



**REHABILITATION DES RETENUES D'EAU DU BURKINA FASO : CAS DU LAC
DEM**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
SPECIALITE EAUX AGRICOLES**

Présenté et soutenu publiquement le 02 juillet 2019 par

Diane Fabienne ILBOUDO (n° d'inscription : 2015 0468)

Directeur de mémoire : M. Roland YONABA, 2iE

Maître de stage : M. Alex TAGOUKAM, Chef de projet, DPActing

Structure d'accueil du stage : **DPActing**

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Malicki ZOROM

**Membres et correcteurs : Dr. FOWE TAZEN
M. Célestin OVONO MEZUI**

Promotion [2017 / 2018]

DEDICACE

A
MA
FAMILLE !!!

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail. Notre profonde gratitude s'adresse particulièrement à :

- A l'ensemble du corps professoral et administratif de la Fondation 2iE, plus particulièrement tous ceux qui ont été mes enseignants ;
- Monsieur Roland YONABA, enseignant chercheur à 2iE, notre encadreur au sein de l'institut 2iE, pour ses précieux conseils et sa disponibilité tout au long de ce stage malgré ses multiples occupations ;
- Monsieur Lawani Adjadi MOUNIROU, enseignant chercheur à 2iE, notre encadreur au sein de l'institut 2iE, pour ses critiques constructives ;
- Monsieur Alex TAGOUKAM, ingénieur génie rural, chef de projet à DPacting, notre maître de stage, pour son entière disponibilité, ses conseils, orientations et recommandations tout au long de ce stage malgré ses multiples occupations ;
- Monsieur Komla DJAKATE, Directeur Général de DPacting pour nous avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de sa structure ;
- Monsieur Marius GAGRE, Directeur Général de CINTECH pour le soutien reçu tout au long de ce stage ;
- Monsieur Homère OUEDRAOGO, ingénieur génie rural, chef de projets à DPacting, pour l'accueil dans son département et pour ses précieux conseils ;
- Au personnel de CINTECH et DP acting ;
- La Direction Générale de l'ONEA (Région du Centre) pour le soutien reçu l'hors de la collecte des données.

Nous ne saurions terminer sans exprimer notre profonde reconnaissance à nos parents, nos frères et sœurs, et à nos proches pour leurs contributions, leurs multiples encouragements et pour tout l'amour qu'ils n'ont cessé de nous témoigner.

RESUME

Situé dans la Région du Centre Nord, le lac Dem fait partie des 41 sites Ramsar au Burkina Faso et constitue l'un des éléments d'un réseau hydrographique considérable. Il permet l'alimentation en eau potable de Kaya et permet l'existence d'activités agricoles et pastorales. Aujourd'hui, le lac Dem dont la capacité avoisine 8 millions de m³ d'eau, est malheureusement en proie à de nombreuses difficultés notamment la diminution progressive de la capacité utile de sa retenue entraînant ainsi des problèmes de manque d'eau pour l'irrigation de certaines superficies en mi-saison sèche. Cela conduit les exploitants à cultiver sur les berges ce qui n'est pas sans conséquence sur la retenue. Or cette ressource joue un rôle important pour l'écosystème, l'économie locale et même pour l'équilibre sociodémographique de la région. Ainsi dans le but de protéger et permettre l'exploitation de cette ressource en toute saison, une étude a été faite pour augmenter sa capacité. Pour se faire, un état des lieux sur la retenue d'eau a été établi à travers des enquêtes sur le terrain en vue de cerner les facteurs dominants de la réduction de sa capacité. Il s'agit notamment des conséquences liées à l'exploitation de la ressource pour diverses activités socio-économiques. Il en ressort que le phénomène d'envasement de la retenue est bien avancé et pour certains, cet état de fait serait lié aux activités anthropiques aux bords du lac. Des investigations postérieures combinant une étude hydrologique du bassin versant et une évaluation des dépôts dans le lit du lac ont permis de conclure que l'envasement est la cause majeure de réduction de plus 40% de la capacité initiale de stockage du lac Dem, avec **5 419 135 m³** de dépôt solide. Une des solutions les plus évidentes pour augmenter la capacité de la retenue demeure le curage. Toutefois, le curage se révèle être onéreux avec un coût estimatif s'élevant à **27 milliards de FCFA** avec des risques de pollution de l'environnement et de destruction de la couche imperméable de la cuvette. Une autre solution envisageable plus économique et plus judicieuse est le rehaussement du niveau du déversoir à **35 cm**. Dans ce cas, les travaux de réalisation s'élèveraient à **40 840 000 FCFA** et occasionneraient un gain de volume d'environ **2 351 900,85 m³** d'eau. Ce volume permettrait d'augmenter la capacité de la retenue à **10 132 766,00m³** et pourrait couvrir les besoins en eau des cultures pour les surfaces emblavées en toute saison.

Mots Clés :

- 1 – Evasement**
- 2 – Réhabilitation**
- 3 – Lac Dem**
- 4 – Burkina Faso**

ABSTRACT

Located in the North Central Region, Lake Dem is one of the 41 Ramsar sites in Burkina Faso and is one of the elements of a hydrographic network. It provides drinking water for Kaya and allows for agricultural and pastoral activities. Today, Dem Lake, which has a capacity of around 8 million m³ of water, is unfortunately beset by many difficulties, including the gradual reduction of the useful capacity of its reservoir, resulting in problems of lack of water for irrigation of certain areas in the mid-dry season. This leads the operators to grow on the banks, which has consequences for the holding. However, this reserve plays a significant role for the ecosystem, the local economy and even for the sociodemographic balance of the region. In order to protect and allow the exploitation of this resource in all seasons, a study was carried out to increase its capacity. In order to do so, a status report on the water reservoir was prepared through field surveys to identify the dominant factors in reducing its capacity. These include the implications of resource exploitation for various socio-economic activities. The results indicate that the phenomenon of the reservoir silting is quite advanced and for some, this fact would be related to the anthropic activities on the lake banks. Posterior investigations combining a hydrological study of the catchment area and an evaluation of the deposits in the bed of the lake made it possible to conclude that the silting is the major cause of reduction of moreover 40% of the initial capacity of storage of the lake Dem, that is to say nearly **5 419 135 m³** of solid deposition. One of the solutions of most obvious remains the clearing out. However, the clearing out proves to be a too expensive solution with an estimated cost rising to **27 billion FCFA** with the environment risks of pollution and destruction of the impervious layer of the basin. Another more economic and more judicious possible solution is the raising of the level of the outfall to **35 cm**. In this case, the work would rise to **40 840 000 FCFA** and would cause a profit in volume of approximately **2 351 900,85 m³** of water. This volume would make it possible to increase the capacity of reserve to **10 132 766,00m³** and could cover crop water requirements for the area covered in any season.

1 – Silting

2 – Rehabilitation

3 – Lake Dem

4 - Burkina Faso

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP	Approvisionnement en Eau Potable
ANAM	Agence Nationale de la Météorologie
BUNASOL	Bureau National des Sols
CIEH	Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques
CINTECH	Cabinet d'ingénieurs conseils et de géomètre expert
CN	Centre -Nord
COGEL	Consolidation de la Gouvernance Environnementale Locale
DEIE	Direction des Etudes et de l'Information sur l'Eau
DPActing	Development Project Acting
DGRE	Direction Générale des Ressources en Eau
DRH-CN/Kaya	Direction Générale des Ressources Hydrauliques du Centre-Nord
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ISND	Institut National de la Statistique et de la Démographie
ONEA	Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement
PDG lac Dem	Plan De Gestion du lac Dem
RGPH :	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SP/PAGIRE	Secrétariat Permanent de la Gestion des Ressources en Eau
UBT	Unité de Bétail Tropicale
2iE	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS.....	v
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
AVANT-PROPOS	ix
I. INTRODUCTION	1
II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCUEIL ET DE LA ZONE D’ETUDE	2
II.1. Présentation de la structure d’accueil	2
II.2. Présentation de la zone d’étude	4
III. PRESENTATION DU PROJET	13
III.1. Contexte de l’étude.....	13
III.2. Questions de recherche.....	14
III.3. Objectifs de l’étude	14
III.4. Résultats attendus	14
III.5. Hypothèses	14
IV. METHODOLOGIE D’ETUDE	15
IV.1. Méthodologie pour le diagnostic.....	15
IV.2. Méthodologie pour l’identification des éléments de réduction de la capacité de la retenue	16
IV.3. Proposition de solution pour l’augmentation de la capacité de la retenue du lac Dem.....	28
V. RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
V.1. Etat diagnostic de la zone du lac Dem.....	29
V.2. Analyse des déterminants de la réduction de la capacité du lac Dem	37
V.3. Proposition de solution pour l’augmentation de la capacité du lac Dem	54
VI. NOTICE D’IMPACT ENVIRONNEMENTAL (NIE).....	62
VI.1. Activités pouvant générer des impacts négatifs sur l’environnement	62
VI.2. Composantes du Plan de Gestion Social et Environnemental (PGES)	62
VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATION.....	63
BIBLIOGRAPHIE	65
LISTE DES ANNEXES	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution de l'effectif du cheptel dans la commune.	12
Tableau 2 : cotes caractéristiques actuelles des ouvrages du lac Dem.....	17
Tableau 3: Etat des lieux des périmètres irrigués autour du lac Dem	23
Tableau 4 : Caractéristiques du bassin versant du lac Dem.	38
Tableau 5 : Pluviométrie annuelle en fonction des périodes de retour	40
Tableau 6 : Débits décennaux et centennaux de projet	41
Tableau 7 : Estimation des apports en eau par la méthode de Rodier.....	42
Tableau 8 : Estimation des apports en eau par la méthode de Vuillaume-Debreuil	42
Tableau 9 : Evaluation des apports solides à partir des formules empiriques.....	43
Tableau 10 : Données résultant des levés bathymétriques de 1990 et de 2018	43
Tableau 11 : Mesures par sondages sur les sites de Dem, Dembila Mossi et Zorkoum	44
Tableau 12: Caractéristiques du lac Dem en 2018.	46
Tableau 13 : Résultat du calcul des besoins mensuels de la plante.....	47
Tableau 14: Consommation mensuelle du cheptel au niveau du lac Dem	48
Tableau 15 : Récapitulatif des besoins en eau.....	49
Tableau 16 : Données d'étude pour la simulation de l'évolution de la capacité de la retenue de 1990 à fin 2017.....	51
Tableau 17 : Données d'étude pour la simulation de l'évolution de la capacité de la retenue de 2018 à 2050	52
Tableau 18 :Simulation du gain en surface et en volume à des hauteurs de rehaussement	56
Tableau 19 : Evaluation des pertes et gains en terre liées au rehaussement du déversoir	57
Tableau 20 : Paramètres d'étude pour le rehaussement du déversoir	58
Tableau 21 : Avantages et inconvénients du curage et du rehaussement de la digue	61

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude	4
Figure 2 : Eléments naturels composants le périmètre d'étude	6
Figure 3 : Activités anthropiques au niveau du périmètre d'étude	8
Figure 4 : Digue route lac Dem	9
Figure 5 : Etat des cultures maraîchères produites dans la zone du lac Dem en 2018.....	22
Figure 6 : Schéma récapitulatif de l'étude des scénarii	27
Figure 7 : Proposition technique pour l'augmentation de la capacité de la retenue	28
Figure 8 : Taille des ménages.....	29
Figure 9 : Résultat des enquêtes sur les causes de réduction de la capacité du lac Dem	30
Figure 10 : Causes de l'envasement de la retenue selon les enquêtés	31
Figure 11 : Solutions préconisées contre l'envasement proposées par les enquêtés	32
Figure 12 : Délimitation du bassin versant du lac Dem	38
Figure 13 : Courbe hypsométrique du bassin versant du lac Dem	39
Figure 14 : Répartition mensuelle de la pluviométrie dans le lac Dem (1980-2016).	40
Figure 15 : Site d'ensablement de Zorkoum.....	44
Figure 16 : Courbe hauteur-surface actualisée du lac Dem	45
Figure 17 : Courbe hauteur-volume actualisée de la retenue du lac Dem.....	46
Figure 18: Histogramme de volume d'eau prélevé au niveau du lac Dem pour l'AEP Kaya... ..	48
Figure 19 : Courbe d'exploitation de la retenue du lac Dem.....	50
Figure 20 : Evolution de la capacité de la retenue du lac Dem de 1990 à fin 2017.....	51
Figure 21 : Courbe de décroissance de la capacité de la retenue du lac Dem sous l'effet combiné de l'envasement et de le pression anthropique.....	53
Figure 22 : Schéma de dragage de la retenue de Machra Hommadi au Maroc.....	55
Figure 23 : Courbes comparatives des impacts du rehaussement du déversoir	58
Figure 24 : Courbes de décroissance de la capacité de la retenue en fonction des hauteurs de rehaussement	59

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire relatif à "l'étude de réhabilitation des retenues d'eau au Burkina Faso : cas du lac Dem" est une modeste contribution au projet de restauration des berges du lac Dem, lancé en février 2017 et financé par le Ministère de l'Eau et de l'Assainissement. Ce projet vise à solutionner les problèmes environnementaux dans la zone écologique du lac Dem et à le valoriser. Le bureau d'étude CINTECH travaillant en groupement avec DPacting au sein duquel nous avons effectué notre stage, a été retenu par le Ministère de l'eau et de l'assainissement pour l'élaboration du schéma d'aménagement et des études techniques détaillées et d'exécution du projet.

Les termes de référence relatifs à notre étude se rattachent principalement au diagnostic de la situation actuelle de la retenue du lac Dem et de son milieu environnemental afin de solutionner les différents problèmes liés à son exploitation et à sa restauration.

I. INTRODUCTION

La zone du Sahel est caractérisée depuis une quarantaine d'années par une fluctuation importante des conditions climatiques. Le changement notable étant un assèchement progressif du climat qui se traduit notamment par la diminution de la pluviométrie et l'accentuation de sa variabilité spatio-temporelle (Amogu et al. 2015). Pour répondre à ce déficit et s'adapter à l'évolution du climat, les populations du Sahel, ont développé des nouvelles stratégies d'adaptation telles que l'extension des surfaces cultivées aux dépens de la végétation naturelle et la construction des petites retenues à des fins agricoles (Mertz et al. 2011).

À l'instar des autres pays sahéliens, le Burkina Faso pour faire face à ce contexte climatique a financé la construction des centaines de barrages et de retenues d'eau depuis les années 1970. Selon l'inventaire de 2011 de la Direction Générale des Ressources en Eau (D.G.R.E.), le Burkina Faso compte de nos jours 1794 ouvrages de mobilisation des ressources en eau de surface avec une capacité de retenue d'eau d'environ cinq (05) milliards de m³ dont 2,7 milliards de m³ stockées en moyenne/an. Malheureusement, la majorité des retenues connaissent un certain nombre de problèmes d'ordre physique et environnemental dont les majeurs sont l'envasement et la pollution (Karambiri, 1998 ; Tiotsia 2001). Le lac Dem, l'un des principaux lacs naturels de la région du centre nord du Burkina Faso, est également en proie à de nombreuses difficultés notamment la diminution progressive de la capacité utile de sa retenue. Pour mieux apprécier cette réduction, une cartographie de l'évolution de la superficie de la retenue du lac Dem a été faite par le bureau d'études CINTECH. Il en est ressorti que le lac a perdu environ 30% de sa superficie en 20 ans. D'après certains exploitants de la retenue, cela s'explique par la baisse de la pluviométrie. Tandis que d'autres pensent que la retenue est fortement menacée par l'ensablement. Par ailleurs, une étude menée sur le site du lac Dem par COGEL en 2004 a révélé les problèmes suivants :

- une forte pression anthropique sur la retenue (prélèvement pour l'AEP Kaya, l'agriculture et le cheptel) ;
- une dégradation progressive des berges du fait des usages (extensions agricoles et pompage, abreuvement du bétail, utilisation domestique) ;
- l'érosion des sols : le couvert végétal se raréfie soit sous l'effet des modes cultureux soit sous celui de la consommation de bois ;

- une mauvaise gestion de la ressource en eau à cause des techniques et moyens d'irrigation (par siphonage, utilisation de motopompes et pompes à motricité humaine) ;
- et l'ensablement progressif du lac du à l'action de l'homme (occupation anarchique des terres, exploitation minière, exploitation d'agrégats dans les ravins à l'amont de la retenue)

Autant d'éléments constatés, constituent des menaces pour la pérennité de cette ressource qui joue un rôle important pour l'écosystème, l'économie locale et même pour l'équilibre sociodémographique de la région. C'est d'ailleurs pour ces valeurs, que le lac a été reconnu important à l'échelle internationale par la convention Ramsar. En outre, il constitue la seule source d'approvisionnement en eau dans plusieurs villages. Si rien n'est fait, avec la pression démographique qui ne fait que s'accroître, cette ressource serait inexploitable dans environ quarante (40) ans d'après les exploitants de la ressource interviewés en 2016. En conséquence, le lac Dem, mérite d'être restauré et protégé.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

II.1. Présentation de la structure d'accueil

Le présent mémoire relatif à "la restauration de la capacité des retenues d'eau au Burkina Faso : cas du lac Dem" résulte des travaux que nous avons effectués au sein du bureau d'études DP_{ACTING} dans le cadre de notre stage de fin de cycle. DP_{ACTING} est une société anonyme de droit burkinabé avec un capital de 10 millions de FCFA. Sa création procède de la volonté de ses dirigeants de proposer des services de qualité aux gouvernants, les bailleurs de fonds et les structures décentralisées. La vision et les missions de cette structure s'articulent autour de trois (03) axes :

- L'axe 1: Acquisition de marchés
- L'axe 2: Exécution des projets (rendement efficience)
- L'axe 3: Identification recrutement de talents pour l'accompagnement des projets

DP_{ACTING} se fixe pour objectifs, de se hisser au premier rang des entreprises capables d'assurer des prestations de qualité en matière d'études, de conseil et d'assistance dans les domaines de génie civil, génie rural et Développement local, énergie, mines et logistique.

Doté d'un personnel pétri d'expérience, de savoir-faire et surtout de bonne volonté pour exécuter un travail empreint de professionnalisme et de rigueur ; DP Acting se met en action pour relever le défi d'un développement durable en Afrique et ailleurs.

DOMAINE D'ACTIVITES ET SERVICES OFFERTS :

- Etude technique se rapportant au génie civil et au génie rural.
- Etude relative à l'énergie et aux mines.
- Suivi et contrôle d'ouvrage de génie civil et génie rural.
- Assistance Technique aux projets de développement
- Formation et d'appui conseil aux projets de développement.
- Achat, la vente, la maintenance d'équipement technique

ORGANISATION

DPACTING dispose d'une équipe pluridisciplinaire capable d'atteindre les objectifs du client. La structure de DPACTING est composée essentiellement du personnel technique orienté résultat. Il s'agit :

- ✓ Un Administrateur Général
- ✓ Un Directeur de projets
- ✓ Un Chef de projet AEP/Assainissement
- ✓ Un Chef de Projet Aménagement/Barrage
- ✓ Un Chef de projet Route/Ouvrages d'art
- ✓ Des assistants aux chefs de projets
- ✓ Une secrétaire comptable
- ✓ Des chauffeurs

MOYENS LOGISTIQUES

DP Acting dispose d'équipements très modernes qui lui permettent d'atteindre ses objectifs. Il s'agit des logiciels et matériels informatiques de nouvelle génération, des kits pour ingénieurs et techniciens sur le chantier et des matériels roulants.

II.2. Présentation de la zone d'étude

II.2.1. Localisation du lac Dem

Le Lac Dem est un pôle d'agrobusiness situé dans de la région administrative du Centre-Nord. Il relève de la province du Sanmatenga (chef-lieu : Kaya) et est entièrement localisé dans la Commune de Kaya précisément à 15 km au Nord-Ouest de la ville. Selon les relevés géographiques, le lac est centré au point 13°12'N et 01° 09' 50" W. La commune de Kaya se trouve à 105km de OUAGADOUGOU sur l'axe OUAGADOUGOU-DORI. L'accès se fait par la route nationale n°03. La figure 1 présente la localisation de la zone d'étude.

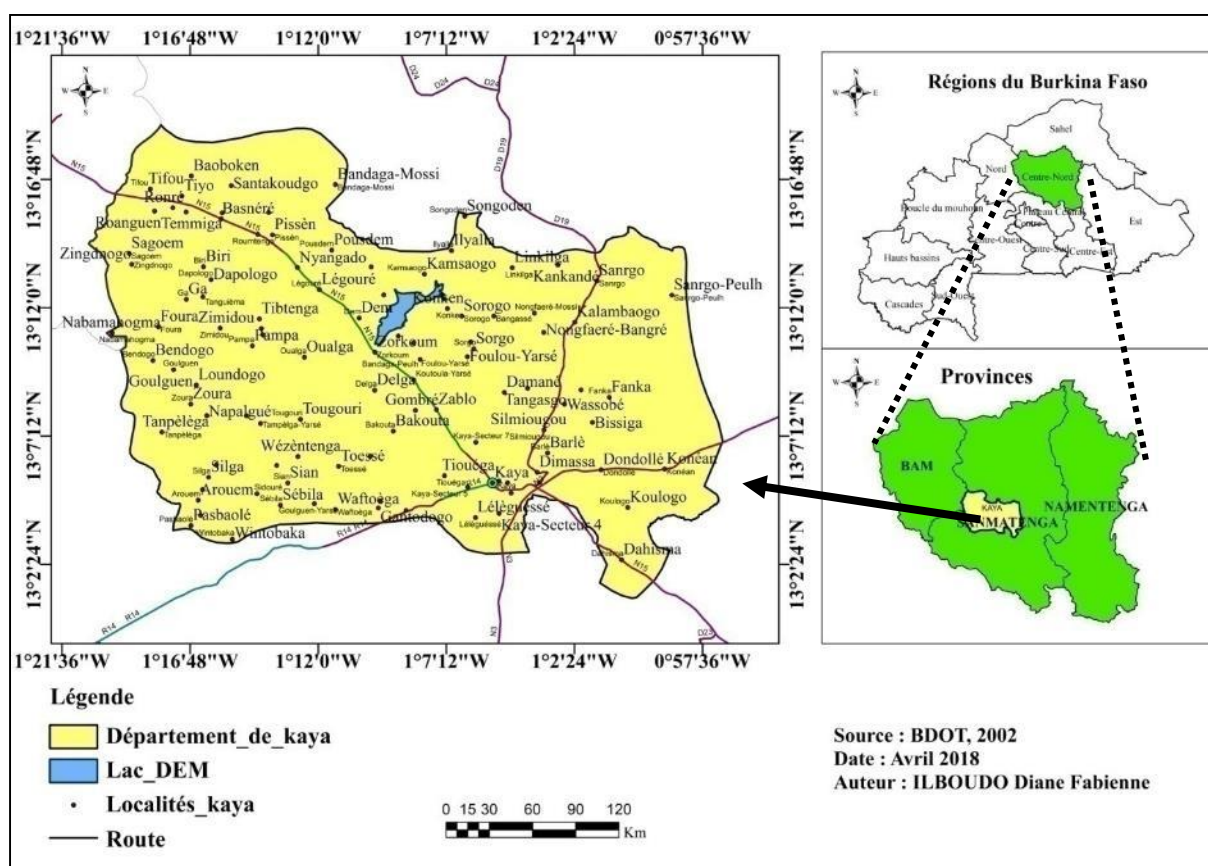


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

II.2.2. Le lac Dem, site Ramsar

Le lac Dem fait partie de la liste n°1882 des sites RAMSAR du Burkina Faso (cf. annexe I). La Convention de Ramsar, officiellement convention relative aux zones humides d'importance internationale, aussi appelée convention sur les zones humides, est un traité international adopté le 2 février 1971 pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides. Elle vise à

enrayer leur dégradation ou disparition, aujourd'hui et demain, en reconnaissant leurs fonctions écologiques ainsi que leur valeur économique, culturelle, scientifique et récréative.

Le choix du lac Dem comme site RAMSAR repose sur les quatre (04) critères suivants :

- **Critère 1** : sa localisation dans une zone semi-sahélienne où l'eau est rare. La zone est caractérisée par une savane arborée sur plus de 50 % des espaces ;
- **Critère 2** : le lac abrite des espèces vulnérables, menacées d'extinction ou gravement menacées d'extinction ou des communautés écologiques menacées ;
- **Critère 3** : le lac abrite aussi des populations d'espèces animales et ou végétales (forêt classée) importantes pour le maintien de la diversité biologique de la région biogéographique particulière ;
- **Critère 4** : le lac abrite des populations d'espèces végétales et ou animales à un stade critique de leur cycle de vie où il sert de refuge dans des conditions difficiles.

II.2.3. Historique du peuplement aux alentours du lac Dem

L'occupation de la zone s'est faite entre le 7ème et le 17ème siècle (COGEL, 2014). Cet historique se confond avec celui du village Dem dont le lac porte le nom et dont l'ancêtre fondateur serait venu de Tombouctou (actuel Mali). La zone a enregistré des populations originaires de Ouagadougou, Boussouma et du Yatenga). Certains villages riverains du Lac Dem ont des liens consanguins et/ou des origines antérieures communes.

II.2.4. Occupation spatiale de la zone du lac Dem

Les différents éléments structurant la zone du lac Dem sont d'ordre naturel et anthropique. Les éléments naturels composants le périmètre d'étude sont :

- le lac Dem (a) ;
- la Forêt classée sur la limite Nord-Est du lac Dem (b) ;
- le barrage de Sian (c) ;
- le barrage de Tamassogo (d).

