particulier au cours de la phase initiale de son exploitation.

Le réseau d'auscultation comprendra des dispositifs fiables et peu sophistiqués. Il permettra les mesures sur les deux rives et correspondra aux cinq sections de projet. La longueur du barrage exigera toutefois dix sections d'auscultation où seront effectuées les mesures suivantes :

II.3.1- Mesure des Déplacements

Les mesures des déplacements horizontaux et verticaux du barrage à sa surface se feront au moyen de repères de nivellement topographiques disposés sur le couronnement du barrage. Ces repères se présenteront sous forme de blocs de béton fabriqués sur place de 0.5 x 0.5 x 0.4 m équipés respectivement d'une barre d'acier de 30 mm de diamètre et de 1.5 m de long, ancrée dans le barrage et servant de repère topographique de passant de 0.04 m chaque bloc en béton.

II.3.2- Mesure des Tassements

La mesure des tassements du barrage se fera en trois sections plus les recharges amont et aval du filtre vertical au moyen d'une échelle de tassement; le dispositif de mesure de tassement sera composé d'un tube vertical avec raccords et des plaques transversales installées à 2 m l'une de

l'autre qui serviront de repères de mesure. En insérant une sonde dans le tube, un signal électrique permettra de déterminer l'emplacement exact des plaques de mesure.

II.3.3- Mesure de la Ligne Phréatique

La mesure de la ligne phréatique dans le barrage (en aval du filtre dans la recharge aval et en aval du barrage) se fera au moyen de tubes piézométriques. Au total, 22 piézomètres avec crépine devront être installés au niveau de la recharge aval et de l'arène grenue. l'implantation sera en aval de l'axe, hors de l'emprise du remblai, à 5 m au minimum au dessus du pied du remblai. les piézomètres seront fermés afin d'éviter un colmatage en cas de crue.

L'évacuateur de crue comportera une galerie de drainage avec des drains et des piézomètres qui devront être intégrés dans le système d'auscultation. Ces drains qui ne débitent pas, pourront également être utilisés comme piézomètres à intervalles réguliers. Les autres serviront au contrôle du débit. Les drains qui fonctionnent faciliteront en même temps le suivi d'un processus éventuel d'érosion interne.

II.4. OUVRAGES HYDRAULIQUES

II.4.1- L'évacuateur de crues

a). Critères de base

La planification et le dimensionnement de l'évacuateur de crue permettront l'évacuation par le seuil d'une crue quinquamillénale de **2200 m³/s**.

Le bassin de dissipation est également dimensionné pour une crue de **5000 ans** vu que les risques de dégâts, dans le cas de sollicitations correspondant à un volume d'eau supérieur au débit de dimensionnement restent plus ou moins négligeable.

b). Dessin du seuil

Il s'agit ici d'un évacuateur de crues composé d'un seuil fixe libre avec parement aval en forme étagée. Sa longueur a été optimisée pour atteindre 120 m réduite par 7 piles du pont de 0.80 m d'épaisseur à 114.40 m. Le corps du déversoir comportera une galerie de drainage équipée de piézomètres et de drains afin de contrôler la stabilité de l'ouvrage contre les sous-pressions hydrostatiques.

Protégé à l'amont avec un masque réalisé en béton conventionnel, le barrage déversant sera en béton compacté au rouleau (BCR). La protection du parement aval et de celle de la crête de l'évacuateur seront assurées par un béton conventionnel armé et coffré.

Le seuil sera franchi par un pont en béton armé de 6.10 m de largeur totale, supporté par 4 poutres en éléments préfabriqués, et reposant sur le pont grâce à 7 piles de béton espacés de 15 m les unes des autres. La cote inférieure du pont a été fixée à 271.40 m permettant ainsi un tirant d'air de 1 m pour le passage de la crue quinquamillénale.

Les fondations du seuil reposeront à la cote 247 m sur les arènes. Afin de réduire les sous-pressions sous le seuil, ce qui est indispensable pour la stabilité de l'ouvrage, on installera la paroi moulée sous l'ouvrage à la cote amont, avec une voile de drainage filtrant en aval.

H.4.2- Le bassin de dissipation

Il a été planifié sur la base du projet standard type III du bureau of reclamation (voir photos et schémas en annexe), la crue cinq millénaire à évacuer étant de l'ordre de 2200 m³/s . Courant sur toute la longueur du déversoir, le bassin de dissipation aura une largeur de 30m et sera muni d'un seuil de sortie aval de 1.10 m. Le bassin comportera un radier composé d'une dalle de 2.10 m d'épaisseur (1.50 m en BCR et 0.60 m en béton conventionnel) sur une couche drainante ; Il sera protégé de la sous-pression par une couche drainante sous son radier d'une épaisseur de 0.30 m. En raison du BCR, des trous de drainage dans le radier du bassin ne sont pas possibles. Il se terminera à l'extrémité par une parafouille de 6 m de profondeur sous le seuil de sortie afin d'éviter une érosion régressive sous l'évacuateur.

H.4.3- Le Chenal de restitution

Il est conçu de façon à éviter une érosion régressive . Le radier du chenal commence à la cote 253 m afin de garantir la transition entre le bassin et le lit du Nakambé. Il présentera donc une pente minimale entre le seuil et le fleuve afin de réduire la vitesse d'écoulement des eaux. Pour la crue du projet, la vitesse d'écoulement est prévue à 1.60 m/s environ.

Immédiatement en aval du bassin, de gros enrochements (3 m d'épaisseur) assureront la protection contre l'érosion, sur une longueur de 3.5 m, prolongé par un enrochement moyen allant jusqu'en aval de la courbure du chenal. Le tronçon final restera dans son état naturel avec une protection du talus et du fond par une couche sous-jacente de transition de 0.30 m d'épaisseur.

H.4.4- Le bajoyer de l'entonnement

Sous forme d'un mur de soutènement cantilever conçu avec une pente 4v/1h vers le flanc du barrage, les bajoyers de l'entonnement s'étendront sur les deux côtés de l'ouvrage hydraulique, vers les massifs d'appui en amont du barrage. Ils seront fondés dans l'axe du barrage, au même niveau que le seuil (247 m), en aval de cet axe et au même niveau que le radier du bassin de dissipation (250 m). En rive gauche, ils seront raccordés à l'évacuateur des crues. La longueur aval d'un bajoyer s'étendra jusqu'au pied du barrage alors que sa longueur amont s'étendra jusqu'au seuil aval du bassin de dissipation. Du côté gauche, le bajoyer sera raccordé à la prise d'eau et s'étendra vers l'amont sur 13 m environ, à la station de pompage en aval et au barrage en terre entre la prise d'eau et la station de pompage.

H.4.5- La vidange de fond

La retenue pourra être vidée en 90 jours de la cote 266.20m à 260.00m par un débit de la vidange de fond à 46m³/s. Décalé en rive droite de l'évacuateur de crue, elle s'intègre dans le corps en béton du seuil déversant et se partage entre le bassin de dissipation et le seuil .

La vidange de fond dispose en outre des éléments suivants compte tenu de ses fonctions supplémentaires d'organe de régulation:

- un bassin d'entrée de réserve envasement;
- un batardeau amont vanne de garde amont;
- une vanne de réglage aval;
- une chambre de manoeuvre;
- un canal de fuite;
- un bassin de dissipation;
- un seuil latéral vers le bassin de dissipation de l'évacuateur de crue.

Les vannes seront manoeuvrées par commande oléo-hydraulique, placée à la cote 268,40 m. En amont de la vanne de garde, on pourra prévoir un batardeau qui sera abaissé au moyen d'une grue mobile en cas de nécessité technique. A l'entrée de la vidange de fond est prévu un bassin de réserve d'envasement avec une ouverture frontale atteignant la cote 254.80 m.

CHAPITRE 3 : PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE

I. LES FACTEURS HYDROCLIMATIQUES

La zone d'étude est située en zone nord-soudanienne caractérisée par deux saisons fortement contrastées :

- ☼ une saison sèche qui dure huit (8) mois (Octobre à Mai) ;
- ☼ une saison de pluies qui dure quatre (4) mois (juin à septembre).

Les **températures** sont assez élevées variant d'un minima de 16°C en Décembre à un maxima de 43°C en Mars et Avril (station de Ouaga et de Tenkodogo).

Les **précipitations** présentent un total annuel moyen qui varie de 780 mm à 815 mm (sur un échantillon de 41 ans pour Ouagadougou).

L'**évaporation** est maximale pendant la saison sèche (310 à 319 mm en mars) et minimale en fin d'hivernage (133 mm en septembre). La moyenne annuelle se situe entre 1800 et 2300mm.

L'**humidité relative** quant à elle, suit le régime de la pluviométrie ; son amplitude journalière est de 20 à 30 % environ. Le degré hygrométrique est maximum en août et minimum en février.

II. LE CONTEXTE PHYSIQUE ET BIOLOGIQUE

II.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le **réseau hydrographique**, sur l'ensemble de la zone, est très dense mais on ne distingue que peu d'affluents importants, le Nakambé étant le fleuve principal. En ce qui concerne la zone d'étude, les principaux affluents sont : **Bomboré, Kourougui, Massili, Pendaga, Nariarlé, Lempa.**

Le Nakambé suit un parcours très sinueux dans la zone d'étude. Ni lui, ni ses affluents n'ont un débit permanent. En saison sèche, il ne subsiste que des mares isolées dans le lit mineur du fleuve et de ses principaux affluents.

La pente longitudinale des vallées du Nakambé est très faible (environ 0,35%) c'est ce qui explique l'importance des surfaces inondées à certains endroits, même aux plus basses eaux. Les pentes transversales sont également faibles.

La zone d'étude se situe dans une vallée encaissée entre les villages Mankarga et Fingla. En amont, entre le site de Ziga et le pont de Kougri sur la RN4, le lit est peu marqué sur certains tronçons ; sur d'autres, il a une forme taillée en U.

Le long du parcours du Nakambé dans la zone de l'étude, on note des affleurements granitiques relativement importants à certains endroits. La roche est quelquefois couverte d'une grande épaisseur d'alluvions

Les villages retenus sont installés sur les versants du cours d'eau, à environ 400 m en moyenne du lit mineur.

II.2. GEOMORPHOLOGIE

Trois unités morphologiques caractérisent la zone d'étude :

- ① le lit du cours d'eau ou plafond du canal de transit de l'eau ;
- ② les talus du cours d'eau ou parois latérales dudit canal ;
- ③ les berges, sur une distance correspondant à la largeur retenue pour la présente étude.

II.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Du point de vue géologique, deux formations sont présentes dans la zone du Nakambé :

- * les roches métamorphiques, schistes et quartzites du Birrimien sur la **rive gauche du cours d'eau**
- * les roches éruptives acides (massif de granites calco-alcalins sur la **rive gauche**, granites syntectoniques constituant l'essentiel du substratum de la **rive droite**).

Aucune étude hydrogéologique détaillée n'a été effectuée dans la zone d'étude. Cependant, quelques informations existent au niveau des services hydrogéologiques du Ministère de L'Environnement et de l'eau. Elles sont obtenues par recoupements des coupes d'ouvrages et études géophysiques des forages réalisés sur les berges du cours d'eau dans le rayon de la zone d'étude.

La connaissance du fonctionnement hydrogéologique du secteur d'étude est donc incomplète.

II.4. BREF APERÇU MORPHO-PEDOLOGIQUE

Au plan pédologique, (pour ce qui concerne la zone étudiée) seule la province de l'Oubritenga a été récemment couverte. Le bref aperçu pédologique donnera une idée globale sur la zone et décrit les unités pédologiques conformément à la géomorphologie de la zone d'étude.

De Ziga à Kougri :

Cette unité qui correspond aux formations alluviales inondables n'est pas cultivée. Le lit repose sur une zone hydromorphe. C'est le domaine des formations ripicoles arborées dominé par *Mitragyna inermis*.

Sur les versants, le sol est fortement érodé. Il est fragile. On y remarque quelquefois des sols à sesquioxides et des affleurements granitiques. Aux abords des agglomérations, le sol est davantage érodé du fait de l'absence de couverture végétale.

Sur les berges, le sol est soumis au ruissellement toujours intense. Il est occupé par les cultures, les jachères et les formations ligneuses du domaine agro-sylvo-pastoral. Les unités sont dominées par des sols ferrugineux tropicaux lessivés. A certains endroits où la rivière est suffisamment encaissée, on passe rapidement de cette unité (versant érodé) à des reliefs avec buttes cuirassés : c'est le cas de la partie sud-est de Kougri.

De Kougri à Mankarga :

Dans la vallée, les sols sont beaucoup plus marqués par l'hydromorphie du fait de la présence de l'eau dans les mares du cours d'eau et dans les vallées secondaires du Nakambé (Bomboré, Massili). Les formations végétales ripicoles ne se rencontrent plus en îlots, mais en chapelets plus ou moins denses.

Sur les versants, les sols sont fortement ravinés. On rencontre localement des rigoles pouvant atteindre 1,5 m à 2 m de profondeur à l'interface entre le lit et la berge. Dans les vallées secondaires, affectées par l'hydromorphie, les populations cultivent du riz.

Sur les berges, on rencontre des sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés et des sols ferrugineux à concrétions avec des graviers roulés en galets. C'est le domaine agro-pastoral par excellence.

De Mankarga à Béguédo/Niaogo

Du point de vue pédologique, cette zone n'a pas fait l'objet d'une étude récente. Mais globalement les unités rencontrées dans les autres tronçons s'y retrouvent, avec des placettes d'unités plus ou moins étendues.

II.5. CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTES FORMATIONS VEGETALES

II.5.1- Les terrains dénudés :

Cette unité s'observe fréquemment sur les versants et les berges du cours d'eau. C'est une zone très dégradée, décapée et fortement érodée par les eaux pluviales, avec des ravinements qui s'agrandissent régulièrement au rythme des saisons. Les terrains dénudés présentent deux faciès dont l'élément commun est l'absence d'une strate herbacée. En effet, on y rencontre par endroits quelques arbustes ou touffes de buissons. Les espèces généralement rencontrées sont : *Balanites aegyptiaca*, *Acacia gourmaensis*, *Acacia macrostachya*, *Combretum aculeatum* et *Combretum micranthum*. Parmi les espèces plus arborescentes, on notera : *Bombax costatum*, *Pterocarpus erinacen*, *Scierocarya birrea*, *Anogeissus leiocarpus*, *Tamarindus indica* qui semblent résister mieux à la dégradation du milieu.

L'autre faciès des terrains dénudés est entièrement sans couverture végétale et se présente sous forme d'îlots. Ces îlots semblent constituer les noyaux de propagation des terrains dénudés car leur étendue est généralement très limitée.

II.5.2- La savane arbustive claire :

Composée d'arbustes et de buissons, elle comprend aussi des espèces ligneuses dont la hauteur est inférieure à 5 m et le taux de recouvrement inférieur à 25 %. On y rencontre cependant des arbres épars qui semble correspondre à des reliques d'une savane antérieurement boisée. Cela laisse supposer que l'étape de savane arbustive claire pourrait résulter d'actions anthropiques notamment, l'exploitation agricole.

La savane arbustive claire est constituée de jachères dont la reconstitution difficile serait liée à une surexploitation antérieure ou à des conditions naturelles difficiles de développement de la végétation. Les espèces rencontrées le plus souvent dans cette strate sont : *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Ximania americana*, *Acacia macrostachya*, *Acacia gourmaensis*, *Acacia seyal*, *Ziziphus mauritiana*.

Les espèces herbacées qui y sont dominantes sont : *Loudetia togosensis*, *Pennisetum pedicellatum* et des touffes de *Cymbopogon schoenanthus* épaisses.

II.5.3- La savane arbustive dense :

La savane arbustive dense est le type de formations végétales pour lequel le taux de recouvrement de la strate arborée est de l'ordre de 10 %. La savane arbustive est dense, avec un recouvrement relativement homogène variant entre 40-70%. Sa hauteur est inférieure à 5m.

C'est également l'une des formations végétales qui présente des tâches importantes en superficie tout le long du Nakambé.

Les espèces qu'on y rencontre sont *Acacia gourmaensis*, *Acacia dudgeoni*, *Acacia macrostachya*, *Sclerocarya birrea*, *Butyrospermum paradoxum*, *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus* et *Combretum spp.*

La couverture herbacée est généralement continue avec une dominance de *Loudetia togosensis* et *Pennisetum pedicellatum*.

II.5.4- La savane arborée :

La caractéristique principale de ce type de formation est sa présence en îlots dispersés, en étendue très limitée, généralement inclus dans la savane arbustive dense ou à cheval entre celle-ci et les formations ripicoles.

Dans cette formation, les arbres ont en général une hauteur de plus de 5 m ne pouvant excéder 10 à 12 m. Néanmoins, on rencontre exceptionnellement quelques sujets isolés pouvant dépasser 15 m. Il s'agit notamment des espèces comme *Anogeissus leiocarpus*, *Adansonia digitata*, *Bombax costatum*. Le recouvrement au sol varie entre 20 à 25 %.

La strate arborée est composée essentiellement d'espèces ligneuses suivantes : *Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Butyrospermum paradoxum*, *Adansonia digitata*, *Sclerocarya birrea*, *Sterculia setigera*, *Tamarindus indica*...

La savane arborée comprend aussi une strate arbustive d'une hauteur inférieure à 5 m. Son taux de recouvrement est inférieur à 50 % et comprend notamment les espèces suivantes : *Piliostigma réticulatum*, *Combretum spp*...

La strate herbacée, composée essentiellement de graminées, est à dominance de *Loudetia togosensis*, *Pennisetum pedicellatum* et de touffes : *Andropogon* et *Cymbopogon schoenanthus*.

II.5.5- Les formations ripicoles arborées :

Deux éléments principaux les caractérisent :

- ① *La position* : Ces formations occupent généralement les zones régulièrement inondables de la vallée principale du cours d'eau ou des vallées secondaires.
- ② *La composition* : quasiment monospécifique, elle est formée de *Mitragyna inermis* se présentant généralement sous deux formes :
 - en îlots denses, au couvert complet, de faible longueur sous forme de chapelet.
 - en petites tâches entre les îlots, où les arbres sont très irrégulièrement répartis avec des couronnes non jointives.

L'ensemble se présente en des cordons qui suivent la forme du cours d'eau mais de façon irrégulière et discontinue. La hauteur des arbres dans cette formation varie entre 8 et 12 m.

Les autres espèces qu'on rencontre en association avec *Mitragyna inermis* sont : *Anogeissus leiocarpus*, *Mimosa pigra*, *Daniellia oliveri*, *Terminalia avicenioidias* et *Piliostigma thonningii*, *Ficus gnapholocarpa*, *Vitex doniana* et/ou *vitex diversifolia*.

II.5.6- La formation ripicole herbeuse

Elle se rencontre dans les zones à inondation plus tardive et se caractérise par un abondant tapis herbacé continu, dominé par *Vetivera nigratana*, *Acroceras amplexans*, *Echinochloa colona*, *Eragrostis spp.*

La formation ligneuse inféodée est composée d'arbres éparpillés par pieds isolés ou regroupés en îlots, d'étendue très limitée. Les espèces ligneuses qui composent cette strate sont surtout : *Mitragyna inermis* et *Anogeissus leiocarpus*. On y retrouve aussi *Daniellia oliveri*, *Terminalia avicenoïdias*, *Vitex doniana* et/ou *vitex diversifolia*.

Le taux de recouvrement est faible ; de l'ordre de 10 % avec une hauteur des individus de la strate de 8 à 10 m.

II.5.7- Les champs et les jachères

Des champs et des jachères constituent des unités de zones de culture qui font partie du paysage de l'aval du barrage. Les cultures, pratiquées jusqu'aux abords immédiats du cours d'eau à certains endroits, occupent les différentes zones morphologiques de la zone d'étude. On rencontre les cultures de mil (*Pennisetum americanum*), et de sorgho (*Sorghum bicolor*) sur les sols en hauteur auxquelles on associe souvent le niébé (*Vigna unguiculata*) en intercalaire. Par contre l'arachide (*Arachis hypogea*) occupe des parcelles entières de petites superficies. On ne rencontre des cultures de maïs (*Zea mays*) et de riz (*Oryza sativa*) que par tâches sporadiques.

La strate arborée dans les champs et jachères est constituée par quelques grands arbres comprenant les espèces *Butyrospermum paradoxum*, *Tamarindus indica*, *Bombax costatum*..., certainement épargnées pendant le défrichement pour leur intérêt socio-économique.

Dans les jachères, on trouve une strate arbustive qui en est une phase de reconstitution progressive. Le taux de recouvrement est très faible.

II.5.8- Les zones de cultures maraichères

Dans la région de Béguédo/Niaogo, les berges du cours d'eau sont occupées par les cultures maraichères de contre-saison. Les espèces ligneuses utilitaires sont les seuls ligneux présents dans cet espace. On rencontre des pieds isolés de : *Azadirachta indica*, *Butyrospermum paradoxum*, *Mangifera indica*, *Tamarindus indica*, *Parkia bigosa*, *ficus sp.* ...

La strate herbacée a été détruite. L'érosion des berges est plus marquée à cause de l'ameublissement des sols dû aux cultures pratiquées aux alentours du fleuve. Le résultat est la présence de rigoles d'érosion sur les bords du lit du Nakambé et son comblement progressif par la terre.

Le phénomène de comblement du lit du Nakambé est aussi constaté au droit des grands villages. Ici, ce sont les activités des populations qui semblent en être la cause principale (champs de culture au bord du cours d'eau, prélèvement de la végétation ligneuse herbacée du bord, surpâturage du cheptel, création de zones de passage des populations et des animaux pour avoir accès à l'eau...). Ces activités ont fragilisé le sol des berges qui sont ainsi essentiellement soumis à l'érosion pluviale. Les transports solides sont alors charriés dans le lit.

II.6. LES FORETS CLASSEES

Deux forêts classées sont concernées par la zone d'étude :

- la forêt classée de Wayen ;
- la forêt classée du Nakambé (ancienne Volta blanche).

Tableau 5 : Liste des espèces ichthyennes peuplant le Nakambé moyen.

Familles	Espèces	Familles	Espèces
Cichlides	Oreochromis Saritherodon galileaus	Gymnarchides	Gymnarchus niloticus
Centropomides	Lates niloticus	Protopterides	Protopterus annectens
Mormyrides	Momyrus rume Marcusenius senegalensis	Polypterides	Polypterus endlicheri
Mochokides	Synodontis schall Synodontis clarias Synodontis punctifer	Osteoglossides	Heteerotis niloticus
Clariides	Clarias gariepinus Heterobranchus bidorsalus	Malapterurides	Malapterurus electricus
Schilbeides	Schilde intermedius	Bagrides	Bagrus docmak
Charaides	Hydrocynus forskalii Brycinus nurse	Citharinides	Citharinus latus
		Cyprinides	Labeo senegalensis

source : PAIB (Septembre 1996)

II.9. LES RESSOURCES PASTORALES

La zone d'étude constitue un centre d'intérêt pour l'activité pastorale. En effet, les rives du cours d'eau constituent la zone de pâturage. Pour l'abreuvement des troupeaux, seuls des points où le cours d'eau est évasé et où l'eau est permanente ou semi-permanente, donnent accès à l'eau et sont régulièrement exploités chaque année.

Dans les endroits où l'eau n'est pas permanente, l'abreuvement des troupeaux se fait à l'aide des puisards creusés dans le bas-fond et très souvent dans le lit du cours d'eau.

CHAPITRE 4 : PRÉSENTATION DU MILIEU SOCIO-ECONOMIQUE

I. CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES

En rive gauche, la population totale recensée est de 3494 habitants répartie en 449 ménages soit une moyenne de 7,8 personnes par ménage. Ces 449 ménages se répartissent comme suit : 340 ménages soit 2710 habitants en pays Mossi et 109 ménages soit 784 habitants en pays Bissa (CIMEX, 1996).

En rive droite, la population totale recensée est de 648 habitants répartie en 71 ménages, soit une moyenne de 9 personne par ménage. Ces 71 ménages sont répartis de la façon suivante : 57 ménages soit 520 personnes en pays Mossi et 14 ménages soit 128 personnes en pays bissa.

La population totale recensée sur les deux rives est en somme de 4142 habitants dont 942 hommes de plus de 15 ans soit 22,75% de la population totale ; 1046 femmes de plus de 15 ans soit 25,25% de la population totale et 2154 enfants de moins de 15 ans soit 52% de la population totale. Ces ratios mettent en évidence la très grande jeunesse de cette population : plus de la moitié a moins de 15 ans.

Avec un taux d'accroissement moyen de 2,5% par an, la population totale recensée dans la zone d'étude s'élèverait à 5708 habitants en l'an 2010.

Tableau 6 : Répartition de la population par rive et par zone

RIVE	GAUCHE	DROITE	TOTAL
Zone mossi	2710	520	3230
Zone bissa	784	128	912
TOTAL	3494	648	4142

Source : CIMEX (1996)

II. CARACTERISTIQUES DES VILLAGES :

II.1. LES VILLAGES MOSSI

Dans les villages mossi, les habitations sont généralement des cases rondes en banco avec le toit en chaume. On rencontre quelques fois des maisons rectangulaires également en banco, couvertes d'un toit en tôles ondulées avec des ouvertures persiennées ou en tôle ondulée.

Les familles vivent dans des concessions ou «Zaka ». La concession regroupe un ensemble de cases et/ou de maisons rectangulaires telles que définies ci-dessus avec une bergerie et un coin clôturé de murs en banco servant de douche. Le foyer qui tient lieu de cuisine est généralement situé au milieu de la cour ainsi que le «nére guuri». La clôture de la concession peut être en sécco ou en banco.

Les greniers, utilisés pour stocker le grain, sont de deux types : le greniers en secco («poulgu») et le grenier en banco couvert d'un toit en paille. Les premiers sont situés à l'extérieur

II.6.1- La forêt classée de Wayen

Elle jouxte le Nakambé sur la rive gauche, dans un domaine compris entre Ziga et Kougri. Il s'agit d'une plantation industrielle dont les essences principales sont : *Ecalyptus camaldulensis* (82%), *Gmelia arborea* et *Azadirachta indica* (18%).

D'une superficie totale de 17 500 ha, la forêt classée de Ziga se présentait à l'origine comme une savane arbustive épineuse en état de dégradation avancé sous l'influence des feux de brousse, de la pression du front des cultures vivrières et des prélèvements de bois de chauffe. Seule la partie ouest longeant le Nakambé intéresse la zone d'étude. Notons également l'installation des hameaux de cultures dans cette forêt..

II.6.2- La forêt classée du Nakambé

Située sur la rive droite du Nakambé, cette forêt s'étend de Kougri jusqu'au-delà de Gaongo. Elle est essentiellement composée d'épineux : *Balanites aegyptiaca*, *Acacia Sp.*, des espèces ligneuses du domaine sylvo-pastoral : *Sclerocarya birrea*, *Pterocarpus erinaceus*, *Tamarindus indica*, *Butyrospermum parkii*, *Lannea microcarpa* et d'espèces de savane arbustive dense. A l'instar de celle de Wayen, la forêt classée du Nakambé se caractérise par une présence illégale de population qui y ont trouvé refuge ; ceci explique en grande partie son état de dégradation avancée. Seule la partie Est, situé au bord du Nakambé, intéresse notre étude.

II.7. LES RESSOURCES FAUNIQUES

Il s'agit d'une faune de savane, adaptée aux milieux ouverts et semi-ouverts, fortement appauvrie par l'homme. Les grands mammifères sont rares à cause de l'omniprésence de l'homme. Les petits mammifères (lièvres, rats, hérissons etc) constituent de nos jours les principales composantes faunistiques de la zone d'étude.

