



AMENAGEMENT IRRIGUE DE CONTRE SAISON DANS LE BAS-FOND RIZICOLE A CAMPAGNE HIVERNALE UNIQUE DE MOUSSODOUGOU

OPTION D'IRRIGATION PAR ASPERSION A PARTIR D'OUVRAGE DE
MOBILISATION D'EAU

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES-EAUX AGRICOLES

Présenté et soutenu publiquement le 27 Octobre 2015 par

Wendpouré David Wenceslas KABORE

Travaux dirigés par : Dr Amadou KEITA

Enseignant-Chercheur au LEAH

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Amadou KEITA

Membres et correcteurs : M. Roland YONABA

M. Arnaud QUENUM

Promotion [2014/2015]

AVANT-PROPOS

Ce document présente les résultats de nos recherches dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude pour l'obtention de notre diplôme de Master 2 en ingénierie de l'eau et de l'environnement option infrastructures et réseaux hydrauliques. Nous voulons également souligner que sans les efforts conjugués du Programme USAID WA-WASH et de la LONAB aucun des résultats dans ce document ci ne seraient obtenus. En effet, ces deux institutions citées ci-dessus nous ont octroyé une bourse d'étude et de recherche pour le courant de l'année académique universitaire 2014-2015.

Ainsi, ce document sera répliqué en plusieurs exemplaires afin d'être archivé non seulement dans notre institut formateur 2iE mais aussi au sein du Programme WA-WASH et de la LONAB.

Le Programme WA-WASH (West Africa-Water Supply, Sanitation and Hygiene) est un des nombreux programme développé par l'USAID (United States Agency for International Development). L'USAID en collaboration avec la FIU (Florida International University) a mis sur pied ce programme ci qui vise la vulgarisation de l'accès à l'eau et de l'assainissement et aussi qui lutte contre l'insécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest à travers un ensemble de mesures conjointes avec notamment le financement de bourse de recherche.

La LONAB (Loterie Nationale Burkinabè) est une institution nationale qui à travers les bénéfices issus des paris divers fait par les Burkinabès investit dans les secteurs clés pour le développement du Burkina Faso notamment l'éducation et la formation professionnelle.

Nous ne saurons ainsi conclure nos travaux de recherche sans souligner le bien fondé de leurs efforts et sans leur adresser un profond remerciement pour les œuvres qu'ils accomplissent pour le développement de notre pays le Burkina Faso.

REMERCIEMENTS

J'aimerais présenter ma profonde gratitude aux personnes physiques ou morales qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce document.

Mes remerciements vont tout d'abord à mon directeur de mémoire, Dr Amadou KEITA Enseignant-Chercheur au laboratoire LEAH 2iE pour m'avoir octroyé ce thème de recherche et pour son suivi régulier tout au long de mon stage.

J'adresse mes remerciements également au Dr Mahamadou KOITA, Enseignant-Chercheur au laboratoire LEAH 2iE pour sa disponibilité, sa compréhension et son accompagnement pour l'accomplissement de notre sortie de terrain sur Moussodougou.

Je remercie M. Issa MADOUGOU pour sa compréhension et sa disponibilité

Je remercie le Pr Harouna KARAMBIRI pour son accompagnement et son aide.

Je remercie M. Patrick KABORE pour son aide en tant que frère et ingénieur du domaine.

Je remercie M. Ladji TRAORE de l'Institut Géographique du Burkina pour sa gentillesse

Je m'en vais remercier Aly SIMBORO, étudiant en Master 2 IRH à 2iE pour sa disponibilité et sa bonne volonté également lors de la sortie de terrain sur Moussodougou.

Je n'oublie pas non plus Jean Michel Lionel ZEO, étudiant en Master 2 IRH à 2iE mon binôme de recherche.

Je remercie tous mes amis et proches pour leur aide

Je remercie le Programme WA-WASH et la LONAB pour l'honneur qu'ils me font en m'octroyant cette bourse de recherche.

DEDICACES

Je finirai en dédiant ce document à ma famille entière qui m'apporte son soutien perpétuel de tout genre depuis toujours. Je leur dois tout pour ce que je suis aujourd'hui.

Je dédie également ce document à mes amis très proches qui sont ma seconde famille pour leurs conseils et leur aide.

RESUME

Le présent travail est un projet visant à proposer des solutions qui permettraient d'avoir un double impact sur les bas-fonds de la zone tropicale de savane. En effet, il contribuera à la réduction de la toxicité ferreuse (nuisible à la culture du riz) et à la lutte contre la pauvreté. Cela sera rendu possible par la mise à disposition de systèmes irrigués efficaces en eau, résolument tournés vers les productions à haute valeur ajoutée comme la maraîchéculture.

Ainsi, pour contrer ce phénomène nous proposons de mettre en place un aménagement hydro-agricole sur les deux rives du bas-fond de Moussodougou. Il s'agira d'introduire une deuxième campagne, c'est-à-dire de contre saison pour maintenir le sol dans des conditions humides le plus de temps possible dans l'année. Pour résoudre le problème de disponibilité de l'eau d'irrigation, nous avons fait une étude pour l'aménagement d'un barrage qui est le seul ouvrage pouvant stocker la quantité d'eau nécessaire. La digue d'une longueur de 875 m et d'une hauteur utile de 7 m engendrera une cuvette d'une capacité de 2,2 millions de m³. En aval de celle-ci prendra naissance un périmètre irrigué de 76,8 ha subdivisé en deux parties égales sur les deux rives du bas-fond. Par suite, le futur périmètre sera composé d'un réseau de drainage, et de 208 rampes, 64 portes rampes, 4 conduites primaires, de 2 pompes chacune équipée de son groupe électrogène pour l'irrigation de 192 parcelles de 0.4ha chacune à l'aide de 3328 asperseurs. Le débit d'équipement est de 1,21 l/s/ha.

Le choix cultural reviendra aux différents bénéficiaires du périmètre. En effet, les bénéficiaires sont un groupement de producteurs déjà en place dans la commune rurale de Moussodougou et il leur incombera de faire le choix de la culture de contre saison ; les plus rentables sont notamment le chou, l'oignon et la tomate. Cependant, pour le dimensionnement du réseau c'est la culture de « pointe », ici le chou qui a été retenu et il nous faudra mobiliser environ 400m³/h durant la campagne qui s'étendra de Octobre à Mars.

Le coût global du projet est estimé à 534 246 472 FCFA TTC à savoir 6 956 000 FCFA/ha pour une durée de retour sur investissement de deux ans.

Mots clés :

- 1- Toxicité ferreuse
- 2- Moussodougou
- 3- Digue
- 4- Périmètre
- 5- Culture de contre saison

ABSTRACT

Through this project, we aim to propose solutions that would have a double impact on tropical savannah shallows mainly by reducing iron toxicity (harmful to rice crop) and by fighting against poverty through the execution of efficient irrigation systems for crops such as onion, cabbages, tomatoes which have high added value.

So, to counter this phenomenon we propose to set up an irrigation scheme on both banks of this shallow of Moussodougou (grew in rice on rainy season) which suffer from a severe iron toxicity. The aim is to introduce a second campaign during dry season. In fact, this will keep the soil in wet conditions during this dry period of the year and then will reduce this toxicity for the future rice campaign. To solve the availability of irrigation water, we did studies for the construction of a dam which is the only hydraulic accomplishment that can store the required amount of water. The necessary high of the dike is 7 meters which generates a 2.2 million m³ basin capacity. Downstream the dike there will be established an irrigated area of 76.8 ha divided into two equal parts on both sides of the shallow. The area will be made up of a drainage system, and 208 laterals, 64 manifolds, 4 main pipes, 2 pumps supplied by 2 generators for 192 plots of 0.4 ha irrigated each of them by 3328 sprinklers. We can note a specific discharge of 1,21 l/s/ha.

The farmers' organization of Moussodougou will benefit to this irrigated area and they will have the choice between onion, cabbage and tomato such as dry season crops. However, for the system dimensioning, we took the culture with the highest gross application depth. In this case it is cabbage. Thus, we will use 400 m³/h during the campaign which will run from October to March.

The overall project cost is estimated at 534 246 472 FCFA including 6 956 000 FCFA/ha for a payback time of two years.

Key words:

- 1- Iron toxicity
- 2- Moussodougou
- 3- Dike
- 4- Irrigated area
- 5- Dry season crop

LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS

BV: Bassin Versant

EIER: Établissement Inter-état de l'Équipement Rural

EIES : Étude d'Impact Environnemental et Social

ERT : Electrical Resistivity Tomography

CIEH: Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques

DPEEFC : Direction Provinciale de l'Environnement et des Eaux et forêts de la Comoé

DRAHRH : Direction Régionale de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

DRRA: Direction Régionale des Ressources Animales

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

GPS : Global Positioning System

IGB : Institut de la Géographie du Burkina

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

IRD : Institut de Recherche et de Développement (Ex Orstom)

MARHASA : Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire

MECD : Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie

NIES : Notice d'Impacts Environnementale et Sociale

ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération

PAFASP : Programme d'Appui aux Filières Agro-Silvo-Pastoral

PIB : Produit Intérieur Brut

RGA : Recensement Général de l'Agriculture

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SIG : Système d'Information Géographique

TTC : Toutes Taxes Comprises

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Pluviométrie (hauteur d'eau annuelle en millimètres).....	7
Tableau 2 : Extrait de la classification des sols du bas-fond de Moussodougou	9
Tableau 3 : Production annuelle des cultures maraichères en 2009.....	10
Tableau 4 : Données topographiques des points levés	17
Tableau 5 : Données d'évaporation au bac Colorado.....	23
Tableau 6 : Coefficients culturaux des cultures souhaitées.....	25
Tableau 7 : Valeur de Eto et de la vitesse moyenne journalière	25
Tableau 8 : Volume consommé en m ³ /ha/jr	32
Tableau 9 : Données Hauteur-Surface-Volume du futur barrage de Moussodougou	33
Tableau 10 : Simulation d'utilisation de la retenue.....	33
Tableau 11 : Caractéristiques du déversoir	35
Tableau 12 : Besoins estimés du chou.....	36
Tableau 13 : Besoins estimés de l'oignon	36
Tableau 14 : Besoins estimés de la tomate.....	37
Tableau 15 : Critère de Christiansen	38
Tableau 16: Caractéristique de l'asperseur choisi.....	39
Tableau 17 : Diamètres des conduites	40
Tableau 18 : Perte de charges par type de conduite	40
Tableau 19 : Caractéristiques de la pompe.....	41
Tableau 20 : Section des drains	42
Tableau 21 : Extrait du calendrier d'arrosage	43
Tableau 22 : Charges d'exploitation	45
Tableau 23 : Récapitulatif production prévisionnelle	45
Tableau 24 : Rentabilité du projet.....	46
Tableau 25 : Explicatif du graphe des impacts.....	47

LISTES DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du bas-fond de Moussodougou.....	6
Figure 2 : Photo satellitaire de l'emplacement de la future digue (Google Earth).....	16
Figure 3 : Vue satellitaire du futur aménagement sur les deux rives (Google Earth)	18
Figure 4 : Isohyètes des pluviométries annuelles (CIEH 1985)	20
Figure 5 : Vue schématique de l'aménagement en rive droite	29

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	i
REMERCIEMENTS	ii
DEDICACES.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTES DES FIGURES.....	viii
INTRODUCTION.....	3
PREMIERE PARTIE : présentation générale.....	5
I. Présentation géographique de la zone d'étude	6
1. Situation géographique.....	6
2. Le climat.....	7
3. Le relief et la végétation	7
4. Les sols	8
II. Présentation socio-économique.....	9
1. Présentation démographique	9
2. Présentation économique.....	10
2.1. L'agriculture.....	10
2.2. L'élevage.....	11
Deuxième partie : Matériels et méthodes- Étude de l'aménagement.....	12
I. Matériel	13
1. Les travaux de bureau.....	13
2. Les travaux de terrain	13
II. Méthodes	14
1. Choix du site et du type d'infrastructure de mobilisation des eaux de surface	15
2. Collecte des données topographiques et géophysiques	16
3. Choix de la culture et du site du futur périmètre irrigué	17
4. Étude de la cuvette	19
4.1. Détermination des apports et de la crue	19
4.2. Méthode de dimensionnement du déversoir	21
4.3. Estimation de l'évaporation, l'infiltration, du dépôt solide et des pertes diverses	23

4.4. Courbe hauteur-surface-volume.....	24
5. Etude du périmètre	25
5.1 Détermination des besoins des cultures	25
5.2. Dimensionnement du réseau	27
5.3. Design des parcelles.....	28
5.4. Réseaux de drainage du périmètre	29
Troisième partie : Résultat-Discussion	31
I. Résultats.....	32
1. Étude de la cuvette	32
1.1. Simulation d'utilisation de la retenue	32
1.2. Dimensionnement du déversoir et étude de l'écoulement	35
2. Étude du périmètre	36
2.1. Détermination des besoins des cultures	36
2.2. Le réseau d'irrigation	38
2.3. Le réseau de drainage.....	42
2.4. Organisation de l'arrosage	42
2.5. Les pistes d'accès.....	43
II. Étude économique et environnementale	44
1. Etude économique	44
2. Etude environnementale	46
III. Discussion-Recommandations	48
Conclusion et perspectives	50
Bibliographie	51
Annexes	I
Annexe I : Questionnaire d'enquête.....	II
Annexe II : Caractéristiques du bassin versant	III
Annexe III : Tableau récapitulatif des équations utilisées et de la méthode du X_0	IV
Annexe IV : Courbe de fonctionnement pompe-réseau.....	V
Annexe V : Résultat de l'ERT	VI
Annexe VI : Tableau des dispositions d'atténuations et de bonification des impacts environnementaux.....	VII
Annexe VII : Devis estimatif de l'aménagement.....	IX
Annexe VIII : Plan d'aménagement et profils en long et en travers de la digue	XI

INTRODUCTION

Le secteur agricole est le premier pilier de l'économie nationale au Burkina Faso. L'agriculture et l'élevage contribuent en effet pour près de 31% du PIB et pour près de 60% des exportations. Par ailleurs, ce secteur emploie pour près de 92% de la population. On dénombrait en 2005 1,5 million d'exploitants agricoles dont 87% pratiquaient une agriculture de subsistance et un élevage extensif marqué par une faible productivité (*FAO 2005*). Ainsi, notre aménagement trouve toute sa justification dans le fait que l'agro-pastoral constitue un poumon économique dans toutes les régions et encore plus dans une région comme la nôtre qui connaît une des fortes pluviométries du pays.

De plus, le bas-fond rizicole à campagne hivernale unique de Moussodougou est en proie à une grave contamination ferreuse. En effet, une fois l'hivernage passé les terres agricoles perdent leur humidité dont elles disposaient et connaissent une acidification due à l'aridité de la saison sèche. Par suite, cette acidification favorise l'absorption des ions ferreux (Fe^{2+}) par les cultures à la reprise de la campagne hivernale suivante (*KEITA, 2015*). Du coup, les rendements connaissent une forte baisse et dans de nombreux cas la production du riz tombe tout simplement à zéro.

Cependant, il existe une solution adéquate pour remédier à ce phénomène récurrent de toxicité ferreuse. En effet, la réduction de l'absorption ferreuse par les cultures passe par la réduction de l'acidification des terres en saison sèche; il est ainsi question du maintien permanent des terres agricoles dans des conditions humides (dans leurs conditions de capacité au champ). De ce fait, nous proposons de mettre en place un aménagement hydro-agricole sur les deux rives du bas-fond rizicole de Moussodougou. Il s'agira d'introduire une deuxième campagne de contre saison pour maintenir le sol dans des conditions humides le plus de temps possible dans l'année.

En outre, cet aménagement sera économiquement très bénéfique à la localité de Moussodougou. En effet, le sous-emploi des producteurs qui durant l'intersaison ne profitent pas des bénéfices que auraient pu leur apporter les cultures de contre saison constitue un handicap de développement de la région. En somme, notre projet vise non seulement la maîtrise du phénomène de toxicité, mais aussi la réduction de la pauvreté par multiplication et diversification des revenus financiers du groupement d'agriculteurs de Moussodougou. D'un point de vue plus global, cette étude contribuera à mener la population de la zone vers l'autosuffisance alimentaire et à la création d'emploi. En d'autres termes, ce projet entre dans le cadre de la lutte contre l'insécurité alimentaire

qui est un des chevaux de bataille du Programme USAID WA-WASH qui subventionne nos recherches.