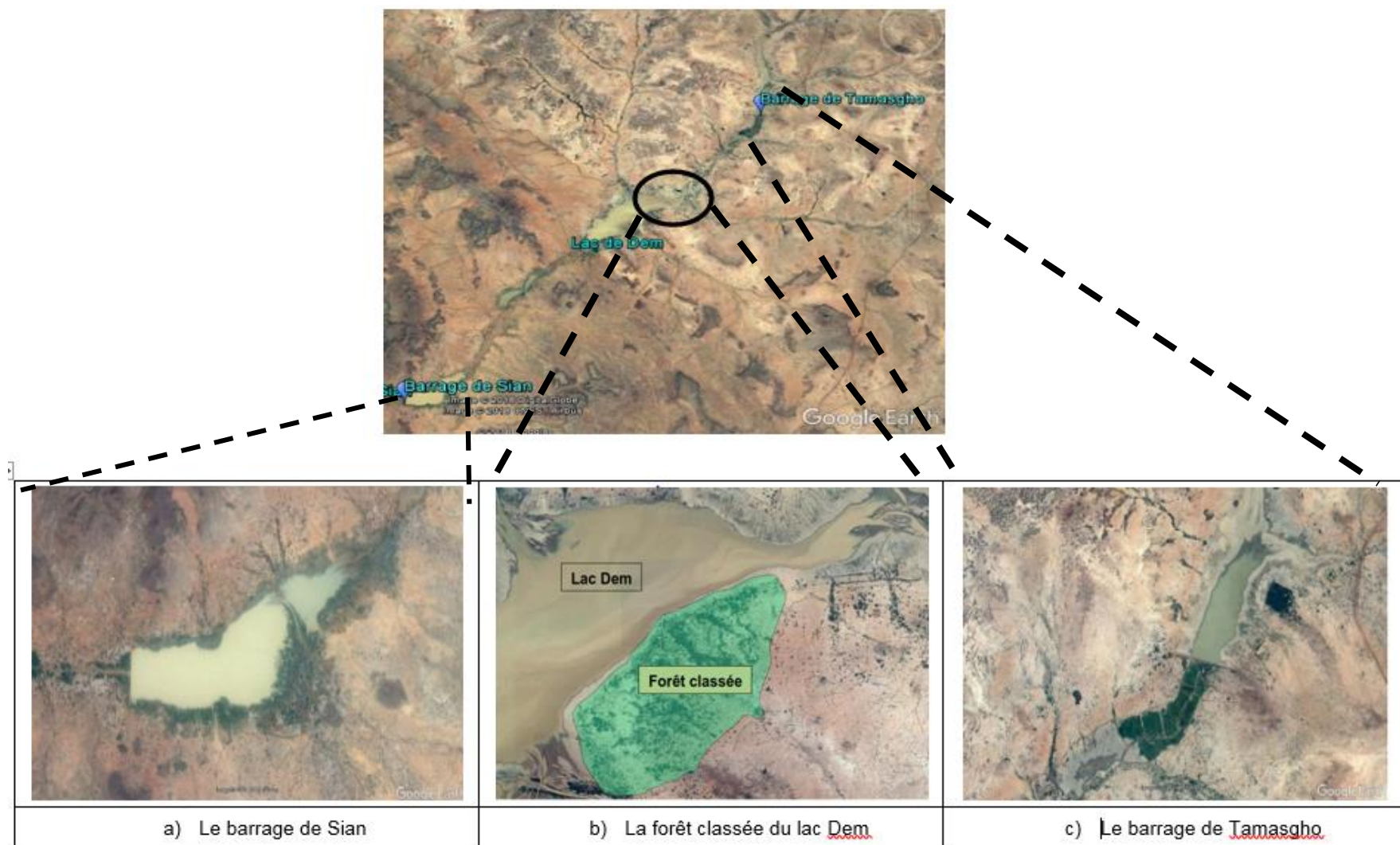


Figure 2 : Eléments naturels composants le périmètre d'étude

En ce qui concerne les éléments anthropiques du périmètre d'étude, il s'agit :

- des périmètres irrigués (e) : c'est l'ensemble des espaces irrigués du périmètre d'étude et se situent autour du Lac Dem
- de la zone de pompage d'eau de l'ONEA (f) qui se trouve au flanc Sud du lac Dem.
- de la zone d'habitat (g): Il s'agit de villages rattachés au périmètre du schéma. Cette zone a une trame d'habitat rural caractérisée par des groupes de concessions séparées par des champs, mais reliées entre elles par des pistes.
- la zone agricole et pastorale : l'agriculture et l'élevage constituent les principales occupations des populations du périmètre. Elle comprend de nombreux champs de cultures, des périmètres maraîchers autour du lac et des aires de pâturage.

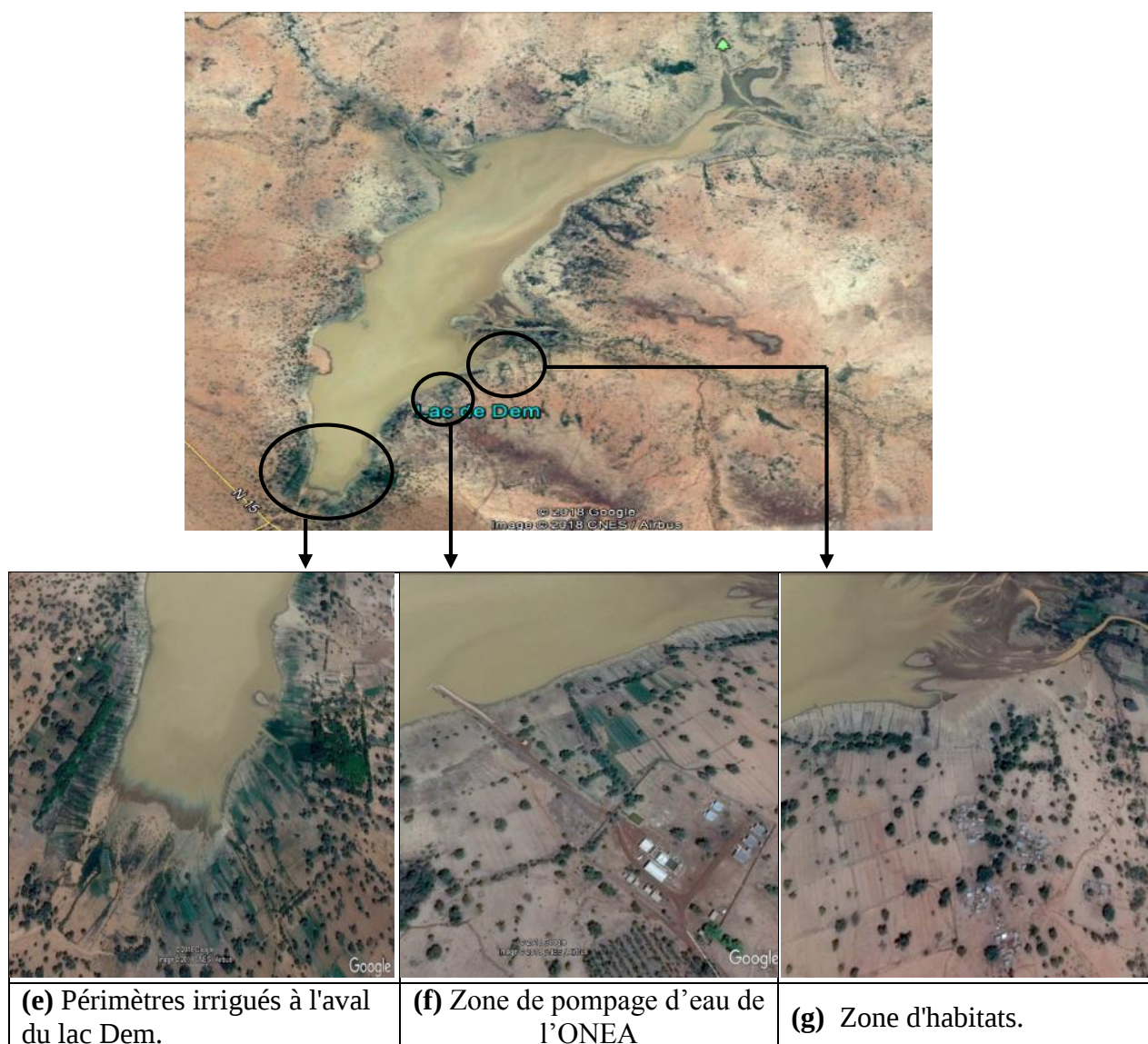


Figure 3 : Activités anthropiques au niveau du périmètre d'étude

II.2.5. Description de l'état physique de la retenue du lac Dem

La recherche documentaire nous a permis d'obtenir quelques informations sur la retenue du lac Dem. De ces informations, il ressort que le lac a été doté par la construction d'un seuil déversoir à l'aval de la retenue dans les années 1980 et que des travaux de réfection ont été effectués en 1990, par la Mission technique des barrages de la République Populaire de Chine. Après ces travaux, les caractéristiques du lac sont les suivantes :

❖ La digue (Figure 4)

C'est une digue-route en terre compactée mêlée de graviers. Ses caractéristiques sont :

- Longueur : 405,4m
- Largeur : 4m

- Côte : 296,53m.

Ses talus amont et aval sont revêtus d'un perré maçonné d'une épaisseur de 25cm. La pente de talus est de 1/2.

- Le déversoir

Il est exécuté au centre de la digue un déversoir dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Côte max du déversoir : 295,00 m
- Largeur du déversoir : 58m
- Bassin de dissipation : en moellons.

- Le réservoir

Une bathymétrie réalisée a permis d'obtenir les caractéristiques morphologiques suivantes de la cuvette du lac Dem :

- Superficie maximale du plan d'eau (côte déversoir) : **7 500 000 m²** ;
- Longueur orientée N-E, S-O : **6,5 Km** ;
- Largeur : **1,1 Km** ;
- Volume d'eau maximale (cote déversoir) : **13 200 000 m³**.

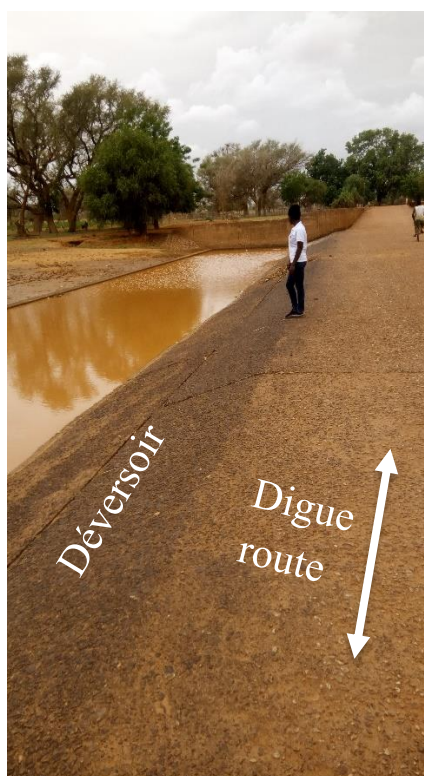


Figure 4 : Digue route lac Dem

II.2.6. Climat, sols et végétation

Le climat de la commune de Kaya est du type Nord-Soudanien avec une longue saison sèche de huit (08) mois allant d'octobre à mai et une courte saison pluvieuse de quatre (04) mois allant de Juin à septembre. Les mois les plus pluvieux sont ceux de juillet et août. La moyenne annuelle sur la période **1968 à 2017** est de **558 mm**.

Les différents types de sols (selon les données d'étude géotechnique réalisée en 2018 par le cabinet d'étude Cintech) existants dans la commune sont les suivants :

- Les sols sablo-limoneux
- Les sols hydromorphes
- Les sols ferrugineux tropicaux
- Les lithosols des plateaux cuirassés que l'on trouve vers l'ouest constituent des réserves de matériaux de construction

Pour ce qui est de la végétation de la commune, elle est composée de :

- **la savane arbustive dense et dégradée** : elle est dominée par des arbustes disséminés dans le tapis herbacé. Le taux de recouvrement est compris entre 10% et 50% et la strate arborée est inférieure à 10 % ;
- **la savane arbustive dégradée** : la hauteur des arbustes ne dépasse pas 5 mètres et cela est lié à l'action anthropique ;
- **la forêt galerie** : elle se trouve le long des cours d'eau. La végétation caractéristique est représentée par *Mitragyna inermis*, *Anogeissusleio carpus*, *Acacia seyal* et *Balanites aegyptiaca* ;
- **la végétation des jachères** : elle est mise en repos après une exploitation agricole et peut se localiser à l'intérieur d'une station de culture.

Les berges du lac sont colonisées par une végétation herbeuse assez diversifiée. Il s'agit essentiellement :

- dans le lit majeur, d'hélophytes tels que *Andropogon gayanus*, *Cymbopogon sp.*, *Vetiveria nigriflora*, *Brachiaria mutica*, *Cynodon dactylon*, *Echinochloa stagnina*, *Vossia cuspidata*;
- dans le lit mineur, d'hydrophytes tels que *Utricularia reflexa*, *Neptunia oleracea*, *Eichornia natans*, *Nymphaea lotus*, *Nymphaea sp.*, *Panicum subalbidum*, *Cyperus palustris*.

II.2.7. Le relief et hydrographie

Le relief se caractérise par deux (02) grands blocs géomorphologiques (COGEL, 2014) :

- la chaîne des collines barrémiennes sur roches cristallines : elles ont une altitude comprise entre 300 et 350m ;
- les plateaux latéritiques sur roches sédimentaires.

Le relief contrasté par la pénéplaine et les chaînes de collines, constitue un facteur d'érosion hydrique. Les plateaux latéritiques ont une altitude comprise entre 300 et 350 m et les collines culminent entre 484m et 511m d'altitude.

Le réseau hydrographique de la province du Sanmatenga est constitué de quelques cours d'eau à régimes intermittent. Le Nakambé (plus de 95 % de la superficie) et ses affluents constituent les cours d'eau les plus importants. Les autres réserves en eau de surface de la ville sont constituées de lacs naturels (Dem et Sian) de barrage (Tamasgho) et retenues d'eau (Wosentenga/Kougri, Sogdin et Kalambaogo).

II.2.8. Milieu socio-démographique

♣ Population

La population aux alentours du lac Dem est essentiellement rurale. En particulier, le lac est entouré par sept (7) villages qui sont : Konkin, Kamsaogho, Dembila Peulh, Dembila Mossi, Dem, Zorkoum et Zandogo. Selon les projections démographiques sur la base du taux de croissance démographique de 2,7%, la taille de la population pour ces villages est estimée à 8419 habitants (projections de l'étude, 2018) dont 4187 hommes et 4231 femmes.

La densité humaine de la zone du lac Dem est 46 habitants/km² (PCD, 2017). Cette densité est une alerte pour les autorités rurales à formuler une bonne stratégie de gestion de l'espace et des terres pour l'habitation, les activités économiques et les espaces de conservation.

La structure de la population par âge indique qu'une forte proportion de la population est âgée de moins de 15 ans. En effet, les jeunes de moins de 15 ans qui constituent la couche de la population non productive et prise en charge représentaient 44,68% de la population totale. Les personnes dont l'âge est compris entre 15 à 64 ans et qui constituent la couche de la population active et productive, représentent 50,90 % de l'effectif total. Celles qui ont plus de 65 ans représentaient 3,99%.

Les groupes sociaux (ethnies) rencontrés dans la commune de Kaya sont essentiellement constitués de Mossé, de Peulhs et quelques communautés minoritaires telles que les Bissa, les Dagara, les Dioula, les Kö, les Koussassé, les Bella, les Lobi, les Marka, les Samo, les Senoufo, les Nounouma, les Lèla, les Bwamu, les Marensé, les Haoussa et les Yoruba.

Selon les proportions, les Mossi représentent environ 85% , les Peulh 10% et l'ensemble des autres groupes sociaux pour une représentation de 5%.

♣ **Activités socio-économiques**

L'économie de la commune de Kaya, comme la plupart des communes rurales du pays est essentiellement basée sur l'agriculture et l'élevage. Les résultats des enquêtes ménages montrent que l'agriculture occupe 97,2 % des personnes (CINTECH, 2018). Depuis plusieurs décennies, les paysans valorisent les berges en cultures maraîchères, d'abord le haricot vert pour le marché européen, puis diverses légumes (tomate (*Lycopersicones culentum*), pastèque (*Citrullus lanatus*), oignon (*Allium cepa*) ...) pour la consommation locale et sous régionale.

L'élevage est la seconde activité économique après l'agriculture. Les résultats des enquêtes ménages montrent que, 58,4% sont des éleveurs. L'élevage constitue une importante source de revenus pour les populations riveraines et se caractérise par les deux systèmes de production animale suivant : le système extensif et celui amélioré/moderne (semi intensif et intensif).

Les principales espèces rencontrées dans la commune sont les bovins, les ovins, les caprins et la volaille. L'évolution de l'effectif de ces différentes espèces de 2012 à 2017 est consignée dans le tableau 01 :

Tableau 1 : Evolution de l'effectif du cheptel dans la commune.

Années \ Espèces	Bovins	Ovins	Caprins	Volaille
2012	35 224	83 941	94 648	241 801
2013	35 842	86 131	91 117	220 404
2014	36 460	88 321	99 586	226 007
2015	37 078	90 511	102 055	231 610
2016	38 577	92 322	104 097	236 243

Source : Rapport PCD, 2017.

De par le passé, le lac Dem constituait l'une des pêcheries les plus convoitées du Burkina Faso. On enregistrait des productions de 100 tonnes de poissons par an entre 1970 et 1984 (GRAD, 2007). Cette production portait sur plusieurs espèces dont les plus importantes étaient : *Heterotis niloticus*, *Schilbemystus*, *Tilapia zilli*, *Synodontis spp*, *Mormyrus*, *Clarias anguillaris*, *Hemichromis fasciatus*, *Mormyrus macrophthalmus*, *Brycinus macrolepidotus*. Selon une étude faite en 2016 pour le PCD de Kaya, cette production a considérablement baissé de nos jours. D'après certains enquêtés (CINTECH, 2018), cela est due à une forte diminution des ressources halieutiques.

L'exploitation minière connaît aussi un essor particulier dans la région du centre nord ces dernières années. Elle est aujourd'hui concentrée sur l'orpaillage, majoritairement dans des sites artisanaux ; et concerne aussi l'exploitation de carrières ouvertes.

III. PRESENTATION DU PROJET

III.1. Contexte de l'étude

Avec un faible potentiel de 10,3 milliards de m^3 en eau de surface (DGRE, 2011), le Burkina Faso connaît une forte croissance démographique de 3,1% par an se traduisant par une pression de plus en plus importante sur ses ressources déjà fragilisées. Pourtant le secteur agricole qui en est fortement tributaire occupe à lui seul 84,1 % de la population active (INSD, 2016).

Ainsi, pour contribuer à l'atteinte des objectifs en matière de sécurité alimentaire, le gouvernement Burkinabé avec l'appui de ses partenaires œuvre depuis plusieurs années à la réalisation d'ouvrages pour retenir de l'eau (barrages, retenues naturelles, lac aménagé...). Malheureusement, ces retenues sont sujettes à de nombreux phénomènes en l'occurrence l'envasement et la pollution qui influencent sur la disponibilité et la qualité de l'eau.

Conscient de cette situation, l'Etat Burkinabé s'est engagé ces dernières années à restaurer des aménagements hydrauliques majeurs tels que le lac Bam, le lac Dem, le lac de Boursanga et bien d'autres. Cet engagement s'inscrit dans le cadre du Plan National de Développement Economique et Social (PNDES) dont l'un des objectifs est la transformation structurelle de l'économie du pays. C'est dans ce contexte que le projet de protection et de restauration du lac Dem, a vu le jour.

III.2. Questions de recherche

La problématique posée plus haut nous amène à nous poser un certain nombre de questions :

- Quel est le lien établi entre la pression anthropique (croissante) sur des bassins sahéliens et la production de matières solides en suspension ?
- Est-ce le phénomène d'envasement ou la forte pression d'utilisation de la ressource qui réduit principalement la capacité de la retenue du lac Dem ?
- Quelle meilleure solution envisager pour la réhabilitation du lac, en tenant compte les enjeux environnementaux tout en visant l'augmentation de la capacité de la retenue du lac Dem?

III.3. Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de proposer une solution permettant la restauration de la capacité du lac Dem. Cet objectif général sera atteint à travers les objectifs spécifiques suivants :

- Diagnostiquer les problèmes liés à l'exploitation de la retenue ;
- Identifier les déterminants de la réduction de la capacité de la retenue ;
- Proposer une solution pour la restauration de la capacité du lac Dem.

Pour le premier objectif spécifique, il s'agira d'identifier les dangers qui menacent la survie de la retenue. Quant au second objectif spécifique, il s'agira de cibler au travers d'une analyse discriminatoire et sous différents scénarii d'exploitation, les facteurs directement responsables de la réduction de capacité de la retenue. Enfin, pour le troisième objectif spécifique, il s'agira d'analyser les différentes propositions pour la restauration de la capacité du lac Dem afin de retenir la meilleure solution.

III.4. Résultats attendus

Les résultats attendus à l'issue de cette étude sont :

- le diagnostic des problèmes liés à l'exploitation de la retenue du lac est réalisé ;
- les déterminants de la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem sont identifiés ;
- une solution pour la restauration de la capacité du lac est proposée.

III.5. Hypothèses

Nous cherchons à identifier les déterminants de la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem afin de proposer une méthode pour sa restauration. En faisant nos recherches, nous avons

pu constater que la retenue du lac Dem était menacée par plusieurs éléments à savoir les mauvaises conditions climatiques (baisse des pluies, forte évaporation du plan d'eau) l'envasement et la pression d'utilisation (irrigation, abreuvement et AEP Kaya). Dans le cadre de notre étude nous allons nous intéresser à l'envasement et à la pression d'utilisation de la retenue en fonction des données qui ont été mises à notre disposition. Ainsi, les hypothèses que nous aurons à vérifier sont les suivantes :

- i. les apports venant du bassin versant ne sont pas suffisants ;
- ii. la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem est due à l'envasement;
- iii. la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem est due à la forte pression d'utilisation de l'eau ;
- iv. la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem est due à la combinaison envasement et pression d'utilisation de l'eau dans de la retenue.

IV. METHODOLOGIE D'ETUDE

IV.1. Méthodologie pour le diagnostic

Le diagnostic vise à répertorier les dangers qui menacent la survie de la retenue du lac Dem. Pour cela, nous avons procédé au préalable à la description de l'état physique de la retenue. Cela a nécessité des recherches documentaires sur le lac Dem. Pour ce qui est de l'identification des dangers qui menacent sa survie, nous avons procédé à un diagnostic physique de la retenue et à un diagnostic des activités qui peuvent menacer sa sécurité. La démarche méthodologique suivie pour faire ces diagnostics est celle de la caractérisation visuelle de la zone d'étude d'une part et de l'enquête terrain d'autres parts.

La caractérisation visuelle de la zone d'étude a consisté à répertorier tous les problèmes structurels visibles dans la zone du lac Dem et à les analyser. Pour se faire, nous avons procédé par :

- Une recherche bibliographique : cette étape a permis d'avoir des éléments d'information sur la zone d'étude. Les documents ciblés ont été les ouvrages, les mémoires (étude de l'envasement des barrages au Burkina : étude de cas ; étude d'envasement du lac Dem, sécurisation de l'alimentation en eau potable de Kaya...) et les revues. Des supports documentaires (plan de gestion du lac Dem, plan communal de développement de la région, et certains rapports) portant sur le présent objet d'étude ont été également consultés

- L'analyse des images satellitaires et des cartes à l'échelle 1/200 000^{ème} à partir des logiciels Arcgis et Google Earth ;
- Les travaux de terrain pour observation visuelle et capture des images à l'aide d'une caméra photo ;
- La description de l'observation terrain ;
- L'analyse des données recueillies croisées avec la recherche documentaire.

Pour ce qui est des enquêtes de terrains, sept villages ont été retenus. Ce choix a été fait en tenant compte de leurs proximités du bassin versant du lac Dem et des activités des populations cibles. Les fiches d'enquêtes ont été administrées aux ménages et l'échantillonnage a été fait de façon aléatoire en considérant 10% de la population de chaque village. La fiche d'enquêtes est consignée dans l'annexe VI.

IV.2. Méthodologie pour l'identification des éléments de réduction de la capacité de la retenue

Dans le cas spécifique de la retenue du lac Dem, le constat qui a été fait c'est la réduction progressive de sa capacité. Cette réduction progressive pourrait être liée à un certain nombre de raisons. Il se pourrait que ce soit directement lié à :

- l'insuffisance des apports en eau venant du bassin versant ;
- la pression d'utilisation de la retenue d'eau;
- l'envasement de la retenue ;
- ou la combinaison envasement et pression d'utilisation de la retenue.

Nous allons analyser chacune des hypothèses en passant par :

- la détermination des apports en eau venant du bassin versant du lac Dem ;
- la détermination des apports solides et leur impact sur la capacité de la retenue du lac Dem ;
- la détermination de tous les usages de l'eau et leur pression sur la retenue du lac Dem.

IV.2.1. Méthodologie d'évaluation des apports en eau du bassin versant du lac Dem

Les principales étapes suivies au préalable pour l'évaluation des apports en eau sont les suivantes :

1. Rassembler les documents disponibles sur le bassin versant, cartes topographiques et thématiques, relevés pluviométriques, etc ;
2. Effectuer une visite de terrain ;

3. Déterminer les caractéristiques du bassin versant du lac Dem ;
4. Déterminer la hauteur annuelle des précipitations de fréquence médiane.
5. Calculer pour les différentes fréquences choisies, les volumes annuels disponibles.