La faune aviaire est quant à elle , qualitativement importante et quantitativement variée ; on y rencontre des francolins, des tourterelles, des perroquets, des hérons, des pique-bœufs...etc.

II.8. LES RESSOURCES HALIEUTIQUES

Le potentiel halieutique de la zone d'étude est essentiellement constitué de la faune ichtyologique du Nakambé et comprend environ 25 espèces de poissons appartenant à 15 familles (voir tableau ci-dessous).

Une pêche artisanale est pratiquée par les populations riveraines dans certains engorgements d'eau où le dessèchement se réalise tardivement en saison sèche et évidemment pendant tout l'hivernage.

En amont de Béguédo/Niaogo (de Ziga à Béguédo/Niaogo), la pêche n'est pratiquée que de façon marginale, dans les mares temporaires du Nakambé à sec, dès la fin de la saison des pluies. Les prises à ces endroits se réduisent à de toutes petites carpes et autres poissons de petites tailles tels les sardines et les tilapias.

Plusieurs invertébrés terrestres (insectes) et aquatiques (mollusques) sont présents dans la zone d'étude.

de la concession tandis que les seconds sont dans la cour à l'entrée des concessions. Ils sont utilisés pour le stockage des grains de céréales.

A la devanture de la concession, on trouve généralement un hangar ou « zandé » et les supports en bois sur lesquels les fourrages ou les semences sont stockés.

Une concession abrite souvent plusieurs ménages ayant des rapports aînés-cadets ; c'est l'aîné des ménages (généralement le père) qui est le chef de zaka.

Un ensemble bien déterminé de concessions forme le quartier. L'ensemble des quartiers forme le village. Cependant dans la zone d'étude, certains villages sont récents et ne sont pas encore subdivisés en quartiers (villages AVV, villages de Poussa...). Chaque village a un chef appelé « Tingnaba ».

Certains villages sont des anciens campements de culture : ce sont la plupart des villages dont l'appellation contient le mot « wéogo » qui signifie la brousse (Boukary bouanga kouassa wéogo, Issouf wéogo...). L'habitat des campements de culture est beaucoup plus sommaire : il s'agit de cases rondes généralement en secco et rarement en banco.

II.2. LES VILLAGES BISSA :

En pays bisssa, les structures les plus achevées reposent sur le village, à l'image de beaucoup de groupes ethniques à organisation sociale segmentaire, faite de clans et lignages relativement indépendants les uns des autres.

Le développement de l'économie marchande avec ses nouveaux apports technologiques tels que les charrues et récemment les tracteurs, a entraîné un changement de mentalité, bouleversant ainsi ces normes d'organisation traditionnelle.

Sur le plan organisationnel, les villages bisssa ont beaucoup de similitudes avec les villages mossi. Toutefois l'architecture est plus soignée : les cases sont crépies de terre et les cours bien tenues. Dans certains villages, quelques maisons sont en dur avec un toit en tôles ondulées. A Niaogo et à Béguédo, la majorité des concessions ont des maisons relativement bien construites en parpaings.

Une caractéristique importante des villages bisssa est l'émigration de sa jeunesse vers des destinations comme Ouagadougou, Bobo Dioulasso, la Côte D'Ivoire, l'Italie, ...

L'argent envoyé au village est destiné principalement à l'amélioration de l'habitat qui est à majorité construit en dur. Ce flux d'argent a contribué, pour une bonne part, à améliorer la qualité de vie dans ces villages.

III. LES ACTIVITES ECONOMIQUES

III.1. L'AGRICULTURE

En pays mossi comme en pays bisssa, l'agriculture est la première activité économique et occupe quasiment 100% de la population. C'est une agriculture de subsistance utilisant des moyens de production peu élaborés (daba, machettes, paniers et quelques charrues et autres houes manga). Les paysans les plus nantis louent des tracteurs pour le labour et le battage des céréales. Les producteurs pratiquent quelques fois la jachère. Il va sans dire que le caractère extensif et archaïque de cette agriculture limite les rendements. Les principales spéculations sont : le sorgho rouge et blanc, le mil, l'arachide, le maïs, le niébé, le riz et le coton. L'arachide et le coton sont les deux principales cultures de rente. La culture du coton semble en pleine expansion ces trois dernières années. Il existe plusieurs types de champs :

- *Les champs de case* dans les grands villages où les populations cultivent le maïs, le gombo, le sésame, l'oseille et quelques fois le sorgho rouge. Dans les campements de culture, ces champs de case se confondent aux champs de grand labour.
- *Les champs de brousse* ou champs de grand labour qui sont généralement situés au-delà de l'aire bâtie du village, quelquefois à 5 voire 10 Km du village. Les populations y font pousser les céréales pour la subsistance de la famille (sorgho rouge, sorgho blanc, mil).
- *Les champs de bas-fond* où en fonction de l'abondance de l'eau et de sa pérennité, les spéculations plus exigeantes en eau sont pratiquées : riz, tubercules...

Depuis quelques années du fait de la sécheresse persistante, le front des champs de labour a gagné progressivement les bas-fonds.

III.2.L'ELEVAGE

L'élevage dans la zone d'étude est une activité connexe à l'agriculture. Deux types d'élevage sont pratiqués :

- *l'élevage agro-pastoral sédentaire* pratiqué par la grande majorité des cultivateurs : elle concerne principalement le petit bétail (caprins, ovins), la volaille (poulet, pintades) et quelques bovins pour certains (bœufs d'embouche ; bœufs de traits, vaches laitières). L'élevage de porc, bien que peu pratiqué se rencontre chez des animistes ou chrétiens.. Le troupeau est généralement constitué d'un nombre réduit d'animaux. Le bétail représente une épargne en nature ; en effet, en cas de besoin, en fonction de l'importance de la dépense (cérémonies coutumières, funérailles, baptêmes, mariages...), un poulet, un mouton, une chèvre ou un bœuf est prélevé pour la cause ou vendu pour couvrir la dépense.
- *l'élevage agro-pastoral semi-sédentaire* est pratiqué par les Peuls qui se sont quelque peu sédentarisés à cause de la présence de l'eau et du fourrage. Le cheptel des éleveurs peuls est nettement plus important.

III.3.LA PECHE

Activité essentiellement masculine, la pêche est pratiquée par un certain nombre de personnes, tout le long du cours d'eau, lorsque cela est possible. Du côté du village de Béguédo, la pêche est assez développée, du fait de l'existence de la nappe d'eau pendant une bonne partie de l'année. Les produits de pêche sont vendus par quelques femmes (qui en ont fait leur activité principale), soit fumés soit sous forme de poissons frits. Cette activité du côté de Béguédo-Niaogo procure des revenus substantiels aux pêcheurs et aux vendeuses de poissons.

III.4.LE MARAICHAGE

Il est pratiqué comme activité de contre-saison dans les endroits où l'eau tarit moins vite. L'activité débute dès la fin des récoltes (octobre/novembre) et se poursuit selon la disponibilité de l'eau jusqu'en début de saison de pluies (juin). Les principales spéculations sont les oignons, la tomate, l'ail, les choux, l'aubergine... D'après un recensement effectué par l'APS (CIMEX, 1997), 81 chefs de ménage exercent cette activité, soit 8,5% de la population masculine ayant plus de 15 ans.

Dans la zone d'étude c'est surtout en région bisssa que le maraîchage a une très grande importance dans l'activité des populations (78,75% des maraîchers résidents s'y trouvent). Cela

est sans doute dû à la présence de l'eau et du marché des produits maraîchers (marchés de Garango, de Tenkodogo, de Kaïbo et même de Ouagadougou pour les oignons et l'ail).

En ce qui concerne la pratique de cette activité, des disparités considérables existent entre le pays mossi et le pays bisca. Dans la zone d'étude, les mossi pratiquent peu le maraîchage (21,25% des maraîchers résidents) ; ils se limitent à quelques jardins de dimensions modestes clôturés de paille ou de brindilles. Le manioc, la patate et le piment sont les spéculations dominantes. En revanche, en pays bisca, l'activité prend de l'essor du fait de l'arrivée de l'eau provenant du recul du lac de Bagré depuis sa mise en eau. Tout le long du cours d'eau, les terres sont anciennement occupées par des familles sont exploitées de génération en génération. Contrairement à la région mossi, l'exploitation est rarement clôturée. Les maraîchers ne sont pas souvent résidents, ils viennent des villages environnants. Les épouses et les grands enfants aident de façon appréciable les chefs de ménage dans le jardin potager. Ces unités d'exploitation, sont la propriété des hommes aussi bien que celle des femmes.

En rive gauche de Béguedo jusqu'au-delà de Fingla et en rive droite du côté de Niaogo jusqu'au-delà de Sandogo, la maraîchéculture est pratiquée de façon quasi continue.

III.5.L'ARTISANAT

L'artisanat traditionnel est pratiqué par un nombre réduit de personnes. Le tissage et la vannerie sont l'apanage des hommes d'un certain âge tandis que la poterie n'est exercée que par les femmes des forgerons. La confection des nattes en secco, est réalisée par la majorité des hommes. Les nattes sont confectionnées là où l'herbe existe et servent de clôture des concessions, de toits des greniers ou encore à couvrir le «zandé» situé à la devanture de la concession. Le surplus de nattes produites est vendu dans les grands centres de la région. Il n'est sans doute pas exagéré de dire que l'incidence économique de l'artisanat dans la zone d'étude est très faible.

III.6.LES ACTIVITES RENUMERATRICES DES FEMMES

Les femmes sont très dynamiques. Elles exercent une multitude d'activités pour subvenir à leurs propres besoins et à ceux de la famille entière. Ces activités vont de la fabrication du «sombala», au savon, en passant par le petit commerce (condiments séchés, pagnes, poissons...). Dans les familles animistes ou chrétiennes, les femmes s'attellent à la vente du « dolo », à la petite restauration (riz, haricot, galettes, beignets...). L'argent obtenu sert à acheter des habits, du bétail d'embouche et des produits pharmaceutiques.

IV. INFRASTRUCTURES COLLECTIVES DE LA ZONE D'ETUDE

IV.1.INFRASTRUCTURES COLLECTIVES

On dénombre 31 forages répartis dans onze des 20 villages composant la zone d'étude. Environ La moitié de ces pompes sont en panne. On dénombre également, dix-sept écoles primaires dont 79% dans les seules villes de Béguedo et de Niaogo ainsi que 3 centres d'alphabétisation. Tous les villages importants disposent d'un lieu de culte (mosquée, église, temple). Concernant les infrastructures sanitaires, il n'existe que 2 CSPS (Kougri et Béguedo), 2 dispensaires et une maternité.. Seuls les gros villages ont un marché ; Les campements de culture n'en disposent pas. Les populations fréquentent le marché le plus proche pour se ravitailler en produits de première nécessité.

IV.2. EQUIPEMENTS

On dénombre dix neuf (19) tracteurs agricoles dans la zone dont quinze (15) à Béguédo et quatre (4) à Niaogo. Toutefois en saisons de pluies, des tracteurs des grands centres comme Mogtédo, Garango, Tenkodogo, Manga, se déplacent dans la région pour des prestations payantes.

On dénombre également quarante cinq moulins dont trente (30) à Béguédo, huit (8) à Niaogo et cinq (5) à Kougri.

Plus de 95% de la population adulte masculine possède un vélo. Les motocyclettes sont surtout présentes dans les grands centres.

IV.3. LES INFRASTRUCTURES DE DESENCLAVEMENT

Dans la zone d'étude, en dehors du pont de Kougri sur La RN4 et des ponts de Béguédo/Niaogo sur la R.R11, il n'existe aucune autre infrastructure de franchissement du Nakambé. Le passage d'une rive à l'autre, en année de forte pluviométrie, s'effectue en pirogue ou à la nage.

De même en dehors des pistes réalisées par l'ONAT, il y a de cela quelques années, l'accès à certains villages n'est pas du tout aisé. Le désenclavement de tous ces villages est une priorité favorable à leur essor.

V. IDENTIFICATION DES VILLAGES DE LA ZONE D'ETUDE

Dans le développement qui va suivre, le rapport décrit les villages relativement importants. Les hameaux de culture ne seront pas pris en compte dans la description. Elle portera essentiellement sur l'identité du village, l'analyse de la population, l'état des infrastructures et des équipements, l'état succinct du niveau du développement économique.

V.1. LE VILLAGE DE KOGRI

Le village de Kougri est situé, pour une grande partie, en rive gauche du Nakambé sur l'axe routier Ouagadougou- Fada N'gourma frontière du Niger.

Formée à 99% de cultivateurs, la population est composée en majorité d'enfants (52,8%) ; les femmes représentent 24% et les hommes 23,2%. En somme, 1426 habitants sont répartis dans 173 ménages. L'ethnie dominante à Kougri est celle des mossi. Le village s'est développé à cause de la voie bitumée. L'activité informelle y est florissante.

la route nationale RN4 et le pont situé sur la même route, en cas de rupture du barrage de Ziga, joueront un rôle de second barrage. En cas de rupture de cette voie de communication, avec la remontée du niveau des eaux, la plus grande partie du village sera inondée.

La topographie du village, montre que la presque totalité du village est située à moins de 500m des rives du fleuve.

V.1.1- Patrimoine bâti

Le patrimoine bâti de Kougri n'est guère différent du parc bâti de la plupart des villages de cette importance du plateau mossi. On distingue trois types d'habitats : la case ronde traditionnelle (92,1% du patrimoine bâti), la maison rectangulaire en banco à toit en tôles (7,4%) et la maison rectangulaire en banco dont le toit est en terrasse (moins de 1%).

L'état global du patrimoine bâti est passable. Le mobilier et l'équipement indispensable au fonctionnement de la concession sont les mêmes que ceux décrits au paragraphe précédent.

V.1.2- Infrastructures collectives

Kougri dispose de cinq (5) forages dont deux (2) sont en pannes. Il existe un Centre de Santé et de Promotion Sociale (CSPS) fonctionnel. L'enseignement conventionnel est effectué dans deux écoles primaires. On y dénombre cinq (5) moulins à grains, un (1) centre ménager, un marché, une (1) église, un (1) temple et une (1) mosquée.

V.2.VILLAGE DE FINGLA

Le village de Fingla est situé en rive gauche du Nakambé à 4 km environ de Béguédo. La population, estimée à 381 habitants est à 100% formée de cultivateurs. Elle est composée en majorité d'enfants. L'ethnie dominante à Fingla est l'ethnie bissa.

La zone d'étude compte 52 ménages. Ces habitants sont composés en majorité d'enfants (55,60%), les femmes représentent 26,8% et les hommes 17,6%.

L'activité informelle y est florissante. Il s'agit essentiellement du maraîchage. La plupart des actifs des concessions et le «palza» ou chef de ménage sont occupés une bonne partie de la saison sèche par les cultures maraîchères.

V.2.1- Patrimoine bâti

Le patrimoine bâti de la zone étudiée à Fingla ressemble à ceux de la région bissa du Burkina Faso. On distingue trois types d'habitats : la case ronde traditionnelle (96% du patrimoine bâti), la maison rectangulaire en dur à toit en tôles (0,4%) et la maison rectangulaire en banco dont le toit est en tôles (4%). Le patrimoine bâti est en assez bon état.

V.2.2- Infrastructures collectives

Fingla dispose de deux (2) forages en bon état de fonctionnement d'une maternité et d'une école primaire. On y dénombre également un (1) moulin à grains.

V.3.LE VILLAGE DE BEGUEDO

V.3.1- Généralités : Situation, historique et caractéristiques démographiques

Chef lieu de département dans la province du Boulgou, Béguédo est situé en rive gauche du Nakambé à environ 120 km du site du barrage de Ziga.

C'est un village Bissa dont les habitants auraient été chassés de Manga. Il a fait l'objet de pillages ou de menaces de la part des villages environnants (Niaogho et Ouarégou notamment).. Historiquement, Niaogho commandait Béguédo par l'intermédiaire du royaume mossi de Ouagadougou ; avec la colonisation le leadership sera confié à Béguédo qui connaîtra un essor important. Actuellement, sa suprématie économique sur Niaogho est incontestable. Ancien ennemi, les villages de Béguédo et Niaogho sont enfin devenus des villages frères. (Cf. conflits armés de 1986).

Aussi, toute intervention dans ces villages doit tenir compte des éléments suscités en prenant pour référence le fait que dans ces deux villages :

- l'ouverture aux méthodes modernes est acquise (agriculture, élevage, pêche), ce qui explique le nombre croissant d'ONG qui s'installent dans la région,

- les jeunes ont une ouverture d'esprit qui tranche nettement avec les comportements de leurs parents ; cependant les adultes, connus pour leur pragmatisme, obéissent à ce qui leur paraît intéressant et maîtrisable,

Par ailleurs, des conditions objectives pour une intégration plus saine de ces populations rivales existent (liens de famille par mariage, échanges commerciaux à l'occasion notamment des marchés respectifs, etc.). Ses habitants sont à 98% musulmans

Il s'agit du plus grand village de la zone d'étude. Toutefois nous ne nous intéresserons qu'à une petite partie du village qui est incluse dans la zone d'étude.

La population est à 97% formée de cultivateurs. 403 habitants ont été recensés dans les «pal» de la zone d'étude. Cette population est composée en majorité d'enfants et est à 98% musulmane.

La zone étudiée de Béguédo compte. 57 «pal». Ces habitants sont composés en majorité d'enfants (55%), les femmes représentent 24,40% et les hommes 20,60%.

Béguédo est un centre de production agricole et maraîcher des plus modernes: les groupements villageois y sont florissants ; le maraîchage et les cultures de décrue occupent les populations riveraines pratiquement toute l'année.

Les autres activités informelles y sont en plein essor. Il s'agit de :

- la pêche ;
- le fumage du poisson (activité exclusivement féminine) ;
- la mécanique (cycles, cyclomoteurs...)
- la petite restauration ;

Béguédo dispose des plus grands commerçants de la région et d'un marché d'échanges très important.

La plupart des tracteurs proviennent de ce village et sont loués aux paysans de la région. En outre la plupart des moulins placés dans les villages environnants proviennent du village de Béguédo.

V.3.2- Patrimoine bâti

Le patrimoine bâti de la zone étudiée de Béguédo répond à la typologie suivante : la case ronde traditionnelle (97% du patrimoine bâti), la maison rectangulaire en dur à toit en tôles (2%) et la maison rectangulaire en banco dont le toit est en tôles (1%). Le patrimoine bâti est en assez bon état.

V.3.3- Infrastructures collectives

Béguédo dispose de trois (3) forages dont deux (2) étaient en panne au moment du recensement. Il existe 1 (un) Centre de Santé et de Promotion Sociale (CSPS). On recense douze (12) écoles et un (1) marché dans le département. On dénombre dans le village trente (30) moulins à grains et quinze (15) tracteurs agricoles. Les plus grandes confessions religieuses ont des édifices pour la pratique de leur religion (20 mosquées, 1 temple, 1 église).

Un ouvrage de franchissement du Nakambé, renforcé il y a moins de trois ans, permet de relier Béguédo à Niaogo et à la province du Zounwéogo.

On y dénombre également quinze (15) tracteurs agricoles qui contribuent à l'augmentation de la production agricole et trente (30) moulins .

V.4. LE VILLAGE DE NIAOGO

V.4.1- Généralités : Situation, historique et caractéristiques démographiques

Situé en rive droite du Nakambé à 1,5 km environ de Béguédo, le village de Niaogo est un chef lieu de département.

C'est un village de Bissa (venus du Ghana) et de Mossi (descendus de Sondogo). Il a connu une destruction partielle en 1896 (par les troupes de VOULET) ce qui a entraîné la fuite d'une partie de sa population. Ses habitants sont aujourd'hui répartis entre trois religions : animistes, catholiques et musulmans. Grâce à l'Eglise Catholique, une des premières écoles de la région y verra le jour vers les années 1950 ; ce qui fait de lui un village d'intellectuels.

La population (de la zone d'étude) composée en majorité d'enfants, comprend 91 d'habitants à 98% cultivateurs. La zone d'étude compte 8 ménages. Ces habitants sont composés en majorité d'enfants (58,24%), les femmes représentent 24,37% et les hommes 15,38%.

Comme Béguédo, tout le village n'est pas concerné par la présente étude.

De même, à l'image de Béguédo son village «jumeau», le maraîchage à Niago est une activité très importante. Faute de terre sur place, les habitants vont au-delà de Sondogo, village situé à 8km en amont de Niaogo, pour exploiter des parcelles de maraîchage.

V.4.2- Patrimoine bâti

Le patrimoine bâti de la zone d'étude de Niaogo ressemble à ceux du pays bissa. On distingue trois types d'habitats : la case ronde traditionnelle (95,5% du patrimoine bâti), la maison rectangulaire en dur de toit en tôles (1,2%) et la maison rectangulaire en banco de toit en tôles (3,27%). A l'instar de Béguédo, le patrimoine bâti est en assez bon état.

V.4.3- Infrastructures collectives

Le village de Niaogo dispose de sept (7) forages dont six sont en panne, deux (2) dispensaires et deux (2) écoles. On y dénombre également huit (8) moulins à grains et quatre (4) tracteurs agricoles. Les plus grandes confessions religieuses (Musulmans, chrétiens) possèdent des édifices pour la pratique de leur religion.

V.5. VILLAGES AVV :

Ce sont des villages installés dans les zones libérées de l'onchocercose, par l'ONAT (anciennement AVV) : V2, V8 (Rapadama), V7 (Bomboré), V10 (Mankarga).

Composés essentiellement de populations déplacées du plateau mossi, ces villages ont les mêmes caractéristiques que les villages mossi traditionnels. L'accès facile à ces villages est rendu possible grâce à des pistes de pénétration réalisées par l'ONAT. Si certains de ces villages ont été équipés d'infrastructures collectives (école, dispensaire, forages, puits modernes...), d'autres par contre ne disposent pas de la moindre infrastructure de base.

Malgré la relative richesse des populations, l'habitat demeure celui des campements de culture. Les pratiques archaïques d'exploitation de la terre, importées du terroir d'origine, sont transposées ici, malgré l'encadrement fort dont ces populations ont bénéficié du temps de l'AVV.

Il nous paraît superflu de décrire ici, ces villages dont les caractéristiques, l'organisation et le fonctionnement ne diffèrent pas fondamentalement de ceux des villages mossi décrits plus haut, une littérature fournie existe à ce sujet à l'ONAT.

DEUXIEME PARTIE : METHODOLOGIE D'APPROCHE DE L'ETUDE

I. COLLECTE DES DONNEES :

Il s'agit ici d'une étude complémentaire devant permettre d'enrichir les différentes études d'impacts déjà réalisées à ce jour. Notre travail s'appuie donc sur toutes les études antérieures (études techniques conceptuelles du barrage, études environnementales, différents rapport de réunion et de coordination, rapports d'expert etc...) .

La collecte des données s'est faite :

- au centre Météorologique et à l'IRD pour les données climatiques ;
- au BUMIGEB pour les données géologiques ;
- au BUNASOL pour les données pédologiques ;
- à la Direction d'Inventaire et des Ressources Hydrauliques pour les données hydrologiques ;
- à la Maîtrise d'ouvrage de Ziga pour les études conceptuelles et environnementales relatives au projet ;
- à l'UICN pour les cartes de synthèse de l'état des lieux avant et après le projet.

Le recueil d'informations utiles à l'étude a été rendu possible grâce à deux guides d'entretien que nous avons conçus en fonction des besoins de l'étude:

- 1) Le guide d'entretien individuel conçu pour la collecte des données auprès de la Maîtrise d'Ouvrage de Ziga, de l'Ingénieur Conseil et d'un certain nombre de services ayant une bonne connaissance des problèmes de risques liés aux barrages (Maîtrise d'Ouvrage de Bagré, Office National des Barrages et des Aménagements Hydro-agricoles, Direction Générale de l'Hydraulique etc...);
- 2) Le guide d'entretien collectif , rédigé pour les besoins de l'enquête villageoise, en vue de recueillir des données relatives à la perception qu'ont les populations installées en aval , des risques encourus en cas d'accidents ou de rupture de barrage, de lâchés et/ou de crues, et à l'évaluation de la connaissance que ces populations ont par rapport à l'existence même de ces risques.

L'ensemble de ces données ont été complétées par une analyse documentaire et à des observations sur le terrain.

I.1.LES ENQUETES DANS LES SERVICES :

I.1.1- Le choix des services :

Le services retenus pour les enquêtes ont été choisis suivant deux critères essentiels : la qualité du service relativement à notre sujet d'étude et l'existence dans le service d'une personne ressource susceptible de nous apporter des informations complémentaires. Les principaux services retenues ont donc été les suivants :

- la MOZ : (coordonateur du PGAIE, Ingénieurs barragistes, chef du projet AEP-OUAGA ZIGA, ingénieurs forestier);
- L'ONBAH (Directeur des études)

- La MOB (responsable du barrage de Bagré)
- La Direction générale de l'Hydraulique ,
- La Direction Générale des Eaux et Forêt ;
- Lameyer International : (Ingénieurs conseils, contrôleurs des travaux ..)
- DIRH ;
- IGB ;
- CIMEX (bureau ayant réalisé les études d'avant projet sommaire);

I.1.2- Le déroulement des enquêtes et données recueillies:

Elles étaient relatives aux résultats des études déjà faites ou aux expériences relatives aux problèmes résultant de la mise en place des grands barrages au Burkina et/ou dans le monde .

I.2.LES ENQUETES COLLECTIVES :

La brièveté du temps dont nous disposons pour l'étude nous a poussé à opter pour l'enquête collective dans les villages. Ne disposant pas de moyens matériel et humain pour couvrir tout l'aval du barrage de Ziga (environ 150 Km) nous avons opté de centrer notre enquête sur le village de Kougri, situé à 15 Km environ du barrage de Ziga. En effet en cas de rupture du barrage de Ziga c'est ce village qui sera le premier à être atteint par les flots dévastateurs. Par ailleurs, Compte tenue de la position du village par rapport au barrage , l'onde de crue y aura un effet maximal aussi bien en vitesse qu'en volume d'eau. De plus en cas de non sinistre, c'est encore le village de Kougri qui souffrira le plus de la présence du barrage : en effet après l'interruption du cours d'eau par le barrage, le village de Kougri ne disposera plus que du bassin versant situé entre lui et le barrage pour l'alimenter en eau étant donné qu'aucun affluent du Nakambé ne dessert le village. C'est donc le village de Kougri qui souffrira le plus de la mise en place du barrage puisque l'effet négatif du barrage s'atténue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du barrage à cause de la présence des affluents puissants tel que le Massilli qui se jettent dans le Nakambé plus loin en aval

I.2.1- Observations du milieu :

elle s'est faite en cheminant le cours d'eau en aval du barrage de Ziga afin d'identifier , de relever les ressources naturelles de la zone d'étude, et de vérifier les données relevées dans les services consultés.

La visite du chantier et des zones d'emprunt qui se situent pour l'argile dans le lit du cours d'eau en aval du barrage et pour la latérite en amont , nous a permis de constater les impacts environnementaux du projet à cette phase d'évolution des travaux.

II. TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES:

Pour réaliser l'inventaire sommaire des ressources naturelles de la zone d'étude définie ci-dessus, deux outils ont été utilisés :

- ① Une carte au 1/200 000^{ème} couvrant la zone ; il s'agit précisément des feuilles de Boulsa, de Ouagadougou et de Tenkodogo.
- ② Une carte d'occupation des terres au 1/20 000^{ème} réalisée par photo-interprétation.