Le présent document s'organisera en trois parties essentielles :

La première partie présentera sommairement la zone d'étude dans sa dimension géographique (climat, topographie) et dans sa dimension socio-économique

La deuxième partie résumera les matériels et méthodes utilisés pour l'atteinte de nos objectifs, ainsi que l'étude de la faisabilité de l'aménagement.

La troisième partie présentera nos résultats, nos suggestions, l'étude économique et environnementale du projet dans sa globalité.

PREMIERE PARTIE : PRÉSENTATION GÉNÉRALE

I. Présentation géographique de la zone d'étude

1. Situation géographique

La commune rurale de Moussodougou se localise facilement et dispose d'une voie d'accès bien définie. Elle est située dans la province de la Comoé à 50 km au Nord-Ouest du chef-lieu Banfora (Figure 1) et est accessible par la route départementale Banfora-Bérégadougou-Moudon-KoloKolo-Moussodougou. Localisé entre les points de coordonnées $10^{\circ} 52' 30''$ N, $4^{\circ} 56' 30''$ O et $10^{\circ} 51' 30''$ N, $4^{\circ} 54' 54''$ O, le bas-fond de Moussodougou est un affluent du fleuve Comoé qui draine tout le bassin de la Comoé d'une superficie de 16810 km^2 (DRAHRH, 2005). Le bas-fond à aménager se situe à environ 5 km de la mairie et on y a accès par des sentiers d'une largeur variant de 1 à 3 m à travers les champs avec souvent de fortes pentes de terrain.

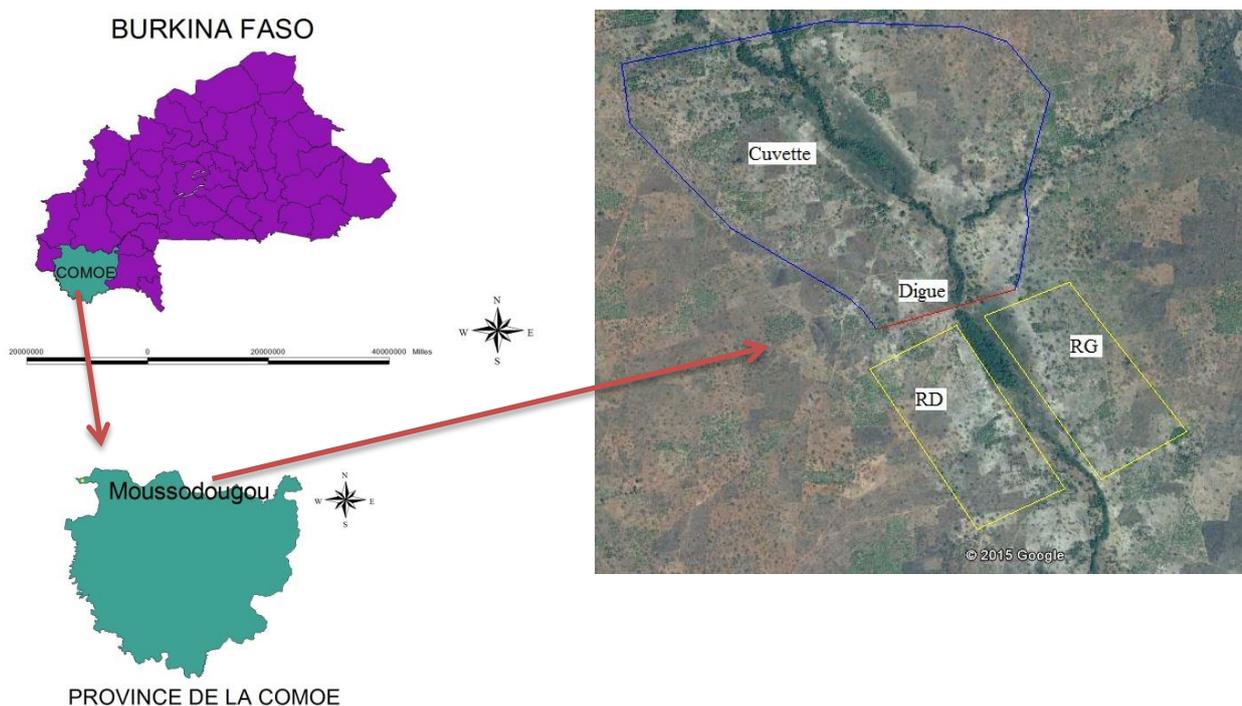


Figure 1 : Localisation du bas-fond de Moussodougou

2. Le climat

Le climat joue un rôle capital dans l'aménagement d'un périmètre irrigué, il convient donc de le caractériser avant tout. Le site d'étude est situé dans la zone de climat sud-soudanien qui compte parmi les régions les mieux arrosées du pays caractérisé par deux grandes saisons : une saison humide d'avril à octobre et une saison sèche de novembre à mars. De plus, les températures moyennes annuelles sont comprises entre 17°C et 36°C, soit une amplitude thermique de 19°C.

Située entre les isohyètes 900 et 1200 mm, la province de la Comoé dans laquelle se trouve notre site d'étude est relativement bien arrosée par les pluies. Le tableau 1 donne les hauteurs d'eau tombées de 1990 à 1999.

Tableau 1 : Pluviométrie (hauteur d'eau annuelle en millimètres)

Années	Postes pluviométriques				
	Banfora	Mangodara	Niangologo	Sidéradougou	Tiéfora
1990	1 078,4	1 005,2	1 169,7	942,2	787,3
1991	1 128,5	934,7	1 347,6	973,8	1 030,6
1992	830	723,3	895,7	922,6	703,8
1993	905,6	1 234,4	1 004,1	940,4	1 048,3
1994	1 208,3	1431,1	1 306,3	1 218,2	1 070,9
1995	1 199,8	1 078,2	1 139,2	1 191,7	1 167,8
1996	868	1029	1025	968	895
1997	973,6	1 220,6	1 318,8	1 020,1	955,3
1998	921	1110,9	1181,9	1268	1006
1999	1139,6	1156,5	1119,4	1388	1293,7
2009	648,2	562,5	941,9	798,4	805,5
Moyenne A*	1025,28	1092,39	1150,77	1083,30	995,87
Écart-type A*	144,36	191,11	156,09	136,56	145,78
Moyenne B*	991,00	1044,22	1131,78	1057,40	978,56
Écart-type B*	176,21	241,65	153,51	180,59	173,64

Source : DRAHRH/Comoé/Banfora

A* : Calcul sans la donnée de 2009

B* : Calcul avec la donnée de 2009

3. Le relief et la végétation

Deux unités topographiques sont présentes dans la province, à savoir les plateaux et les plaines. Les plateaux sont assez nombreux avec une altitude moyenne de 450 m et sont espacés de vallées

drainées par de petits cours d'eau. Les plaines sont plus représentatives et vastes et sont en contact avec les plateaux soit par de fortes ruptures de pente ou soit par des glacis à pente douce.

En outre, comme en accoutumé la végétation est fonction du climat. La combinaison d'une bonne pluviométrie et des sols d'assez bonnes qualités offre des conditions favorables à réclusion d'un couvert végétal consistant avec des espèces ligneuses diverses, caractéristiques du domaine Sud-soudanien. On rencontre plusieurs types de formations végétales :

- ❖ La savane boisée : elle couvre la plupart des plaines, surtout à l'est, au centre et au sud-ouest.
- ❖ La forêt claire : la forêt claire est présente au sud de la province, notamment dans les départements de Niangoloko et de Mangodara
- ❖ La forêt galerie : elle s'étend le long des principaux cours d'eau qui parcourent la province et présente une strate de 20 à 30 m de haut.

Les espèces qui y sont essentiellement rencontrées sont: *Packia biglobosa* (nééré), *Butyrospermum parkii* (Karité) *Adoma digitata* (Baobab) et *Acacia Seyal* (Acacia). Moussodougou possède une forêt classée depuis le 31 Mai 1955 d'une superficie de 130ha (DPEEFC, 1998).

4. Les sols

Nous rencontrons cinq grandes catégories de sols dans la province, classées selon les critères de profondeur et de position physiographique :

- ❖ La catégorie 1 correspond aux sols gravillonneurs. Cette catégorie est très importante dans les départements de Niangoloko, Moussodougou, et Tiefora. Ces sols sont inaptes aux cultures pluviales et à la sylviculture.
- ❖ La catégorie 2 renferme les sols argilo-limoneux. Elle correspond à des terres marginalement ou moyennement aptes aux cultures pluviales. Ces sols sont présents dans les départements de Tiefora et de Niangoloko.
- ❖ La catégorie 3 est constituée des sols sableux à argilo-sableux. Ils couvrent la majeure partie du territoire provincial. Ces sols sont aptes aux cultures pluviales.
- ❖ La catégorie 4 est constituée de sols hydro morphes. Elle se situe dans les zones longeant les cours d'eau.

De façon plus localisée, les sols du bas-fond de Moussodougou auxquels nous nous intéressons sont assez homogènes. En effet, ils sont composés de sols sablo-argilo-limoneux dans l'ensemble, assez

humides et propices à la maraîchéculture. Le sable l'emporte en moyenne avec une proportion de 49% (surtout en surface) contre 27% pour l'argile et 21% pour les limons (profondeur).

Le tableau ci-dessous résume en pourcentage ces différentes proportions ainsi que la classification USDA à trois différentes profondeurs (0,3, 0,5, 1 m).

Tableau 2 : Extrait de la classification des sols (en %) du bas-fond de Moussodougou

Profondeur (m)	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	USDA
0,3	29,4	15,6	43,6	11,1	sablo-argilo-limoneux
0,5	38,3	36,1	25,3	0	argilo-limoneux
1	59,4	23,5	15,7	1,7	argileux
0,3	46,4	13,2	37,3	3,1	argileux
0,5	27,9	15	41	16,1	sablo-argilo-limoneux
1	23	28	28,9	19,7	sablo-argilo-limoneux
0,3	42,6	33,2	23,2	1	argileux
0,5	31,6	45,4	23	0	argilo-limoneux
1	59	22,2	18,8	0	argileux

Source : *KEITA, 2015*

II. Présentation socio-économique

1. Présentation démographique

La population de la province de la Comoé est essentiellement rurale à l'instar de celle de Moussodougou. En effet, en 2006 la population urbaine s'élevait seulement à 98.227 habitants sur une population provinciale totale de 407.528 habitants, soit seulement 24.1% de la population totale (*INSD, RGPH, 2006*). La commune rurale de Moussodougou, d'une superficie de 296 km² pour sa part comptait environ 10.440 habitants (dont 4729 hommes et 5711 femmes) en 2009 avec un taux d'accroissement humain moyen de 4.82% nous estimons sa population à environs 82.148 habitants à l'horizon 2050.

Bien organisé et essentiellement agricole, la population de Moussodougou est multi-ethnique. En effet, nous dénombrons plusieurs ethnies dont les majoritaires sont les Turka, les Sénoufo, les Gouin et les Toussian parlant tous la langue commune de la zone qu'est le « Dioula ». Cette population organisée en 1530 ménages (*RHGP, 2009*) autour d'un chef de communauté et à

majorité musulmane, est principalement agricole due à la bonne pluviométrie et la proximité du bas-fond. Par ailleurs, la pêche n'est pas négligée puisqu'elle occupe momentanément la tranche jeune de la population dans les abords des retenues naturelles d'eau de Tiéfora, de Comoé lobi, Damana...

2. Présentation économique

2.1. L'agriculture

D'une production variée et principale source de revenu des populations rurales, l'agriculture occupe une place de choix dans l'activité économique des localités de la province de la Comoé dont fait partie Moussodougou. Les principales productions agricoles régionales sont pour l'auto consommation à savoir les cultures céréalières (sorgho, mil, maïs) d'une production annuelle de 119.671 T et vivrières (igname, patate) d'une production annuelle de 16.582 T. Par ailleurs, les cultures de rentes (coton, arachide, sésame) comptent une production de seulement 42.831 T (*DRAHRH/Cascade, 2009*). Moussodougou contribue surtout à la production cotonnière provinciale. En effet, avec 61ha dédié à la culture du coton, la localité produit 1,5% de la production totale de la province et 0,12% de la production de la zone cotonnière de Banfora (*DRAHRH/Cascade, 2009*).

Les cultures maraichères connaissent une production moindre par rapport à celles citées ci-dessus. En effet, en considérant les cultures maraichères les plus appréciées de la population (auxquelles nous nous intéressons pour ce projet) nous constatons que la production annuelle ne dépasse guère la dizaine de milliers de tonnes (en moyenne 9736 T) contre des dizaines de milliers pour les cultures vivrières ou céréalières.

Tableau 3 : Production annuelle des cultures maraichères en 2009

	Tomate	Choux	Oignon bulbe	Piment
Superficie (ha)	119,5	49,5	139,9	118,5
Production (T)	3226,5	1471,5	3497,5	1540,5
Rendement (T/ha)	27	30	25	13

Source : *DRAHRH/Cascade 2009*

La justification de cette sous production en matière de cultures maraichères réside dans le fait que non seulement les habitudes des populations sont la pratique des cultures de saison hivernale (céréales), et également il y'a peu ou presque pas de périmètre aménagé pour les cultures de contre saison. En effet, la province compte seulement deux bas-fonds aménagés de 73 ha en tout (*DRAHRH/Cascade, 2009*). D'où la preuve que le manque d'infrastructures agricoles freine le développement économique de la province qui repose presque exclusivement sur l'agriculture.

Cependant, nous avons constaté que des efforts sont néanmoins effectués par l'État car au moins un agent qualifié est affecté dans chaque localité pour l'accompagnement des producteurs. Moussodougou possède un Technicien Supérieur en Agronomie pour assister le groupement de producteur du bas-fond.

2.2. L'élevage

La province bénéficie de conditions assez favorables pour le développement de l'élevage. En effet, l'abondance de la biomasse et des plans d'eau permanents attirent un important cheptel. Nous dénombrons deux types d'élevages : l'élevage traditionnel et l'élevage moderne.

- ❖ L'élevage traditionnel sédentaire est pratiqué par une population autochtone d'agriculteurs. Ce système d'élevage de taurins (trypano - résistant), de petits ruminants et d'aviculture est intégré à l'agriculture. Nous distinguons également l'élevage traditionnel transhumant, pratiqué par les migrants peulhs. Il se caractérise par une descente de gros troupeaux bovins de type zébus, en fin d'hivernage dans les Zones d'Encadrement et d'Élevage (Z.E.E) de Mangodara et de Niangoloko où les pâturages abondent.
- ❖ L'élevage moderne est tourné vers la production de viande et d'œufs. De là, l'abattage contrôlé dans la province donne les chiffres suivants : 5.780 pour les bovins, 2.516 pour les ovins, 18.005 pour les caprins et 11.333 pour les porcins (*DRRA/Cascade, 2009*). Les productions dérivées que sont le lait (1.642 hl) et les œufs de volaille (1.230.000 œufs) constituent une seconde importante retombée pour les éleveurs (*DRRA/Cascade, 2009*).

En somme, les plus grands centres d'élevage sont Niangoloko et Sidéradougou et Moussodougou dénombraient environ 8.550 bovins, 4.600 caprins, 100 asins, 1.000 porcins et 10.500 volailles (*DRRA/Cascade, 2006*). La pêche est moyennement développée due à l'insuffisance de retenues d'eau naturelles mais surtout artificielles. Néanmoins, Moussodougou produit 15.824 T de poissons (*DRAHRH/Cascade, 2009*).

DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIELS ET MÉTHODES- ÉTUDE DE L'AMÉNAGEMENT

I. Matériel

1. Les travaux de bureau

Ils sont effectués avant et après la phase terrain; avant pour la préparation de la phase terrain et après pour le traitement des données obtenues sur le terrain.

