



**ETUDES TECHNIQUES D'AMENAGEMENT EN MAITRISE
TOTALE DU PERIMETRE IRRIGUE DE BOUREM (80 HA)
DANS LA REGION DE GAO AU MALI**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE
MASTER EN GENIE CIVIL ET HYDRAULIQUE
SPECIALITE : INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 30/01/2021 par

Lala DEMBELE (2014 0433)

Directeur de mémoire : Dr. Amadou KEITA, Maitre de conférences, Laboratoire Eaux hydro système et Agriculture (LEHSA), Institut 2ie

Maître de stage : Mr. Adama DIAKITE, ingénieur en Génie civil et hydraulique à Gi-Conseils

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Dial NIANG, Maître Assistant, CAMES

Membres et correcteurs : Mr. Bassirou BOUBE, Enseignant en Hydraulique et Irrigation à 2IE

Mr. Malundama Succès KUTANGILA, Doctorant, LEHSA

[Promotion 2020/2021]

REMERCIEMENTS

Avant tout, mes sincères remerciements sont adressés au bon DIEU Qui a illuminé nos chemins et Qui nous a armé de courage et de bonne santé pour achever nos études.

Et « Quiconque ne remercie pas les gens, ne remercie pas Dieu »

Je tiens à remercier tous ceux qui d'une manière ou d'une autre, m'ont soutenu et apporté un appui inestimable durant tout mon parcours. Je voudrais manifester ma profonde gratitude à :

- ❖ Tous les enseignants de 2^{ie} ; plus particulièrement à Dr KEITA Amadou pour son entière disponibilité, son assistance et ses conseils malgré son emploi du temps chargé,
- ❖ Monsieur Oumar Almahamoudou DICKO Directeur Général de Gi-conseils Sarl qui a bien voulu m'accepter dans son bureau d'études et pour la mise en disposition des ressources indispensables ;
- ❖ Monsieur Adama DIAKITE ingénieur chargé d'études à Gi-conseils et maître de stage pour m'avoir proposé le thème du présent mémoire, pour son accueil, son encadrement, son orientation, ses remarques fructueuses et ses conseils malgré ses multitudes préoccupations ;
- ❖ Monsieur le président du jury Dr Dial NIANG pour ses conseils ainsi que les honorables Messieurs les membres du jury et correcteurs Mr. Bassirou BOUBE et Mr. Malundama Succès KUTANGILA pour leurs remarques et suggestions pour améliorer la qualité du document.
- ❖ L'ensemble du personnel de Gi-conseils Sarl pour leur assistance, leur disponibilité et leur encouragement tout au long de ce travail ;
- ❖ La coopération Suisse de m'avoir accordé une bourse durant mes études universitaires ;
- ❖ Mon regretté cher tonton Youssouf MAIGA pour son soutien et ses conseils ;
- ❖ Toute la communauté musulmane de 2^{ie} pour leur solidarité et abnégation sans fin ;
- ❖ L'ensemble de mes promotionnaires de classe pour leur solidarité et leur engagement pour la réussite de tous ;
- ❖ Toute la communauté malienne de 2^{ie} pour leurs soutiens multiformes ;

Mes remerciements vont également à l'endroit de tous les membres de ma famille dont leur affection de n'a pas fait défaut ainsi qu'à tous mes amis qui ont passé avec moi des moments inoubliables.

Puisse le Tout Puissant (Allah) vous comble de ses bienfaits et vous le rende au centuple.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ Spécialement à mon regretté cher père **Soungalo DEMBELE** que le Tout Miséricordieux, l'accueille dans son paradis, qu'il trouve en ce travail l'effort de ses sacrifices ;
- ❖ A mon très cher grand frère **Sékou Boukader DEMBELE** qui n'a ménagé aucun effort pour me soutenir tout au long de mes études et m'apporter du réconfort tout au long de ma vie ;
- ❖ A mes mères **Mme DEMBELE Mariam BISSAN** et **Saly BALLO** pour leur dévouement sans faille et sans fin, les conseils et les prières pour ma réussite ;
- ❖ A mon tendre et adorable époux **Zakiou N'DIAYE** pour sa confiance, son soutien inconditionnel, ses conseils et son amour ;
- ❖ A mes très chers frères et sœurs pour leurs soutiens multiformes ainsi qu'à toute la grande famille **DEMBELE**.

Ce travail est le fruit de vos efforts quotidiens que vous avez mené envers ma personne.

RESUME

La présente étude porte sur un aménagement agricole de type semi-californien de **80 ha** sur le site de Bourem Foghas dans la région de Gao au Mali. Il a pour but la conception technique et l'estimation quantitative et estimative des travaux du périmètre, et ainsi contribuer au développement de l'agriculture durable et rentable pour le renforcement de la sécurité alimentaire dans le Nord du Mali.

Sur le périmètre nous effectuerons les cultures maraîchères ainsi que la culture du riz en double campagne. Ce choix a été fait en fonction des types de sols rencontrés qui ont été déterminés en réalisant des essais d'infiltration avec **la méthode de MUNTZ** et les études pédologiques qui nous permis de conclure que nous avons un sol de type Sableux-argileux-limoneux. Les besoins en eau pour la campagne sèche à savoir ceux des cultures maraichères sont de l'ordre de **4 784,87m³/ha** pour la tomate, culture la plus contraignante parmi les différentes spéculations choisis.

Le périmètre est irrigué avec le système californien, divisé en deux blocs avec des prises doubles à la tête des parcelles de **0,5ha**. Il est ainsi dimensionné avec un bassin principal de stockage calé à la côte **254,21m** du radier et cinq bassins partiteurs calés entre les côtes de **253,64m** et **253,93m**, d'un réseau de drainage de **1800ml**, une colature de ceinture pour évacuer les eaux excédentaires et une digue de protection. Le réseau est alimenté par deux motopompes mobiles de type HATZ, qui débitent chacun un débit de **756 m³/h**. Le débit d'équipement du réseau est de **3,38 l/s/ha** avec une main d'eau de **30l/s**. Le coût total de l'aménagement est de **288 510 808 FCFA** soit **3 973 978 FCFA** à l'hectare.

Mots Clés

- ✓ **Aménagement**
- ✓ **Bourem Foghas**
- ✓ **Campagne**
- ✓ **Spéculation**
- ✓ **Semi-californien**

ABSTRACT

The present study concerns an agricultural development of the semi-Californian type of **80 ha** on the site of Bourem Foghas in the region of Gao in Mali. Its purpose is the technical design and the quantitative and estimated estimation of the works of the perimeter, and thus contribute to the development of sustainable and profitable agriculture for the strengthening of food security in northern Mali.

On the perimeter we will carry out market gardening as well as the cultivation of rice in double campaign. This choice was made according to the types of soils encountered, which were determined by carrying out infiltration tests with the **MUNTZ** method and the pedological studies which allowed us to conclude that we have a sandy-clay-loamy soil. The water requirements for the dry season, namely those for market garden crops, are of the order of **4 784.87m³ / ha** for tomatoes, the most restrictive crop among the various crops chosen.

The perimeter is irrigated with the Californian system, divided into two blocks with double intakes at the head of plots of **0.5 ha**. It is thus sized with a main storage basin wedged at the **254.21m** coastline of the raft and five dividing basins wedged between the **253.64m** and **253.93m** coasts, a **1800ml** drainage network, a belt colature evacuate excess water and a protective dike. The network is supplied by two **HATZ**-type mobile motor pumps, each delivering a flow rate of **756 m³ / h**. The network equipment flow rate is **3.38 l / s / ha** with a water hand of **30l / s**. The total cost of the development is **288 510 808 FCFA** or **3 973 978 FCFA** per hectare.

Key words

- ✓ **Planning**
- ✓ **Bourem Foghas**
- ✓ **Campaign**
- ✓ **Speculation**
- ✓ **Semi – Californian**

LISTE DES ABREVIATIONS

CILSS : Comité Inter Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CPCS : Commission de Pédologie et de Cartographie des sols

DRPSIAP : Direction Régional du Plan de la Statistique de l'Informatique de l'Aménagement et de la Population

DTIP : Diffusion des Technologies D'irrigation et De production

FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture)

Gi-conseils : Gomny ingénierie conseils

INERA : Institut National de la Recherche Agronomique

2IE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

NPSH : Net Positive Suction Head (tête d'aspiration positive nette)

PIB : Produit Intérieur Brut

PCDA : Programme Compétitivité et Diversification Agricole

PVC : Polychlorure de vinyle

SARL : Société à Responsabilité Limité

SNDI : Stratégie Nationale de Développement de l'irrigation

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
DEDICACES	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
I. INTRODUCTION.....	6
II. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	8
II.1 Contexte	8
II.2 Objectifs et résultats attendus.....	8
III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	9
III.1 Localisation du site	9
III.2 Caractérisations physiques	11
III.3 Caractéristiques socio-économiques	12
IV. MATERIELS ET METHODOLOGIE.....	15
IV.1 Matériels	15
IV.2 Méthodologie.....	15
V. ETUDE DE LA CONCEPTION.....	20
V.1 Dimensionnement du système d'irrigation	20
□ Détermination des besoins en eau de la plante	20
□ Paramètres d'irrigation	22
V.2 Calage des bassins Partiteurs	29
V.3 Dimensionnement des bassins partiteurs	30
V.4 Dimensionnement de la station de pompage.....	32
V.5 Dimensionnement et calage des réseaux annexes.....	34
V.6 L'étude économique et financière.....	36

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

VI.	RESULTATS ET ANALYSES	38
VI.1	Synthèse des études de base.....	38
VI.2	Choix et caractéristiques des cultures	42
VI.3	Conception de l'aménagement.....	46
VI.4	Dimensionnement préliminaire	48
VI.5	Dimensionnement du système d'irrigation	49
VI.6	Opération avant la mise en exploitation du périmètre	55
VI.7	Gestion	57
VI.8	Evaluation du cout de l'aménagement.....	58
VI.9	Etude de rentabilité économique et financière.....	58
VII.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	62
	BIBLIOGRAPHIE	64
	ANNEXES	66
	PIECES DESSINEES	144

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Répartition de la population par sexe en 2016	13
Tableau 2 : Les avantages du système semi-californien	19
Tableau 3 : Type de sol en surface.....	38
Tableau 4 : Résumé de l'évaluation des aptitudes culturales des sols du périmètre.....	41
Tableau 5 : Calendrier cultural	43
Tableau 6 : Caractéristiques des cultures maraichères	45
Tableau 7 : Caractéristiques de la culture du riz	45
Tableau 8 : Profondeurs d'enracinements des cultures	45
Tableau 9 : Besoins en eau des cultures	46
Tableau 10 : Déficit hydrique du riz saison pluviale.....	47
Tableau 11 : Les paramètres d'irrigation	48
Tableau 12 : Dimensions des tranchées de pose des conduites	49
Tableau 13 : Caractéristiques des conduites.....	50
Tableau 14 : Dimensions des bassins partiteurs et côte de calage	51
Tableau 15 : Caractéristiques de dimensionnement de la pompe	55
Tableau 16 : Charges de suivi et formation	59
Tableau 17 : Récapitulatif des besoins en matériels.....	59
Tableau 18 : Recettes de la production	60
Tableau 19 : Sources et milieux d'impacts.....	68
Tableau 20 : Les impacts du périmètre irrigué sur les composantes du milieu	69
Tableau 21 : Coordonnées géographiques des points de mesures d'infiltration	102
Tableau 22 : Données sur la variation de la hauteur d'eau en fonction du temps	104

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du village de Bourem Foghas	10
Figure 2 : Dispositif expérimental.....	16
Figure 3 : Répartition géographique des points d'essais d'infiltration.....	17
Figure 4 : Type de sol en surface.....	40
Figure 5: Courbe caractéristique de la pompe	55

LISTE DES FORMULES

Formule 1 : L'expression de calcul des besoins nets	21
Formule 2 : L'expression de calcul des besoins bruts	22
Formule 3 : L'expression de calcul du débit fictif continu	22
Formule 4 : L'expression de calcul du débit maximum de pointe	23
Formule 5 : L'expression théorique du quartier hydraulique	24
Formule 6 : L'expression de la dose pratique	24
Formule 7 : L'expression de calcul de la fréquence d'irrigation	25
Formule 8 : L'expression de calcul du tour d'eau	25
Formule 9 : L'expression de calcul de la dose réelle	25
Formule 10 : L'expression de calcul de la dose brute	26
Formule 11 : L'expression de calcul du débit d'équipement	26
Formule 12 : L'expression de calcul de débit total en tête de réseau	26
Formule 13 : Formule de Bresse	27
Formule 14 : Formule de la continuité	27
Formule 15 : Formule des pertes de charges linéaires	28
Formule 16 : Formule des pertes de charges totales	28
Formule 17 : L'expression de la charge hydraulique requise	28
Formule 18 : L'expression de Hazen Williams des pertes de charges linéaires	29
Formule 19 : L'expression de Manning Strickler	30
Formule 20 : L'expression du débit des bassins partiteurs	30
Formule 21 : L'expression de l'épaisseur du déversoir	30
Formule 22 : L'expression de la hauteur du bassin	31
Formule 23 : L'expression de la longueur des bassins	31
Formule 24 : L'expression de la largeur des bassins	31
Formule 25 : Formule de Munier	32
Formule 26 : L'expression de calcul de la HMT	33
Formule 27 : L'expression de calcul de la puissance de la pompe	34
Formule 28 : Formule de Manning Strickler	34
Formule 29 : L'expression du tirant d'eau	35
Formule 30 : Taux de rentabilité interne	37
Formule 31 : Durée de retour sur investissement	37

I. INTRODUCTION

Compte tenu de l'accroissement de la population mondiale, l'eau peut devenir un facteur limitant pour l'agriculture (Ashraf, 2010). Environ 70% des ressources mondiales en eau sont utilisés pour l'irrigation agricole (Neto, 2007) ; l'utilisation efficace de l'eau est une question vitale pour le développement socio-économique dans de nombreuses régions. Le Mali est un pays enclavé d'Afrique de l'Ouest situé entre les 10° et 25° degrés de latitude nord et entre le 4° degré de longitude est et le 12° de longitude ouest et couvre une superficie de **1 241 238 km²**. Avec une croissance démographique de 3,60% et une population de 18 957 258 d'habitants (Banque mondiale, 2017). Pour répondre à la forte demande des populations qui croît sans cesse et trouver des moyens de lutte contre la pauvreté, l'Etat malien s'est doté de certaines stratégies axées sur le développement du secteur rural. Parmi ces résolutions, nous avons l'atteinte de la sécurité alimentaire et une intensification du secteur agricole par une utilisation rationnelle de la ressource en eau disponible et un rendement agricole significatif dans l'ensemble du pays.

L'économie du Mali repose essentiellement sur le secteur rural (qui est avant tout agricole) ; en effet, 80% de la population active travaille dans ce secteur qui représentait 44% du PIB en 1995 (16% pour le secteur secondaire et 40% pour le secteur tertiaire). Mais la production agricole est faible, souffrant à la fois d'un manque d'infrastructure en milieu rural, de rendements faibles trop liés aux variations climatiques ; l'autosuffisance alimentaire n'est pas assurée (Banque mondiale, 2017).

Alors que les besoins sont croissants, les aléas climatiques réduisent la productivité de l'agriculture pluviale et, en particulier, la productivité céréalière. La part du riz produit en grande partie dans les systèmes irrigués progresse dans l'offre nationale en céréales. Le développement de la production rizicole est une des stratégies pour faire face aux besoins alimentaires croissants. C'est pourquoi le gouvernement du Mali a engagé depuis des années ; des actions fortes dans ce domaine à travers l'élaboration des stratégies, des projets et des réalisations d'aménagements faisant appel à la maîtrise d'eau dans le but de sécuriser et d'améliorer les productions agricoles.

Ainsi, dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude, il nous a été demandé de mener des études techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem dans la région de Gao au Mali que la coopération financière allemande appui

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

la République du Mali en vue de la mise en œuvre du Programme National d'Irrigation de Proximité dans les régions de Gao et Ménaka (IPRO Gao I/II) à travers la convention séparée aux Contrats de Financement n° 2016 68565/ 12017 67656 en date du 29 juin 2017 et du 20 juin 2018.

II. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

II.1 Contexte

Les changements climatiques constituent une menace qui pèse sur le développement de l'Afrique notamment sur les pays de la sous-région comme le Mali. Ce phénomène qui a aussi des causes naturelles qu'anthropiques impacte sérieusement sur les productions agricoles se traduisant par l'irrégularité des pluies, une diminution drastique des ressources en eau, la dégradation des sols. Ces divers problèmes entraînent une mauvaise répartition des eaux. Le Mali est un vaste pays à écologie très variée. La pluviométrie aléatoire fait que pour la population rurale, les activités économiques sont menacées chaque année par la sécheresse. Depuis l'indépendance, le Mali à l'instar des autres pays sahéliens est donc confronté aux problèmes de maîtrise des eaux souterraines et de surface en complément des pluies pour les besoins du développement agricole. Pourtant le Mali comme la plupart des pays de la CILSS (Comité Inter Etats de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) dispose de beaucoup de ressources en sol et en eau : 2 200 000 ha de terres aptes à l'irrigation dont 1 800 000 dans la seule vallée du fleuve Niger. Dans le but d'élaborer une stratégie cohérente pouvant aider aux prises de décision dans le cadre d'une politique nationale en irrigation le Gouvernement du Mali a élaboré en 1998 la stratégie Nationale de développement de l'Irrigation (SNDI), l'objectif fondamental de la SNDI est d'assurer une utilisation efficace des immenses ressources en irrigation dont dispose le pays et de garantir sa sécurité alimentaire, voire satisfaire à terme une bonne partie des besoins en céréales de la sous-région.

II.2 Objectifs et résultats attendus

II.2.1 Objectifs

❖ L'objectif général

L'objectif de développement au Mali est de faire reculer la pauvreté en améliorant les conditions de vie de la population. Pour atteindre cet objectif, le gouvernement a placé la maîtrise de l'eau au centre de ses priorités de développement agricole et cela, pour de nombreuses raisons dont les deux principales sont les fortes potentialités existantes et les nombreuses contraintes de l'agriculture pluviale dans la zone sahélienne.

L'objectif global du Projet est de contribuer au développement de l'agriculture durable et rentable ainsi qu'au renforcement de la sécurité alimentaire, au profit de la stabilité économique et sociale dans le Nord du Mali. Il s'agit aussi de créer des opportunités d'emplois

❖ **L'objectifs spécifiques**

Plus spécifiquement, il sera question de :

- ✓ Faire une synthèse des études de base ;
- ✓ Réaliser les essais d'infiltration avec la méthode de double anneau ;
- ✓ Dimensionner, concevoir et élaborer les plans d'exécutions les ouvrages ;
- ✓ Réaliser une étude d'impact environnementale et sociale ;
- ✓ Estimer le coût de réalisation des travaux.

II.2.2 Résultats attendus

Afin d'accroître les productions agricoles, les résultats attendus à la fin de ce projet d'aménagement qui seront fourni conformément termes de référence et contenant les pièces suivantes :

- ❖ Un mémoire technique justifiant l'approche méthodologique, la conception de l'aménagement et les dispositions pratiques, ainsi que les techniques retenues qui nous permettrons d'avoir des résultats qui seront discutés.
- ❖ Un plan d'aménagement conformément aux paramètres de base
- ❖ Des pièces annexes comportant toutes les pièces dessinées, et les caractéristiques des ouvrages à mettre en place.
- ❖ Un devis quantitatif et estimatif de l'aménagement

III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.1 Localisation du site

Bourem est une ville et une commune du Mali, chef-lieu du cercle de Bourem dans la région de Gao. Bourem est l'un des premiers cercles de la République du Mali, la Commune de Bourem a été créée en 1996 par la loi 96-059 du 4 Novembre 1996 avec l'éclatement de l'ancien arrondissement central du Bourem.

La commune de Bourem qui couvre une superficie de 5 187km². Il est limité :

- Au Nord par la commune de Tarkint,
- au sud par les communes d'Adiora (cercle de Rharous) et de N'tillit,
- à l'Est par la commune de Taboye,
- à l'ouest par la commune de Téméra :

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

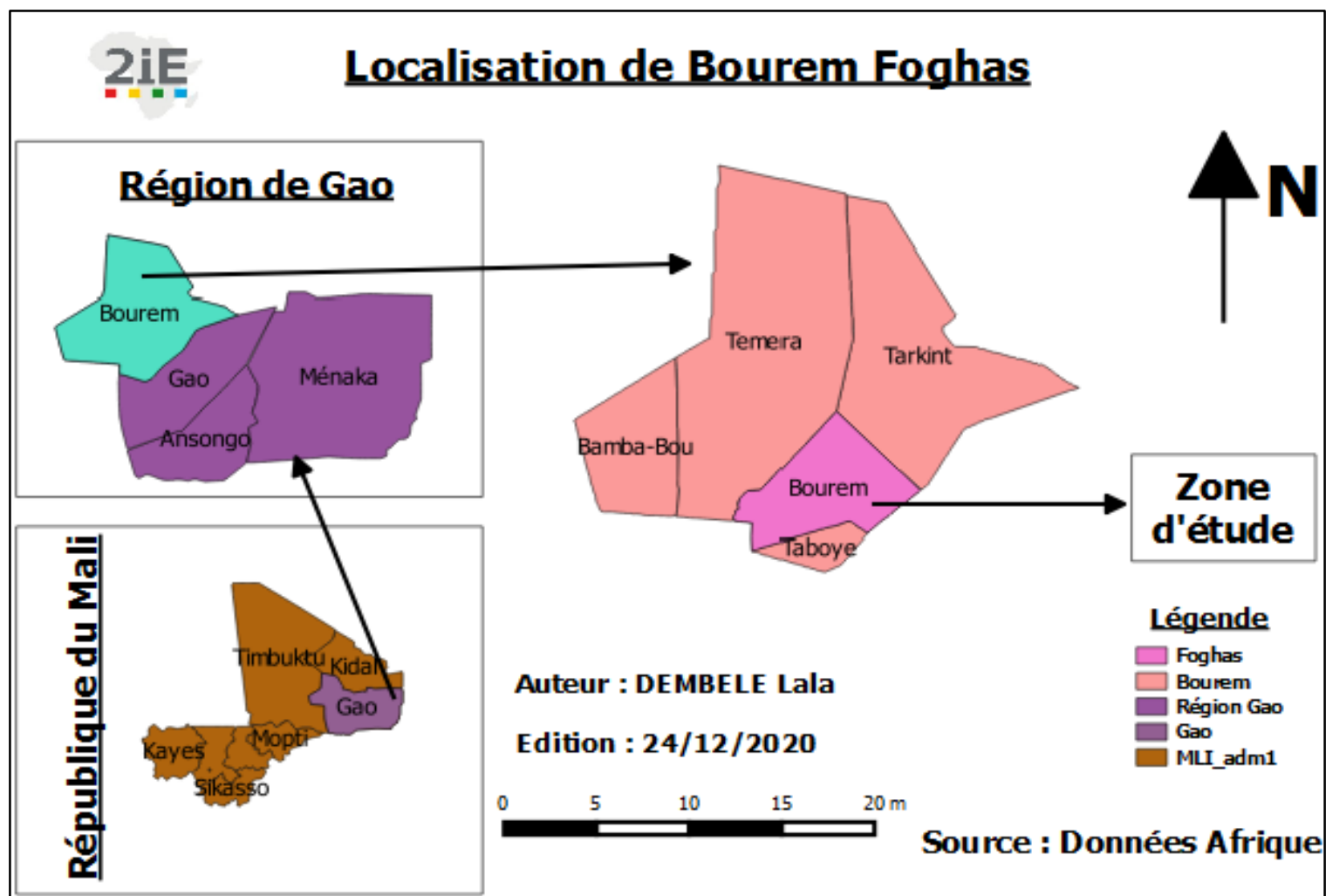


Figure 1 : Localisation du village de Bourem Foghas

III.2 Caractérisations physiques

❖ Climat

Entièrement comprise entre les isohyètes 100 et 200 mm, la zone d'étude a un climat de sahélien de type désertique régi par les mouvements du FIT (Front Intertropical). Le FIT sépare d'une part, les masses d'air équatorial maritime humide (appelée la mousson) et d'autre part, l'air tropical continental sec (appelée l'alizé ou l'harmattan et Ataram par les Sonrhai). Ces mouvements définissent trois saisons qui sont les suivantes

- une saison des pluies très courte et peu pluvieuse de juin à fin août,
- une saison sèche et fraîche de novembre à février,
- et une saison sèche et chaude de mars à juin.

Le climat est semi-aride avec 9 mois secs dans l'année. La pluviométrie est très irrégulière et mal répartie dans le temps. Les précipitations annuelles sont en moyenne de l'ordre de 150 mm dont 90% sont enregistrées pendant une période s'étalant du mois de juillet à août. La pluviométrie est déficitaire entraînant ainsi l'installation d'une sécheresse endémique depuis 1972. Le régime des pluies est caractérisé par : une grande variabilité tant interannuelle que spatiale, une faiblesse des précipitations, une part très importante de pluies à caractère orageux et à forte intensité. Les autres traits du climat local sont :

- les températures de jour souvent très élevées d'avril à juin ($> 40^{\circ}\text{C}$),
- les nuits fraîches de décembre à février ($t < 20^{\circ}\text{C}$)
- les vents violents au début des tornades,
- une évapotranspiration potentielle très élevée.