En plus de ces outils, une reconnaissance du terrain a été effectuée à moto et à pied sur l'ensemble de la zone.

La stratification réalisée par photo-interprétation a servi de base à l'établissement de la typologie des formations végétales en présence.

Les différents types de formations végétales rencontrées sont décrits avec le plus de détails possible .

En ce qui concerne la faune, des observations et des enquêtes ont été réalisées pendant le cheminement sur le terrain.

Il est important de noter que compte tenu de la spécificité de la zone d'étude (1km de largeur dans la vallée du cours d'eau), l'accent a été beaucoup mis sur la différence entre les unités de l'occupation des terres que leur importance en superficie.

II.1. CARTOGRAPHIE DE LA ZONE CONCERNÉE PAR L'ÉTUDE

a). **Approche Méthodologique**

La carte utilisée a été réalisée par CIMEX à partir de 80 photographies aériennes au 1/20.000 dont 66 ont été prises en 1992 et 14 en 1994.

Nos investigations n'ayant pas permis de disposer de sources de données plus récentes, nous avons adopté la photo-interprétation réalisée par CIMEX comme base de notre étude. Après une vérification de la conformité de la carte avec les photos ayant servi à leur réalisation, nous avons procédé à une évaluation des surfaces occupées par les différentes formations végétales à l'aide d'un planimètre avant de confronter les résultats obtenus aux observations de terrain dans le but de corrélérer l'interprétation avec les réalités sur le terrain . Ces résultats ont permis de quantifier par exemple pour le village de Kougri le volume des pertes probables lié

à la présence du barrage ainsi que des risques potentiels qui en découlent.

La carte a ensuite été coloriée afin de ressortir les différentes formations végétales en présence et permettre au lecteur une appréciation visuelle des superficies concernées par les différentes formations et leur répartition dans l'espace. Une meilleure présentation de la carte a ensuite été reproduite et mise en annexe du présent document ainsi que les différentes superficies obtenues après planimétrage de la carte .

II.2. ANALYSE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET

La méthode choisie est une approche matricielle dérivée de la méthode connue sous le nom de méthode Luna Léopold (TRACTEBEL,1995). Cette méthode analyse pour chaque facteur de l'environnement (les colonnes de la matrice) les effets des différentes actions découlant du projet (les lignes).

Chaque effet est évalué en fonction de son degré d'incidence et de son importance significative sur l'environnement. Dans l'appréciation des incidences, il est tenu compte de cinq critères qui sont :

- la qualité de l'effet
- l'importance
- la probabilité d'occurrence
- Durée de l'effet
- le délai d'apparition

La qualification et le symbolisme utilisé pour chaque critère sont donnés dans le tableau ci dessous :

Tableau 7: Critères d'appréciation des impacts, qualification et symbolisme

Qualité de l'effet	+	Bénéfique
	-	Domageable
	x	Envisageable mais difficile à quantifier sans étude approfondie
Importance	mi	mineure
	mo	moyenne
	Ma	majeure
Probabilité d'occurrence	c	certaine
	p	probable
	i	improbable
	n	non connue
Durée de l'effet	T	temporaire
	D	Durable mais non permanent
	P	Permanente
Délai d'apparition	I	Immédiat
	C	à court terme
	M	à moyen terme
	L	à long terme

Afin de clarifier notre analyse , nous choisissons d'analyser de manière séparée les impacts de chaque grande composante et de décrire les différents axes de chaque matrice.

Notre analyse se solde par un tableau qui reprend de manière schématique tous les facteurs analysés et permet ainsi d'avoir une vue globale des impacts résultant du projet.

Pour l'analyse quantitative , nous nous sommes restreints au cas du village de KOUGRI où toute les données liées à l'analyse ci-dessus ont pu être vérifiées soit par des observations de terrain ou lors de l'enquête collective. De plus , les données brutes d'enquête effectuées dans l'APS donnent un bon pourcentage des infrastructures socioculturelles à ce village.

II.3. PROPOSITION DE MESURE D'ACCOMPAGNEMENT ET D'ATTENUATION :

Les impacts négatifs doivent faire l'objet de correctifs ; ceux-ci sont abordés sous un angle à la fois technique et socio-économique, en identifiant les contraintes à leur mise en oeuvre.

La correction des impacts met en oeuvre un ensemble de techniques préventives ou de méthodes de réhabilitation, les unes comme les autres étant indiquées de manière la plus simplifiée possible.

Dans la présentation des mesures à mettre en œuvre, nous avons choisi de dissocier :

- **les mesures réductrices** ou « recommandations » applicables pour la plupart aux travaux de création des infrastructures et qui se traduiront par des préconisations dans les cahiers des charges des entreprises chargées des travaux ;
- **les mesures compensatoires** liées à l'aménagement, utiles pour garantir la protection du milieu naturel, un suivi des écosystèmes sensibles, la sécurité après les travaux et un cadre de vie adéquat ;
- **les mesures d'accompagnement**, avec des actions de suivi applicables durant toute la vie du projet, y compris des prescriptions pour assurer un développement durable dans la zone d'influence du projet et la formation-sensibilisation des intervenants.

TROISIÈME PARTIE : EXPOSÉ DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

CHAPITRE 6 : ANALYSE DU RISQUE DE RUPTURE DU BARRAGE DE ZIGA

Avant d'aborder les conséquences environnementales liées à la rupture éventuelle du barrage de Ziga, nous nous proposons, dans le présent chapitre, d'analyser les conditions d'avènement de cette rupture afin d'appréhender sa probabilité d'occurrence.

Le « risque barrage » est typique du « risque technologique majeur », c'est à dire d'un risque dont la probabilité d'occurrence est très faible, dont les conséquences pour la collectivité sont limitées dans le temps et dans l'espace (zone submergée par les crues), mais qui est socialement insupportable.

C'est ce qui fait la difficulté de la mission d'un service de contrôle des barrages : son souci de la sûreté doit aller très loin, bien au delà de ce que pourrait justifier une analyse rationnelle du problème, mais il ne dispose pas d'élément objectif pour justifier son action.

La problématique de la sécurité du barrage de Ziga interpelle celle du risque généré par une éventuelle rupture du barrage. En effet, Le risque de rupture est un des aspects cardinaux de la conception et de la réalisation d'un barrage. Nous nous proposons dans cette partie d'examiner (sur des critères objectifs liés à la conception et à la réalisation du barrage de Ziga), en quoi l'une ou l'autre des causes ci-dessus énumérées peut être à l'origine d'une rupture éventuelle du barrage de ZIGA.

I. PROBLEMATIQUE DE LA SECURITE DU BARRAGE DE ZIGA

I.1. ANALYSE DE LA POSSIBILITE DE RUPTURE DU BARRAGE DE ZIGA A PARTIR DES DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES.

I.1.1- Rupture par séisme :

Les études géologiques et géomorphologiques de la zone d'implantation du barrage ont montré qu'elle peut être considérée comme une zone réputée non sismique. On peut donc exclure la possibilité de rupture du barrage de Ziga par liquéfaction de la digue à la suite d'un séisme. Mais il est tout à fait possible d'envisager un sabotage ou un cas délictueux (bombardements) ; de plus, dans les calculs de stabilité de la digue (voir ci-dessous), des cas de charges sismiques faibles ont été envisagés avec succès.

I.1.2- Rupture par tassement excessif avec fissuration du remblai :

Nous nous sommes penchés sur l'ensemble des mesures prises ou à prendre (le barrage étant encore en construction) aussi bien pendant la conception que pendant la construction, en vue de réduire les possibilités d'affaissement du corps de la digue. Sans être exhaustif nous pouvons citer les éléments de sécurisation suivants:

- ① la composition du corps de digue (digue en terre homogène avec noyau en argile, filtre horizontal et filtre vertical)
- ② le choix judicieux des matériaux à mettre en place et l'examen . après analyse, des carrières d'emprunts pour les différents matériaux;

- ③ la définition des taux de compactage à respecter, compatibles avec un meilleur rendement des matériaux choisis ;
- ④ la définition du degré d'humidité à avoir lors des compactages pour atteindre les objectifs visés ;
- ⑤ pendant la construction, des mesures strictes de vérification et d'analyse dont :
 - les différentes analyses des matériaux (les limites d'atterberg, la granulométrie, la teneur en eau, etc...)
 - Les contrôles à pied d'œuvre de la mise en œuvre par des essais de densité in situ afin de s'assurer du respect des clauses du cahier de charge ;
 - La mise en place d'appareils qui permettront plus tard de suivre l'évolution du tassement du corps de digue (tassomètres, piézomètres, manomètres, déversoir de jauge permettant de mesurer le débit de fuite, etc...)

L13- Rupture du fait de l'hétérogénéité des fondations :

Un certain nombre d'essais LEFRANC (effectués dans les sols et les arènes) et d'essais LUGEON (réalisés dans les formations rocheuses) ont été interprétés : le barrage repose, en dessous de bedrock sur différentes couches (alluvions d'arènes graveleuses, arènes et granite fracturés) présentant une perméabilité moyenne à forte.

Ce sont là des conditions relativement difficiles à gérer en matière de barrage. L'examen des différents rapports géotechniques consultés laisse apparaître des failles dont six constituent un véritable danger pour le barrage. Notons que dans le rapport du groupe d'experts, il était prévu des injections spéciales pour fermer l'ouverture de ces fissures.

Confronté à une difficulté de mise en œuvre, l'entreprise à décider, en accord avec le maître d'ouvrage et après des essais de vérification (essais lugeon), de remplacer les injections par une paroi étanche réalisé avec un enduit spécial : la bentonite. En effet, d'après les résultats des essais, la perméabilité des dites fissures est faible (3×10^{-6} m/s).

L14- Ruptures par glissement de talus :

Des calculs de stabilité¹ (voir tableau ci-après) ont été faits et vérifiés. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 5 ci-après:

On constate que:

- les cas 1 à 4 correspondent à la fin de la construction : une pression interstitielle réduite de $ru=0.3$ a été pris en considération dans tous les deux cas de recharge du barrage, car les matériaux de ces zones seront mis en place avec une teneur en eau en dessous de la teneur optimale (wopt).
- les cas 5 et 6 correspondent à la fin de construction et au commencement du remplissage initial de la retenue. Une valeur encore inférieure à été prévue car jusqu'au remplissage de la retenue, la pression interstitielle dans les recharges et la fondation sera déjà réduite par drainage.
- dans les cas 11 et 13, une charge sismique de $kh=0.1$ et de $kv=0.03$ a été prise en considération.

¹ Pour plus de détail sur les calculs de stabilité, voir « Projet d'exécution du barrage » : Groupement d'ingénieurs conseil LAMEYER-BERA-STUDI-KCIC-BERA (1997)

On peut constater que les facteurs de sécurité calculés sont presque tous supérieurs aux limites exigées à l'exception du cas 5 dont la valeur calculée est légèrement inférieure à celle exigée. Ce qui laisse prévoir un risque de rupture en phase de remplissage de la retenue. Il est également utile de remarquer que ces calculs sont faits sur la base de matériaux spécifiques dont les caractéristiques et la mise en oeuvre sont parfaitement définies. Par conséquent, une modification même très légère des caractéristiques de ces matériaux peut entraîner une modification du cercle de glissement de la digue.

Tableau 8 : Calcul de la stabilité du barrage de Ziga

Cas	Effort	section de glissement	facteur de sécurité calculé	Facteur de sécurité exigé
1	Fin de construction, pressions interstitielles des appuis et de la fondation	Amont	1.32	1.30
2	Fin de construction, pressions interstitielles des appuis et de la fondation	Aval	1.43	1.30
3	Fin de construction, pressions interstitielles des appuis	Amont	1.32	1.30
4	Fin de construction, pressions interstitielles des appuis	Aval	1.43	1.30
5	Fin de construction, pressions interstitielles des appuis et de la fondation, retenue à PBE	Amont	1.28	1.30
6	Fin de construction, pressions interstitielles des appuis et de la fondation, retenue à RN	Amont	1.33	1.30
7	Opération, PHE amont et aval	Aval	1.56	1.50
8	Opération, RN	Aval	1.60	1.50
9	Opération, PBE	Amont	2.14	1.50
10	Opération, RN	Amont	1.84	1.50
11	Opération, RN, sisme	Amont	1.37	1.20
12	Opération, decense rapid PHE à RN	Amont	1.70	1.30
13	Opération, PHE amont et aval	aval	1.27	1.20

source : LAHMEYER-BERA-STUDI-KCIC-BERA (1998)

1.15- Ruptures par renard :

Les renards ont généralement pour cause un gradient de sortie élevé .

Plusieurs dispositions ont été mises en place pour limiter les risques de formation des renards :

- mise en place, de part et d'autre du déversoir, d'un remblai de jonction réalisé avec un béton plastique et étanche qui tient lieu d'écran anti-renard et permet un meilleur contact béton-terre.
- mise en place dans la digue d'un noyau en argile dont les caractéristiques physiques sont connues , suivi d'un filtre permettant de casser la ligne phréatique dans la digue en terre et d'évacuer le débit de fuite hors du barrage.
- mise en place d'un déversoir de jaugeage pour contrôler le débit de fuite ;

Mais il arrive souvent que des rongeurs utilisent le corps de digue comme terroir augmentant ainsi sensiblement le gradient de sortie du barrage en terre et par voie de conséquence la possibilité de formation des renards.

1.16- Rupture suite à l'érosion du déversoir :

Elle peut se produire soit par érosion régressive ou par renversement de la digue sous l'action des pressions et sous pressions de l'eau ; afin de se prémunir contre ce phénomène plusieurs dispositions ont été prises :

- le seuil a été fondé sur les arènes granitiques
- l'évacuateur a été fondé sur les graves et sables au niveau 250 mais le talon amont devra descendre de 1m environ dans les arènes afin de mieux stabiliser le corps de l'ouvrage.
- le radier du bassin de dissipation sera calé à la cote 253. Sa longueur devra avoir 32m. Un parafouille aval descendra à la cote 247. Le contact entre le radier et le sol sera drainé. Les dalles du radier seront munies de Waterstop. Aucune communication ne sera permise entre le sol de fondation du radier et la surface supérieure de celui-ci.
- le chenal en aval du bassin de dissipation a été excavé à la cote du lit du Nakambé (cote 254 m), et protégé par des enrochements lourds.

L17- Submersion du barrage :

La rupture par submersion fait suite à une estimation erronée de la crue de projet. Dans le cas qui nous intéresse, le calcul de la crue de projet a été l'objet d'un débat intellectuel fourni entre le groupement d'ingénieurs d'étude et le groupe d'experts commis par la MOZ. Initialement, La crue de projet a été estimée à partir de plusieurs lois statistiques et suivant plusieurs méthodes d'approche : historique, courbes enveloppes , statistiques et déterministe. Les valeurs obtenues par le groupement d'ingénieurs conseil ont été les suivantes :

Tableau 9 : Valeurs estimatives de la crue du projet

Nom de la méthode	Résultats pour la crue millénaire	Résultats pour la crue cinq millénaire	Résultats pour la crue décennalaire
pearson III	760	-	988
Formule empirique	870	1134	1270
A partir des volumes Gumbel	912	1135	1230
HEC-1,	-	1124	-
Pearson III, temps de base 30jours	1182	1468	1594
Pluie de 30 jours, Pearson III	363mm	377mm	382mm
Pluie de 30 jours, Formule empirique	-	369.4mm	-
Pluie de 30 jours, Equation générale	-	376.3mm	-

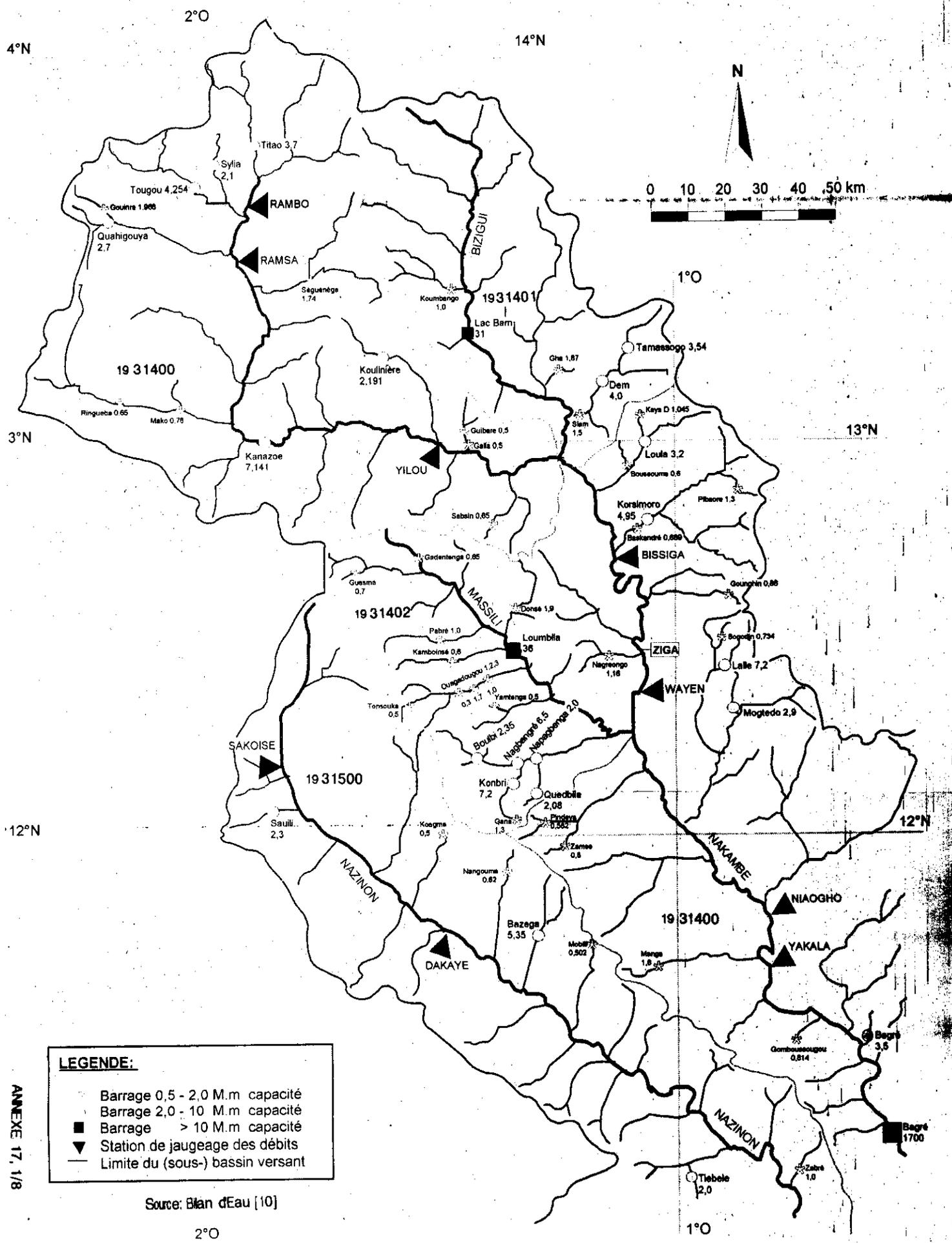
Malgré la cohérence observée entre ces résultats, le groupe d'experts a jugé qu'ils étaient insuffisants et a opté pour une plus grande sécurité en proposant la méthode de Francou Rodier qui donne une crue quinquamillénaire de l'ordre de 2600 m³/s, soit un débit de déversement de 2200 m³/s après nivellement.

Il y a lieu ici de noter que la crue de projet (2200 m³/s) proposée par le groupe d'experts est deux fois plus grande que celle initialement retenue par le groupement d'ingénieurs conseil (1135 m³/s). Ceci prouve encore une fois la difficulté qu'il y a à cerner la crue exacte d'un projet et la grossièreté de l'erreur qui peut être faite dans son estimation .

D'autre part, l'approche d'estimation de crue telle qu'analysée par le groupement d'ingénieurs et corrigée par le groupe d'experts n'a, en aucun moment, fait cas de la présence en amont du barrage de Ziga . d'une multitude de barrages (voir en page suivante les barrages du bassin versant du Nakambé) dont un (Kanazoe) de capacité supérieure à 75 Mm³. Si nous partons du fait que la rupture d'un petit barrage réalisé à partir d'études sommaires , a plus de chance de se produire que celle d'un ouvrage important dont la conception , le contrôle d'exécution et le suivi (lors de l'utilisation) sont précédés d'études plus élaborées , on est obligé de prendre au sérieux le risque de rupture du barrage de Ziga suite à une rupture d'un ou de plusieurs barrages en amont.

Le barrage de Kanazoe étant le plus important barrage en amont de Ziga, nous nous sommes intéressés à sa rupture éventuelle. Faute de données sur la conception et la construction dudit

Barrages dans la Region de Ouagadougou



LEGENDE:

- Barrage 0,5 - 2,0 M.m capacité
- Barrage 2,0 - 10 M.m capacité
- Barrage > 10 M.m capacité
- ▲ Station de jaugeage des débits
- Limite du (sous-) bassin versant

Source: Bilan d'Eau [10]

barrage nous avons imaginé plusieurs scénarios prenant en compte aussi bien la conception finale du barrage de Ziga que le volume d'eau contenue dans le barrage de Kanazoé :

- ① on rajoute la totalité du volume en eau de la retenue de Kanazoe à celui du barrage de Ziga (retenue pleine). On obtient alors un volume total d'eau dans la retenue de l'ordre de 275 Mm³ ; ce qui correspond , d'après la courbe hauteur-volume à la cote approximative de 267m IGB. La cote de la crête de notre barrage étant à 271.8 mIGB, on dispose encore d'une revanche de 4.7m .
- ② par ajustement polynomiale sur les valeurs obtenues dans l'APD, nous avons établi la fonction qui régie le débit de déversement en fonction de la cote du plan d'eau :

$$F(x) = -5.213x^3 + 4269.275x^2 - 1164610x + 105819933 ; (R^2 = 0.999994)$$

On obtient alors , pour la cote 267m IGB (obtenue ci-dessus) un débit de déversement de l'ordre de 182.77 m³/s. Cette valeur relativement faible par rapport à la crue quinquamillénale (2200 m³/s) montre l'effet marginal que peut produire une éventuelle rupture du barrage de Kanazoé sur le calcul de la crue du barrage de Ziga.

- ③ par ailleurs pour un débit de l'évacuateur de 2200 m³/s, on a un niveau d'énergie de 270.458 m IGB, soit , d'après la courbe hauteur-volume, un volume d'eau dans la retenue de l'ordre de 620 Mm³. En y ajoutant 75Mm³ (volume de la retenue de Kanazoé), on obtient 795 Mm³ soit une cote du plan d'eau à 270.7 m IGB, cote inférieure à la cote de la crête qui est de 271.80 m.

La submersion du barrage de Ziga des suites d'une rupture du barrage de Kanazoé est donc peu probable et résulterait d'une combinaison de plusieurs facteurs.

I.2. FIABILITE DES ETUDES DE CONCEPTION DU BARRAGE DE ZIGA:

Nous allons à présent voir en quoi les études ci-dessus exposées peuvent être considérées comme fiables.

Les études du barrage de Ziga ont été effectuées par un groupement de bureaux d'étude et d'ingénieurs compétents dont l'expérience des problèmes de barrage est éprouvée.

Ces études ont été par la suite évaluées par un groupe d'experts de renommée internationale commis par la Maîtrise d'Ouvrage de Ziga.

Les recommandations proposées par les experts ont été retenues même lorsqu'elles entraînaient un renchérissement du coût de l'ouvrage.

Cependant on ne peut occulter le fait que, le résultat final obtenu, comme toute oeuvre humaine pourrait , garder encore quelques insuffisances même minimales.

I.3. QUALITE DES TRAVAUX D'EXECUTION :

Une bonne étude ne saurait suffire seule à enrayer le risque de rupture si elle n'est pas suivie d'une exécution de qualité similaire. C'est pourquoi, afin de prendre en compte tous les facteurs de risque, nous nous penchons maintenant sur les travaux d'exécution du chantier pour vérifier leur conformité avec les prescriptions techniques du cahier de charge.

La Maîtrise d'Ouvrage de Ziga s'est dotée d'une importante structure de contrôle composée :

- d'un chef de projet dont le rôle principal est d'assurer la coordination générale :
- d'un responsable du lot 1 qui s'occupe spécifiquement du barrage et de ses ouvrages annexes,

- d'un responsable béton qui a pour tâche de vérifier le béton (composition, résistance, coffrage),
- d'un responsable terrassement qui s'occupe de tous les travaux de terrassement
- d'un surveillant des travaux qui s'occupe du métré et des quantités mises en oeuvre.

De plus, ces responsables, dont le travail de contrôle se fait à pied d'oeuvre, disposent sur le chantier d'un important laboratoire leur permettant de faire sur place la majorité des analyses nécessaires, à savoir :

- Les essais proctor,
- La teneur en eau de l'argile,
- les limites d'atterberg,
- Les slam test etc....,

Les réunions de chantiers permettant de faire le point sur l'avancement des travaux, ont lieu une fois par semaine. Mais d'autres réunions extraordinaires peuvent être convoquées en cas de nécessité.

I.4. SUIVI DU BARRAGE

Il ne suffit pas de bien concevoir et de bien construire pour espérer enrayer tous les risques de rupture. Le barrage, parce qu'il travaille, a besoin tout au long de sa vie, d'un suivi permanent et éventuellement d'entretiens locaux. C'est pourquoi il est indispensable de se donner les moyens de procéder à ces différentes vérifications qui permettront d'anticiper sur des problèmes éventuels. Dans la conception du barrage de Ziga, plusieurs organes de mesures fiables et faciles à interpréter permettront le suivi régulier de l'ouvrage. Ce sont :

- les mesures de déplacements verticaux et horizontaux au moyen de repères topographiques disposés sur le couronnement du barrage (et espacés les uns des autres de 200 m environ), dans le mur bajoyer gauche de l'évacuateur des crues, et sur le bord supérieur amont de l'ouvrage de prise d'eau,
- les mesures de tassements au moyen d'une échelle de tassement composé d'un tube vertical avec raccords et des plaques transversales installées à 2 m l'une de l'autre qui serviront de repère de mesure,
- la mesure de la ligne phréatique dans le barrage se fera au moyen de tubes piézométriques (au total il est prévu 22 piézomètres munis de crépine au niveau de la recharge aval et de l'arène grenue),
- l'évacuateur comprendra une galerie de drainage avec des drains et des piézomètres intégrés au système d'auscultation,
- plusieurs manomètres installés permettront de mesurer la pression dans le corps de la digue.

II. CONCLUSION

Considérant les insuffisances constatées dans l'analyse ci-dessus, aussi bien dans les études de conception du barrage que lors de la mise en oeuvre ;

Considérant les aléas multiples et les caprices de la nature qui sont pour la plupart imprévisibles ;

Considérant le caractère complexe de la mise en oeuvre et l'étendue du chantier (on peut difficilement concevoir que tout soit vérifiable sur un chantier comme celui de ziga. Des

malfaçons peuvent très bien se glisser quelque part dans la digue, dans le remblai ou même dans la fondation et échapper ainsi au contrôle des hommes).

Nous concluons que la rupture du barrage de Ziga est bel et bien un événement probable.

Cependant, à cause de la minutie avec laquelle chaque détail du chantier a été traité (aussi bien du point de vue des études que de la réalisation) nous admettons qu'une rupture du barrage de ziga ne peut résulter que de la combinaison de plusieurs facteurs simultanés. Sa probabilité d'occurrence est donc très faible.