En effet, la première phase est surtout consacrée à la recherche documentaire afin de constituer une base de données sur la zone d'étude, à la confection de supports de calcul, de questionnaires et à l'apprentissage des logiciels essentiels au déroulement de l'étude. Le questionnaire (annexe 1) conçu était adressé aux producteurs et aux habitants de la localité et regroupait les différentes préoccupations que nous nous faisons avant la rencontre avec les intéressés à savoir quel genre de cultures sont les plus prisées et les plus rentables économiquement. En outre, les logiciels de SIG tels que Global Mapper et Google Earth nous ont été d'une grande aide dans la délimitation des bassins versants de la zone d'étude et dans les choix non définitifs de la position de la digue.

La seconde phase qui est la phase post-terrain nous a permis de traiter les données obtenues sur terrain, de poursuivre les recherches documentaires et de faire ressortir les résultats. Les outils logiciels utilisés sont entre autre Microsoft office (word, excel, powerpoint), les logiciels SIG (Global Mapper 13.0, Google Earth 5.2, Arc View 3.2), les logiciels de dessin et de topographie (Autocad-Covadis 2007, Global Mapper) et CROPWAT 8.0.

2. Les travaux de terrain

Ils constituent l'essentiel de la collecte de données au contact de la réalité vécue sur le site d'étude. En effet, nous avons pris contact avec les producteurs et avons effectué un levé topographique et une prospection géophysique. Nous avons eu à nous servir des outils suivants :

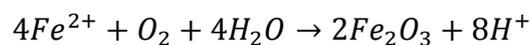
- 01 niveau Leica pour les lectures de dénivelées
- 01 mire
- 01 chaine
- 01 trépied
- 01 boussole pour nos orientations sur le terrain

- 01 GPS Garmin de type GPSMAP 64s de précision 3 m est utilisé pour relever les coordonnées géographiques de nos différentes positions
- 01 résistimètre Syscal R₁ Plus 72 swicht avec tous les accessoires à l'appui
- 01 appareil photo pour avoir en image le milieu physique observé sur le terrain

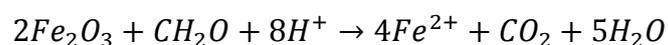
II. Méthodes

Ce paragraphe explique dans quelle logique de raisonnement les travaux ont été effectués. Comme dit précédemment, le bas-fond de Moussodougou est en proie à un phénomène de toxicité ferreuse. En effet, les sols du dit bas-fond connaissent un ensemble de réactions chimiques qui entraîne une certaine métamorphose de la composition minérale des sols. Ces réactions sont conditionnées par la présence ou non d'eau et donc influencées par la durée des saisons humides et sèches au cours de l'année (KEITA, 2015).

Ainsi, en période sèche, nous assistons à la fois à une augmentation de l'acidification et à une baisse des quantités d'ions ferreux illustrée par cette équation :



Et en période humide, nous constatons l'effet inverse à savoir l'augmentation des quantités d'ions ferreux (absorbés plus tard par les cultures) favorisée par le milieu acide survenu pendant la période sèche :



Par suite, empêcher l'absorption des ions ferreux par le riz en saison humide, c'est inhiber sa formation en éliminant le milieu acide survenant en saison sèche et c'est donc garder les sols humides sur toute l'année; d'où la nécessité d'introduire une culture de contre saison en période sèche. Ce faisant donc, nous avons pensé utile d'irriguer les terres pour des cultures très rentables qui en plus de leur rentabilité économique nous permettent du même coup à atteindre notre objectif de lutte contre le phénomène de toxicité ferreuse dans le bas-fond de Moussodougou.

1. Choix du site et du type d'infrastructure de mobilisation des eaux de surface

Les bas-fonds une fois aménagés deviennent très vite des centres de fortes productions agropastorales et par suite des pôles de développement pour les régions rurales; d'où l'intérêt de notre projet. Cependant, il n'existe pas un type d'ouvrage prédéfini réalisable dans tous les bas-fonds aménageables. Ainsi, pour chaque type de bas-fond il convient de déterminer le type d'ouvrage adéquat pour la mobilisation des eaux de surfaces. Cette sélection est fonction à la fois de la topographie, de la pluviométrie et de la demande spécifiques des futurs exploitants. Nous dénombrons trois grands types d'ouvrages (*SOULGA, 2014*) :

- ❖ Les ouvrages d'épandage et de régulation : ils épandent et régulent les crues, ils peuvent stocker temporairement une lame d'eau
- ❖ Les ouvrages de dérivation : ils dérivent une partie de l'écoulement de base d'un cours d'eau pour alimenter les parcelles
- ❖ Les ouvrages de stockage : ils stockent pour une durée plus ou moins longue les écoulements.

Dans le cas précis de Moussodougou, nous avons obtenu un certain nombre d'informations que nous devons bien exploiter. En effet, nous avons une topographie qui présente sur l'ensemble du bassin versant (38,25 km²) des pentes douces (1,92%), une des meilleures pluviométries du pays (plus de 1000 mm/an) puisque le site est situé sur l'isohyète 1100mm (*Orstom, 1998*) et enfin la demande en termes de superficie est grande puisque nous projetons aménager plus de 60ha ce qui entraîne une quantité importante d'eau pour toute la période sèche. Ainsi, il ressort que l'infrastructure la mieux indiquée dans notre cas d'étude est un barrage (digue en Terre de préférence pour le coût) qui engendrera une cuvette pouvant satisfaire nos besoins en eau (plus de 2 millions de m³).

De plus, le choix de l'emplacement de la digue doit tenir compte de plusieurs facteurs. Entre autre, nous devons non seulement considérer l'accessibilité du site par les futurs engins de terrassement, la topographie, l'avis des producteurs possédant déjà des terres sur le site mais aussi dans une mesure plus large considérer la géophysique. En effet, la future cuvette va non seulement assouvir nos besoins en eau mais aussi contribuer à la recharge de la nappe phréatique. Nous y avons effectué une ERT et les résultats nous montrent qu'une fracture parallèle au cours d'eau existe à une profondeur d'environ 40-60 m. Ainsi, en plaçant la digue perpendiculairement à la fois au cours

d'eau et à cette fracture, nous inonderons les surfaces de recharge de la nappe (vu que nous sommes dans un milieu sédimentaire). Vu cela et après entretien avec les producteurs nous avons décidé de placer la digue entre les coordonnées 10°51'50'' N, 4°55'17'' O et 10°51'57'' N, 4°54'50'' O pour une longueur de 875 m.



Figure 2 : Photo satellitaire de l'emplacement de la future digue (Google Earth)

2. Collecte des données topographiques et géophysiques

La connaissance des données topographiques est primordiale dans l'exécution de l'aménagement d'un périmètre irrigué. Le but dans un premier temps était d'établir plusieurs profils en travers et un profil en long du lit mineur du cours d'eau drainant le bas-fond de Moussodougou. Cependant, pour des raisons d'accessibilité et nos moyens réduits nous avons seulement réalisé le profil en travers de l'emplacement de la future digue. Les autres données topographiques ont été obtenues à l'aide des logiciels de SIG (Global Mapper) dont nous avons vérifié la véracité non seulement grâce à notre levé topographique mais aussi grâce aux cartes topographiques (1/50.000) obtenues auprès de l'IGB. Nous avons procédé en levant quelques points distants de 25 m chacun (suivant la pente)

perpendiculairement au lit mineur qui est considéré ici comme étant l'axe de projet. Par suite, le profil a été dessiné sur Autocad-Covadis 2007 (annexe 5).

Dans une moindre mesure, l'ERT que nous avons réalisé a guidé notre choix quant à l'orientation de la digue. En effet, comme précisé ci-dessus, l'orientation de la digue est la même que les panneaux de résistivités apparentes que nous avons réalisé au travers du lit mineur et le choix de l'orientation de l'ERT elle-même a été guidé par le fait que les fractures souterraines sont dans cette zone parallèle au cours d'eau (CIEH, 1976) en général. Ainsi, la cuvette rechargera localement la nappe souterraine qui s'y trouve. A titre indicatif, en annexe (annexe 5) nous vous présentons une figure résultant du traitement (shiftage, concaténation) des résistivités apparentes mesurées par le résistimètre Syscal.

Tableau 4 : Données topographiques des points levés en mètres

Points	X (UTM)	Y (UTM)	Cotes
1	290478,619	1201711,79	482,06
2	290451,157	1201698,7	481,94
3	290412,096	1201703,74	482,30
4	290384,313	1201685,31	482,24
5	290354,49	1201676,96	482,17
6	290305,096	1201669,22	482,65
7	290272,601	1201646,17	482,11

3. Choix de la culture et du site du futur périmètre irrigué

L'un des principaux objectifs du projet est d'introduire des cultures de contre saison à forte valeur ajoutée. Ainsi, la maraîchéculture occupe une place de choix vu qu'elle est en perte de vitesse dans la province avec seulement 6,82% de part dans l'ensemble cultures céréalières-vivrières-maraichères (DRAHRH/Cascade, 2009). Conscient de cela, nous avons tenu à interroger sur place les principaux intéressés que sont les producteurs et les marchandes de légumes.

De ce fait, nous avons recueilli les avis et suggestions des principaux concernés par la question. Il ressort que le maïs est très demandé en tant que culture céréalière principalement consacrée à l'auto consommation. Cependant, ils sont également unanimes du fait qu'ils désirent pratiquer la maraîchéculture si l'occasion leur est donnée car la demande dépasse l'offre et les coûts atteignent

des sommets jamais atteints depuis quelques années (250-500 FCFA/kg pour l'oignon et la tomate). En résumé, nous avons retenu trois cultures : l'oignon, le chou et la tomate.

En outre, la position du périmètre s'impose tout naturellement et nous avons tenu compte de plusieurs facteurs pour la détermination de la surface totale. En effet, pour des raisons topographiques et de conception, il ne peut avoir autre position que l'aval du barrage. Vu que la future cuvette inondera des terres actuellement exploitées par les producteurs, nous avons décidé de reproduire de façon plus organisée les champs déjà présents mais plus loin. De plus, en guise de dédommagement nous nous sommes fixés comme priorité de doubler la superficie aménagée par rapport à l'ancien périmètre. Les superficies passeront ainsi de 31 ha à 76,8 ha, ce qui représente bien plus du double; et au passage les producteurs verront leur parcelle respective passée de 0,25 ha (en moyenne) à 0,4ha soit des parcelles de 80X50 m.

NB : Après entretien avec les producteurs, ils ont exprimé leur vif souhait de voir naître le futur aménagement que nous proposons. Ainsi, ils ne voient aucun inconvénient à ce que leurs parcelles actuelles soient inondées dans la mesure où d'autres parcelles leur seront redistribuées.



Figure 3 : Vue satellitaire du futur aménagement sur les deux rives (Google Earth)

4. Étude de la cuvette

L'étude de la cuvette passe forcément par une bonne connaissance hydrologique de la zone d'étude. Ainsi, les données climatiques telles la température moyenne, la pluviométrie sont essentielles pour la détermination des crues, de l'évaporation, du volume d'eau annuel arrivant dans l'exutoire de notre bassin versant. Les méthodes utilisées sont les méthodes Orstom (actuel IRD) et CIEH.

4.1. Détermination des apports et de la crue

➤ Hypothèses :

Vu la situation géographique de notre bassin versant (sur l'isohyète 1100 mm), nous considérons qu'il est situé en zone tropical sèche qui compte les zones de pluviométrie comprise dans l'intervalle 850-1200 mm.

Pour le calcul des coefficients de ruissellement notre bassin (aux sols sablo-argileux) se classe parmi les bassins à sol relativement imperméable (RI).

Pour le calcul final de la crue de projet (le coefficient C), nous avons décidé de considérer une pluie de temps de retour de 50 ans en vue de minimiser les coûts finaux de l'aménagement.

➤ Méthode Orstom

L'Orstom (actuel IRD) propose une méthode de calcul des volumes ruisselés et de la détermination de la crue décennale. Ce calcul s'appuie sur les paramètres que sont :

α_{10} : Coefficient de pointe

A : Coefficient d'abattement

P_{10} : Pluie journalière décennale (en mm)

Kr_{10} : Coefficient de ruissellement décennal

S : Superficie du bassin versant (km²)

Tb_{10} : Temps de base décennal (en s)

$$Qr_{10} = \frac{\alpha_{10} * A * P_{10} * Kr_{10} * S}{Tb_{10}}$$

- Le calcul du coefficient de ruissellement décennal résulte de l'interpolation entre ceux de la pluie de temps de retour de 70 ans et de 100 ans ; ces coefficients eux même découle des caractéristiques de notre bassin versant que sont l'indice global de pente corrigé I_{Gcor} , le coefficient de compacité K_G , la pente transversale moyenne, la longueur du rectangle équivalent L et de la superficie.
- Le temps de base décennal est obtenu par interpolation entre ceux des pluies décennales dont les indices globaux de pente encadrent celui de notre de notre bassin versant ($3 \leq I_{Gcor} \leq 7$).
- Le coefficient de pointe est en général égal à 2,6
- La superficie du bassin a été obtenue grâce au logiciel Global Mapper
- Le coefficient d'abattement A , fonction de la pluie moyenne annuelle tombée et du temps de retour considéré est calculé comme suit : $A=1-0,001(9\log_{10}T-0,042P_{an}+152)\log_{10}S$
- La pluviométrie annuelle est celle de l'isohyète 1100mm à partir de l'Atlas CIEH 1985.
- Au débit Q_{r10} il faudrait rajouter le débit retardé Q_{ret10} en appliquant un coefficient égal à 1,03 pour la zone tropicale sèche

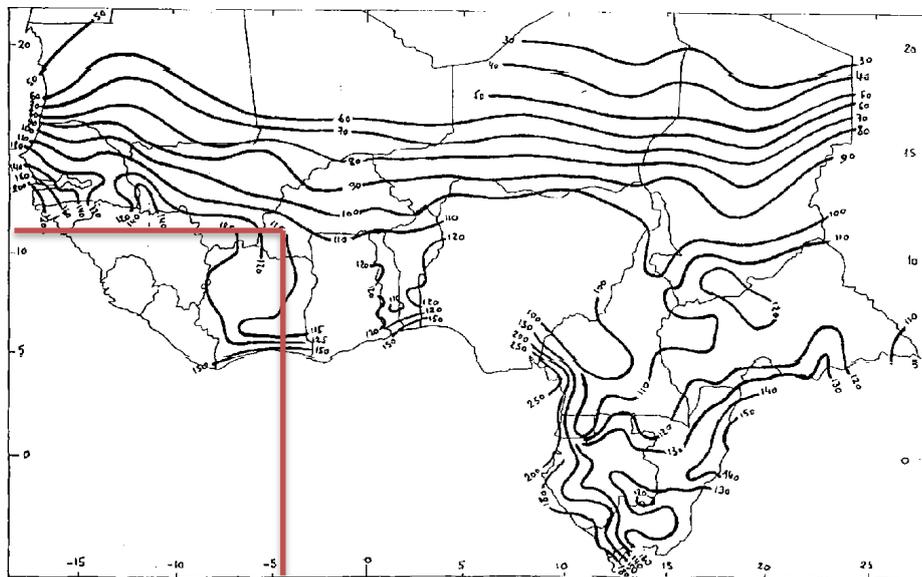


Figure 4 : Isohyètes des pluviométries annuelles (CIEH 1985)

➤ **Méthode CIEH**

Cette méthode repose sur une formulation dont l'expression du débit de pointe Q_{10} est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a. P_{m10}^p. I_g^i. K_{r10}^k. D^d$$

Où les coefficients a, p, i, k, et d sont à déterminer en fonction des caractéristiques du bassin versant que sont la pluie moyenne décennale ($P_{m10}=A.P_{10}$), le coefficient de ruissellement, l'indice global de pente et la densité de drainage.

De plus, la méthode CIEH nous offre la possibilité de faire notre d'équation suivant certains critères. En effet, en fonction des critères de classification des bassins versants du CIEH que sont le découpage climatique (avec ou sans K_{r10}), le découpage tenant compte de la pluviométrie annuelle et le découpage pays, nous avons retenu une douzaine d'équations (donnant la valeur du débit Q_{10}) parmi lesquelles nous avons sélectionné les trois ayant le plus fort coefficient de corrélation (tableau des données des équations de régression en annexe 3). De ces trois équations, nous avons fait une moyenne pour retenir le débit final obtenu de cette méthode d'estimation.

En définitive, nous obtenons un débit décennal à partir des deux méthodes, celle d'Orstom et celle du CIEH. Dans notre cas, ces deux méthodes ont donné des débits très voisins et nous avons décidé de retenir la moyenne des deux débits ce qui nous a permis de dimensionner le futur déversoir.