Source : (Rapport pédologique)

❖ Relief

Le relief de Bourem a été formé au précambrien, raboté par l'érosion, constitué des plaines argileuses le long du fleuve, des zones sablonneuses assez plates et parsemées des dunes de sable de toutes dimensions monticules latéritiques ou rocheuses, le relief de la commune est peu accidenté à l'exception du mont de défilé de Taoussa. L'ensablement est le phénomène le plus dominant qui menace la survie des êtres vivants et tous les efforts de développement. Durant la

période des hautes eaux (crue), le fleuve Niger offre un paysage herbacé et très séduisant et aussi des plages tempérées en période de basses eaux.

❖ Sols

Les sols étudiés se sont formés à partir des dépôts d'alluvions apportés par les eaux du fleuve Niger. Les caractères et la dynamique de leur évolution actuelle sont conditionnés essentiellement par le climat à saisons très contrastées et le régime d'inondation. Selon les études antérieures, les principaux processus affectant ces sols sont : l'hydromorphisme et la vertisolisation. L'examen des profils ouverts confirme, en fait, ces processus, de façon générale. L'hydromorphisme est évidemment le processus le plus important. En effet, dans tous les sites, les caractères des sols identifiés traduisent une hydromorphose très marquée.

❖ Végétation

Elle s'est détériorée avec les grandes sécheresses passées ayant engendré la rareté de plusieurs espèces d'arbres et d'herbes. Elle est constituée surtout d'arbustes rabougris acacia tortilis raddiana, balanites aegyptia, maerua crassifolia, salvadora persica, zizyphus mauritania, acacia albida, boschia senegalensis, leptadenia pyrothecnica (CF conservation de la nature). Les autorités compétentes avec l'appui des partenaires au développement ont entrepris des actions de fixation de dunes, de reboisement et d'ensemencement de pâturages visant à protéger l'environnement et restaurer le couvert végétal.

❖ Hydrographie

La Commune de Bourem est traversée par le fleuve Niger, principale source d'eau d'irrigation et de consommation aussi bien pour les hommes que pour les animaux. La Commune possède d'importantes ressources en eau de surface et souterraines. Les mares recensées sont : Intassas, Intadjalat, Ingoulaybango, Azébagbag, Tinagay, Tondikey, etc.

III.3 Caractéristiques socio-économiques

❖ Population

Selon la DRPSIAP de Gao, la population de Bourem Foghas est estimée à 7 815 habitants dont 3 829 hommes et 3 986 femmes. On remarque une nette prédominance des femmes sur les hommes. Cette population est extrêmement jeune (près de 72% ont moins de 35 ans) et majoritairement féminine ceci induit des conséquences telles qu'un taux de natalité très élevé, un exode massif et des besoins spécifiques importants pour ces couches généralement marginalisées.

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Les principales ethnies sont : Les Sonrhā : majoritaires et sédentaires, ils vivent surtout le long du fleuve Niger ; ils sont agriculteurs et éleveurs à la fois. Les Touareg : essentiellement éleveurs d'ovins, de caprins et de camelins, ils mènent une vie nomade dans les zones exondées et dans la vallée du Niger. Les bozos : Pêcheurs, venus d'autres régions du Mali, se déplacent le long du fleuve et de ses bras.

L'habitat est dominé par les cases rondes totalement en paille par des baguettes arquées. Les maisons en banco sont en train de remplacer ce type d'habitat désormais réservé aux plus démunis.

L'islam est la seule religion pratiquée à Bourem. Chaque village possède sa mosquée et presque dans la ville de Bourem chaque quartier a une mosquée sauf le quartier centre.

Tableau 1 : Répartition de la population par sexe en 2016

Village	Hommes	Femmes	Total
Bourem Foghas	3 829	3 986	7 815

Source : DRPSIAP GAO 2016

❖ **Socio-économie**

Sur le plan économique, la commune de Bourem a une vocation essentiellement agro-sylvo-pastorale. Les principales activités économiques dominantes sont : l'agriculture (pratiquée surtout le long du fleuve Niger et dans les mares), l'élevage (de type extensif et concerne les populations sédentaires et nomades), la pêche (pratiquée de façon traditionnelle par les autochtones et de façon plus organisée par les Bozos).

❖ **Hydrologie**

La principale ressource en eau est le fleuve Niger, dont la crue se présente à la fin du mois de juillet et atteint la cote la plus élevée en janvier-février puis redescend jusqu'en mai-juin à l'étiage. Au maximum de la crue, presque toutes les plaines sont inondées, seuls y émergent les lambeaux de terrasses anciennes et les sommets de levées sub-récentes. Les eaux d'inondation disparaissent de trois manières : par retrait lors de la décrue, par évaporation des sols et des végétaux et par infiltration profonde dans le continental terminal qui sous-tend les alluvions du Niger. Ces dernières décennies, certaines parties de ces sites ne sont plus atteintes par les eaux de la crue. Ceci est consécutif à la baisse générale des précipitations intervenue le long des bassins versants du Niger et de ses affluents. Selon les analyses du Projet Inventaire des

Ressources Terrestres au Mali (PIRT) effectuées suivant la méthode de Riverside, les eaux du Niger appartiennent à la classe C1-S1 c'est à dire à la classe des eaux utilisables pour l'irrigation des sols sans précautions spéciales.

❖ **Géologie**

La zone d'étude appartient à la province géologique connue sous le nom de "détroit soudanais" ou "détroit nigérien". Ce détroit est un ensemble sédimentaire compris entre deux ensembles précambriens en relief (la pénéplaine de Gourma à l'Ouest et le massif de l'Adrar des Iforhas à l'Est) qui relie le vaste synclinal de Taoudéni-Araouane (NW-SE) au bassin du Niger (au SE). Il correspond schématiquement à une zone de subsidence effondrée au centre (selon un axe NW-SE) et largement remblayée par des dépôts crétacés et tertiaires (Continental terminal) très variables avec des alternances d'argiles, d'argiles sableuses et des sables fins à grossiers. Cet ensemble sédimentaire, culmine souvent à des altitudes supérieures à 300 m. Il se trouve souvent entaillé par des systèmes de glaciaires ou de glaciaires terrasses cuirassées ou fossilisées par des dunes de sables (grains de quartz et pisolithes noirs de fer ou ferro-manganèse). Les formations précambriennes affleurent surtout dans le Gourma, ou parfois en bordure du fleuve sous le continental terminal ; elles regroupent principalement des séries schisteuses plus ou moins métamorphisées avec des niveaux de grès/quartzites.

❖ **Géomorphologie**

Les formations superficielles identifiées dans les sites sont composées d'alluvions d'épaisseur variable allant de quelques dizaines de centimètres à quelques dizaines de mètres reposant sur du sable. Elles se distinguent en formations anciennes et formations récentes :

Les formations anciennes se composent de levées et de terrasses alluviales constituant l'ossature non inondable des plaines alluviales. Elles présentent des surfaces relativement surélevées insubmersibles, sur lesquelles se sont installés plusieurs hameaux des villages de Bourem Foghas et Ha. Les levées alluviales cloisonnent les terrasses alluviales et se disposent souvent parallèlement au cours du Fleuve (comme à Ha). Les terrasses alluviales sont exondées, elles ne subissent que les seuls effets des eaux de ruissellement.

Les formations récentes concernent les plaines alluviales en position basse et haute. Elles sont sujettes à des inondations de longueur et de durée variables. Ces formations, malgré l'apparence, ne sont pas homogènes du point de vue lithologique, elles déterminent une variabilité de matériaux induisant une diversité pédologique.

IV. MATERIELS ET METHODOLOGIE

❖ **Données de base**

- ✓ Etudes diagnostiques de base
- ✓ Fond Topographique
- ✓ Etudes géotechniques
- ✓ Données pédologiques

IV.1 Matériels

Pour réaliser ce projet d'étude, nous avons utilisé différents types d'outils, qui sont entre autres :

Des appareils topographiques, géophysiques et le personnel nécessaire pour la collecte des données de bases ;

- ✓ Logiciel Autocad 2014 pour la conception des dessins de l'aménagement ;
- ✓ Logiciel Microsoft comme Excel 2016 pour les calculs ;
- ✓ Logiciel Minitab pour le traitement des données d'infiltrations ;
- ✓ Logiciel Soil water characteristics pour la détermination des caractéristiques de la perméabilité ;
- ✓ Logiciel de Cartographie QGIS pour la présentation et la localisation de la zone d'étude ;
- ✓ Les anneaux ou cylindres pour effectuer des études d'infiltration et de perméabilité ;
- ✓ Logiciel de saisie comme Microsoft Word pour la rédaction du document.
- ✓ Logiciels comme CLIMWAT 2.0 ET CROPWAT 8.0 pour la détermination des évapotranspirations de références et des pluies efficaces du site.

IV.2 Méthodologie

Pour atteindre les objectifs fixés, la démarche méthodologique adoptée pour cette étude se présente en quatre (4) étapes essentielles qui sont : recherche documentaire ; visite de la zone d'étude et réalisation des essais d'infiltrations avec la méthode du double anneau ; le traitement et l'exploitation des données pour la conception de l'aménagement ; ainsi que le dimensionnement des ouvrages et la rédaction du document.

❖ **Etape 1 : Recherche documentaire**

Elle consiste à la collecte des données de base à partir de la littérature existante dans la structure d'accueil (notamment les données pédologiques, études géotechniques, socio-économiques,

environnementales et les données topographiques), la recherche et l'exploitation des rapport d'études techniques sur la zone.

❖ **Etape 2 : Visite de la zone d'étude**

Les visites sur le terrain sont organisées pour la reconnaissance du site et pour recueillir des données sur les aspects physiques, les éventuelles informations sur les habitudes culturelles, les attentes des populations. Elles nous permettent de découvrir le site de l'aménagement et mieux orienté nos choix techniques que nous aurons à prendre lors de la conception, et ainsi effectuer des mesures d'infiltration, qui sont destinées à caractériser certaines propriétés physiques des sols : perméabilité, la texture, et capacité au champ. Dans le souci de déterminer les caractéristiques hydropédologiques des différents types de sols cartographiés du site, nous avons effectué des séries de mesures d'infiltration in situ à partir de la méthode MUNTZ sur une superficie de 80ha. Les essais ont été effectués sur un ensemble de 46 points. Le traitement de données à partir de logiciel Minitab nous a permis de calculer la conductivité hydraulique K_{sat} (mm/h) de chaque mesure à partir de l'ajustement de l'équation non linéaire suivante :

$h_{cumul} = K_{sat} * t + \frac{1}{b}(i_0 - K_{sat})(1 - e^{-b*t})$, (Keita, 2018). Le logiciel Spaw nous a ensuite permis de déterminer les types de sol, la capacité aux champs ainsi que la capacité au point de flétrissement. (Keita, 2018).

Le dispositif expérimental se compose de deux anneaux ou cylindres. On installe sur un sol labouré ou pioché et préalablement saturé d'eau pendant 18-24 heures avant l'implantation. Le dispositif expérimental utilisé est illustré sur l'image de la figure 2 ainsi que la répartition géographique des différents points de mesure en figure 3 :



Figure 2 : Dispositif expérimental

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

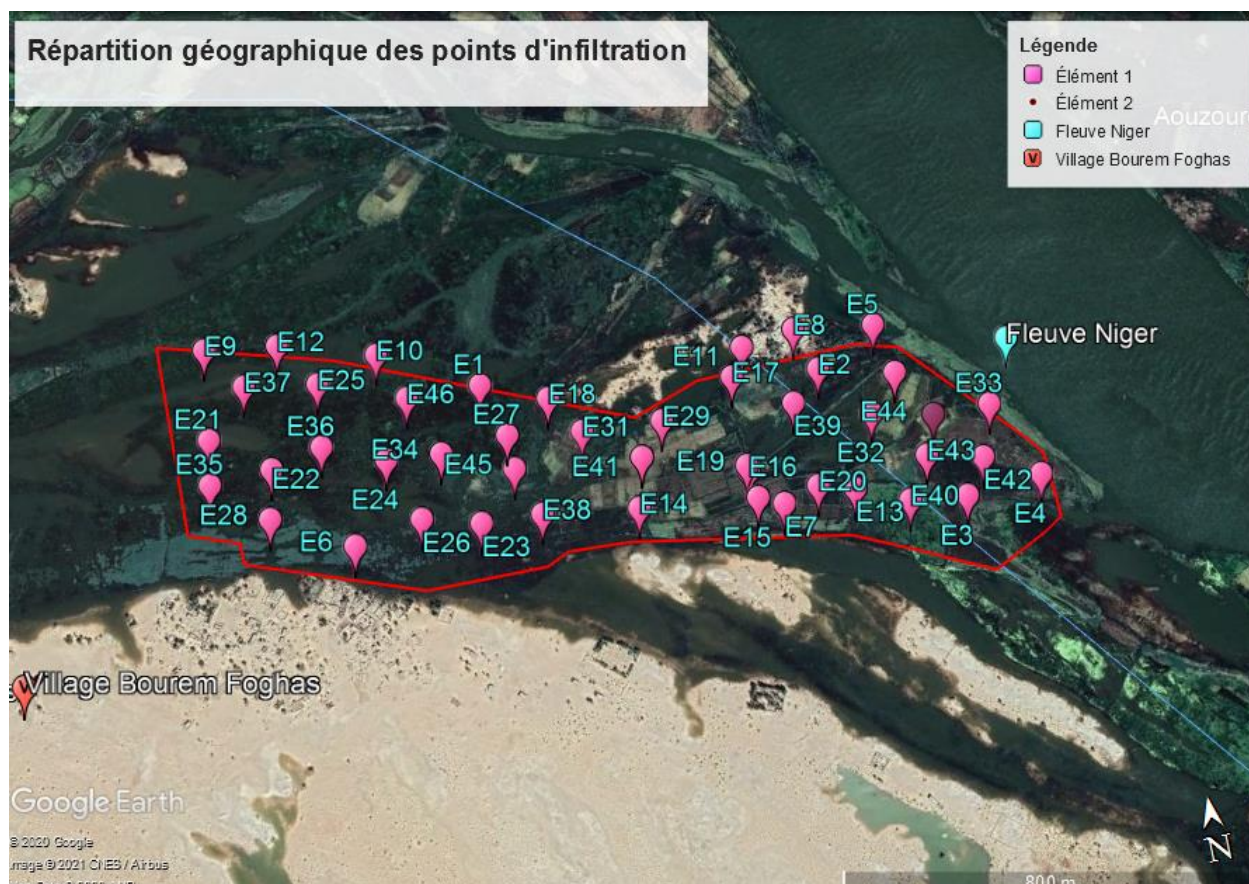


Figure 3 : Répartition géographique des points d'essais d'infiltration

❖ **Etape 3 : Traitement, analyse et exploitation des données**

Cette étape consiste en une analyse des différentes options techniques qui s'offrent à nous et à conduire enfin notre choix vers un dimensionnement qui donne des résultats optimaux.

Les données collectées seront exploitées dans les domaines suivants :

- ✓ Evaluation de l'importance de la vallée dans la vie socio-économique ;
- ✓ Evaluation de la capacité organisationnelle des populations bénéficiaires ;
- ✓ Estimation des débits ;
- ✓ Choix du type d'aménagement ;
- ✓ Prise en compte des aspects environnementaux ;
- ✓ Conception et dimensionnement des équipements pour l'irrigation ;
- ✓ Elaboration d'un devis quantitatif et estimatif ;
- ✓ Mode de gestion et entretien de l'aménagement.

❖ **Etape 4 : Rédaction du document**

Le mémoire technique pour faire ressortir une synthèse de la méthodologie et des résultats obtenu à l'issu de l'étude.

IV.2.1 Méthodologie sur le choix des cultures

Le choix des cultures se fait en fonction de plusieurs paramètres :

Chaque culture a son type de sol sur lequel elle se développe bien. C'est dans ce sens que le type de spéculation varie en fonction des caractéristiques pédologiques. Les sols rencontrés doivent ainsi être aptes aux cultures choisies.

Selon les valeurs socio-économiques : les cultures choisies doivent être des cultures bien consommées par la population et à valeur ajoutée élevée.

La visite sur le site, les entretiens avec les villageois et les services techniques en charge de l'agriculture ainsi que les résultats de l'étude socio-économique ont permis de révéler que les principales spéculations exploitées et envisagées sur le site sont :

- ✓ Les légumes (oignon, laitue, concombre et tomate) en saison sèche,
- ✓ Et le riz généralement en saison pluvieuse

IV.2.2 Méthodologie sur le choix du système d'irrigation

Le système d'irrigation est choisi en fonction des habitudes culturelles de la zone, les types de cultures choisies et les caractéristiques des sols du site. Le système d'aménagement hydro-agricole de 80ha sur le site de Bourem Foghas est de type semi californien. Nous justifions ce choix par le tableau suivant :

Tableau 2 : Les avantages du système semi-californien

Les avantages du système	Description des avantages
Exploitation du réseau	Système d'irrigation adapté aux exploitations de petites et moyennes tailles, à tous les systèmes de cultures, aux parcelles ayant une topographie variée, système offrant une facilité de gestion aussi bien individuelle que collective
Economie de l'eau	Diminution de pertes d'eau par évaporation pendant le transport comme c'est le cas pour les canaux à ciel ouvert, diminution notable des pertes d'eau par infiltration lors du transport et de la distribution de l'eau d'irrigation
Economie (charges)	Coût inférieur à celui du système californien qui est entièrement sous-pression
Gestion des terres	Les terres peuvent être exploitées en cultures pluviales en hivernage avec éventuellement une irrigation de complément
Mise en œuvre et exploitation	Ne présente aucune gêne pour les travaux agricoles, la facilité de montage, tous les matériaux sont disponibles chez les revendeurs locaux, la simplicité d'entretien puisqu'il ne nécessite pas d'interventions particulières

Source : (Lemperière, 1994)

- ✓ Néanmoins ce système présente quelques inconvénients particuliers pour le réseau collectif, on peut citer :
- ✓ Charges d'exploitation élevées par rapport à celles relatives au système gravitaire ;
- ✓ Source de pertes d'eau énorme par rapport à celle concernant le système goutte à goutte ;
- ✓ Difficultés de réparation du réseau de conduites enterrées.

❖ Critères de dimensionnement des conduites

Vitesse d'écoulement : **1,5m/s** maximum pour éviter les surpressions dans les conduites ;

Diamètre des conduites : le diamètre de la conduite doit permettre de véhiculer le débit de pointe tout en ne créant pas d'énormes pertes de charges ;

Les pertes de charges linéaires sont égales à **10%** des pertes de charges singulières ;

La pression nominale des conduites est de 6bars ;

Type d'écoulement : sous pression pour les conduites primaires et secondaires et gravitaire au niveau des parcelles ;

Coefficient de rugosité est de **Ks = 120**.

❖ Critères de dimensionnement des bassins partiteurs

- ✓ Le calage des bassins partiteurs se fait de sorte à satisfaire la charge **H** requise de l'ouvrage de prise le plus défavorisé.
- ✓ Le dimensionnement se fait en utilisant la formule du débit suivante :

$$Q = mL\sqrt{2 * g * h^{\frac{3}{2}}} \text{ où}$$

Q est le débit transité par le déversoir

m le coefficient de débit qui peut varier entre environ 0,33 et 0,48 pour un déversoir qui a un profil longitudinale rectangulaire et entre 0,36 et 0,53 pour un déversoir qui a un profil longitudinal arrondi à l'amont. Ainsi le coefficient de débit choisi est de 0,40.

- ✓ Déversoir du bassin en régime noyé.

V. ETUDE DE LA CONCEPTION

V.1 Dimensionnement du système d'irrigation

V.1.1 Dimensionnement initial

Les besoins en eau sont évalués en fonction des spéculations envisagées au niveau des périmètres en saison pluvieuse comme en contre saison. Le système d'irrigation doit permettre de satisfaire les besoins en eau de la plante la plus exigeante. De ce fait, pour un dimensionnement adéquat du système, il faut déterminer les besoins en eau et les paramètres d'irrigation :

Détermination des besoins en eau de la plante

Le calcul des besoins en eau a été fait en fonction de la pluie mensuelle et l'évapotranspiration potentielle de PENMAN donnée par le logiciel CLIMWAT 2.0 et CROPWAT 8.0 de la station synoptique de Gao, puis des coefficients cultureux tirés à partir du bulletin n°33 de la FAO au

cours de la même période. Les besoins en eau seront estimés dans un objectif d'irrigation totale par des arrosages réguliers des parcelles jusqu'à la maturation des cultures. Les valeurs des pluies efficaces mensuelles sont déterminées par l'équation suivante tirée du manuel de la FAO sur les techniques d'irrigation sous pression (Phocaide, 2008) :

- Si $P < 70$ mm alors $P_{eff} = 0,6P_{moy}$ / mois

- Si $P > 70$ mm alors $P_{eff} = 0,8P_{moy}$ / mois

Dans l'évaluation des besoins bruts, l'efficience exprime de façon approximative les pertes en eau dans le réseau d'irrigation par les fuites dans les conduites, et la percolation dans les sillons d'arrosage. Ce paramètre comporte deux composantes, en raison des pertes par infiltration du mode d'irrigation gravitaire au niveau des parcelles. L'efficience de la parcelle égale à 75% et l'efficience du réseau égale à 90% compte tenu du type de sol et du système adopté où l'eau est transportée par des conduites depuis la station de pompage jusqu'en tête des prise (Keita, 2010 ; Lemperière, 1994)

❖ Besoins nets

Les besoins en eau d'irrigation sont déterminés en fonction des conditions climatiques de la région et des cultures retenues au niveau du périmètre.

Les besoins bruts en eau des cultures s'expriment par :

$$B_n = ETM - P_e + D_s \quad (1)$$

$$\text{Avec : } ETM = K_c * ET_0 \quad (2)$$

B_n : Besoins nets des cultures (mm),

K_c : Coefficient cultural équivalent caractéristique de la culture et de son stade végétatif ;

ET_0 : Evapotranspiration de référence (mm) ;

ETM : Evapotranspiration maximale (mm) ;

D_s : Variation du stock d'eau dans le sol (Négligeable) ;

P_e : Pluie efficace (mm)

Formule 1 : L'expression de calcul des besoins nets

❖ Besoins bruts

Ils représentent les besoins évalués en tête du périmètre. Ils sont déterminés par la formule suivante :

$$Bb = Bn * Eg \quad (3)$$

Avec : Bn : Besoins net des cultures (mm)

Bb : Besoins bruts en tête de système (mm)

Eg : efficience globale, égal au produit de l'efficience ; Eg = varie de 0,60 à 0,80

Formule 2 : L'expression de calcul des besoins bruts

❖ Besoins de pointe

Les besoins de pointe correspondent à la demande maximale ayant lieu pour les différentes dates de semis. Cette demande maximale permet de déterminer le débit d'équipement du réseau de distribution du périmètre.

✚ Paramètres d'irrigation

Ils sont déterminés en fonction des données culturales et du stade végétatif de la plante. Ces paramètres sont :

❖ Débit fictif continu (DFC)

C'est le débit qui, fourni d'une façon continue 24 heures sur 24, permet de satisfaire les besoins en eau d'une période donnée. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$DFC (l/s/ha) = Bb (période) * \frac{1000}{3600 * 24 * Nj} \quad (4)$$

; Avec :

DFC : Débit fictif continu (l/s/ha)

Bb Besoin brut de la période considérée (m3/ha)

Nj : nombre de jours de la période ; nous prendrons Nj=30 jours

Formule 3 : L'expression de calcul du débit fictif continu

❖ Durée d'irrigation

C'est la durée admissible d'irrigation arrêtée en accord avec les usagers et qui tient compte des habitudes des populations, de la disponibilité des irrigants, de l'entretien et réparations des

réseaux etc. La durée d'irrigation est un facteur influençant le calcul des caractéristiques des conduites et celle de la motopompe. Elle correspond au nombre d'heures durant la journée dans lesquelles s'effectue l'irrigation. Cette irrigation peut s'effectuer pendant le jour comme la nuit.

❖ **Débit maximum de pointe (DMP)**

Le débit maximum de pointe (DMP) est le débit correspondant au mois de pointe, ajusté au temps réel de mise en service du réseau de distribution, pour la durée d'irrigation retenue pendant la journée. Il est le débit de dimensionnement du réseau d'irrigation en tenant compte des besoins de pointe, de la dose d'irrigation et de la durée d'irrigation.

$$DMP = Bb(periode) * \frac{1000}{3600 * Nh * J} \quad (5)$$

DMP : Débit maximum de pointe (l/s/ha)

Bb : Besoins bruts (m³/ha)

J : Nombre réel de jours d'irrigation de la période

Nh : Nombre d'heure de travail par jour

Formule 4 : L'expression de calcul du débit maximum de pointe

❖ **Choix de la main d'eau (m)**

C'est le débit d'arrosage commode qu'un paysan peut manier sans être débordé, elle dépend en particulier de l'expérience de l'irriguant, de la perméabilité du sol et du type d'irrigation choisi. Les valeurs de la main d'eau vont généralement de 7 à 50 l/s (manuel du semi-californien (Ministère de l'agriculture, 2013)). Pour le dimensionnement de notre réseau, nous avons adopté une main d'eau de **30** litres par seconde.