CHAPTITRE 7 : DÉLIMITATION DE LA ZONE DE RISQUE

La détermination de la zone qui sera probablement affectée en aval après réalisation du barrage de Ziga est importante pour l'analyse des risques potentiels. En effet, la mise en place du barrage, en situation normale, va empêcher l'eau de s'écouler en aval de l'ouvrage sauf en cas :

- de débordement par l'ouvrage évacuateur des crues ;
- de restitution d'un débit de fuite dans le cours d'eau ;
- de vidange de la retenue ;
- de rupture du barrage;

Donc l'effet immédiatement visible est l'absence d'écoulement habituel dans le lit du cours d'eau. C'est la zone de marnage entre les plus hautes eaux et l'étiage en situation sans barrage qui sera l'une des zones les plus affectées. Dans le cas très redouté de la rupture du barrage, cette zone est encore plus importante et comprend, outre celle déjà mentionnée, toute l'étendue qu'occupera l'onde de crue déferlant du barrage. La délimitation de la zone de risque passe donc par la détermination de la zone de propagation de l'onde de crue de rupture générée lors de la rupture du barrage.

L'étude de la propagation de l'onde de crue de rupture permet de déterminer:

- la carte de la zone inondable en aval;
- la vitesse de propagation de la crue;
- la profondeur des écoulements aux différents sites inondables;

Le présent chapitre est consacré à la définition de cette zone .

I. CONSTAT DU MANQUE DE DONNEES

Les différentes données nécessaires aux calculs sont : les données limnimétriques du cours d'eau, les données topographiques (profil en long et en travers du cours d'eau et de ses versants), la nature des sols (coefficient de ruissellement des différents sols constituant la zone d'étude).

Malheureusement, l'absence d'un réseau de limnimètres (et/ou de limnigraphes) dans le cours d'eau ne permet pas d'avoir les niveaux d'eau dans la vallée en aval du site du barrage. De plus, les seules données topographiques disponibles sont celles contenues dans les feuilles de Boulsa, de Ouagadougou et de Tenkodogo (carte au 1/200 000^{ème}) . Ces données sont grossières et inexploitablement lorsqu'il s'agit d'un travail de précision.

II. DEFINITION DE LA ZONE DE RISQUE:

Compte tenu du manque de données nécessaires au calcul de la zone de risque, considérant le caractère complexe des calculs à effectuer et la difficulté de les mener à terme (même de façon grossière) sans utiliser un logiciel approprié , nous avons choisi de baser notre travail sur les résultats des travaux de Tractebel (1995) aidé par une analyse documentaire.

TRACTBEL (1995) a évalué les conséquences en aval en cas d'une éventuelle rupture du barrage. Notre étude se base sur ces résultats estimatifs pour déterminer la largeur de la zone potentiellement en danger en aval.

Sur la base des hypothèses de calculs suivants :

- hauteur d'eau en amont du barrage (15 m) ;
- largeur de la brèche dans le mur du barrage (45 m) ;
- hauteur de la brèche égale à la hauteur totale d'eau soit 15 m ;
- temps de formation de la brèche 0.75 heures ;
- pente moyenne du cours d'eau entre Ziga et Wayen = 0.17 ‰ ;
- coefficient de Manning = 0.035,

Le calcul fourni donne une valeur du débit maximum s'échappant de la brèche égale à 4600 m³/s. En y ajoutant le débit passant par le déversoir, le débit total est estimé à 5000 m³/s. Pour ce débit, la profondeur d'eau calculée immédiatement en aval du barrage est de 7.10 m, qui correspond à une cote proche à 262 m. A Wayen, le débit est de 2750 m³/S et la cote est 258 m.

Nous avons retenu la cote 260 m comme cote critique sur le tronçon Ziga/Wayen. Compte tenu des hypothèses erronées (le barrage a été rehaussé de 15 à 18,80m) utilisées dans le calcul, Nous avons, par mesure de sécurité , gardé cette cote sur tout le parcours du cours d'eau jusqu'à Béguédo/Niaogho, zone tampon entre le lac de Bagré et l'arrivée de l'onde de crue de Ziga estimée à 750 m³/s.

La courbe de niveau correspondant à cette cote 260, filée de part et d'autre du cours d'eau de Ziga jusqu'à Béguédo/Niaogho donne des largeurs du cours d'eau allant de 800 m à 1200 m, compte tenu de la topographie des berges du Nakambé.

En l'absence d'un matériel topographique pour déterminer avec précision quelle largeur retenir sur chaque rive (travail fastidieux et disproportionné pour cette étude), et compte tenu du caractère approximatif des données utilisées dans les calculs ci-dessus, nous avons, pour des raisons de commodité, retenu comme zone de risque une bande de 1000 m sur chaque rive soit 2000m de largeur totale. En effet d'après la littérature les crues de rupture des barrages débordent rarement le lit sur une largeur totale de 1000 m lors de leur évolution en aval du barrage.

II.1.CONCLUSION

L'approche utilisée pour définir la zone de risque, comporte certaines approximations et hypothèses dont l'utilisation est devenue nécessaire en raison :

- du manque de données sur le niveau du cours d'eau en aval du barrage, hormis les stations hydrométriques de Wayen et Niaogho ;
- du manque de données topographiques nécessaires au calcul précis de la zone inondable;
- du manque de logiciel approprié;
- du manque de données sur les débits de fuite en aval de Ziga pour compenser le manque à gagner des apports à Bagré.

En tout état de cause, le choix opéré qui consiste à définir la zone de risque en se basant sur le scénario de rupture semble réaliste. De plus, il anticipe par rapport à la question de définition d'une zone de sécurité en aval du barrage de Ziga.

CHAPITRE 8 : TYPOLOGIE DES RISQUES ENVISAGEABLES ET RECHERCHE DE LEURS CAUSES PROBABLES

I. TYPOLOGIE DES RISQUES POTENTIELS A L'AVAL DU BARRAGE DE ZIGA

Le risque, selon les assureurs, est la « probabilité d'occurrence d'un événement aléatoire pouvant provoquer certains dommages ; c'est parallèlement l'intensité du dommage causé par cet événement. Intuitivement, le risque est une combinaison des deux et très souvent il est quantifié sous la forme d'un produit d'une probabilité par l'expression numérique (en monnaie, en vie humaine) du dommage ».

La typologie des risques permet de distinguer les risques écologiques, relatifs aux effets du projet sur l'environnement physique et biologique de la zone d'étude, des risques socio-économiques concernant l'homme et son milieu socio-économique.

I.1. LES RISQUES ECOLOGIQUES

Ils se traduisent par les effets du projet sur :

- le climat, le micro-climat,
- le sol,
- les eaux souterraines,
- les eaux de surface,
- les ressources floristiques et fauniques
- la faune aviaire
- les reptiles et les batraciens

I.2. DES RISQUES POUR L'HOMME ET SON ENVIRONNEMENT SOCIO-ECONOMIQUE :

Ils se traduisent par des effets du projet sur :

- les populations;
- les ressources naturelles;
- le barrage de bagré;
- les cultures ;
- l'élevage;
- les voies de communication;
- l'emploi;
- l'artisanat et le commerce;
- les revenus;
- la santé publique

II. CAUSES PROBABLES DES RISQUES IDENTIFIES :

La recherche des causes probables des risques identifiés passe par celle des actions immédiatement responsables des effets ci-dessus inventoriés. Ces actions sont au nombre de quatre :

- la présence du barrage de ziga , notée «*présence barrage*»;
- les crues passant par le déversoir, notées «*crues*» ;
- les lâchés pour compenser le manque à gagner à bagré, notés «*lâchés*» ;
- la rupture du barrage, notée «*rupture du barrage*» ;

II.1.LA PRESENCE DU BARRAGE

La mise en place du barrage sur le Nakambé modifie profondément le régime hydrologique du cours d'eau en aval du barrage : Les crues annuelles se produiront plus tardivement et seront nivelées. Quant aux années sèches, elles seront inexistantes. Il faut cependant préciser qu'au fur et à mesure que l'on s'éloigne du site du barrage de Ziga, son influence sur le régime du Nakambé va en s'atténuant, dans la mesure où il reçoit, loin en aval, les apports d'importants affluents comme le Massili qui s'y jette une trentaine de kilomètres en aval. Par contre, l'aval immédiat du barrage bénéficie d'un débit de fuite permanent et d'une remontée de la nappe aquifère favorable au développement de la flore terrestre et aquatique.

La présence du barrage change donc le régime habituel du cours d'eau en aval: le lit est précocement à sec par rapport à la situation sans barrage. Ceci a un impact en aval que nous examinerons plus loin.

II.2.LES CRUES PASSANT PAR LE DEVERSOIR

Au-dessus du plan d'eau normal, les crues passent par le déversoir ; du fait de la vitesse élevée des crues dû au déversement à travers l'évacuateur de crue, cet écoulement forcé en aval immédiat du barrage a des conséquences sur l'environnement aval de Ziga. De plus les valeurs retenues pour les crues exceptionnelles , de l'ordre de 2200 m³/s sont suffisamment importantes pour que, additionnées à la vitesse, relativement grande, la crue soit dévastatrice.

II.3.LES LACHES POUR COMPENSER LE MANQUE A GAGNER AU NIVEAU DES APPORTS A BAGRE

Cette question n'a pas encore été tranchée par l'Ingénieur-conseil et la MOZ. Elle revêt une grande importance pour les raisons suivantes :

- Les interactions entre les deux aménagements réalisées sur le même cours d'eau peuvent avoir, si une analyse suffisamment poussée de l'influence de Ziga sur Bagré n'est pas faite, des conséquences graves sur ces projets d'un intérêt fondamental pour le pays,
- La façon de lâcher a des effets différents sur les ressources naturelles selon que cela se fait par un débit de fuite continu, ou par lâchés intermittents,

II.4.LA RUPTURE DU BARRAGE

Comme nous l'avons précisé plus haut, malgré le travail assidu des ingénieurs pour limiter le risque de rupture du barrage, il reste présent bien que très limité. D'après les études

de TRACTEBEL (1995) un des scénarios de rupture plausible implique la formation progressive d'une brèche dont le développement durerait quelques dizaines de minutes et dont la géométrie, approximativement rectangulaire, aurait une largeur estimée à 45 m et une hauteur équivalente à la hauteur du barrage.

Dans ces conditions, en considérant la retenue pleine au début de l'effondrement partiel du mur, une onde de crue se déplacera en aval du site de barrage. Le calcul fournit, pour le débit maximum juste en aval du mur, une valeur proche de 5000 m³/s, le niveau se situant à la cote 262 m.

Lors de son déplacement en aval, l'onde de crue dévastera tout sur son passage mais s'amortira au fur et à mesure de son évolution. Le pic atteindra le site de Wayen, (17 km environ en aval de Ziga) en 3 heures et demi après le début de la rupture .

Des dommages potentiels seront très importants compte tenu de la zone d'implantation du projet, et concerneront aussi bien de vies humaines et des biens matériels, que l'environnement. Ils vont être évalués dans la suite de notre travail.

CHAPITRE 9 : EVALUATION DES RISQUES ENVIRONNEMENTAUX RETENUS

Analyser les risques environnementaux liés à la présence du barrage revient à analyser les effets induits par le barrage sur l'environnement de la zone d'étude. Nous nous attacherons dans ce chapitre à analyser les impacts environnementaux du projet dans la zone d'étude. L'analyse se fera comme précisé dans la méthodologie, à savoir une analyse matricielle, les colonnes de la matrice étant les facteurs d'effets et les lignes les actions retenues (cause directe des effets). Un tableau récapitulatif présenté à la fin de notre analyse résumera les effets et permettra de mieux apprécier les résultats obtenus.

I. EVALUATION DES RISQUES ECOLOGIQUES :

I.1. EFFET SUR LE CLIMAT ET LE MICROCLIMAT :

Le climat se définit comme l'ensemble des phénomènes météorologiques (température, humidité, ensoleillement, précipitations, pression, vent) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné. C'est également l'ensemble des circonstances dans lesquelles on vit.

En modifiant le régime normal du cours d'eau du Nakambé, la présence du barrage modifie également le degré d'humidité dans la zone d'étude constituée d'une bande d'un kilomètre de part et d'autre du cours d'eau : la zone située en aval immédiat du barrage bénéficiera d'un débit de fuite permanent et d'une remontée de la nappe aquifère alors que les zones situées plus en aval connaîtront un déficit d'écoulement et un assèchement précoce. La modification de l'humidité du milieu entraîne celle de la température ambiante et donc un assèchement de la végétation ligneuse et herbacée. Les effets du vent sont alors plus destructeurs en terme d'érosion éolienne. L'effet peut toute fois être considéré comme marginal à cause de l'existence, en saison pluvieuse, d'un débit de crue due aux déversements à travers l'ouvrage d'évacuation des crues. Avec la diminution progressive du pouvoir tampon de la rivière, due à son assèchement précoce, une modification du microclimat local sera également enregistrée à plus long terme, suite à la modification du couvert végétal qui risque de se manifester graduellement (voir effet sur la végétation).

L'effet de la présence du barrage sur le climat et/ou le micro climat peut être donc considéré comme un risque dommageable, moyen, certain, temporaire à long terme.

La déforestation qu'entraînera la rupture du barrage, parcequ'elle porte sur des superficies importantes, a des impacts multiples qui interfèrent les uns sur les autres et modifient l'ensemble du paysage et plusieurs aspects des biotopes. Du point de vue climatique et spécialement microclimatique, cette déforestation produit les effets suivants :

- une suppression du rôle réservoir de l'eau de la forêt : augmentation du ruissellement, crues et effets d'érosion qui en découlent, diminution de l'évapotranspiration pouvant entraîner des modifications dans les zones voisines
- une augmentation de la vitesse du vent défavorable à l'agriculture et au confort climatique
- une diminution de l'hygrométrie : ce facteur est très lié au précédent, et ses conséquences sont souvent néfastes aux cultures et aux humains. Avec cette baisse de l'hygrométrie, on note une augmentation de la poussière et la diffusion des maladies.
- un accroissement des écarts thermiques au niveau du sol : car ce dernier n'étant plus protégé par l'ombre des arbres, les différences entre les températures diurnes et nocturnes

s'accroissent ; les conséquences secondaires sont multiples : minéralisation accélérée des couches superficielles des sols et diminution de la matière organique et de la stabilité structurale , poussière , érodibilité accrue, glaçage des sols (pellicules de battance) , d'où résulte l'imperméabilité de l'horizon de surface qui contribue à l'aridification générale de l'environnement , raréfaction de la faune et de la flore , etc.

La rupture du barrage aura une incidence dommageable, majeure, probable, durable et immédiate sur le microclimat de la zone d'étude.

A priori, les crues passant à travers le déversoir ont un effet bénéfique sur le microclimat de la zone d'étude, dans la mesure où leur effet vient compenser l'effet négatif résultant du déficit d'écoulement causé par la mise en place du barrage. En effet, elles permettent de disposer en aval du barrage, en saison de pluie, de l'eau nécessaire à la régénération de la flore végétale et arbustive. Cependant, la mise en charge de l'eau par le barrage pourrait augmenter sa vitesse et par suite, sa force érosive. Les effets entraînés pourront alors être similaires à ceux engendrés par la rupture du barrage . Globalement nous considérons que :

Les crues auront sur le microclimat de la zone d'étude un effet bénéfique ou dommageable en fonction de la vitesse et de l'intensité des flots, mineur ou majeur suivant son ampleur, probable, temporaire et à court terme.

Les lâchés ne présentent , à priori, aucun risque dans le cas du barrage de Ziga, étant donné le faible débit d'évacuation (46 m³/s au maximum) ; la seule vanne prévue sur le barrage est la vanne de vidange de l'évacuateur de crue. Cependant on note un effet bénéfique pour le climat et le microclimat qui profitent de ce fait, de l'eau nécessaire pour le bon fonctionnement des interactions climatiques.

I.2. IMPACT SUR LE SOL :

La présence du barrage va perturber l'équilibre entre l'érosion et la déposition de sédiments sur le lit de la rivière ; il en résulte de profondes perturbations des conditions de dépôts de limons fertilisants sur les terres en aval du barrage. En principe, une augmentation de l'érosion immédiatement en aval du barrage est à prévoir. Mais, compte tenu du régime de la rivière et des quantifications du transport solide effectué dans les études, un tel effet peut être considéré comme mineur. D'autre part les parties ayant servi de zone d'emprunt pour les travaux du barrage seront très fragilisées et facilement attaquables, si aucune mesure n'est prise pour leur protection. D'autres impacts négatifs peuvent également s'observer tels que l'abaissement du niveau de base en aval du barrage ; risque d'aggravation de l'érosion naturelle dans les bassins versants ; modification des crues et des vitesses d'écoulement.

Plus en aval, l'impact peut être considéré comme positif dans la mesure où l'absence de ruissellement en aval due à la présence du barrage entraîne l'arrêt de l'érosion du sol à ce niveau. Cependant le déficit en eau dans le sol peut inhiber les processus internes de décomposition de la matière organique présente dans la couche superficielle du sol. Cet impact sera faible et durable.

L'absence d'eau entraîne également une pression plus accrue sur les berges du fleuve qui subissent alors, dans les zones habitées, une activité plus destructive de la part des hommes (puits, cultures dans le lit mineur de la rivière coupe de bois etc .). Ce qui, à terme, fragilise les sols concernés et les expose à une érosion plus forte.

Globalement, on peut considérer l'incidence de la présence du barrage sur les sols comme dommageable, certaine, permanente et à long terme.

La rupture du barrage sera une véritable catastrophe pour les sols de la zone d'étude. En effet, si une rupture du barrage se produit, une onde de crue de très grand débit (estimé à 5000 m³/s dans

le cas simulé par TRACTEBEL (1995) déferlera du barrage pour ensuite s'épandre sur le bas fond aval. Dans son évolution en aval du barrage, cette onde de crue dévastera tout sur son passage. Les sols seront les premiers et les plus touchés par l'action destructive des eaux car ils seront sérieusement érodés et emportés au loin.

La répercussion de la rupture du barrage sur les sols peut s'envisager comme un risque dommageable, majeur, certain, immédiat et temporaire.

Les crues, à cause de la vitesse relativement élevée de l'eau et du débit quelquefois très élevé envisagé, sont susceptibles d'arracher des particules du sol (d'autant plus que ceux-ci sont déjà fragilisés par l'action de l'homme et la pression des animaux) occasionnant ainsi une érosion des berges du cours d'eau.

L'effet est dommageable, moyen, probable, temporaire et immédiat

I.3. EFFET SUR LES EAUX SOUTERRAINES :

la présence du barrage interrompt l'écoulement normal du cours d'eau ; immédiatement en aval du barrage, si la fondation de celui-ci et la perméabilité de la roche sur laquelle il repose le permettent, la nappe phréatique sera rechargée de façon appréciable. Mais plus loin en aval, du fait du déficit d'écoulement provoqué par la présence du barrage, un manque à gagner en matière d'approvisionnement pourrait être constaté, ceci, sous réserve que des études complémentaires sur le fonctionnement et les interactions entre les aquifères en aval du barrage le confirment. A priori, l'impact de la présence du barrage sur les eaux souterraines sera positif pour les abords immédiats du barrage et négatif pour la zone qui connaîtra un déficit d'écoulement.

La conséquence de la présence du barrage sur les eaux souterraines est donc dommageable, moyenne, probable, permanente et à long terme.

Une rupture éventuelle du barrage pourrait entraîner, sur le plan qualitatif, un risque de pollution des eaux souterraines par les eaux de crues déferlant du déversoir généralement chargées de matières organiques et d'autres déchets charriés tout au long de leur écoulement.

Cependant le flot d'eau consécutif à la rupture entraîne, de facto, un gain substantiel en apport d'eau pour les nappes souterraines.

La rupture du barrage engendrera donc sur les eaux souterraines un risque probable, d'importance mineure, de délai d'apparition immédiat et de durée temporaire.

Dans le cas des crues, les risques sont à peu près les mêmes que ceux engendrés par une rupture du barrage quoique moins importants. En l'absence de données sur la structure de la roche en aval et l'existence de fissures dans celle-ci, on peut dire que *cet impact sera dommageable, moyen, probable, permanent et à long terme*

Dans le cas des lâchés, la situation est identique à la précédente, à la seule différence que la façon d'exécuter ces lâchés peut influencer sur le risque de pollution. En effet, s'il se fait en débit continu, le risque est plus important que s'il s'agissait d'un lâché intermittent. Dans l'un des cas, en tenant compte des réserves évoquées plus haut sur la roche, l'impact sera *dommageable, majeur, probable et permanent* ; dans l'autre, il sera *dommageable, moyen et durable*.

I.4. EFFET SUR LES EAUX DE SURFACE :

Le principal effet direct du barrage sur l'environnement sera son impact sur le régime du Nakambé, en aval du barrage. En effet d'après les études de TRACTEBEL (1995), on observe que la présence du barrage modifie le régime du Nakambé en aval tel qu'indiqué au tableau ci-après :

Tableau 10 : Débit estimatif du Nakambé en aval du barrage de Ziga

Besoins de Ouagadougou	26-34 Mio m ³ /an		64-72 Mio m ³ /an	
	Sans Projet	Avec projet	Sans projet	Avec projet
Année Normale Débit annuel en Mio m ³	228	111.6	228	77
Nombre de mois avec un Débit annuel > 0 m ³ /s	9	3	9	2
Année Sèche Débit annuel en Mio m ³	78	0	78	0
Nombre de mois avec un débit > 0 m ³ /s	9	0	9	0

Source : TRACTEBEL, (Juin 1995)

Il apparaît donc clairement que le débit qui passera en aval du barrage en année normale sera réduit de moitié, si les besoins de Ouagadougou sont de 26 Mm³ et que le débit (réduit) ne s'écoulera que pendant trois mois. En année sèche, le Nakambé en aval du barrage restera à sec toute l'année. L'effet du barrage sera donc *majeur*. Un second effet qui peut être attribué au barrage est celui de laminage (diminution du pic des crues de la Nakambé suite à la capacité de stockage). Dans des conditions défavorables, à savoir une retenue déjà remplie, le débit maximal qui passera sur le déversoir sera plus ou moins réduit de moitié par rapport à celui de la crue arrivant dans la retenue.

Au plan qualitatif, les rejets de la station de pompage (effluents chargés de boues), et les huiles de vidange vont polluer le cours d'eau en aval du barrage. C'est pourquoi, dans le PGAIE, des dispositions ont été prises pour éliminer de tels impacts. Notons aussi que la diminution du débit entraînera des conséquences sur les apports à Bagré et en aval de Bagré. Ces conséquences seront évalués plus loin.

L'effet dû à la présence du barrage sera donc considéré comme majeur, certain, et permanent et immédiat sur les eaux de surface.

Une rupture du barrage accroît, de façon notoire le volume des eaux de surface en aval du barrage. Or nous savons que l'excès d'eau nuit autant que son manque. Par ailleurs, la rupture du barrage entraînera une très forte érosion des berges du fleuve et pourra même modifier le lit du cours d'eau.

L'effet sera donc dommageable, majeur, certain, temporaire et immédiat.

Les crues, dans la mesure où elles compensent le déficit d'écoulement observé en aval du barrage, peuvent être considérées comme globalement bénéfiques.

L'effet est bénéfique, d'importance moyenne, d'occurrence certaine, de durée temporaire et de délai d'apparition immédiat.

Les lâchés, comme les crues ont un effet bénéfique sur les eaux de surface du fait de l'augmentation de l'écoulement superficiel.

L'impact est bénéfique, moyen, certain, temporaire ou permanent selon le cas et immédiat.

1.5. VEGETATION LIGNEUSE ET HERBACEE :

Bénéficiant du débit de fuite permanent et de la recharge de la nappe phréatique en aval immédiat du barrage, la végétation supérieure (ligneuse et herbacée) située à cet endroit aura de l'eau à la portée de ses racines ; cette végétation va par conséquent se développer. Cet impact sera

positif. Cependant avec l'assèchement du lit du marigot lequel est dû à la présence du barrage, les espèces spécifiques des zones périodiquement inondables vont se trouver dans une situation qui entamera leur régénération : c'est le cas de *Mitragyna inermis* pour ce qui est de la végétation ligneuse ; *Echinochloa colona*, *Panicum fluvicola*, *Vetiveria negritana*, *panicum fluvicola* pour ne citer que celles-ci pour les herbacées.

Les formations typiquement ripicoles vont progressivement céder la place à des formations ripicoles mixtes (mélange des espèces de zones hautes et des espèces ripicoles).

Cette situation défavorable s'atténuera, plus loin en aval, avec l'alimentation du cours d'eau par ses sous bassins versants.

La répercussion de la présence du barrage sur la végétation ligneuse et herbacée sera alors dommageable, d'importance mineure à majeure suivant sa position par rapport au barrage, de probabilité d'occurrence certaine, de durée permanente et de délais d'apparition à long terme.

Les crues peuvent exporter vers l'aval du barrage, des espèces envahissantes comme *Eichhornia crassipes* (jacinthe d'eau). *L'impact sera alors probable, moyen, temporaire et immédiat.* Les crues passant par l'évacuateur de crues, vont arracher et/ou mutiler la végétation située en aval immédiat du barrage malgré la dissipation prévue au niveau de cet ouvrage. L'effet sera marginal, *négatif, faible et temporaire.*

En revanche, cet écoulement va redonner au cours d'eau en aval, une situation approximativement semblable à la situation sans barrage, c'est-à-dire un régime hydrologique qui s'apparenterait, pendant quelques heures, au régime initial du Nakambé. Cette présence d'eau aura un effet positif sur la végétation supérieure.

L'effet des crues sur la végétation ligneuse et herbacée peut alors être considérée comme globalement bénéfique mais mineur, probable mais temporaire et à moyen terme.

En cas de rupture du barrage, avec la force des flots, les arbres et les herbes seront, sur une bonne largeur de la vallée, arrachés, détruits et emportés au loin ou simplement ensevelis par les fines particules contenues dans les eaux de crue. Par contre la recharge de la nappe sera bénéfique pour cette végétation supérieure située en zone haute et celle qui est située dans le lit majeur au-delà de Wayen (les formations ripicoles en particulier).

La flore et la microflore aquatiques, flottantes ou immergées, seront entraînées par le courant d'eau loin en aval. Celles qui se fixent sur les berges et dans la vase seront arrachées et/ou mutilées.

L'effet dû à la rupture du barrage sur la flore sera alors globalement négatif, moyen, certain, temporaire et à court terme.

I.6. VEGETATION UTILITAIRE :

Certaines plantes peuvent être considérées comme particulières à cause des services qu'elles rendent à l'homme. Il s'agit pour la zone d'étude :

- de feuilles comestibles (« Calamtouega » ; « cologbengdo » ; « aanto » appelé *Vitex diversifolia* ou *vitex doniana*)
- d'espèces ligneuses très appréciées par les population dans les travaux de construction (*mitragina inermis*),
- de plante aux fruits comestibles (*saaba sénégalensis*, *diospyros Mespiliformis*, *Lannea Microcarpa*)
- de plantes nécessaires à l'artisanat (*Karité* ou « Zibri », *Butyrospermum paradoxum*)

Un assèchement très prolongé du cours d'eau peut mettre en péril ces espèces utiles à la population ; de plus, du fait de l'assèchement du lit, la flore et la microflore aquatique vont disparaître.