Les deux premières étapes nous ont permis de décrire les caractéristiques du bassin versant du lac Dem.

a) Description des caractéristiques du bassin versant

Elle vise à obtenir les paramètres du bassin versant du lac Dem à savoir la superficie et le périmètre qui serviront à la détermination de sa forme, sa taille et sa typologie. Pour se faire, nous avons délimité au préalable le bassin versant du lac Dem à partir des logiciels Google Earth, Global Mapper et ArcGis.

b) Détermination de la hauteur annuelle des précipitations de fréquence médiane

Les données pluviométriques considérées sont celles de la station synoptique de Barssalogo car celles de Kaya (cf Annexe II-1) présentent beaucoup de lacunes (manque de valeurs sur la période de 2005 à 2009). Ces données ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM). Nous avons procédé à l'analyse de la série de pluie sur deux échantillons de données pluviométriques s'étalant sur une période de 1968 à 2017. Il s'agit de la série des pluies annuelles (cf annexe II-2) et de celle maximale journalière (cf annexe II-3).

Dans le cadre de cette étude, l'analyse fréquentielle a été réalisée par le logiciel HYFRAN-PLUS (Hydrological Frequency Analysis PLUS).

c) Prédétermination de la crue de projet

Les côtes caractéristiques des ouvrages hydrauliques sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : cotes caractéristiques actuelles des ouvrages du lac Dem

Désignation	Données lac Dem
COTE TN mini au droit du déversoir	294,50
Cote de la digue	296,53
Cote du déversoir	295,00

Denivellé entre la digue et le déversoir	1,53
Denivellé entre la digue et le TN	2,03
Volume du lac Dem à la côte déversoir actuel	7 780 865 m ³
Surface du plan d'eau	610,52 ha

La détermination des débits de crue se fera par la méthode déterministe de l'ORSTOM de AUVRAY et RODIER et la méthode CIEH de régressions linéaires de PUECH et CHABI publiée dans le bulletin N° 54 de la FAO (CIEH, ORSTOM, et LTC-CEMAGREF-ENGREF 1996)

- Méthode ORSTOM de AUVRAY et RODIER

L'objectif de la méthode est d'évaluer le débit de la crue décennale. Le domaine de validité de la méthode s'étend de Dakar (Sénégal) jusqu'à la frontière du Soudan entre les isohyètes annuelles 150-200 [mm] au nord et 1200 [mm] au sud. La méthode s'applique à des bassins dont la superficie est située entre quelques dizaines d'hectares et jusqu'à 1500 km²

$$Q_{10} = m \times A \times Kr_{10} \times P_{10} \times \frac{S}{Tb_{10}}$$

- ✓ Q_{10} : Débit de crue décennal par la méthode ORSTOM (m³/s)
- ✓ S : la superficie du bassin versant (km²)
- ✓ P_{10} : pluie journalière maximale décennale (mm)
- ✓ Kr_{10} : coefficient de ruissellement décennal obtenu par interpolation entre Kr et Kr_{100}
- ✓ T_b : temps de base de la crue décennale (min)
- ✓ A : coefficient d'abattement de VILLAUME
- ✓ α_{10} : Coefficient de pointe pris égal à 2,6
- ✓ m Coefficient majorateur égal à 1,03

- Détermination de la crue décennale par la méthode de régressions linéaires du CIEH

La formulation retenue pour retrouver l'expression de la crue décennale est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a \times S^b \times P a n^{-c} \times I g^d \times K r 10^e \times D d^f$$

En se basant sur les études récentes du CIEH et en tenant compte des caractéristiques du bassin et de son emplacement et aussi du régime climatique de la zone, l'équation de débit décennal envisageable est la meilleure formulation la plus récente (1996) en zone climatique sahélienne, calée et validée pour une soixantaine de bassins versants du Burkina Faso, et qui s'appuie sur deux ou trois variables caractéristiques du débit.

Nous utiliserons alors les formules de régression linéaire suivantes, qui sont bien indiquées pour le Burkina Faso et pour la zone du projet :

Equation n° 10 : Formulation pour le Burkina Faso du découpage climatique avec Kr10

Equation n° 12 : Formulation pour le découpage de la zone avec Pan < 1000 mm en fonction de S, Ig et Kr10

Equation n° 40 : Formulation pour le Burkina Faso en fonction de S, Ig et Kr10

- Débit de crue centennale du projet : Méthode du Gradex

C'est la crue de base en fonction de laquelle l'ouvrage hydraulique sera dimensionné. Pour les ouvrages tels que les barrages on préconise Q100, Q500, Q1000. Et pour notre projet nous retiendrons le débit de crue centennal.

En Afrique de l'Ouest et du Centre la crue centennale Q100 se calcule à l'aide de la méthode du Gradex qui se base sur une déduction à partir de la crue décennale à l'aide d'un coefficient de sécurité C (Coef. de majoration > 1) s'exprimant par :

$$C_{100} = 1 + \frac{P_{100} - P_{10}}{P_{10}} \times \frac{\left(\frac{Tb}{24 \times 60}\right)^{0.12}}{Kr10}$$

d) Estimation des apports en eau du bassin versant du lac Dem

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour l'estimation des apports en eau des bassins versants et leurs applications dépendent de la nature des données disponibles sur le bassin versant à étudier. Les méthodes les plus connues et les plus fréquemment employées en Afrique francophone de l'ouest et du centre sont :

- ✓ la méthode Rodier (1970);
- ✓ le modèle Girard (1975);
- ✓ la méthode Dubreuil-Vuillaume (1975);

✓ la méthode basée sur le bilan d'eau des retenues.

Pour des raisons de manque de données, seulement deux méthodes ont été retenues pour l'évaluation des apports en eau venant du bassin versant : il s'agit de la méthode de Rodier (1970) et de Dubreuil-Vuillaume (1975).

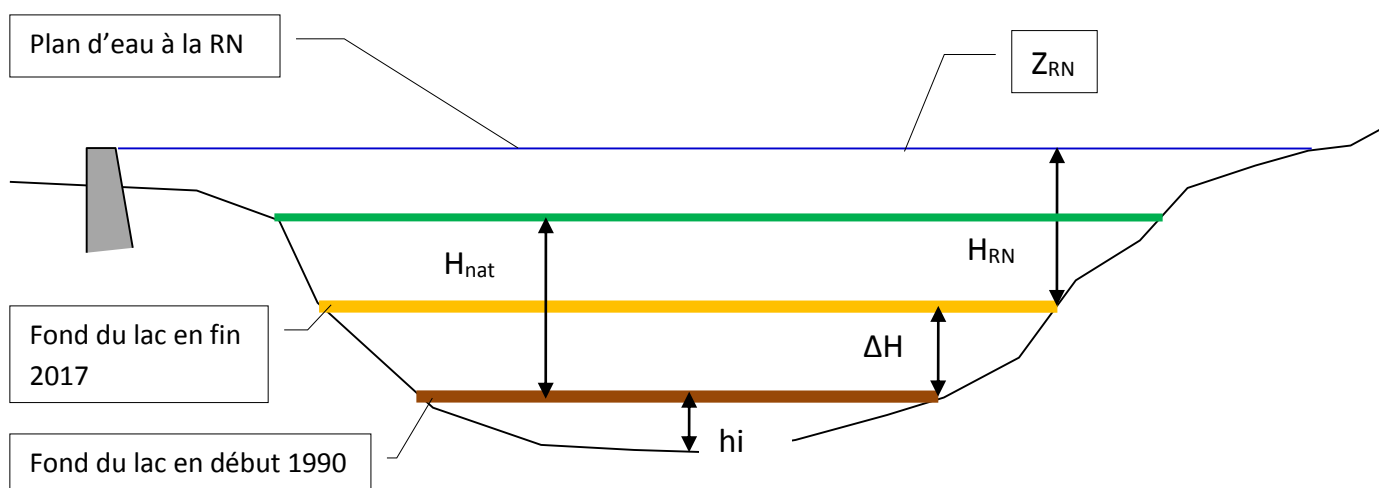
Le modèle d'évaluation selon Rodier consiste à déterminer dans le catalogue des bassins-type, celui ou ceux ayant les caractéristiques les plus voisins du bassin étudié pour estimer ainsi l'écoulement annuel de ce dernier. Tandis que celui de Dubreuil-Vuillaume consiste à déterminer l'écoulement moyen annuel des bassins versants non observés à partir de leurs caractéristiques physico-climatiques.

IV.2.2. Méthodologie pour l'évaluation des apports solides

La quantification du transport solide dans les retenues est une opération délicate et imprécise. L'objectif ici n'est pas d'étudier l'envasement du lac Dem mais d'analyser son impact sur la capacité de la retenue du lac Dem à pas de temps annuel.

Il est certain que depuis la réfection du seuil du lac Dem en 1990 (sur la route Kaya-Kongoussi), des dépôts solides se sont accumulés mais quelle quantité exactement ou approximative serait présente dans le fond du lac en fin 2017 ?

Le schéma ci-après présente une coupe longitudinale du lac en fin 2017 :



h_i → hauteur initiale de sédiments dans le fond du lac au début des années 1990 ;

ΔH → hauteur de sédiments déposée entre 1990 et 2017 dans le fond du lac ;

H_{nat} → hauteur d'eau naturelle dans le lac avant réalisation du seuil déversant ;

$H_{RN} \rightarrow$ Hauteur d'eau dans le lac à la retenue normale.

En théorie, nous avons approché la valeur avec les différentes formules d'évaluation des apports solides existantes en appliquant les formules empiriques de Grésillon (CIEH-EIER) et de Gottschalk. Elles sont présentées comme suit :

❖ **Grésillon (CIEH-EIER)**

$$D = 700 \times \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} \times S^{-0,1} \text{ et } V_T = S \times D$$

❖ **Gottschalk**

$$D = 260 \times S^{-0,1} \text{ et } V_T = S \times D$$

Avec :

- D : Dégradation spécifique annuelle ($m^3/Km^2/an$)
V_T : Le volume annuel de dépôts solide (m^3/an)
S : La superficie du bassin versant (Km^2)
P : La pluviométrie moyenne annuelle (mm)

De façon pratique nous proposons les approches ci-après :

- Disposer d'un levé bathymétrique du lac à une période antérieure, qu'il est possible de comparer avec un nouveau levé bathymétrique réalisé en 2018. La différence représente les dépôts solides ;
- Disposer des résultats de mesure directe (fosse et tarière) sur le terrain avec intégration de la télédétection et les systèmes d'information géographiques afin d'identifier les zones à risques de dégradation forte.

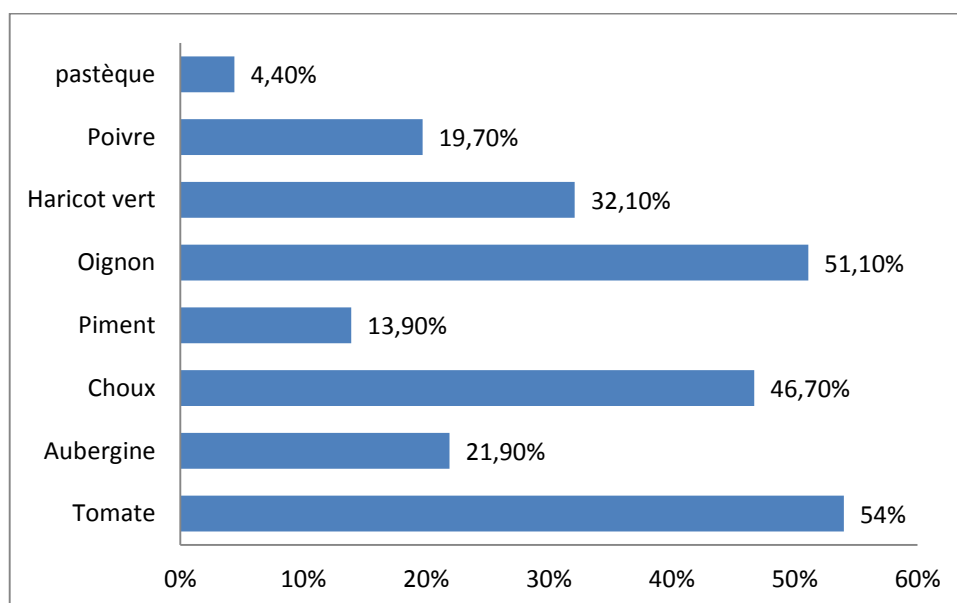
IV.2.3. Détermination et quantification de tous les usages de l'eau

Dans cette partie, nous aurons à estimer le volume de tous les usages de la retenue du lac Dem. Ces données nous permettront de tracer la courbe d'exploitation de la retenue. Les enquêtes de terrain ont permis d'avoir les informations sur les différents usages de l'eau de la retenue du lac Dem. Il s'agit des prélèvements d'eau pour les besoins en agriculture, en consommation humaine et abreuvement du cheptel. Pour évaluer ces volumes, nous avons adopté la démarche suivante :

- une recherche documentaire : le document utilisé est celui du plan de développement de la commune (2017) et RGPH 2001. Cela nous a permis d'obtenir des informations sur l'évolution de la population de la zone d'étude ;
- la visite de terrain : elle a permis d'obtenir des informations sur le type de culture pratiquée dans la zone ;
- la collecte de données : il s'agit des données de prélèvements d'eau brute dans le lac par la station de pompage de Kaya ;
- l'utilisation de Google Earth pour l'extraction des données des superficies irriguées au niveau du lac Dem.

IV.2.3.1. Evaluation des besoins en eau pour l'agriculture

Du point de vue cultures irriguées, les activités concernent le maraîchage. Les principaux produits sont : tomates, oignons, choux, aubergines, poivrons, piments, pastèque bananes et courgettes (très récemment). La figure 5 fait l'état des cultures maraîchères produites en 2018 dans la zone du lac Dem.



Source : CINTECH, 2018

Figure 5 : Etat des cultures maraîchères produites dans la zone du lac Dem en 2018

Cette figure montre que le chou, l'oignon et la tomate sont les spéculations les plus cultivées aux alentours du lac Dem. Nous en tiendrons compte pour le choix de la culture la plus contraignante dans le calcul théorique des besoins de consommation de la plante.

Pour évaluer les besoins en eau agricole nous avons procédé de la manière suivante :

- Le choix de la culture la plus contraignante
- Le calcul des besoins nets de la plante.

Les données de superficies emblavées pour l'irrigation qui ont été mises à notre disposition ont été répertoriées dans le tableau 03.

Tableau 3: Etat des lieux des périmètres irrigués autour du lac Dem

Année	Surface (ha)
1990	175
1992	218,75
2002	290,3
2012	310,93
2018	448,55

Source : COGEL, 2014

La zone du lac Dem dispose d'un potentiel en terre aménageable de 600 ha (COGEL, 2014). L'objectif de cette étude est de quantifier le volume d'eau prélevé pour l'agriculture depuis la réfection du seuil. Pour obtenir les superficies emblavées des autres années manquantes, nous avons délimité ces zones à l'aide de Google Earth.

IV.2.3.2. Détermination des besoins en eau de consommation humaine

L'évaluation de l'AEP s'est axée sur l'alimentation en eau de la population de Kaya à partir du lac Dem. Une collecte de données a été faite auprès de la station de traitement d'eau de Kaya dans l'optique d'avoir des informations sur les prélèvements du lac depuis sa mise en service en (2010).

IV.2.3.3. Détermination des besoins en eau pour l'abreuvement du cheptel

L'estimation des prélèvements en eau pour l'abreuvement du cheptel est faite sur la base des consommations spécifiques suivantes : **38 l/UBT/j** pour les bovins et **7 l/UBT/j** pour les caprins et ovins (WARD & MCKAGUE, 2007).

IV.2.4. Estimation des pertes

Après avoir quantifié tous les usages de la retenue d'eau, nous procédons à l'estimation des pertes. Il s'agit des pertes par évaporation et par infiltration.

❖ Pertes par évaporation

Ne disposant pas des données d'évaporation directe du plan d'eau, le calcul d'évaporation du plan d'eau libre se fera à partir des mesures d'évaporation au bac « Classe A » de la station synoptique de Ouagadougou et de la relation de B. POUYAUD (GUEYE, 2005). L'équation suivante permet de calculer l'évaporation du plan d'eau libre à partir de la relation de POUYAUD :

$$E_{ret} = 1,664 (E_{bacA})^{0,602} \begin{cases} E_{ret} : & \text{Evaporation dans la retenue (mm)} \\ E_{bacA} = & \text{Evaporation sur le bac classe A (mm)} \end{cases}$$

❖ Pertes par infiltration

L'infiltration moyenne au Burkina Faso est comprise entre 1 et 5 mm (GUEYE, 2012)

Par souci de sécurité, nous avons employé la valeur de 2,5mm/j en moyenne. En saison des pluies, l'infiltration sera compensée et les pertes ne seront donc à considérer que pendant les 212 jours de saison sèche, soit une hauteur annuelle de **530 mm**.

IV.2.5. Analyse de la courbe d'exploitation de la retenue du lac Dem

L'objectif de cette étude est de voir si le volume d'eau contenu dans du lac Dem arrive à satisfaire les besoins en eau de consommation de la population. Les paramètres utiles pour cette étude sont :

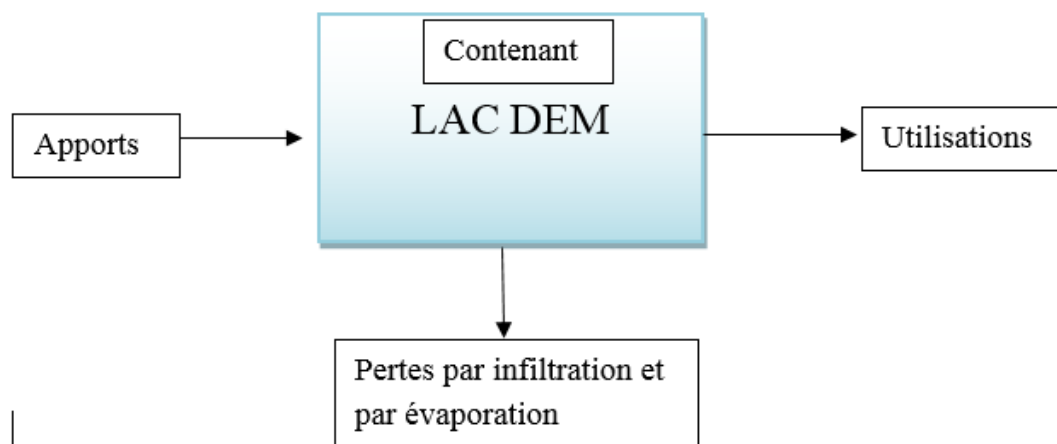
- Les pertes mensuelles par évaporation et par infiltration ;
- Des besoins en eau de consommation par mois pour l'irrigation, l'AEP et le cheptel ;
- La capacité utile de la retenue d'eau.

IV.2.6. Vérification des hypothèses

L'objectif de cette partie est de voir si chacune des hypothèses posées est vérifiée afin de proposer une solution au problème posé plus haut. Pour atteindre cet objectif nous allons étudier trois scénarii.

❖ Le scénario 1 ou vérification de l'hypothèse 1 (H1)

Il s'agira de vérifier si les apports sont suffisants pour remplir le contenant du lac Dem en considérant le système stockastique suivant :



Les principales composantes intervenant dans cette étude sont :

- Les apports en eau venant du bassin versant : évalués à partir des méthodes empiriques de Rodier et Vuillaume-Guillaume ;
- La capacité maximale de la retenue : déduite à partir des levés bathymétriques réalisés en 2018.

❖ Le scénario 2 ou vérification de l'hypothèse 2 (H2)

Il s'agira de faire l'étude et l'analyse de l'impact de l'envasement sur la capacité de la retenue d'eau. Cette étude passe nécessairement par la connaissance du volume de vase déposé depuis la réfection du seuil déversoir en 1990 jusqu'à nos jours et la capacité utile de la retenue.

L'objectif de cette étude est de savoir quelle mesure adoptée au cas où l'envasement contribue grandement à la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem.

Les principales composantes intervenant dans cette étude sont :

- Les apports en eau en année moyenne sont suffisants pour remplir la cuvette de la retenue ;
- Le volume de vase déposé dans le lac depuis la réfection du seuil : obtenu en appliquant les formules théoriques empiriques et à partir des données bathymétriques du terrain.
- La capacité maximale de la retenue

La simulation nous permettra de tracer et analyser la courbe de décroissance de la capacité de la retenue du lac Dem en fonction dû à l'envasement de 1990 à 2018.

❖ **Le scénario 3 ou vérification de l'hypothèse 3 (H3)**

Il s'agira de faire l'étude et l'analyse de l'impact de la pression d'utilisation sur la capacité de la retenue. Pour cela nous allons tracer la courbe d'évolution des prélèvements dans le lac depuis la réfection du seuil jusqu'en 2017. Les principales composantes à prendre en compte sont :

- La quantification du volume d'eau prélevés dans le lac ;
- La capacité utile de la retenue du lac Dem.

Nous considérerons les hypothèses de calcul suivantes :

- Le taux d'accroissement du cheptel est constant ;
- Les apports en eau en année moyenne sont suffisants pour remplir la cuvette de la retenue ;

La simulation nous permettra de tracer et analyser la courbe de décroissance de la capacité de la retenue du lac Dem en fonction des prélèvements de 1990 à 2018.

❖ **Scénario 4 ou vérification de l'hypothèse 4 (H4)**

L'objectif de cette l'étude est d'analyser l'impact de la combinaison insuffisance des apports en eau, pression d'utilisation d'eau et envasement dans la retenue du lac Dem sur la capacité de la retenue. Il s'agira de faire une analyse et interprétation des courbes d'évolution de ses principales composantes sur la retenue du lac Dem.

❖ **Analyse prospective des scénarii d'étude sans projet d'aménagement**

L'objectif de cette partie est d'analyser les impacts de l'envasement et de la pression d'utilisation de la retenue à long terme si rien n'est fait. Les hypothèses entrant dans le cadre de cette étude sont :

- Le taux d'accroissement du cheptel est constant ;
- Le taux d'extension des superficies emblavées est constant est égal à 5%.

❖ Schéma récapitulatif de l'étude des scénarii



Figure 6 : Schéma récapitulatif de l'étude des scénarii

IV.3. Proposition de solution pour l'augmentation de la capacité de la retenue du lac Dem

Il s'agira dans cette partie au regard des résultats des différents scénarii, proposer une solution pour la restauration de la capacité du lac Dem. Ainsi, nous avons exploité le logigramme suivant :

Conditions	Méthodes proposées	Avantages	Inconvénients
Si H2 positif	Curage du lac <u>Dem</u> : • Dragage • Décapage	Augmentation de la capacité	• Très coûteux • Non maîtrisée
Si H3 positif	• Rehaussement de la digue	• Augmentation de la capacité • Coût acceptable	• Risque d'inondation des terres agricoles • Augmentation de l'évaporation
Si H4 positif	Curage du lac <u>Dem</u> : • Dragage • Décapage	Augmentation de la capacité	• Très coûteux • Non maîtrisée
	• Rehaussement de la digue	• Augmentation de la capacité • Coût acceptable	• Risque d'inondation des terres agricoles • Augmentation de l'évaporation

Figure 7 : Logigramme de proposition de solution pour l'augmentation de la capacité de la retenue du lac Dem

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

V.1. Etat diagnostic de la zone du lac Dem

V.1.1. Résultat des enquêtes terrain

❖ Genre des personnes enquêtées

Parmi les 146 ménages enquêtés, 55% des personnes étaient des femmes et 45% étaient des hommes. Cette tendance de la population traduit l'importance des activités ménagères mais surtout le fait que les femmes constituent la franche de la population qui reste pour la plupart du temps dans les ménages.

❖ Taille des ménages

Les tailles des ménages varient de deux (4) personnes à dix-huit (20) personnes. Ces tailles sont présentées dans la figure 8 selon les proportions suivantes :

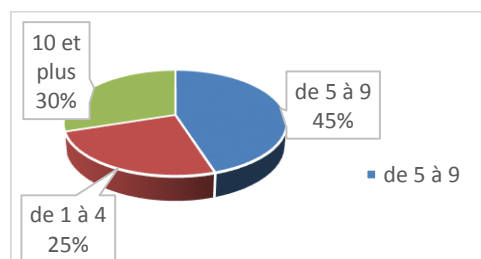


Figure 8 : Taille des ménages

Les ménages de moins de cinq (5) personnes sont les moins nombreux et constituent 25% de l'échantillon enquêté tandis que les ménages de plus de (10) personnes représentent 30% de cet échantillon. Les ménages comptant entre cinq (5) et neuf (9) personnes sont les plus nombreux avec 45% de la population enquêtée.

❖ Répartition suivant l'activité des personnes enquêtées

Les résultats de la collecte des données révèlent que 97,2% de la population interviewés sont des agriculteurs, 58,4% sont des éleveurs, 2,1% sont des commerçants et 2,2% sont des Artisans et 0,7% sont des retraités.

❖ Statut d'occupation des sols

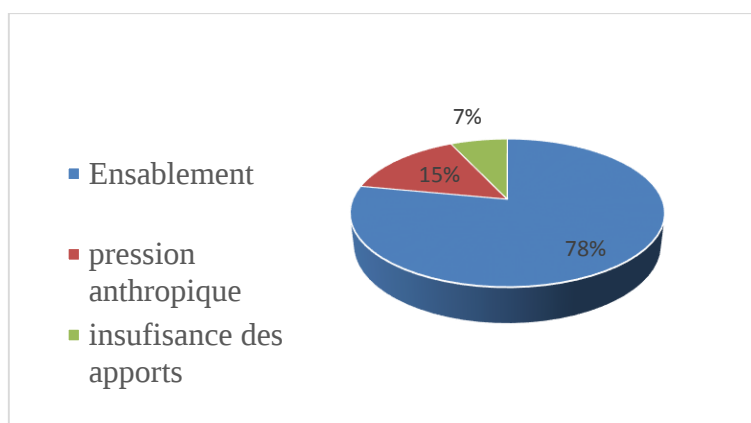
Dans l'aire de la zone du Lac Dem, nous pouvons identifier des exploitants ayant hérité des terres des parents ou des arrières grands parents (49%), des propriétaires fonciers (28%), des exploitants fonciers (23%), c'est-à-dire des travailleurs qui y exercent sans être propriétaires et enfin des traces d'exploitants ayant acquis le domaine par achat.