4.2. Méthode de dimensionnement du déversoir

La méthode utilisée est itérative et découle d'une simple équation. Le débit de projet est celui qui nous servira au dimensionnement du déversoir, il se calcul par la méthode du Gradex qui est la méthode qui donne le plus de sécurité aux ouvrages situés en Afrique de l'Ouest et du Centre (*Grésillon et al, 1977*). Cette méthode stipule que toute pluie supérieure à la pluie décennale ruisselle et le coefficient C de la méthode se calcule de la façon suivante :

$$C = 1 + \frac{P_{100}-P_{10}}{P_{10}} * \frac{T_{b10}/24}{K_{r10}}^{0.12} \text{ Avec } T_{b10} \text{ en heures.}$$

Notons que le coefficient C multiplié par le débit décennal donne la crue centennale, cependant pour des raisons économique par interpolation nous avons déterminé un coefficient C' pour le calcul d'une crue mi- centennale.

Ensuite, une fois le débit de projet calculé, nous devons procéder au calcul du déversoir qui devra évacuer par laminage la crue qui représente le « trop plein » de la cuvette. Ainsi, nous avons utilisé la technique de l'EIER-CIEH encore dénommée la méthode du X_0 . Les travaux de MM. GRESILLON, HERTER, LAHAYE et METRO ont abouti à la détermination d'un coefficient adimensionnel X_0 qui détermine l'effet d'un laminage sur les crues schématisées par des hydrogramme de type triangulaire et trapézoïdal. Cet effet de laminage peut aussi être exprimé par un coefficient β tel que $\beta = Q_{emax}/Q_{cmax}$.

$$X_0 = \frac{m^2 \cdot g \cdot L_1^2 \cdot Q_{cmax} \cdot t_m^3}{S^3}$$

L_1 : longueur approchée du déversoir (m)

S : surface du plan d'eau (m^2)

g : $10m \cdot s^{-2}$

m : coefficient de débit

t_m : temps de montée des eaux (s)

Q_{cmax} : débit de pointe de la crue (m^3/s)

Q_{emax} : débit maximal évacué

L'objectif étant de trouver Q_{emax} et L la longueur déversante, il convient de résoudre le système suivant.

$$\begin{cases} \beta = Q_{emax}/Q_{cmax} \\ Q_{emax} = m \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2gh} \end{cases} \text{ Avec } h \text{ désignant la charge au-dessus du déversoir.}$$

Si l'on désigne par f la fonction qui associe β à $\log_{10}X_0$ il faudra passer par un processus itératif à la suite pour la détermination de la longueur déversant et du débit Q_{emax} . Pour cela il nous revient de fixer la charge maximale h souhaitée au-dessus du déversoir.

Ainsi, à la première étape on tire la longueur L_1 : $L = \frac{Q_{cmax}}{m \cdot h \cdot \sqrt{2gh}}$ on calcule X_{01}

$X_{01} = \frac{m^2 \cdot g \cdot L_1^2 \cdot Q_{cmax} \cdot t_m^3}{S^3}$ puis $\log_{10}X_{01}$, on lit sur l'abaque du coefficient de laminage (en annexe)

$\beta = Q_{emax}/Q_{cmax}$ et on obtient donc $Q_{emax1} = \beta_1 \cdot Q_{cmax}$.

A la seconde étape on cherche la longueur L_2 mais en utilisant $Q_{\text{max}1}$ et ensuite L_3 en utilisant $Q_{\text{max}2}$ et ainsi de suite par itération jusqu'à une valeur convergente de L .

NB : Ce type de modélisation est limité pour de très fort laminage et on ne doit pas prendre en compte des coefficients de laminage inférieur à 50%. De plus, en général l'effet de laminage n'est pas pris en compte dans le calcul des déversoirs car il va dans le sens sécuritaire de considérer que toute la crue est aussitôt évacuée par le déversoir.

4.3. Estimation de l'évaporation, l'infiltration, du dépôt solide et des pertes diverses

- ❖ L'évaporation est une donnée importante à considérer quand on a affaire à des nappes d'eau libres. Dans la zone d'étude, elle est relativement moins élevée par rapport aux autres régions du pays. Plusieurs méthodes d'estimation de l'évaporation nous sont proposées mais pour des raisons de précision nous avons choisi la méthode au bac Colorado de POUYAUD de la station la plus représentative (même latitude que le site d'étude), celle de Diébougou. Le passage de l'évaporation au bac à l'évaporation nappe libre est déterminé par un coefficient $k=0,8$ (Orstom, 1992).

Tableau 5 : Données d'évaporation au bac Colorado

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
mm/j	7,1	8,7	10,8	8,3	6,5	4,9	4,9	4,2	3,8	4,8	6,3	7,1

Source : J.P BRUNEL

- ❖ L'infiltration d'une manière générale est prise comme étant une constante du fait qu'elle varie très faiblement sur toute la durée de vie du barrage entre 2 et 3 mm. Nous avons retenu 3 mm comme valeur extrême.
- ❖ Les dépôts solides sont la résultante du ruissellement des eaux drainant le bassin versant qui entraînent dans leur course les débris divers (cailloux, végétaux morts,...). La formule de GRESILLON modifiée ou formule de KARAMBIRI est la mieux indiquée pour cette estimation du fait qu'elle comporte beaucoup de paramètres permettant de spécifier notre bassin versant. Elle est la suivante :

$$D = 137 * \frac{P^{-2.02}}{700} * S^{-0.05} * [0.25 + 1.13 * \{h + r\}]^{1.15} \text{ et } V = D * S$$

D : Dégradation spécifique annuelle (m³/km²/an)

S : Superficie du bassin versant (km²)

P : Pluviométrie annuelle (mm)

h: paramètre anthropologique

r : paramètre morphologique du bassin versant

V : Volume annuel de dépôt solide

- ❖ La population de Moussodougou comptant 10.440 habitants (*RGPH, 2006*) s'approvisionne essentiellement en eau par les puits creusés traditionnellement dans chaque cour. Cependant, nous considérerons par mesure de sécurité qu'il est consommé en zone rurale la quantité moyenne de 10 l/j/personne (*PN-AEPA, 2008*) au niveau de la retenue d'eau. Quant au cheptel, il est bon de considérer les animaux sur un rayon de 5km au moins sachant que la consommation bovine est de 40 l/j et caprine (ovine) de 5 l/j (*DRRA/Cascade, 2006*).

4.4. Courbe hauteur-surface-volume

Elle représente la variation de la surface (donc du volume) par unité de hauteur de la digue. Ainsi, elle s'obtient à partir de la topographie de la cuvette à l'aide d'une carte laissant lire les courbes de niveau. Pour la concevoir, il faut d'abord déterminer les surfaces couvertes par l'eau par pas (pas de 0,5 m par exemple) de hauteur. A la suite, le volume correspondant à chaque pas de hauteur se déduit par la multiplication de la dite hauteur à la surface obtenue de la moyenne des surfaces intermédiaires S_i et S_{i+1}.

$$V_{i+1} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2} * h$$

Connaissant la consommation humaine, animale et les valeurs des différentes pertes par évaporation, infiltration et dépôt solide nous pouvons simuler la courbe d'utilisation de la retenue d'eau. Ainsi, il convient donc de déterminer les besoins en eau des cultures du périmètre à irrigué

enfin d'effectuer le calage de la digue à la cote de projet adéquate. Dans notre cas précis, nous avons effectué trois simulations pour trouver la cote finale de la digue et par suite sa hauteur utile.

5. Etude du périmètre

5.1 Détermination des besoins des cultures

Tout découle de la demande en eau des plants de culture et cette demande dépend de plusieurs facteurs. En effet, le but étant d'obtenir un bon rendement de la plante il est impératif de satisfaire à tous ses besoins enfin d'espérer ce bon rendement. Plusieurs paramètres entrent en jeu pour la détermination exacte des besoins en eau à savoir les facteurs climatiques, pédologiques (ET_o, la teneur en eau utilisable par la plante) indépendants de la plantes et les facteurs intrinsèquement liés à la plante tels que le coefficient cultural K_c, la profondeur d'enracinement et la longueur des phases de développement.

- ❖ Les facteurs propres à la plante sont disponibles dans le logiciel CROPWAT 8.0 à l'exception du facteur de tarissement p disponible plutôt dans la littérature. Ainsi, les coefficients culturaux respectifs de la tomate, de l'oignon et du chou sont résumés en fonction des phases de développement des cultures dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Coefficients culturaux et facteurs de tarissement des cultures souhaitées

	Phase	Initiale	Croissance	Mi-saison	Arrière-saison	Cycle	Pr (m)
Choux	Durée (jrs)	40	60	50	15	165	0,4-0,5
	K _c	0,45	0,75	1,05	0,9		
Oignon	Durée (jrs)	15	30	35	40	120	0,3-0,5
	K _c	0,5	0,75	1,05	0,85		
Tomate	Durée (jrs)	30	40	45	30	145	0,7-1,5
	K _c	0,45	0,75	1,15	0,8		

Source : KEITA, 2014 ; DEPEWEG, 1998

- ❖ Les facteurs climatiques (ET_o, vitesse du vent) sont disponibles par le logiciel adapté par la FAO, CROPWAT 8.0

Tableau 7 : Valeur de Eto et de la vitesse moyenne journalière

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Eto (mm/jr)	4,81	5,16	5,31	5,82	6,76	7,12
Vent (km/h)	6,13	6,13	6,50	7,21	8,29	8,63

- ❖ Les paramètres du sol à considérer sont sa composition (au moins dans le rayon de profondeur des racines des cultures) ainsi que son humidité à la capacité au champ et au point de flétrissement afin de déterminer la réserve utilisable (RU) et par suite la réserve facilement utilisable (RFU). Les teneurs en eau sont obtenus après analyse au laboratoire.

Le calcul du besoin maximal de point (en considérant le mois dans lequel les cultures ont un besoin maximal d'eau) et de la RFU nous permet d'obtenir la dose brute ainsi que le tour d'eau (intervalle de temps entre deux arrosages successifs) pour satisfaire le développement des plants. Le résumé des étapes de calcul sont ci-dessous.

$$ETM = ET_0 * K_c \text{ et } BMP = ETM_{max} - P_e$$

$$RFU = p \times Z_r \times RU \text{ avec } RU = 10\gamma \cdot (\theta_{cc} - \theta_{pf})$$

$$F(j) = \frac{RFU}{BMP}$$

$$Dr = BMP \times T \text{ avec } T \leq F$$

$$D_b = \frac{D_r}{E_a}$$

$$q_e = \frac{D_b * 1000}{T * T_s * N_s}$$

- ETM_{max} : L'évapotranspiration spécifique à la culture choisie en mm/j
- P_e : Pluie efficace ici considérée nulle en mm/j
- RU : Réserve utile dans le sol en mm/m
- BMP : Besoin Maximal de pointe en mm/j
- Z_r : Profondeur d'enracinement en m
- T_s : Temps par poste d'arrosage (N_s) en h/jour
- RFU : Réserve facilement utilisable par la plante en mm
- D_r : La dose réelle en mm
- E_a : L'efficacité d'arrosage
- D_b : La dose brute considérant l'efficacité d'arrosage en mm
- q_e : Le débit d'équipement en l/s/ha
- F : La fréquence d'arrosage en jours

- T : Le tour d'eau devant être inférieur à la fréquence d'arrosage en jours

5.2. Dimensionnement du réseau

5.2.1. Les conduites du réseau

La détermination des diamètres des conduites dépend du débit véhiculé et de la nature même de la conduite. Ainsi, nous avons procédé au calcul des diamètres théoriques des rampes en utilisant la formule

$D(mm) = 18.811 * \sqrt{\frac{Q(\frac{m^3}{h})}{V(\frac{m}{s})}}$ Avec une vitesse limite 1,7 m/s d'écoulement pour les conduites en matériaux plastiques.

Cependant, les débits de ces rampes sont imposés par ceux des asperseurs (d'une pluviométrie devant satisfaire la dose brute des plants) placés à intervalle régulier sur chaque rampe. Le débit des asperseurs est mentionné dans le catalogue du fabricant (NETAFIM dans notre cas). Aussi, l'application de la formule demeure valable pour les autres conduites du réseau que sont les portes-rampes et les conduites principales de transport dont les débits respectifs sont imposés par la taille du réseau en aval à desservir.

Par ailleurs, nous devons considérer les pertes de charge dans chaque conduite. Elles sont déterminées par la formule de Colebrook, Calmon et Lechapt en appliquant les coefficients a, n, m fonction de la nature du matériaux constituant de la conduite (ici le PE et le PVC).

$$\Delta H \left(\frac{m}{m} \right) = a \frac{Q \left(\frac{m}{s} \right)^n}{D(m)^m}$$

Les pertes de charge dues à la topographie du terrain et dues aux singularités (nous les avons estimées à 10% de celles linéaires) du réseau sont également considérées.

Notons que le calcul des pertes de charge dans les rampes et portes-rampes sont soumises à un facteur F exprimant les services en route, service au niveau des asperseurs pour les rampes et service au niveau des rampes pour les portes-rampes.

5.2.2. La pompe et le groupe électrogène

La pompe représente la source d'énergie insufflée à l'eau pour surmonter les différentes pertes de charge dans le réseau tout en délivrant aux asperseurs leur pression nominale. Elle se dimensionne en connaissance de la hauteur manométrique totale et du débit à mobiliser. Ainsi, nous considérons toutes les pertes de charge et les hauteurs géométriques sur l'ensemble du réseau pour déduire la puissance de la pompe et ce calcul se résume par la formule suivante :

$$HMT = H_{tot} + H_{géo} + H_{sing} \text{ Avec } H_{tot} = P_m + \Delta H_{sup} + \Delta H_{rpe} + \Delta H_{pr} + \Delta H_{cp} + \Delta H_{asp}$$

$$P_h(kW) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{h} \right) * HMT}{360 * \eta}$$

Le groupe électrogène représente la source électrique de toute l'installation. Celui-ci devrait non seulement satisfaire à la puissance absorption de la pompe mais aussi un mini réseau d'éclairage du périmètre. Nous précisons que nous avons tenu à garder chaque rive indépendante, nous avons donc choisi une pompe pour chaque rive et équipée chacune en amont par son groupe électrogène.

5.3. Design des parcelles

Le design parcellaire passe avant tout par la détermination des superficies de chaque parcelle. Dans le souci d'offrir aux producteurs des parcelles de substitution à celle qu'ils possèdent actuellement nous suggérons d'aménager une superficie de telle sorte que chaque producteur récupère une parcelle d'une superficie au moins égale à celle qu'il possédait. La moyenne actuelle de superficie des 169 producteurs est de 0,2 ha avec 0,4 ha comme étant la superficie maximale d'une parcelle. Ainsi, nous avons décidé d'octroyer le double de la superficie moyenne actuelle d'une parcelle soit 0,4 ha à chaque producteur, par suite même les producteurs ayant les plus grandes parcelles ne verront guère leur superficie réduite pour de la sorte satisfaire la majorité des futurs bénéficiaires du périmètre.

Les deux rives seront aménagées de façon identique tout en respectant certaines dispositions. En effet, les parcelles seront disposées de manière à exploiter au maximum les pentes de terrain afin de minimiser la HMT finale du système. De la sorte, les parcelles sont rangées en 6 colonnes (espacées de 2,5 m chacune) et 16 lignes (espacées de 3m chacune) en prévoyant des passages entre parcelles

(dont une route principale axiale de 5 m) et aires réservées à la récolte et au réseau de drainage. Chaque parcelle mesure 80m de longueur sur 50 m de largeur lesquelles sont parallèles à la longueur du périmètre (voir plan d'aménagement en annexe 9).