L'impact de la présence du barrage sur la végétation rare ou particulière peut être considéré comme négatif, certain, majeur et permanent.

I.7. EFFET SUR LA FAUNE TERRESTRE :

les impacts dus à la **présence du barrage** sont ceux relatifs à l'absence d'eau. En effet, le déficit en eau dans le Nakambé, dû à l'érection du barrage, aura un effet négatif sur la faune terrestre qui ne trouvera plus à l'endroit habituel l'eau pour s'abreuver. Ceci entraînera alors une exode en chaîne :

- des invertébrés, dont le manque d'eau nécessaire à leur métabolisme les exposera à une mort certaine ;
- des oiseaux, intéressés par les ressources alimentaires du microclimat local;
- de quelques mammifères (en particulier les carnivores) qui n'étaient dans le milieu qu'à la recherche de proies faciles à capturer

Cependant, avec l'arrivée des affluents comme le Massili, une trentaine de Kilomètres après Wayen, cet effet négatif va s'atténuer.

L'impact est globalement dommageable, moyen, durable et à moyen terme.

La rupture du barrage par la force des eaux va détruire les habitats de certaines espèces de la faune. On peut également assister à des cas de mort par noyade dans les espèces fauniques terrestres. *L'impact est négatif, majeur, probable, et immédiat.*

Toutefois, la présence d'eau dans le cours d'eau peut être considérée comme un impact positif pour la faune qui pourra s'y abreuver. Cet aspect est positif.

Les crues passant au dessus du déversoir occasionnent une présence de l'eau dans le cours d'eau considérée comme un impact positif pour la faune qui pourra s'y abreuver. Cet aspect est positif. Les crues vont détruire les terriers et les gîtes de certains animaux en aval du barrage. Le problème de points de passage de la faune va se poser le temps que durera la crue. *Il s'agit là d'un impact négatif moyen et temporaire.*

Les gîtes des reptiles et des batraciens peuvent être détruites si la vitesse des flots devient trop importante. Mais généralement l'effet peut être considéré comme bénéfique pour les reptiles et batraciens qui ont besoin d'eau pour améliorer leur métabolisme.

I.8. EFFET SUR LA FAUNE AQUATIQUE :

la présence du barrage modifie le régime du Nakambé en aval du barrage de Ziga ; à cause de l'assèchement précoce des mares temporaires, les poissons, qui n'auront plus le milieu aquatique nécessaire à leur survie périront. Au niveau de Béguédo/Niaogo, cet impact sera moins sensible. En effet, le manque à gagner du point de vue de la ressource en eau est peu élevé. Le déficit prévu à Bagré du fait de la présence du barrage de Ziga, est estimé à 10% environ. Or, nous avons indiqué plus haut que la présence d'eau dans le cours d'eau à cette hauteur est dû au recul du lac de Bagré, lequel subira une réduction en volume de 10% aussi du fait de la présence de Ziga. Cette réduction en volume ne sera pas beaucoup ressentie à Béguédo/Niaogo relativement à son impact sur les poissons.

Avec le changement du régime du Nakambé en aval du barrage de Ziga, les batraciens seront privés du microclimat humide auquel ils sont généralement adaptés. Ils migreront vers des endroits convenables ou à défaut, périront de suite de conditions climatiques peu propices.

Avec l'assèchement prolongé de cours d'eau de nombreux invertébrés (insectes et mollusques) n'auront plus de support propice au besoin de leur cycle biologique. Leur survie en sera fortement compromise. L'effet sera négatif, majeur certain et à long terme.

L'impact lié à la présence du barrage sur la faune aquatique sera alors globalement négatif, d'importance mineure à majeure, de probabilité certaine, de durée permanente et à court terme.

La rupture du barrage a pour conséquence, des écoulements rapidement variés qui dévastent tout sur leur passage. Des poissons peuvent se voir ainsi emportés hors de leurs cites ou simplement écartés du lit du cours d'eau.

L'impact sera dommageable, majeur, certain, temporaire et immédiat.

Nous n'avons pas identifié un impact négatif des **crues** sur les poissons. Cependant, les zones de fraie pourraient être détruites par la force des eaux. Cet impact est *temporaire et moyen*.

En dehors des sujets qui seront emportés par les flots, Nous n'avons pas identifié un impact négatif des lâchés sur la micro-faune aquatique.

II. RISQUES SUR L'HOMME ET SON ENVIRONNEMENT SOCIO-ECONOMIQUE :

II.1. EFFET SUR LES POPULATIONS :

la présence du barragedans la mesure où elle interrompt l'écoulement du cours d'eau crée un assèchement précoce dans le lit du cours d'eau, en aval, du barrage . cet effet négatif pour les populations avals est néanmoins atténué plus loin en aval, par l'apport de certains cours d'eau importants comme le Massili. Ces Habitants (pêcheurs, éleveurs) qui ont nécessairement besoin d'eau devront donc se déplacer temporairement vers les endroits où ils pourront en trouver et notamment en aval immédiat du barrage.

L'effet est dommageable, d'importance moyenne à mineure, temporaire et à court terme.

La rupture du barrage est une catastrophe pour les populations car elle laisse après elle des populations en détresse qui ont généralement tout perdu et qui n'ont rien d'autre à faire que de quitter la zone. De plus, l'avènement de la rupture étant subit, il peut entraîner des pertes en vies humaines.

L'effet est certain, dommageable, majeur et temporaire et immédiat

Les crues trop importantes peuvent également entraîner un déplacement des populations des zones sinistrées, ainsi que des pertes matérielles subséquentes .

L'effet est probable, mineur, temporaire et immédiat

Les lâchés par contre, présentent à tout point de vue, des conséquences bénéfiques pour les populations qui retrouvent avec elle un débit propice aux activités économiques nécessaires à la survie.

L'effet est bénéfique, majeur, probable, temporaire ou permanent selon la qualité du débit (continu ou interrompu)

II.2. EFFET SUR LES RESSOURCES NATURELLES :

Avec la présence du barrage, on observera une diminution sensible des ressources fourragères de suite à l'assèchement précoce et prolongé du lit du cours d'eau. Cet état de fait entraînera une migration du bétail vers des zones plus propices.

Certaines espèces herbacées appelées malheureusement à disparaître sont particulièrement recherchées par l'artisanat :

- *Vertiveria nigritana* et *Sporobollus pyramidalis* spécifiques aux bas-fonds sont utilisés en spatherie,
- *Andropogon gayanus* utilisé pour la confection des toitures,
- *Cymbopogon schoenanthus* pour la fabrication des ruches et aussi pour servir de linceuil

L'effet, peut donc être considéré comme dommageable, moyen, probable, permanent et à long terme

Si la vitesse des crues passant par le déversoir du barrage devient très importante, les populations avals pourraient enregistrer des dommages sur les terres agricoles et même des pertes dans le troupeau.

L'effet est dommageable, mineur, probable, temporaire et immédiat

La rupture du barrage est une véritable catastrophe pour les ressources naturelles : l'onde de crue dévaste sur son passage les terres agricoles, les forêts classées (Nakambé, Wayen) et emporte sur son passage tous les arbres très utiles à l'homme.

Son effet est alors dommageable, certain, majeur, immédiat et à court terme.

II.3. EFFET SUR LES CULTURES :

La diminution du débit causé par la présence du Barrage peut avoir des effets sur les cultures réalisées en aval. Elle sera encore plus importante pour les cultures maraîchères, réalisées en contre saison ou pour les plantations fruitières (manguiers) situées le long du cours d'eau. De plus nous avons vu que le débit déjà réduit serait présent en aval du barrage, que pendant trois mois sur douze, les cultures pluviales auront très peu de chance de boucler leur cycle végétatif.

L'impact dû à la présence du barrage sera alors négatif sur les cultures du fait de la diminution de l'écoulement superficielle propice aux végétaux. Il sera également dommageable du fait de la diminution des récoltes, temporaire et à long terme.

La vitesse de l'eau et son caractère érosif dans le cas d'une rupture de barrage va entraîner un effet négatif pour les cultures, qui sont complètement arrachées et transportées. Des pertes de récoltes dues à l'inondation des silos à grains ne sont pas à exclure.

L'effet est dommageable, majeur, probable, temporaire et immédiat.

Par contre dans le cas des lâchés et des crues, on observe plutôt un effet positif du fait du regain d'eau occasionné par ces phénomènes.

II.4. EFFET SUR L'ELEVAGE :

L'interruption de l'écoulement normal dans le lit du cours d'eau entraînera un assèchement précoce des mares localisées et un déficit en eau pour les animaux. L'abaissement de la nappe pourrait entraîner un assèchement des espèces herbeuses le long du cours d'eau et une diminution des quantités de fourrage.

Globalement, l'effet dû à la présence du barrage est majeur, certain, temporaire et à court terme.

La rupture du barrage peut avoir sur l'élevage des résultats catastrophiques : transport des animaux, noyades etc..

on considérera alors l'effet comme étant probable, majeur, temporaire et immédiat

Des éventuels accidents (transport ou noyade des animaux) pourrait survenir pendant les crues très fortes. *L'effet est négatif, mineur, temporaire et immédiat.*

Par contre, en comblant le déficit d'écoulement, les crues régénèrent la nappe et par suite accentuent les repousses. Dans ce cas, l'effet est plutôt *bénéfique, moyen et temporaire*.

II.5.EFFET SUR LES EQUIPEMENTS SOCIO ECONOMIQUE

la présence du barrage peut avoir un effet négatif sur les forages du fait de l'abaissement de la nappe. Cependant des études appropriées devraient le confirmer.

La rupture du barrage pourrait endommager les écoles, les centres de santé, les puits, les forages, les mosquées et autres équipements sociaux économiques.

L'effet est probable, dommageable, immédiat et temporaire

Quant aux crues et aux lâchés, ils devraient compenser le déficit d'eau et en cela, leur impact est positif

II.6.EFFETS SUR LES VOIES DE COMMUNICATION :

la présence du barrage n'aura aucun effet sur les voies de communication. Par contre elle va entraîner une création de pistes de l'aval vers le barrage (pistes de passage pour les troupeaux qui viendront au barrage s'abreuver, pistes mises en place pour permettre l'approvisionnement en eau pendant la période sèche etc..).

Avec la rupture du barrage, la route nationale N°4 connaîtra de sérieux dommages qui risqueront certainement de mettre en cause son utilité pendant plusieurs jours. Beaucoup d'autres voies seront inutilisables compte tenu de l'immersion temporaire due à l'eau issue du barrage.

L'effet de la rupture du barrage sur les voies de communication sera alors dommageable, majeur certain, immédiat, et temporaire.

Une crue très importante pourrait endommager les voies de communication ou les pistes qui jonchent la zone d'étude. De plus, en temps de crue beaucoup de voies sont noyées et impraticables.

L'effet liés au crues est dommageable, moyenne, probable, temporaire et immédiat

II.7.L'EMPLOI :

La présence du barrage, dans la mesure où elle modifie l'écoulement normal du cours d'eau entraîne un effet négatif sur l'activité de pêche par exemple. D'autres activités comme l'élevage ou l'agriculture connaissent également un ralentissement dû au déficit d'eau.

L'effet est dommageable, majeur, certain permanent et à court terme.

La rupture du barrage peut avoir un effet négatif sur l'emploi. En effet, en cas de la rupture, l'onde de crue issue du barrage raserait tout sur son chemin : les terres agricoles, les ouvrages de pêche ou de cultures, emporte les animaux etc...

L'effet sur l'emploi est alors dommageable, majeur, certain temporaire et immédiat.

II.8. L'ARTISANAT ET LE COMMERCE :

Avec la destruction probable des marchés et des lieux de commerce due à la **rupture du barrage** ; avec l'envahissement probable des routes et des pistes, il sera très difficile de se mouvoir dans la zone de risque lors de la rupture éventuelle du barrage. En plus, il n'est pas impossible que des produits de vente tels que les produits d'élevage et les stocks de marchandises soient détruits par les flots. Plusieurs marchés peuvent également être noyés et endommagés par les eaux de crue. En effet la rupture du barrage laisse rarement aux habitants le temps de mettre tous leurs biens en lieu sûr. Car ils ne pensent plus qu'à une seule chose : sauver leur vie.

L'effet est dommageable, certain, majeure, temporaire et immédiat.

II.9. LES REVENUS :

la présence du barrage dans la mesure où elle influence des activités économiques (agriculture, élevage, pêche, maraîchage) influe également les revenus des populations de la zone d'étude.

Son effet est alors négatif, majeur, certain et à court terme.

Dans le cas d'une rupture du barrage, les récoltes peuvent être nulles car complètement emportées par les flots. Les biens d'élevages tels que le petit bétail et même le gros bétail peuvent être emportés ou tués par l'onde de crue. Des biens personnels tels que les maisons, les équipements agricoles et autres peuvent aussi être emportés ou sérieusement endommagés par les eaux déferlant du barrage. Le village qui sera le plus touché est le village de Kougri situé à quelques kilomètres seulement du barrage. Les autres villages, situés plus en aval, auront probablement le temps de se prémunir contre les eaux si des dispositions sont prises à temps pour les avertir.

La conséquence d'une rupture du barrage de Ziga sur les revenus est dommageable, majeur, certain, temporaire et immédiat.

II.10. LA SANTÉ PUBLIQUE :

En diminuant la quantité d'eau disponible pour les besoins des populations, la présence du barrage va entraîner l'utilisation d'une eau de moins bonne qualité, et par suite, une dégradation de la santé publique par la prolifération des maladies hydriques.

L'effet est dommageable, majeur et durable.

Des cas de traumatisme peuvent être observés pendant la rupture du barrage. La possibilité d'enregistrer des blessés graves et même des morts n'est pas à exclure car la violence de l'onde de crues est très dévastatrice.

On pourrait également assister à des cas de destruction totale ou partielle de centre de soin de santé publique.

Le sinistre causé par la déportation des populations peut être à l'origine de nouvelles maladies. De plus les eaux des puits et forages vont être polluées par les crues et entraîneront probablement des nouvelles maladies hydriques.

L'effet est majeur, certain, immédiat et temporaire

L'inondation occasionnée par les crues peut être génératrice de nouvelles maladies hydriques dans la zone d'étude.

L'effet est probable, mineur, temporaire et immédiat

II.11. INFLUENCE DU BARRAGE DE ZIGA SUR CELUI DE BAGRE

Le site du barrage Ziga se trouve sur le cours supérieur du Nakambé à environ 200 km en amont du barrage de Bagré. Sur un total de 33120 km² à Bagré, le bassin versant du Nakambé à Ziga couvre une superficie de 19000km².

La retenue de Ziga, dont la capacité est estimée 209 millions de m³, sera destinée essentiellement à l'alimentation en eau de la ville de Ouagadougou.

Quant à Bagré, sa capacité est de 1700 millions de m³ pour des apports annuels moyens de 1290 millions de m³ (sans Ziga), sa vocation est surtout hydroélectrique et agricole.

Lorsque Ziga sera réalisé, il y aura deux ouvrages de taille importante sur le même cours d'eau (le Nakambé) au Burkina.

Il y a lieu de chercher à appréhender l'impact qu'aura le barrage de Ziga sur le Barrage de Bagré. Pour ce faire, son influence sur les apports et sur la production d'énergie Bagré a été examinée dans un premier temps. Dans une seconde analyse, une évaluation de la réduction des volumes d'eau en aval de Bagré été faite.

II.11.1- Influence de ziga sur les apports à bagré

Le document de base ayant servi à l'analyse, est la note technique complémentaire de l'impact du barrage de Ziga sur l'environnement de Bagré, remise par l'ONEA.

a). Année sèche

Il n'y a pas de restitution à Ziga. Les apports à Bagré proviennent uniquement du bassin intermédiaire entre Ziga et Bagré. Les volumes d'eau parvenant à la retenue de Bagré sont réduits de 12%.

b). Année normale

Ziga restitue 96,59% Mm³. Les apports à Bagré proviennent du bassin intermédiaire entre Ziga et Bagré et des déversements à Ziga. Les volumes d'eau parvenant à Bagré sont réduits de 11%.

c). Année humide

Ziga restitue 309,53 Mm³. Les apports à Bagré proviennent de la même source qu'en saison normale. Les volumes d'eau parvenant à Bagré sont réduits de 6%.

II.11.2- Influence de Ziga sur la production d'énergie à bagré.

L'influence de Ziga sur la production de l'énergie à bagré à été déterminée à partir des simulations de fonctionnement de la retenue de Bagré. Ces simulations ont été faites à l'aide du logiciel OUAGA2.EXE, conçu par SOGREA. Il s'agit d'un outil que le dispatching de Ouagadougou utilise pour rechercher la stratégie optimale d'exploitation des usines hydroélectriques et thermiques du parc de production du centre régional de Ouagadougou.

a). **Les données essentielles**

- La géométrie du réservoir
- La courbe hauteur/volume/surface contenue dans l'APD de Bagré a été utilisée.
- Les débits entrants
- La distinction des cas Bagré sans Ziga et cela, suivant les années hydrologiques sèches, normales et humides.
- l'évaporation nette
- les données contenues dans l'APD de Bagré qui sont une moyenne de 99 années d'observation ont été utilisées.

b). **Niveaux caractéristiques et règles de gestion à Bagré :**

- cote maximale = 234,5 m (niveau de remplissage autorisé actuellement).
- Nombre d'heures critiques = 7
- Pi = puissance totale garantie variant suivant l'année hydrologique.
- Les débits déversés

Il a été considéré les cas où Bagré devrait alimenter en eau un périmètre de 1000 ha (horizon 1998) et un périmètre de 2100 ha (horizon 2003)

c). **Résultats des simulations**

Tableau 11 : Influence de Ziga sur la productivité d'énergie à Bagré.

Cas de simulation		Energie produite MWh/an	Perte du Productible	
			MWh	%
Année Sèche	Bagré sans Ziga et sans irrigation	17835.5		
	Bagré avec Ziga et sans irrigation	15095.2	2740.3	15
	Bagré sans Ziga + 1000 ha d'irrig.	16726.6		
	Bagré avec Ziga + 1000 ha d'irrig.	13836.0	2890.6	17
	Bagré sans Ziga + 2100 ha d'irrig.	15383.4		
	Bagré avec Ziga + 2100 ha d'irrig.	12455.2	2928.2	19
Année Moyenne	Bagré sans Ziga et sans irrigation	51267.9		
	Bagré avec Ziga et sans irrigation	43663.4	7604.5	15
	Bagré sans Ziga + 1000 ha d'irrig.	49863.4		
	Bagré avec Ziga + 1000 ha d'irrig.	42389.4	7474.0	15
	Bagré sans Ziga + 2100 ha d'irrig.	48074.3		
	Bagré avec Ziga + 2100 ha d'irrig.	39988.4	8085.9	17
Année Humide	Bagré sans Ziga et sans irrigation	80428.1		
	Bagré avec Ziga et sans irrigation	80636.6	208.5	0.3
	Bagré sans Ziga + 1000 ha d'irrig.	82099.2		
	Bagré avec Ziga + 1000 ha d'irrig.	80742.6	1356.6	1.6
	Bagré sans Ziga + 2100 ha d'irrig.	81591.5		
	Bagré avec Ziga + 2100 ha d'irrig.	79530.2	2061.3	2.5

Le tableau ci-dessus donne la perte ou le gain de productivité à Bagré, dû au barrage de Ziga. On remarque que:

- En **année sèche**, la réduction d'énergie produite à Bagré due au Barrage de Ziga est de l'ordre de:
 - 15% pour le cas sans irrigation,

- 17% pour le cas avec irrigation de 1000 ha
- 19% pour le cas avec irrigation de 2100 ha.
- En **année moyenne**, les réductions sont de l'ordre de :
 - 15% pour les cas sans irrigation et avec irrigation de 1000 ha
 - 17% pour le cas avec irrigation de 2100 ha.
- En **année humide**, l'influence de Ziga sur la production d'énergie à Bagré est peu perceptible. Elle se traduit par une très légère augmentation (0,3%) de la production dans le cas sans irrigation.
- Pour les cas avec irrigation, Ziga induit une légère réduction de la production d'énergie à Bagré, de l'ordre de 1,6% (irrigation 1000 ha) et de 2,5 % (2100 ha).

II.11.3- Réduction de volumes d'eau à l'aval de Bagré.

Les volumes restitués par Bagré se composent comme suit:

- le volume turbiné;
- le volume déversé en cas de crue.

a). Estimation des volumes turbinés

D'après les réalisations à Bagré, de Mars à Décembre 1995 (34 mois), la production d'énergie de 1 kWh correspond à un volume d'eau turbiné de 18,71 m³ en moyenne.

Sur cette base, les volumes d'eau turbinés pour chaque cas de simulation ont été estimés comme suit : Volume turbiné = volume nécessaire pour 1kwh * nbre de kwh produits. On obtient alors le tableau ci-après :

Tableau 12 : Estimation des volumes d'eau turbiné à Bagré

Cas de simulation		Volume et débits turbinés		Réduction volume et débit		
		(Mm ³)	m ³ /s	Mm ³	m ³ /s	%
Année Sèche	Bagré sans Ziga et sans irrigation	333.7	10.58			
	Bagré avec Ziga et sans irrigation	282.4	8.95	51.3	1.63	15
	Bagré sans Ziga + 1000 ha d'irrig.	313.0	9.93			
	Bagré avec Ziga + 1000 ha d'irrig.	258.9	8.21	54.1	1.71	17
	Bagré sans Ziga + 2100 ha d'irrig.	287.8	9.13			
	Bagré avec Ziga + 2100 ha d'irrig.	233.0	7.39	54.8	1.74	19
Année Moyenne	Bagré sans Ziga et sans irrigation	959.2	30.42			
	Bagré avec Ziga et sans irrigation	816.9	25.9	142.3	4.51	15
	Bagré sans Ziga + 1000 ha d'irrig.	932.9	29.58			
	Bagré avec Ziga + 1000 ha d'irrig.	793.1	25.15	139.8	4.43	15
	Bagré sans Ziga + 2100 ha d'irrig.	899.5	28.52			
	Bagré avec Ziga + 2100 ha d'irrig.	748.2	23.73	151.3	4.8	17
Année Humide	Bagré sans Ziga et sans irrigation	1504.8	47.72			
	Bagré avec Ziga et sans irrigation	1508.7	47.84	-3.9	-0.12	-0.3
	Bagré sans Ziga + 1000 ha d'irrig.	1536.1	48.71			
	Bagré avec Ziga + 1000 ha d'irrig.	1510.7	47.9	25.4	0.81	1.6
	Bagré sans Ziga + 2100 ha d'irrig.	1526.6	48.41			
	Bagré avec Ziga + 2100 ha d'irrig.	1488.0	47.18	38.6	1.22	2.5

II.11.4- Conclusion partielle

Les réductions de volumes d'eau en aval de Bagré sont dans les mêmes proportions que celles du productible énergétique. Elles sont de l'ordre de :

- 15 à 19 % en année sèches
- 15 à 17 % en année moyennes
- 0,3 à 2,5 % en année humides.

Si en valeur relative, ces réductions sont importantes, en valeur absolue, l'influence de Ziga en aval de Bagré sur les ouvrages du Ghana peut être considérée comme marginale. Elle varie de - 0,12 (année humide sans irrigation) à 4,8 m³/s (année moyenne avec irrigation de 2100 ha)

Globalement on pourrait considérer l'influence du barrage de ziga sur celui de bagré comme étant dommageable, majeure pour les populations du Burkina, mais mineure pour celles du Ghana, certaine, permanente et à long terme.

Les lâchés devraient permettre de compenser légèrement les pertes de productivité à Bagré. Mais le débit prévu au niveau du barrage étant de 46 m³/s au plus, leur incidence sur la réduction des apports ne peut se faire qu'à débit continu pour être significative. De plus, ce problème n'est pas encore tranché par la MOZ et l'ingénieur conseil car les priorités de la mise en place du barrage de Ziga sont l'alimentation en eau de la ville de Ouagadougou.

On peut alors considérer l'incidence des lâchés sur le barrage de Bagré comme étant bénéfique mais mineure, probable et à long terme.

III. ESTIMATION QUANTITATIVE DES RISQUES : CAS DU VILLAGE DE KOGRI

Le village de Kougri est le village qui, de tout point de vue, sera le plus sévèrement touché par les effets négatifs de la mise en place du barrage d'où la nécessité de quantifier les pertes qu'induirait la mise en place du barrage ainsi qu'une éventuelle rupture de ce dernier. Notre analyse quantitative se base sur les résultats bruts de l'enquête menée par le bureau CIMEX complétés par nos propres investigations de terrain. Le but de ce paragraphe étant de présenter de façon chiffrée les conséquences réelles des risques ci-dessus analysés, appliqués au cas de Kougri. Il est important de noter que, d'après la méthode utilisée pour définir la zone à risque, tout le village est considéré comme faisant partie de cette zone:

Les Risques de pertes en vie humaine: le village de Kougri compte 1426 habitants (dont 753 enfants, 342 femmes et 331 hommes) repartis dans 173 ménages et vivant en permanence à moins de 500 m du lit mineur du cours d'eau. En cas de rupture du barrage de Ziga, les pertes en vie humaine dans ce village peuvent être très importantes compte tenu de la configuration du relief et de l'effet de rétention des flots qu'induirait le pont sur l'onde de crue.

Les Dommages de biens matériels: Le village de Kougri est un des villages les plus importants situé en aval du barrage. Le patrimoine bâti comprend 3 maisons en dur parmi les 6 que compte la zone de risque (50%), 54 maisons en banco parmi les 104 de la zone de risque (54,8%), 726 Cases rondes parmi les 2049 que compte la zone d'étude (35,44%), 10 greniers en banco sur les 11 comprises dans la zone de risque (90,9%), 47 greniers en paille sur les 883 compris dans la zone d'étude (5,32%) et 474,25 ha de superficie cultivée alors que la zone de risque en compte 1776,2 (26,70%). Par ailleurs, le pont sur la route nationale N°4 passe par le village de Kougri et constitue une infrastructure très importante pour le pays tout entier. Des dommages graves

surviendront certainement sur le pont et peut-être même sa rupture. Même si ce pont ne se rompt pas le dommage sera de taille et le fait d'interrompre même périodiquement la circulation entraîne déjà un manque à gagner non négligeable. Le village de Kougri compte 5 forages sur les 31 que compte la zone à risque, 2 écoles sur les 17, 5 moulins sur 45, 1 CSPS sur 19.

Pertes en ressources Agro-pastorales: L'exploitation des résultats bruts d'enquêtes de l'APS nous donne pour le village de Kougri, 28 Azins sur les 72 recensés dans la zone de risque (38.88%), 75 bovins sur les 178 recensés (42.13%), 326 ovins sur les 522 recensés (62.45%), 40 porcins et 1152 volailles. Le village compte 475.25 ha cultivé (soit 20.70 % de la zone de risque) parmi lesquels plus de 30ha en plantations de manguiers situées aux abords du cours d'eau. Les pertes agricoles et pastorales pourraient être économiquement lourdes de conséquences.