❖ Répartition des outils utilisés

La collecte des données organisée auprès des ménages résidents dans la zone du lac a révélé que les producteurs dans leur majorité (72%) utilisent toujours et encore la daba. Cependant nous ne perdrons pas de vue qu'un grand nombre de ces mêmes producteurs 68,6% disposent de charrues et leur utilisation présage de bons rendements dans les périmètres. Dans la même veine on dénote l'utilisation des motopompes par 27% des producteurs interviewés et avec seulement 5% d'entre eux qui disposent de charrettes pour le transport de la matière première et de la production.

❖ Point de vue des enquêtés sur les dangers qui menacent la survie de la retenue du lac Dem

Les enquêtes ont révélé que le lac Dem a perdu plus de la moitié de sa capacité entraînant ainsi un tarissement rapide de la retenue en saison sèche. La figure 9 présente les résultats des avis des enquêtés sur les causes de la réduction du lac Dem.



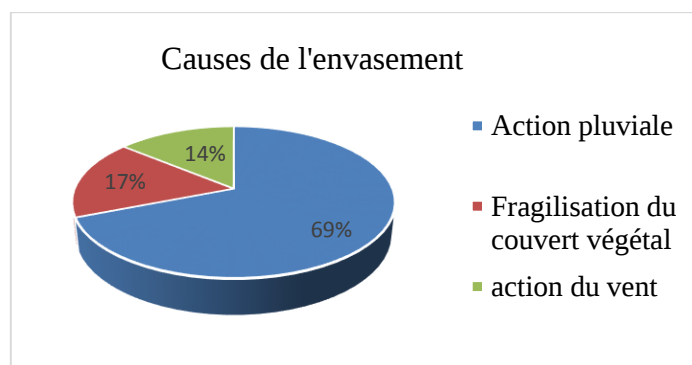
Source : Données d'enquêtes, Mars 2018, ILBOUDO Diane Fabienne

Figure 9 : Résultat des enquêtes sur les causes de réduction de la capacité du lac Dem

Ainsi la majorité des enquêtés pense que la réduction de la capacité du lac Dem est dû à l'envasement.

❖ Perception paysanne sur l'envasement de la retenue

L'ensablement de la retenue est un fait incontestable selon les enquêtés. En effet, sur l'ensemble des ménages interrogés, 78% trouvent que la profondeur de la retenue d'eau a diminuée en raison de l'importance des dépôts. Cette tendance trouve une certaine crédibilité dans le fait que l'ensemble des pêcheurs interrogés, qui connaissent mieux les fonds du barrage, admettent cette diminution. Plusieurs facteurs, selon les populations, expliquent cette situation. Les causes du phénomène sont assez bien perçues par les exploitants de la retenue. Les résultats des enquêtes sur les causes de l'envasement sont présentés sur la figure 10.



Source : Données d'enquêtes, Mars 2018, ILBOUDO Diane Fabienne

Figure 10 : Causes de l'envasement de la retenue selon les enquêtés

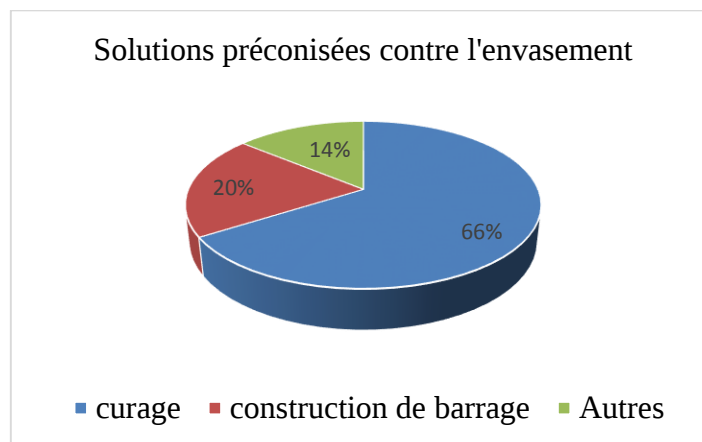
En effet, la fragilisation des sols est liée d'une part à la faible couverture et d'autres parts aux activités agricoles et pastorales qui se distinguent par leur méthode de production extensives.

❖ Perception paysanne sur les enjeux de l'envasement de la retenue

Pour les populations du bassin versant du lac Dem, l'ensablement reste un problème grave qui doit retenir l'attention de tous. Ses conséquences sur le long terme sont :

- Le comblement de la retenue ;
- La baisse de la capacité de stockage ;
- Le blocage des activités de contre-saison ;
- Grosse perte pour la région.

Face à cette situation, la majorité des populations trouvent qu'il faut désensabler lac Dem pour augmenter sa capacité. La figure 11 présente le résultat des enquêtes sur les solutions préconisées contre l'envasement.



Source : Données d'enquêtes, Mars 2018, ILBOUDO Diane Fabienne

Figure 11 : Solutions préconisées contre l'envasement proposées par les enquêtés

V.1.2. Résultat du diagnostic par la méthode de caractérisation visuelle

L'observation terrain a permis de recenser les problèmes suivants :

- un ensablement continu du lac (h) ;
- une dégradation des berges et de l'environnement du lac Dem (i)
- une dégradation de la forêt classée du lac Dem (j);
- l'érosion des sols dans les environnants du lac Dem (k) ;
- une mauvaise gestion de la ressource eau (l) ;
- une forte pression d'utilisation de la ressource qui est marquée par la présence de plusieurs parcelles culturales, la présence anarchique d'animaux sur les berges du lac et le pompage en mode non-stop dans la retenue du lac par l'ONEA Kaya.



(h) : Dépôt considérable à l'aval du seuil du lac Dem , juin 2018



(i) :Quasi absence de la végétalisation des berges du lac, juin 2018



(j): Déboisement de la forêt du lac Dem

	
(k) sols dénudés dans les environs du lac	(l) : Pompage de l'eau non contrôlé et non réglementé

Selon l'avis des techniciens, les causes de l'ensablement, de l'érosion des sols et de la dégradation de l'environnement du lac Dem sont :

- L'occupation anarchique des terres par les exploitants qui contribue considérablement à l'ensablement du lac (m) ;
- L'utilisation d'outils et matériels inadaptés pour l'irrigation des parcelles (n) ;
- Les techniques et moyens d'irrigation inadaptés pour une gestion optimale de la ressource eau (o)
- La coupe abusive du bois (p);
- La présence de sites aurifiques et exploitation d'agrégats dans un ravin (en amont et à proximité de la retenue (q) et,
- L'extension des superficies cultivables.



(m) l'occupation anarchique des terres par les exploitants pour l'agriculture : nombreux sont les exploitants qui ne respectent pas la bande de servitude qui est d'environ 100m du lac (*loi agraire, 1992, révisé 2012*).



(n) :Motopompe et pompe manuelle destinées à l'irrigation des parcelles



(o) :Irrigation par siphonnage



(p) Coupe abusive du bois



(q) : Exploitation d'agrégats dans un ravin (en amont) et présence de sites aurifiques à proximité de la retenue

Les conséquences directes sur la retenue et sur la population riveraine sont :

- la réduction de la capacité de la retenue du Lac qui va entrainer un manque d'eau en saison sèche et à la longue la baisse de la productivité agricole ;
- Les inondations fréquentes pendant la saison des pluies entrainant des pertes agricoles ainsi qu'un faible rendement agricole
- Les risques de pollution de l'eau du lac Dem et de risques de contamination des eaux de surface et des nappes souterraines

- La disparition progressive du massif et de sa diversité floristique
- Les conflits fonciers ;
- Les risques Le paludisme, les maladies diarrhéiques et risque d'épidémie et
- La perte des habitats et de la biodiversité animale et végétale.

V.1.3. Discussion des résultats de l'état diagnostic du lac Dem

A l'issu de ce diagnostic, il ressort que la retenue du lac Dem est fortement menacée par plusieurs facteurs qui pourraient engendrer sa dégradation irréversible si rien n'est fait. Une analyse globale de ces résultats permet de conclure que les déterminants de la réduction de la capacité de sa retenue sont principalement :

- L'ensablement de la retenue qui ne fait que combler la retenue ;
- Et l'action anthropique sur la retenue (prélèvements dans la retenue).

V.2. Analyse des déterminants de la réduction de la capacité du lac Dem

L'objectif de cette étude est de vérifier si les hypothèses posées plus haut sont vérifiées. Il s'agit de montrer si la réduction progressive de la capacité de la retenue est réellement liée :

- A l'insuffisance des apports en eau venant du bassin versant ;
- A l'envasement de la retenue
- A la forte pression d'utilisation
- Ou à la combinaison des trois facteurs.

Pour atteindre cet objectif, nous avons d'abord procédé à la caractérisation du bassin versant de la retenue.

V.2.1. Caractérisation du bassin versant du lac Dem

Sur le plan national, le bassin versant du lac Dem appartient au bassin versant du Nakanbé¹. Le seuil déversoir représente l'exutoire du bassin versant du lac Dem.

¹ Le bassin du Nakanbé couvre une superficie de 57 970 km² sur toute la partie centrale et le nord du plateau mossi et ne coule que pendant la saison des pluies. En juillet-août, les débits deviennent permanents à la station de Wayen, se renforcent vers l'aval pour atteindre Bagré et reçoivent à la sortie du territoire, la Nouhao. Les tarissements sont très rapides avec un débit nul début novembre à Wayen et début Décembre à Bagré.

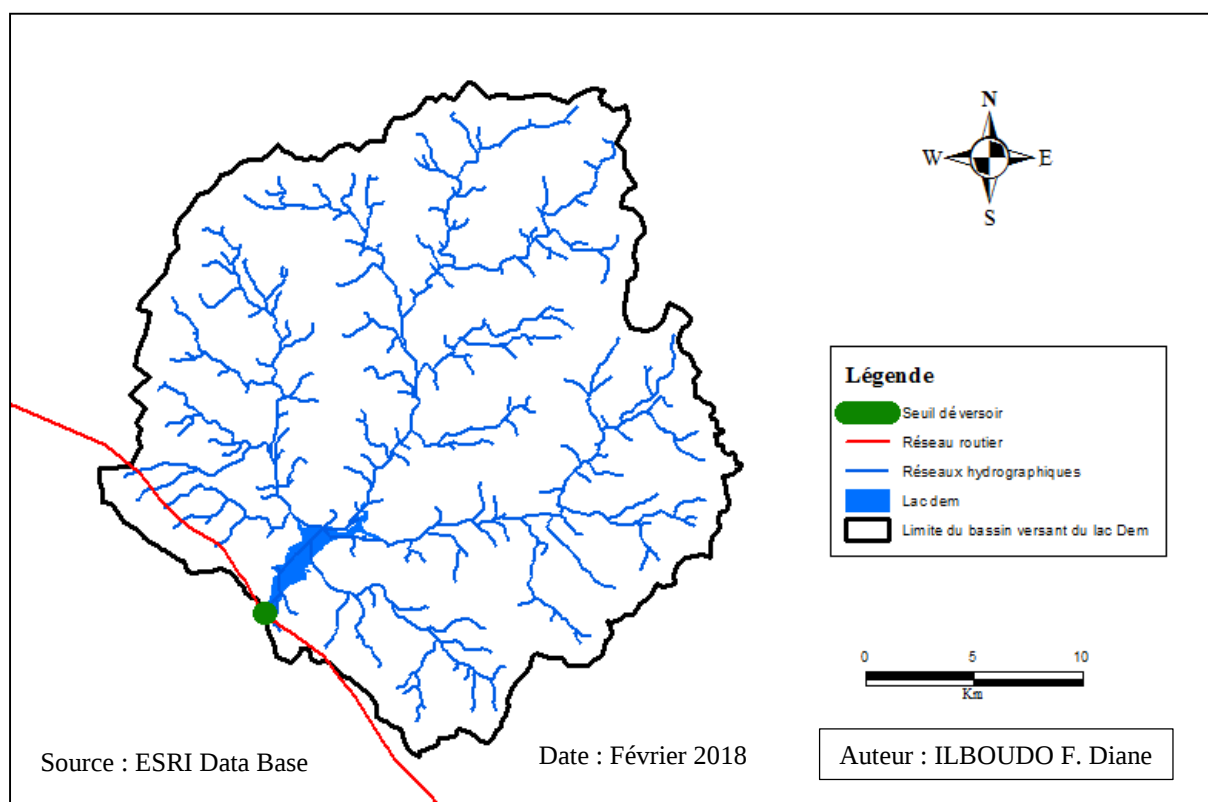


Figure 12 : Délimitation du bassin versant du lac Dem

Les principales caractéristiques du bassin versant calculées à l'aide des formules empiriques ou mesurées directement sur le logiciel Global Mapper sont consignées dans le tableau 04.

Tableau 4 : Caractéristiques du bassin versant du lac Dem.

Climat	Sahélien
Pluie moyenne annuelle (mm)	558
Classe de perméabilité	RI (P3)
Surface(Km^2)	582,74
Périmètre (Km)	116,83
Typologie du bassin versant suivant la taille	Grand bassin versant
Typologie du réseau hydrographique	Dendritique
Coefficient de compacité de Gravelius	1,37
Longueur du rectangle équivalent (Km)	45,7
Largeur du rectangle équivalent(Km)	12,8
Indice global de pente (m/Km)	1.07

Indice global de pente corrigé (m/Km)	2.09
Dénivelée spécifique (m)	50,45
Densité de drainage	0,69
Forme du bassin versant	Forme allongée car $K_G > 1$
Typologie du relief	Relief modéré car $50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
Pente du lit (0,89%)	faible

Les détails de calculs sont présentés en annexe II-5.

La courbe hypsométrique (Figure 13) montre la répartition de la superficie du bassin versant en fonction de l'altitude. Elle donne une vue synthétique de la pente du bassin versant, donc du relief. Ceci permet de se faire une idée de comment les écoulements se feront jusqu'à l'exutoire.

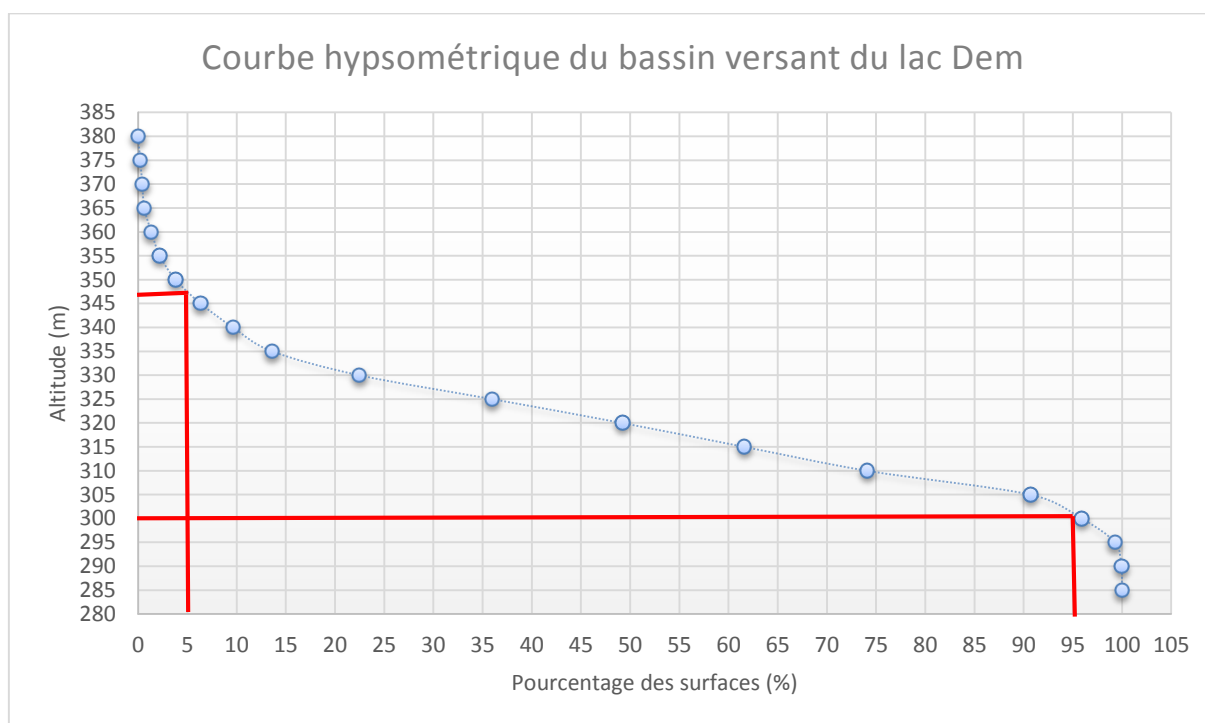


Figure 13 : Courbe hypsométrique du bassin versant du lac Dem

V.2.2. Résultat de l'analyse statistique des données pluviométriques

❖ Analyse de la répartition mensuelle de la pluviométrie dans le lac Dem

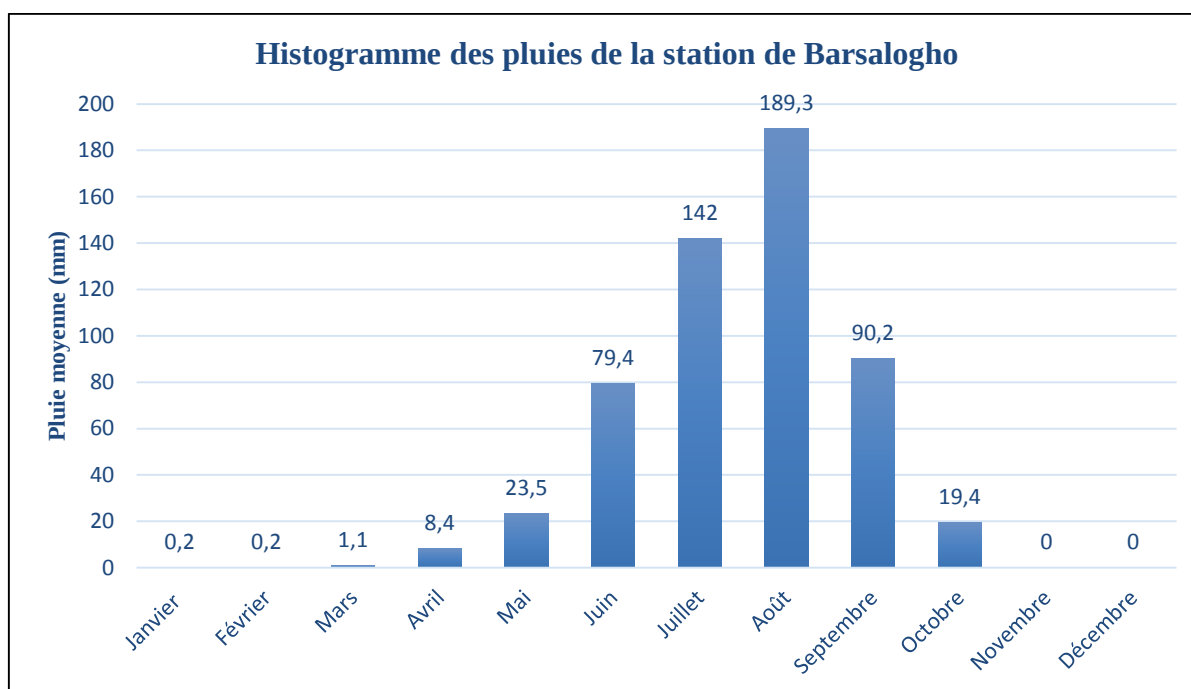


Figure 14 : Répartition mensuelle de la pluviométrie dans le lac Dem (1980-2016).

Le graphique montre que les maximas sont atteints dans le mois d’Août. La valeur moyenne interannuelle est de 558 mm.

❖ Analyse fréquentielle des données pluviométriques

L’analyse statistique des pluies annuelles au poste de Barsalogho a été faite par la loi normale qui s’est avérée fournir le meilleur ajustement. Tandis que celle des pluies journalières a été faite par la loi de Gumbel qui s’est avérée fournir le meilleur ajustement. Les résultats des ajustements effectués sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Pluviométrie annuelle en fonction des périodes de retour

	Période humide					Période sèche			
Période de retour (ans)	100	50	10	5	2	100	50	10	5
Pluies annuelles (mm)	885	847	739	677	558	231	270	378	440
Pluies max journalières (mm)	103	98,5	84,4	76,3	61	18,5	23,5	37,6	45 ,6

L'analyse pluviométrique montre que la pluviométrie annuelle est de 558mm en année moyenne (période de retour de 2 ans). Les étapes et détails d'analyse statiques des données pluviométriques sont présentés en annexe.

V.2.3. Détermination de la crue de projet

Les résultats des débits de crues sont consignés dans le tableau suivant (le détail des calculs est en annexe II-6 :

Tableau 6 : Débits décennaux et centennaux de projet

CIEH	ORSTOM	GRADEX
Q10(m3/s)	Q10(m3/s)	Q100(m3/s)
68.79	69,96	213,26

V.2.4. Evaluation des apports en eau

L'évaluation des apports liquides sur le bassin versant du lac Dem a été faite à partir des méthodes de Rodier et Vuillaume-Debreuil.

Les paramètres entrant dans le cadre du choix du bassin type sont :

- La superficie du bassin versant (Km^2) : – **$S_{BV} = 582,74(Km^2)$**
- Dénivelée spécifique (m/km) : – **$D_S = 50,45$**
- La densité de drainage (m/km²) : – **$D_d = 0,69$**
- Type de sol : – **Argilo-sableux**
- Climat : – **Type sahélien, semi-aride**

Le bassin versant type retenu est celui de Féléol (Oudalan - Burkina Faso, 1964) avec les caractéristiques suivantes : $S = 400 Km^2$; $P_{med} = 550mm$ et $K_{med} = 6\%$; pente faible, réseau hydrographie mal marqué ; forte proportion de sols argileux et argilo-sableux.

Le tableau (7) présente l'estimation des apports en eau par la méthode de Rodier.

Tableau 7 : Estimation des apports en eau par la méthode de Rodier.

Période humide				T (ans)	Période sèche			
Fréq	Pluie (mm)	Ke (%)	Volume (m3)		Volume (m3)	Ke (%)	Pluie (mm)	Fréq
0,98	847	13,2%	65 152 662,96	50	7 552 310,40	4,8%	270	0,02
0,9	739	3,9%	16 665 956,08	10	9 912 407,40	4,5%	378	0,1
0,5	558	10%	32 516 892,00	2	32 516 892,00	10%	558	0,5

L'application de la méthode Vuillaume-Debreuil en région de steppe semi-aride (400 À 650 mm), nous a permis d'avoir les résultats suivants :

Tableau 8 : Estimation des apports en eau par la méthode de Vuillaume-Debreuil

S= 582,74 Km2	Période humide			Période sèche		
Période de retour	Ke (%)	Pluies (mm)	Volume des apports	Ke (%)	Pluies (mm)	Volume des apports
50	14%	847	69 101 309,20	14%	270	22 027 572,00
10	14%	739	60 290 280,40	14%	378	30 838 600,80
2	14%	558	45 523 648,80	14%	558	45 523 648,80

En année moyenne, les apports sont estimés à **32 516 892,00m3** selon la méthode de Rodier tandis qu'ils sont à **45 523 648,80** selon la méthode de Vuillaume-Debreuil. Les apports selon Vuillaume-Debreuil dépassent ceux de Rodier d'environ 20%. Nous retiendrons donc les résultats de la méthode de Rodier en considérant les conditions les plus défavorables.

V.2.5. Evaluation des apports solides

a) Résultat des calculs théoriques

Après évaluation des apports solides à partir des formules empiriques, nous obtenons les résultats suivants :

Tableau 9 : Evaluation des apports solides à partir des formules empiriques

	Méthode de Grésillon	Méthode de GOTTSCALK
Densité spécifique (m3/km2/an)	290,864	137,539
Volume d'apport solide (m3/an)	169497,836	80149,477
Volume retenu (m3/an)	169497,836	

Les détails de calcul des apports solides sont présentés en annexe III-2.

En supposant que le taux d'envasement moyen est constant et que l'année 1990 (année de réfection du seuil déversoir) est la date de référence pour l'étude d'envasement du lac Dem, le volume théorique de dépôt solide serait estimé à **4 745 939,42 m³** en fin 2017.

b) Résultat des levés bathymétriques

En outre, la confrontation des résultats des levés bathymétriques de 1990 et 2018 révèle les informations suivantes :

Tableau 10 : Données résultant des levés bathymétriques de 1990 et de 2018

Caractéristiques	1990	2018
Superficie max du plan d'eau	7 500 000 m2	6 105 200 m2
Volume max du plan d'eau	13 200 000 m3	7 780 865,00 m3
Côte déversoir	294,93 m	295,00 m
Source	COWI, 2004	CINTECH, 2018

Au regard de ces valeurs, nous déduisons que le lac Dem a perdu environ **5 419 135,00** de mètre cube soit 40% de sa capacité initiale. Ce résultat fait ressortir l'ampleur du phénomène d'envasement dans la retenue. En effet, 28 ans après la réfection de la digue (1990-2018), le volume de rétention ne représente que 60% de la capacité initiale de stockage. Aussi, en tenant compte de l'importance de la dégradation spécifique moyenne du bassin versant (214,2 m3/Km2/an), la cuvette risque d'être complètement comblée dans 40 ans sous l'effet de l'envasement si rien n'est fait.