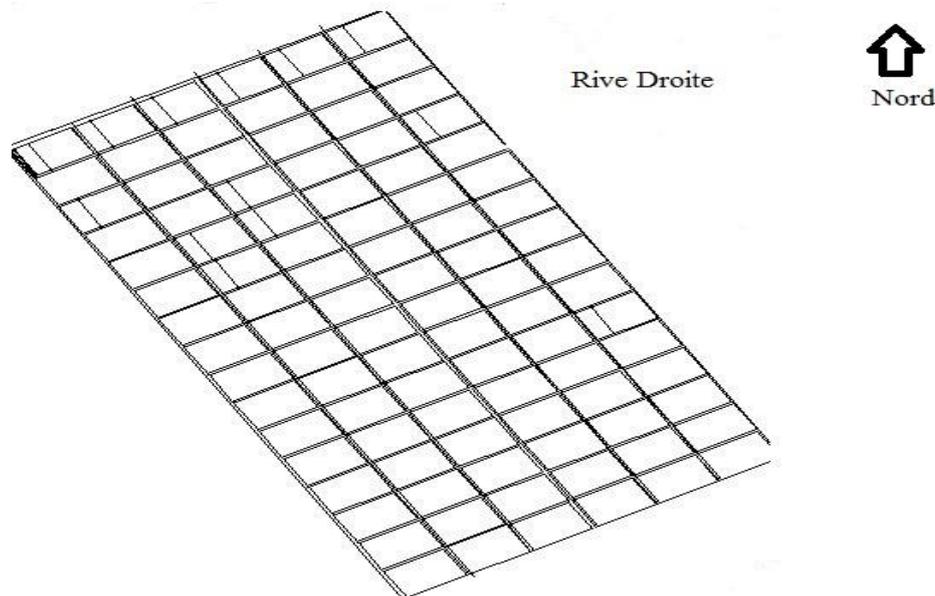


Figure 5 : Vue schématique de l'aménagement en rive droite

5.4. Réseaux de drainage du périmètre

Il convient dans tout périmètre de prévoir un système d'évacuation des eaux excédentaires. De ce fait, le réseau de drainage est disposé de sorte à récupérer et évacuer l'excédent d'eau de pluie tombée sur le périmètre. Ainsi, nous projetons aménager un canal tertiaire le long de la largeur de chaque parcelle qui recueillera les eaux de la dite parcelle. Ensuite, chaque tertiaire déversera ses eaux dans un canal secondaire et l'ensemble des secondaires termineront leur course dans un grand canal primaire. Le canal primaire de section à déterminer se jettera dans le lit mineur du cours d'eau (voir annexe 8 pour le plan de drainage).

Les canaux de section rectangulaire seront dimensionnés à partir de la formule de Manning Strickler dont le débit est donné par la formule suivante :

$$q_s = \frac{P_{10}}{T \cdot 0.36} \quad , \quad Q \left(\frac{m^3}{s} \right) = K_s \cdot S \cdot \left(\frac{S}{P} \right)^{2/3} \sqrt{I}$$

- q_s : Débit spécifique véhiculé par un drain de surface (l/s/ha)
- P_{10} : Pluie décennale (mm)

- T : Durée maximal d'une inondation (24 h)
- Ks : coefficient de rugosité de Manning Strickler
- S : Section mouillée (m²)
- P : Périmètre mouillé (m)
- I : Pente du canal
- Q : Débit évacué d'un canal (m³/s)

De plus, des colatures, canaux devant recueillir les eaux tombées hors et vers le périmètre seront dimensionnées. Une colature drainera les eaux venues Nord-Ouest et une autre pour les eaux venant du Nord-Est du périmètre pour les évacuer dans le lit mineur du cours d'eau.

$$Q_s \left(\frac{m^3}{s} \right) = \frac{P_{10}(mm) * Kr(\%) * S(m^2) * 10^{-3}}{T(s)}$$

TROISIÈME PARTIE : RÉSULTAT-DISCUSSION

I. Résultats

1. Étude de la cuvette

1.1. Simulation d'utilisation de la retenue

Il est impératif d'effectuer cette simulation pour prévoir et connaître un certain nombre de paramètres. En effet, cette démarche nous permet de déterminer la hauteur utile de la digue et de caler la cote de la prise d'eau pour l'aménagement prévu en aval. Ainsi, il est impératif de connaître toute quantité d'eau utilisée ou non qui sera retirée de la cuvette afin que la prise ne soit jamais à sec et que le minimum d'eau restant avant la première pluie n'entrave pas la survie des espèces aquatiques (tels les poissons).

De ce fait, nous avons déterminé les besoins totaux de chacune des trois cultures que sont le chou, la tomate et l'oignon (tableau 8). De là, nous avons considéré la culture la plus gourmande en eau qui s'est avéré dans notre cas être l'oignon.

Tableau 8 : Volume consommé en m³/ha/jr

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Moyenne
Choux	23,19	26,72	28,45	45,31	60,84	45,77	38,38
Oignon	60,13	60,81	61,63	53,00			58,89
Tomate	30,92	41,46	52,99	64,20	42,25		46,37

Nous obtenons par suite pour toute la campagne une consommation d'eau de 542 769 m³, 534 138 m³ et 530 572,50 m³ respectivement pour l'oignon, la tomate et le chou.

NB : Nous avons décidé de faire débiter la campagne en Octobre pour minimiser les consommations d'eau en évitant les périodes chaudes (ET_o élevé) le plus possible tel que le mois de Mars et d'Avril.

Les besoins agricoles connus, il faut y ajouter les pertes et les consommations humaines et animales. Ainsi, la simulation s'est effectuée en faisant varier la superficie du périmètre et la cote de prise et nous avons retenu au final une cote de prise de 483 m pour une pleine de 76,8 ha.

Tableau 9 : Données Hauteur-Surface-Volume du futur barrage de Moussodougou

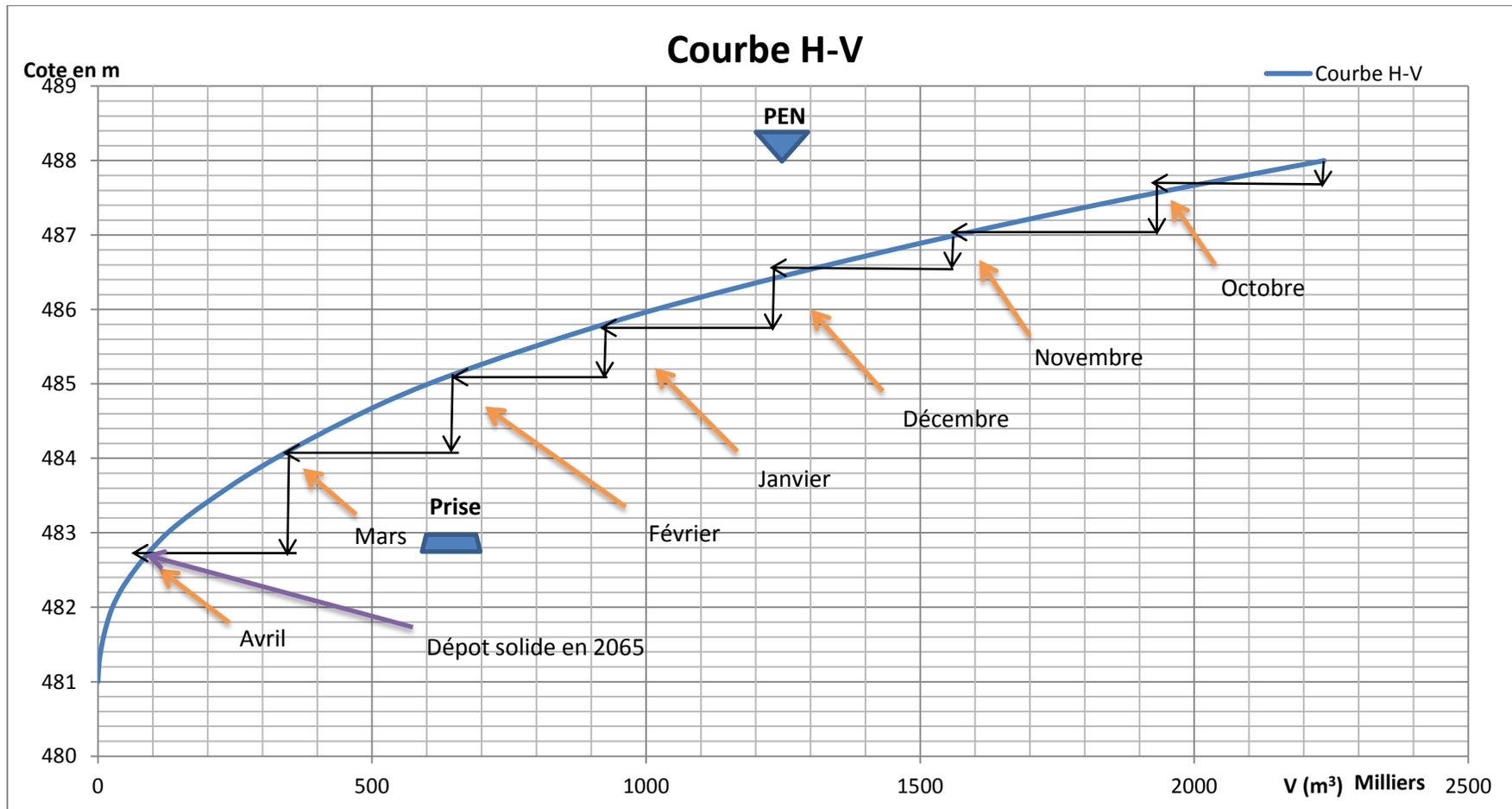
N ⁰	h	S (m ²)	V _i (m ³)	V _c (m ³)
1	481	0	0	0
2	481,25	15350	1918,75	1918,75
3	481,5	26490	5230	7148,75
4	481,75	37350	7980	15128,75
5	482	52300	11206,25	26335
6	482,25	85600	17237,5	43572,5
7	482,5	101300	23362,5	66935
8	482,75	117600	27362,5	94297,5
9	483	143800	32675	126972,5
10	483,25	188600	41550	168522,5
11	483,5	194100	47837,5	216360
12	483,75	212200	50787,5	267147,5
13	484	240300	56562,5	323710
14	484,25	253200	61687,5	385397,5
15	484,5	273800	65875	451272,5
16	484,75	292800	70825	522097,5
17	485	351600	80550	602647,5
18	485,25	385900	92187,5	694835
19	485,5	416300	100275	795110
20	485,75	432200	106062,5	901172,5
21	486	492200	115550	1016722,5
22	486,25	523000	126900	1143622,5
23	486,5	551000	134250	1277872,5
24	486,75	577000	141000	1418872,5
25	487	605000	147750	1566622,5
26	487,25	638000	155375	1721997,5
27	487,5	672000	163750	1885747,5
28	487,75	701000	171625	2057372,5
29	488	736000	179625	2236997,5
30	488,5	811000	386750	2623747,5

Tableau 10 : Simulation d'utilisation de la retenue

<i>Mois</i>	<i>Octobre</i>	<i>Novembre</i>	<i>Décembre</i>	<i>Janvier</i>	<i>Février</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre
<i>Hauteur initiale (m)</i>	488	487,53	487,01	486,42	485,78	485,08	484,04	482,74	481,77	481,10	480,19	476,85
<i>Évaporation +infiltration (m)</i>	0,21	0,24	0,27	0,27	0,28	0,36	0,29	0,25	0,21	0,21	0,20	0,18
<i>Hauteur restante (m)</i>	487,79	487,29	486,74	486,15	485,50	484,72	483,75	482,49	481,57	480,88	479,99	476,67
<i>Volume équivalent (10³ m3)</i>	2084,65	1746,24	1413,45	1092,40	793,60	512,82	267,07	65,72	-153,53	-149,57	-167,66	-146,94
<i>Irrigation+population+cheptel</i>	179,53	173,74	179,53	179,53	162,15	179,53	173,74	179,53	35,50	36,68	36,68	35,50
<i>Volume final (10³ m3)</i>	1905,1199	1572,509	1233,93	912,87	631,44	333,29	93,34	-113,80	-189,02	-186,24	-204,34	-182,43

Nous considérons que les pluies ponctuelles tombées au cours de la saison sèche constituent un apport négligeable pour la retenue.

Nous remarquons que la retenue est utilisable jusqu'au mois d'Avril, par contre notre campagne n'excède guère le mois de Mars ce qui constitue une mesure de sécurité supplémentaire.



1.2. Dimensionnement du déversoir et étude de l'écoulement

Le déversoir est un ouvrage annexe accompagnant la digue et généralement réalisé en béton. Il joue le rôle d'évacuateur de crue comme un système de « de trop plein » du barrage. En effet, une lame d'eau excédentaire h (calculé par la méthode du X_0 décrite ci-dessus) est admise au-dessus du déversoir et garde du même coup le plan d'eau normal à une côte constante. Le débit de crue Q_c retenu est la moyenne des débits Orstom et CIEH et Q_e désigne le débit évacué (laminé). Le coefficient de laminage β compris entre 0.7 et 0.8 est donc acceptable (*DURAND et al, 1999*)

Tableau 11 : Caractéristiques du déversoir de laminage de crue

Q_c (m ³ /h)	Q_e (m ³ /h)	β	L (m)	h (m)
43,37	33,83	0,78	27	0,5

En outre, la digue étant centrée sur le cours d'eau, pour éviter la modification de son lit mineur en aval nous avons choisi de positionner le déversoir au centre de la digue (à mi-parcours).

Il est bon d'avoir une bonne estimation des écoulements éventuels dans notre bassin versant. En effet, avec une bonne étude des écoulements, nous pouvons savoir à quels seront les volumes d'eau qui arriveront à notre exutoire. Ainsi, à l'aide de la méthode d'estimation des écoulements de J. RODIER nous avons déterminé les écoulements engendrés par la pluie décennale humide et la pluie centennale humide mais aussi par les pluies moyennes annuelles (en considérant 30 jours pluvieux en moyenne dans l'année). Nous constatons que notre cuvette sera remplie dans tous les cas considérés.

Zone climatique	Classe	K_{emed} (%)	L_{AH10} (mm)	V_{AH10} (m ³)	L_{AH100} (mm)	V_{AH100} (m ³)	L_{AM} (mm)	V_{AM} (m ³)
Tropicale sèche $750 \leq P_{AN} \leq 1000$	2	15%	350	2008230	450	2582010	45	7746030

2. Étude du périmètre

2.1. Détermination des besoins des cultures

La connaissance des besoins cultureux est la base de toute estimation. De ce fait, le calcul des besoins s'est fait sur la base des facteurs climatiques et cultureux comme expliqué ci-dessus. Les résultats pour chacune des cultures sont répertoriés dans les tableaux suivants.

Tableau 12 : Besoins estimés du chou

Chou						
Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Eto (mm/jr)	4,81	5,16	5,31	5,82	6,76	7,12
Kc	0,34	0,36	0,38	0,55	0,63	0,9
ETM (mm/jr)	1,62	1,87	1,99	3,17	4,26	6,41
Pe (mm/jr)	0	0	0	0	0	0
BMP (mm/jr)	1,62	1,87	1,99	3,17	4,26	6,41
$\theta_{cc}-\theta_{pf}(\%)$	11					
Chou						
RU (mm/m)	132					
p	0,34					
Zr(m)	0,50					
RFU (mm)	22,28					
F(j)	3,48					
T(j)	2					
Dr (mm)	3,25	3,74	3,98	6,34	8,52	12,82
Db (mm)	4,64	5,34	5,69	9,06	12,17	18,31
Vr (m3/ha)	695,73	801,64	853,39	1359,39	1825,20	1373,14

Tableau 13 : Besoins estimés de l'oignon

Oignon				
Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Eto(mm/jr)	4,81	5,16	5,31	5,82
Kc	0,88	0,83	0,81	0,64
ETM(mm/jr)	4,21	4,26	4,31	3,71
Pe(mm/jr)	0,00	0,00	0,00	0,00
BMP(mm/jr)	4,21	4,26	4,31	3,71

Oignon				
$\theta_{cc}-\theta_{pf}(\%)$	11,00			
RU(mm/m)	132,00			
p	0,34			
Zr(m)	0,50			
RFU(mm)	22,28			
F(j)	5,16			
T(j)	2,00			
Dr(mm)	8,42	8,51	8,63	7,42
Db(mm)	12,03	12,16	12,33	10,60
Vr (m3/ha)	1803,75	1824,43	1849,02	1590,11

Tableau 14 : Besoins estimés de la tomate

Tomate					
Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
Eto(mm/jr)	4,81	5,16	5,31	5,82	6,76
Kc	0,45	0,56	0,70	0,77	0,53
ETM(mm/jr)	2,16	2,90	3,71	4,49	3,55
Pe(mm/jr)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BMP(mm/jr)	2,16	2,90	3,71	4,49	3,55
$\theta_{cc}-\theta_{pf}(\%)$	11,00				
RU(mm/m)	132,00				
Tomate					
p	0,34				
Zr(m)	1,50				
RFU (mm)	66,83				
F(j)	14,87				
T(j)	2,00				
Dr(mm)	4,33	5,81	7,42	8,99	7,10
Db(mm)	6,18	8,29	10,60	12,84	10,14
Vr (m3/ha)	927,64	1243,93	1589,84	1926,14	1267,50

Les calculs de base tiennent toujours compte des éléments extrêmes et les plus défavorables. Ainsi, pour la simulation d'utilisation de la retenue, nous avons choisi l'oignon du fait que cette culture est la plus gourmande en eau. Cependant, en calculant les doses brutes qui représentent les besoins instantanés de la plante à une période donnée de la campagne, nous constatons que la plus forte demande instantanée revient aux choux avec une dose brute de 18.31 mm contre 12.33 mm et 12.83 mm respectivement pour l'oignon et la tomate. Par suite, pour le calcul du réseau d'irrigation nous retiendrons les débits découlant de la dose brute du chou.