Les dommages à l'environnement: une rupture éventuelle du barrage pourrait entraîner une dégradation très sévère des terres de la vallée qui sont les plus fertiles de la région du plateau central. En effet, les photos présentées dans les pages suivantes montrent un état de dégradation très avancé des berges et des versants du cours d'eau. Un assèchement du lit dû à la présence du barrage augmentera la pression déjà très grande autour du fleuve et contribuera à éroder davantage le sol fragilisé. La rupture du barrage ou les crues trop fortes contribuera non seulement à détruire le couvert végétal déjà très appauvri par l'homme, mais aussi à arracher les arbres, à polluer la nappe, etc... En ce qui concerne le couvert végétal, il est ici dominé à 70% environ par des complexes champs-jachères dans lesquelles les champs sont majoritaires; la strate arborée y est essentiellement composée d'espèces ligneuses comme *Tamarindus indica*, *Bombax costatum*, *Butyrospermum paradoxum* dont l'intérêt socio-économique est prouvé. Cette formation végétale se rencontre généralement sur les versants du fleuve. Aux abords immédiats du cours d'eau (berges), on rencontre essentiellement une formation ripicole arborée (occupant approximativement 20% de la superficie totale), de composition monospécifique, formée de *Mitragyna inermis*. Cet ensemble est complété par une formation de savane arbustive dense constituée par la forêt classée de Wayen dans lequel on trouve des essences comme *Eulyptus camaldulensis* (82%), *Gmelia arborea* et *Azadirachta indica* (18%). Le développement du tapis herbacé aux abords immédiats du fleuve fournit du fourrage aux animaux qui viennent s'abreuver. des risques de destruction de la faune et de la flore en cas de rupture du barrage peuvent donc être importantes.

Dommages sur les activités économiques: certaines activités comme la pêche même si elle est pratiquée par une minorité de population a une place importante dans la société. Ces activités seront appelées à disparaître avec les problèmes d'eau qui se poseront inévitablement après la mise en place du barrage. La vannerie pratiquée activement dans le village par beaucoup d'hommes risque également de connaître un ralentissement à cause de la rareté de la matière première.

Au vu de tout ce qui précède il nous apparaît urgent que des mesures spéciales soient prises pour amenuiser les effets négatifs dans le village de Ziga.

**Photographies de
'Auteur au Village de
Kougri**

Photo n°7

Progressivement les terres du versants sont érodées et transportées dans le cours d'eau d'où le comblement partiel de ce dernier; les berges du cours d'eau sont également attaquées



Photo n°8

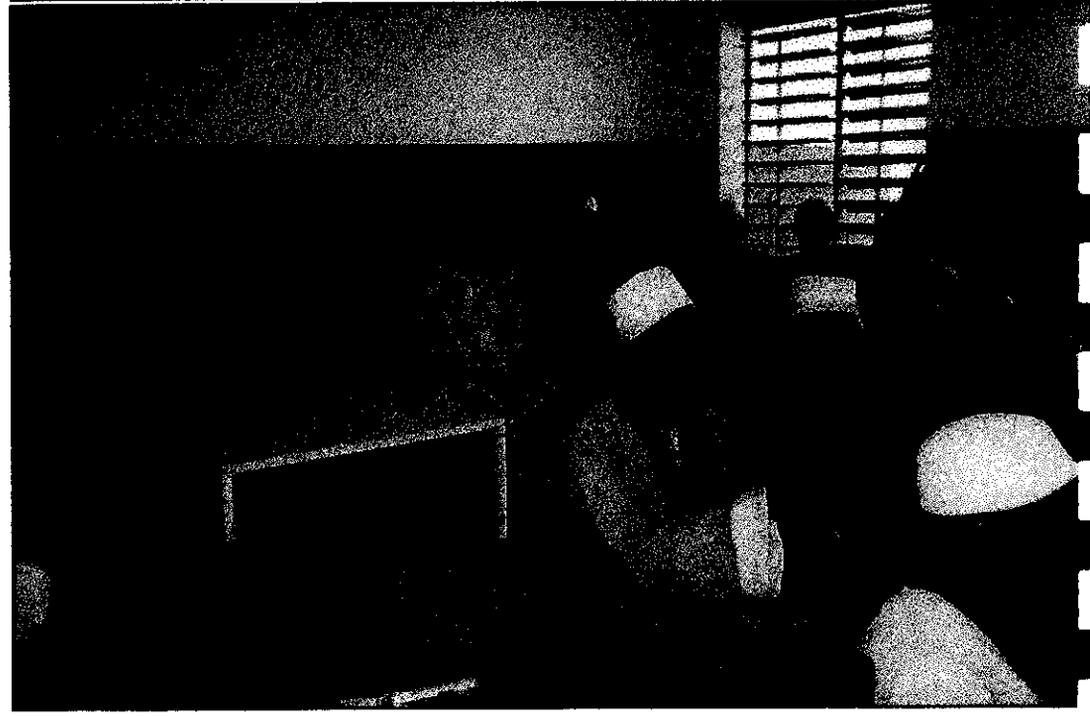
Dégradation des sols est un gros problèmes relevés sur les rives du Nakambé et qui nécessite des mesures d'urgence de protection afin de préserver la fertilité des sols.



Photo n°9

Enquête collective au village de Kougri:

Les habitants sont très attentifs et très coopératifs: Il sera alors assez facile de mettre en place des mesures de préservation de l'environnement



CHAPITRE 10 : PROPOSITION DE MESURES D'ATTÉNUATION OU DE COMPENSATION DES IMPACTS RECENSES

Afin de limiter les effets des impacts et améliorer les atteintes à court, moyen et long terme sur l'environnement, nous examinerons dans le présent chapitre des propositions de mesures d'atténuation. Selon une approche classique, nous distinguons dans l'ordre 3 types de mesures :

I. LES MESURES REDUCTRICES :

Les mesures réductrices ou préventives sont destinées à limiter, réduire ou éliminer les impacts négatifs sur l'environnement. Elles sont prises durant ou avant la réalisation du projet. Dans le cas restreint de notre étude, elles devront permettre de supprimer les effets des différents facteurs d'impacts (rupture du barrage, l'inondation des crues, et l'effet de sécheresse causé par la présence du barrage) sur les populations et/ou l'environnement en aval du barrage.

I.1. MESURES PREVENTIVES :

Les techniques préventives portent sur la gestion et le contrôle des ressources en eau en vue d'assurer sa meilleure valorisation et la protection des conditions de son renouvellement. Elles permettent également de prévenir un éventuel sinistre par des actions concrètes permettant de le prévoir ou d'amoindrir ses effets. Comme mesures préventives éventuelles pouvant être prises en compte en aval du barrage de Ziga nous pouvons citer :

- la mise sur le site du barrage d'un système de prévision et d'alerte rapide ;
- l'information des populations sur les comportements appropriés aux risques éventuels ;
- la mise à disposition d'un réseau d'organisation de secours et médical d'urgence ;
- la limitation de la densité d'habitat dans les zones exposées (aval immédiat du barrage, bordure du lit du fleuve etc.)
- la mise en place d'un centre de prévision et d'annonce des crues ;
- l'étude et le test d'un plan d'assistance et de sécurité civile ;
- la mise sur pied de mesures de protection en vue d'éviter la déforestation et l'accélération de l'érosion sur les terres des bassins versant qui sont des facteurs de diminution des temps de concentration des écoulements, du coefficient de ruissellement et qui en conséquence, aggravent les inondations ;
- la création des réserves alimentaires contrôlées et d'eau potable régulièrement renouvelées pendant les périodes à risques (grandes sécheresses, grandes crues) ; de même, la création des réserves de médicaments de première urgence (antidiarrhéiques par exemple) ;
- L'information et la formation des autorités de tous les niveaux sur les zones à risques ;
- L'information des populations sur les plans d'évacuation et de secours mis en place.

I.2. ETUDES COMPLEMENTAIRES :

Au stade actuel de l'avancement des travaux, les études complémentaires devraient permettre de compléter le déficit de connaissance nécessaire à un bon contrôle de l'environnement et à une meilleure estimation des risques. Il s'agit entre autres :

- Des études permettant de diminuer les apports solides dans la retenue (système agraire sur le bassin versant, reforestation et mise en défense et restauration des sols dans les zones les plus érodibles et menacées, introduction de nouvelles techniques agricoles favorisant la conservation des sols.
- Des études d'implantation de petits ouvrages de retenue de faible hauteur pour piéger les alluvions à l'amont de la retenue.
- De l'étude du dispositif de dévasement de la retenue, prolongeant la durée de vie du barrage et assurant un alluvionnement en aval
- De l'étude complémentaire sur la simulation de divers scénarios de débit réservé et modulable en aval du barrage, compatibles avec les besoins prioritaires d'alimentation en eau de Ouagadougou et garantissant la prise en compte de tous les besoins .y compris ceux des zones localisées loin en aval sur le cours des rivières en dehors de la zone d'action directe du barrage.

II. LES MESURES COMPENSATOIRES :

les mesures compensatoires liées à l'aménagement sont utiles pour garantir la protection du milieu naturel, un suivi des écosystèmes sensibles. la sécurité après les travaux et un cadre de vie adéquat . en effet, lorsqu'il s'avère difficile de réduire ou d'éliminer les impacts du projet, des mesures sont prévues pour compenser les impacts négatifs sur l'environnement, une fois les travaux d'aménagement terminés. Compte tenu du contexte naturel local et des enjeux liés à l'eau et à la désertification, elles sont surtout axées autour de la préservation de l'environnement naturel et d'actions diverses, toutes pour contribuer au meilleur aménagement des terres dans la zone d'étude.

II.1. LES MESURES DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT :

Sur le plan des effets biophysiques, différentes mesures permettent de compenser les impacts liés à l'aménagement. Il s'agit des aménagements généraux, de la protection contre l'érosion, de la végétalisation, de la protection de la faune et des dispositifs de sécurité.

Ces mesures comprennent l'ensemble des actions préconisées en vue d'une part, de réduire les effets négatifs engendrés par les travaux d'aménagement du barrage et d'autre part de compenser leurs impacts par des actions de protection et de restauration. Ces mesures sont développées sous forme de fiches d'actions dont un récapitulatif est donné au tableau 11. Nous explicitons ci-après quelques éléments de ces actions.

II.1.1- Site d'emprunt argileux :

Mesures conservatoire : déboisement dans le strict minimum

Mesures compensatoires : restauration du site d'argile par végétalisation comme suit

- Rebouchage du site avec la terre végétale antérieurement dégagé
- Plantation du site avec *Mitragina inermis*, *Acacia pennata*, *Acacia nilotica*, *Anogeissus leiocarpus*
- enherbement avec des herbacées comme *Vetiveria nigriflora* ou *Semi-liugneuse* comme *Mimosa pigra*
- Mise en place de canaux de dérivation des eaux si la pente vers le site est supérieure à 2%

II.12- Les zones nues ou « zipellé » :

Les rives du cours d'eau Nakambé sont parcourues par d'importantes plages nues discontinues. Ces plages sont le centre de plusieurs types d'érosion éolienne et/ou hydrique et contribuent au comblement du cours d'eau en favorisant le transport des matériaux divers vers le bas-fond.

Mesures conservatoires : restauration des zones nues: Deux types d'actions sont à mener :

a). Les Actions mécaniques :

Elles consistent à casser la croûte du sol afin de réduire la vitesse d'écoulement de l'eau pour favoriser son infiltration par un sous-solage croisé suivant les courbes de niveau.

b). Les Actions biologiques :

Elles ont pour but de coloniser le sol préalablement préparé par des herbacées et des ligneux.

Les herbacées recommandées sont les graminées à grand pouvoir de colonisation comme *Andropogon gayanus* et *Pennisetum pedicelatum* pour les zones non inondables et *Vetiveria nigritana*, pour les zones ripicoles.

Quant aux ligneux, les espèces colonisatrices adéquates sont *Acacia seyal*, *Acacia nilotica*, *Cassia sieberiana*, *Ziziphus mauritiana*, *Anogeissus leiocarpus* pour les zones non inondables.

Pour les zones ripicoles, donc inondables, les espèces suivantes sont fortement recommandées : *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia nilotica* et *Mitragina inermis*.

Pour plus d'efficacité, les plantations seront réalisées dans des trous de dimension classique 60 x 60 cm préalablement préparés avec des demi-lunes implantés en fonction des courbes de niveau pour davantage favoriser l'infiltration de l'eau au profit des plants.

II.13- Les berges dégradées :

Si les zones nues constituent le cas extrême des dégradations des berges, une zone intermédiaire existe et doit faire l'objet d'une attention particulière : il s'agit des savanes arbustives claires à cheval entre les zones nues et les savanes arbustives plus ou moins denses.

Elles sont généralement dominées par une espèce principale *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca* ou *Anogeissus Leiocarpus* avec une couverture herbacée nulle ou très faible : dans ce cas, on ne rencontre que des tâches discontinues de *Loudetia togoensis* ou *Andropogon pseudapricus*.

Mesures compensatoires : restauration des sites: La restauration des sites nécessite :

- un ralentissement de la vitesse d'écoulement des eaux par la mise en œuvre des ouvrages DRS-CES
- une protection contre le pâturage et les feux de brousses : en somme une mise en défens dont la gestion doit se faire de concert avec les populations des zones concernées.
- Un reboisement complémentaire avec les espèces locales qui les constituent notamment : *Anogeissus leiocarpus*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*.

Mais il est important de souligner que les actions à mener doivent tenir compte de la nouvelle position que va occuper les différents sites ci-dessus décrits : Si les sites sont situés dans les abords immédiats du cours d'eau, ils doivent être traités comme une zone inondable : dans le cas contraire, il y a lieu de les traiter comme les savanes.

II.14- Les mises en défens :

certaines zones spécifiques doivent être mises en défens afin de protéger d'une part le réseau hydrographique du cours d'eau et de favoriser d'autre part le développement de la faune de la biodiversité de l'écosystème ainsi créé.

Ces mises en défens doivent concerner en priorité l'aval immédiat du barrage de Ziga et les abords du cours d'eau sur une largeur de 100m de part et d'autre du lit mineur. Les mises en défens doivent comporter les actions suivantes :

- Délimitation des sites ;
- création de réseau de pare feu ;
- lutte contre les feux de brousse et le pâturage.
- protection plus grande des forêts classées.

II.2. MESURES DE PROTECTION DES HOMMES ET DES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES:

1. Amélioration des conditions d'exploitation des points d'eau existants soit en augmentant le débit disponible (à l'aide des lâchés), soit en le rendant pérenne et non altéré par les périodes climatiques sèches (puits plus profonds et plus nombreux, forages en panne réhabilités etc.);
2. Multiplication des points d'eau afin par exemple de rapprocher la ressource de l'utilisateur .
3. Création de nouveaux points d'eau soit par aménagement de retenues colinéaires et surcreusement des mares existantes, soit par creusement et aménagement de puits ou de forages .
4. élaboration d'un schéma de gestion de ces points d'eau :
5. élaboration d'un schéma de gestion pastorale complet qui prenne en compte à la fois l'alimentation et l'abreuvement du bétail, ce qui n'a pas toujours été fait par le passé.
6. promotion des engrais organiques afin d'éviter la pollution de la nappe et des eaux de surface :
7. choix des types et sites d'aménagement s'il y a lieu, c'est à dire en l'occurrence dans le cas de forage . choix des matériels d'exhaure en fonction des conditions probables d'utilisation et des possibilités de maintenance.
8. Mise en place de retenues colinéaires à double fin (abreuvement et pâturage de décrue) constituant des aménagements susceptibles de répondre à cet objectif. Leur mise en place nécessite toutefois des configurations particulières des sites :
 - pente très faibles permettant une large zone de marnage et de pâturage de décrue ;
 - sols peu perméables conservant l'eau en surface ;
 - pluviométrie ou ruissellement suffisant à l'approvisionnement de la retenue :
9. Il nous paraît important que des infrastructures de franchissement soit érigées sur le cours d'eau dans certains villages importants (Bomboré, Mankarga...), pour favoriser les échanges économiques entre les deux rives; ainsi que la réhabilitation des pistes existantes ou la construction de nouvelles pistes susceptibles de permettre une meilleure évacuation de la zone en cas de sinistre.
10. Travaux de réhabilitation :
 - reboisements soit en massifs soit en bosquets dans les zones les plus dégradées;

- implantation des haies vives en enclos autour de l'habitat ainsi qu'une protection des champs les plus proches (enbocagement);
- L'alternance végétation ligneuse-culture selon les techniques de l'agroforesterie.

11. Réhabilitation des écosystèmes par des actions engagées après les périodes de sécheresse épisodique :

12. Mesures de Réhabilitation de l'environnement par un programme de reboisement, de gestion améliorée des pâturages et des ressources ligneuses rescapées.

III. LES MESURES D'ACCOMPAGNEMENT :

Nous détaillons maintenant les mesures d'accompagnement que nous proposons pour permettre un suivi efficace et réaliste des effets du projet sur l'environnement, une fois tous les travaux terminés. Elles permettent de réduire ou de compenser, voire d'éliminer à terme, les impacts du projet.

III.1. LE PROGRAMME DE GESTION INTEGREE DE L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT DU NAKAMBE:

Compte tenu du fait que dans le bassin versant du Nakambé on note plus de 60 barrages et retenus d'eau; compte tenu du fait que les actions locales ne peuvent être durablement bénéfiques que si l'on les intègre dans un processus global prenant en compte les interdépendances des différents point d'eau existants dans le bassin, alors il apparaît urgent de mettre sur pied un système de gestion intégré de l'ensemble du bassin versant du Nakambé mais également un programme de suivi-environnementale. En effet, pour suivre les principaux effets du projet sur le milieu naturel, il est indispensable de mettre en place un programme de surveillance environnementale, lequel devra être implanté par le BPZ/ONEA avec l'appui d'organismes spécialisés. Ce programme de suivi permettra d'évaluer dans le temps et dans l'espace les performances des installations mises en place ainsi que leur impact sur le milieu environnant. Ce programme s'attachera à mesurer régulièrement des paramètres physico-chimiques et/ou des indicateurs biologiques classiques sur le plan météorologique, de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, hydrogéologiques pour le Nakambé ainsi que pour la végétation, la faune et les écosystèmes sensibles. Un protocole de suivi complet et exhaustif permettra l'intervention de structures gouvernementales et d'opérateurs privés, avec auparavant, l'élaboration puis l'application d'un plan de formation des divers intervenants.

III.2. LES ACTIONS SPECIFIQUES DIVERSES :

Parmi les mesures d'accompagnement à instaurer, certaines doivent se traduire par des actions spécifiques. Sans être exhaustif, nous pouvons citer :

pendant la mise en eau du barrage: d'après les études techniques conceptuelles du barrage de Ziga, le remplissage de la retenue artificielle ainsi créée pourrait durer deux ou trois années dans le cas de crues moyennes et beaucoup plus, si la pluviométrie n'est pas bonne. Pendant toute cette période, l'écoulement normal du Nakambé en aval du barrage sera interrompu. L'environnement aval sera alors dans un état de sécheresse extrême qui peut remettre sérieusement en cause la survie de la faune et de la flore. Les populations immédiatement en aval (celles de Kougri notamment) seront les plus touchées et devront certainement quitter la zone, si rien n'est fait pour eux. Il est donc impératif de tenir compte de l'environnement aval pendant la mise en eau du barrage en mettant sur pied un plan de mise en eau tenant compte des besoins environnementaux en aval du barrage de ZIGA.

Après la mise en eau du barrage: Il est important de définir un plan de gestion de l'eau de la retenue qui prend en compte les besoins des aménagements aval tel que le barrage de Bagré mais aussi les populations situés en aval du barrage le site du village se justifie par la présence du cours d'eau. Sans être exhaustif nous proposons:

- la création , pour les habitants du village de Kougri (ce seront les plus défavorisés) des mesures compensatrices devant permettre aux populations de faire face à la précarité de leur milieu : (création des retenues d'eau dans le lit du cours d'eau afin de stocker les eaux du bassin versant et les crues passant par le déversoir aux fins agricoles et nutritionnelles, sensibilisation des populations sur les attitudes à avoir face à un éventuel accident du barrage, sensibilisation et formation des populations à la lutte anti-érosive, vulgarisation des techniques culturales prenant en compte l'aridité du milieu et les soucis de conservation des eaux et des sols);
- mesures permettant l'atténuation des dommages liés à une éventuelle rupture du barrage de Ziga :
 - mise en place d'un système de gestion du barrage devant s'occuper des contrôles stricts au niveau du barrage de ziga afin de prévenir tout problème.
 - définition d'une côte d'alerte à partir de laquelle on peut considérer que la rupture du barrage est possible .
 - cartographie de la zone inondable en aval du barrage de ziga et définition de la durée d'invasion des flots pour les zones concernées.
 - mise en place d'un dispositif d'alerte afin d'informer les populations en aval du barrage de ziga en cas de rupture du barrage.
 - création des pistes d'accès à la zone d'étude afin de faciliter l'évacuation des populations riveraines
 - Sensibilisation des villageois sur les dangers qu'ils encourent et sur les moyens de luttés mis ou à mettre à leur disposition
 - Mise sur pied d'un dispositif d'ouverture des vannes au barrage de Bagré afin d'éviter une rupture de ce barrage de suite de celle du barrage de Ziga.

Tableau 14: Mesures et aménagements à mettre en œuvre suivant les sols et les formations géomorphologiques en présence

Type de formation géomorphologique en présence	Morphologie et aptitude culturales	Mesures de protection et aménagement à réaliser
Ripicoles arborées (lit majeur Nakambé)	<ul style="list-style-type: none"> Sols hydromorphes à engorgement plus ou moins permanent selon les toposéquences Inaptes à la culture 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : protection des berges Aménagements : néant ; - mise en défends ; - régénération de la végétation spontanée
Ripicoles herbeuses (lit majeur Nakambé)	<ul style="list-style-type: none"> Aires d'épandages des crues (submersion temporaire/marnage) Sols de bonne fertilité (dépôts colluviaux) 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : protection des berges ; cultures de décrue dans les zones plates (bas-fonds) à proximité des villages (ancien ou nouveaux) ; pâturages/abreuvement en zones de marnage ; protection anti-érosive dans les secteurs à pente supérieure à deux pour cent Aménagements : mise en place des digues déversantes dans les bas-fond pour cultures de décrue ; enherbement des aires de marnages , aménagement des pistes de bétail ; diguettes anti-érosives dans secteurs à pentes supérieure à deux pour cent
Nuis arborées (Talus, versants)	<ul style="list-style-type: none"> Ruissellement plus ou moins intense se traduisant par un décapage des sols Ravinement marqué par endroit Quelques arbustes Mauvaise aptitude culturale 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : mise en défend ; lutte anti-érosive Aménagements : reboisement, traitement des ravines
Nuis décapés (Talus, versants)	<ul style="list-style-type: none"> Ravinement intense Sols nus et très fragiles Inaptes à la culture 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : mise en défend ; lutte anti-érosive Aménagements : reboisement, traitement des ravines
Savane arborée (Versant vallées Nakambé)	<ul style="list-style-type: none"> Ruissellement intense et ravinement 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : mise en défens ; protection anti-érosive Aménagements : reboisement, traitement des ravines
Savane arbustive dense (Versant vallées Nakambé)	<ul style="list-style-type: none"> Ruissellement et ravinement Inapte à la culture 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : mise en défens ; protection anti-érosive Aménagements : reboisement, traitement des ravines
Savane arbustive claire (Versant vallées Nakambé)	<ul style="list-style-type: none"> Glacis d'érosion au pied de buttes Nombreuses plages de sols dénudés Non cultivés 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : mise en défend ; protection anti-érosive Aménagements : : reboisement, traitement des ravines ; diguettes anti-érosives sur les plages dénudées
Cultures (Versant vallées Nakambé)	<ul style="list-style-type: none"> Cuirasses à faible profondeur Sols sablo-limoneux à gravillonnaires Ravinement Très cultivés 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : protection anti-érosive Aménagements : diguettes anti-érosives ; agro-foresterie ; traitement des ravines
Cultures boisées (Versant vallées Nakambé)	<ul style="list-style-type: none"> Ruissellement intense et ravinement Mosaïque de cultures et de jachères 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : protection anti-érosive Aménagements : diguettes anti-érosives ; agro-foresterie ; traitement des ravines
Buttes cuirassées (Versant collinéaires)	<ul style="list-style-type: none"> Mince couverture gravillonnaire Inapte à la culture Marginalement aptes au parcours du bétail 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : néant Aménagements : néant
Relief Rocheux (Versant collinéaires)	<ul style="list-style-type: none"> Aptitudes culturales nulles Tapis herbacé 	<ul style="list-style-type: none"> Mesures : néant Aménagements : néant

CONCLUSION

A partir d'une analyse éclairée des éléments techniques conceptuels du barrage de Ziga, des statistiques obtenues dans la littérature et de la qualité observée des travaux d'exécution du barrage, nous avons évalué la probabilité d'avènement de l'action "rupture du barrage" : même si elle n'est pas nulle, elle reste cependant très faible et des mesures appropriées de suivi peuvent diminuer davantage cette probabilité.

L'exploitation judicieuse des données bibliographiques récoltées, l'analyse synthétique des résultats des enquêtes individuelles et semi-structurées et les observations de terrain ont permis la description biophysique et socio-économique du milieu d'étude (zone de risque) dont un aperçu sommaire comprend:

un couvert végétal composé essentiellement de :

- formations ripicoles arborées et herbeuses regroupées en îlots isolés ou en grappes dans le lit du Nakambé ;
- formations de savanes arbustives claires et denses en état de dégradation avancée sur les berges du cours d'eau et sur les versants érodés : Ces ensembles jouxtent des champs et jachères peu fertiles appauvris par les feux de brousses et les mauvaises pratiques culturales.

Des unités morphopédologiques allant des sols hydromorphes dans le lit mineur et aux débouchés des vallées secondaires aux sols ferrugineux tropicaux lessivés sur les versants et les berges du cours d'eau et aux zones à reliefs et escarpements.

Des ressources fauniques aviaires très variées à coté d'autres ressources fauniques de petites tailles.

Des ressources halieutiques assez variées dont l'exploitation reste toujours artisanale et relativement moins importantes.

Des ressources pastorales très importantes compte tenu de la présence de l'eau et du fourrage sur les berges du cours d'eau, et de l'aptitude de la zone d'étude.

Des villages importants et diversement peuplés avec une population en majorité composée d'agriculteurs et d'éleveurs, comprenant un patrimoine bâti important dans la zone à risque ainsi que des champs, des infrastructures et des équipements socio-économiques.

La comparaison de l'état initial de la zone d'étude avec la situation qui surviendrait en aval après la réalisation du barrage de Ziga a permis d'identifier les impacts sur l'environnement qui peuvent se résumer comme suit:

En situation normale (hors sinistre), la réalisation du barrage va empêcher l'eau de s'écouler en aval, sauf en cas de débordement par l'ouvrage évacuateur des crues, de restitution d'un débit de fuite dans le cours d'eau, ou lors d'une vidange de la retenue. L'effet immédiatement perceptible en aval sera donc l'absence d'un écoulement habituel dans le lit du cours d'eau. La zone de marnage entre les plus hautes eaux et l'étiage en temps de situation sans barrage sera l'une des plus affectées.

Le régime hydrologique du cours d'eau en aval sera profondément modifié. Le lit sera précocement sec par rapport à la situation sans barrage. Les crues annuelles se produiront plus tardivement et seront nivelées. Les années sèches, elles seront inexistantes. Cependant, cette influence va en diminuant à mesure que l'on s'éloigne du site du barrage à cause de l'apport d'importants affluents du Nakambé.

En aval immédiat du barrage, si la perméabilité de la roche des fondations du barrage le permet, la nappe sera rechargée de façon appréciable. Mais plus loin en aval, le déficit d'écoulement provoqué par la présence du barrage pourrait être à l'origine d'un manque à gagner sur le plan de la recharge de la nappe phréatique. Au plan qualitatif, les risques de pollution des eaux souterraines par les eaux de crues, quelques fois chargées de matières organiques et de déchets provenant de l'amont, sont possibles à condition que la structure de la roche et l'existence de fissures dans celle-ci le permettent.