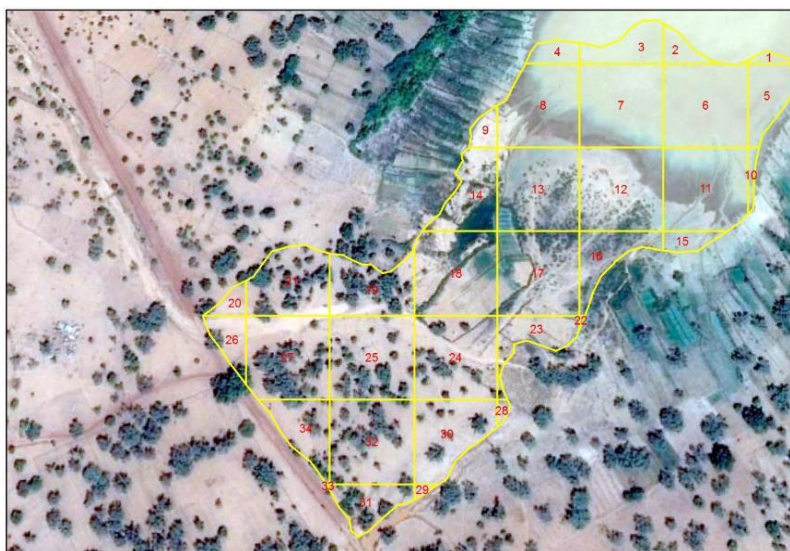
c) Résultat des mesures directes sur le terrain

Une mission effectuée sur le terrain a permis de constater une présence de croute de décantation caractéristiques de matériaux très fins d'environ 5 à 6cm à l'amont et d'une épaisseur de dépôt sableur plus important (1m) à l'aval. C'est ainsi que dans ces zones de dépôt, il a été décidé un maillage (figure15) de 100m*100m dans lesquelles des fosses ont été ouvertes pour effectuer des mesures d'épaisseur. Il en ressort que l'envasement du lac se manifeste principalement sur la rive droite et surtout à l'aval. Trois sites potentiels ont été identifiés selon les localités. Il s'agit des villages de Dem, de Dembila Mossi et de Zorkoum. Les volumes calculés donnent le résultat suivant :

Tableau 11 : Résultat des mesures par sondages sur les sites de Dem, Dembila Mossi et Zorkoum

Sites	Superficie (m2)	Volume (m3)
Dem	97830,16	159575,92
Dembila Mossi	137945,35	143651,59
Zorkoum	179511,74	296509,83
Total	415287,25	599737,34

Source : Cintech, 2018.



Source : Cintech, 2018.

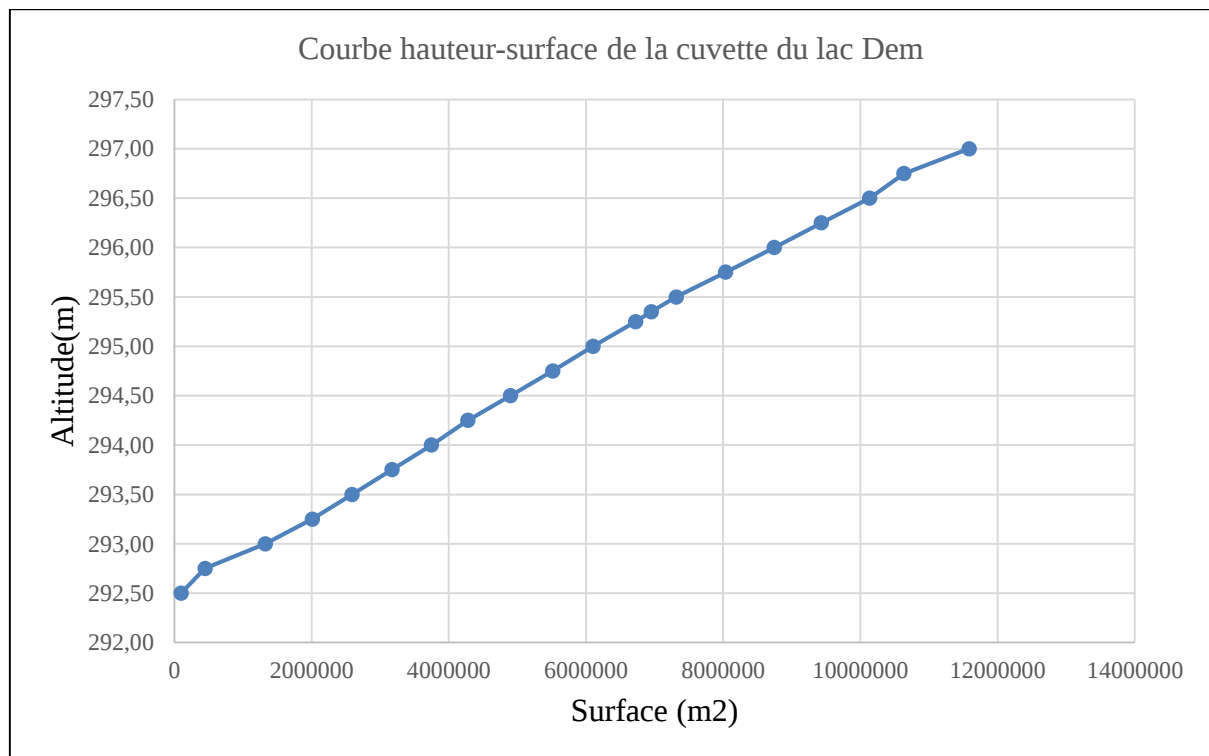
Figure 15 : Site d'ensablement de Zorkoum

d) Conclusion de l'analyse des apports solides

Le volume théorique calculé à partir des formules empiriques est évalué à **4745939,42 m³** en 28 ans tandis que la valeur obtenue à partir des données bathymétriques de 1990 et 2017 est de **5419135,00 m³**. En considérant ces données, la capacité actuelle de la retenue ne représente que 60% de sa capacité initiale. Aussi avec les résultats des mesures de sondage (**599737,34m³**) nous pouvons conclure que l'hypothèse H2 disant que la réduction de la capacité de la retenue d'eau est dû à l'envasement est vérifiée.

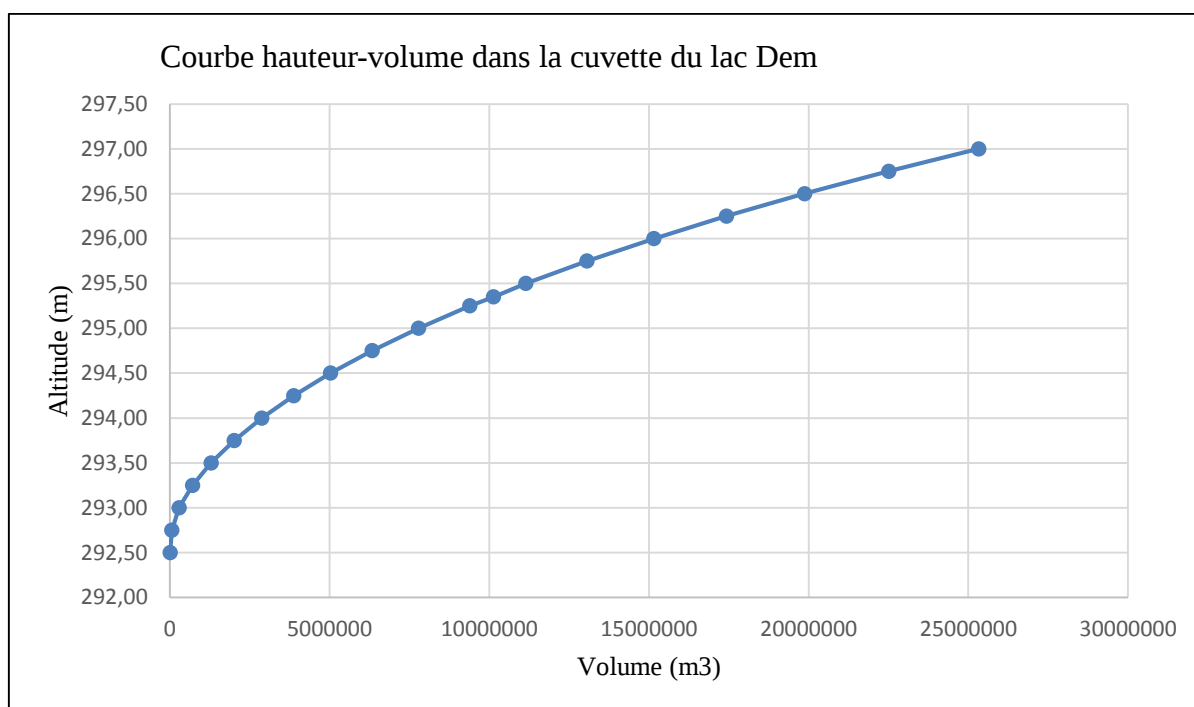
V.2.6. Caractérisation complète de la retenue du lac Dem

Les levés bathymétriques réalisés en 2018 ont permis de reconstituer les courbes hauteur-surface et hauteur-volume.



Source : Cintech, 2018.

Figure 16 : Courbe hauteur-surface actualisée du lac Dem



Source : Cintech, 2018.

Figure 17 : Courbe hauteur-volume actualisée de la retenue du lac Dem

A partir de ces données nous déduisons les caractéristiques suivantes de la retenue du lac Dem en 2018 :

Tableau 12: Caractéristiques du lac Dem en 2018.

Bathymétrie	Côte dev	Surface max du plan d'eau (m2)	Capacité maximale (m3)	Profondeur maximale (m)
2018	295 (m)	6 105 196,42	7 780 865,15	3,15

L'étude des apports en eau du bassin versant, précédemment abordée dans l'étude hydrologique, permet de conclure que les conditions de remplissage de la cuvette sont satisfaisantes. Nous déduisons donc que l'hypothèse H1 n'est pas vérifiée.

V.2.7. Détermination et quantification des usages de l'eau du lac Dem

Il s'agit d'évaluer le volume des différents prélèvements d'eau dans la retenue. L'objectif de cette étude est d'analyser l'impact de la pression d'utilisation sur la capacité de la retenue d'eau.

a) Evaluation des besoins en eau pour l'irrigation

❖ Choix de la culture pour le calcul des besoins en eau

L'état des cultures maraîchères pratiquées montre que l'oignon, le chou et la tomate sont les plus cultivées dans ladite zone. Cependant, nous retiendrons l'oignon qui représente 51,1% (figure 2) des superficies emblavées pour l'évaluation des besoins en eau car considéré comme la plante la plus contraignante.

❖ Calcul des besoins en eau mensuels de la plante

D'après les enquêtes sur terrain, les prélèvements d'eau dans la retenue pour l'irrigation commencent de façon sensible le 1er novembre, date de début des cultures de contre saison. Le résultat du calcul des besoins en eau de la plante est consigné dans le tableau 13.

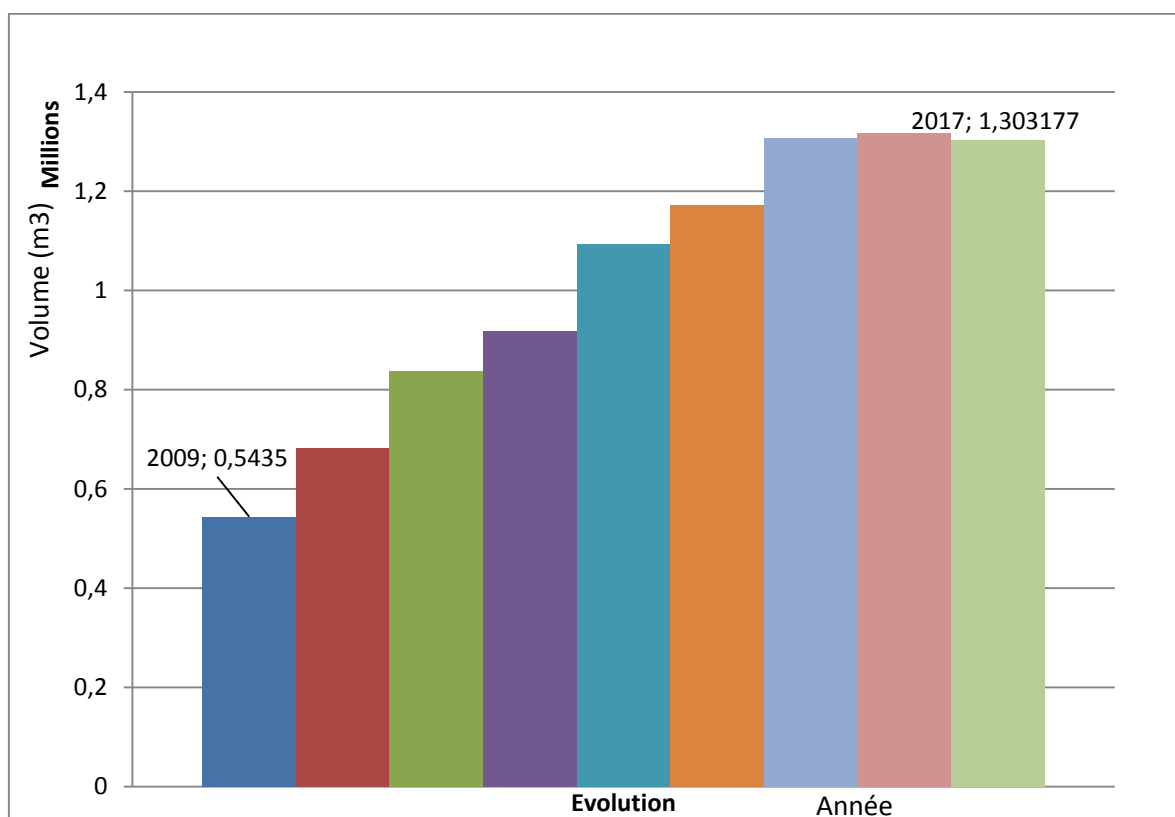
Tableau 13 : Résultat du calcul des besoins mensuels de la plante

Mois	novembre	décembre	janvier	février	mars
Nombre de jours (j)	30	31	31	28	31
Kc équivalent	0,63	0,89	0,99	0,88	0,81
EbacA (mm/mois)	236,53	247,21	260,31	279,95	342,43
EbacA (mm/j)	7,88	7,97	8,40	10,00	11,05
ETO (mm/j)	4,73	4,78	5,04	6,00	6,63
ETM (mm/j)	2,96	4,27	4,99	5,25	5,38
ETM (mm)	88,70	132,30	154,80	146,98	166,85
P (mm/j)	0	0	0,2000	0,20	1,10
Pe (mm)	0	0	0,12	0,12	0,66
ETM-Pe (mm)	88,70	132,30	154,68	146,86	166,19
Besoins nets (m ³ /ha)	887,00	1322,95	1546,80	1468,55	1661,94

Le détail des calculs est présenté en annexe III-3.

b) Besoins en eau pour consommation humaine

Les données de prélèvement d'eau par l'ONEA pour l'AEP Kaya nous permettent de tracer la courbe d'évolution des besoins en eau (figure 18) de consommation de la population depuis la mise en service de la station jusqu'à maintenant.



Source : ONEA Kaya, 2018

Figure 18: Histogramme de volume d'eau prélevé au niveau du lac Dem pour l'AEP Kaya

Cette courbe présente une forte augmentation du volume d'eau prélevé au sein du lac Dem d'année en année pour l'AEP Kaya depuis la mise en service de la station. Nous constatons que les prélèvements ont presque doublé pour atteindre **1 303 177m3** en 2017.

c) Besoins en eau du cheptel

L'évaluation des besoins en eau pour le cheptel a conduit aux résultats consignés dans le tableau (14) :

Tableau 14: Consommation mensuelle du cheptel au niveau du lac Dem

Espèce	Nombre	Conversion en UBT	cons (l/UBT/j)	cons (m³/j)
Bovins	38 577	27004	38	1026,1482
Ovins et caprins	196419	9232	7	137,49
Consommation totale par jour(m³/j)				1163,6

d) Evaluation des pertes par infiltration et par évaporation

Les pertes par infiltration et évaporation au niveau du plan d'eau du lac Dem sont estimées à 2700 mm/an. Les détails de calcul sont consignés en annexe III-4.

V.2.8. Courbe d'exploitation actuelle de la retenue du lac Dem

Les paramètres d'étude pour simuler l'exploitation de la retenue sont :

- Volume maximale du déversoir = **7 780 865,15m³**
- Les besoins en eau théorique pour l'irrigation = **1547725,02m³/an** ;
- Les prélèvements pour l'AEP = **562653,00m³**
- Les besoins en eau de consommation cheptel=**187738,64m³**
- Les pertes par évaporation=**2168,40mm/an**
- Les pertes par infiltration=**532,5mm/an**

Le récapitulatif des besoins en eau est présenté dans le tableau 15.

Tableau 15 : Récapitulatif des besoins en eau.

Mois	Besoins d'eau d'irrigation (m3)	Besoins d'eau pour AEP (m3)	Besoin pour le cheptel (m3)
Novembre	199329,79	112184	38107,85
Décembre	297298,02	113434	39378,12
Janvier	347602,39	113815	39378,12
Février	330017,77	105163	31496,44
Mars	373477,06	118057	39378,12
Total	1547725,02	562653,00	187738,64

En simulant l'exploitation de la retenue de novembre 2017 à mars 2018, nous obtenons la courbe d'exploitation suivante :

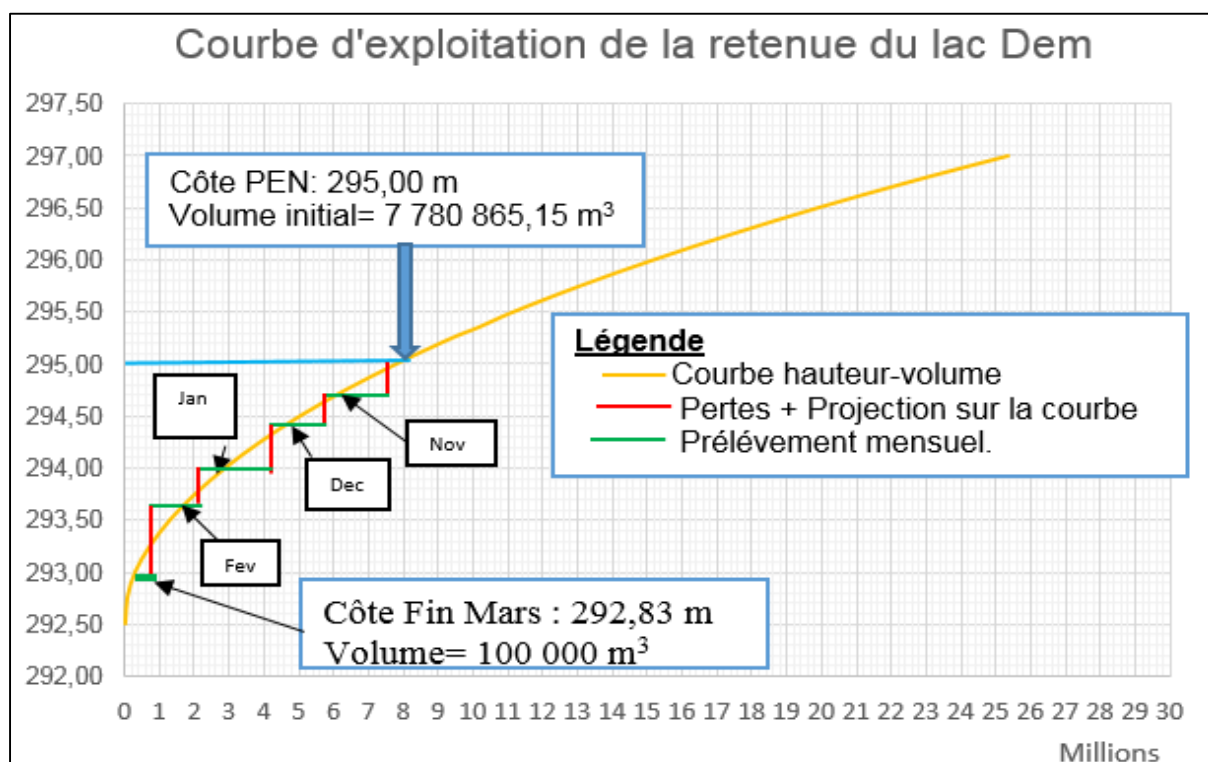


Figure 19 : Courbe d'exploitation de la retenue du lac Dem

En simulant l'exploitation de la retenue, nous obtenons à la fin du mois de mars 2018 les données suivantes :

Côte maximale de l'eau : 292,83m

Volume : 100 000 m^3

Surface : 780 500 m^2

De 7 780 865,15 m^3 au début du mois de novembre, la cuvette du lac Dem se retrouve à 100 000 m^3 en fin du mois de mars. En mi-saison sèche, le volume d'eau contenu dans le réservoir ne représente que la moitié de la capacité initiale. Nous constatons donc un tarissement rapide de la retenue pendant la saison sèche période à laquelle le lac est fortement exploité.

V.2.9. Résultat de simulation de l'évolution de la capacité de la retenue d'eau de 1990 à 2018

La simulation de l'évolution de la capacité de la retenue de 1990 à 2018 a été faite en considérant les paramètres (Tableau 16) suivants :

Tableau 16 : Données d'étude pour la simulation de l'évolution de la capacité de la retenue de 1990 à fin 2017

Capacité max de la retenue en 1990	13200000 m³
Taux moyen de dépôt de sédiment constant	124822,908 m³/an
Volume théorique des besoins en eau de consommation en 1990	1321637,063m³
Volume théorique des besoins en eau de consommation en 2018	5 060 636,3 m³
Capacité max de la retenue en 2018	7 780 865,15 m³
Pertes moyenne par infiltration et par évaporation	2486,4 mm/an.

Les détails de calcul sont présentés en annexe.

La figure 20 présente les résultats de la simulation de 1990 à fin 2017.

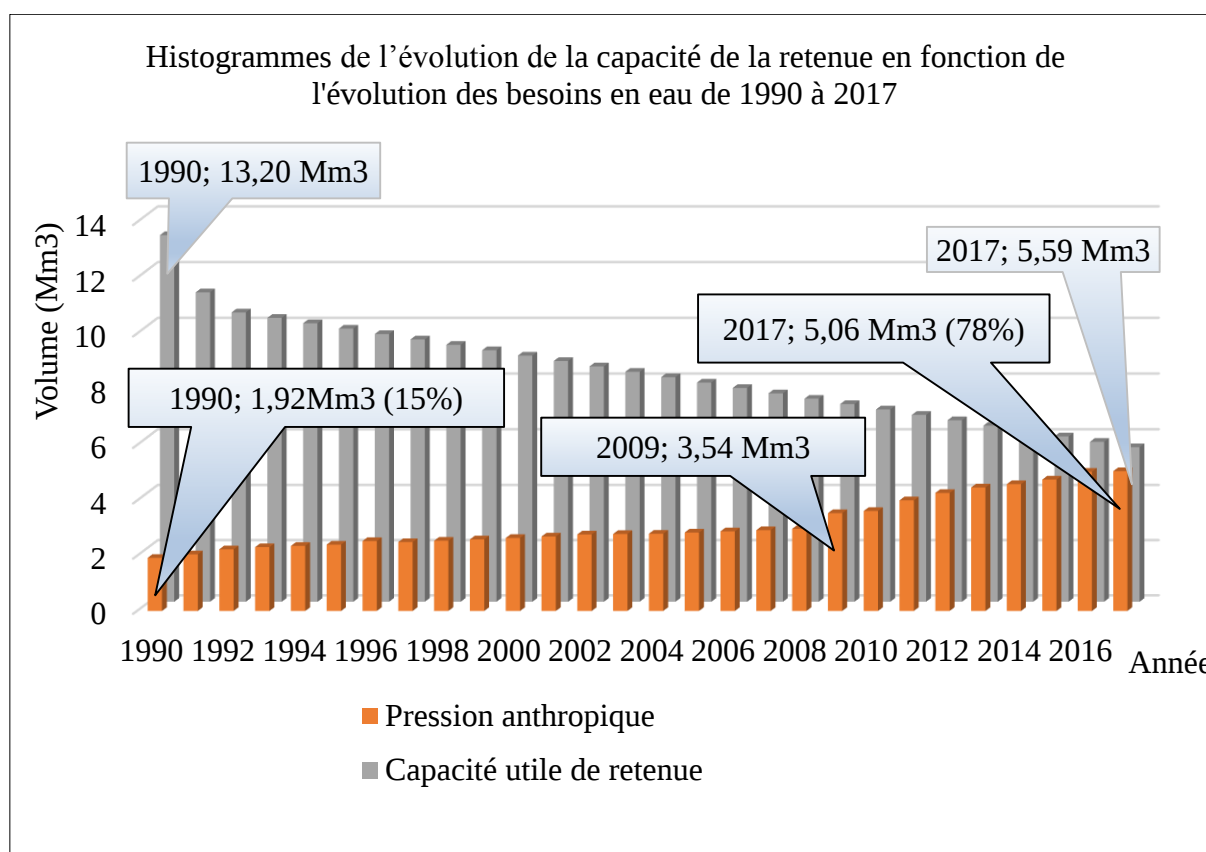


Figure 20 : Evolution de la capacité de stockage de la retenue du lac Dem de 1990 à fin 2017.