❖ **Détermination du quartier hydraulique**

Le quartier hydraulique est la surface de l'ensemble des parcelles qui peuvent être irriguées à partir d'une même main d'eau. Il est souvent alimenté par un même canal ou une même maille hydraulique autour desquels s'organise un tour d'eau entre les différents irrigants. Il est déterminé par l'expression suivante :

$$W = \frac{m}{DMP} \quad (6)$$

W : Quartier hydraulique (ha)

m : main d'eau (l/s)

DMP : Débit maximal de pointe (l/s/ha)

Formule 5 : L'expression théorique du quartier hydraulique

❖ **La dose pratique d'arrosage**

La dose d'irrigation est le volume ou la hauteur d'eau d'irrigation à livrer au sol, nécessaire et suffisant pour satisfaire la capacité de rétention du sol sur toute la profondeur atteinte par les racines des cultures retenues au niveau du périmètre. En considérant que toutes les cultures sont appelées à se succéder sur le même périmètre, il serait judicieux de prendre en compte la profondeur racinaire la plus grande de toutes pour le dimensionnement du réseau afin de calculer une dose pratique plus élevée, et par conséquent un débit important à transiter.

$$Dp \text{ (mm)} = RFU \text{ (mm)} = p \times RU \text{ (mm)} \quad (7)$$

$$\text{Avec } RU \text{ (mm)} = Zr \times (\theta_{fc} - \theta_{wp}) \quad (8)$$

Où Dp : dose pratique d'irrigation

RFU : réserve facilement utilisable

RU : réserve utile

p : facteur de tarissement dépendant du type de culture et de climat

θ_{fc} : humidité volumique à la capacité du champ

θ_{wp} : humidité volumique au point de flétrissement

Zr : profondeur racinaire

Formule 6 : L'expression de la dose pratique

❖ **La fréquence d'irrigation**

C'est le nombre de fois qu'il faut irriguer par mois pour maintenir l'humidité du sol dans les limites acceptables. Elle s'exprime de la manière suivante :

$$N = \frac{Bb}{Dp} \quad (9)$$

N : Nombre d'irrigation par mois

Bb : Besoin brut (mm)

D : Dose d'irrigation (mm)

N étant arrondi à la **valeur immédiatement supérieure** pour obtenir un entier.

Cela revient à déduire une dose réelle (Dr) d'irrigation.

Formule 7 : L'expression de calcul de la fréquence d'irrigation

❖ Le Tour d'eau

Le tour d'eau correspond à la période du mois de pointe durant laquelle le secteur reçoit une dose d'irrigation. C'est l'intervalle de temps compris entre deux arrosages successifs sur une même parcelle. Il est obtenu par la formule suivante :

$$T = \frac{Nj}{N} \quad (10)$$

T : Tour d'eau (j)

N : Fréquence

Nj : Nombre de jour de la période

Le tour d'eau une valeur toujours fixée inférieur ou égal à la fréquence en fonction de la formule $T(j) \leq F(j)$.

Formule 8 : L'expression de calcul du tour d'eau

❖ La dose réelle

C'est la quantité d'eau journalière dont la culture a réellement besoin pour satisfaire son besoin en eau. Elle est le produit des besoins maximums de pointe et le tour d'eau.

La dose réelle, déterminée par la formule ci-dessous :

$$Dr = T(j) * BMP \text{ (mm/j)} \quad (11)$$

Formule 9 : L'expression de calcul de la dose réelle

❖ La dose brute

C'est la dose apportée à la plante en fonction de l'efficacité d'application (Ea). Ea est l'efficacité d'application est le rapport entre l'eau disponible pour les cultures et l'eau reçue à l'entrée de la parcelle. Elle varie en fonction du climat. La dose brute est déterminée de la manière suivante :

$$Db \text{ (mm)} = Dr \text{ (mm/j)} * Ea \quad (12)$$

Formule 10 : L'expression de calcul de la dose brute

❖ **Le débit d'équipement**

C'est le débit exprimé en litre par seconde et par hectare avec lequel les équipements du réseau sont dimensionnés. C'est une grandeur commode pour comparer le système et évaluer les quantités d'eau requises par une certaine surface. Il est obtenu par la formule suivante :

$$q_e = (DFC * 24) / Nh \quad (13)$$

q_e : Le débit fictif continu (l/s/ha) ;

Nh : La durée d'irrigation par jour (h).

Formule 11 : L'expression de calcul du débit d'équipement

❖ **Le temps d'irrigation d'une parcelle**

Elle est définie comme étant le temps nécessaire qu'il faut pour apporter la dose pratique d'arrosage retenue au niveau d'une unité parcellaire avec un débit correspondant à la main d'eau.

❖ **L'unité parcellaire**

Le parcellement de la zone à aménager a été fait en fonction des raisons économiques (équipements moins chers, leurs disponibilité, facile à entretenir et de gérer) et de la masse communautaire bénéficiaire à partager.

❖ **Le débit total en tête de réseau**

Si A en ha est la superficie à irriguer, alors le débit total du système Q se déduit du débit d'équipement par l'équation :

$$Q_{tot} = Q_e * A \quad (14)$$

Avec

Q_{tot} : débit total en tête de réseau

Q_e : débit d'équipement

A : superficie totale à irriguer

Formule 12 : L'expression de calcul de débit total en tête de réseau

V.1.2 Dimensionnement final

❖ Dimensionnement des conduites d'irrigation

Il existe différentes formules qui permettent de calculer le diamètre de la conduite d'irrigation. Pour la présente étude, le choix du diamètre économique de la conduite d'irrigation sera déterminé par la formule de Bresse.

En effet, les formules, telles que celle de la condition de Flamant et celle de la continuité donne de petits diamètres mais ont l'avantage de donner un investissement moindre. Ces diamètres engendrent des pertes de charges élevées d'où une HMT importante. Ce qui occasionne alors des dépenses énergétiques élevées à l'exploitation. Quant aux formules de Bresse et celle de Bresse modifiée, elles offrent des diamètres présentant une meilleure qualité avec une réduction des charges d'exploitation. Dans le réseau d'irrigation nous avons des conduites de refoulement et de distribution en PVC enterrées à (1) mètre de profondeur. La vitesse de l'eau dans ces conduites sous pression est inférieure à 2 m/s, cependant le choix d'une valeur de l'ordre de 1m/s est souhaité pour avoir des vitesses non érosives. Il s'agira des tubes PVC avec une pression de **6 bars**. Les conduites en PVC sont dimensionnées avec les formules suivantes :

$$Dth = 1.5 * Q^{0.5} \quad (15)$$

Formule 13 : Formule de Bresse

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \quad (16)$$

Q : Débit dans les conduites (m³/s)

V : Vitesse de l'eau dans conduites (m/s)

D : Diamètre de la conduite (m).

Formule 14 : Formule de la continuité

Les pertes de charge linéaire (Pdc_l) sont calculées en utilisant la formule empirique de Manning Strickler :

$$Pdc_l (MCE) = 10.29 * \frac{Q^2 (m^3/s)}{K_s^2 * D^{\frac{16}{3}} (m)} * L(m) \quad (17)$$

Avec :

D : Le diamètre intérieur calculé en m

K_s : Le coefficient de rugosité.

Q : Le débit

Formule 15 : Formule des pertes de charges linéaires

Les pertes de charges totales (P_{dct}) :

Les pertes de charges singulières sont évaluées à 10% des pertes linéaires.

$$P_{dct} (MCE) = P_{dcl} (m) + P_{dcs} (m) = P_{dcl} (m) + 10\% P_{dcl} (m) = 1.1 * P_{dcl} (m) \quad (18)$$

P_{dct} : Pertes de charges totales

P_{dcl} : Pertes de charges linéaires

Formule 16 : Formule des pertes de charges totales

L'irrigation est organisée de sorte à irriguer parcelle par parcelle à un débit égal à la main d'eau choisie.

❖ **Charges hydrauliques et calage des prises parcellaires**

On appelle charge hydraulique, la hauteur d'eau nécessaire au niveau du bac pour assurer un débit demandé au niveau de chaque prise du réseau. Ainsi, le calage se fait en fixant une charge minimale de 0.50 mètre de colonne d'eau au-dessus du terrain naturel et en considérant l'ouvrage le plus éloigné (le plus défavorable) soit desservi par le bassin partiteur. On remonte ensuite en ajoutant chaque fois les pertes de charges linéaires et singulières pour dominer les parcelles irriguées directement et satisfaire la charge requise de la prise située en aval immédiat. Le principe de dimensionnement utilisé est celui du réseau ramifié en partant de l'aval vers l'amont.

$$Z_{requis} = CTN + 0,5 \quad (19)$$

Z_{requis} : Charge au niveau de la prise.

CTN : Côte terrain naturel à l'emplacement de la prise.

Formule 17 : L'expression de la charge hydraulique requise

❖ **Dimensionnement du canal arroseur**

Les canaux arroseurs sont réalisés en terre et véhiculent un débit égal à la main d'eau transitant dans les sillons des parcelles. Ces canaux arroseurs sont calés à la même cote que les prises parcellaires correspondantes et leur mise en œuvre sont laissés à la charge des exploitants.

V.2 Calage des bassins Partiteurs

- ✓ **Le bassin partiteur principal** : c'est un ouvrage de réception et de répartition de débits où arrive la conduite de refoulement (adduction) et d'où partent les conduites de distribution.
- ✓ **Les ouvrages partiteurs intermédiaires** : Ce sont des bassins partiteurs secondaires ou tertiaires. Ils comportent toujours un bac d'arrivée d'eau et deux ou plusieurs bacs de dérivation, en fonction du nombre de sorties ou de dérivations prévues.

Ainsi, la charge de ces bassins se calcule de sorte à satisfaire la charge la plus élevée en tête des rampes par la relation suivante :

$$H_b = \text{Max} (Z_{TN} + 0.5 ; H_{pr1} + p_{dc1} ; H_{pr2} + p_{dc2})$$

H_b : Charge hydraulique du bassin partiteur

Z_{TN} : Cote terrain naturel à l'emplacement du bassin secondaire

H_{pr} : Charges hydrauliques requises des ouvrages de prises

P_{dc} : Pertes de charge dans les conduites

❖ Evaluation des pertes de charges des bassins partiteurs

Nous avons utilisé la formule empirique de Hazen Williams et celle de Manning Strickler, ensuite nous avons choisi celle qui donne la valeur maximale pour le calcul des pertes de charges linéaires. Elles sont déterminées par les relations suivantes :

$$P_{dc} = L * \frac{10.675 * Q^{1.875}}{C_{wh}^{1.852} * D^{4.87}} \quad (20)$$

P_{dc} = Pertes de charges linéaires

L : Longueur de la conduite(m)

Q : Débit transitant les conduites (m³/s)

C_{wh} : coefficient Hazen William avec une valeur égale à 150 pour les matériaux en PVC

Formule 18 : L'expression de Hazen Williams des pertes de charges linéaires

$$P_{dc_l} \text{ (MCE)} = 10.29 * \frac{Q^2 \text{ (m}^3\text{/s)}}{K_s^2 * D^{\frac{16}{3}} \text{ (m)}} * L \text{ (m)}$$

Avec : D : Le diamètre intérieur calculé en m ; K_s : Le coefficient de rugosité et Q : Le débit

Formule 19 : L'expression de Manning Strickler

Les pertes de charges singulières sont évaluées à 10% des pertes linéaires.

V.3 Dimensionnement des bassins partiteurs

Le bassin partiteur fonctionne simultanément avec deux paramètres, la hauteur de la lame d'eau au-dessus du seuil du partiteur et la longueur du déversoir. En fixant un paramètre de l'équation, on évalue l'autre. Le fonctionnement du déversoir sera en situation dénoyée pour éviter une insuffisance de calage des bassins, entraînant ainsi une répartition inégale des débits entre les déversoirs d'un même bassin partiteur (Lemperière, 1994). Le dimensionnement se fait donc suivant la formule du débit :

$$Q = mL\sqrt{2 * g} * h^{\frac{3}{2}} \quad (21)$$

Avec :

$h(m) = \frac{3}{2} * h_c(m)$: hauteur de la lame d'eau déversante (m).

$L(m) = 3.5 * h_c(m)$: longueur du déversoir(m)

Q : débit dans le déversoir (m³/s)

m : coefficient du déversoir à seuil épais est 0.38

hc : Hauteur critique de la lame d'eau à l'aval du déversoir est fixé à 0.1m

Formule 20 : L'expression du débit des bassins partiteurs

❖ Epaisseur du déversoir

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$e = 3,5 * h_c \quad (22)$$

hc : La hauteur critique de la lame d'eau (m)

Formule 21 : L'expression de l'épaisseur du déversoir

❖ Hauteur du bassin

La hauteur du bassin est fonction de la charge de l'eau au-dessus du déversoir, de la revanche, puis de la hauteur du seuil qui prend en compte le diamètre entrant de la conduite et une marge de sécurité de 15 cm et 10 cm respectivement en dessous et au-dessus de cette dernière. Elle est obtenue par la relation suivante :

$$H = Z + r + h \quad (23)$$

Avec $Z = De + 0.25m$ et $r = 0.2 m$

H : Hauteur du bassin (m)

Z : Hauteur du seuil (m)

r : Le revanche (m)

h : La charge de l'eau sur le déversoir (m)

Formule 22 : L'expression de la hauteur du bassin

❖ Longueur des bassins

La longueur du bassin quant à elle est fonction uniquement de la charge au-dessus du déversoir.

Elle est définie par la relation suivante :

$$Lb = k * h \quad (24)$$

Lb : Longueur du déversoir (m)

K : coefficient de proportionnalité égale à 5

h : la charge sur le déversoir (m)

Formule 23 : L'expression de la longueur des bassins

❖ Largeur des bassins

La largeur du bassin est déterminée à l'aide du diamètre de sortie de la conduite dans le bassin partiteur selon la relation suivante :

$$lb = Ds + 0.4 \quad (25)$$

lb : Largeur du déversoir (m)

Ds : Diamètre de sortie de la conduite du bassin

Formule 24 : L'expression de la largeur des bassins

$$\text{La hauteur du seuil : } Z(m) = De(m) + 0.25 \quad (26)$$

$$\text{La longueur déversante : } Ld(m) = \frac{Q (m^3/s)}{m * \sqrt{2 * g} * h^{\frac{3}{2}} (m)} \quad (27)$$

$$\text{La longueur de l'ouvrage : } L(m) = 2 * Lb(m) + lb(m) + 2 * hc(m) \quad (28)$$

$$La\ largeur\ de\ l'ouvrage : l(m) = 2 * lb(m) + 4 * hc(m) \quad (29)$$

$$La\ côte\ du\ déversoir : cd(m) = Cr(m) + Z(m) \quad (30)$$

$$La\ côte\ crête\ de\ l'ouvrage : Cc(m) = Cr(m) + H(m) \quad (31)$$

V.4 Dimensionnement de la station de pompage

La station de pompage qui doit être accessible en toute saison doit être dimensionnée pour prélever et acheminer au bassin tampon au minimum le débit nécessaire à la satisfaction des besoins en eau des cultures mises en place. Les stations de pompage sont indispensables dans le système semi californien pour le relevage d'eau d'irrigation d'une part et pour sa mise en charge d'autre part. L'eau est desservie au niveau des ouvrages de stockage du périmètre par l'intermédiaire des conduites à l'aspiration et au refoulement que nous allons les dimensionnées.

❖ Réseau d'adduction

Le dimensionnement du réseau de refoulement se fera à partir des relations ci-dessous :

$$Dth = 1,5 * \sqrt{Q(m^3/s)} \quad (32)$$

$$Dth = (1 + 0,02T_p) * \sqrt{Q(m^3/s)} \quad (33)$$

Avec $Q(m^3/s)$ le débit de pompage et T_p le temps de pompage.

Formule 25 : Formule de Munier

La condition de Flamant : $V \leq 0,60 + D$

Avec :

V : la vitesse de la conduite en m/s

D : le diamètre en m

❖ Calcul de la hauteur manométrique à l'aspiration

Elle correspond à la somme de la hauteur géométrique d'aspiration et des pertes de charge, à la fois linéaire correspondants aux débits dans la tuyauterie et singulières au niveau de la crépine, le clapet, les coudes et les autres éléments de la conduite ;

$$Hma = ha + Pdca \quad (34)$$

Hma : hauteur manométrique totale d'aspiration (m)

Ha : hauteur géométrique d'aspiration évaluée par rapport au niveau le plus bas en étiage (m)

Pdca : pertes de charge linéaires et singulières à l'aspiration (m).

❖ Le NPSH disponible

Il nous permet, selon les conditions d'installation de la pompe, d'indiquer la hauteur limite d'aspiration à ne pas dépasser, il est calculé pour éviter les cavités dans la pompe. Il est déterminé par l'expression suivante :

$$NPSH_{dispo} = 10,33 - H_a - P_{dca} \quad (35)$$

Avec : $NPSH_{dispo}$: Pression absolue mesurée sur l'axe de la bride d'aspiration (m)

H_a : Hauteur d'aspiration (m)

P_{dca} : Pertes de charges totales à l'aspiration.

❖ Calcul de la hauteur manométrique au refoulement

C'est la charge avec laquelle l'eau pompée arrive au niveau du bassin partiteur. Cette charge s'obtient en additionnant la hauteur géométrique de refoulement correspondant au dénivelé entre le regard et l'axe de la pompe, et les pertes de charge à la fois linéaire correspondants aux débits dans la tuyauterie et singulières au niveau des coudes. Elle est déterminée par la formule ci-dessous :

$$H_{mr} = h_r + P_{dcr} \quad (36)$$

H_{mr} : Hauteur manométrique de refoulement en m ;

h_r : Hauteur entre le regard et l'axe de la pompe ;

P_{dcr} : Pertes de charges totales au refoulement.

❖ Détermination de la hauteur manométrique totale de pompage et choix du type de pompe

La hauteur manométrique totale correspond à la charge totale exigée au niveau de la station de pompe pour le fonctionnement correct de l'installation d'irrigation. Elle s'obtient par la sommation de :

La hauteur manométrique d'aspiration (H_{ma}),

La hauteur manométrique au refoulement (H_{mr})

La charge nécessaire au fonctionnement du système de distribution d'eau d'irrigation (H_s).

$$HMT = H_{ma} + H_{mr} + H_s \quad (37)$$

Formule 26 : L'expression de calcul de la HMT

Les pompes sont sélectionnées en fonction de deux (2) paramètres principaux qui sont le débit de pompage et la hauteur manométrique totale.

❖ Puissance du moteur

La puissance du moteur se calcule par la formule suivante :

$$P = \frac{Q * HMT * \gamma}{367 * \eta} \quad (38)$$

P : Puissance du moteur (kw)

Q : Le débit (m³/h)

HMT : Hauteur manométrique totale

η : Le rendement du moteur pris à 70%

γ : Masse volumique de l'eau (kg/dm³)

Formule 27 : L'expression de calcul de la puissance de la pompe

V.5 Dimensionnement et calage des réseaux annexes

❖ Dimensionnement et calage des drains et colatures

C'est un drainage de surface constitué de réseau d'assainissement interne réparti dans chaque bloc et externe. Le réseau interne dans la configuration de notre site est formé :

- ✓ Des pentes dans les colatures doivent être de telle sorte à éviter les vitesses érodables et le dépôt des matériaux solides ;
- ✓ Des colatures de ceintures seront en perrés maçonnés. Ainsi, la vitesse admissible dans les colatures doit être $1,5 \leq V \leq 2,5$ m/s pour les canaux revêtus et $0,6 \leq V \leq 1$ m/s pour les canaux non revêtus (M. OURAHOU, Mars 2003).

Les sections des drains sont supposées trapézoïdales et seront calculées par la formule de la section hydrauliquement favorable de Manning Strickler définie comme suit :

$$Q = K_s * S * R_h^{2/3} * \sqrt{I} \quad (39)$$

Avec

Q : Le débit (m³/s)

K_s : Coefficient de rugosité de Strickler pris égal à 30 pour les canaux non revêtus.

Formule 28 : Formule de Manning Strickler

$S = y * (b + m * y)$: Section mouillée (m²)

$R_h = \frac{S}{P}$: Rayon hydraulique (m)

I : Pente du canal (%)

De ces formules ci-dessus sont obtenues les caractéristiques de la colature qui sont :

La largeur en gueule L :

$$L = b + (2 * m * H)$$

Avec : H la hauteur du canal (revanche R additionnée au tirant d'eau y)

Le tirant d'eau y :

$$y = \left(\frac{2^{2/3} * Q}{Ks * (2\sqrt{1 + m^2} - m) * i^{1/2}} \right)^{3/8}$$

Formule 29 : L'expression du tirant d'eau

La largeur au plafond b :

$$b = 2 * y * \sqrt{1 + m^2} - m$$

❖ La gestion du périmètre

De manière générale, il est question ici de proposer une façon d'entretien des ouvrages et équipement du périmètre et un mode de gestion pour permettre de réduire le coût de la maintenance en évitant de recourir aux grosses réparations souvent coûteuses.

✓ Ouvrages de vidange

Ces ouvrages doivent être conçus dans le but de permettre une vidange aisée du réseau d'irrigation aux fins d'entretiens ou de réparation.

✓ Réseau de circulation

Les réseaux de circulation sont constitués des pistes et des ouvrages de franchissements. Ils doivent être conçus pour répondre aux exigences du trafic à l'intérieur du périmètre.

✓ **Entretien et gestion du périmètre**

Il s'agit de l'ensemble des opérations de maintenance menée par les usagers et dont le but est de pérenniser au mieux les ouvrages réalisés et consiste à proposer des bonnes pratiques et normes pour la gestion durable du périmètre.

✓ **Etude d'impact environnementale**

Elle consiste à recenser les impacts négatifs et positifs que suscitera l'implantation du périmètre et de proposer des mesures d'atténuation pour les impacts négatifs et des mesures d'accompagnement de bénéficiaires.

Elle est l'examen systématique des facteurs environnementaux au niveau de l'élaboration des projets et de la prise de décision. Elle s'effectue avant toute prise de décision ou d'engagement important dans un projet. Elle permet en outre d'évaluer l'impact du projet dans les zones d'exécution du projet. Son principal objectif est de fournir aux décideurs un rapport préalable sur les implications des diverses modalités d'exécution des activités envisagées du projet pour leur permettre d'en tenir compte et de modifier éventuellement la conception finale. L'étude d'impact environnementale se mène dans le respect des textes et lois élaborés, à cet effet un récapitulatif de la notice d'impact environnemental (NIE) a été établis à l'**ANNEXE I**.

V.6 L'étude économique et financière

V.6.1 Estimation du coût de l'aménagement

Le coût de l'aménagement est la sommation des frais de dossier de mise en œuvre, des frais de terrassement, des frais d'achat des équipements et leur mise en œuvre, l'exécution des différents ouvrages, les coûts des études d'ingénierie et autres imprévus. Les principales rubriques des travaux d'aménagement qui seront évalués sur le site sont :

- ✓ L'acquisition de trois (3) motopompes et de ces accessoires où l'une d'elle restera au secours en cas de panne ;
- ✓ La réalisation du réseau de distribution et des ouvrages ;
- ✓ La réalisation du réseau de circulation ;
- ✓ La réalisation du réseau de drainage et protection du périmètre ;
- ✓ La réalisation des ouvrages annexes (latrine et magasin) ;
- ✓ Et les études d'ingénieries

Les différents frais d'exécutions de ses travaux sont détaillés selon un devis quantitatif et estimatif détaillé en ANNEXE II.

V.6.2 Etude de rentabilité

Concernant l'étude de rentabilité, nous allons d'abord procéder par une évaluation de la charge d'exploitation liée au projet, puis déterminer par la suite les recettes que peuvent générer les produits de l'aménagement pour enfin comparer ces deux valeurs et tirer une conclusion par rapport à cette étude.

❖ Les charges d'exploitation prévisionnelle

Les charges d'exploitations prévisionnelles se résument aux différents frais d'entretien, les personnels techniques pour le suivi et le contrôle des pratiques culturales, des matières organiques pour la fertilisation du sol, les réparations du groupe motopompe, les matériels de pulvérisation de pesticides et les frais de gardiennage.

❖ Recettes de la production

Les recettes des produits de l'aménagement ont été évalués sur la base d'un rendement moyen fourni par les fiches techniques des spéculations retenues à savoir le riz, la tomate, l'oignon, la laitue et le concombre dont le rendement moyen est respectivement de 5, 40, 30, 20 et 40 t/ha (DTIP et PCDA).

❖ Compte d'exploitation prévisionnel

C'est la différence des recettes de production et les différentes charges de production.

❖ Taux de rentabilité interne (TRI)

Il est le rapport entre le résultat d'exploitation et le capital investi. Il nous permet de savoir en effet si le projet est rentable et si oui, elle détermine la durée de retour sur investissement, laquelle correspond à la période où l'on pourra récupérer son investissement.

$$TRI = \frac{Productions - Charges}{\left(\frac{Cia}{d}\right)} * 100 \quad (40)$$

Formule 30 : Taux de rentabilité interne

La durée de retour sur investissement (DRI) se détermine par l'expression suivante :

$$DRI = \frac{Cia}{Productions - Charges} \quad (41)$$

Formule 31 : Durée de retour sur investissement

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Avec **Cia** : la valeur du capital d'investi dans l'aménagement

d : la durée en année de récupération supposée 5 ans dans notre cas.