2.2. Le réseau d'irrigation

2.2.1. Choix des asperseurs

Pour une sélection bien précise d'un asperseur qui est adapté aux conditions de notre périmètre nous devons observer un certain nombre de critères.

Critère 1 : Critère de Christiansen pour la pression

C'est une condition imposée dans le souci d'obtenir une uniformité de pression sur tout le périmètre. Ainsi, l'écart de pression sur une même unité hydraulique ne doit pas excéder le 1/5^e de la pression nominale de l'asperseur choisi.

$$\Delta P \leq 1/5 P_{nom}$$

En considérant l'unité hydraulique (ensemble du réseau de conduites allant de la source de pression jusqu'au service de l'eau à la pression de sortie souhaitée ; ici de la pompe à l'asperseur) la plus défavorisée par les pentes de terrain nous devons y ajouter les pertes de charges par friction et singulière. Ainsi, en exploitant au maximum les pentes de terrain (rampes parallèles aux courbes de niveau notamment) nous avons obtenu :

Tableau 15 : Critère de Christiansen

Critère Christiansen			
ΔE_{tot} (m)	ΔH (m)	ΔP_{tot} (m)	20%.Pnom (m)
5,15	10,22	5,13	6

L'asperseur doit avoir une pression nominale minimale de 2,57 bars.

NB : La dénivelé totale minimale la plus favorable du périmètre est $\Delta E=5,15$ m. Nous n'avons donc pas de contrainte de remontée sur terrain.

Critère 2: Ecartement des asperseurs et Diamètre mouillé

La configuration la mieux adapté pour avoir une distribution uniforme de l'eau d'irrigation dans le périmètre est une disposition carré. Pour une vitesse moyenne du vent de 8-12 km/h (la nôtre est de 8,63) et des écartements en disposition carré on a un écartement maximal entre asperseur le long de

la rampe de 45% du diamètre mouillé ($e_{max} = 0,45 Dm$). Ainsi, nous avons un asperseur de diamètre mouillé de 7 m ce qui nous donne un écartement maximal de 3,15 m.

Critère 3: Pluviométrie asperseur \leq infiltration du sol

Pour éviter le ruissellement de l'eau d'irrigation il faut que la pluviométrie de l'asperseur soit inférieure à la vitesse d'infiltration du sol. Basé sur les recommandations du Rain Bird Corporation and Pairet.al, 1983 ; la pluviométrie maximale pour un sol couvert de verdure avec une pente de 2% est compris entre 12,7 et 24,13 mm/h. La pluviométrie de notre asperseur est de 6,67 mm/h. Par ailleurs, ce critère est néanmoins vérifié pour notre sol car la vitesse d'infiltration de base pour un sol argilo limoneux est estimée à [7-15] mm/h.

Critère 4 : Le temps d'arrosage par poste

La durée T_s du poste d'arrosage est de 2.75h $T_s(h) = \frac{D_b(mm)}{P_{asp}(mm/h)}$

Le nombre de poste d'arrosage $N_s = \frac{T_{wmax}(h)}{T_s(h)}$ en excédent pas le temps maximal de travail par jour (22h) est de 6 postes par jours avec 45minutes réservées pour chaque déplacement des rampes.

Tableau 16: Caractéristique de l'asperseur choisi

D_m (m)	Disposition	E_{max} (m)	P_{nom} (bar)	q_{asp} (l/h)	P_{asp} (mm/h)
7	carrée	3	30	60	6,67

L'asperseur choisi est du type 63500-058555-SUP060LR de marque NETAFIM avec un débit de 60 l/h et un diamètre mouillé de 7 m à 25 cm au-dessus du sol.

2.2.2. Détermination des conduites du réseau

Une fois les débits, pluviométries et espacements d'asperseur déterminés, nous pouvons passer au dimensionnement final qui nous donnera les caractéristiques de notre réseau. En tout, nous dénombrons pour la totalité du périmètre :

- 4992 positions de rampes (de 50 ml) dont 26 par parcelle avec 13 en fonctionnement simultané
- 64 portes-rampes de 246.5 ml chacun disposé entre les lignes de parcelle
- 4 conduites principales qui parcourent le long du périmètre (800 ml et 1040 ml deux à deux)

- 2 conduites de transport (10 ml chacune) desservant chaque rive du périmètre

Nous résumons les diamètres obtenus en respectant les pressions nominales ci-dessous :

Tableau 17 : Diamètres des conduites

Tronçon	Matériaux	Vmax (m/s)	Débits (m3/h)	Dth (mm)	DN (mm)	PN (bar)
Conduite de transport	uPVC	1,7	199,68	203,87	250	6
Conduite principale	uPVC	1,7	99,84	144,16	160	6
Porte-rampe	uPVC	1,7	12,48	50,97	63	6
Rampe	PE	1,7	0,96	14,14	17	6

Les pertes de charges par friction et singulières calculées par la formule de Colebrook, Calmon et Lechapt (page 36) sont énumérées à titre indicatif dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Perte de charges par type de conduite

Conduite	Rampes	Portes-rampe	CP	Transport
Nature	PE	uPVC	uPVC	uPVC
Vmax (m/s)	1,7	1,7	1,7	1,7
Dc (mm)	17,00	59,20	150,6	211,8
a	0,000916	0,000916	0,000916	0,000916
m	4,78	4,78	4,78	4,78
n	1,78	1,78	1,78	1,78
ΔH (m/m)	0,11	0,03	0,01	0,01
L (m)	50,00	246,50	800,00	10,00
ΔH (m)	6,29	7,66	11,61	0,10
F (-)	0,38	0,39	0,42	1,00
ΔH^* (m)	2,40	3,00	4,82	0,10
Eamt-Eav (m)	0,22	2,05	1,75	0,04
ΔH_{tot} (m)	2,18	0,95	3,07	0,06

NB : Les conduites sont dimensionnées en tenant compte des pertes de charge qu'elles engendrent dans le souci de respecter le critère de Christiansen indiqué plus haut.

2.2.3. Dimensionnement de la pompe et choix du groupe électrogène

- ❖ Comme expliqué ci-dessus (page 36) la pompe est déterminée à partir de la HMT et le débit qu'elle devra délivrer pour le bon fonctionnement de l'irrigation. Nous obtenons :

Tableau 19 : Caractéristiques de la pompe

P_{nom} (m)	30	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Grunfos</td> <td>NK 80-25 Ø220</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Moteur 225M, Poids 395kg</td> </tr> <tr> <td>Q (m3/h)</td> <td>200</td> </tr> <tr> <td>HMT (m)</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>η (%)</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>P_{abs} (kW)</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>D_{asp} (mm)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>D_{ref} (mm)</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>NPSHr (m)</td> <td>3,8</td> </tr> <tr> <td>NPSHd (m)</td> <td>5,52</td> </tr> </tbody> </table>	Grunfos	NK 80-25 Ø220	Moteur 225M, Poids 395kg		Q (m3/h)	200	HMT (m)	68	η (%)	73	P_{abs} (kW)	40	D_{asp} (mm)	100	D_{ref} (mm)	80	NPSHr (m)	3,8	NPSHd (m)	5,52
Grunfos	NK 80-25 Ø220																					
Moteur 225M, Poids 395kg																						
Q (m3/h)	200																					
HMT (m)	68																					
η (%)	73																					
P_{abs} (kW)	40																					
D_{asp} (mm)	100																					
D_{ref} (mm)	80																					
NPSHr (m)	3,8																					
NPSHd (m)	5,52																					
ΔH_{support} (m)	0,05																					
ΔH_{rpe} (m)	3,00																					
ΔH_{prp} (m)	0,95																					
ΔH_{cp} (m)	3,07																					
ΔH_{transp}(m)	0,15																					
ΔH_{asp} (m)	0,56																					
H_{tot} (m)	37,78																					
H_{géo} (m)	2,15																					
H_{sing} (m)	3,78																					
H_{filtr} (m)	7																					
HMT (m)	50,71																					

La pompe choisie est de marque GRUNFOS de type NK 80-25 Ø220. Cette pompe a été retenue après détermination du point de fonctionnement du réseau qui fait suite à la construction des courbes caractéristiques de la pompe et de la conduite réseau (annexe 4). Ajoutons que le NPSH tenant compte de la cavitation à l'aspiration de la pompe est bien vérifié pour la hauteur d'aspiration.

De plus, une bêche d'aspiration qui recueillera comme un bassin l'eau venant de la prise au barrage sera construite pour à la fois permettre la décantation de l'eau y arrivant et assurer que la pompe ne démarre jamais à vide. Elle sera revêtue de béton de propreté à 150 kg/m³ et fera 4 m carré sur 3 m de profondeur.

- ❖ Le groupe électrogène devra alimenter non seulement la pompe mais aussi le réseau électrique d'éclairage pour l'arrosage nocturne. Ainsi nous estimons à 50 kVA la puissance requise pour cette installation. Les caractéristiques du groupe électrogène sont ci-dessus :

Générateur / Groupe électrogène silencieux SDMO R40URC						
Marque	Fréquence (Hz)	P _{max} (kVA)	Voltage	Carburant	Réservoir (l)	Consommation (l/h)
SDMO	60	51,60	480/277	Diesel	220	11,4

2.3. Le réseau de drainage

Le réseau de drainage est prévu pour évacuer essentiellement les eaux de pluie de la saison hivernale (à l'intérieur et à l'extérieur du périmètre) et aussi si nécessaire le possible ruissellement des eaux d'irrigation.

❖ Le calcul de dimensionnement des canaux tient compte de la pluviométrie. Ainsi, nous considérerons la pluie décennale de la zone d'étude qui est de 115 mm avec quoi nous obtenons un débit de 13.31 l/s/ha (notons qu'il est considéré que la durée maximale d'inondation ne peut excéder 24 h, Compaoré 1998). Pour faciliter la mise en œuvre nous proposons des canaux à section rectangulaire, le tableau ci-dessous résume nos estimations pour les drains tertiaires, secondaires et primaires.

Tableau 20 : Section des drains

	DT	DS	DP
S (ha)	0,4	1,2	19,2
Q (l/s)	5,32	15,97	255,56
I (%)	0,005	0,005	0,005
K _s	33,00	33,00	33,00
b (m)	0,50	0,50	1,50
h (m)	0,13	0,28	0,76

Vu le très faible tirant d'eau des tertiaires, nous préconisons la réalisation unique des secondaires et primaires ce qui du même coup laissera le soin à chaque producteur d'organisation sa parcelle de sorte à faire écouler les eaux à drainer directement dans les secondaires. Pour la réalisation nous retenons pour les canaux secondaires une section de 0,5X0,5 m et les canaux primaires une section de 1.5X1 m.

❖ Les deux colatures (une pour chaque rive) feront barrage aux eaux extérieures venant des versants du bas-fond. Nous estimons à environ à 500.000 m² sur chaque rive les superficies à drainer. En utilisant la pluie décennale et le coefficient de ruissellement décennal (23,25%) nous obtenons des débits de 154,79 m³/s qui seront drainés par des sections de 1X1 m.

2.4. Organisation de l'arrosage

Une bonne organisation de l'arrosage permet non seulement une bonne croissance des cultures mais aussi une bonne économie de l'eau d'irrigation. D'une manière générale, les agriculteurs ne

maitrisent pas les notions de doses, de réserve en eau du sol, de temps d'irrigation. Ainsi, ils apportent la même dose tout au long de la campagne d'irrigation. Pour remédier à ces pratiques et rendre effectif l'utilisation efficiente de l'eau en irrigation sous pression, les calendriers d'irrigation aideront les irrigants du périmètre à organiser efficacement les arrosages.

Tableau 21 : Extrait du calendrier d'arrosage

Choux			
Période	Tour d'eau (j)	Dose brute (mm)	Ts (h)
Octobre	2	4.64	45mn
Novembre	2	5.34	50mn
Décembre	2	5.69	1h
Janvier	2	9.06	1h25mn
Février	2	12.17	1h50mn
Mars	2	18.31	2h45mn

Oignon			
Période	Tour d'eau (j)	Dose brute (mm)	Ts (h)
Octobre	2	12.03	1h50mn
Novembre	2	12.16	1h50mn
Décembre	2	12.33	1h55mn
Janvier	2	10.60	1h40mn

Tomate			
Période	Tour d'eau (j)	Dose brute (mm)	Ts (h)
Octobre	2	6.18	1h
Novembre	2	8.29	1h15mn
Décembre	2	10.60	1h35mn
Janvier	2	12.84	2h
Février	2	10.14	1h35mn

2.5. Les pistes d'accès

Elles auront pour but de fluidifier la circulation motorisée ou non dans le périmètre et seront surtout utile lors des récoltes. Par-là, le trafic étant très faible, nous proposons pour le passage principal (axe de chaque rive aménagée) une piste rurale de type ordinaire. Ce type de piste ne nécessite ni de couche de roulement ni d'ouvrage d'assainissement, un terrassement localisé est juste suffisant.

La piste est classée parmi les routes de catégorie (4) qui ont une vitesse de référence de 40 km/h.

Ainsi, nous avons réservé une largeur de 5m pour l'emprise de la piste qui sera composée de deux chaussées de 2 m chacune avec un dévers (pente) de - 4%.

De plus, des espaces devant servir de passage aux engins lors des récoltes sont réservés entre les parcelles, soit 2 m suivant la longueur des parcelles et 3 m suivant leur largeur (voir schéma d'aménagement en annexe 9).

II. Étude économique et environnementale

1. Etude économique

La réalisation de ce projet suscitera nécessairement des appels à investisseurs. Ainsi, comme tout projet d'aménagement il convient de faire ressortir les coûts estimés et surtout d'évaluer la rentabilité globale de l'ensemble de l'aménagement afin d'attirer au mieux les investisseurs. De ce fait, nous avons établi une étude économique basée sur quelques hypothèses :

- L'oignon considéré comme étant la culture maraichère la plus prisée sera pris comme référence de calcul des recettes attendues ;
- La disponibilité et la stabilité des prix des matériaux de construction avant la fin des travaux de construction et de l'installation des équipements ;
- L'existence d'un marché local soutenu pour la valorisation monétaire des productions agricoles du périmètre, objet du projet d'aménagement ;
- Le maraichage est une activité de contre saison qui se pratique en saison sèche, les calculs financiers seront faits sur la base d'exploitation de 76,8 ha d'oignon en contre saison.
- Le rendement moyen de l'oignon est de 25 t/ha (SP/CPSA, 2013) et le coût minimal de vente au champ est de 250 FCFA/kg (MARHASA, 2015).

Par suite, nous avons déterminé à travers un avant métré détaillé (annexe 7) le coût total d'investissement qui s'élèvera à 534 246 472 FCFA TTC. Le tableau ci-dessous présente les charges d'exploitation estimées par campagne.