La courbe représentant la valeur prélevée au sein du lac croît peu de 1990 à 2008 avant de prendre de l'ampleur à partir de l'année 2009. Cela s'explique par le fait qu'avant l'année 2009, le lac était juste exploité pour l'irrigation et le cheptel. Avec l'installation de l'AEP ce volume

a augmenté de plus de la moitié pour atteindre 5 060 636,3 m³ en fin 2017. Cette valeur équivaut en réalité à 38% de la capacité initiale (13 200 000m³) de la retenue. Donc nous pouvons dire que plus les besoins augmentent plus la courbe de la capacité de la retenue d'eau décroît. Les prélèvements en eau de consommation réduisent d'année en année la capacité de la retenue d'eau. Nous déduisons donc que la pression anthropique constitue un facteur réducteur de la retenue d'eau du lac Dem d'où l'hypothèse H3 est vérifiée.

V.2.10. Résultat de simulation de l'évolution de la capacité de la retenue d'eau de 2018 à 2050

La simulation de l'évolution de la capacité de la retenue de 2018 à 2050 a été faite en considérant les paramètres (Tableau 17) suivants :

Tableau 17 : Données utiles pour la simulation de l'évolution de la capacité de la retenue de 2018 à 2050

Capacité max de la retenue en 2018	7 780 865,15 m³
Taux de croissance annuel du cheptel : constant	Bovins : 4,7% Ovins : 2,3% Caprins : 3,3%
Volume d'eau prélevé annuellement pour l'AEP : constant	1 000 000 m³
Taux moyen de dépôt de sédiment constant : constant	124822,908 m³/an
Volume théorique des besoins en eau de consommation en 2018	5060636,27 m³
Pertes moyenne par infiltration et par évaporation : constant	2486,4 mm/an.

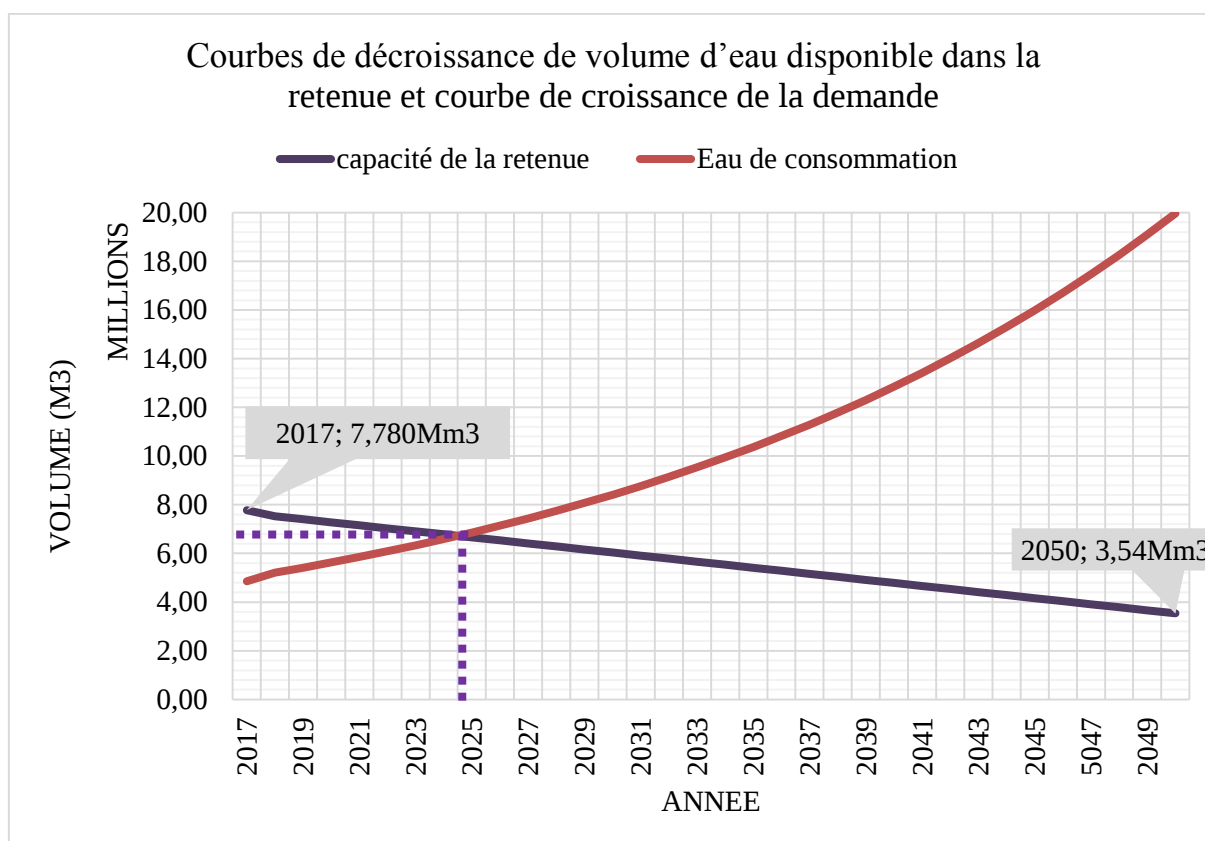


Figure 21 : Courbe de décroissance de la capacité de la retenue du lac Dem sous l'effet combiné de l'envasement et de la pression anthropique

La simulation de l'évolution de la capacité de la retenue d'eau sous l'effet combiné de l'envasement et de la pression anthropique nous montre qu'en 2025, le lac Dem serait inexploitable si toute fois rien n'est fait pour augmenter sa capacité. Nous pouvons donc dire que l'envasement et la pression d'utilisation de la retenue sont des facteurs réducteurs de la capacité de la retenue.

V.2.11. Vérification des hypothèses

Au regard des résultats, il ressort que :

- Les apports en eau (**32 516 892,00m3**) sont suffisants pour satisfaire les conditions de remplissage de la cuvette en année moyenne donc l'hypothèse H1 n'est pas vérifiée.
- la capacité actuelle de la retenue ne représente que 60% de sa capacité initiale à cause du dépôt solide dans la cuvette. Nous déduisons donc que l'hypothèse H2 disant que la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem est dû à l'ensablement de la cuvette est vérifiée ;

- L'eau de consommation est estimée en fin 2017 à 38% de la capacité initiale de la retenue ; nous pouvons déduire donc que la pression d'utilisation est également un facteur réducteur de la capacité de la retenue d'où l'hypothèse H3 est vérifiée ;
- Les hypothèses H2 et H3 sont vérifiées donc l'hypothèse disant que la réduction de la capacité de la retenue du lac Dem est due à la combinaison envasement et pression d'utilisation de l'eau dans de la retenue est vérifiée.

Les résultats montrent également que la cause majeure de réduction de la capacité de la retenue d'eau est son envasement. Nous avons donc proposé des moyens curatif et préventif pour réduire le comblement de la retenue.

V.3. Proposition de solution pour l'augmentation de la capacité du lac Dem

L'objectif de cette partie est de proposer une méthode pour l'augmentation de la retenue du lac Dem. Ainsi, nous proposons deux méthodes à savoir le curage et le rehaussement du déversoir.

V.3.1. Le curage

Une des possibilités d'augmenter la capacité du lac Dem est le curage de la cuvette. Le curage de la retenue permanente (sous la cote 292.5 m) va nécessiter :

- ✓ le pompage d'eau et des sédiments : l'extraction des sédiments est effectuée à l'aide d'une drague suceuse ;
- ✓ le transport et évacuation des sédiments vers les zones de dépôts;
- ✓ la construction de digue pour le stockage des sédiments.

A titre illustratif nous présentons, à la figure 22, un schéma du dragage du barrage de Machra Hommadi au Maroc en 2007. Pour le dragage de cette retenue l'entreprise a utilisé une dragline équipée d'une hélice perturbatrice de la vase, d'un tuyau d'aspiration et de refoulement. Les sédiments refoulés hors de la retenue sont stockés dans une zone haute. Pour éviter le retour des sédiments dans la retenue et l'envasement des zones riveraines, il est réalisé une digue de protection sur le pourtour de la zone de stockage.

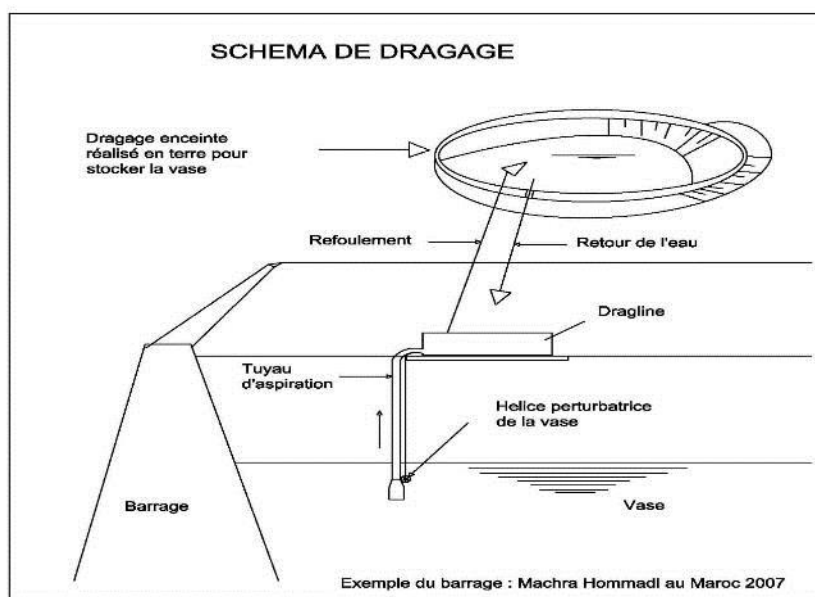


Figure 22 : Schéma de dragage de la retenue de Machra Hommadi au Maroc

L'estimation des coûts des travaux de curage nécessite :

- La détermination des épaisseurs des sédiments à extraire par zone (méthodes géophysiques, géo électriques et radar) ;
- La détermination des méthodes de traitement des sédiments ;
- L'identification des zones de dépôt avant réutilisation des sédiments comme fertilisants ;
- Du débroussaillage et nettoyage des zones de dépôt ;
- L'estimation des longueurs et hauteurs des digues (volume de terrassement) pour le stockage des sédiments ;
- L'estimation de l'amené et du repli du matériel nécessaire aux travaux de curage ;
- L'estimation des impacts environnementaux (destruction de la faune et flore aquatique).

V.3.2. Le rehaussement de la digue

Une deuxième possibilité d'augmenter la capacité du lac Dem est le rehaussement de la digue. Nous proposons une simulation du rehaussement de la digue de 25cm, 30cm et 35cm pour le choix de la hauteur.

Notre rehaussement, une fois réalisé, risque d'impacter trois (3) composantes de son environnement d'accueil, à savoir :

- Les parcelles cultivées situées sur les berges de la retenue
- Les habitations situées sur les différentes rives
- Une route constituant la limite amont de notre retenue

La prise en compte de ces composantes, dans le calage optimal d'une nouvelle cote de déversement rehaussée, est très importante.

En effet les cotes des infrastructures (route et habitations) seront considérées comme les limites à ne pas dépasser lors de notre simulation.

Ainsi, les altitudes à ne pas dépasser dans le cadre de cette étude sont :

- Infrastructures Cote (m)
- Habitation la plus proche de la rive : **295,58**
- Route amont de la retenue : **296,65**

La simulation est faite entre la cote actuelle de déversement et la cote de la route constituant la limite amont de la retenue. Nous avons choisi trois (3) hauteurs de rehaussement : 25 cm, 30 cm et 35 cm. Le choix de ces valeurs est dû au fait que nous nous sommes fixé les choix de conception suivants :

- faire un rehaussement minimum de 25 cm depuis l'ancienne cote de déversement
- laisser une marge minimale de sécurité de 10 cm entre la cote de la route amont et la nouvelle cote du déversoir une fois rehaussée.

Le tableau 18 donne le résumé de cette simulation.

Tableau 18 : Résumé de la simulation du gain en surface et en volume à des hauteurs de rehaussement

cote (m)	hauteur (cm)	surface (m2)	Volume (m3)	gain en surface (m2)	gain en volume (m3)
295,00	-	6105196,42	7780865,15	-	-
295,25	25	6724387,72	9386163,02	619191,30	1605297,87
295,30	30	6835423,80	10000000,00	730227,38	2219134,85
295,35	35	6953961,00	10132766,00	848764,58	2351900,85

❖ Prise en compte des impacts sur les parcelles

Le calage optimal d'une hauteur de rehaussement nécessite la prise en compte des effets de notre projet sur les parcelles cultivées situées sur les rives immédiates de notre retenue.

La limitation des pertes en sol est un critère déterminant dans le choix d'une hauteur adéquate de rehaussement. En effet, à partir des résultats des différentes enquêtes réalisées auprès des populations, connaissant les différents taux d'occupation des terres, ainsi que les rendements et les prix de vente de chaque culture plantée ; nous avons pu faire une estimation monétaire globale des pertes éventuelles en sol ainsi la perte d'un hectare de terre sur les berges occasionne une perte d'environ deux cent mille francs pour les exploitants agricoles.

Aussi, d'après les enquêtes menées sur le terrain, 160 ha de la surface de la berge de la retenue sont exploités avec un volume d'eau prélevé de 6887,24m³/an. Nous considérons ces valeurs comme constantes, ce qui nous a permis d'estimer la valeur monétaire du gain de volume que notre rehaussement occasionnera. Ainsi un (01) mètre cube d'eau gagné égal à 30,31 FCfa.

Le tableau 19 résume les différents calculs :

Tableau 19 : Evaluation des pertes et gains en terre liées au rehaussement du déversoir

Hauteur de rehaussement	Impacts des pertes en terre sur les berges		impact du gain en volume	
	ha	Francs CFA	m ³	Francs CFA
cm				
25	42	8400000	1605297,87	48656578
30	58	11600000	2219134,85	67261977
35	60	12000000	2351900,85	71286115

Nous avons pu réaliser grâce à ce tableau, une étude comparative des impacts de notre projet aux différentes hauteurs de rehaussement (Figure 23).

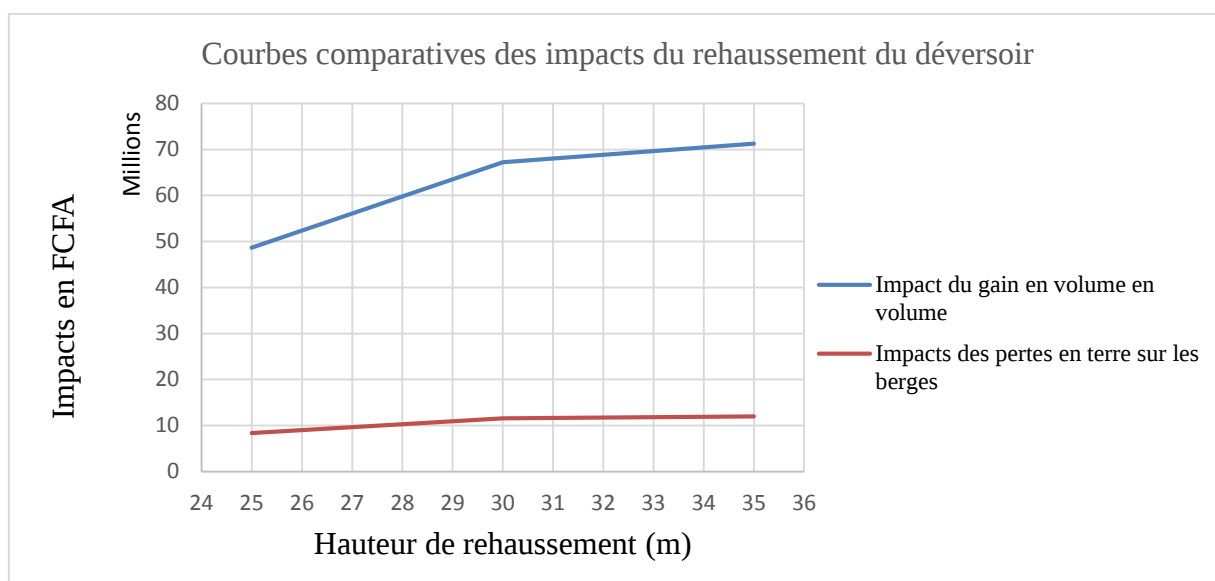


Figure 23 : Courbes comparatives des impacts du rehaussement du déversoir

Les courbes comparatives des impacts du rehaussement du déversoir, nous permettent d’observer que le projet est bien plus avantageux que néfastes pour les exploitants cultivant sur les berges de la retenue. Cependant, ce résultat aussi pertinent soit-il, reste insuffisant pour estimer une hauteur de rehaussement adéquate.

- ❖ Simulation de l’évolution de la capacité de la retenue du lac Dem en fonction du rehaussement de la digue

Le calage de notre nouvelle côte de déversement se fera après discussions des impacts observés à chaque hauteur de rehaussement, en considérant d’autres paramètres.

En effet plusieurs études ont déjà été menées sur notre zone d’étude, aboutissant à la quantification de plusieurs paramètres utiles pour la résolution de notre problématique.

Le tableau 20 résume certains résultats de ces différentes études menées principalement par : (COGEL, 2014), (COWI, 2004) et (CINTECH, 2018)

Tableau 20 : Paramètres d’étude pour le rehaussement du déversoir

Taux annuel de sédimentation	169497,836 m3
Valeur moyenne du dépôt annuel	124822,908 m3/an
Perte annuelle de capacité de stockage	1,6%

Augmentation du volume d'eau pour l'irrigation	1% à 2% par an
Taux d'extension des terres irriguées	5%
Taux d'accroissement moyen du bétail	Bovins 4,7%
	Ovins et Caprins = 2.5%
Volume d'eau moyen consommé par animaux	Bovins = 38 l/UBT/j
	Ovins et Caprins = 7l/UBT/j

La figure 24 présente les courbes de décroissance de volume d'eau disponible dans la retenue et courbe de croissance de la demande.

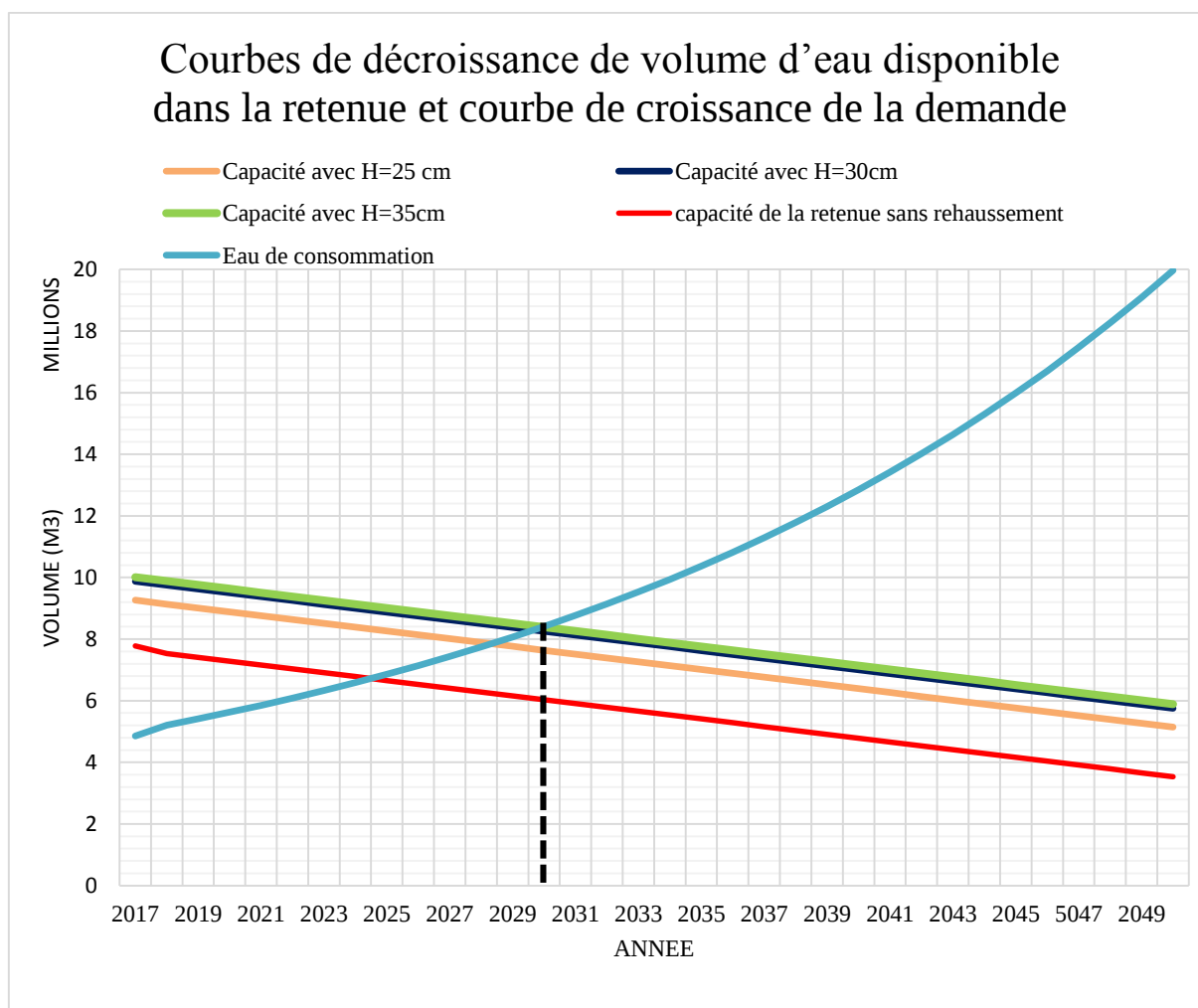


Figure 24 : Courbes de décroissance de la capacité de la retenue en fonction de la hauteur de rehaussement de la digue

Un rehaussement de 25, 30, ou 35 cm, nous permettra de prolonger la durée de vie respectivement de, 10, 11, et 12 ans de la retenue.

Après analyse de tous ces aspects, nous nous sommes fixées de choisir une hauteur de rehaussement respectant la condition suivante :

- Permet d'assurer la sécurité de la route, située à une hauteur à 1,20 m au-dessus de la cote actuelle du déversoir, en laissant une marge d'au moins 30 cm entre la nouvelle cote de déversement et la cote de la route.

Au vue de tous ces critères, un rehaussement de **trente-cinq (35) cm** paraît le mieux adapté.

Ce rehaussement nous offre les avantages suivants :

- Période de couverture des besoins en eau : **Jusqu'en 2030**
- Gain en volume : **2351900,85 m³**

De plus, la saison sèche s'étend sur sept (7) mois, de novembre à mai, et nous constatons que dès le mois d'avril notre retenue ne satisfait plus totalement les besoins en eau. Le nouveau rehaussement permettra dès sa mise en place, de maintenir une certaine quantité d'eau disponible dans la retenue jusqu'à la venue des premières pluies dans le mois de juin.

V.3.3. Études de l'évacuateur de crues : déversoir

Le déversoir a été dimensionné pour évacuer un débit centennal de 219 m³/s.

La méthode des abaques méthode Xo nous donne une hauteur au droit du déversoir de 85cm pour la même longueur (71m) du déversoir. Les caractéristiques actualisées de l'ouvrage sont :

- Côte crête actuelle du déversoir(m) : **295,35**
- Côte fond du déversoir(m) : **294,5**
- Ancienne cote de la digue(m) : **296,53**
- Cote de la digue calculée pour une revanche de 0,8m) : **297,65**
- Lamé d'eau (m) : **1,2**

Le rehaussement du déversoir se fera donc sans aucun risque d'inondation de la digue lors de crues.

Le déversoir existant étant en béton, un simple rehaussement en béton armé directement ancré sur sa surface paraît la technique la plus économique et adaptée pour la réalisation du projet. Le coût forfaitaire du rehaussement du déversoir est estimé à **40 840 000 FCFA HTVA**.

V.3.4. Choix de la méthode pour l'augmentation de la retenue

Pour faire le choix, nous avons fait une étude comparative des inconvénients et avantages du curage et du rehaussement de la digue. Les résultats sont consignés dans le tableau 21.

Tableau 21 : Analyse des avantages et inconvénients de la méthode de curage et du rehaussement de la digue

Méthodes	Avantages	Inconvénients
Le curage	- Augmentation de la capacité de la retenue : gain en volume (5 419 135 m3)	- Coût très onéreux pour un gain de 5 419 135 m3 : Vingt-sept milliards cent millions de FCFA - Risques de détruire la couche imperméable de la cuvette - Risques de pollution de l'eau
Le rehaussement du déversoir à une hauteur de 35cm	- Augmentation de la capacité de la retenue : gain en volume : (2 351 900,85 m3) - Coût de réalisation acceptable : 40 840 000 FCFA	- Risques d'inondation des terres agricoles - Augmentation de l'évaporation

De cette analyse nous choisissons de rehausser le déversoir à une hauteur de 35cm pour un gain de **2 351 900,85 m3** en volume à **40 840 000 FCFA** car présente moins de risques. A cela nous proposons quelques mesures préventives (Annexe IX) pour réduire l'envasement du lac.

VI. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (NIE)

Selon n°006/2013/AN du 02 Avril 2013 portant code de l'environnement au Burkina Faso, les aménagements de périmètres inférieurs à 200ha sont assujettis à une notice d'impact sur l'environnement. Les travaux de réhabilitation envisagés concernent des ouvrages déjà en place et n'auront donc pas d'effets nouveaux significatifs sur l'environnement. Classé en catégorie B, le projet consiste essentiellement à l'augmentation de la capacité de la retenue afin d'assurer une valorisation de la disponibilité en eau pour tous les besoins.

La notice d'impact environnementale consistera à recenser un premier temps les impacts négatifs du projet sur l'environnement et ensuite, proposer des mesures d'atténuation.

La méthode utilisée pour évaluer l'importance des impacts est celle de la matrice descriptive.