VI. RESULTATS ET ANALYSES

VI.1 Synthèse des études de base

Pour procéder à une proposition d'aménagement du site de Bourem Foghas, un certain nombre d'études de base ont été faites permettant de mieux caractériser le site et proposer les types d'ouvrages qui non seulement répondent aux besoins des usagers mais aussi s'adaptent aux conditions physiques du site. Les résultats de ces études sont détaillés ci-dessous :

❖ Etude d'infiltration

Les essais d'infiltration ont été fait in situ avec la méthode du double anneau pour réaliser au total quarante-six (46) essais. L'ajustement des données a été fait sur le logiciel Minitab avec un intervalle de confiance de 95%, les courbes de régression non linéaire obtenue avec l'équation non linéaire présentée plus haut. Les caractéristiques du sol sont ensuite déterminées à partir du logiciel SPAW hydrologie en fonction de la conductivité hydraulique à saturation (Ksat) des différents essais. Le résultat des essais d'infiltration et d'analyse du sol est consigné dans le tableau ci-après :

Tableau 3 : Type de sol en surface

Essai n°	Ksat (mm/h)	ΘWp %	Θfc %	% sable	% argile	% limon	Type de sol
E1	2,33627	22,8	33,0	59	36	5	Argilo-Sableux
E2	3,30618	22,5	35,0	41	36	23	Argilo-Limoneux
E3	4,49107	20,9	33,2	44	33	23	Argilo-Limoneux
E4	3,70503	21,9	34,6	40	35	25	Argilo-Limoneux
E5	2,81411	23,1	35,3	42	37	21	Argilo-Limoneux
E6	3,95376	21,9	35	37	35	28	Argilo-Limoneux
E7	4,51795	21,3	34,8	35	34	31	Argilo-Limoneux
E8	2,29651	23,7	35,5	45	38	17	Argilo-Limoneux
E9	3,02777	22,6	34,5	45	36	19	Argilo-Sableux

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

E10	2,74468	22,2	32,3	60	35	5	Argilo-Sableux
E11	3,55637	22,0	34,3	43	35	22	Argilo-Limoneux
E12	2,80056	23,1	35,3	42	37	21	Argilo-Limoneux
E13	3,16479	22,5	34,7	43	36	21	Argilo-Limoneux
E14	1,83127	23,8	34,8	53	38	9	Argilo-Sableux
E15	4,17436	21,8	35,4	33	35	32	Argilo-Limoneux
E16	2,37001	24,1	36,6	39	39	22	Argilo-Limoneux
E17	2,03820	24,2	36,1	44	39	17	Argilo-Limoneux
E18	1,98830	23,8	34,9	51	38	11	Argilo-Sableux
E19	3,76399	22,4	35,9	33	36	31	Argilo-Limoneux
E20	4,36202	21,8	35,8	30	35	35	Argilo-Limoneux
E21	3,86842	22,4	36,1	31	36	33	Argilo-Limoneux
E22	2,18853	24,2	36,4	41	39	20	Argilo-Limoneux
E23	1,3544	28,7	41,3	26	48	26	Argileux
E24	1,32269	27,3	39,7	33	45	22	Argileux
E25	1,33572	26,8	39,2	35	44	21	Argileux
E26	1,67183	25,2	37,4	40	41	19	Argileux
E27	3,12112	22,5	34,7	43	36	21	Argilo-Limoneux
E28	1,03579	27,8	40,1	34	46	20	Argileux
E29	2,03117	24,2	36,2	43	39	18	Argilo-Limoneux
E30	1,80996	25,7	38,3	35	42	23	Argileux
E31	2,38448	24,1	36,7	38	39	23	Argilo-Limoneux
E32	4,1625	21,8	35,6	32	35	33	Argilo-Limoneux
E33	3,21348	22,5	35,0	41	36	23	Argilo-Limoneux
E34	3,69326	23,8	38,2	21	39	40	Argilo-Limoneux
E35	4,87861	21,2	35,6	28	34	38	Argilo-Limoneux
E36	2,56945	22,3	32,0	63	35	2	Argilo-Sableux
E37	1,84852	24,3	35,8	47	39	14	Argilo-Sableux

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

E38	4,40318	21,8	35,9	29	35	36	Argilo-Limoneux
E39	5,36417	20,7	35,5	26	33	41	Argilo-Limoneux
E40	4,28501	22,3	36,8	25	36	39	Argilo-Limoneux
E41	4,41501	22,2	37,0	23	36	41	Argilo-Limoneux
E42	3,73479	23,3	36,7	24	38	38	Argilo-Limoneux
E43	2,14891	23,7	35,3	47	38	15	Argilo-Sableux
E44	3,74665	22,4	35,9	33	36	31	Argilo-Limoneux
E45	5,31772	20,7	35,5	26	33	41	Argilo-Limoneux
E46	1,65969	23,8	34,5	56	38	6	Argilo-Sableux

Ces différents résultats obtenus à partir des essais de double-anneaux nous permettent de dire que la conductivité hydraulique à saturation de notre site varie entre 1,04 et 5,36mm/h avec une moyenne de 3,06mm/h et un écart type de 1,14, et que le type de sol de notre zone d'étude est Sableux-Argileux- Limoneux, ce type de sols en surface est très apprécié par les cultivateurs. Pour Olivier (2019) la présence de sable les rend facile à travailler, celle de limon montre qu'elle est riche et fertile. L'agile attribue à ce type de sol les minéraux nécessaires aux plantes. Les données brutes de mesures et les courbes d'ajustement sont détaillées respectivement en ANNEXE VII et en ANNEXE VIII.

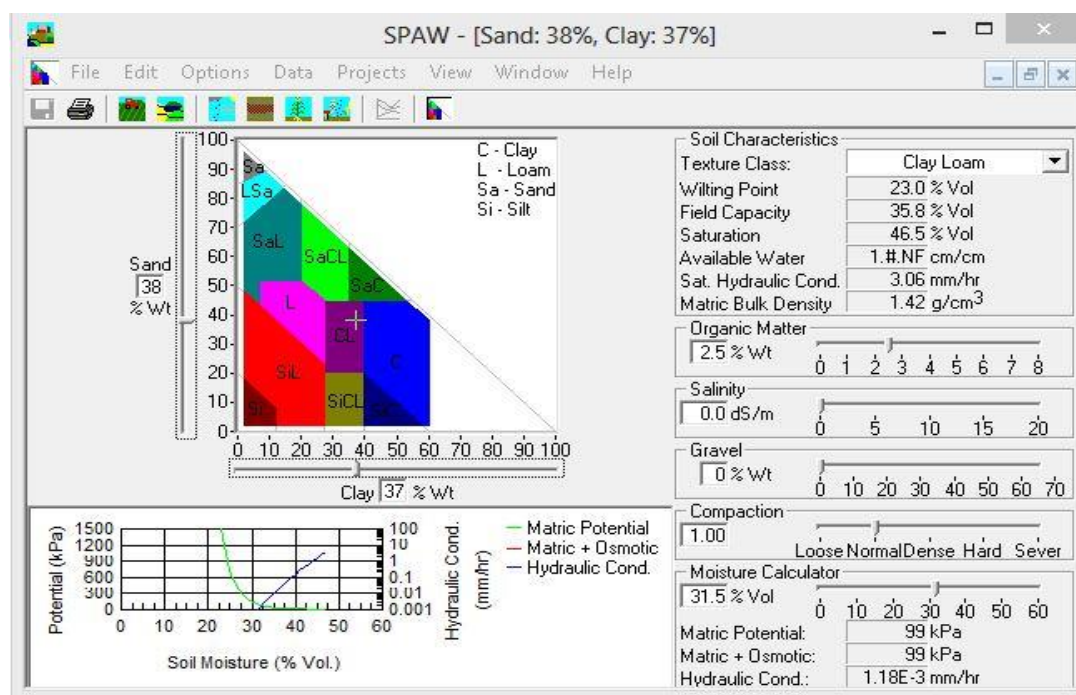


Figure 4 : Type de sol en surface

❖ Etudes topographiques

Les études topographiques ont porté sur des levés d'état des lieux sur un polygone. Ces levés ont été réalisés dans le respect des lois des limites prévues et en liaison avec la superficie attendue dans les termes de référence en raison de 80 ha. Les données ont été reportées sur le plan de masse avec une échelle de 1/2000 où les courbes de niveau se situent entre 252,51m et 248,99m tout au long du périmètre aménagé. Les terres disponibles dans les limites indiquées couvrent une superficie d'environ 72,6 ha sur une superficie brute de 97,6 ha.

❖ Etudes pédologiques et types de cultures adaptées

Les résultats des études pédologiques ont révélé une certaine hétérogénéité des sites étudiés, se caractérisant par une variété des matériaux due au caractère de l'alluvionnement. Il en ressort que ces sols appartiennent à quatre (4) groupes, qui sont : les sols hydromorphes peu humifères à gley, les sols peu évolués d'apport alluvial, les sols bruns sub-arides et les sols minéraux bruts, suivant la Classification française CPCS 1967. Les résultats de l'évaluation des aptitudes de ces sols sont donnés dans un tableau récapitulatif ci-dessous :

Tableau 4 : Résumé de l'évaluation des aptitudes culturales des sols du périmètre

PIV	Superficie								
	Totale étudiée	Riz de contre-saison		Riz d'hivernage		Cultures maraichères		Plantation forestière	
	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Bourem Foghas	97,6	28,2	29	72,6	75	44,4	46	25,0	26

Source : Rapport pédologique de Bourem Foghas

Les caractéristiques chimiques et de fertilité naturelle peuvent être résumées comme suit :

- La capacité d'échange cationique est assez faible (autour de 3.5 méq/100 g de sol) ;
Le complexe absorbant est saturé à 50 % et bien équilibré ; il est à dominance de Ca et a un rapport Ca/Mg supérieur à 2 ;
- La fertilité naturelle est faible, le taux d'azote est très bas (< de 20 kg N/ha/50 cm/an), le niveau de P2O5 assimilable est faible (15-30 kg P2O5/ha) et la réserve en K échangeable est à peine supérieure au seuil critique de 0.2 méq/100 g de sol ; la teneur en potassium échangeable se situe autour de 300 kg K en moyenne, avec des variations de 200 à 500 kg de K/ha ;

- Le pH est faiblement acide, et sa valeur est de 4.7 à 7 en profondeur
- Les teneurs en matière organique sont très faibles variant de 0.5 % en surface à 0.17 % en profondeur.
- La vitesse d'infiltration se situe à 2,6 cm/h, donc on peut dire que ces sols seront considérés comme des sols moyennement aptes à l'irrigation à raison de la combinaison de la texture et de la profondeur des sols

VI.2 Choix et caractéristiques des cultures

❖ Justification du choix des cultures

Le choix des cultures se fait en fonction de plusieurs paramètres à savoir :

- ✓ Selon l'étude pédologique de la zone, les sols rencontrés sur le site sont les sols à texture limono-argileuse devenant argileuse en dessous (M/2A) ; les sols à texture sableuse devenant argileuse en dessous (S/2A) ; sols à texture limono-argileuse devenant sableuse à 50cm en dessous (S/M/A) ; Sols à texture limono-argileuse devenant sableuse à 20 cm en dessous (S/M/2A) ; et les sols à texture sableuse (S).
- ✓ Selon les aptitudes des sols, la principale spéculation est le riz en saison pluvieuse et quelques fois le sorgho et le maïs. En ce qui concerne les cultures maraîchères, la tomate et l'oignon sont les plus cultivés en contre saison.
- ✓ Selon les conditions climatiques de la région, les spéculations doivent être adaptées au climat de la région à savoir le climat sahélien de type désertique. Faisant face à tout un village caractérisé par une diversité de besoin de spéculation, plusieurs cultures sont choisies. En culture de contre saison la tomate, le concombre, la laitue et aussi l'oignon sont proposés.

❖ Période de mise en culture

Nous avons ressorti dans le tableau ci-dessous les périodes de mise en culture des différentes spéculations retenues par campagne.

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Tableau 5 : Calendrier cultural

Calendrier cultural												
Période		Saison pluviale						Contre saison				
Culture	Activités	Juillet	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Janv.	Fév.	Mars	Avril	
Tomates ou oignons	Semis-pépinière											
	Repiquage											
	Culture											
	Récolte											
Laitue	Semis											
	Culture											
	Récolte											
Concombre	Semis											
	Culture											
	Récolte											
Riz	Semis											
	Culture											
	Récolte											

❖ Caractéristique des cultures

Les données des caractéristiques des cultures choisies sont issues de l'étude sur les référentiels technico économiques : « diffusion des technologies d'irrigation et de production (DTIP) et le programme compétitivité et diversification agricole (PCDA) » mais aussi des fiches techniques de chaque culture.

✓ La tomate

La culture de la tomate donne de meilleurs résultats en saison fraîche et sèche (décembre à février). Il existe des variétés qui peuvent produire pendant l'hivernage, mais avec des rendements plus faibles. La tomate préfère des sols pas trop lourds, profonds et meubles, riches en éléments nutritifs et en matières organiques. Pour repiquer 1ha, il faut 300g de semences. Pour la fertilisation à l'hectare, il faut 400kg de NPK, 200kg d'urée. Il faut une dose de 4 litres de lambda super dans la lutte contre les prédateurs (Procéder au traitement dès l'apparition des premiers signes d'attaques d'insectes, répéter l'opération toutes les deux semaines). La récolte se fait quand la couleur des fruits commence à virer, orange- rouge pour la vente ou consommation directe et rouge vif pour la transformation. Le rendement est de 30 000 à 40 000 Kg soit 30 à 40 tonnes par hectare (t/ha).

✓ L'oignon

Les Oignons sont cultivés dans les zones de l'office avec un rendement de l'ordre de 22 tonnes par hectare (22 t/ha) suivant des itinéraires de production traditionnelles avec une forte main

d'œuvre. La situation améliorée de la culture de l'oignon permet d'augmenter les rendements de 22 000 à 30 000 Kg soit 22 à 30 tonnes par hectare (t/ha), de baisser le coût de production du kg. Le repiquage est de l'ordre de 2kg de semence à l'hectare. La lutte contre les insectes ravageurs se fait avec le lambda super dosé à 2,5 litres (2,5l/ha) pour le traitement d'un hectare. Il faut 400kg de NPK et 100kg d'urée dans la fertilisation d'un hectare.

✓ La laitue

La variété de laitue choisie pour ce projet est la laitue batavia car cette variété est très tolérante à la nécrose marginale (due à la chaleur) et avec des pommes volumineuses. Les laitues se contentent de sols ayant un pH de 6 à 8, et apprécient la présence de matière organique. Les sols structurés, profonds et avec une bonne capacité de rétention d'eau sont idéals. La fertilisation est à adapter en fonction de l'amendement de fond. Si vous ne disposez pas de compost il est nécessaire d'utiliser un engrais complet pour combler les besoins en phosphore de la culture, pouvant aller jusqu'à 300Kg de NPK et 150Kg d'urée à l'hectare (source ferti-run 2008 – CIRAD) ; et 150Kg de fumier bien décomposé. Les ravageurs susceptibles d'attaquer les laitues sont assez peu nombreux, mais les dégâts causés par certains d'entre eux peuvent être préjudiciables dans des situations limitées ou ponctuelles. Les doses d'application sont de l'ordre de 0,8 à 1 litre par hectare (l/ha) de super lambda, avec un rendement de 15 à 40 tonnes à l'hectare (t/ha).

✓ Le concombre

Le concombre est une plante herbacée qui peut être grimpante ou rampante, selon le tuteurage que vous faites ou pas. Il faut 400g de semences pour cultiver un hectare. La fertilisation à l'hectare se fait avec 300kg de NPK et 100kg d'urée ; et le traitement des contre les insectes se fait avec du lambda super à la dose de 1L/ha pour trois traitements durant le développement de la culture. Le rendement est de l'ordre de 30 à 40 tonnes par hectare (t/ha).

✓ Le riz

L'étude socio-économique révèle que les exploitants à l'unanimité sont pour la culture du riz pluvial. Ainsi, le riz pluvial Paddy sera la qualité du riz prévu pour la campagne humide.

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Tableau 6 : Caractéristiques des cultures maraichères

Cultures		Initiale	Développement	Mi- saison	Arrière-saison	Durée (jrs)
Tomate	Durée (jrs)	30	40	40	25	135
	Kc	0,45	0,75	1,15	0,80	
Oignon	Durée (jrs)	25	35	40	20	120
	Kc	0,50	0,75	1,05	0,85	
Laitue	Durée (jrs)	35	50	45	10	140
	Kc	0,45	0,60	1,00	0,90	
Concombre	Durée (jrs)	25	35	50	20	130
	Kc	0,45	0,70	0,90	0,75	

Source : (Brouwer C. et Heidbloem M. FAO 1986)

Tableau 7 : Caractéristiques de la culture du riz

Cultures		Pépinière	Initiale	Croissance	Mi- saison	Arrière-saison	Durée (jrs)
Riz	Durée (jrs)	30	20	30	40	30	150
	Kc	1,2	1,05	1,1	1,2	1,05	

Source : (Brouwer C. et Heidbloem M. FAO 1986)

Tableau 8 : Profondeurs d'enracinements des cultures

Cultures	Zr(m)
Tomate	0,7
Oignon	0,5
Laitue	0,5
Concombre	0,7
Riz	0,6

Source : Depeweg, 1998

En saison pluvieuse, il existe exclusivement la pratique du riz pluvial. En effet, l'aménagement tiendra compte de la riziculture pluviale sur le périmètre en campagne humide.

❖ **Besoins en eau des cultures**

Après estimation des besoins totaux en eau, il en ressort que le mois le plus contraignant est le mois d'Avril, les détails de calcul des besoins en eau des cultures sont présentés dans des tableaux en ANNEXE III, les principales équations utilisées sont : (1), (2),

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

(3), (4), et (6). Par contre le récapitulatif de ces besoins est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9 : Besoins en eau des cultures

Paramètres	Cultures maraîchères				Riz	Maximum
	Tomate	Oignon	Laitue	Concombre		
Besoins nets de point mensuel (mm)	334,94	321,44	325,14	276,14	313,04	334,94

Nous retenons de ce tableau que la tomate est la plante la plus contraignante, donc sa valeur maximale mensuelle sera retenue pour évaluer les besoins et pour le dimensionnement des équipements du système d'irrigation.

Ainsi, les besoins en eau pour la campagne sèche à savoir ceux des cultures maraîchères sont estimés **4 784,87m3/ha** pour le mois de pointe (Avril).

Avec une ressource en eau comme le fleuve Niger qui a un volume de 6 milliards de m3 à Bourem.

VI.3 Conception de l'aménagement

❖ Choix du système d'irrigation

L'emplacement du bassin de stockage au point le plus haut du village donnera une certaine pression dans les conduites d'irrigation. Ainsi, toute sorte d'irrigation sous pression à savoir le goutte à goutte, l'aspersion ou le semi-californien peuvent être appliqués au site. A l'unanimité, tout le village est d'accord sur la culture exclusive du riz pluvial en saison hivernale. De ce fait, le goutte à goutte ne serait pas adapté car pour éviter le colmatage des goutteurs, ce système d'irrigation nécessiterait le déplacement des matériels à chaque campagne humide, donc il y aura risque de détérioration du matériel et de dépenses supplémentaires. L'irrégularité des pluies souvent notée en saison hivernale, oblige souvent les irrigants d'utiliser le système d'irrigation pour apporter de l'eau aux cultures. Le tableau ci-dessous montre la nécessité qu'il faut souvent irriguer en saison hivernale.

Tableau 10 : Déficit hydrique du riz saison pluviale

Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Kc	1,20	1,07	1,13	1,20	1,05
ET0 (mm/j)	9,17	7,44	7,66	8,19	7,52
ETM (mm/j)	165,06	238,82	259,67	294,84	236,88
P (mm/j)	3,78	2,31	0,93	0,13	0,00
Pe (mm/j)	3,02	1,85	0,75	0,10	0,00
BN (mm/j)	-34,36	-47,40	-13,74	6,79	7,90

En se référant au tableau, le riz a effectivement besoin d'être irrigué à certaines périodes (Octobre et Novembre).

Ainsi le type d'irrigation capable d'assurer une campagne humide en riziculture et une campagne sèche en maraîchage est le semi-californien ou le gravitaire. Nous portons notre choix sur le californien car il permet de négliger les pertes par évaporation et par infiltration lors du transport de l'eau dans les conduites. Le système donne l'avantage d'être fixe, ce qui supprime une grande partie de travaux d'entretien. L'installation étant enterrée, elle ne crée aucune gêne pour les travaux agricoles. Le système est simple de montage, d'utilisation et d'entretien.

❖ **Plan parcellaire**

Le plan parcellaire doit être capable de satisfaire le maximum de ceux qui désirent exploiter. Le système semi-californien donne l'avantage d'être fixe, ce qui supprime une grande partie de travaux d'entretien. Comme nous disposons de 70ha irrigable divisé en deux blocs, un bloc de 40ha et l'autre de 30ha. De ce fait, la première partie est subdivisée en **80** parcelles de **0,50ha** espacées de **1m** et les blocs de parcelles sont distants d'au moins **30m**. La seconde partie est divisée en **60** parcelles de **0,50ha** espacées aussi de **1m** et les blocs d'au moins **30m**. Le tableau des surfaces parcellaires est en **ANNEXE III** et le plan parcellaire en pièces dessinées.

❖ **Plan d'aménagement du système d'irrigation**

Dans ce système d'irrigation, le transport de l'eau se fait sous pression depuis le bassin de stockage jusqu'au périmètre par une conduite d'amenée. A partir du périmètre, l'eau est envoyée dans les prises parcellaires par la conduite principale. Les prises de répartition sont connectées entre elles par un réseau de tuyaux en PVC enterrés et l'eau parvient aux parcelles de façon gravitaire d'un point à un autre suivant le principe des vases communicants.

Le réseau se compose essentiellement :

- ✓ D'un fleuve qui fournit l'eau ;
- ✓ D'un bassin de stockage pour mettre l'eau d'irrigation en charge ;
- ✓ Les conduites de distribution : une conduite d'amenée qui achemine l'eau du réservoir au périmètre et d'une conduite principale qui permettent la distribution de l'eau dans les prises parcellaires ;
- ✓ Les prises d'eau : ce sont des ouvrages qui délivrent l'eau d'irrigation à la parcelle. Ces prises ont les tuyaux d'arrivée d'eau sortant du sol à la verticale. Ces prises jouent le rôle des vannes, fixées et vissées à l'extrémité haute de la rehausse. Elles permettent de freiner le jet d'eau à la sortie de la rehausse par un bouchon placé sur l'orifice du tuyau.

❖ **Plan de drainage**

Un système de drainage est prévu pour un meilleur assainissement du périmètre en vue d'améliorer sa durabilité. Des colatures de ceinture qui entourent tout le périmètre pour le protéger des eaux sauvages provenant d'autres bassins sont prévus. Des drains internes et une digue de protection sont aussi dimensionnés pour protéger les parcelles des excès d'eau de pluies. Sept (7) drains internes, une colature de ceinture et deux (2) collecteurs pour tout le site sont alors prévus pour un meilleur assainissement du périmètre.

VI.4 Dimensionnement préliminaire

VI.4.1 Paramètres d'irrigation

Nous avons respectivement utilisés les équations (8) ; (7) ; (5) ; (9) ; (10) ; (11) ; (12) et (13) pour déterminer la valeur des différentes paramètres consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 : Les paramètres d'irrigation

Désignation	Symbole	Valeurs	Unités
Coefficient de saturation	ksat	3,06	mm/h
Réserve utile	RU	128	mm/m
Réserve facilement utilisable	RFU	59,73	mm
Besoin maximal de pointe	BMP	11,16	mm/j
Tours d'eau	T	6	jours
Dose réelle	Dr	57,94	mm
Dose brute	Db	82,77	mm
Débit d'équipement	qe	3,38	l/s/ha

VI.4.2 Organisation de la distribution

❖ **La main d'eau**

Au niveau des réseaux en californien elle est réduite en raison d'une part de la taille des périmètres et d'autres des diamètres des canalisations. Ainsi, une main d'eau de **30l/s** est

retenue pour l'irrigation.

❖ La durée de l'irrigation

La durée généralement admise pour un système gravitaire ou semi-californien est de 8 à 12 heures par jour d'après le manuel du semi-californien (Ministère de l'agriculture, 2013). Ainsi, la durée d'irrigation sera prise égale à 10 heures par jour.

VI.5 Dimensionnement du système d'irrigation

Pour un dimensionnement efficient, les paramètres de la tomate sont à utiliser puisqu'elle se révèle être la culture la plus contraignante de la campagne.

VI.5.1 Dimensionnement des conduites

❖ Dimensionnement des conduites

Les principales équations utilisées pour le dimensionnement des conduites sont : (14), (15), (16), (17), (18), (19), (20) et (21) ; ainsi le périmètre aménagé est composé d'un réseau d'irrigation dans lequel on a une conduite de refoulement de diamètre nominale **250mm**, deux (2) conduites primaires de diamètres nominaux **250mm** long respectivement de **1400.20m** et **528.95m** ; Sept (7) conduites secondaires de diamètres nominaux de **225 mm**, tous en PVC.