Tableau 22 : Charges d'exploitation

Désignations	Unité	Superficie (ha)	Quantité	P.U (FCFA)	Total (FCFA)
Préparation du sol (travaux mécanisés)					
Offsetage	ha		76,8	20000	1 536 000
Billonnage	ha		76,8	25000	1 920 000
Intrants					
Achat semence d'oignon	Kg	76,8	5	50 000	19 200 000
Engrais NPK	Kg	76,8	300	350	8 064 000
Engrais urée	Kg	76,8	200	150	2 304 000
Irrigation					
Main d'œuvre	Jour		23 040	2000	46 080 000
cout du pompage	par campagne		28 728,0	650	18 673 200
Redevance entretien	par campagne		192	10000	1 920 000
TOTAL (FCFA)					99 697 200

Il en ressort un coût d'exploitation de 1 298 000 FCFA/ha.

Les recettes reposeront essentiellement sur la vente de la production de l'oignon à la fin de chaque campagne et le tableau ci-dessous résume les recettes espérées.

Tableau 23 : Récapitulatif production prévisionnelle

Production	Unité	Superficie (ha)	Quantité	P.U (FCFA)	Total (FCFA)
Oignon	par campagne	76,8	25	250000	480 000 000
Oignon/auto consommation (0.01%)	par campagne	76,8	0.25	250000	4 800 000
TOTAL (FCFA)					475 200 000

De là, nous pouvons estimer la marge brute par campagne et ensuite la durée de retour sur investissement. Le taux d'actualisation utilisé est le nouveau taux d'actualisation adopté par la Banque Mondiale et le FMI, ce taux est également celui utilisé par les banques régionales (BAD, BID,...). Il est de 5% par an.

Tableau 24 : Rentabilité du projet

Années	Investissement	Total charge	Recette	Marge brute	Cash-flow	Taux d'actualité	Cash-flow actualisé
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)=(4)-(3)	(6)=(5)+(6)	$(7)=(1+0,05)^{-i}$	(8)=(6)*(7)
0	534 246 472				-534 246 472	1,00	
1		99 697 200	475 200 000	375 502 800	-158 743 672	0,95	-122 218 449
2		99 697 200	475 200 000	375 502 800	216 759 128	0,91	224 193 585
3		99 697 200	475 200 000	375 502 800	592 261 928	0,86	537 891 137
4		99 697 200	475 200 000	375 502 800	967 764 728	0,82	821 204 356

Nous obtenons ainsi un cash-flow positif dès la seconde année ce qui montre que la durée de retour sur investissement est de 2 ans. Par suite, nous en déduisons un taux de rentabilité interne de 26,04% (ce qui est bien supérieur au taux d'actualisation de 5% des banques).

2. Etude environnementale

Nous devons préserver pour les générations futures l'environnement et le cadre de vie dans lequel nous vivons. Ainsi, au Burkina Faso plusieurs lois et règlements obligent les promoteurs privés ou publics à respecter l'environnement lorsqu'ils projettent des travaux et aménagements qui peuvent avoir des impacts sur l'environnement. Selon le type de projet **le décret du N° 342 du 17/07/2001** les catégorise comme suit:

Catégorie A: Projets soumis à une EIES parce qu'ils sont susceptibles d'avoir des impacts négatifs importants sur l'environnement;

Catégorie B: Projets soumis à une NIES parce que leur impacts négatifs sont jugés moins importants que dans le premier cas;

Catégorie C: Projets exemptés d'EIES et d'une NIES car les impacts sur l'environnement sont jugés négligeables.

Le présent projet est classé dans la catégorie B qui considère les digues de barrage inférieures à 10 m de hauteur et les plaines irriguées de superficie inférieure à 200 ha. Par conséquent, il est soumis à une NIES. Ce document fournie au ministère de l'environnement pour approbation avant l'exécution du projet contient les éléments indiquant d'abord l'état initial du site devant accueillir le projet, ensuite son état pendant et après l'exécution du projet et enfin les mesures d'atténuation ou de bonification de ces impacts (MECV, 2007).

Le logiciel RIAM (Rapid Impact Assaismet Matrix) nous a aidé à analyser les impacts sur les quatre facettes environnementales suivantes: physique/chimique (PC), biologique/écologique (BE), social/culture (SC) et Economique/opérationnel (EO). Les diagrammes ci-après présentent les résultats

Option summary

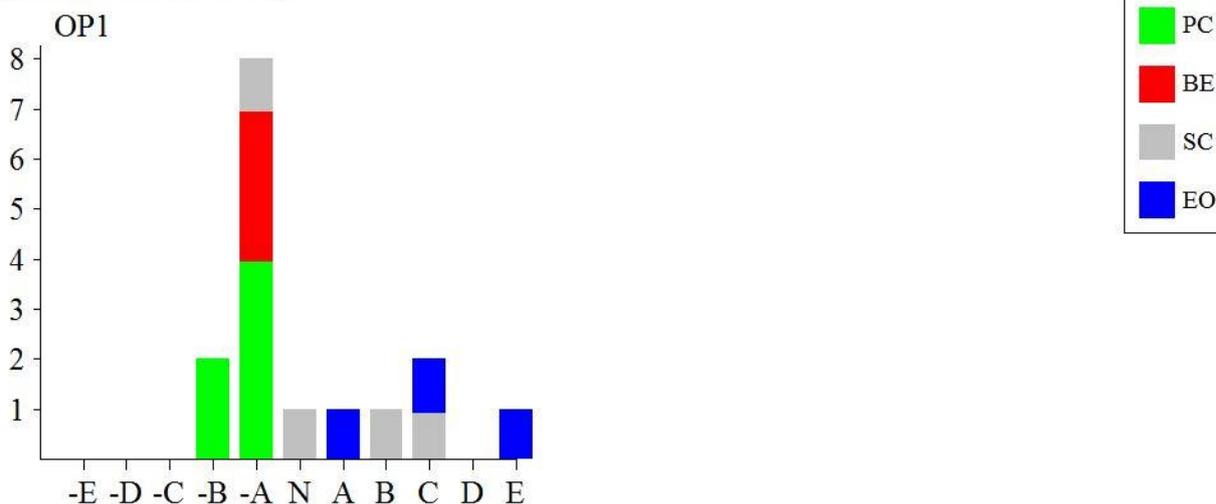


Figure 6 : Présentation des impacts environnementaux et sociaux

Tableau 25 : Explicatif du graphe des impacts

Tranche de cotation	Description de la tranche
E	Problème majeur
D	Problème très important
C	Problème important
B	Problème
A	Problème léger
N	Pas de problème
-A	Problème négatif léger
-B	Problème négatif
-C	Problème négatif important
-D	Problème négatif très important
-E	Problème négatif majeurs

III. Discussion-Recommandations

Les paramètres cultureux et climatiques définissent la période de pointe. En effet, pour le calcul des besoins cultureux les mois ayant la combinaison Eto- K_c la plus élevée imposent les débits de dimensionnement. Par ailleurs, nous constatons que pour le cas de l'oignon que le seul fait d'avoir l'Eto le plus élevé, 5,82 (mois le plus chaud) n'est pas synonyme de mois de pointe tout comme inversement en prenant le cas du K_c . Cependant, il est toujours préférable d'éviter si possible les périodes de forte température lors des campagnes d'irrigation.

Le choix des diamètres après calculs est regardant de deux critères. En effet, plus les diamètres retenus sont grands plus les pertes de charge sont moindres. Par contre, du même coup plus les diamètres retenus sont grands et plus les coûts d'investissement sont plus élevés. Ainsi, il appartient à chaque projecteur de faire le choix le plus économique et pour notre cas nous avons décidé de minimiser le cout d'investissement vu que la variation de pression n'affectera pas le choix de notre pompe.

L'irrigation sous pression donne le choix à l'utilisation des asperseurs ou des goutteurs. Chacun des deux systèmes sont économes en eau et le goutte à goutte propose une distribution très localisée de l'eau nécessaire à la plante. Cependant, le système goutte à goutte est très vulnérable au phénomène de bouchage et demande ainsi une bonne maintenance. Vu que nous mobiliserons une eau de surface (turbidité élevée), nous avons décidé de réaliser le système par aspersion plutôt que le système goutte à goutte dans le but de minimiser ce phénomène de bouchage. De plus, dans le souci de rendre plus économique le projet, nous voulions un système dans lequel les rampes sont facilement portables et cela est plus conseillé avec l'irrigation par aspersion.

Pour un bon fonctionnement, le réseau d'irrigation doit être équipé d'un certain nombre de composantes hydrauliques et être suivi d'une bonne maintenance. En effet, il est conseillé de placer des purges (au niveau des points bas) et des ventouses (au niveau des points hauts) pour l'évacuation respective des débris solides et de l'air dans les conduites. Nous préconisons aussi l'installation de ballons anti-bélier au niveau de chaque pompe pour plus de sécurité sur le réseau. En outre, la présence d'un groupe électrogène et d'une pompe de remplacement serait un atout au cas où une panne récurrente de longue durée surviendrait. Le budget que cela suscitera peut être prélevé plus tard dans la redevance entretien prévu dans les charges d'exploitation.

La rentabilité économique justifie la réalisation de tout aménagement hydro-agricole. En effet, la marge brute de notre projet qui est de 195 FCFA/kg soit un bénéfice de 4 890 000 FCFA/ha constitue un atout considérable au développement économique de la province. Le cout de production moyen au niveau national de l'oignon est de 45 FCFA/kg (PAFASP, 2004) et celui de notre projet s'élèvera à 52 FCFA/kg. Certes, notre cout de production est légèrement supérieur à la moyenne mais la bonne rentabilité du projet constituera un atout pour la recherche d'investisseurs. De plus, toujours dans un souci de rentabilité, nous suggérons l'utilisation des variétés à bon rendement agricole que sont le violet de Galmi (30t/ha), la tomate Xina (33 t/ha et bonne résistance aux insectes nuisibles) et le chou Copenhague (15-43 t/ha).

Du point de vu organisationnel, les producteurs de Moussodougou sont déjà organisés en groupement dans lequel un bureau est mis en place. Ainsi, la gestion des tours d'eau et de certains ouvrages peut leur être confiée. Cependant, il faudrait fournir toute les informations nécessaires sur le périmètre aux services étatiques qui supervisent les groupements villageois après la réalisation des ouvrages.

Conclusion et perspectives

Les cultures maraichères représentent environ 3% du PIB et l'oignon pour exemple constitue 26,7% des exportations de cultures maraichères (RGA, 2006-2010). Ainsi, l'importante valeur ajoutée que génèrent ces cultures justifie l'investissement requis pour la réalisation de ce projet qui s'inscrit dans le cadre de la politique de développement durable du Burkina Faso en général et la stratégie nationale de développement durable de l'agriculture irriguée en particulier. La maîtrise de l'eau et sa gestion par des systèmes modernes économes en eau dans l'agriculture constitue de nos jours un grand défi pour les pays en voie de développement.

L'autosuffisance alimentaire est un des objectifs mondiaux du développement. Avec de tels aménagements nous combattons non seulement la pauvreté mais nous tendons aussi vers la sécurité alimentaire. Nous suggérons ainsi la promotion de tel projet et l'accompagnement du gouvernement pour la réalisation d'un aménagement de ce type par région puis par province à travers divers prés financements étrangers. De plus, nous croyons aussi qu'il serait intéressant de réaliser en appoint une infrastructure de pisciculture intensive pour valoriser davantage la pêche vu l'intérêt qu'elle suscite dans la tranche jeune de la population de Moussodougou.

Nous proposons ainsi pour notre part un aménagement hydro-agricole d'irrigation par aspersion sur une superficie de 76,8 ha pour la valorisation du bas-fond de Moussodougou qui deviendra à long terme un pôle de croissance de la province de la Comoé avec un bénéfice net de 4 890 000 FCFA/ha. Le cout total du projet est estimé à environ 534 246 472 FCFA dont 6 956 000 FCFA/ha avec une durée de retour sur investissement de deux ans.

Bibliographie

Ouvrages

BRUNEL J.P. & BOURON B. (1992), Évaporation des nappes d'eau libre en Afrique sahélienne et tropicale, p 189

CEFCOD (Centre d'Étude de Formation et de Conseil en Développement) (2013), Situation de Référence des principales filières agricoles au Burkina Faso, p 130-140, 195-206

CEFCOD (Centre d'Étude de Formation et de Conseil en Développement) (2013), Situation de référence des principales filières agro-sylvo-pastorales et halieutiques au Burkina Faso, p 26 ; 28

DURAND J. M. (1996), Petits barrages pour l'équipement rural en Afrique, p 47-48

DURAND J.M. et al (1999), Technique des petits barrages en Afrique sahélienne et équatoriale, p 74-76, 89-93

FAO (2008), Manuel technique d'irrigation sous pression seconde édition, p 59-63

Fédération Nationale des Organisations Paysannes (2013), Le magazine du monde rural, p 5-7

Groupe EIER-ETSHER (2005), Les petits systèmes d'irrigation à faible cout en Afrique Soudano Sahélienne, p 45

INSD (2010), Annuaire statistique 2009 de la Région des Cascade, p 65-85

INSD (2007), La région des Cascades en chiffre, p 2-8

INSD (2007), Recensement général de la population et de l'Habitat (RGPH) 2006, Structure par âge et sexe des villages du Burkina Faso

JGRC (Japan Green Resources Corporation) (2001), Guide technique de l'agriculture, p 28-30

KEITA A. (2015), Subsurface Drainage of valley bottom irrigated rice schemes in tropical savannah, p 29, 67

KEITA A, Yacouba H, HAYde LG, Schultz B. 2013b. A single-season irrigated rice soil presents higher iron toxicity risk in Tropical Savannah valley bottoms. *Open Journal of Soil Science*. 3:314-322

Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie (2007), Guide général de réalisation des études et notices d'impact sur l'environnement, p 4-9, 14

Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques, de l'Assainissement et de la Sécurité Alimentaire (2015), Résultats définitifs de la campagne agricole 2014/2015 et perspective de la situation alimentaire et nutritionnelle, p 26

ORSTOM (1996), Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugées de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche, p 14-17, 31-73

SANGO I. (1997), Études hydrométéorologiques du bassin de la Comoé et bilan hydrologique des retenues de Toussiana, Lobi et Moussodougou (mémoire d'étude), p 10-11

Services des statistiques animales/DEP/SG/MRA (2004), Les statistiques du secteur de l'élevage au Burkina Faso, p 26

Cours

COMPAORE M. L. (2008), Cours de drainage et d'assainissement agricole, Cours 2iE

GUEYE I. (2014), Barrages, Cours 2iE

KARAMBIRI H. (2012), Hydrologie des bassins versants, Cours 2iE

KEITA A. (2013), Irrigation par aspersion V2.17, Cours 2ie

Site internet

<http://www.insd.bf/n/index.php/indicateurs?id=62> le 09-09-15

Annexes

Annexe I : Questionnaire d'enquête-----	II
Annexe II : Caractéristiques du bassin versant -----	III
Annexe III : Tableau récapitulatif des équations utilisées et de la méthode du X_0 -----	IV
Annexe IV : Courbe de fonctionnement pompe-réseau -----	V
Annexe V : Résultat de l'ERT -----	VI
Annexe VI : Tableau des dispositions d'atténuations et de bonification des impacts environnementaux -----	VII
Annexe VII : Devis estimatif de l'aménagement-----	IX
Annexe VIII : Plan d'aménagement et profils en long et en travers de la digue-----	XI

Annexe I : Questionnaire d'enquête

Pédologique

1. Trouvez-vous le sol du périmètre adapté à la culture de riz ?
2. Quels sont les types d'engrais utilisés ?
3. Comment trouvez-vous la teneur en eau du sol de culture ?

Climat

1. Quelle est la fréquence des pluies en saison pluvieuse ?
2. Y'a-t-il quelques pluies espacées entre Octobre et Mai ? Si oui combien environ ?
3. Quelle est la longueur de la saison pluvieuse ? Est-elle beaucoup perturbée ces dernières années ?

Eau

1. Les pluies donnent-elles satisfaction en termes de quantité d'eau ? Le marigot est-il beaucoup exploité ?
2. Y'a-t-il des problèmes de distribution et de répartition de l'eau du marigot ?

Cultures

1. Quelle est le rendement moyen du riz à la récolte ? Y'a-t-il eu une baisse ces dernières années ?
2. Quelles sont les préférences culturelles de la région (oignon, tomate, piment, pomme de terre) ? Est-ce pour des raisons économiques ou pour l'autoconsommation ?
3. Quel est le coût moyen de vente des productions (riz, oignon, tomate,...) au kg ?