Une érosion des berges du cours d'eau pourrait s'observer pendant les crues, du fait de la vitesse relativement élevée de l'eau, arrachant ainsi les particules du sol.

Avec l'assèchement du lit du Nakambé dû à la présence du barrage, les espèces spécifiques des zones périodiquement inondables vont se trouver dans une situation qui entamera leur régénération.

Le changement du régime du cours d'eau aura un impact négatif sur certaines activités socio-économiques, notamment la pêche, les cultures de décrue, l'élevage (réduction et baisse de la productivité de certains pâturages, baisse de la disponibilité de l'eau pour l'abreuvement qui se fait dans les puisards creusés dans le lit du cours d'eau), la vannerie (baisse de la productivité de certaines végétations herbeuses) et le maraîchage pratiqué le long des berges du cours d'eau.

En cas de rupture du barrage, les dommages potentiels en aval seront très importants et concerneront aussi bien :

- Les pertes en vie humaine** : l'effectif de la population vivant en aval du barrage de Ziga serait de l'ordre de 1.7 millions d'habitants (recensement de 1991).
- Les dommages de biens matériels** : (habitations, bâtiments commerciaux, aménagements hydro-électrique de Bagré, aménagement de la vallée du fleuve sur environ 7400 ha à terme, infrastructures importantes telles que les routes nationales et internationales et une ligne de haute tension).
- des dommages à l'environnement** (faune, flore, forêts galeries, forêts classés, dégradation des terres fertiles etc.).

Au terme de cette étude, des recommandations ont été proposées à savoir :

- la réalisation d'une étude approfondie d'impacts sur l'environnement en aval de Ziga :
- la réalisation d'études techniques complémentaires, notamment :
 - * une étude complémentaire sur les simulations de rupture du barrage.
 - * une étude des quantités d'eau à lâcher de Ziga pour compenser le déficit en apports à Bagré.
 - * une étude socio-économique des effets sur le cheptel de la zone d'étude;
- la mise en place d'un système de suivi environnemental de l'ensemble du bassin versant du Nakambé, et en particulier de la zone de risque.
- La sensibilisation des populations sur les risques encourues et les comportements à avoir face à ces risques soit effectués :
- La prise des mesures compensatoires telles que : la mise à disposition des populations les plus défavorisées d'un stock alimentaire d'urgence et médical en cas de crise, la construction des forages ou réhabilitation des forages en pannes, l'aménagement des retenues d'eau, la vulgarisation des techniques culturales favorisant la conservation des eaux et des sols ainsi que les cultures dites biologiques afin de limiter les risques de pollution des nappes par infiltration des pesticides et

engrais, l'aménagement des bassins versants pour limiter l'action de l'érosion par la mise en place des techniques appropriées de conservation des eaux et des sols.

BIBLIOGRAPHIE

1. Burkina Faso - Ministère de l'Eau - Direction Générale de l'Office de l'Eau et de l'Assainissement. AEP-OUAGADOUGOU, ETUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT, étude TRACTEBEL - BDPA - SCETAGRI, rapport sous la direction de **T. Moens de Hase** - version finale de juin 1995.
2. Burkina Faso - Ministère de l'Environnement et de l'Eau. Secrétariat Général - Direction des études de la planification national de l'Eau et de l'Assainissement - « Approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir du barrage de Ziga : études détaillées » - RAPPORT DE RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE par le groupement **Lahmeyer International-BERA avec LNBTP en sous-traitant**. Ouagadougou, mai 1995.
3. Burkina Faso - Ministère de l'Environnement et de l'Eau. Secrétariat Général - Direction des études de la planification national de l'Eau et de l'Assainissement - « Approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir du barrage de Ziga : études détaillées » - RAPPORT DES ETUDES TOPOGRAPHIQUES, rapport définitif. **Groupement Lahmeyer International-BERA**, Ouagadougou, novembre 1995.
4. Burkina Faso - Ministère de l'Environnement et de l'Eau. Secrétariat Général - Direction des études de la planification national de l'Eau et de l'Assainissement - « Approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir du barrage de Ziga : études détaillées » - AVANT PROJET DETAILLEES - partie B (financement IDA) : adduction, station de pompage 1, réservoir intermédiaire et prise d'accès, rapport définitif en 2 volumes (volume 1 : mémoire technique et annexes, volume 2 : plans [forme réduite en 1 cahier et plans détaillés en 4 tomes]), **groupement Lahmeyer International-BERA**. Ouagadougou, janvier 1996.
5. Burkina Faso - Ministère de l'Environnement et de l'Eau. Secrétariat Général - Direction des études de la planification national de l'Eau et de l'Assainissement - « Approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir du barrage de Ziga : études détaillées » - AVANT PROJET DETAILLEES- partie A (financement IDA) : barrage, rapport définitif en 2 volumes (volumel : mémoires techniques et annexes, volume2 : plans [forme réduite en 1 cahier et plans détaillés en 1 tome]), **groupement Lahmeyer International-BERA**. Ouagadougou, mai 1996.
6. Burkina Faso - Ministère de l'Environnement et de l'Eau. Secrétariat Général - Direction des études de la planification national de l'Eau et de l'Assainissement - « Approvisionnement en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir du barrage de Ziga : études détaillées » - AVANT PROJET DETAILLEES - partie C (financement CFD) : station de traitement, station de pompage 2, station de reprise3, distribution et réservoirs, rapport provisoire en 2 volumes (volume 1 : mémoire technique et annexes [2 tomes], volume 2 : dossiers plans), **Goupement Seureca-Sahelconsult**. Ouagadougou, novembre 1995.
7. Burkina Faso - Ministère de l'Environnement et de l'Eau, Secrétariat Général - Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement - « projet d'alimentation en eau potable de Ouagadougou à partir de Ziga : raccordement électrique du barrage de Ziga » - PROJET DETAILLE, rapport provisoire en 2 volumes, **Société Nationale d'électricité du Burkina**. Ouagadougou, mars 1996.

8. **Ministère de l'Environnement et de l'eau - Secrétariat Général** - Office National de l'Eau et de l'Assainissement - Projet d'alimentation en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir de Ziga : SEMINAIRE- ATELIER SUR LE PLAN GOUVERNEMENTAL D'ATTENUATION DES IMPACTS DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT (3 au 5/10/95), rapport général, Ouagadougou, octobre 1995.
9. **Ministère de l'Environnement et de l'eau - Secrétariat Général** - Office National de l'Eau et de l'Assainissement - Projet d'alimentation en eau potable de la ville de Ouagadougou à partir de Ziga : ETUDE DE LA GESTION DU SYSTEME (financement CFD), rapport définitif. **Groupement Seureca-Sahelconsult**, Ouagadougou, décembre 1995.
10. **Burkina Faso, Ministère de l'environnement et du tourisme** - CODE DE L'ENVIRONNEMENT, loi n° 002/94, ADP du 19 janvier 1994, Ouagadougou, 1994.
11. **Burkina Faso, Ministère de l'environnement et de l'Eau** - PROJET DE NOUVEAU CODE DE L'ENVIRONNEMENT, version de novembre 1995, Ouagadougou, 1996.
12. **Premier Ministère**, Commission Nationale de la Décentralisation - RECUEILS DE TEXTES SUR L'ORGANISATION DE L'ADMINISTRATION DU TERRITOIRE AU BURKINA FASO (2 volumes), Ouagadougou, décembre 1994 (vol.1) et décembre 1995 (vol.2).
13. **World Bank**. ENVIRONMENTAL ASSESSMENT SOURCEBOOK. Volume II. Sectorial Guidelines. World Bank Technical Paper N°140.
14. **The World Bank Operational Manual**. Operational Directives OD 4.01. ENVIRONMENTAL ASSESSMENT. OD 4.01 + Annex A to F. October 1991 et Operational Directives OD 4.02. ENVIRONMENTAL action plans . od 4.01 + annex A. July 1992.
15. **DAM AND THE ENVIRONMENT** - considerations in World Bank Project. by John Dixon, Lee M. Talbot and Guy Le Moigne, editors - World Bank technical Paper number 110, the World Bank, Washington, D.C. June 1987.
16. **DAM SAFETY AND THE ENVIRONEMENT** by Guy Le Moigne, Shawki Barghouti and Hervé plusquellec, editors - World Bank technical Paper number 115, the World Bank, Washington, D.C. April 1989.
17. **RESTORING AND PROTECTING THE WORLD'S LAKES AND RESERVOIRS** by Ariel Dinar, Peter Seidl, harvey Olem, vanja Jorden, Alfred DUDA and Robert Johnson, editors - World Bank Technical Paper number 289, the World Bank, Washington, D.C. July 1995.
18. **MONITORING ENVIRONMENTAL PROGRESS** - A Report on World in progress by the Environnementally Sustainable Development Publications, The World Bank, Washington, D.C..
19. **EIER-ETSHER** : SESSION "ETUDES D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT" RAPPORT D'EXECUTION. Mohamed SALIHA MAIGA, Antoine MBENGUE: mai-juin 1996. 14p + annexes
20. Etudes d'impact sur l'environnement. Manuel EIE; office fédéral de l'environnement des forets et du paysage. septembre 1990
21. **Brunier J; Ravard, G** ; Les outils de l'audit guides, questionnaires et feuilles de travail

22. **Programme des nations Unies pour l'environnement.** new York (US), New York (US) PNUE. 1992. - 27p. nb. ill.
23. **Todjinou, J.B** ; Congres session de formation continue. Etude d'impact sur l'environnement: Ouagadougou (BF); 24 Nov - 12 Dec 1997. Ouagadougou (BF) CEFOC. Nov 1997. - 4p.
24. Direction de la banque Africaine de développement en matière d'évaluation environnementale
25. **Congres**; session de formation continue. Etude d'impact sur l'environnement; Ouagadougou (BF); 24 nov -12 Dec 1997[s.1] (FR)[s.n.]/. -5p.
26. **Kesner, J.; Geerling,C** . Profil environnemental du Burkina Faso. Wageningen (NL)Direction Generale de la cooperation au Developpement (NL), 1994. -63p. ^ nb. ill.: 94 tabl.:2graph.: 21 cartes: ech. 1500.000: 44 ref.
27. **Pontia, G.; Gaud, M.** : l'environnement en Afrique ; serie Afrique contemporaine (FR) ; Paris (FR) La documentation francaise. 1992. -n. 161. 294p. Gloss. 2p.(Fr)
28. **Guire, M.** ; Gestion de l'environnement et études d'impact. collection géographie (FR) ; Paris (FR) Masson.1991. -227p. 86 ill..48ref.
29. **Timberlake, L.** : L'Afrique en crise la banqueroute de l'environnement : Alternatives paysannes (FR) ; Paris (FR) L'Harmattan. 1985. - 292p. 190 réf.
30. **Simos, J.** : Evaluer l'impact sur l'environnement une approche originale par l'analyse multicritère et la négociation : collection META : Lausanne (CH) presse polytechniques et universitaires romandes. 4990. -261p. 147 ref.: 1e éd.
31. **BURKINA FASO: MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU: SECRETARIAT GENERAL:OFFICE NATIONALE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (ONEA): BARRAGE DE ZIGA RAPPORT D'EXPERTISE SUR LA CONCEPTION DU BARRAGE:** Mission du 28 Octobre au 1er Novembre 1996; Groupe d'experts Victor DE MELLO. Raymond LAFITTE. Adama NOMBRE. Gabriel R. JORGE. Ouagadougou. 1er»Novembre 1996
32. **BURKINA FASO: MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU: SECRETARIAT GENERAL:OFFICE NATIONALE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT (ONEA): BARRAGE DE ZIGA RAPPORT D'EXPERTISE N-2 SUR LA CONCEPTION DU BARRAGE:** Mission du 14 au 19 Juin 1997; Groupe d'experts Victor DE MELLO. Raymond LAFITTE. Adama NOMBRE. Gabriel R. JORGE. Ouagadougou 09 Juillet 1997
33. **SOCIETE NATIONALE D'ELECTRICITE DU BURKINA - (SONABEL) DIRECTION TECHNIQUE- SPHT: INFLUENCE DE ZIGA SUR BAGRE. OUAGADOUGOU. 21 MAI 1996**
34. **JEAN Ruegg et al.** (. Nicolas Mettan et luc Vodoz) ; LA NEGOCIATION SON ROLE. SA PLACE DANS L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT : presses polytechniques et universitaires romandes :
35. Boulder canyon project final reports.part 6 hyadraulic investigations: bulletin 3 studies of overfall dams: **united states departement of interior, bureau of reclamation**

36. **Burkina Faso**, ministère de l'environnement et du tourisme, comité national de lutte contre la désertification; plan d'action national pour l'environnement, tome1. juillet 1991.100pages.

ELEMENTS PHOTOGRAPHIQUES REALISES PAR
L'AUTEUR AU COURS DES TRAVAUX DE
TERRAIN

**Photographies de
l'Auteur dans le
lago de KOUGRI**

Photo 1

Pont de Kougri sur la RN4:
Le pont a déjà été inondé par les
crues de crue lors de crues
exceptionnelles;

En cas de rupture du Barrage, il
va nettra de laminer les
éléments en aval en retenant
une grande partie des eaux .

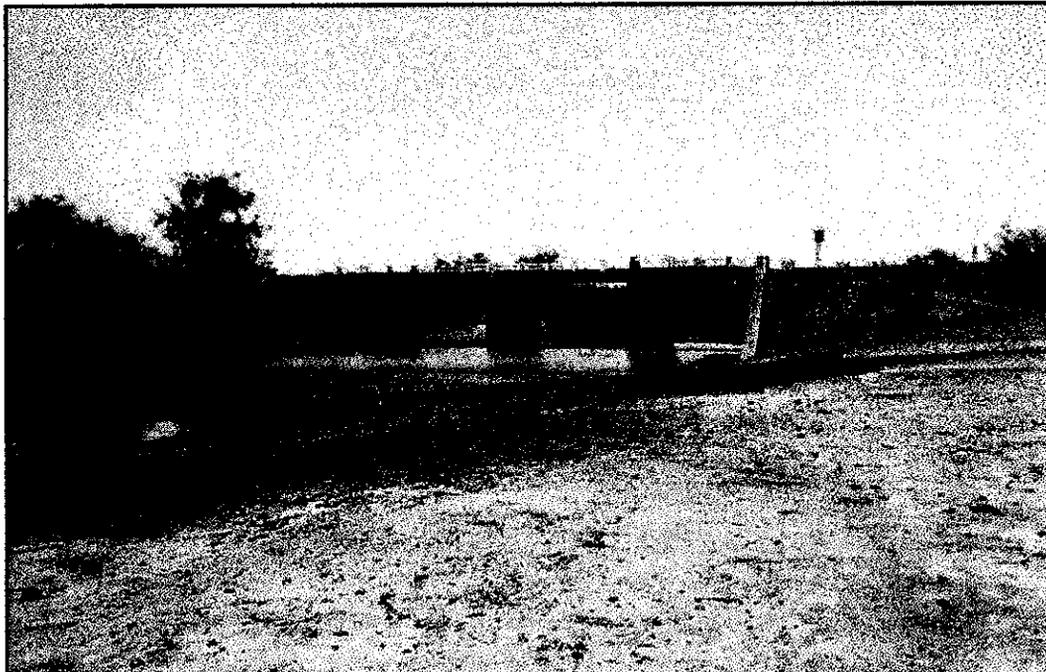


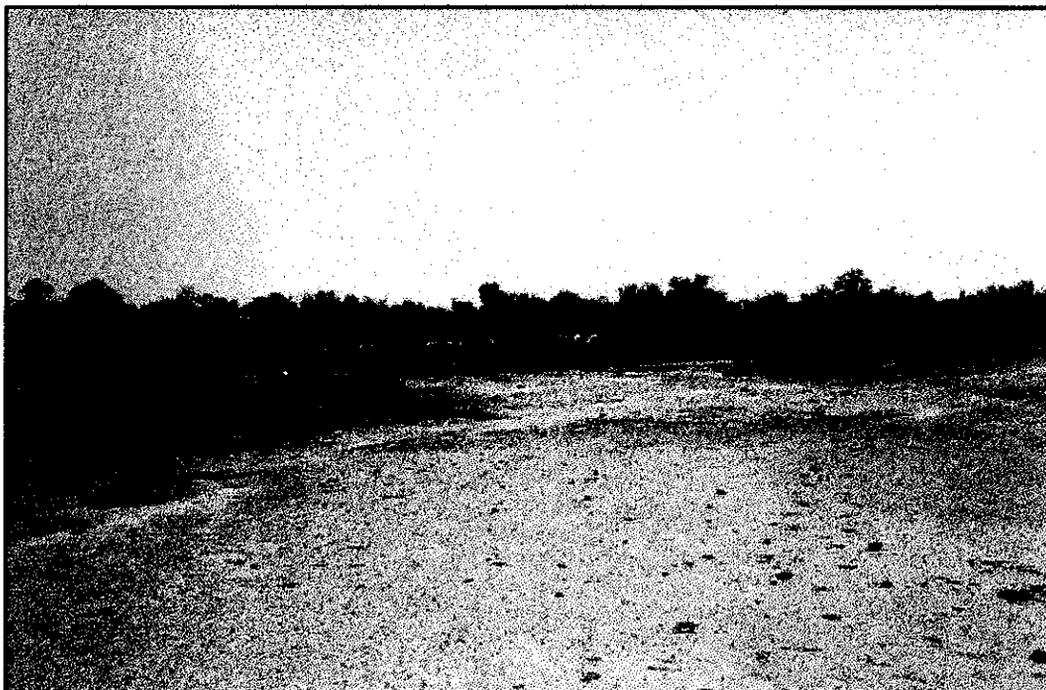
Photo 2

**Les berges du Nakambé à
Kougri:** on peut constater
qu'ici, non loin du lit mineur,
des briques de terres sont
amassées et contribuent à
stabiliser les abords du fleuve.
En arrière plan, des animaux
viennent profiter du fourrage
disponible pendant après les premières
pluies.



Photo 3

**Les cultures maraîchères et le
passage pour l'abreuvement du
bétail dégradent davantage les
versants du Nakambé**



**Photographies de
l'Auteur sur le
chantier de ZIGA**

Photo n°4

Vue de l'ouvrage
hydraulique central en
construction



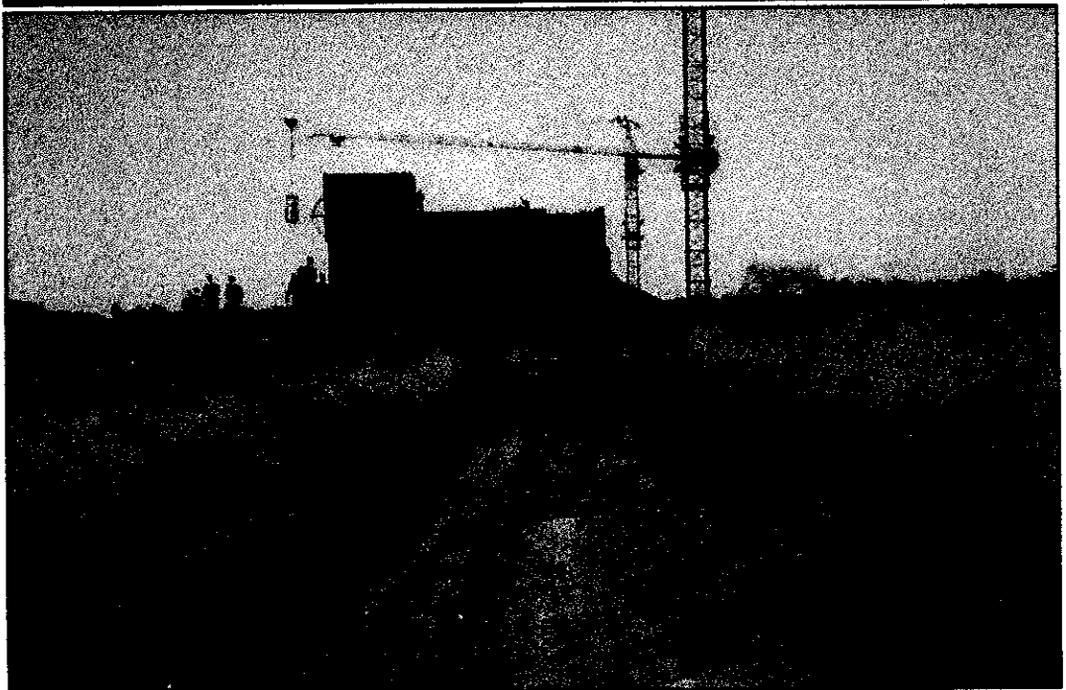
Photo n°5

Mise en place du corps
de la digue: On peut
percevoir dans l'ordre: le
remontement amont en latérite,
noyau central en argile et
drain horizontal en sable
libré



Photo n°6

Mise en place de la
fondation au droit de
l'ouvrage
hydraulique central



**Photographies de
l'Auteur dans le
village de Kougri**

Photo n°10

Photo de famille après
l'enquête collective



Photo n°11

Un des affluents du
Nakambé au point de
rencontre des deux cours
d'eau

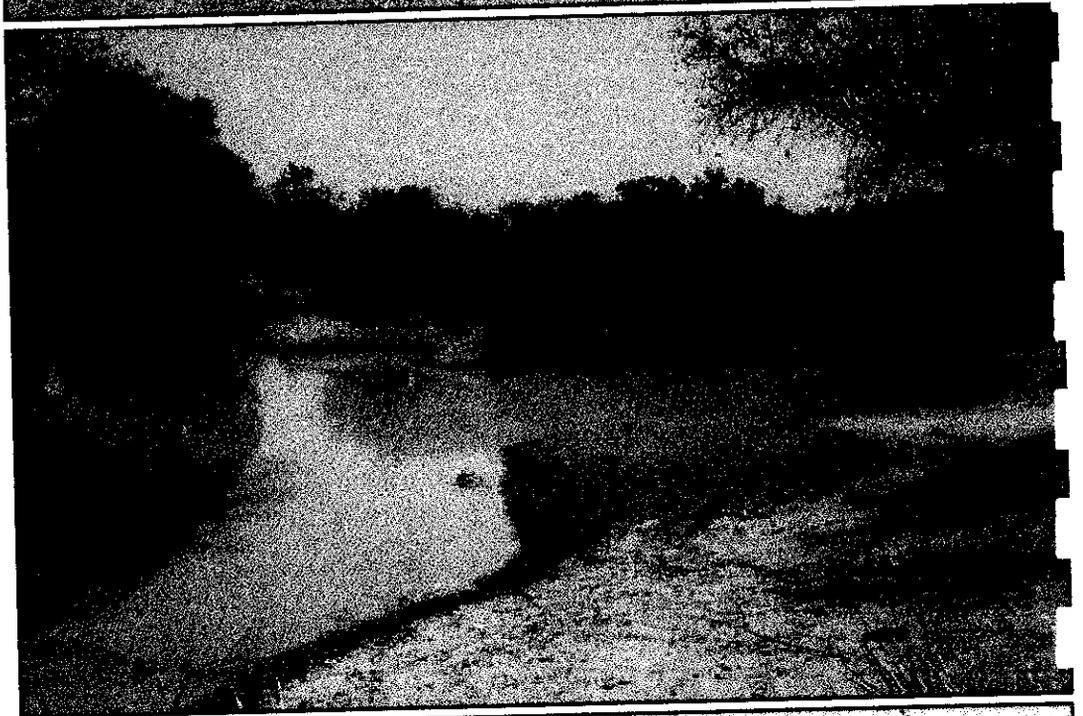


Photo n°12

Une des multiples mares
temporaires du Nakambé
formée à cause du
comblement partiel du lit
par l'érosion des berges et
des versants

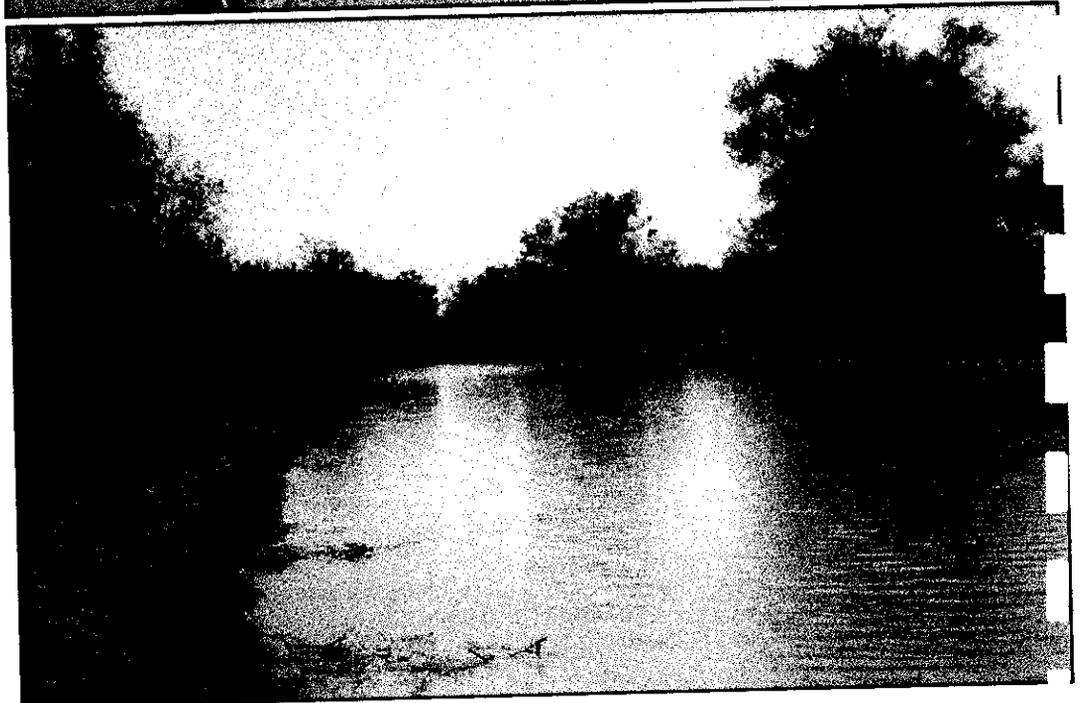
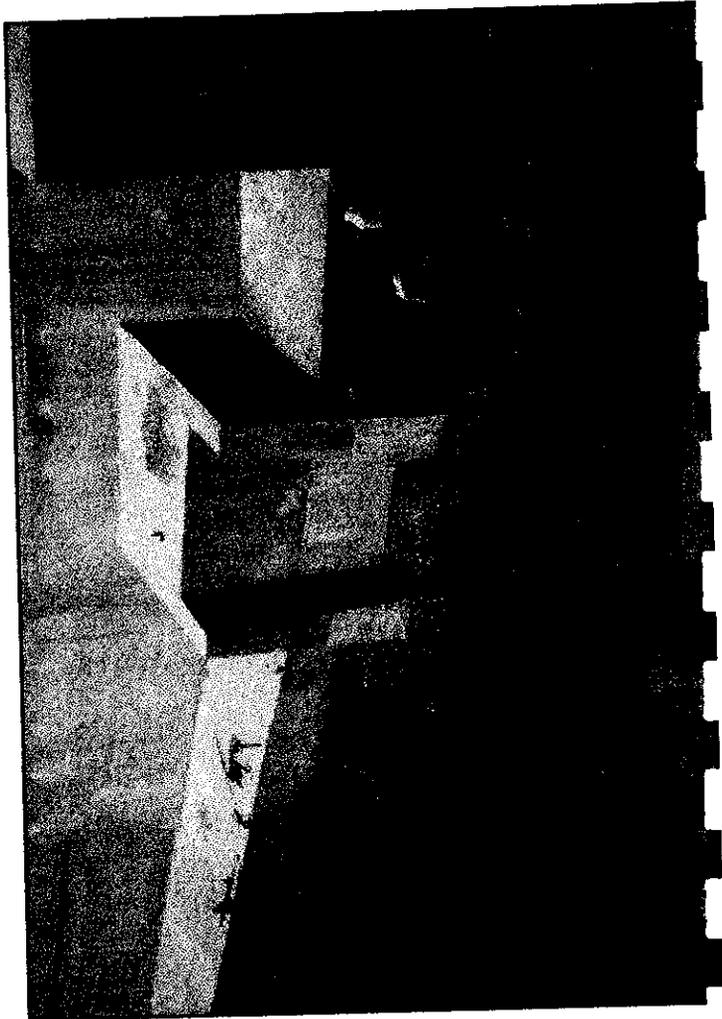
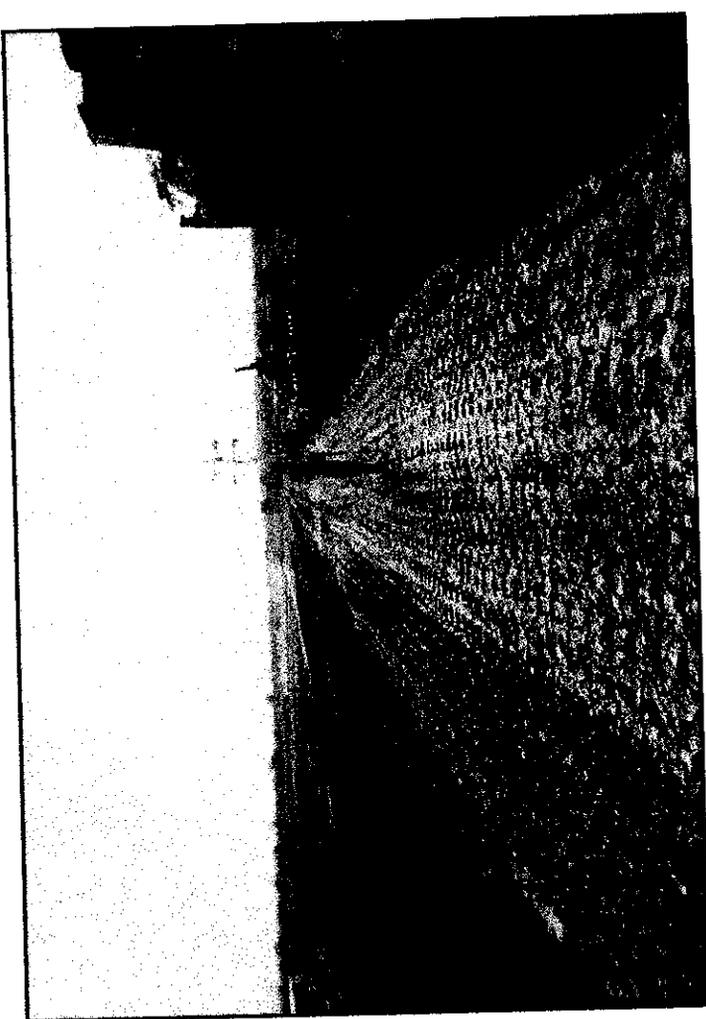