La vitesse d'écoulement moyenne dans les conduites est de **0,68 à 1m/s**. Les détails sont consignés dans les tableaux dimensionnement des conduites en **ANNEXE IV**.

Les tranchées de pose sont dimensionnées en fonction du diamètre des conduites.

Ainsi, en fonction du DN choisi à partir du dimensionnement et des formules :

Profondeur de pose : $h_{min} \geq 0,50m + Dex (m)$

Largeur de pose : $l_{min} \geq 0,4 + Dex (m)$

Les différentes dimensions des tranchées sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12 : Dimensions des tranchées de pose des conduites

Dext(m)	H(m)	L(m)
0,225	0,7	0,6
0,250	0,8	0,7

Ainsi, les tranchées de pose et les profils en long des conduites sont consignés en ANNEXE V.

❖ Dimensionnement des conduites secondaires

Le débit véhiculé par les conduites secondaires est identique. La répartition ainsi que les diamètres obtenus après dimensionnement tenant compte de ces valeurs de débit sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13 : Caractéristiques des conduites

Conduites	Débit	Bassins Partiteurs (BP)/Conduites secondaires (CS)					Pression nom(bar)	type	
Conduite de refoulement	210l/s	Bassin de stockage (210l/s)	BP-A (120l/s)	CS-4 (30l/s)			6	PVC	
				BP-B (90l/s)	BP-C (60l/s)	CS-3 (30l/s)		6	PVC
						CS-2 (30l/s)	6	PVC	
							CS-1 (30l/s)	6	PVC
						CS-1 (30l/s)		6	PVC
					BP-D (90l/s)		CS-7 (30l/s)		
			BP-E (60l/s)	CS-6 (30l/s)		6	PVC		
				CS-5 (30l/s)		6	PVC		

VI.5.2 Dimensionnement des prises parcellaires

Chaque parcelle est équipée d'une prise d'irrigation (prise parcellaire). La prise parcellaire est un ouvrage qui permet la dissipation de l'énergie cinétique à la sortie, l'orientation de l'écoulement vers les parcelles. Les sorties sont munies de fermeture et la manœuvre est manuelle. Les prises considérées dans le présent seront munies de vannes qui permettront d'écouler la main d'eau. Ces ouvrages sont coulés en béton ordinaire dont leur rôle est d'orienter les écoulements vers le canal arroseur. Ils n'ont pas des dimensions spécifiques mais les détails constructifs se trouvent en **pièces dessinées**.

VI.5.3 Dimensionnement du bassin partiteur

❖ Fonctionnement

Selon le manuel du semi-californien (Ministère de l'agriculture, 2013), les bassins partiteurs sont des ouvrages de répartitions des débits et de mise en charge. Le principe de fonctionnement des bassins partiteurs repose sur le rôle conjugué des quatre éléments : le bac de réception (bac d'arrivé), le seuil, le flasque et le bac de départ.

- ✓ Un bac d'arrivé qui amortit l'énergie cinétique en ralentissant la vitesse d'écoulement. Cet amortissement est possible grâce à la forme du bac présentant une longueur (L), une largeur (l) et une profondeur (p) suffisantes permettent d'amortir les agitations de l'eau à la sortie de la conduite. Il permet ainsi d'avoir un régime fluvial jusqu'à l'entame du déversoir ;
- ✓ Un déversoir, d'une profondeur à l'intérieur du bassin, a pour rôle de provoquer le passage de l'écoulement d'un régime fluvial à l'amont dans le bac de réception à un régime torrentiel à l'aval. Il participe à la diminution de l'énergie de l'eau d'arrivée ;
- ✓ Un seuil du partiteur est destiné à provoquer à son aval le régime torrentiel ;
- ✓ Un flasque ou muret permet de repartir le débit en différentes proportions ;
- ✓ Des bacs de départ installés à l'aval de chaque déversoir servent à remettre en charge l'écoulement transité.

❖ Dimensionnement et caractéristiques du bassin partiteur

Pour dimensionner les bassins partiteurs, les principales équations utilisées sont : (22), (23), (24), (25), (26), (27), (28), (29), (30), et (31). Ce dimensionnement nous a permis d'obtenir les caractéristiques des bassins partiteurs consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 14 : Dimensions des bassins partiteurs et côte de calage

Désignation		Symbole	Valeur	Unités
	Diamètre entrant	De	0,250	
	Diamètre sortant	Ds	0,225	
	Hauteur de seuil	Z	0,48	
	Hauteur du bassin	H	0,84	

**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Bassin A	Longueur déversante	Ld	0,87	m
	Côte TN	CTN	252	
	Côte radier	Cr	253,93	
	Longueur bassin	Lb	0,75	
	Largeur bassin	lb	0,62	
	Longueur ouvrage	Lo	2,32	
	Largeur ouvrage	lo	1,64	
Bassin B	Diamètre entrant	De	0,250	m
	Diamètre sortant	Ds	0,225	
	Hauteur de seuil	Z	0,48	
	Hauteur du bassin	H	0,84	
	Longueur déversante	Ld	0,58	
	Côte TN	CTN	251,40	
	Côte radier	Cr	253,92	
	Longueur bassin	Lb	0,75	
	Largeur bassin	lb	0,62	
	Longueur ouvrage	Lo	2,32	
	Largeur ouvrage	lo	1,64	
	Diamètre entrant	De	0,250	
	Diamètre sortant	Ds	0,225	
	Hauteur de seuil	Z	0,48	
	Hauteur du bassin	H	0,83	

**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Bassin C	Longueur déversante	Ld	0,29	m
	Côte TN	CTN	251,39	
	Côte radier	Cr	253,91	
	Longueur bassin	Lb	0,75	
	Largeur bassin	lb	0,62	
	Longueur ouvrage	Lo	2,32	
	Largeur ouvrage	lo	1,64	
Bassin D	Diamètre entrant	De	0,250	m
	Diamètre sortant	Ds	0,225	
	Hauteur de seuil	Z	0,48	
	Hauteur du bassin	H	0,84	
	Longueur déversante	Ld	0,58	
	Côte TN	CTN	251,47	
	Côte radier	Cr	253,64	
	Longueur bassin	Lb	0,75	
	Largeur bassin	lb	0,62	
	Longueur ouvrage	Lo	2,32	
	Largeur ouvrage	lo	1,64	
	Diamètre entrant	De	0,250	
	Diamètre sortant	Ds	0,225	
	Hauteur de seuil	Z	0,48	
	Hauteur du bassin	H	0,84	

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Bassin E	Longueur déversante	Ld	0,29	m
	Côte TN	CTN	251,47	
	Côte radier	Cr	253,64	
	Longueur bassin	Lb	0,75	
	Largeur bassin	lb	0,62	
	Longueur ouvrage	Lo	2,32	
	Largeur ouvrage	lo	1,64	
Bassin principale	Diamètre entrant	De	0,250	m
	Diamètre sortant	Ds	0,225	
	Hauteur de seuil	Z	0,48	
	Hauteur du bassin	H	0,84	
	Longueur déversante	Ld	0,29	
	Côte TN	CTN	251,44	
	Côte radier	Cr	254,21	
	Longueur bassin	Lb	0,75	
	Largeur bassin	lb	0,62	
	Longueur ouvrage	Lo	2,32	
	Largeur ouvrage	lo	1,64	

❖ **Les ouvrages de vidange**

D'après le manuel du semi-californien (Ministère de l'agriculture, 2013) ; à la fin des conduites secondaires, il est prévu des ouvrages permettant le vidange et l'évacuation des dépôts solides (boues) dans les conduites. Ils sont implantés juste à l'aval de la dernière prise parcelle et doté d'un bouchon de fermeture. Ces ouvrages seront construits en parpaings pleins et se trouve à environ **1,30m** en dessous du terrain naturel. Ils sont installés dans un regard pour y accéder en cas de besoin et dans les opérations courantes d'entretien.

VI.5.4 Dimensions de la station de pompage

Après dimensionnement en utilisant les équations (32), (33), (34), (35), (36), (37) et (38), nous avons choisi trois pompes de surface de type HATZ AP4-R240 pour notre système dont l'une est une pompe de secours en cas de panne. Le choix de la pompe tient compte du débit souhaité, de la puissance et la hauteur manométrique totale qui est fonction de la hauteur géométrique et des pertes de charge. Les caractéristiques de dimensionnement de la pompe sont résumées dans le tableau ci-dessous, les détails sont présentés en ANNEXE VI.

Tableau 15 : Caractéristiques de dimensionnement de la pompe

Débit en tête du bassin (l/s)	HMT calculée (m)	Puissance calculée (KW)	HMT retenue (m)	Puissance retenue (KW)	Choix de la pompe
210	11,33	33,35	12	35	HATZ AP4-R240

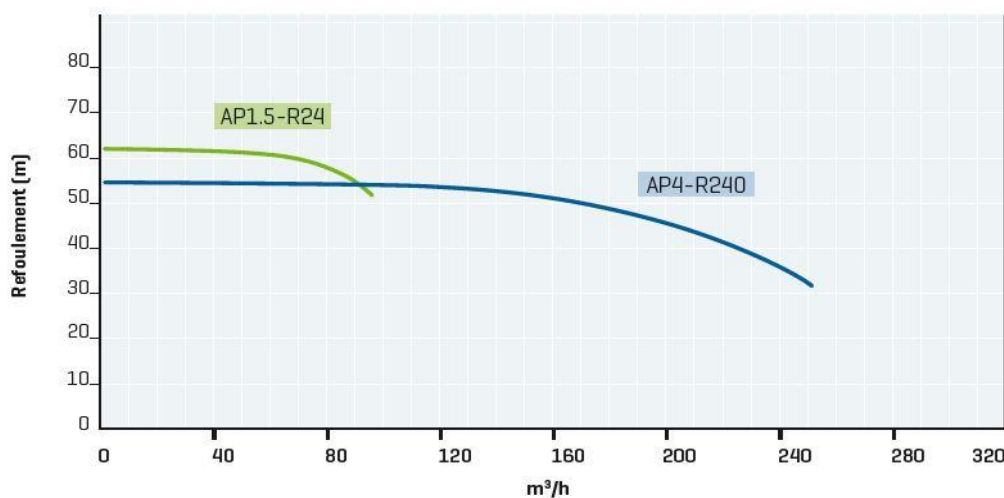


Figure 5: Courbe caractéristique de la pompe

VI.6 Opération avant la mise en exploitation du périmètre

Avant la mise en exploitation du site aménagé, les opérations suivantes sont nécessaires voir même indispensable :

❖ Le dispositif de balisage des axes des conduites

Dans le but de limiter les risques de dégradations lors des opérations culturales et de faciliter le repérage pour les éventuels travaux d'entretien et de réparation, il est prévu

un balisage des axes des conduites enterrées par des buttes. Ces buttes seront constituées par des bourrelets de terre provenant des déblais des tranchées pour conduites.

✓ **Le planage**

Il consiste en un mouvement de terres de manière à permettre que les prises parcellaires dominent toute la superficie des parcelles à irriguer. Le mouvement des terres se fera des terres non dominées vers les terres basses. L'orientation des conduites sur le terrain, dans le sens de la pente, tiendra en compte de cette difficulté afin de minimiser au mieux ces mouvements de terre. Cependant, lorsque la couche végétale n'est pas épaisse et que l'on est amené à creuser plus, l'on prendra soin de décaper au préalable cette couche végétale et à la stocker pour la répandre sur les mêmes surfaces une fois les décaissements terminés afin de retrouver la structure initiale.

✓ **Le labour**

Avant la mise en exploitation, l'on procédera à un labour croisé qui consiste, à l'aide d'un tracteur muni de socle et de disques pulvérisateurs, à éclater le sol en profondeur et à pulvériser les mottes de terres sur toute la superficie exploitable du périmètre.

✓ **Le parcellement du périmètre**

Le plan parcellaire adopté se base sur une superficie moyenne de 0,50 ha par parcelle. Cette superficie unitaire a été adoptée en vue de permettre le tracé et le dimensionnement du réseau d'irrigation. Pour la mise en exploitation, ces parcelles pourront être subdivisées en fonction du nombre d'exploitants.

✓ **Entretien de l'aménagement et Gestion du périmètre**

D'une manière générale, les opérations d'entretiens du réseau semi californien sont les opérations courantes, permettant le maintien des différentes composantes en bon état.

✓ **Entretien de la motopompe**

Il se fait suivant les prescriptions et les recommandations du constructeur. Cependant la motopompe nécessite un entretien courant et périodique pour la maintenir en bon état le fonctionnement notamment le changement des filtres et les vidanges régulières.

D'autres opérations simples doivent aussi être suivies. Il s'agit en particulier du maintien de la pompe en position horizontale, stable et sans vibrations. Ceci surtout pour les pompes installées sur les cours d'eaux qui connaissent des déplacements pour suivre le niveau d'eau dans le cours d'eau.

✓ **Entretien du bassin partiteur**

Les bassins doivent être nettoyés régulièrement surtout avant chaque reprise de l'irrigation pour éviter que les déchets solides s'y entassent. On doit faire des réparations systématiques s'il y'a des apparitions de fissures sur les bassins partiteurs pour éviter le développement des fuites d'eau qui peuvent entrainer à leur tour la rupture de l'ouvrage.

✓ **Entretien des conduites**

Les conduites de distribution doivent être vidangées en fin de chaque campagne pour les débarrasser des dépôts solides, car les matières solides en suspension déposées dans les bacs pourraient transiter dans les conduites en fonction des obstacles et des valeurs de vitesses faibles dans ces conduites. Malgré que les conduites sont enterrées à environs 1 m de profondeur, l'érosion peut les dénuder, donc il faudra passer en revue le réseau pour remettre en état les remblais.

✓ **Entretien de la prise**

L'exposition régulière au soleil auxquelles sont soumises les parties externes en PVC des prises entraîne leur dégradation et réduit leur durée de vie. Il est donc recommandé de faire passer une couche de peinture de couleur blanche et surtout en saison sèche pour pouvoir réduire l'effet du soleil sur ces parties de la prise. Il faut aussi lubrifier les filetages des vannes en vue d'éviter leur corrosion.

✓ **Entretien des ouvrages**

Les curages, les traitements de fissures et les désherbages réguliers des alentours doivent se faire aux temps convenus.

✓ **Entretien d'urgence**

C'est un entretien qui survient à la suite d'un dommage inattendu et nécessitant une intervention rapide pour assurer la fonctionnalité de l'infrastructure (réseau d'alimentation ou de drainage, réseau de pistes). De façon générale, l'entretien d'urgence doit être assuré par un service spécialisé d'entretien qui sera contacté par les exploitants du périmètre.

VI.7 Gestion

Pour une bonne gestion de l'aménagement, il faudra que le tour d'eau et le calendrier d'irrigation prévus à la conception soient respectés scrupuleusement par les exploitants du périmètre. Il y va de même pour la motopompe qui doit être mise à la disposition d'un nombre

réduit d'exploitant formé des différents blocs pour veiller à la bonne marche de celle-ci et coordonner les activités du groupement dans le périmètre.

VI.8 Evaluation du cout de l'aménagement

Le coût total des travaux d'aménagement de notre périmètre irrigué s'élève à deux cent cinquante-cinq millions six cent soixante-six mille six cent vingt-sept francs CFA **(288 510 808) FCFA**, prix tout taxes comprises, soit trois millions cinq cent vingt un mille huit cinquante-quatre francs CFA **3 973 978 FCFA à l'hectare**. Le récapitulatif des différents montants est présenté dans le tableau à l'ANNEXE II.

VI.9 Etude de rentabilité économique et financière

VI.9.1 Evaluation des charges d'exploitation

❖ Estimation du coût de la consommation du carburant et d'entretien

La quantité du carburant nécessaire pour la mise en marche du groupe électrogène est déterminée sur la base du temps de fonctionnement de la pompe. La pompe a une capacité de 756 m³/h, et le temps de fonctionnement de nos pompes pour couvrir les besoins en eau de pointe sera de 3600 h/an. C'est le temps de fonctionnement annuel maximal de la pompe dont elle doit couvrir l'ensemble des besoins en eau. Cependant la consommation d'une pompe en gasoil est estimée à 0,35 L/h, soit 1260 litres pour le fonctionnement d'un an. Les frais annuels pour un coût unitaire de 650 FCFA/L s'élèvent à 819 000 FCFA, et le coût de l'huile correspondant à 20% du coût du gasoil ce qui fait 163 800 FCFA. Puisqu'il faudra entretenir les pompes pour assurer leur pérennité, nous avons prévu les frais induits par les charges d'entretien et les pièces de rechanges, leurs coûts seront évalués à 3% du coût d'achat de la motopompe soit :450 000 FCFA. Le cout total s'élève à **1 027 800 FCFA/an**.

❖ Estimation du coût de suivi et d'encadrement

Une bonne rentabilisation d'un périmètre dépendra de la qualité de sa gestion ; donc il faut former les exploitants du périmètre afin de leur permettre d'acquérir les compétences sur les techniques culturales modernes indispensables à une intensification agricole tout en assurant une gestion optimale du périmètre, et partant la pérennité des ouvrages. Il sera donc organisé des formations techniques par des spécialistes au préalable. Parmi ces spécialistes on aura :

- ✓ Un ingénieur présent à temps partiel durant la période de campagne (5 mois) ;

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

- ✓ Et deux techniciens pour une durée de trois ans.

Le coût de la formation est résumé dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Charges de suivi et formation

Rubrique	Coût unitaire	Quantité	Cout total (FCFA)
1 Ingénieur	900 000	5	4 500 000
2 Techniciens	300 000	36	10 800 000
Charges entretien	75 000	73	5 445 000
Formation	1 000 000	1	1 000 000
4 Motos	750 000	4	3 000 000
Total		24 745 000	

Nous prévoyons deux agents de sécurité pour assurer la sécurité du matériel. Les frais du gardiennage sont estimés à **30 000 FCFA/mois**. Pour la période des deux campagnes, le montant total revient à **360 000 FCFA/an** ;

❖ **Les besoins en matériel**

Vue la nécessité d'entretenir les cultures et les parcelles durant les campagnes agricoles, nous avons prévu des matériels complémentaires : les pulvérisateurs et un magasin. Les frais de mise à disposition de ces matériels sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 17 : Récapitulatif des besoins en matériels

Désignation	Quantité	Prix unitaire (Fcfa)	Prix total (Fcfa)	Durée de vie (ans)	Amortissement
Magasin	1	2 000 000	2 000 000	20	150 000
Pulvérisateur	5	500 000	2 500 000	3	500 000
TOTAL		4 500 000	-	650 000	

❖ **Le coût de la matière organique**

D'après les études pédologiques, les sols du périmètre sont peu riches en matière organique. Pour pallier à ce problème, des opérations d'amendement du sol devront être menées au niveau du périmètre pour rendre cette dernière apte à fournir un rendement

optimal et favoriser ainsi une intensification agricole conséquente. Les doses suivantes pour les besoins du sol en fumure organique recommandés par l'INERA :

- 30 t/ha de fumier bien décomposé pour la tomate ;
- 30 t/ha de fumier bien décomposé, combiné à 350 kg/ha de NPK pour l'oignon.
- 20 t/ha de fumier bien décomposé pour la laitue ;
- 15 t/ha de fumier bien décomposé pour le concombre ;
- 5 t/ha de fumier bien décomposé pour le riz ;

Le montant investi en matière organique s'élève par conséquent à **28 490 000 FCFA** en supposant que la tonne coûte 4000 F pour la fumure et 20 000 F pour le NPK. L'amortissement annuel quant à elle s'élève à **825 000 FCFA** pour un amendement en matière organique renouvelable tous les cinq ans.

En somme nous avons une charge d'exploitation de **60 597 800 FCFA**.

VI9.2 Recettes de la production

Les productions de chaque culture sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 18 : Recettes de la production

Spéculations	Production (t/ha)	Surface (ha)	Rendement total (t)
Oignon	30	14	420
Tomate	40	14	560
Laitue	20	14	280
Concombre	40	14	560
Riz contre saison	5	14	70
Total	135	70	1890

❖ Commercialisation :

- ✓ Le kilogramme d'oignon est vendu à 100 F CFA/Kg en période de récolte et à 300 F FCA/Kg période de pénurie. 30% de la production sera vendue immédiatement après récolte et 70% conservés pour être vendue en période hivernale qui est une période de

pénurie où la vente est plus intéressante., totalisant des revenus annuelles de **100 800 000 FCFA** ;

- ✓ Pour la tomate, elle est vendue fraîche à raison de 400 FCFA/Kg en période de manque et de 150 FCFA/Kg en période de récolte. La récolte de tomate se fait pratiquement en début saison de pluie donc 50% des récoltes seront vendues à la récolte et le reste des 50% en période de manque, totalisant un gain annuel de **154 000 000 F CFA** ;
- ✓ La laitue est vendue à 200 F CFA/kg. Avec cette vente, le projet peut ainsi espérer un profit annuel de **56 000 000 F CFA** ;
- ✓ En période de récolte, le concombre est vendu à 100 F CFA/kg et en période de manque à 200 F CFA/kg totalisant une revenue annuelle de **78 400 000 F CFA** ;
- ✓ Le riz en contre saison sera vendu en raison de 200 F CFA/Kg, cette vente nous permet de faire un gain annuel de **17 500 000 F CFA**.
- ✓ En saison hivernal, le riz pluvial sera cultivé sur tout le périmètre. A raison d'un prix de vente de 200 F CFA/kg, le riz rassemble à lui seul un intérêt annuel de **87 500 000 F CFA**.

L'exploitation du périmètre engendrera une revenue annuelle de **494 200 000 F CFA**.

Le compte d'exploitation prévisionnel annuel est estimé à **349 108 608 FCFA** soit (288 510 808 + 60 597 800).

❖ Le taux de rentabilité interne (TRI) et analyse de la durée retours sur investissement

Pour déterminer ce taux, nous avons utilisé principalement les équations (40) et (41) :

$$TRI = \frac{494\,200\,000 - 349\,108\,608}{\left(\frac{288\,510\,808}{5}\right)} * 100 = 251,45\% \approx 252\%$$

$$DRI = \frac{288\,510\,808}{145\,091\,392} = 1,98 \approx 2\text{ans}$$

L'aménagement peut être rentabilisé en **deux années**, ce qui est acceptable ; donc nous pouvons de ce fait, conclure que notre projet est rentable, cependant on ne peut atteindre ce résultat projeté que lorsque certaines dispositions tel que la maintenance régulière des ouvrages du périmètre, le suivi et l'encadrement des exploitants sont respecter.

VII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Au terme de notre étude, ce projet d'aménagement du périmètre de Bourem Foghas permettra de garantir une occupation permanente aux bénéficiaires tout en limitant l'exode des bras valides, la sécurité alimentaire et l'amélioration des conditions de vie des populations en milieu rural pour mieux avancer vers la voix de l'autosuffisance alimentaire et ainsi réduire la pauvreté, de contribuer à l'amélioration de leur situation alimentaire par la diversification et la sécurisation des productions. Pour cela il faudra avoir un plan de gestion d'une maîtrise partielle ou totale de la ressource en eau disponible. A cet effet, l'étude de l'aménagement de 80 ha par le système semi-californien consiste à faire ressortir d'abord un plan de l'aménagement composé d'un réseau d'irrigation, de circulation et d'un réseau de drainage conduisant au choix d'un bon système de dimensionnement et à la proposition d'un mode de gestion et d'exploitation du périmètre plus efficaces. Le périmètre est composé au total **70 prises** sont comptées sur une longueur totale de conduites de **4757,71ml** pour l'aménagement de **80ha**. Il faudrait au moins deux pompes de **756m³/h**. Notons que le coût d'aménagement du périmètre est de **3 973 978 FCFA** à l'hectare, pour les **80ha** nous obtenons un coût total de **288 510 808 F CFA** ; avec un taux de rentabilité de **252%** en **2 ans** de travail.

Les actions d'accompagnement comme des formations, organisations qui seront envisagées pour la mise en valeur permettront d'accroître l'intensité culturale (introduction de la double culture) afin de réduire les charges annuelles du périmètre et d'augmenter les revenus.

Dans le sens de la durabilité du projet, d'autres actions d'accompagnement doivent être envisagées en rapport avec les bénéficiaires notamment en matière de protection de l'environnement ; par exemple des actions de reboisement des zones inaptes (zones hautes) du périmètre.

Lors de l'exploitation du périmètre, nous souhaitons pour une bonne gestion du périmètre et éviter les conflits :

- ✓ Former les exploitants dans la gestion des périmètres à la maîtrise totale de l'eau (application du calendrier cultural, préparation de la pépinière, gestion de l'eau, entretien des équipements d'irrigation) ;
- ✓ Faciliter l'accès des exploitants aux crédits agricoles ;
- ✓ Créer les conditions pour mieux équiper les exploitants.