VI.1. Activités pouvant générer des impacts négatifs sur l'environnement

Les principales sont (Cf. Annexe VII, Tableau 01) la liste exhaustive :

- les travaux de préparation et de terrassement dans les diverses superficies,
- l'aménagement des installations de chantier,

VI.2. Composantes du Plan de Gestion Social et Environnemental (PGES)

Dans l'optique de protéger l'ensemble des ressources naturelles et d'impacter un minimum sur l'écosystème, le plan de gestion mis en place se définit sur trois axes :

- des mesures d'atténuation, de compensation ou de bonification des impacts du projet (Cf. Annexe VII, Tableau 02),
- un programme de surveillance environnemental,
- un plan de suivi environnemental.

VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Cette étude qui porte sur la réhabilitation de la retenue d'eau du lac Dem se veut un outil d'aide à la décision, qui contribuera au processus d'élaboration d'un plan d'aménagement et de gestion de la retenue dont la capacité de stockage connaît une diminution significative. Elle avait pour but de:

- Faire un état des lieux de l'existant et des problèmes liés à l'exploitation de la retenue ;
- Déterminer les éléments réducteurs de la capacité de la retenue ;
- Proposer une solution pour l'augmentation de la capacité de la retenue.

Le diagnostic sur la retenue nous a permis en premier lieu de savoir que le lac Dem était envasé et que la première cause est l'occupation anarchique des sols par les exploitants. Ensuite, les études bathymétriques nous ont permis de confirmer l'état de comblement à environ 40% de la capacité initiale (en 1990) de la retenue. Avec un taux moyen de comblement de **124 822,908 m³/an** nous sommes arrivés à la conclusion que l'envasement est un facteur majeur de réduction de la capacité de stockage de la retenue. A cela s'ajoute l'effet des prélèvements pour l'AEP, l'irrigation et le cheptel qui sont de plus en plus importants. La courbe de simulation de l'évolution de la capacité de la retenue sous l'effet de l'envasement et de la pression anthropique indique que si aucune action n'est entreprise, la retenue serait inexploitable dans sept (07) ans. Les solutions proposées pour augmenter la capacité de la retenue sont d'une part le curage de la cuvette et d'autre part le rehaussement de la cote du déversoir à 35 cm. Ce dernier choix permettrait un gain important en volumes, avec moins d'effet de dégradation de l'environnement du lac. D'un coût de réalisation estimé à environ **40 840 000 FCFA HTVA**, ce rehaussement permettra la couverture des besoins en eau pour les superficies emblavées actuellement jusqu'en 2030.

Nous sommes conscients que, la détermination de l'épaisseur exacte de dépôt sédimentaire dans la retenue telle qu'elle a été conduite n'est pas sans limites. C'est pourquoi nous suggérons que des investigations poussées notamment à travers l'utilisation de données supplémentaires soient réalisés en vue de mieux quantifier le phénomène.

Enfin, pour permettre la pérennité de la retenue d'eau, nous préconisons qu'une gestion règlementée, rationnelle, sous la supervision des autorités locales ou nationales soit privilégiée. Nous recommandons donc :

- La promotion de l'économie d'eau et une optimisation de l'efficience de l'utilisation de l'eau. En effet, des actions pourraient être entreprises dans la gestion de l'irrigation, à travers son pilotage et sa modernisation à travers la création d'un réseau d'irrigation ;
- L'adaptation des cultures agricole à la rareté de l'eau qui permettrait de réaliser de l'économie sur la ressource ;
- La mise en place d'un plan d'action qui permettrait de sécuriser l'irrigation tout en réduisant la pression sur la ressource afin de limiter les prélèvements en période sèche et plus généralement les pressions sur le milieu. Plusieurs actions pourraient être menées afin de limiter l'installation de nouveaux exploitants, ce qui retardera la croissance des besoins en eau tout en allongeant la durée de vie de la retenue ;
- L'opérationnalisation de la police de l'eau dans l'optique de faire respecter la bande de servitude.
- La gestion structurelle et collectif des ressources : un regroupement des exploitants en association permettrait un meilleur contrôle de gestion de la retenue.
- La mise en place des dispositifs antiérosifs au niveau de la retenue est aussi une autre alternative pour permettre de couvrir plus longtemps les besoins en eau (Annexe XI).
- Le traitement des ravines.

BIBLIOGRAPHIE

- AMOGU, O., M. ESTEVES, J-P. VANDERVAERE, M. MALAM ABDOU, G. PANTHOU, J-L. RAJOT, K. SOULEY YÉRO, et al. 2015. “Runoff Evolution due to Land-Use Change in a Small Sahelian Catchment.” *Hydrological Sciences Journal* 60 (1): 78–95. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.885654>.
- CIEH, ORSTOM, and LTC-CEMAGREF-ENGREF. 1996. *Crues et apports : Manuel pour l'estimation des crues decennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahelienne et tropicale seche*. Cemagref.
- MERTZ, OLE, CHEIKH MBOW, ANETTE REENBERG, LORENZO GENESIO, ERIC F. LAMBIN, SARAH D'HAEN, MALICKI ZOROM, et al. 2011. “Adaptation Strategies and Climate Vulnerability in the Sudano-Sahelian Region of West Africa.” *Atmospheric Science Letters* 12 (1): 104–8. <https://doi.org/10.1002/asl.314>.
- OCDE (2012), “Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2050, OECD Publications”, Paris, France 79p.
- COGEL (2014), “Plan de gestion du lac Dem”, Ouagadougou, Burkina Faso, 15-19.
- CINTECH (2018), “Schéma directeur d'aménagement de l'espace du lac Dem”, Ouagadougou, Burkina Faso, 72-76
- REMINI, W., & REMINI, B. (2003), “La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du Nord”. *Larhyss Journal*, 45-54.
- WARD, D., & MCKAGUE, K. (2007, Mai). “ Les exigences en eau des bétails. ” Fiche technique commande n°07-024. p. 8 pages.
- WCD, W. C. (2000), “Aspects sédimentaires de la gestion du barrage de Verbois” (p. 40). Genève: Université de Genève.
- YAMEOGO, C. (2006), “Les statistiques du secteur de l'élevage au Burkina Faso”. Ouagadougou: Ministère des ressources animales.

Sites internet

LISTE DES SITES RAMSAR AU BURKINA FASO Consulté le 05 Février 2018 sur le site WWW.naturama.BF.2018.

AGENCE D'INFORMATION DU BURKINA. (2012, Janvier 11). Consulté le Février 10, 2018, sur site web aib.bf: <http://www.aib.bf/spip.php?article780> .

FAO. (2013, Mars 31). *AQUASTAT*- Système d'information de la FAO sur l'eau et l'agriculture. Consulté le Avril 08, 2018, sur www.fao.org:
http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/indexfra.stm

UNFPA. (2012, Janvier 24). Le Burkina en Bref. Consulté le Mai 01, 2018, sur UNFPA Burkina Faso: <http://burkinafaso.unfpa.org/html/burkina.html>

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Liste des site Ramsar du Burkina Faso	68
ANNEXE II : Etudes hydrologiques	69
ANNEXE III : Etude de la cuvette	78
ANNEXE IV : Etude des scénarii	84
ANNEXE V : Administration des fiches d'enquête.....	86
ANNEXE VI : Questionnaire.....	87
ANNEXE VII : Notice d'impact environnemental.....	88
ANNEXE VIII : Plan levé bathymétrique.....	93
ANNEXE IX : Détail du devis quantitatif et estimatif du rehaussement du déversoir.....	94
ANNEXE X : Détail devis quantitatif et estimatif du curage	94
ANNEXE XI : Quelques moyens anti-érosifs.....	95

ANNEXE I : Liste des site Ramsar du Burkina Faso

N°	Dénomination	N° liste Ramsar	Province et Région	Bassin /Sous Bassin	Superficie (ha)	Coordonnées géographiques
1	Mare d'Oursi	490	Oudalan/Sahel	Niger/Béli	45000	14°00'N / 0°03'W
2	Forêt classée de la Mare aux hippopotames	491	Houet / HautsBassins	Volta/Mouhoun	19200	11°37'N / 5°08'W
3	Parc du W	492	Tapoa/Est	Niger/ Tapoaet Mékrou	235000	12°00'N / 2°30'E
4	Barrage de Bagré	1874	Boulgou/ Centre-Est	Volta/Nakanbé	36793	11°33'N / 0°40'W
5	Barrage de Kompienga	1875	Kompienga/Est et Koulpelogo/ Centre-Est	Volta/Pendjari	16916	11°08'N / 0°40'E
6	Barrage de la	1876	Tapoa/Est	Niger/Tapoa	3419	12°07'N / 1°43'W
7	Cône d'épandage de Banh	1877	Loroum/Nord	Volta/ Mouhoun	10003	14°10'N / 2°33'W
8	Forêt classée et réserve partielle de faune Comoé- Léraba	1878	Comoé/ Cascades	Comoé/ Comoé etLéraba	124500	9°52'N / 4°40'W
9	Forêt galerie de	1879	Léraba/Cascad	Comoé/Léraba	451	10°36'N / 5°18'W
10	Lac Bam	1880	Bam/CentreNo	Volta/Nakanbé	2693	13°24'N / 1°31'W
11	Lac de Tingréla	1881	Comoé /Cascades	Comoé/ Comoé	494	10°38'N / 4°50'W
12	Lac Dem	1882	Sammatenga/ Centre-Nord	Volta/Nakanbé	1354	13°12'N / 1°10'W
13	Lac Higa	1883	Yagha/Sahel	Niger/Faga	1514	13°36'N / 0°44'W
14	Réserve totale de faune d'Arly/ Parc national d'Arly	1884	Tapoa/Est	Volta/Pendjari	134239	11°35'N / 1°27'E

Source : WWW.naturama.BF.2018

ANNEXE II : Etudes hydrologiques

Annexe II-1. Données pluviométriques de Kaya

Année	pluies annuelles	Année	pluies annuelles
1970	478,8	1992	556,1
1971	690,4	1993	624,3
1972	582,2	1994	925,5
1973	759,4	1995	695,4
1974	689,3	1996	558,2
1975	849,4	1997	526,9
1976	935,6	1998	709,6
1977	614,3	1999	900,8
1978	539,8	2000	639,4
1979	456	2001	504,3
1980	627,9	2002	444
1981	629,8	2003	376,1
1982	607,4	2004	236,6
1983	573,5	2008	629
1984	552,4	2009	562
1985	454	2010	757,7
1986	586,4	2011	466,2
1987	572,7	2012	870,8
1988	785,5	2013	781,9
1989	599,4	2014	743,5
1990	620,4	2015	629,6
1991	836,9	2016	833,5

Source : ANAM, 2018

ANNEXE II-2. Pluies annuelles Barsalogho

Année	Pluie- (mm)	Année	Pluie- (mm)
1968	506	1993	570,4
1969	728	1994	986,3
1970	560,2	1995	515,7
1971	487,1	1996	588
1972	615,5	1997	337,9
1973	538,3	1998	538,3
1974	603,3	1999	533,7
1975	660,1	2000	475,9
1976	539,5	2001	679
1977	483,7	2002	716,7
1978	558	2003	756
1979	517,5	2004	463,3
1980	437,7	2005	819,3
1981	431,6	2006	508,1
1982	425,6	2007	584
1983	441,7	2008	616,5
1984	345,9	2009	552,2
1985	383,9	2010	753,4
1986	452,6	2011	560,4
1987	356,7	2012	743,3
1988	730,4	2013	663,7
1989	420,3	2014	558,86
1990	313,4	2015	626,7
1991	813,9	2016	558,86
1992	334,5	2017	551,5

§ANNEXE II-3. Pluies maximales journalières de Barsalogho

Année	Pluie (mm)	Année	Pluie (mm)
1968	68,2	1993	63
1969	61,2	1994	95,5
1970	43	1995	47
1971	45,7	1996	59
1972	52,7	1997	39,4
1973	46,5	1998	73,5
1974	50,6	1999	50,3
1975	53,2	2000	40
1976	43,6	2001	62,5
1977	56,1	2002	84,1

1978	52,2	2003	80,6
1979	53,3	2004	68
1980	62	2005	70,2
1981	42,6	2006	82,2
1982	43,4	2007	121,2
1983	56,5	2008	66
1984	41,5	2009	60,5
1985	50,4	2010	70,2
1986	45,8	2011	90,5
1987	51,5	2012	45
1988	94,5	2013	52,5
1989	56,5	2014	54
1990	47,5	2015	57
1991	88,3	2015	105,8
1992	50	2017	69,3

ANNEXE II-4. Synthèse de l'analyse des pluies

□ *Données en entrée :*

- série des pluies moyennes annuelles : 1968 – 2017 (49 valeurs), ajustement à la loi de GAUS : sur ladite série, le mode, la médiane et la moyenne sont proches. Vu la nature des données traduites par cette série (moyennes annuelles), nous avons postulé pour ajustement à la loi normale.
- série des pluies maximales journalières : 1968 – 2017 (49 valeurs), ajustement à la loi de GUMBEL, qui se justifie par la nature extrême du phénomène caractérisé par les données (maximales journalières).

□ *Pluies moyennes annuelles*

Moyenne	555 mm	Minimum	313 mm
Médiane	558 mm	Ecart type	33,4 mm
Maximum	986 mm	Mode	558,86 mm

Période sèche		Durée de retour (ans)	Période humide	
Fréquence	Pluie (mm)		Pluie (mm)	Fréquence
0,0001	35.8	10000	1080	0,9999
0,001	124	1000	993	0,999
0,005	196	200	920	0,995

0,01	231	100	885	0,99
0,02	270	50	847	0,98
0,05	327	20	790	0,95
0,1	378	10	739	0,9
0,2	440	5	677	0,8
0,3	485	3	619	0,67
0,5	558	2	558	0,5

❖ *Pluies maximales journalières*

Moyenne	555 mm	Minimum	313 mm
Médiane	558 mm	Ecart type	33,4 mm
Maximum	986 mm	Mode	558,86 mm

Période sèche		Durée de retour (ans)	Période humide	
Fréquence	Pluie (mm)		Pluie (mm)	Fréquence
0,001	4.55	1000	117	0,999
0,005	13.9	200	108	0,995
0,01	18.5	100	103	0,99
0,02	23.5	50	98.5	0,98
0,05	30.9	20	91.0	0,95
0,1	37.6	10	84.4	0,9
0,2	45.6	5	76.3	0,8
0,3	51.4	3	68.8	0,67
0,5	61.0	2	61.0	0,5

ANNEXE II-5. Caractérisation du bassin versant

Les principales caractéristiques du bassin versant que nous avons déterminé sont consignés dans le tableau suivant :

▪ Superficie (S) = 582,74Km² ▪ Périmètre (P) = 116,4Km	
Longueur équivalente : $L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16 \times S}}{4}$	45,7 Km
Largeur équivalente : $l = \frac{P}{4} - \sqrt{\frac{P^2}{16} - S}$	12,8 Km
Indice global de pente : $I_g = \frac{0,026}{S^{0,5}} \times 1000$	1,07m/Km
Indice de compacité : $K_G = \frac{P}{2 \times \sqrt{\pi \times S}}$	1,37
Pente transversale :	5,13m/Km
Indice global de pente corrigé : $I_{gcorr} = ((n-1)I_g + IT) / n$	2,09
Longueur du réseau hydrographique :	402,09 Km
Densité de drainage : $D_d = L_{réseau} / S$	0,69
Dénivelée spécifique : $D_s = I_{gcorr} \sqrt{S}$	50,45
Typologie du relief	Relief est fort
Climat : Sahélien	Pmoy.an = 558 mm
infiltrabilité	RI(P3)
Forme du bassin versant	Forme allongée
Pente du lit (0,89%)	faible

ANNEXE II-6. Estimation de la crue de projet

❖ Crue décennale ORSTOM

Détermination des différents paramètres donne les résultats suivants :

Superficie du Bassin Versant (km ²)	582,74
Coefficient d'abattement	0,62
Pluie moyenne décennale Pm10 (mm)	61
Coefficient de ruissellement pour P = 70 mm Kr70	10,77
Coefficient de ruissellement pour P = 100 mm Kr100	12,41
Coefficient de ruissellement Kr10	11,56
Temps de base Tb10 (min)	2621,97
Débit moyen de la crue Qm10 (m ³ /s)	2617,58
Temps de montée Tm10 (min)	1003,79
Lame d'eau ruisselé Lr10 (mm)	7,05
Volume ruisselé Vr10 (m ³)	4 109 706,44
Débit moyen de ruissellement Qmr10 (m ³ /s)	26,12
Débit maximal de pointe Qr10 (m ³ /s)	67,92
Débit de pointe Q10 (m³/s)	69,96

❖ Crue décennale CIEH

l'Equation	valeur de corrélation	constante	Exposant des paramètres de l'equation				Paramètres de l'equation				Debit
N°	R²	a	b(S)	c(Pm10)	d(lg)	e(Kr10)	S (km²)	Pm10 (mm)	lg	Kr10 (%)	Q10 (m³/s)
12	0,795	0,095	0,643	0	0,406	1,038	582,74	61,00	2,09	11,56	97,57
10	0,806	0,0833	0,696	0	0,953	0,534	582,74	61,00	2,09	11,56	52,26
40	0,824	0,254	0,462	0	0,101	0,976	582,74	61,00	2,09	11,56	56,53
								Q10			68,79

❖ Crue de projet :

En Afrique de l'Ouest et du Centre la crue centenaire Q100 se calcule à l'aide de la méthode du Gradex qui se base sur une déduction à partir de la crue décennale à l'aide d'un coefficient de sécurité C (Coef. de majoration > 1) .

- Crue décennale retenue : Q10 = 69,96 m³/s
- $Q_{100} = C * Q_{10} = 213,26 \text{ m}^3/\text{s}$

ANNEXE II-7. Apports en eau

❖ Estimation des apports selon Rodier

Les quantiles critiques permettent d'évaluer une probabilité cumulée au dépassement. Cette probabilité est convertie en une hauteur d'écoulement annuel en fonction du bassin type choisi par l'abaque de RODIER Le coefficient d'écoulement est alors défini par :

$$K_e = \frac{Ecoulement}{Quantile}$$

$$Apports = K_e \times Quantile \times S_{BV}$$

Le manuel pour l'estimation des crues et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche a identifié cinq catégories de bassins. Celle qui correspond au mieux à notre bassin est la catégorie IV avec les caractéristiques suivantes :

Catégorie IV : bassins relativement perméables, avec des sols sableux ou argilo-sableux.

Ainsi :

En année médiane : $K_{med} = 8$ à 12% , nous prendrons la valeur 10%

En année centennale humide : $K_e = 20$ à 30% nous prendrons la valeur 25%

En année centennale sèche : $K_e = 0$ à 5% pour $P_{med} = 500\text{mm}$, nous prendrons la valeur 5% .

Suivant les directives du bulletin FAO crues et apports, le bassin peut être classé également dans les bassins de classe 3 en région sahélienne avec bassin type Féliélol selon Rodier.

En année décennale sèche : $f=0,1$, $L_{med}= 18\text{mm}$ $K_e = 3,2\%$

En année décennale humide : $f=0,9$ $L_{med}=21,6\text{mm}$; $K_e = 3,87\%$

En année cinquantiennale sèche : par interpolation linéaire $K_e = 4,8\%$

En année cinquantiennale humide : par interpolation linéaire $K_e = 13,2\%$

Les apports dans la retenue selon Rodier sont consignés dans le tableau suivant :

Période humide				T (ans)	Période sèche			
Fréq	Pluie (mm)	Ke (%)	Volume (m3)		Volume (m3)	Ke (%)	Pluie (mm)	Fréq
0,99	885	25%	128 931 225,00	100	6 730 647,00	5,0%	231	0,01
0,98	847	13,2%	65 152 662,96	50	7 552 310,40	4,8%	270	0,02
0,9	739	3,9%	16 665 956,08	10	9 912 407,40	4,5%	378	0,1
0,5	558	10%	32 516 892,00	2	32 516 892,00	10%	558	0,5

❖ Estimation des apports selon Debreuil- Vuillaume

La lame d'eau écoulee annuelle moyenne est déterminée à l'aide de relations issues de régressions multiples établies graphiquement. Le facteur explicatif principal P_r (pluie réduite) est un facteur climatique qui représente la part disponible pour l'écoulement de l'apport pluvial considéré à l'échelle mensuelle, la partie non disponible étant sensée être représentée par l'évapotranspiration. Cette pluie réduite, exprimée en mm est calculée par l'équation :

$P_r = \sum_1^{12} \delta^n (P_{me}^n - \frac{ETB}{36})$	$\delta^n = 1$ quand $P_{me}^n > \frac{ETB}{36}$; $= 0$ quand $P_{me}^n < \frac{ETB}{36}$; n varie de 1 à 12 (numéro du mois) ; P_{me}^n est la hauteur mensuelle moyenne de précipitations pour le mois n ; ETB est l'évaporation annuelle moyenne sur bac d'eau libre
--	--

Notre bassin étant en région de steppe semi-aride (400 À 650 mm), la lame d'eau écoulee moyenne annuelle E_c , exprimée en mm est donnée par la relation suivante :

$E_c = 0,15Pr - 1,3C - 0,37G + A$	C : pourcentage de superficie mise en cultures ; G : pourcentage de grès, sables et quartzites ; A : facteur d'aptitude lié au type de bassin : numéroté de 1 à 4, il vaut successivement 135, 90, 55 et 20 mm.
-----------------------------------	---

Les différents types sont déterminés à partir d'une matrice de correspondance entre superficie du bassin et potentialité d'écoulement.

Potentialité d'écoulement	Surface S < 5 km ² 1	Surface S > 5 km ² 2
1	1 (135 mm)	2 (90 mm)
2	2 (90 mm)	3 (55 mm)
3	3 (55 mm)	4 (20 mm)

Les classes de potentialité sont ainsi définies :

- 1 lit mineur net, manteau d'altération ou sol peu épais, végétation naturelle clairsemée ;
- 2 lit majeur actif et/ou végétation naturelle dense ;
- 3 lit mineur absent, écoulement en nappe dans une dépression, endoréisme local.

Les caractéristiques de notre bassin versant sont :

- Superficie du bassin versant égale à 582,74 km²;
- Evaporation annuelle sur bac de 3005 mm;
- Hauteur pluviométrique moyenne annuelle de 558 mm (région de steppe semi-aride);
- 30% de la superficie en culture ;
- 45% de dunes et de plateaux gréseux ;
- lit majeur actif d'où A=55

L'application de ces formules nous ont permis d'obtenir les résultats suivants :

S= 582,74 Km ²	Période humide			Période sèche		
Période de retour	Ke (%)	Pluies (mm)	Volume des apports	Ke (%)	Pluies (mm)	Volume des apports
100	14%	885	72 201 486,00	14%	231	18 845 811,60
50	14%	847	69 101 309,20	14%	270	22 027 572,00
10	14%	739	60 290 280,40	14%	378	30 838 600,80
2	14%	558	45 523 648,80	14%	558	45 523 648,80

❖ Limites de la méthode de Vuillaume-Debreuil

L'inconvénient majeur de cette méthode est de se limiter à l'estimation de la lame d'écoulement annuel moyen, donnée très souvent insuffisante dans les études d'aménagements hydrauliques, y compris au niveau d'avant-projet.