Photo N°13: Mise en place du corps de la digue



Photo N°14: Mise en place du filtre drain vertical en sable

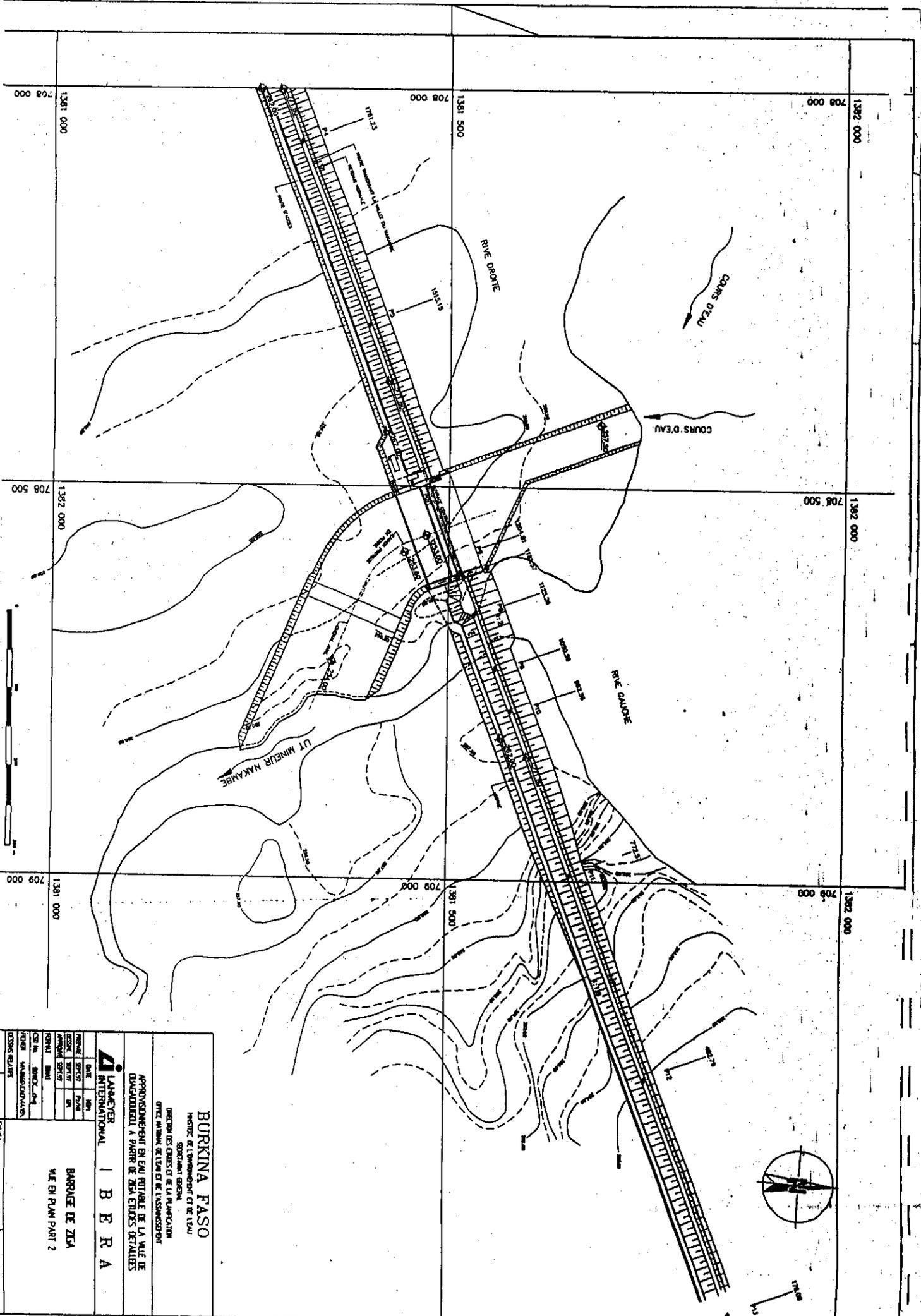
Photo N°15 : Protection du chantier contre les eaux



ANNEXES

SCHEMAS DE CONCEPTION TECHNIQUE DU BARRAGE DE ZIGA

- I. BARRAGE DE ZIGA-VUE EN PLAN (PARTIEL)
- II. EVACUATEUR DE CRUES- VUE EN PLAN DE
- III. DETAILS DU SEUIL DEVERSANT
- IV. VIDANGE DE FOND



BURKINA FASO
 MINISTRE DE L'ENERGIE ET DE L'EAU
 SECTORIEL GENERAL
 DIRECTION DES CHARGES ET DE LA PLANNING
 OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE
 DINGAOUOULI A PARTIR DE ZIGA ETUDES DETAILLES

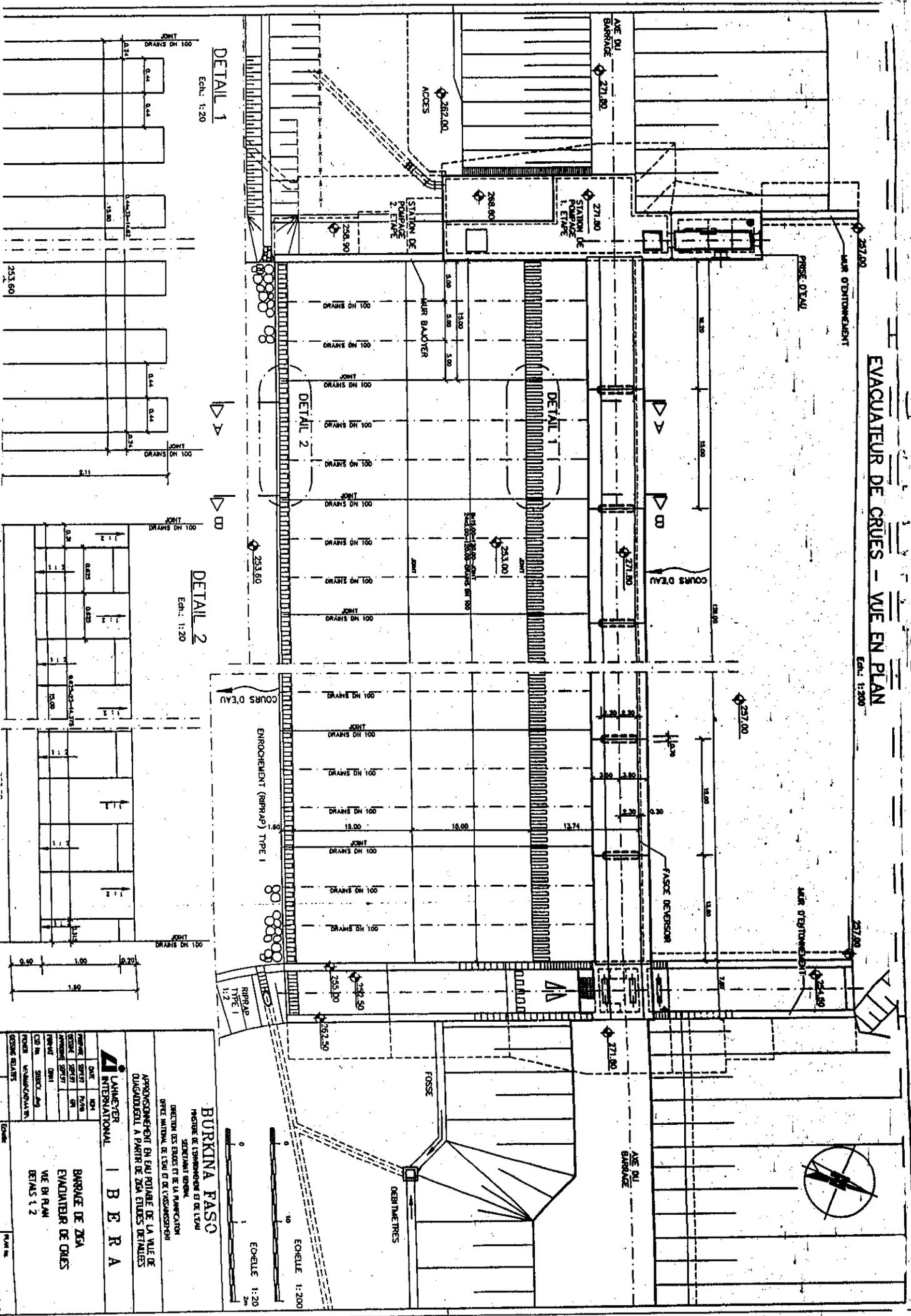
LAURENT BEREA
 INTERNATIONAL

BARONIE DE ZIGA
 VUE EN PLAN PART 2

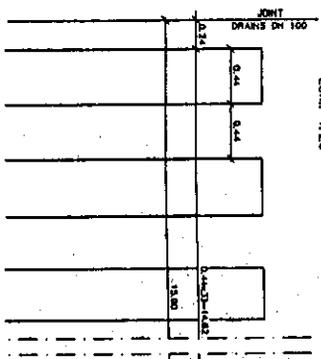
PROJET	DATE	NO
DESIGN	07/77	02/01
APPREUVE	07/77	01
REVISION	07/77	01
DESIGNER	NAME	

EVACUATEUR DE CRUES - VUE EN PLAN

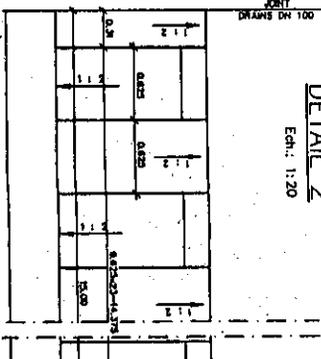
Ech. 1:200



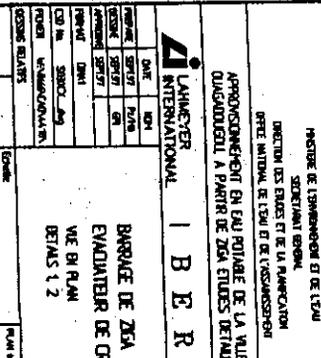
DETAIL 1
Ech. 1:20



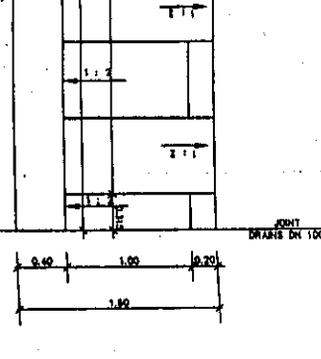
DETAIL 2
Ech. 1:20



DETAIL 1
Ech. 1:20



DETAIL 2
Ech. 1:20



BURKINA FASO
 MINISTRE DE L'AMENAGEMENT ET DE L'URBANISME
 SERVICE NATIONAL D'URBANISME
 DIRECTION DES SERVICES ET DE LA REGULATION
 OFFICE NATIONAL DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

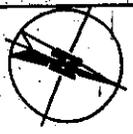
UNICATER INTERNATIONAL | **BERA**

APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE
 OUAGADOUGOU A PARTIR DE ZONE STUDES DETAILS

BARQUE DE ZONE
 EVACUATEUR DE CRUES
 VUE EN PLAN
 DETAILS 1, 2

DATE	DESSIN	PROJET
01/01/2010	01/01/2010	01/01/2010
02/01/2010	02/01/2010	02/01/2010
03/01/2010	03/01/2010	03/01/2010
04/01/2010	04/01/2010	04/01/2010
05/01/2010	05/01/2010	05/01/2010
06/01/2010	06/01/2010	06/01/2010
07/01/2010	07/01/2010	07/01/2010
08/01/2010	08/01/2010	08/01/2010
09/01/2010	09/01/2010	09/01/2010
10/01/2010	10/01/2010	10/01/2010
11/01/2010	11/01/2010	11/01/2010
12/01/2010	12/01/2010	12/01/2010

ESQUISSE ELABOREE



ECHELLE 1:200
 ECHELLE 1:200

RÉSULTAT DE L'ENQUÊTE SEMI-STRUCTURÉE

I. ETAT DU MILIEU AVANT LA MISE EN PLACE DU BARRAGE

1. *Quelle est l'importance du cours d'eau dans la vie des populations*
 - Approvisionnement en eau (Hommes , bétail, plantes ...)
 - construction diverses (habitats, poterie, etc..)
 - Activité de pêche en hivernage grâce aux barrières(haies vives ou aux filets)
 - Ventes des produits de pêche aux villageois pour consommation sur place
 - maraîchage le long des cours d'eau
 - plantation des manguiers le long des cours d'eau (10ha pour le chef, 10ha pour un autre dignitaire du village)
 - Agriculture

2. *Quelle utilisation faites vous de la végétation ligneuse et herbacée le long du fleuves ?*

les herbes servent de fourrage pour le bétail mais il y a également des espèces qui servent à la consommation humaine. Ce sont les feuilles comestibles telle que *Vitex diversifolia*, *Vitex doniana*

certains fruits d'arbres sont également comestibles (...) d'autres espèces ligneuses sont particulièrement prisés pour le bois de chauffe. D'autre par contre servent à l'artisanat et à la construction des maison (charpente des toitures)

3. *Avez-vous déjà enregistré une crue exceptionnelle ? si oui, quels ont été les problèmes rencontrés et comment avez-vous réagi ?*

Oui !, il de cela cinq ans.

Il ya eu beaucoup de dégâts parmi lesquels des champs en proximité des rivières, des animaux qui ont été emporté par les flots, des cases détruites, le transport des populations sinistrées dans les bâtiment de l'école. Etc...

4. *Quelle disposition avez-vous mis en place pour limiter des dégâts ?*

C'était pour nous une surprise totale et nous n'avons pas eu le temps de réagir. Tout ce que nous avons pu faire à été de mettre les population à l'abris dans le cite de l'école. Plus tard, pour évacuer les eaux , nous avons construit des canalisation . Après le départ des eaux nous avons entrepris de reconstruire les maisons endommagées.

5. *Sur quelle largeur l'eau a-t-elle quitter son lit ?*

300m environ en dehors du lit du cours d'eau. La route nationale était entièrement noyée et les eaux passaient au dessus de la rivière.

II. ETAT DE PERCEPTION DES RISQUES POTENTIELS EN AVAL DU BARRAGE

6. *Comment avez-vous pris connaissance de l'existence du barrage de Ziga*

A travers le délégué du village qui l'a lui même appris des autorités de Ouagadougou

8. *Que pensez-vous donc de la mise en plce du barrage*

Nous manquons d'information précises sur les retombées du barrage. On nous a dit que le barrage était une bonne chose mais nous pensons que c'est surtout les populations situés en amont qui bénéficieront le plus des retombées du barrage. Nous on a surtout peur de manquer de l'eau .

9. *Si à cause de l'existence du barrage de Ziga, il n'y avait plus d'eau, que ferez vous ?*

Ce serait véritablement une catastrophe pour nous. Notre existence sur ce site ne se justifie qu'à cause de la rivière. Si celle-ci venait à ne plus exister notre situation serait on ne peut plus précaire. Voyez-vous, déjà, nous ressentons ici les retombées de la petite retenue qui a été créée pour la construction du barrage et nous avons vraiment peur de ce qui se passera lorsque le barrage sera mis en place ?

10. *Quelles sont les mesures qui d'après vous pourraient aider à atténuer l'effet du barrage ?*

Laisser passer de l'eau de temps à autre pour les population en aval du barrage.
Mettre en place dans le lit du cours d'eau des petites retenues et organisation de la population autour de ces retenues .
augmenter le nombre de forages et de puits dans le village.

11. *Avez-vous observé une sécheresse extrême ? si oui, qu'avez-vous fait pour y remédier ?*

Pendant la sécheresse, nous avons cultivé dans le lit du cours d'eau grâce à des puits creusés dans le lit mineur du cours d'eau.

12. *Que savez-vous des accidents de barrage ?*

Nous avons observé plusieurs cas (Zoungou, bagré, moyorga)

13. *Pensez-vous qu'un accident puisse survenir au barrage de Ziga ?*

D'après ce que nous avons entendu, le barrage a été bien étudié mais c'est une possibilité à ne pas exclure.

Si jamais elle se produit, nous nous proposons de fuir vers les collines environnantes pour se mettre à l'abri des flots.

III. PROPOSITION DE SOLUTIONS

14. *Dans la situation réelle, vous aurez des déversements à travers le barrage. Comment comptez-vous vous organiser pour profiter au maximum de l'eau ?*

redistribution des parcelles le long des cours d'eau

15. *Quelle sont les mesures que vous souhaiteriez voir être mis en place pour vous aider à subjuguer les problèmes liés au barrages ?*

- Un apport en eau serait déjà un pas en avant mais il est important que l'état mette à notre disposition d'autres moyens matériels comme
- une banque de céréales pour les périodes de sécheresses,
- des équipements agricoles
- Des fonds d'aide au développement
- Une sensibilisation des populations sur les moyens de lutte contre la sécheresse
- une mise en place d'une retenue pour nous permettre en cas de l'absence des lâchés de garder davantage l'eau après la très courte période où le barrage déversera.

GUIDE D'ENTRETIEN AVEC L'INGENIEUR CONSEIL DU BARRAGE DE ZIGA

Notre étude porte sur **L'ANALYSE DES RISQUES POTENTIELS D'IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT EN AVAL DU BARRAGE DE ZIGA**. En effet, en situation normale, la mise en place du barrage devrait empêcher l'eau de s'écouler en aval. Cet état de fait induit un certain nombre de problèmes en aval donc nous nous proposons d'identifier et d'analyser. D'autre part l'interruption du débit normale du cours d'eau n'est pas le seul problème que peut engendrer la mise en place du barrage car des accidents peuvent survenir entraînant la ruine totale ou partielle de l'ouvrage et une libération de quantités importante d'eau en aval. Les conséquences sont généralement catastrophiques et très peu tolérée par les populations riveraines. Nous examinerons dans quelles conditions une rupture éventuelle du barrage de Ziga est concevable avant de voir comment prévenir et protéger les biens et les personnes contre pareil sinistre.

Notre entretien portera sur les mesures prises pour assurer la sécurité du barrage aussi bien en cours de conception qu'en cours de construction. Mais aussi sur l'ensemble de mesures permettant un meilleur suivi de l'ouvrage tout au long de sa vie.

D'après la littérature, les causes principales de rupture de barrage sont les suivantes :

- submersion du barrage par les crues (68.7% de cas)
- submersion, du barrage par une onde de crue générée suite à la rupture d'un barrage amont (3% de cas)
- rupture suite à l'érosion du déversoir (5% de cas dans le monde et 22% de cas au Burkina)
- rupture par renard dans la digue ou dans les fondations (23% de cas dans le monde et 9.3% de cas au Burkina)
- rupture par glissement de talus (8% de cas dans le monde)

Ces causes nous amènent à l'esprit les questions suivantes auxquelles nous vous saurions gré de bien vouloir nous répondre en distinguant les dispositions prises en cours d'étude de celles prises en cours de chantier :

1. Pouvez-vous nous donner une description sommaire du barrage pour ce qui est de ses composantes principales ?
2. Comment ont été calculées les crues ? ; pensez-vous que la crue retenue pour le dimensionnement du déversoir et des évacuateurs soit suffisante ?
3. Nous savons que, sur le même cours d'eau (Nakambé) a été installé un barrage (Kanazoé) dont la capacité est protégée aujourd'hui à 75 millions de mètres cubes.
 - Que pouvez-vous nous dire sur la conception et la réalisation de ce barrage ?
 - Quel est d'après-vous la probabilité de rupture de ce barrage suite à une crue similaire à celle retenue pour le calcul des ouvrages hydrauliques à Ziga ?

- Dans l'hypothèse de rupture de ce barrage, pensez-vous que le déversoir et ses ouvrages annexes pourraient laminar cette crue sans grand problèmes ?
 - sinon, que faudra-t-il alors faire pour limiter les dégâts ?
 - A combien estimez-vous le débit entrant dans la retenue de Ziga en cas de rupture du barrage de Kanazoé ?
 - Qu'aurait-on alors comme conséquences en aval pour les population, pour l'environnement et pour le barrage de Bagré ?
 - une rupture en cascade des barrages de Ziga et de Kanazoé, pourrait-elle induire celle du barrage de Bagré ?
4. Quel sont les précautions prise lors de la construction pour limiter les risques de formation de renard hydraulique ?
5. Que pensez-vous des fondations du barrage et des consignes à avoir quant-au débit de fuite et à la nature des différents sols rencontrés ?
6. A propos de la stabilité du barrage : que pouvez-vous nous dire pour rassurer nos craintes ?
7. D'après les statistiques, 37% des ruptures enregistrés dans le monde l'ont été au premier remplissage et 26% en cours d'exploitation.
- Combien de temps pensez vous donner au remplissage de la retenue et suivant quel planning ?
 - les populations en aval sont elles prises en compte dans l'évaluation du temps de remplissage de la retenue?
 - Quelles sont les disposition prises aussi bien à la conception qu'a la réalisation pour permettre le bon suivi , le contrôle et l'entretien aisée de la retenue et de ses ouvrages annexes ?
 - sont-elles suffisantes ? pourquoi ?
 - sont-elles fiables ? pourquoi ?
 - sont-elles faciles à interpréter et à manipuler ?
 - Quels sont les mesures prises en cours de chantier qui permettent de vérifier que les travaux sont effectivement effectuées selon les spécifications du cahier de charge ?
 - Quels sont les contrôles effectués ? avec quelle fréquence ?
 - Quels est la fréquence des visites de chantier ?
 - Les problèmes du chantier sont-ils résolu dès qu'ils sont posé ?
 - Quels sont les problèmes rencontrés en cours de chantier qui pourraient êtres préjudiciables pour sécurité de l'ouvrages ?
 - Comment les avez-vous résolu ?

8. Pour ce qui est du calendrier d'avancement des travaux ; peut-on parler de retard dans l'exécution des travaux ? si oui pourquoi ?
9. Ce retard pourrait-il être préjudiciable sur l'utilisation escomptée du barrage ?
10. Y aurait-il des résolutions que vous auriez souhaiter voir être prise lors des travaux ou en cours de chantier et qui ne l'ont pas été ? si oui que pensez-vous que cela pourrait avoir comme conséquence sur la sécurité ou le suivi de l'ouvrage ?
11. Auriez-vous quelques recommandations à nous soumettre pour la bonne conduite de notre sujet d'étude ?

Mr. Nébié Boureima :	géographe environnementaliste, Coordonateur du PGAIE à la maîtrise d'ouvrage de ZIGA,
Mr. Traore OUMAR,	Président de l'Association des Etudes D'Impacts Environnementaux, BURKINA FASO ; Consultant Environnementaliste ayant conduit les travaux d'avant projet sommaire à l'aval du Barrage de Ziga,
Mr. SOUALLA LOUIS	Ingénieur Hydraulicien, Directeur technique à la Maîtrise d'ouvrage de Ziga. Chef du projet AEP OUAGA-ZIGA,
Mr. Florent OUADRAOGO	Ingénieur Barragiste à la maîtrise d'ouvrage de Ziga,
Mr. YAMEOGO MATHIEU	Directeur Général des Eaux et Forêts
Mr. ADAMA NOMBRE	Ingénieur du génie rural, Responsable du service Génie Rural a la maîtrise d'ouvrage de Bagré ; Expert commis pour la conception du Barrage de Ziga
Mr. NAZE CELESTIN,	Ingénieur du Génie Rural, Directeur des Etudes à l' Office Nationale des Barrages et des Aménagements Hydrauliques.
Mr. Patric LEMAIGNEN	Assistant Technique (SGI Ingénierie) au projet AEP Ouaga-ZIGA
Mr. Justin YAMEOGO	Service cartographie, Institut Géographique du Burkina ;
Mr. Ambroise OUEDRAOGO	Directeur Général de l'hydraulique ; Ministère de l'Agriculture.
MR. KOKOU KODJO Félicien	Ingénieur de l'équipement Rural, Mission de contrôle au chantier de Ziga
MR. HANZ Luft	Ingénieur civil, Lameyer international, Ingénieur conseil pour le projet AEP Ouaga-Ziga.
Mr. le chef de village de Kougri	
Mr. le Délégué du village de Koubri	