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

- ✓ De veiller à la mise en place d'organisations compétentes ;
- ✓ Un bon programme d'entretien pour la durabilité des installations ;
- ✓ Mettre en place des groupements de maraichers pour la défense des intérêts de ceux-ci ;

Après les installations, faire un diagnostic de fonctionnement du système d'irrigation pour des études futures ; nous proposons la réglementation du secteur par le ministère en charge de l'agriculture pour le contrôle de la gestion du périmètre, aussi, on pourrait proposer des panneaux solaires pour le pompage en période d'ensoleillement et économiser en termes d'énergie et de capital investi.

Enfin il est indispensable d'assurer l'encadrement des bénéficiaires depuis la phase des travaux d'aménagement et aussi pendant au moins les deux premières années d'exploitation pour garantir un transfert efficace et une maîtrise effective du périmètre par les futurs exploitants.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. H. KOSTIAKOV, 1960. « *Fondements de l'aménagement hydro agricole*, » Moscou : 6^{ème} Edition rurale élaborée et complétée, 624 pages
- [2] ASHRAF, 2010. « *Eléments d'hydrologie de surface. Ecole polytechnique de l'université de Nice, Sophia Antipolis. France.* »
- [3] AKPINFA, E. 2011. « *Fiche technique culture de la tomate.* » conseil-plantes-jardin
- [4] BANQUE MONDIALE. 2017, « *Mali présentation* »
- [5] BOUBE, B. 2014. « *Base d'irrigation, 2IE.* »
- [6] DEPEWEG H.W.Th., 1998. « *Field and drainage : Surface irrigation methods.* » UNESCO-IHE LN0213/98/1. Delft, Pays-Bas.
- [7] Dr. SOUMANO, LAMINE. 2015. « *Aménagement hydro Agricole.* »
- [8] FAO. 1986. « *Prévention of Post-Harvest Food losses : Training Manual. Rome : UNFAO.* »
- [9] FAO, D. D. « *Méthodes de manutention post récolte pour petits exploitants.* »
- [10] FAO, 1996. « *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage.* »
- [11] GEERT DIEMER ET ELLEIR Ch. W. VAN der LA AN. 1987. « *l'irrigation au sahel.* »
- [12] GI-CONSEILS, 2019. « *Rapport de l'étude Topographique.* », version finale
- [13] GI-CONSEILS, 2019. « *Rapport de l'étude géotechnique.* », version finale
- [14] GI-CONSEILS, 2019. « *Rapport de l'étude pédologique.* », version finale
- [15] INITIATIVE CONSEIL INTERNATIONAL, 2008. « *Note synthétique sur l'entretien des infrastructures hydrauliques de la petite irrigation.* »
- [16] J. M. EUNEL, G. LAUCOIN, 1980. « *Politiques d'aménagement hydro agricole, Paris: Agence de coopération culturelle et technique et le conseil international de la langue française* »
- [17] KEITA. A, (2009-2018). « *Irrigation par aspersion* », 2IE
- [18] KEITA. A, (2009-2011). « *Irrigation Gravitaire* », 2IE
- [19] KOISSI. K, 2012. « *Cours sur les ouvrages d'un réseau d'irrigation.* »

- [20] MINISTERE DE L'AGRICULTURE, 2013. « *Manuel du semi-californien.* »
- [21] M. OURAHOU, Mars 2003. « *Conception et dimensionnement des canaux d'irrigation.*»
- [22] NETO, 2007. « *Caractérisation socio-économique de la gestion de l'eau d'irrigation dans la Mitidja Ouest, (Algérie).* » Mémoire de DEA, ENSAM, Montpellier. 61p.
- [23] OUEDRAOGO, LALAÏCHA. 2017. « *Conception et dimensionnement d'un système d'irrigation de type semi-californien de 40ha* » à - PDF Téléchargement Gratuit.
- [24] OLIVIER. 2019. « *Déterminer la texture de son sol : argileux, sableux, limoneux* ». 2019.<https://www.promessedefleurs.com/conseil-plantes-jardin/ficheconseil/determiner-la-texture-de-son-sol-argileux-sableux-limoneux>.
- [25] PHOCAIDE, A. 2008. « *Les techniques d'irrigation sous pression.* »
- [26] P. LEMPERIERE, 1994. « *Irrigation Gravitaire_Lempière.* »
- [27] RIEUL. R, 1993. « *Les techniques modernes d'irrigation et les économies d'eau* ».
- [28] RECA, -Niger. 2019. « *Manuel technique /irrigant privé |Reca-Niger.* » 2019. https://reca-niger.org/spip.php_article231.

ANNEXES

ANNEXE I : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (NIE) ET SOCIAL	67
ANNEXE II : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DETAILLE	72
ANNEXE III : BESOINS EN EAU DES CULTURES ET SURFACES PARCELLAIRES	78
ANNEXE IV : TABLEAUX DE DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES ET CALAGE DES BASSINS PARTITEURS.....	88
ANNEXE V : PROFILS EN LONG DES CONDUITES.....	97
ANNEXE VI : TABLEAUX DES DIMENSIONS DE LA POMPE	101
ANNEXE VII : DONNEES RELATIVES AUX MESURES D'INFILTRATION.....	102
ANNEXE VIII : LES COURBES D'INFILTRATION DE MUTZ	132

ANNEXE I : NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL (NIE) ET SOCIAL

1. Objectifs de l'étude

Un aménagement agricole cherche à apporter une amélioration considérable aux conditions de vie de ses bénéficiaires. Cependant, une activité ne peut avoir que des impacts positifs les travaux d'aménagement ont aussi des effets négatifs qui affectent les conditions de vie de ses bénéficiaires. Alors, une étude d'impact environnemental s'impose pour analyser les différents risques et ainsi trouver des mesures d'atténuation. Les éléments du milieu récepteur d'impacts susceptibles d'être affectés par ce projet sont :

- ✓ Le milieu biophysique (air, eaux, bruit, déchets, faune, sols, et végétation etc...) ;
- ✓ Le milieu humain (commerce, emploi, économie, santé et sécurité etc...).

2. Analyses des impacts

Tableau 19 : Sources et milieux d'impacts

Phases	Sources d'impacts	Récepteurs d'impacts
Phase d'aménagement	Débroussaillage et dessouchage	Faune, sol (Ressources naturelles), emploi
	Nettoyage du site	Air, sol, faune, flore (ressources naturelles)
	Terrassement	Sol, faune (ressources naturelles)
	Main d'œuvre	Economie, mœurs, santé
Phase d'exploitation	Travaux d'entretien	Conditions de vie, emploi, faune, flore, sol,
	Mise en valeur	Climat, eau, économie, élevage, faune, flore, santé, sol,
	Présence des ouvrages	Eau, sédiments, sol
	Main d'œuvre	Economie, mœurs, santé

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Tableau 20 : Les impacts du périmètre irrigué sur les composantes du milieu

Phases	Impacts positifs	Impacts négatifs
Pendant les travaux	-Diminution du taux de chômage et de pauvreté ; -Création d'emploi ; -Développement de petit commerce local.	-Dégradation du sol ; -Destruction de la végétation ; -Pollution de l'air par la poussière ; -Pollution des sols et des eaux de surface par les huiles déversées ; -Perturbation de la faune et du réseau hydrologique ; -Risques d'accidents ; -Nuisances sonores dues aux engins ; -Perturbation de l'atmosphère.
Pendant l'exploitation	-Apport de sédiments ; -Apparition d'un microclimat ; -Accroissement des productions agricoles ; -Amélioration de la condition de vie ; -Développement des activités économiques ;	-Pollution de la nappe phréatique par l'infiltration des eaux de drainage -Pollution des eaux de surface et souterraines par les engrais et pesticides -Modification de la dynamique du sol -Disparition des espèces fauniques et de la flore ; -Pollution de l'air ; -Risques de conflits entre agriculteurs et éleveurs -Prolifération des vecteurs de maladies tels que le paludisme,

3. Mesures de gestions des impacts environnementaux

❖ Mesure de prévention :

Les mesures de prévention des impacts environnementaux doivent être prises en début d'exécution de l'aménagement du périmètre, en voici quelques-unes :

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

- ✓ La sensibilisation et la formation des exploitants aux pratiques d'hygiène ;
- ✓ La sensibilisation des ouvriers, des riverains et des exploitants contre les IST (Infection sexuellement transmissible) ;
- ✓ La limitation des visites des populations sur le chantier lors des travaux ;
- ✓ La sensibilisation à l'utilisation des moustiquaires imprégnées ;
- ✓ L'organisation régulière de visites médicales obligatoires pour les exploitants ;
- ✓ L'implantation des panneaux de signalisations ;
- ✓ La sensibilisation sur le respect des règles et calendrier d'irrigation ;

❖ Mesures d'atténuation

Les mesures d'atténuation visent à minimiser les effets des impacts négatifs sur l'environnement.

Sur l'environnement biophysique et humain, il s'agira d'amener les exploitants à une utilisation durable de l'aménagement. Pour cela, il faut :

- ✓ Eviter le décapage des surfaces si possible surtout sur les parcelles prévues pour l'exploitation agricole ;
- ✓ Le traitement des eaux usées avant le rejet à la surface
- ✓ Le reboisement dans les zones déboisées ;
- ✓ Rechercher le consensus possible au moment de l'attribution des parcelles pour éviter les conflits fonciers.
- ✓ Prioriser les possesseurs fonciers, ensuite ceux qui ont les droits d'usage et réglementer la cohabitation éleveurs et agriculteurs ;
- ✓ Arrêt du chantier pendant les grands vents ; arrosage du site de travaux à proximité de zones habitées et des pistes du chantier ;
- ✓ Le port obligatoire de masques anti - poussière et d'autres matériels de protection individuelle pour les travailleurs et les visiteurs sur les chantiers ;
- ✓ Sensibiliser la population sur les maladies hydriques et les moyens de préventions ;

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

- ✓ Former les exploitants sur les types d'engrais et de pesticides à utiliser et définir clairement les doses d'engrais chimiques, leurs périodes et modalités d'application et inciter les exploitants à l'utilisation d'engrais organiques, mettre à la disposition des exploitants des produits chimiques (engrais, pesticides) homologués ;
- ✓ Renforcer les capacités des producteurs en nouvelle technique de production agricole et sur la production de la fumure organique.
- ✓ Inclure les populations bénéficiaires dans la réalisation ;
- ✓ Une bonne organisation des recrutements
- ✓ Le respect strict des calendriers d'approvisionnement en eau des parcelles pour une utilisation rationnelle des ressources en eaux ;
- ✓ Instaurer un comité de gestion des conflits.

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

ANNEXE II : DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF DETAILLE

Devis quantitatif

N°	Désignation	Unité	Quantité
I	INSTALLATION		
I.1	Amené et repli du matériel	FF	1,00
I.2	Installation de chantier	FF	1,00
I.3	Implantation des ouvrages et parcellement du périmètre	ha	80,00
I.4	Elaboration des dossiers d'exécution	FF	1,00
Sous-total I			
II	STATION DE POMPAGE		
II.1	Fourniture et installation d'une motopompe y compris accessoires (Q= 756m ³ /h) ; HMT= 12m; P= 30Kw)	U	3,00
Sous-total II			
III	REFOULEMENT et RESEAUX DE DISTRIBUTION		
III.1	Fourniture et pose de conduites PVC 250 PN 6 pour conduite de refoulement y compris, déblais, lit de sable, remblai toutes suggestions de pose et raccordements	ml	235,61
III.2	Té PVC DN 250	U	1,00
III.3	Coude PVC DN 250	U	1,00

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

III.4	Rehausse en PVC DN 250	U	1,00
III.5	Fouilles	ml	4757,71
III.6	Fourniture et pose de conduites PVC évacuation DN 225	U	1,00
III.7	Fourniture et pose de té PVC PN6 DN 225	U	76,00
III.8	Fourniture et pose de clapet anti-retour	U	1,00
III.9	Fourniture et pose de robinet vanne DN 225	U	1,00
III.10	Fourniture et pose d'accessoires de vidange	FF	7,00
III.11	Fourniture et pose coude PVC DN 225	U	12,00
III.12	Prise parcellaire y compris toute suggestions de mise en œuvre et de raccordement au réseau d'irrigation	U	70,00
III.13	Bouchon PVC pression DN 225 pour conduites dans le bassin partiteur	U	5,00
Sous-total III			
IV	AMENAGEMENT INTERNES /TRAVAUX DE TERRASEMENT		
IV.1	Débroussaillage de l'emprise du périmètre, dessouchage des arbres gênants	ha	80,00
IV.2	Labour des parcelles	ha	80,00
IV.3	Planage sommaire et comblement des dépressions	ha	80,00

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

IV.4	Fourniture et pose de système de protection des installations	ens	1,00
IV.5	Construction de la station de pompage		1,00
Sous-total IV			
V	DRAINAGE ET DIVERS		
V.1	Fouilles pour drainage	ml	1750,00
V.2	Drains internes	ml	1764,00
V.3	Collecteurs	ml	435,00
V.4	Réalisation des ouvrages de vidange	U	20,00
V.5	Fourniture et pose de buse en BA y compris tous les travaux de protection	U	20,00
Sous-total V			

**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Devis estimatif

N°	Désignation	Unité	Prix unitaire	Quantité	Prix total
I	INSTALLATION				
I.1	Amené et repli du matériel	FF	4 500 000	1	4 500 000
I.2	Installation de chantier	FF	1 500 000	1	1 500 000
I.3	Implantation des ouvrages et parcellement du périmètre	ha	150 000	80	12 000 000
I.4	Elaboration des dossiers d'exécution	FF	2 000 000	1	2 000 000
Sous-total I					20 000 000
II	STATION DE POMPAGE				
II.1	Fourniture et installation d'une motopompe y compris accessoires (Q= 756m ³ /h); HMT= 12m; P= 30Kw)	U	15 000 000	3	45 000 000
Sous-total II					45 000 000
III	REFOULEMENT et RESEAUX DE DISTRIBUTION				
III.1	Fourniture et pose de conduites PVC 250 PN 6 pour conduite de refoulement y compris, déblais, lit de sable, remblai toutes suggestions de pose et raccordements	ml	30 000	235,61	7 068 300
III.2	Té PVC DN 250	U	80 000	1	80 000
III.3	Coude PVC DN 250	U	80 000	1	80 000
III.4	Rehausse en PVC DN 250	U	25 000	1	25 000
III.5	Fouilles	ml	5 000	4757,71	23 788 550
III.6	Fourniture et pose de conduites PVC évacuation DN 225	U	5 000	1	5 000
III.7	Fourniture et pose de té PVC PN6 DN 225	U	6 000	76	456 000
III.8	Fourniture et pose de clapet anti-retour	U	100 000	1	100 000

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

III.9	Fourniture et pose de robinet vanne DN 225	U	10 000	1	10 000
III.10	Fourniture et pose d'accessoires de vidange	FF	250 000	7	1 750 000
III.11	Fourniture et pose coude PVC DN 225	U	10 000	12	120 000
III.12	Prise parcellaire y compris toute suggestions de mise en œuvre et de raccordement au réseau d'irrigation	U	200 000	70	14 000 000
III.13	Bouchon PVC pression DN 225 pour conduites dans le bassin partiteur	U	100 000	5	500 000
Sous-total III					47 982 850
IV	AMENAGEMENT INTERNES /TRAVAUX DE TERRASEMENT				
IV.1	Débroussaillage de l'emprise du périmètre, dessouchage des arbres gênants	ha	400 000	80	32 000 000
IV.2	Labour des parcelles	ha	400 000	80	32 000 000
IV.3	Planage sommaire et comblement des dépressions	ha	200 000	80	16 000 000
IV.4	Fourniture et pose de système de protection des installations	ens	1 000 000	1	1 000 000
IV.5	Construction de la station de pompage		800 000	1	800 000
Sous-total IV					81 800 000
V	DRAINAGE ET DIVERS				
V.1	Fouilles pour drainage	ml	2 500	1750	4 375 000
V.2	Drains internes	ml	2 000	1764	3 528 000
V.3	Collecteurs	ml	2 500	435	1 087 500
V.4	Réalisation des ouvrages de vidange	U	25 000	20	500 000
V.5	Fourniture et pose de buse en BA y compris tous les travaux de protection	U	900 000	20	18 000 000

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Sous-total V			27 490 500
TOTAL HT			222 273 350
TOTAL TVA	18%		40 009 203
TOTAL TTC			262 282 553
Marge bénéficiaire	10%		26 228 255
TOTAL GENERAL			288 510 808
COUT A L'HECTARE			3 973 978

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

ANNEXE III : BESOINS EN EAU DES CULTURES ET SURFACES PARCELLAIRES

Mois		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
Nombre de jours		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	360,000
Pluie mensuelle (mm)		0,00	0,00	0,30	2,60	5,90	22,00	56,70	69,20	28,00	3,80	0,00	0,10	188,60
Pluie efficace (mm)		0,00	0,00	0,18	1,56	3,54	13,20	34,02	41,52	16,80	2,28	0,00	0,06	113,16
ET0 journalière (mm/j)		7,43	8,91	10,21	10,89	10,95	11,57	9,17	7,44	7,66	8,19	7,52	7,01	106,95
ET0 mensuelle (mm)		222,90	267,30	306,30	326,70	328,50	347,10	275,10	223,20	229,80	245,70	225,60	210,30	3208,50
Oignon	Période													
	Kc Tomate	0,54	0,75	1,05	0,92									
	ETM journalière (mm/j)	4,01	6,68	10,72	10,02									
	ETM mensuelle (mm)	120,37	200,48	321,62	300,56									943,02
	Besoins net mensuels (mm)	120,37	200,48	321,44	299,00									941,28
Tomate	Période													
	Kc laitue	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80								
	ETM journalière (mm/j)	3,34	6,68	10,41	11,22	8,76								
	ETM mensuelle (mm)	100,31	200,48	312,43	336,50	262,80								1212,51
	Besoins net mensuels (mm)	100,31	200,48	312,43	336,50	262,80								1212,51

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Laitue	Période						
	Kc oignon	0,45	0,58	0,67	1,00	0,95	
	ETM journalière (mm/j)	3,34	5,17	6,84	10,89	10,40	
	ETM mensuelle (mm)	100,31	155,03	205,22	326,70	312,08	1099,34
	Besoins net mensuels (mm)	100,31	155,03	205,04	325,14	308,54	1094,06
Concombre	Période						
	Kc concombre	0,49	0,70	0,90	0,85	0,75	
	ETM journalière (mm/j)	3,64	6,24	9,19	9,26	8,21	
	ETM mensuelle (mm)	109,22	187,11	275,67	277,70	246,38	1096,07
	Besoins net mensuels (mm)	109,22	187,11	275,49	276,14	242,84	1090,79
Besoins net mensuels (mm)		1212,51					1212,51
Efficience globale		0,70					
Besoins Brut mensuels (mm)		1732,15					
Besoins Brut mensuels (m3/ha)		17321,53					
Besoins Brut (m3) avec 80ha		1 385 722,29					

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali



Mois		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Total
Nombre de jours		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	360,000
Pluie mensuelle (mm)		0,00	0,00	0,30	2,60	5,90	22,00	56,70	69,20	28,00	3,80	0,00	0,10	188,60
Pluie efficace (mm)		0,00	0,00	0,18	1,56	3,54	13,20	34,02	41,52	16,80	2,28	0,00	0,06	113,16
ET0 journalière (mm/j)		7,43	8,91	10,21	10,89	10,95	11,57	9,17	7,44	7,66	8,19	7,52	7,01	106,95
ET0 mensuelle (mm)		222,90	267,30	306,30	326,70	328,50	347,10	275,10	223,20	229,80	245,70	225,60	210,30	3208,50
Riz	Période													
	Kc Riz	1,07	1,13	1,20	1,05			1,050	1,100	1,200	1,050			
	ETM journalière (mm/j)	7,95	10,07	12,25	11,43			9,629	8,184	9,192	8,600			
	ETM mensuelle (mm)	238,50	302,05	367,56	343,04			288,855	245,520	275,760	257,985			
	Besoins net mensuels (mm)	238,50	302,05	367,38	341,48	1249,41		254,835	204,000	258,960	255,705			973,50
Besoins net mensuels (mm)		1249,41												
Efficience globale		0,70												
Besoins Brut mensuels (mm)		1784,87												
Besoins Brut mensuels (m3/ha)		17848,67												
Besoins Brut (m3) avec 80ha		1427893,71												
Besoins bruts totaux (m3)		2 813 616,00												

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Besoins en eau de la culture la plus contraignante(tomate)

Mois		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Total
Nombre de jours		30	30	30	30	30	150,000
Pluie mensuelle (mm)		0,00	0,00	0,30	2,60	5,90	8,80
Pluie efficace (mm)		0,00	0,00	0,18	1,56	3,54	5,28
ET0 journalière (mm/j)		7,43	8,91	10,21	10,89	10,95	48,39
ET0 mensuelle (mm)		222,90	267,30	306,30	326,70	164,25	1287,45
Tomate	Période						
	Kc tomate	0,45	0,75	1,02	1,03	0,80	
	ETM journalière (mm/j)	3,34	6,68	10,41	11,22	8,76	
	ETM mensuelle (mm)	100,31	200,48	312,43	336,50	131,40	1081,11
	Besoin net mensuels (mm)	100,31	200,48	312,25	334,94	127,86	
	Besoins net journaliers(mm/j)	3,34	6,68	10,23	9,66	5,22	35,14
	Besoins Brut mensuels (mm) BB	125,38	250,59	390,31	418,68	159,83	
Tour d'eau : T(j)		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Dose réelle : Dr(mm)		13,37	26,73	40,94	38,63	20,88	
Efficience d'application : Ea		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Dose brute : Db(mm)		19,11	38,19	58,48	55,18	29,83	

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

DFC (Débit fictif continue) l/s/ha	0,48	0,97	1,51	1,62	1,23	
Nh (heure d'irrigation)	10	10	10	10	10	
r (fraction jrs d'irrigation)	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571	
m (Main d'eau)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
Quartier hydraulique (W) ha	62,02	31,03	19,92	18,57	24,33	
qe (débit d'équipement) l/s/ha	1,16	2,32	3,61	3,88	2,96	
A (surface irriguée) ha	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	
Qt (débit total du système) l/s	84,28	168,45	262,37	281,44	214,88	1011,43

Besoins en eau du riz contre saison

Mois	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Total
Nombre de jours	15	30	30	30	30	135,000
Pluie mensuelle (mm)	0,10	0,00	0,00	0,30	2,60	3,000
Pluie efficace (mm)	0,06	0,00	0,00	0,18	1,56	1,800
ET0 journalière (mm/j)	7,01	7,43	8,91	10,21	10,89	44,450
ET0 mensuelle (mm)	105,15	222,90	267,30	306,30	326,70	1228,350
Riz contre saison	Période					
	Kc Riz	0,00	1,07	1,13	1,20	1,05

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Saturation S	150,00					
Remplissage R		50,00	50,00	50,00		
Infiltration I	75,00	150,00	150,00	150,00	150,00	
ETM journalière (mm/j)	0,00	7,95	10,07	12,25	11,43	
ETM mensuelle (mm)	0,00	238,50	302,05	367,56	343,04	
Besoins net mensuels(mm)	224,94	438,50	502,05	567,38	491,48	
Besoins net journaliers(mm/j)	-0,06	7,95	10,07	12,07	9,87	
Besoins brut mensuels(mm) BB	281,18	548,13	627,56	709,23	614,34	
Besoins brut mensuels(m3/ha) BB	2811,75	5481,29	6275,61	7092,25	6143,44	
Tour d'eau : T(j)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Dose réelle : Dr(mm)	-0,24	31,80	40,27	48,29	39,50	
Efficienc d'application : Ea	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Dose brute : Db(mm)	-0,34	45,43	57,53	68,98	56,43	
DFC (Débit fictif continue) l/s/ha	1,08	2,11	2,42	2,74	2,37	
Nh (heure d'irrigation)	10	10	10	10	10	
r (fraction jrs d'irrigation)	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	
m (Main d'eau)	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
Quartier hydraulique (W) ha	27,66	14,19	12,39	10,96	12,66	

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

qe (débit d'équipement) l/s/ha	2,60	5,08	5,81	6,57	5,69	
A (surface irriguée) ha	72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	
Qt (débit total du système) l/s	189,01	368,46	421,86	476,76	412,98	1680,06

Besoins en eau du riz saison pluviale

Mois		Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Total
Nombre de jours		15	30	30	30	30	135,000
Pluie mensuelle (mm)		56,70	69,20	28,00	3,80	0,00	157,700
Pluie efficace (mm)		45,36	55,36	22,40	3,04	0,00	126,160
ET0 journalière (mm/j)		9,17	7,44	7,66	8,19	7,52	39,980
ET0 mensuelle (mm)		137,55	223,20	229,80	245,70	225,60	1061,850
Riz saison pluviale	Période						
	Kc Riz	1,20	1,07	1,13	1,20	1,05	
	Saturation S	150,00					
	Remplissage R		50,000	50,000	50,000		
	Infiltration I	75,00	150,00	150,00	150,00	150,00	
	ETM journalière (mm/j)	11,00	7,96	8,66	9,83	7,90	
	ETM mensuelle (mm)	165,06	238,82	259,67	294,84	236,88	