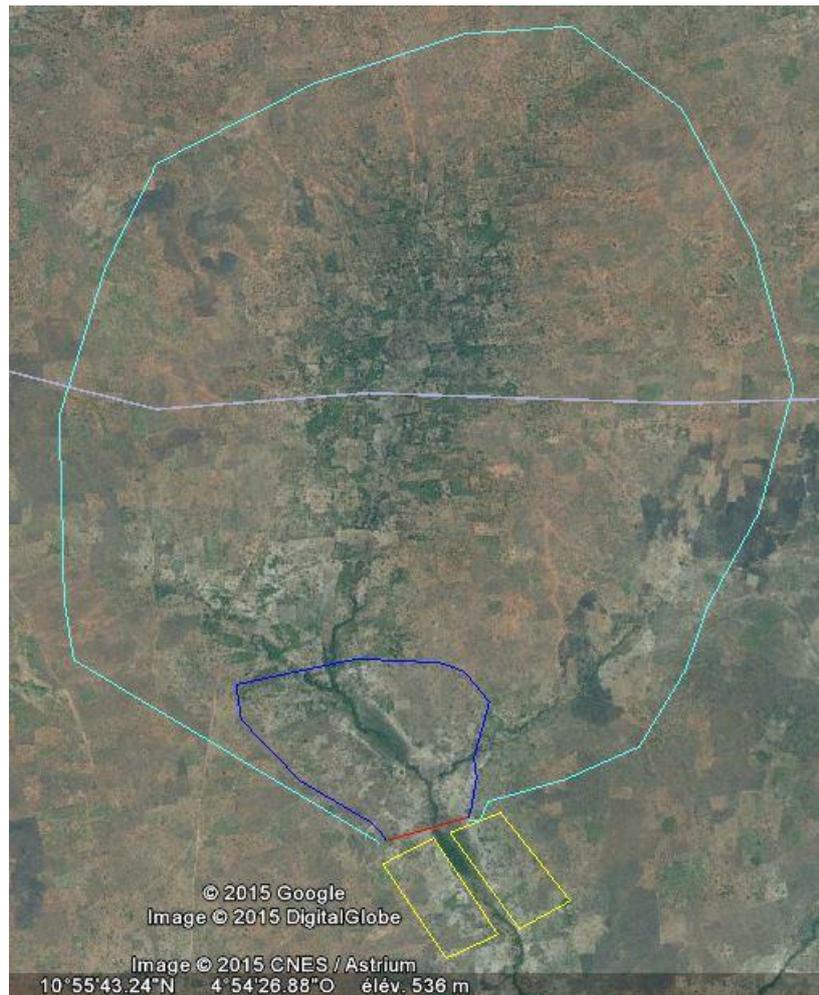
Producteurs

1. Êtes-vous organisés en coopérative ? Si oui comment fonctionne-t-elle ?
2. Comment les autorités communales vous accompagnent-elles ?

Annexe II : Caractéristiques du bassin versant

Tableau des caractéristiques du bassin versant

S (km²)	P (km)	Ig (m/km)	K_G	Kr₁₀	Pan (mm)	Zmax (m)	Zmin (m)	D_a (km⁻¹)
38,25	32,15	5,31	1,46	23,26	1100	572	481	0.43



Source : Google Earth

Figure : Vue aérienne de la délimitation du bassin versant

Annexe III : Tableau récapitulatif des équations utilisées et de la méthode du X_0

					CIEH						
		Q10	N⁰	n	r²	a	S	I_g	Pm10	Kr10	Dd
A		22.94	3	87	0.58	1.33	0.596	0.457			
P₁₀ (mm)	115	11.82	6	87	0.59	2.01	0.649	0.066			0.824
Pm₁₀ (mm)	94.11	50.74	25	295	0.63	1.41	0.542			0.511	
Pan (mm)	1100	43.11	26	295	0.65	146	0.479		-0.969	0.457	
Kr₁₀ (%)	23.26	40.18	27	288	0.65	0.56	0.619	0.279		0.51	
I_{gcor} (m/km)	4.39	35.22	39	61	0.82	0.41	0.425			0.923	
S (km²)	38.25	34.25	40	60	0.82	0.254	0.462	0.101		0.976	
Dd (km/km²)	0.43	54.64	41	137	0.69	0.407	0.532			0.941	
		42.31	42	133	0.76	0.091	0.643	0.399		1.019	
		33.45	43	133	0.59	35600	0.342		-1.808		
		37.78	44	133	0.76	203	0.459		-1.301	0.813	
		32.57	45	130	0.59	22400	0.363	0.059	-1.748		

Étapes	1	2	3	4	5	6	7	8
Q_c (m³/s)	43.37	43.37	43.37	43.37	43.37	43.37	43.37	43.37
Q_e (m³/s)	12.53	24.29	28.62	31.22	32.09	32.96	33.39	33.83
β	0.56	0.66	0.72	0.74	0.76	0.77	0.78	0.78
m	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
L(m)	10.00	19.38	22.85	24.92	25.62	26.31	26.65	27.00
g	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81	9.81
h(m)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tm(s)	25063	25063	25063	25063	25063	25063	25063	25063
S (m²)	736000	736000	736000	736000	736000	736000	736000	736000
X₀	1.08	4.04	5.61	6.68	7.05	7.44	7.64	7.84
Log(X₀)	0.03	0.61	0.75	0.82	0.85	0.87	0.88	0.89

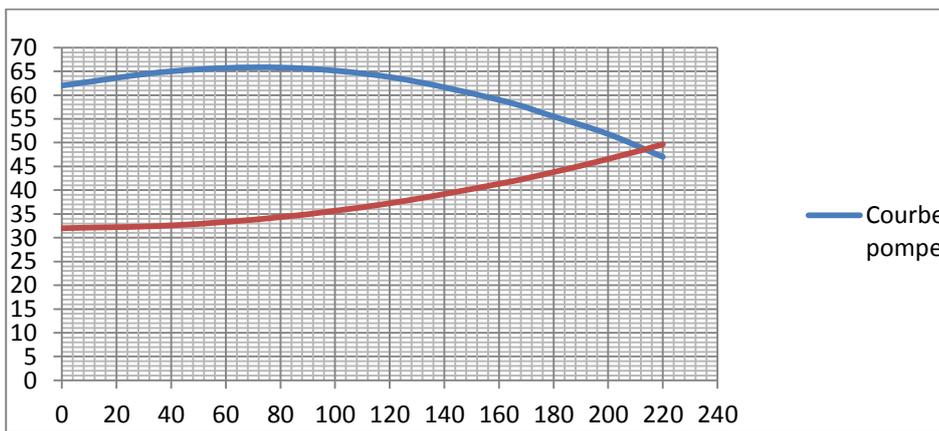
Annexe IV : Courbe de fonctionnement pompe-réseau

Données pompe

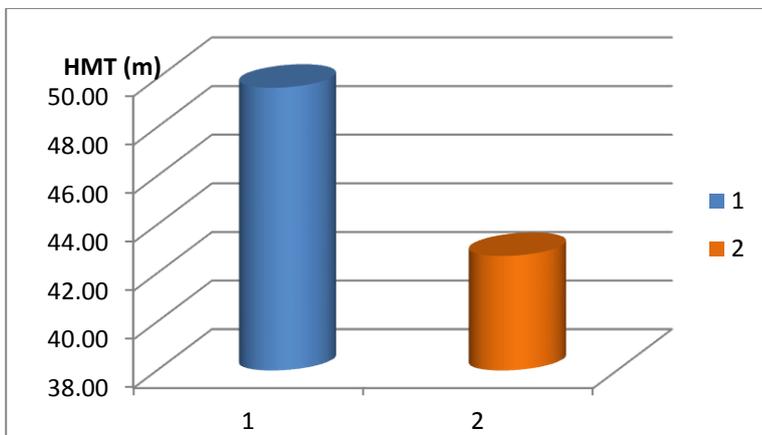
Q (m³/h)	0	40	80	120	160	180	200	220
HMT (m)	62	65	65.8	63.8	59	55.5	51.8	47

Données conduite H_{géo}= 32 m

Qi (m³/h)	200	0	40	80	120	160	180	200
Ji (m)	14.57	0.00	0.58	2.33	5.24	9.32	11.80	14.57
HMT (m)		32.00	32.58	34.33	37.24	41.32	43.80	46.57

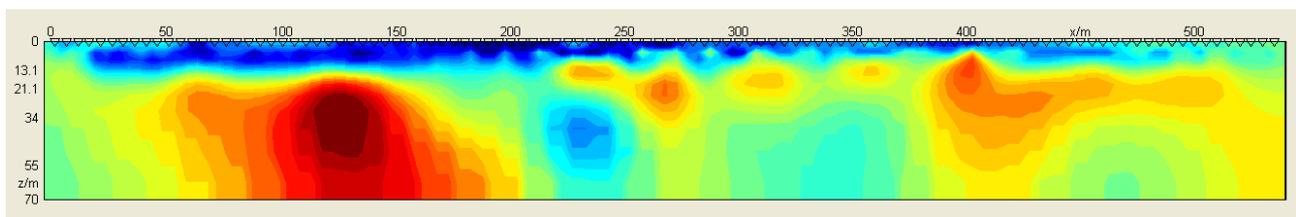


Courbe caractéristique pompe-réseau : point de fonctionnement



Représentation HMT minimale et maximale sur le réseau

Annexe V : Résultat de l'ERT



La coloration indique les différentes classes de résistivités mesurées : du bleu foncé au rouge foncé en passant par le bleu cyan et le jaune nous avons des résistivités croissantes. Les faibles résistivités (bleu, cyan) indique la présence d'une fracture donc de l'eau.

**Annexe VI : Tableau des dispositions d'atténuations et de bonification des impacts
 environnementaux**

Eléments	Composantes	Phases du projet	Description de l'impact	Importance	Possibilité d'atténuation de l'impact	Mesure d'atténuation
Mouvement des véhicules vers le périmètre à irrigué	Air	Installation	Augmentation de taux des poussières et de fumée dans la localité	Mineur	Inévitable	*Port obligatoire de masques anti - poussière et d'autres matériels de protection individuelle pour les travailleurs et les visiteurs sur les chantiers; *Arrosage des pistes afin de les maintenir suffisamment humides limitant ainsi les conditions dans lesquelles les poussières sont engendrées
Circulation des engins du transport des matériels d'installation	Humaine	installation	Nuisances sonores/gênes des malades, du personnel de santé et des visiteurs	Mineur	Inévitable	Dispositions techniques, législatives et réglementaires de contrôle des engins
Excavation des fosses et des tranchées pour les ouvrages (digue, drainage)	Sol	Exécution	Erosion	Mineur	Inévitable	Eviter le décapage des surfaces cultivables
Rejet des	sol	Exécution	Augmentation	Mineur	Évitable	Prévoir des futs de

huiles de vidanges des engins de terrassement			de taux de pollution des sols			conservation des huiles usées
Emploi	Humaine	Exécution et installation	Création de petits emplois temporaires liés a l'exécution du projet	Mineur	A bonifier	*Réservation de l'emploi non qualifié prioritairement aux populations locales *Organisation des recrutements
Organisation des tours d'eau	Humaine	Exploitation	Conflit entre exploitants	Modéré	Evitable	*Utilisation et respect d'un calendrier connu de tous *Désignation d'un médiateur
Déboisement	Microclimat	Installation	Destruction du micro climat	Modéré	Inévitable	Reboisement
Augmentation des revenus des producteurs	Humaine	Exploitation	Ventes des récoltes	Mineur	A bonifier	*Création de coopérative pour une union plus forte des producteurs *Promotion publicitaire dans toute la région lors des récoltes
Déboisement	Flore	Installation	Coupe des arbres constituant des obstacles aux travaux	Modéré	Inévitable	Réutilisation du bois issue du déboisement pour les clôtures du périmètre et renforcement des passages de fortune dans le village

Annexe VII : Devis estimatif de l'aménagement

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Réseau d'irrigation				
Réseau de distribution et drainage				
Fourniture de conduite PVC PN10 DN250 SOTICI	ml	20	20240.00	404 800
Fourniture de conduite PVC PN6 DN160 SOTICI	ml	3680	5464.40	20 108 992
Fourniture de conduite PVC PN6 DN63 SOTICI	ml	15776	1104.00	17 416 704
Fourniture de conduite PE PN6 DN17 NETAFIM	ml	20800	668.68	13 908 573
Asperseur SUP070LR NETAFIM	u	6656	1193.14	7 941 523
Jonction droite NETAFIM	u	6656	52.45	349 078
Piquet supernet NETAFIM	u	6656	504.79	3 359 875
Bouchon taraudé Eco 3/4" Interplast	u	416	249.12	103 633
Té PVC DN63 SOTICI	u	4992	360.00	1 797 120
Réducteur 63X20 SOTICI	u	416	350.00	145 600
Vanne femelle à coller DN63 Interplast	u	4992	1770.04	8 836 035
Bouchon taraudé Eco DN63 Interplast	u	64	655.57	41 956
Té PVC DN160 SOTICI	u	64	1000.00	64 000
Réducteur PVC DN160X125 SOTICI	u	64	900.00	57 600
Réducteur PVC DN125X63 SOTICI	u	64	750.00	48 000
Vanne papillon DN160 Interplast	u	4	121936.02	487 744
Bouchon taraudé Eco 160 Interplast	u	4	1638.93	6 556
Coude PVC DN160 SOTICI	u	2	6000.00	12 000
Té PVC DN250 SOTICI	u	2	14000.00	28 000
Réducteur PVC DN250X200 SOTICI	u	4	15000.00	60 000
Réducteur PVC DN200X160 SOTICI	u	4	10000.00	40 000
Fouille pour colatures et canaux	m3	8840	3000.00	26 520 000
Sous-total 1				101 737 788
Réseau de tête				
Fourniture de manchons fileté NETAFIM	u	8	963.69	7 710
Fourniture de filtres PN10 55micron NETAFIM	u	2	46624.14	93 248
Fourniture de manomètres 0-6bar NETAFIM	u	2	5749.35	11 499
Fourniture de compteurs volumiques NETAFIM	u	2	307580.33	615 161
Fourniture de vannes sectionneuse NETAFIM	u	2	83277.06	166 554

Aménagement irrigué de contre saison dans le bas-fond rizicole à campagne hivernale unique de
Moussodougou-Option d'irrigation par aspersion à partir d'ouvrage de mobilisation d'eau

Fourniture d'injecteur venturi 160l/h max NETAFIM	u	2	48223.73	96 447
Fourniture de ventouses PN10 2" NETAFIM	u	2	100820.11	201 640
Fourniture de clapet anti-retour GAL 4" NETAFIM	u	2	189328.62	378 657
Fourniture de colliers 250X3/4" NETAFIM	u	4	1842.15	7 369
Fourniture de coudes PVC DN250	u	4	1000.00	4 000
Fourniture de manchons taraudés 25X1"NETAFIM	u	8	1022.69	8 182
Fourniture de cône réducteur PVC DN 50/25	u	4	250	1 000
Fourniture de coude PVC DN 250/50	u	4	1500	6 000
Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Fourniture de groupe électrogène SDMO 51.6KVA	u	2	8194625	16 389 250
Fourniture de pompe Grunfos NK 80-250 φ 220	u	2	4079104	8 158 208
Fouille pour le bassin 4X4X3	m3	96	3000	288 000
Béton de propreté 150kg/m3	m3	12.8	50000	640 000
Sous-total 2				27 072 924
Transport et pose (5% du cout)	u			6 440 536
Total 1				135 251 248
Réalisation de la digue-évacuateur				
Digue				
Installation de chantier et services	u			17 000 000
Tranché d'encrage	u			44 000 000
Terrassement remblais	u			24 000 000
Maçonnerie et gabion	u			50 000 000
Étanchéité	u			14 000 000
Sous-total 1				149000000
Déversoir				
Terrassement-gros œuvre	u			150 000 000
Étanchéité	u			1 500 000
Sous-total 2				151500000
Ouvrage de prise				
Terrassement remblais	u			10 000 000
Conduites et équipements divers	u			7 000 000
Sous-total 3				17000000
Total 2				317 500 000
Total général HT				452 751 248
TVA 18%				81 495 225
Total général TTC				534 246 472

Annexe VIII , Plan d'aménagement et profils en long et en travers de la digue