ANNEXE III : Etude de la cuvette

ANNEXE III-1. Données de tracé des courbes hauteur-volume et hauteur surface

❖ Données de levés bathymétriques (1990)

hauteur (m)	Surface (m2)	Volume (m3)
291,50	0	0
292,00	439900	87000
292,50	1323500	530000
293,00	2620700	1515000
293,50	3553000	3060000
294,00	4400000	5050000
294,50	5460000	8800000
294,93	7520000	13200000

Source : COGEL, 2014

❖ Données de levés bathymétriques actualisés (2018)

Altitude (m)	Surface (m2)	Volume (m3)
292,50	98479,41	3190,05
292,75	445042,74	60152,45
293,00	1326266,33	286256,11
293,25	2009684,00	713188,92
293,50	2591202,62	1287873,24
293,75	3171996,30	2012011,12
294,00	3747100,40	2875984,10
294,25	4278275,81	3880238,95
294,50	4898106,95	5025341,80
294,75	5516078,92	6328959,04
295,00	6105196,42	7780865,15
295,25	6724387,72	9386163,02
295,35	6953961,00	10132766,00
295,50	7316361,97	11140435,74
295,75	8035567,08	13055904,64
296,00	8746306,40	15152835,26
296,25	9431642,69	17427236,55
296,50	10134116,68	19868943,31
296,75	10634657,21	22506843,86
297,00	11586464,00	25324095,00

Source : Cintech, 2018

ANNEXE III-2. Estimation des apports solides

❖ Volume théorique par les méthodes de Grésillon et de Gottschalk

Paramètres	
Dégradation spécifique annuelle	$(m^3/Km^2/an)$
Superficie du bassin versant	582,74 Km ²
La pluviométrie moyenne annuelle	558 mm

❖ Grésillon (CIEH-EIER)	Gottschalk
$D = 700 \times \left(\frac{P}{500}\right)^{-2,2} \times S^{-0,1}$	$D = 260 \times S^{-0,1}$

	Méthode de Grésillon	Méthode de GOTTSCHALK
Densité spécifique (m3/km2/an)	290,864	137,539
Volume d'apport solide (m3/an)	169497,836	80149,477
Volume retenu (m3/an) = D×S	124823,657	

❖ Résultat mesures directes sur le terrain

Les volumes calculés donnent le résultat suivant :

Site de Zorkoum					
N° d'ordre	Superficie (m2)	Volume en m3	N° d'ordre	Superficie (m2)	Volume en m3
1	499.76	374.82	19	6472.11	4854.08
2	1508.96	2444.52	20	1138.42	569.21
3	3454.35	6045.11	21	7296.59	8828.87
4	1513.37	2270.05	22	54.67	16.4
5	3919.74	2939.80	23	3965.99	2181.29
6	10084.27	16336.52	24	9791.69	21737.55
7	9949.62	17411.84	25	10107.55	22034.46
8	8796.85	13195.28	26	2335.3	1751.48
9	1220.11	1220.11	27	9817.13	21106.83
10	600.47	120.09	28	343.21	257.41
11	9878.98	14324.52	29	267.5	53.5
12	9949.62	22585.64	30	7285.47	5464.1
13	9791.69	22520.89	31	3759.9	2819.93
14	5568.18	5568.18	32	10215.07	21451.65
15	1411.42	635.14	33	11.91	3.57
16	4199.47	5039.36	34	4573.49	4573.49
17	9895.85	23453.16	Total	179511.74	296509.83
18	9833.03	22320.98			

Site de Dem						
N° d'ordre	Superficie (m2)	Volume (m3)		N° d'ordre	Superficie (m2)	Volume (m3)
1	2199.76	3409.63		9	6535.34	10129.78
2	5416.61	9208.24		10	7443.25	11537.04
3	8674.13	14746.02		11	10137.39	17233.56
4	9260.43	14353.67		12	1510.91	2341.91
5	9739.67	16557.44		13	7639.14	11840.67
6	10060.78	17103.33		14	627.64	972.84
7	8047.73	12473.98		15	2318.22	3593.24
8	8279.16	14074.57		Total	97890.16	159575.92

Site de Dembila Mossi						
N° d'ordre	Superficie (m2)	Volume (m3)		N° d'ordre	Superficie (m2)	Volume (m3)
1	105.34	26.34		12	5118.03	6397.54
2	8046.43	2816.25		13	9850.85	19209.16
3	2790.27	697.57		14	7002.53	2100.76
4	8875.74	3994.08		15	10105.97	7579.48
5	3026.82	1362.07		16	9875.18	4443.83
6	9927.32	7445.49		17	10095.87	15648.60
7	10013.57	15521.03		17	10095.87	15648.60
8	1756.45	2195.56		18	5966.16	2684.77
9	9347.42	18227.47		19	12.54	3.13
10	9964.72	7473.54		20	6168.06	10485.70
11	9896.08	15338.92		Total	137945.35	143651.29

ANNEXE III-3. Quantification des volumes d'eau prélevé dans le lac

❖ Volume d'eau prélevé par l'ONEA Kaya depuis sa mise en service en 2009

QUANTITE D'EAU BRUTE MENSUELLE PREVELEVEE PAR LA STATION DE POMPAGE D'EAU DE KAYA									
Mois	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Janvier	59457	63132	73540	86097	96716	100810	113815	115116	114990
Février	59279	61680	74757	82243	91915	102380	105163	101573	102743
Mars	68815	76821	87048	105108	107137	117216	118057	104583	79968
Avril	69762	76042	89190	100393	111296	113799	115093	106118	-
Mai	69195	82006	89817	107769	107081	118149	108964	107384	-
Juin	56207	71194	76275	92205	99812	104723	108918	102977	-
Juillet	47587	64179	63006	83375	91157	104910	106826	108199	-
Août	41825	59526	66371	79950	83920	102838	95971	107431	-
Septembre	44923	62235	61961	76307	81446	104946	100660	108809	-
Octobre	49690	70130	73816	88035	99400	112198	112506	113932	-
Novembre	54263	74690	78094	93845	98448	112184	113646	112076	-
Décembre	60702	75585	84235	97912	102952	113434	116655	114979	-
Volume total (m3)	681705	837220	918110	1093239	1171280	1307587	1316274	1303177	297701

Source : ONEA Kaya, 2018

❖ Le cheptel

Années Espèces	Bovins	Ovins	Caprins
2012	35 224	83 941	94 648
2013	35 842	86 131	91 117
2014	36 460	88 321	99 586
2015	37 078	90 511	102 055
2016	38 577	92 322	104 097
2017	39349	94168	106 179

Source : DPRAH, 2018

Formule de conversion des espèces en UBT :

Bovin = 0,7 UBT ; Ovins = Caprins=0,1 UBT .(Source : FAO 1986)

Espèce	Nombre	Conversion en UBT	cons (l/UBT/j)	cons (m³/j)
Bovins	38 577	27004	38	1026,1482
Ovins et caprins	196419	9232	7	137,49
Consommation totale par jour(m³/j)				1163,6

❖ Irrigation

Calcul des besoins nets de la plante :

$$ETM = K_c \times ETo$$

K_c : coefficient cultural (voir tableau ci-dessous). Il varie en fonction de stade de développement des plantes. Dans notre cas nous avons utilisé le K_c moyenne.

Hypothèses de calcul des besoins nets de la plante :

- Nous retiendrons la culture de l'oignon pour le calcul des besoins en eau théorique de la plante car elle occupe 51% des superficies emblavées.
- La superficie emblavée pour la culture de l'oignon est évaluée à 448,55ha.

Mois	novembre	décembre	janvier	février	mars
Nombre de jours (j)	30	31	31	28	31
K_c équivalent	0,63	0,89	0,99	0,88	0,81
EbacA (mm/mois)	236,53	247,21	260,31	279,95	342,43
EbacA (mm/j)	7,88	7,97	8,40	10,00	11,05
ETO (mm/j)	4,73	4,78	5,04	6,00	6,63
ETM (mm/j)	2,96	4,27	4,99	5,25	5,38
ETM (mm)	88,70	132,30	154,80	146,98	166,85
P (mm/j)	0	0	0,2000	0,20	1,10
Pe (mm)	0	0	0,12	0,12	0,66
ETM-Pe (mm)	88,70	132,30	154,68	146,86	166,19
Besoins nets (m ³ /ha)	887,00	1322,95	1546,80	1468,55	1661,94
Besoins nets (m ³)	397865,60	593410,19	693817,62	658719,85	745462,79

ANNEXE III-4. Estimation des pertes mensuels par infiltration et par évaporation

Mois	Durée (j)	Evaporation bac "A" (mm)	Evaporation Lac (mm)	Infiltration (mm)
J	31	261,4	186,2	46,5
F	29	280,5	189,2	42
M	31	341	218,5	46,5
A	30	329,1	211,1	45
M	31	315,2	208,4	46,5
J	30	259,7	183	0
J	31	207	161,8	0
A	31	174,1	145,8	0
S	30	175	144,3	0
O	31	219,4	167,5	0
N	30	236,6	173,1	45
D	31	246,1	179,5	46,5
Total :			2168,4	318

ANNEXE III-5. Exploitation de la retenue

- Plan d'Eau Normal : Côte 295,00 m

Hypothèse d'évaluation des besoins

❖ agricole :

Oignon en saison sèche (Novembre-Mars) sur une superficie de 448,55ha

❖ pastoral :

Bovins= 27004 têtes, pour une consommation spécifique de 38 l/j/tête.

Ovins et caprins = 9232 têtes pour une consommation spécifique de 7 l/j/tête

❖ Prélèvement ONEA : Données brutes prélevées mensuellement.

Récapitulatif des besoins en eau

Mois	Besoins d'eau d'irrigation (m3)	Besoins d'eau pour AEP (m3)	Besoin pour le cheptel (m3)
Novembre	436565,41	112184	38107,85
Décembre	645098,68	113434	39378,12
Janvier	756700,49	113815	39378,12
Février	724055,36	105163	31496,44
Mars	821799,49	118057	39378,12
Total	3384219,42	562653,00	187738,64

Simulation des fluctuations de niveau d'eau dans la cuvette

Mois	V ret (m3)	Vpre (m3)	Vret-Vpre	cote après	i+e (mm)	cote finale (m)	Volume final (m3)
Novembre	7780865,2	586857,26	7194007,9	294,9	0,218	294,68197	6200000
Décembre	6200000	797910,8	5402089,2	294,61	0,224	294,38581	4500000
Janvier	4500000	909893,61	3590106,4	294,2	0,230	293,9702	2500000
Février	2500000	860714,8	1639285,2	293,75	0,231	293,519	1200000
Mars	1200000	979234,61	220765,39	293,1	0,263	292,8373	100000

ANNEXE IV : Etude des scénarii

Annexe IV-1. Simulation de l'évolution de la capacité de la retenue d'eau de 1990 à 2018

❖ Paramètres d'étude :

Capacité max de la retenue en 1990	13200000 m3
Taux moyen de dépôt de sédiment constant	124822,908 m3/an
Volume théorique des besoins en eau de consommation en 1990	1923067,07 m3
Volume théorique des besoins en eau de consommation en 2018	5060636,27 m3
Capacité max de la retenue en 2018	7 780 865,15 m3
Pertes moyenne par infiltration et par évaporation	2486,4 mm/an.

❖ Hypothèses d'étude

Le taux moyen de dépôt de sédiment est constant

Le taux d'accroissement du cheptel est constant.

❖ Résultat de la simulation de 1990 à 2018

Année	Eau de consommation	Stock		Année	Eau de consommation	Stock
1990	1923067,1	12670000		2004	2797581	9960500
1991	2050989,1	12476464,3		2005	2840972,2	9766964,29
1992	2233186,7	12282928,6		2006	2884868,3	9573428,57
1993	2313916,8	12089392,9		2007	2929254,2	9379892,86
1994	2357986,7	11895857,1		2008	2974167,8	9186357,14
1995	2403085,4	11702321,4		2009	3544234,7	8992821,43
1996	2534025,9	11508785,7		2010	3622640,4	8799285,71
1997	2496470,5	11315250		2011	4007896,2	8605750
1998	2544809,1	11121714,3		2012	4273499,3	8412214,29
1999	2594280,8	10928178,6		2013	4474762,8	8218678,57
2000	2644913,3	10734642,9		2014	4595066,4	8025142,86
2001	2696735	10541107,1		2015	4758306,1	7831607,14
2002	2772372,5	10347571,4		2016	5040936,9	7638071,43
2003	2789053,1	10154035,7		2017	5060636,3	7444535,71

Annexe IV-2. Simulation de l'évolution de la capacité de la retenue d'eau de 2018 à 2050

❖ Paramètres d'étude :

Capacité max de la retenue en 2018 :	7 780 865,15 m3
Surface de la retenue en 2018	6105196,42 m2
Taux de croissance annuel du cheptel : constant	Bovins : 4,7% Ovins : 2,3% Caprins : 3,3%
Volume d'eau prélevé annuellement pour l'AEP : constant (PDG,2014)	1 000 000 m3
Taux moyen de dépôt de sédiment constant : constant	124822,908 m3/an
Volume théorique des besoins en eau de consommation en 2018	5060636,27 m3
Pertes moyenne par infiltration et par évaporation : constant	2486,4 mm/an.

ANNEXE V : Administration des fiches d'enquête

❖ Choix des sites d'enquête

Pour ce qui est des enquêtes de terrains, sept villages ont été retenus. Ce choix a été fait en tenant compte de leurs proximités du bassin versant du lac Dem et des activités des populations cibles. Les fiches d'enquêtes ont été administrées aux ménages et l'échantillonnage a été fait de façon aléatoire en considérant 10% de la population de chaque village

❖ Echantillonnage

Un questionnaire a été administré à 149 ménages sur l'ensemble des sites choisis.

La taille de la population mère a été calculée à partir de la densité des ménages issus du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2006 (INSD, 2009). Une fois le nombre de ménages connu, la taille de l'échantillon a été choisie en fonction des contraintes de temps et des moyens disponibles. Pour éviter les disproportions et s'assurer que l'échantillonnage soit universel, UN (2010) propose de prendre 10% de la population mère surtout dans le cadre des enquêtes utilisant plusieurs critères à la fois. La taille de l'échantillon concerné par les enquêtes par site est présentée par le Tableau suivant :

Tableau A: Taille de l'échantillon par site

N°	Villages	Ménages enquêtés
1	Dem	33
2	Dembila-Mossi	08
3	Dembila-Peul	06
4	Kamsaogho	19
5	Konkin	21
6	Zandogo	15
7	Zorkoum	34
	Total	146

Le niveau de précision correspondant à la taille de cet échantillon est de 6.2%. Elle a été calculée sur la base de la formule suivante :

$$\delta = Z_{1-\alpha} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

Avec :

$Z_{1-\alpha}$ Permet de déterminer l'écart correspondant $pZ_{1-\alpha}$ Permet de déterminer l'écart correspondant pour la distribution de la loi de Student ; sa valeur est de 1,96 lorsque le seuil de confiance accepté est de 95%,

ANNEXE VI : Questionnaire

FICHE D'ENQUETE

Date :

Village :

Nom et Prénoms de l'enquêteur :

Rang social :

Ethnie :

1. La profondeur de la retenue a-t-elle diminuée ?
a- oui b- non
2. A votre avis, à quoi serait lié cette diminution ?
a- dépôts dans le barrage
b- autres
3. Que représente pour vous le phénomène des dépôts dans le barrage ?
a- un problème grave à prendre en compte ?
b- un problème mineur
4. Qu'est-ce qui explique ce phénomène des dépôts ?
a- action pluviale
b- activité du vent
c- fragilisation du sol
5. Qu'est-ce qui caractérise l'action pluviale ?
a- perte des terres
b- autres
6. Vers où sont déplacés ces terres ?
a- barrage
b- bas-fonds environnants
7. La fragilisation du sol est imputable quel facteur clé ?
a- faible couvert végétal
b- autres
8. Qu'est-ce qui explique la dégradation du couvert végétal ?
a- action éolienne
b- démographie
c- sécheresse
d- coupe abusive du bois
9. Quel est le type de labour le plus pratiqué ?
a- à plat
b- buttes
c- billons
10. Les animaux restent-ils aujourd'hui dans les mêmes rayons de pâturage qu'avant ?
a- oui b- non
11. Les pistes à bétail ne constituent-ils pas des chemins privilégiés de l'eau en hivernage ?
a- oui b- non
12. Ces pistes à bétail ne subissent-ils pas des phénomènes de creusement d'année en année ?
a- oui b- non
13. Vers où selon vous, sont charriés les produits issus de ce creusement ?
a- bas-fonds environnants
b- barrage
14. A votre avis, que risque-t-il de se produire avec le phénomène des dépôts dans le barrage ?
a- comblement du barrage
b- baisse de la capacité de stockage
c- blocage des activités de contre-saison
d- grosse perte pour la région
15. Que préconisez-vous à cet effet ?
a- curage
b- lutte anti-érosive
c- autres

ANNEXE VII : Notice d'impact environnemental

Tableau 01: Etude d'impact par la méthode descriptive

	Eau				Sol			Faunes et Flores		Air et paysage		Socioéconomiques												
	Qualités des eaux de surface	Qualités des eaux souterraines	Ecoulement des cours d'eau	Disponibilité de la ressource	Texture et structures du sol	Pollution des sols	Forme du relief	Végétation	Faune	Qualité de l'air	Nuisance sonores	Paysage	Espace agricole	Espace pastorale	Sante Public	Création d'emploi	Condition de vie des	Les rendement agricole	Relation social	Habitation et autres bâtiments	Formation	Sécurité des population	Changement du cadre de vie	Création de sources régénératrice de revenus
Amené et repli du matériel de construction																								
Dépôt des matériaux secs																								
Productions des déchets solides et liquides																								
Mise en œuvre du réseau et ouvrages																								
Rehaussement du déversoir																								
Présences des étrangers																								
Présences de mains d'œuvres																								
Entretien du barrage																								

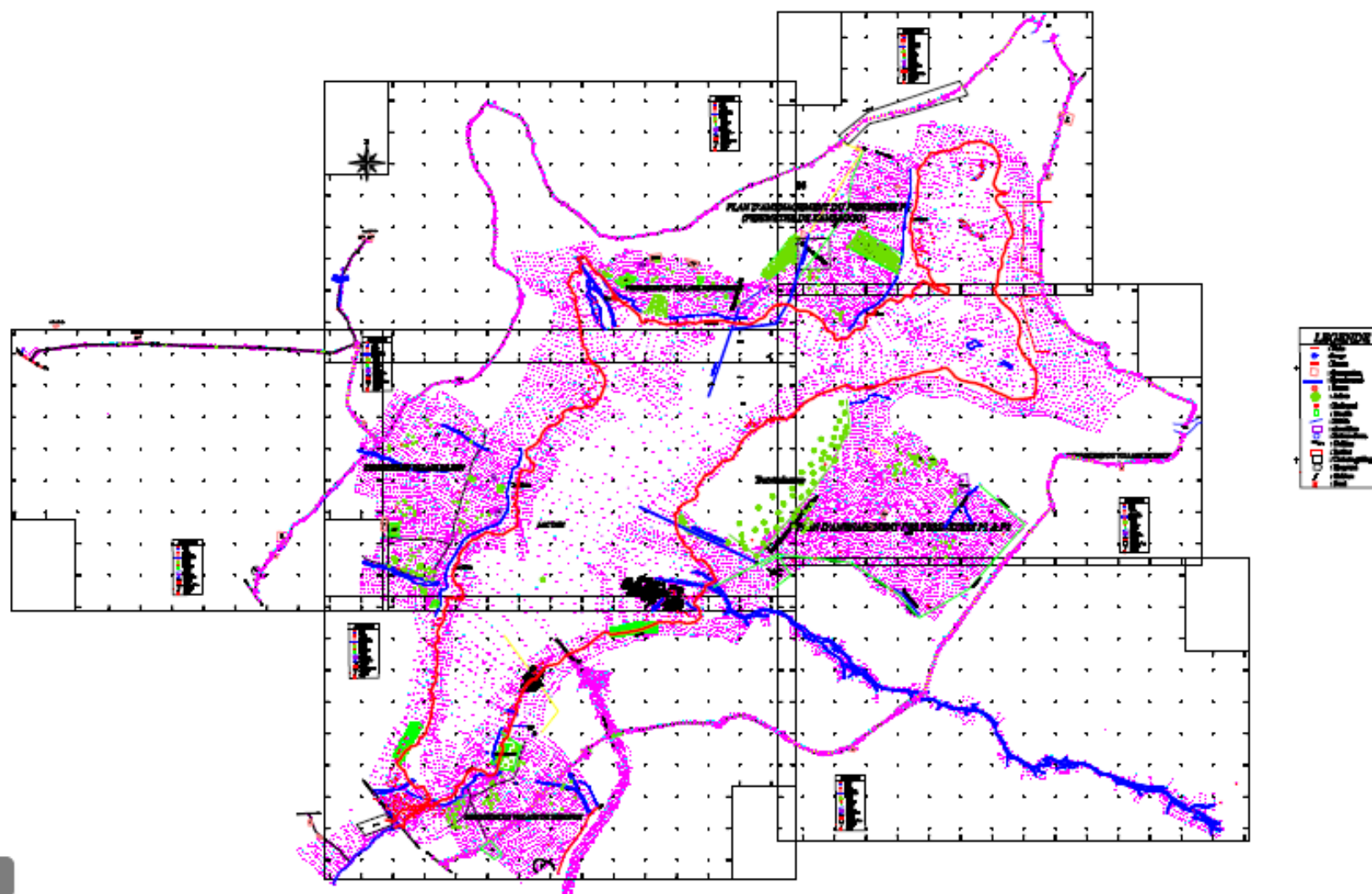
Tableau 02: Plan de mise en œuvre d'atténuation

Composantes du milieu	Impacts potentiels	Mesures d'atténuations
Eaux	-risques de pollution des eaux de surface -Risque de pollution des souterraines par l'utilisation par l'utilisation des engrais azotés et des pesticides -Disponibilité des eaux - Risques de surpâturage	- Collecte et le traitement des déchets du chantier et des bases vie. -Respect de la bande de servitude du barrage - Concernant la prévention de la pollution des eaux par les intrants chimiques, la formation des exploitants à la bonne utilisation des engrais chimiques et pesticides sera inscrite au programme des actions d'appui
Qualité de l'air	-Poussière et fumés -Nuisance sonore	- Arroser le site des travaux et les pistes des déviations - régler correctement les moteurs des engins et faire un contrôle rigoureux de l'état des engins du chantier - limitation des vitesses des engins du chantier afin de réduire les soulèvements de poussières -Limiter les opérations et travaux trop bruyants à certaines heures de la journée pour ne pas déranger les populations
Végétation	-Déboisement	-Plantation d'arbre en vue de compenser ceux qui seront détruits dans la cuvette du barrage. - Plantation d'arbre moins consommatrice d'eau autour du barrage et du périmètre maraicher pour limité l'évapotranspiration
Sols	- Risques d'érosion et de pollution - Risque de dégradation de la texture sol et de sa qualité	-Maintenir les véhicules de transport et la machinerie en bon état de fonctionnement afin d'éviter les fuites d'huiles, de carburant. -Proscrire l'implantation d'installations de chantier dans les zones boisées -Veillez à la collecte régulière des déchets solides engendrés lors des travaux

		-Former les exploitants sur les types d'engrais et de pesticides à utiliser et définir clairement les doses d'engrais chimiques, leurs périodes et modalités d'application et inciter les exploitants à l'utilisation d'engrais organiques, -Mettre à la disposition des exploitants des produits chimiques (engrais, pesticides) homologués ; -Renforcer les capacités des producteurs en nouvelle technique de production agricole et sur la production de la fumure organique. -Inciter les populations à donner un temps de repos au sol avant de le démarrage de chaque saison
Santé	-Risques d'infections sexuellement transmissibles (IST) VIH/SIDA -Risque de prévalences des maladies liées à l'eau tel que le paludisme, les maladies hydriques (bilharziose et de l'onchocercose ect) -Maladies et nuisances liées à la poussière et fumée	-Information et sensibilisation sur les maladies sexuellement transmissibles - Fourniture de préservatifs gratuits aux ouvriers et habitants -Renforcer les capacités d'accueil et d'intervention de centres de santé afin de faciliter la prise en charges des malades - sensibiliser à l'utilisation des moustiquaires imprégnées ; -Port des masques anti poussières obligatoire pour les travailleurs,
Sécurité	-Risque d'accidents de chantiers aussi bien pour les travailleurs que pour la population	-Implantation des panneaux de signalisations et sensibilisation des villageois aux dangers de la circulation -Limiter l'accès aux zones de travaux a toutes personnes qui n'y travaillent pas -Clôture et le gardiennage des bases vie, des zones de travaux - Port obligatoire des tenues de sécurité (pour les ouvriers)
Population et cohésion sociale	-Risques d'introduction des mauvais comportements qui vont dépraver les mœurs	-Sensibilisation et animation de la population -Discipliner les irrigants au respect du tours d'eau

	- Risques de conflits dans la gestion de l'eau d'irrigation pendant l'exploitation -Risque de conflits dans le partage des parcelles	-Prioriser les anciens propriétaires et intégrer les producteurs de l'aménagement anarchique - Recasement de la population déplacée ; -Dédommagement des biens ; -Facilitation à l'accès à la terre
Habitations et champs agricoles	- Risque d'inondation de certaines habitations situées à moins de 200 m du barrage -Inondation des exploitations anarchiques situées dans la cuvette	- Délocaliser les habitations situées à moins de 200 m de la bande de la bande de servitude -Interdire les exploitations anarchiques et les délocaliser dans la partie étendue du périmètre
Emploi	-Création d'emplois temporaires lors de la réhabilitation - et permanents lors de l'exploitation	-Favoriser l'embauche locale lors des travaux (extraction de sable, petits ouvrages). -Respecter l'âge minimal et éviter les travaux dangereux ou nécessitant un effort considérable pour les femmes

ANNEXE VIII : Plan levé bathymétrique



ANNEXE IX : Détail du devis quantitatif et estimatif des rehaussement du déversoir

Désignation	Unit	Quant	Prix unitaire	Prix total (cfa)
Installation et replis du chantier				
Amené du matériel et Installation du chantier	FF	1,00	5 000 000	5 000 000
Replis du chantier	FF	1,00	2 500 000	2 500 000
Sous total I				7 500 000
Rehaussement du déversoir				
Diguette de protection				
Perré maçonné pour diguette de protection	ml	24,00	35 000	840 000
Imprévus	FF	1,00	2 000 000	2 000 000
Rehaussement du déversoir	FF	1	30 000 000	30 000 000
Abattage et dessouchages des arbustes sur les parements de la digue	FF	1	500 000	500 000
Sous total II				33 340 000
Total I+II				40 840 000

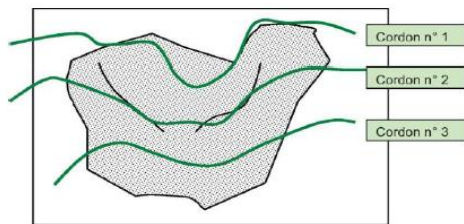
ANNEXE X : Détail devis quantitatif et estimatif du curage

Désignation	Unit	Quant	Prix unitaire	Prix total (cfa)
Curage				
Dragage+ Replis du chantier+ Amené du matériel et Installation du chantier	m3	5 419 135	5000	27 095 675 000
Sous total				27 095 675 000

ANNEXE XI : Quelques moyens anti-érosifs

Cordon de paille :

Le cordon de paille est une rangée de paille fixée par des piquets suivant les courbes de niveau. Cette mesure consiste à ralentir la force de l'eau à travers la régénération d'une couverture végétale.



Cordon de Pierre

Source : PLAE ,2008

Diguette en pierres

La diguette en pierres est un dispositif filtrant construit avec des cailloux. Elle est aussi installée suivant les courbes de niveau mais l'écartement entre deux diguette est beaucoup plus large.



Diguette de pierre

Source : PLAE ,2008

Haies antiérosives

Utilisation de plante à racine très développée comme le Vétiver et le Sisal. Ces haies doivent avoir une bonne reprise et une bonne fermeture.



Eclat de souche du vétiver et le développement de son système racinaire

Source : PLAE ,2008