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

	Besoins net mensuels(mm)	344,70	383,46	437,27	491,80	386,88	
	Besoins net journaliers(mm/j)	-34,36	-47,40	-13,74	6,79	7,90	
	Besoins brut mensuels(mm) BB	430,88	479,33	546,59	614,75	483,60	
	Besoins brut mensuels(m3/ha) BB	4308,75	4793,30	5465,93	6147,50	4836,00	
Tour d'eau : T(j)		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Dose réelle : Dr(mm)		-137,42	-189,60	-54,98	27,15	31,58	
Efficience d'application : Ea		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
Dose brute : Db(mm)		-196,32	-270,85	-78,54	38,79	45,12	
DFC (Débit fictif continue) l/s/ha		1,66	1,85	2,11	2,37	1,87	
Nh (heure d'irrigation)		10	10	10	10	10	
r (fraction jrs d'irrigation)		0,57	0,57	0,57	0,57	0,57	
m (Main d'eau)		30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
Quartier hydraulique (W) ha		18,05	16,22	14,23	12,65	16,08	
qe (débit d'équipement) l/s/ha		3,99	4,44	5,06	5,69	4,48	
A (surface irriguée) ha		72,60	72,60	72,60	72,60	72,60	
qt (débit total du système) l/s		289,64	322,22	367,43	413,25	325,09	1717,63

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Surfaces parcellaires

Bloc A								Bloc B					
Bassin partiteur secondaire 1								Bassin partiteur secondaire 2					
Parcelle	Superficie (ha)	Parcelle	Superficie (ha)	Parcelle	Superficie (ha)	Parcelle	Superficie (ha)	Parcelle	Superficie (ha)	Parcelle	Superficie (ha)	Parcelle	Superficie (ha)
P1	0,5	P21	0,5	P41	0,5	P61	0,5	P81	0,5	P101	0,5	P121	0,5
P2	0,5	P22	0,5	P42	0,5	P62	0,5	P82	0,5	P102	0,5	P122	0,5
P3	0,5	P23	0,5	P43	0,5	P63	0,5	P83	0,5	P103	0,5	P123	0,5
P4	0,5	P24	0,5	P44	0,5	P64	0,5	P84	0,5	P104	0,5	P124	0,5
P5	0,5	P25	0,5	P45	0,5	P65	0,5	P85	0,5	P105	0,5	P125	0,5
P6	0,5	P26	0,5	P46	0,5	P66	0,5	P86	0,5	P106	0,5	P126	0,5
P7	0,5	P27	0,5	P47	0,5	P67	0,5	P87	0,5	P107	0,5	P127	0,5
P8	0,5	P28	0,5	P48	0,5	P68	0,5	P88	0,5	P108	0,5	P128	0,5
P9	0,5	P29	0,5	P49	0,5	P69	0,5	P89	0,5	P109	0,5	P129	0,5
P10	0,5	P30	0,5	P50	0,5	P70	0,5	P90	0,5	P110	0,5	P130	0,5
P11	0,5	P31	0,5	P51	0,5	P71	0,5	P91	0,5	P111	0,5	P131	0,5
P12	0,5	P32	0,5	P52	0,5	P72	0,5	P92	0,5	P112	0,5	P132	0,5
P13	0,5	P33	0,5	P53	0,5	P73	0,5	P93	0,5	P113	0,5	P133	0,5
P14	0,5	P34	0,5	P54	0,5	P74	0,5	P94	0,5	P114	0,5	P134	0,5

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



P15	0,5	P35	0,5	P55	0,5	P75	0,5	P95	0,5	P115	0,5	P135	0,5
P16	0,5	P36	0,5	P56	0,5	P76	0,5	P96	0,5	P116	0,5	P136	0,5
P17	0,5	P37	0,5	P57	0,5	P77	0,5	P97	0,5	P117	0,5	P137	0,5
P18	0,5	P38	0,5	P58	0,5	P78	0,5	P98	0,5	P118	0,5	P138	0,5
P19	0,5	P39	0,5	P59	0,5	P79	0,5	P99	0,5	P119	0,5	P139	0,5
P20	0,5	P40	0,5	P60	0,5	P80	0,5	P100	0,5	P120	0,5	P140	0,5
S1	10,00	S2	10,00	S3	10,00	S4	10,00	S5	10,00	S6	10,00	S7	10,00

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

ANNEXE IV : TABLEAUX DE DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES ET CALAGE DES BASSINS PARTITEURS

<u>Dimensionnement de la conduite secondaire 1/CP1</u>													
N°	Cote max TN (m)	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	Débit (l/s)	Diamètre théorique (mm)	Diamètre ext (mm)	Diamètre int (mm)	Hauteur rehausse prise imposée (m)	Vitesse (m/s)	Pdc linéaire (m)	Pdc totale (m)	Z requise (m)	Vitesse réelle (m/s)
Prise 1 sur CS1	249,61	30,4	30,4	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,077	0,085	250,110	0,851
Prise 2 sur CS1	249,76	44,8	75,2	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,190	0,209	250,469	0,851
Prise 3 sur CS1	249,87	45,2	120,4	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,305	0,335	250,705	0,851
Prise 4 sur CS1	250,09	53,99	174,39	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,441	0,486	251,076	0,851
Prise 5 sur CS1	250,5	48,14	222,53	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,563	0,620	251,620	0,851
Prise 6 sur CS1	250,79	46,13	268,66	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,680	0,748	252,038	0,851
Prise 7 sur CS1	251,08	43,1	311,76	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,789	0,868	252,448	0,851
Prise 8 sur CS1	251,18	45,69	357,45	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,905	0,995	252,675	0,851
Prise 9 sur CS1	251,23	31,11	388,56	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,984	1,082	252,812	0,851
Prise 10 sur CS1	251,37	38,11	426,67	30	195,44	225	211,8	0,5	1	1,080	1,188	253,058	0,851
Prise sur CP1	251,46	0	0	30	195,44	225	211,8	0,5	1	0,000	1,188	253,148	0,851

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Calage du bassin partiteur C et dimensionnement de la conduite secondaire 2/CP1

N°	Cote max TN (m)	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	Débit (l/s)	Diamètre théorique (mm)	Diamètre ext (mm)	Diamètre int (mm)	Hauteur rehausse prise imposée (m)	Vitesse (m/s)	Pdc linéaire (m)	Pdc totale (m)	Z requise (m)	Vitesse réelle (m/s)
Prise 1 sur CS2	249,76	51,34	51,34	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,130	0,143	250,260	0,851
Prise 2 sur CS2	249,87	36,78	88,12	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,223	0,245	250,615	0,851
Prise 3 sur CS2	250,01	42,63	130,75	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,331	0,364	250,874	0,851
Prise 4 sur CS2	250,05	41,45	172,2	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,436	0,479	251,029	0,851
Prise 5 sur CS2	250,13	39,4	211,6	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,536	0,589	251,219	0,851
Prise 6 sur CS2	250,97	42,34	253,94	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,643	0,707	252,177	0,851
Prise 7 sur CS2	251,1	39,99	293,93	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,744	0,818	252,418	0,851
Prise 8 sur CS2	251,18	34,97	328,9	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,833	0,916	252,596	0,851
Prise 9 sur CS2	251,27	33,6	362,5	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,918	1,009	252,779	0,851
Prise 10 sur CS2	251,33	35,25	397,75	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,007	1,108	252,938	0,851
Prise sur CP1	251,39	327,71	725,46	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,836	2,020	253,910	0,851

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Calage du bassin partiteur B et dimensionnement de la conduite secondaire 3/CP1

N°	Cote max TN (m)	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	Débit (l/s)	Diamètre théorique (mm)	Diamètre ext(mm)	Diamètre int (mm)	Hauteur rehausse prise imposée (m)	Vitesse (m/s)	Pdc linéaire (m)	Pdc totale (m)	Z requise (m)	Vitesse réelle (m/s)
Prise 1 sur CS3	249,88	48,84	48,84	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,124	0,136	250,380	0,851
Prise 2 sur CS3	250	52,75	101,59	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,257	0,283	250,783	0,851
Prise 3 sur CS3	250,34	49,96	151,55	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,384	0,422	251,262	0,851
Prise 4 sur CS3	250,39	42,1	193,65	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,490	0,539	251,429	0,851
Prise 5 sur CS3	250,66	42,16	235,81	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,597	0,657	251,817	0,851
Prise 6 sur CS3	250,84	33,2	269,01	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,681	0,749	252,089	0,851
Prise 7 sur CS3	250,9	29,43	298,44	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,755	0,831	252,231	0,851
Prise 8 sur CS3	251	37,93	336,37	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,851	0,937	252,437	0,851
Prise 9 sur CS3	251,18	33,95	370,32	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,937	1,031	252,711	0,851
Prise 10 sur CS3	251,24	36,58	406,9	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,030	1,133	252,873	0,851
Prise sur CP1	251,4	319,64	726,54	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,839	2,023	253,923	0,851

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Calage du bassin partiteur A et dimensionnement de la conduite secondaire 4/CP1

N°	Cote max TN (m)	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	Débit (l/s)	Diamètre théorique (mm)	Diamètre ext(mm)	Diamètre int (mm)	Hauteur rehausse prise imposée (m)	Vitesse (m/s)	Pdc linéaire (m)	Pdc totale (m)	Z requise (m)	Vitesse réelle (m/s)
Prise 1 sur CS4	250	27,23	27,23	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,069	0,076	250,500	0,851
Prise 2 sur CS4	250,41	27,06	54,29	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,137	0,151	251,061	0,851
Prise 3 sur CS4	250,52	35,36	89,65	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,227	0,250	251,270	0,851
Prise 4 sur CS4	250,61	31,12	120,77	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,306	0,336	251,446	0,851
Prise 5 sur CS4	250,66	35,56	156,33	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,396	0,435	251,595	0,851
Prise 6 sur CS4	250,77	26,11	182,44	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,462	0,508	251,778	0,851
Prise 7 sur CS4	250,88	26,23	208,67	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,528	0,581	251,961	0,851
Prise 8 sur CS4	250,8	27,05	235,72	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,597	0,656	251,956	0,851
Prise 9 sur CS4	251	30,61	266,33	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,674	0,742	252,242	0,851
Prise 10 sur CS4	251,31	28,96	295,29	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,747	0,822	252,632	0,851
Prise sur CP1	251,72	318,93	614,22	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,555	1,710	253,930	0,851

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Dimensionnement de la conduite secondaire 1/CP2

N°	Cote max TN (m)	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	Débit (l/s)	Diamètre théorique (mm)	Diamètre ext(mm)	Diamètre int (mm)	Hauteur rehausse prise imposée (m)	Vitesse (m/s)	Pdc linéaire (m)	Pdc totale (m)	Z requise (m)	Vitesse réelle (m/s)
Prise 1 sur CS1	249,7	36,45	36,45	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,092	0,101	250,200	0,851
Prise 2 sur CS1	249,77	30,75	67,2	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,170	0,187	250,457	0,851
Prise 3 sur CS1	249,81	27,8	95	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,240	0,265	250,575	0,851
Prise 4 sur CS1	249,87	27,63	122,63	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,310	0,341	250,711	0,851
Prise 5 sur CS1	249,92	23,97	146,6	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,371	0,408	250,828	0,851
Prise 6 sur CS1	249,96	26,61	173,21	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,438	0,482	250,942	0,851
Prise 7 sur CS1	250	27	200,21	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,507	0,557	251,057	0,851
Prise 8 sur CS1	250,06	26,83	227,04	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,575	0,632	251,192	0,851
Prise 9 sur CS1	250,12	22,67	249,71	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,632	0,695	251,315	0,851
Prise 10 sur CS1	250,67	28,13	277,84	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,703	0,774	251,944	0,851
Prise sur CP2	250,86	277,52	555,36	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,406	1,546	252,906	0,851

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Calage du bassin partiteur E et dimensionnement de la conduite secondaire 2/CP2

N°	Cote max TN (m)	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	Débit (l/s)	Diamètre théorique (mm)	Diamètre ext(mm)	Diamètre int (mm)	Hauteur rehausse prise imposée (m)	Vitesse (m/s)	Pdc linéaire (m)	Pdc totale (m)	Z requise (m)	Vitesse réelle (m/s)
Prise 1 sur CS2	250,09	51,62	51,62	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,131	0,144	250,590	0,851
Prise 2 sur CS2	250,28	39,25	90,87	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,230	0,253	251,033	0,851
Prise 3 sur CS2	250,44	47,66	138,53	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,351	0,386	251,326	0,851
Prise 4 sur CS2	250,66	42,88	181,41	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,459	0,505	251,665	0,851
Prise 5 sur CS2	250,79	39,32	220,73	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,559	0,615	251,905	0,851
Prise 6 sur CS2	250,83	43,79	264,52	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,670	0,737	252,067	0,851
Prise 7 sur CS2	250,92	46,4	310,92	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,787	0,866	252,286	0,851
Prise 8 sur CS2	251	46,17	357,09	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,904	0,994	252,494	0,851
Prise 9 sur CS2	251,24	38,57	395,66	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,002	1,102	252,842	0,851
Prise 10 sur CS2	251,3	41,96	437,62	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,108	1,219	253,019	0,851
Prise sur CP2	251,57	165,04	602,66	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,526	1,678	253,748	0,851

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Calage du bassin partiteur D et dimensionnement de la conduite secondaire 3/CP2

N°	Cote max TN (m)	Longueur partielle (m)	Longueur cumulée (m)	Débit (l/s)	Diamètre théorique (mm)	Diamètre ext(mm)	Diamètre int (mm)	Hauteur rehausse prise imposée (m)	Vitesse (m/s)	Pdc linéaire (m)	Pdc totale (m)	Z requise (m)	Vitesse réelle (m/s)
Prise 1 sur CS3	250	42,84	42,84	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,108	0,119	250,500	0,851
Prise 2 sur CS3	250,12	40,17	83,01	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,210	0,231	250,851	0,851
Prise 3 sur CS3	250,27	27,6	110,61	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,280	0,308	251,078	0,851
Prise 4 sur CS3	250,31	26,98	137,59	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,348	0,383	251,193	0,851
Prise 5 sur CS3	250,41	33,37	170,96	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,433	0,476	251,386	0,851
Prise 6 sur CS3	250,73	33,37	204,33	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,517	0,569	251,799	0,851
Prise 7 sur CS3	250,85	34,56	238,89	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,605	0,665	252,015	0,851
Prise 8 sur CS3	250,91	37,13	276,02	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,699	0,769	252,179	0,851
Prise 9 sur CS3	251,05	39,54	315,56	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,799	0,879	252,429	0,851
Prise 10 sur CS3	251,29	42,61	358,17	30	195,441	225	211,8	0,5	1	0,907	0,997	252,787	0,851
Prise sur CP2	251,38	85,03	443,2	30	195,441	225	211,8	0,5	1	1,122	1,234	253,114	0,851

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Dimensionnement de la conduite de refoulement

N°	Cote max TN (m)	Longueur (m)	Débit (l/s)	D théorique (mm)	D ext(mm)	D int (mm)	Pdc l (m)	Pdc t (m)	V réelle (m/s)
SP		0	30	259,808	250	235,4	0,000	0,000	0,689
Bassin partiteur principal	252,44	235,61	30	259,808	250	235,4	0,232	0,255	0,689
Bassin partiteur A	252,00	327,71	30	259,808	250	235,4	0,323	0,355	0,689
Bassin partiteur B	251,4	318,93	30	259,808	250	235,4	0,314	0,346	0,689
Bassin partiteur C	251,39	319,64	30	259,808	250	235,4	0,315	0,346	0,689
Bassin partiteur D	251,47	85,03	30	259,808	250	235,4	0,163	0,179	0,689
Bassin partiteur E	251,47	165,04	30	259,808	250	235,4	0,084	0,092	0,689

Calage des bassins partiteurs

N°	Secondaires	Hauteur de seuil Z(m)	Débit Q(m3/s)	Diamètre d'entrée De (m)	Hauteur critique hc (m)	Hauteur de la lame d'eau déversante h(m)	Coefficient du déversoir (m)	Revanche r(m)	Longueur déversante Ld (m)	Longueur du bassin Lb(m)	Diamètre de sortie Ds (m)	Largeur du bassin lb(m)	Epaisseur du déversoir e(m)	Longueur de l'ouvrage Lo (m)	Largeur de l'ouvrage lo (m)	Hauteur du bassin H(m)	Côte TN(m)	Côte Radier Cr(m)	Côte de la lame d'eau du déversoir Cd(m)	Côte crête de l'ouvrage Cc(m)
BP-A	CP1	0,4854	0,09	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,8744	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	252,00	253,93	254,4154	254,7654
	CS4	0,4854	0,03	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,2915	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	252,00	253,93	254,4154	254,7654
BP-B	CP1	0,4854	0,06	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,5829	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,40	253,92	254,4054	254,7554

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

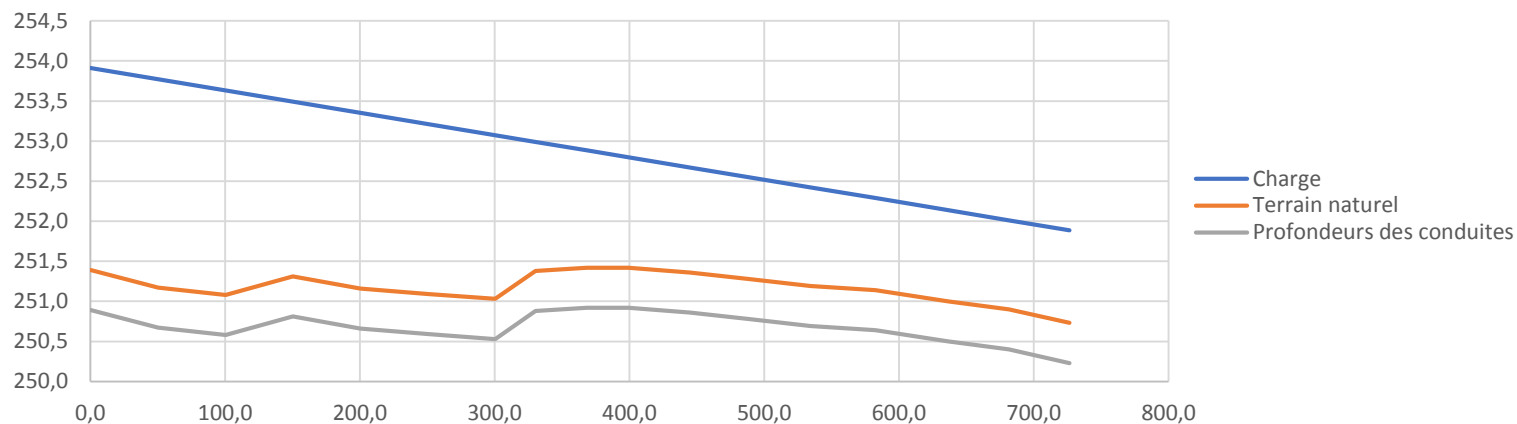


	CS3	0,4854	0,03	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,2915	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,40	253,92	254,4054	254,7554
BP-C	CS2	0,4854	0,03	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,2915	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,39	253,91	254,3954	254,7454
	CS1	0,4854	0,03	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,2915	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,39	253,91	254,3954	254,7454
BP-D	CP2	0,4854	0,06	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,5829	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,47	253,64	254,1254	254,4754
	CS7	0,4854	0,03	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,2915	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,47	253,64	254,1254	254,4754
BP-E	CS5	0,4854	0,03	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,2915	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,47	253,64	254,1254	254,4754
	CS6	0,4854	0,03	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,2915	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	251,47	253,64	254,1254	254,4754
Bassin principale	BPA	0,4854	0,12	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	1,1658	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	252,44	254,21	254,6954	255,0454
	BPD	0,4854	0,09	0,2354	0,10	0,15	0,40	0,20	0,8744	0,75	0,22	0,622	0,35	2,3218	1,6436	0,8354	252,44	254,21	254,6954	255,0454

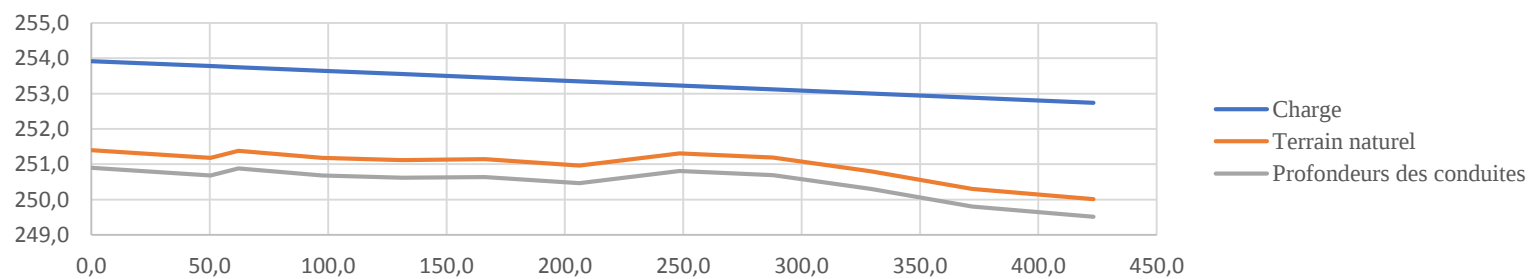
**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

ANNEXE V : PROFILS EN LONG DES CONDUITES

Profil du secondaire 1/CP1

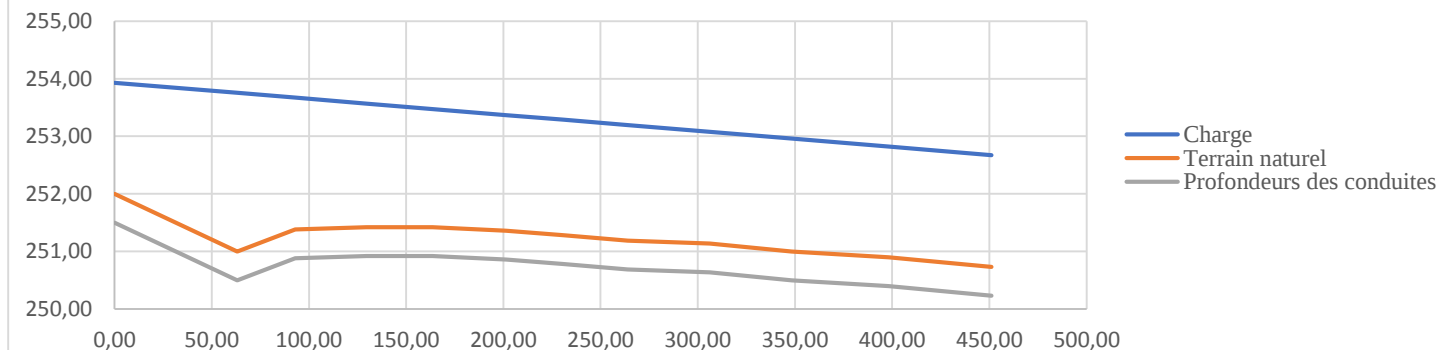


Profil du secondaire 2/CP1

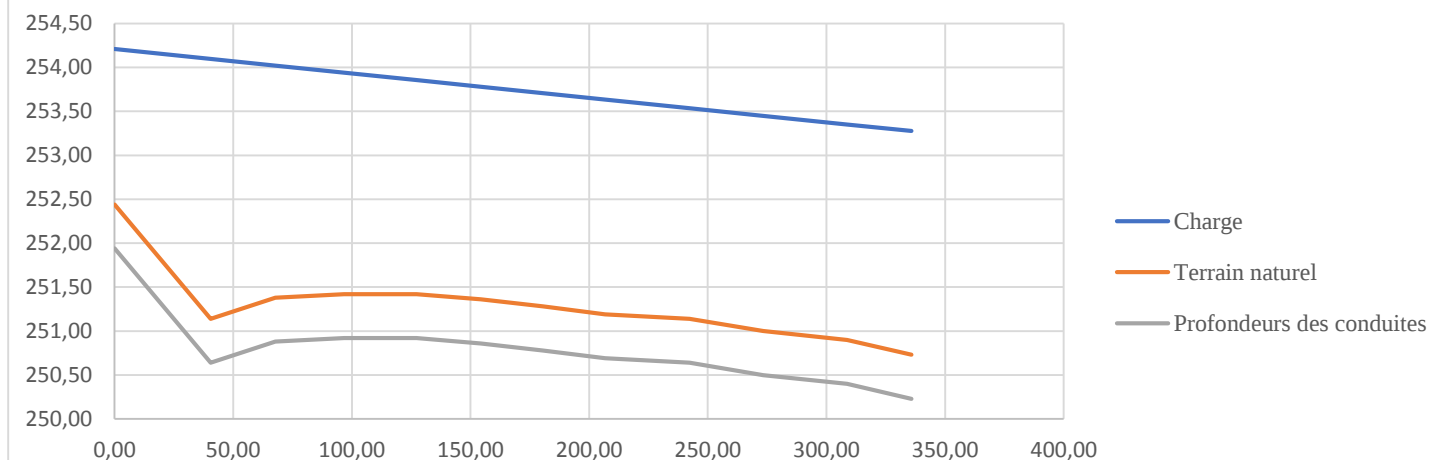


**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

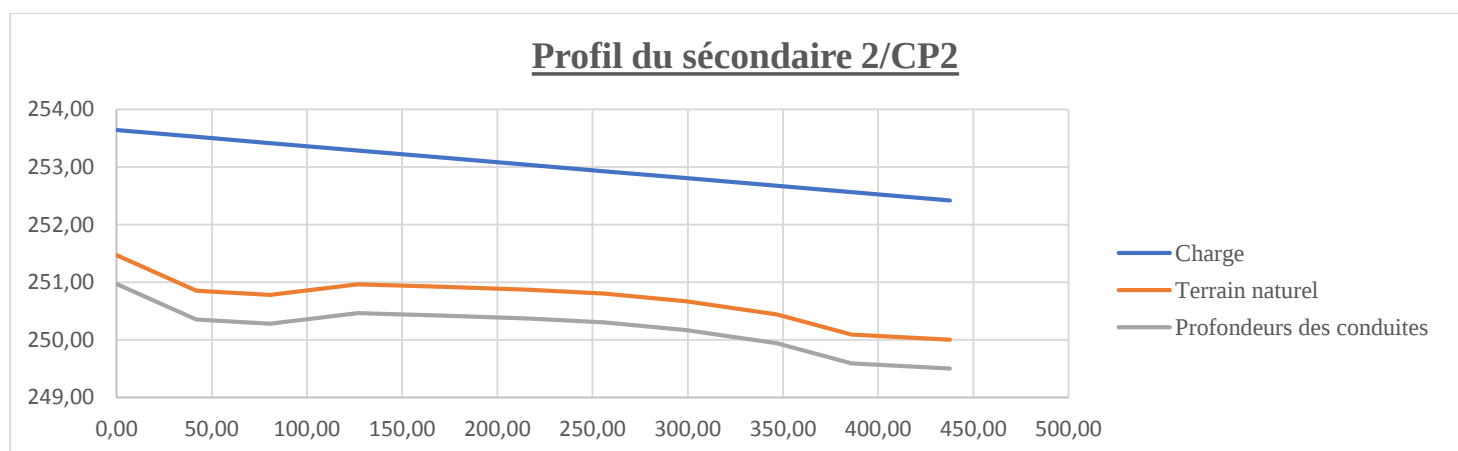
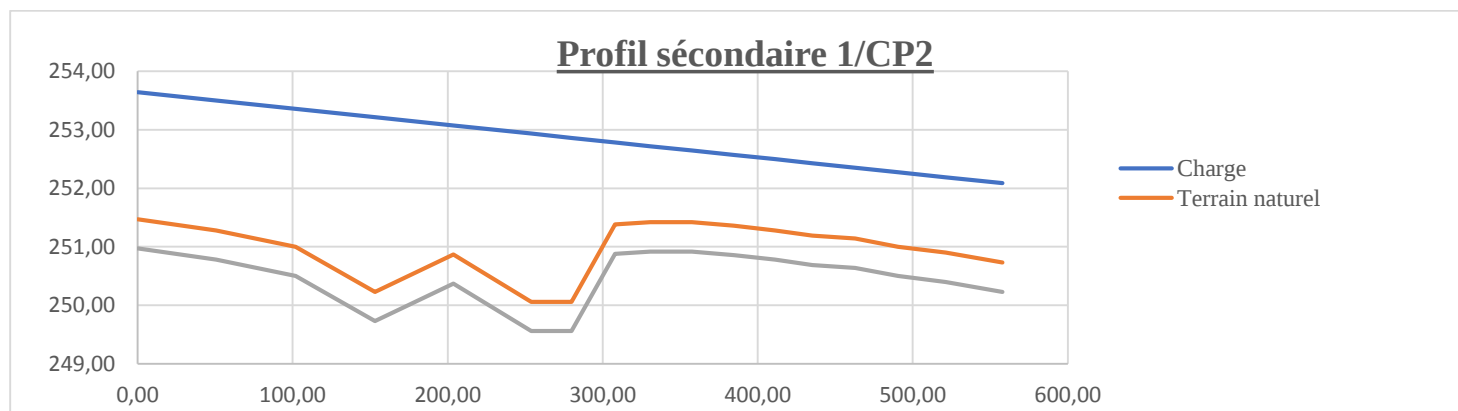
Profil du secondaire 3/CP1



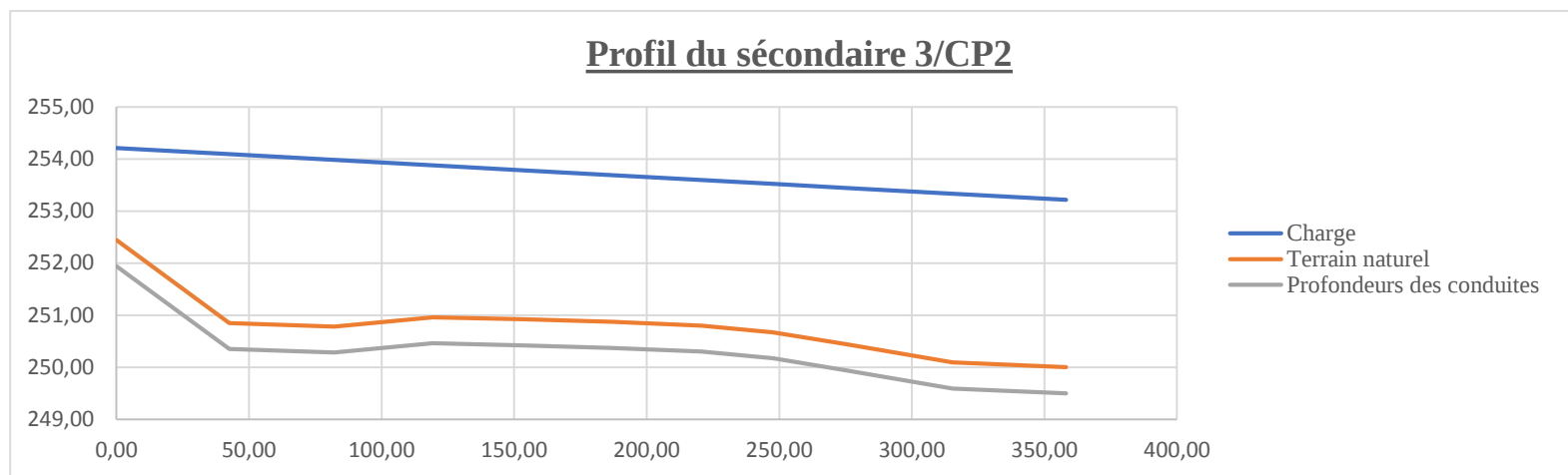
Profil du secondaire 4/ CP1



**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



Conclusion : Nous constatons que sur chaque profil, le terrain est totalement dominé, donc on peut dire la pratique de l'irrigation sous pression sera très favorable.

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

ANNEXE VI : TABLEAUX DES DIMENSIONS DE LA POMPE

Calcul de la hauteur à l'aspiration									
Débit Q (m ³ /s)	Longueur d'aspiration L (m)	Diamètre théorique de la fonte Dth (mm)	Diamètre nominal DN(m)	Pdc linéaire Pdcl (m)	Pdc totales Pdct (m)	Vitesse V (m/s)	Niveau des plus basses eaux dans la retenue PBE (m)	Niveau du TN à la station de pompage TN (m)	Hauteur d'aspiration Ha (m)
0,21	8,61	0,687386354	0,250	0,992347459	1,091582205	1	244,71	252,51	7,8

Station de Pompage	Bassin alimenté	Débit en tête de bassin	Diamètre théo	DN	Dint	Vitesse réelle	Emplacement SP TN	ASPIRATION				REFOULEMENT		
	Bassin principale	(l/s)	(mm)	(mm)	(mm)	(m/s)	(m)	Z asp (m)	L asp (m)	Hm asp (m)	NPSH dispo (m)	Z TN réf (m)	L réf (m)	Hm réf (m)
		210	217,370651	250	235,4	1,13585516	252,51	244,71	8,61	8,8915822	1,438417795	252,44	235,61	2,4407

Caractéristiques et choix de la pompe				
HMT Calculée	HMT retenue	Puissance calculée	Puissance de la pompe	Choix de la pompe
(m)	(m)	(Kw)	(Kw)	HATZ AP4-R240
11,3323	12	33,348458	35	

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

ANNEXE VII : DONNEES RELATIVES AUX MESURES D'INFILTRATION

Tableau 21 : Coordonnées géographiques des points de mesures d'infiltration

Points	Coordonnées géographiques			Zone
	X	Y	Z	
Essai 1	778618	1875781	255	30Q
Essai 2	779300	1875447	254	30Q
Essai 3	779681	1875059	254	30Q
Essai 4	779796	1875078	254	30Q
Essai 5	779444	1875547	255	30Q
Essai 6	778299	1875253	252	30Q
Essai 7	779171	1875179	255	30Q
Essai 8	779267	1875541	255	30Q
Essai 9	778047	1875722	254	30Q
Essai 10	778408	1875700	254	30Q
Essai 11	779218	1875650	255	30Q
Essai 12	778243	1875815	253	30Q
Essai 13	779320	1875183	254	30Q
Essai 14	778883	1875190	254	30Q
Essai 15	779125	1875169	255	30Q

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Essai 16	779113	1875259	255	30Q
Essai 17	779203	1875619	255	30Q
Essai 18	778699	1875801	255	30Q
Essai 19	779112	1875271	256	30Q
Essai 20	779247	1875203	255	30Q
Essai 21	778034	1875527	254	30Q
Essai 22	778153	1875442	253	30Q
Essai 23	778558	1875252	254	30Q
Essai 24	778387	1875419	254	30Q
Essai 25	778270	1875605	254	30Q
Essai 26	778440	1875283	253	30Q
Essai 27	778640	1875425	255	30Q
Essai 28	778137	1875339	254	30Q
Essai 29	778959	1875397	254	30Q
Essai 30	779513	1875307	256	30Q
Essai 31	778793	1875405	255	30Q
Essai 32	779388	1875333	256	30Q
Essai 33	779633	1875308	253	30Q
Essai 34	778500	1875411	254	30Q

**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Essai 35	778025	1875432	254	30Q
Essai 36	778260	1875470	254	30Q
Essai 37	778119	1875628	254	30Q
Essai 38	778683	1875248	255	30Q
Essai 39	779234	1875384	255	30Q
Essai 40	779425	1875139	255	30Q
Essai 41	778904	1875328	254	30Q
Essai 42	779593	1875200	256	30Q
Essai 43	779480	1875225	255	30Q
Essai 44	779455	1875410	256	30Q
Essai 45	778643	1875352	254	30Q
Essai 46	778448	1875541	256	30Q

Tableau 22 : Données sur la variation de la hauteur d'eau en fonction du temps

Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 1	778602	1875541	255	Essai 2	779300	1875447	254
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

0,00	0,00	23,00	0,00	0,00	0,00	17,00	0,00
10,00	0,17	22,25	7,50	10,00	0,17	16,90	1,00
20,00	0,33	21,54	14,60	20,00	0,33	16,50	5,00
30,00	0,50	20,86	21,40	30,00	0,50	16,30	7,00
50,00	0,83	20,22	27,80	50,00	0,83	15,90	11,00
70,00	1,17	19,62	33,80	70,00	1,17	15,80	12,00
90,00	1,50	19,06	39,40	90,00	1,50	15,50	15,00
120,00	2,00	18,54	44,60	120,00	2,00	15,30	17,00
150,00	2,50	18,06	49,40	150,00	2,50	15,10	19,00
180,00	3,00	17,64	53,60	180,00	3,00	14,80	22,00
220,00	3,67	17,26	57,40	220,00	3,67	14,60	24,00
260,00	4,33	16,94	60,60	260,00	4,33	14,40	26,00
300,00	5,00	16,66	63,40	300,00	5,00	14,10	29,00
350,00	5,83	16,44	65,60	350,00	5,83	13,90	31,00
400,00	6,67	16,26	67,40	400,00	6,67	13,60	34,00
450,00	7,50	16,14	68,60	450,00	7,50	13,30	37,00
510,00	8,50	16,06	69,40	510,00	8,50	13,00	40,00
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z

**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Essai 3	779542	1875127	254	Essai 4	779701	1875144	254
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	21,00	0,00	0,00	0,00	22,00	0,00
10,00	0,17	20,31	6,90	10,00	0,17	21,38	6,20
20,00	0,33	19,66	13,40	20,00	0,33	20,78	12,20
30,00	0,50	19,04	19,60	30,00	0,50	20,20	18,00
50,00	0,83	18,44	25,60	50,00	0,83	19,64	23,60
70,00	1,17	17,86	31,40	70,00	1,17	19,12	28,80
90,00	1,50	17,30	37,00	90,00	1,50	18,62	33,80
120,00	2,00	16,78	42,20	120,00	2,00	18,14	38,60
150,00	2,50	16,28	47,20	150,00	2,50	17,68	43,20
180,00	3,00	15,80	52,00	180,00	3,00	17,24	47,60
220,00	3,67	15,34	56,60	220,00	3,67	16,84	51,60
260,00	4,33	14,92	60,80	260,00	4,33	16,46	55,40
300,00	5,00	14,52	64,80	300,00	5,00	16,10	59,00
350,00	5,83	14,14	68,60	350,00	5,83	15,78	62,20
400,00	6,67	13,78	72,20	400,00	6,67	15,50	65,00
450,00	7,50	13,46	75,40	450,00	7,50	15,24	67,60

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

510,00	8,50	13,18	78,20	510,00	8,50	15,02	69,80
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 5	779434	1875520	255	Essai 6	778299	1875253	252
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	19,00	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00
10,00	0,17	18,40	6,00	10,00	0,17	23,44	5,60
20,00	0,33	17,82	11,80	20,00	0,33	22,92	10,80
30,00	0,50	17,28	17,20	30,00	0,50	22,42	15,80
50,00	0,83	16,76	22,40	50,00	0,83	21,90	21,00
70,00	1,17	16,26	27,40	70,00	1,17	21,48	25,20
90,00	1,50	15,78	32,20	90,00	1,50	21,10	29,00
120,00	2,00	15,32	36,80	120,00	2,00	20,78	32,20
150,00	2,50	14,90	41,00	150,00	2,50	20,48	35,20
180,00	3,00	14,52	44,80	180,00	3,00	20,20	38,00
220,00	3,67	14,16	48,40	220,00	3,67	19,96	40,40
260,00	4,33	13,84	51,60	260,00	4,33	19,70	43,00
300,00	5,00	13,56	54,40	300,00	5,00	19,45	45,50

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

350,00	5,83	13,30	57,00	350,00	5,83	19,15	48,50
400,00	6,67	13,08	59,20	400,00	6,67	18,90	51,00
450,00	7,50	12,90	61,00	450,00	7,50	18,50	55,00
510,00	8,50	12,74	62,60	510,00	8,50	17,90	61,00
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 7	779171	1875179	255	Essai 8	779267	1875541	255
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00
10,00	0,17	17,27	7,30	10,00	0,17	14,39	6,10
20,00	0,33	16,57	14,30	20,00	0,33	13,81	11,90
30,00	0,50	15,89	21,10	30,00	0,50	13,25	17,50
50,00	0,83	15,25	27,50	50,00	0,83	12,73	22,70
70,00	1,17	14,63	33,70	70,00	1,17	12,25	27,50
90,00	1,50	14,05	39,50	90,00	1,50	11,25	37,50
120,00	2,00	13,51	44,90	120,00	2,00	11,00	40,00
150,00	2,50	12,99	50,10	150,00	2,50	10,80	42,00
180,00	3,00	12,49	55,10	180,00	3,00	10,65	43,50

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

220,00	3,67	12,01	59,90	220,00	3,67	10,55	44,50
260,00	4,33	11,55	64,50	260,00	4,33	9,55	54,50
300,00	5,00	11,13	68,70	300,00	5,00	9,40	56,00
350,00	5,83	10,75	72,50	350,00	5,83	9,20	58,00
400,00	6,67	10,39	76,10	400,00	6,67	9,10	59,00
450,00	7,50	10,07	79,30	450,00	7,50	9,05	59,50
510,00	8,50	9,85	81,50	510,00	8,50	9,00	60,00
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 9	778047	1875722	254	Essai 10	778399	1875646	254
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	14,00	0,00
10,00	0,17	16,41	5,90	10,00	0,17	13,41	5,90
20,00	0,33	15,86	11,40	20,00	0,33	12,85	11,50
30,00	0,50	15,34	16,60	30,00	0,50	12,33	16,70
50,00	0,83	14,84	21,60	50,00	0,83	11,85	21,50
70,00	1,17	14,36	26,40	70,00	1,17	11,39	26,10
90,00	1,50	13,90	31,00	90,00	1,50	10,97	30,30

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

120,00	2,00	13,45	35,50	120,00	2,00	10,59	34,10
150,00	2,50	13,03	39,70	150,00	2,50	10,23	37,70
180,00	3,00	12,65	43,50	180,00	3,00	9,89	41,10
220,00	3,67	12,30	47,00	220,00	3,67	9,59	44,10
260,00	4,33	12,00	50,00	260,00	4,33	9,31	46,90
300,00	5,00	11,72	52,80	300,00	5,00	9,05	49,50
350,00	5,83	11,46	55,40	350,00	5,83	8,83	51,70
400,00	6,67	11,22	57,80	400,00	6,67	8,63	53,70
450,00	7,50	11,00	60,00	450,00	7,50	8,45	55,50
510,00	8,50	10,80	62,00	510,00	8,50	8,30	57,00
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 11	779153	1875522	255	Essai 12	778198	1875704	253
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00
10,00	0,17	15,35	6,50	10,00	0,17	9,28	7,20
20,00	0,33	14,73	12,70	20,00	0,33	8,60	14,00
30,00	0,50	14,13	18,70	30,00	0,50	7,96	20,40

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

50,00	0,83	13,55	24,50	50,00	0,83	7,36	26,40
70,00	1,17	13,01	29,90	70,00	1,17	6,80	32,00
90,00	1,50	12,49	35,10	90,00	1,50	6,28	37,20
120,00	2,00	12,00	40,00	120,00	2,00	5,80	42,00
150,00	2,50	11,55	44,50	150,00	2,50	5,36	46,40
180,00	3,00	11,15	48,50	180,00	3,00	4,96	50,40
220,00	3,67	10,77	52,30	220,00	3,67	4,60	54,00
260,00	4,33	10,41	55,90	260,00	4,33	4,28	57,20
300,00	5,00	10,09	59,10	300,00	5,00	4,00	60,00
350,00	5,83	9,79	62,10	350,00	5,83	3,76	62,40
400,00	6,67	9,51	64,90	400,00	6,67	3,56	64,40
450,00	7,50	9,25	67,50	450,00	7,50	3,38	66,20
510,00	8,50	9,03	69,70	510,00	8,50	3,25	67,50
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 13	779320	1875183	254	Essai 14	778879	1875224	254
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	13,00	0,00	0,00	0,00	11,00	0,00

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

10,00	0,17	12,41	5,90	10,00	0,17	10,51	4,90
20,00	0,33	11,85	11,50	20,00	0,33	10,06	9,40
30,00	0,50	11,33	16,70	30,00	0,50	9,68	13,20
50,00	0,83	10,83	21,70	50,00	0,83	9,32	16,80
70,00	1,17	10,35	26,50	70,00	1,17	9,00	20,00
90,00	1,50	9,90	31,00	90,00	1,50	8,72	22,80
120,00	2,00	9,48	35,20	120,00	2,00	8,46	25,40
150,00	2,50	9,08	39,20	150,00	2,50	8,22	27,80
180,00	3,00	8,70	43,00	180,00	3,00	8,00	30,00
220,00	3,67	8,34	46,60	220,00	3,67	7,80	32,00
260,00	4,33	8,02	49,80	260,00	4,33	7,54	34,60
300,00	5,00	7,72	52,80	300,00	5,00	7,36	36,40
350,00	5,83	7,44	55,60	350,00	5,83	7,20	38,00
400,00	6,67	7,20	58,00	400,00	6,67	7,10	39,00
450,00	7,50	7,00	60,00	450,00	7,50	7,05	39,50
510,00	8,50	6,82	61,80	510,00	8,50	7,00	40,00
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 15	779121	1875201	255	Essai 16	779113	1875259	255

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00
10,00	0,17	24,24	7,60	10,00	0,17	11,49	5,10
20,00	0,33	23,54	14,60	20,00	0,33	11,01	9,90
30,00	0,50	22,88	21,20	30,00	0,50	10,56	14,40
50,00	0,83	22,28	27,20	50,00	0,83	10,14	18,60
70,00	1,17	21,72	32,80	70,00	1,17	9,74	22,60
90,00	1,50	21,22	37,80	90,00	1,50	9,36	26,40
120,00	2,00	20,22	47,80	120,00	2,00	9,00	30,00
150,00	2,50	19,86	51,40	150,00	2,50	8,68	33,20
180,00	3,00	19,60	54,00	180,00	3,00	8,38	36,20
220,00	3,67	19,42	55,80	220,00	3,67	8,10	39,00
260,00	4,33	18,42	65,80	260,00	4,33	7,84	41,60
300,00	5,00	18,30	67,00	300,00	5,00	7,62	43,80
350,00	5,83	18,22	67,80	350,00	5,83	7,42	45,80
400,00	6,67	18,16	68,40	400,00	6,67	7,24	47,60
450,00	7,50	17,16	78,40	450,00	7,50	7,08	49,20
510,00	8,50	17,00	80,00	510,00	8,50	6,96	50,40

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 17	779120	1875463	255	Essai 18	778736	1875487	255
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	26,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00
10,00	0,17	25,22	7,80	10,00	0,17	8,37	6,30
20,00	0,33	24,50	15,00	20,00	0,33	7,79	12,10
30,00	0,50	23,82	21,80	30,00	0,50	7,25	17,50
50,00	0,83	23,20	28,00	50,00	0,83	6,75	22,50
70,00	1,17	22,62	33,80	70,00	1,17	6,29	27,10
90,00	1,50	22,10	39,00	90,00	1,50	5,87	31,30
120,00	2,00	21,00	50,00	120,00	2,00	5,49	35,10
150,00	2,50	20,56	54,40	150,00	2,50	5,14	38,60
180,00	3,00	20,40	56,00	180,00	3,00	4,84	41,60
220,00	3,67	19,40	66,00	220,00	3,67	4,56	44,40
260,00	4,33	19,25	67,50	260,00	4,33	4,32	46,80
300,00	5,00	19,12	68,80	300,00	5,00	4,12	48,80
350,00	5,83	19,02	69,80	350,00	5,83	3,94	50,60

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

400,00	6,67	18,96	70,40	400,00	6,67	3,80	52,00
450,00	7,50	18,88	71,20	450,00	7,50	3,70	53,00
510,00	8,50	18,00	80,00	510,00	8,50	3,64	53,60
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 19	779112	1875271	256	Essai 20	779247	1875203	255
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	27,00	0,00
10,00	0,17	7,29	7,10	10,00	0,17	26,19	8,10
20,00	0,33	6,61	13,90	20,00	0,33	25,41	15,90
30,00	0,50	5,96	20,40	30,00	0,50	24,65	23,50
50,00	0,83	5,34	26,60	50,00	0,83	23,65	33,50
70,00	1,17	4,74	32,60	70,00	1,17	23,25	37,50
90,00	1,50	4,16	38,40	90,00	1,50	22,90	41,00
120,00	2,00	3,60	44,00	120,00	2,00	22,60	44,00
150,00	2,50	3,08	49,20	150,00	2,50	22,32	46,80
180,00	3,00	2,60	54,00	180,00	3,00	21,32	56,80
220,00	3,67	2,18	58,20	220,00	3,67	21,12	58,80

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

260,00	4,33	1,80	62,00	260,00	4,33	20,94	60,60
300,00	5,00	1,44	65,60	300,00	5,00	20,78	62,20
350,00	5,83	1,10	69,00	350,00	5,83	19,78	72,20
400,00	6,67	0,80	72,00	400,00	6,67	19,68	73,20
450,00	7,50	0,52	74,80	450,00	7,50	19,60	74,00
510,00	8,50	0,30	77,00	510,00	8,50	19,50	75,00
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 21	778034	1875527	254	Essai 22	778153	1875442	253
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	25,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00
10,00	0,17	24,18	8,20	10,00	0,17	19,31	6,90
20,00	0,33	23,39	16,10	20,00	0,33	18,66	13,40
30,00	0,50	22,64	23,60	30,00	0,50	18,05	19,50
50,00	0,83	21,95	30,50	50,00	0,83	17,47	25,30
70,00	1,17	21,30	37,00	70,00	1,17	16,93	30,70
90,00	1,50	20,70	43,00	90,00	1,50	16,43	35,70
120,00	2,00	20,14	48,60	120,00	2,00	15,95	40,50

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

150,00	2,50	19,62	53,80	150,00	2,50	15,53	44,70
180,00	3,00	19,14	58,60	180,00	3,00	15,15	48,50
220,00	3,67	18,68	63,20	220,00	3,67	14,85	51,50
260,00	4,33	18,26	67,40	260,00	4,33	14,57	54,30
300,00	5,00	17,88	71,20	300,00	5,00	14,33	56,70
350,00	5,83	17,56	74,40	350,00	5,83	14,13	58,70
400,00	6,67	17,28	77,20	400,00	6,67	13,95	60,50
450,00	7,50	17,04	79,60	450,00	7,50	13,83	61,70
510,00	8,50	16,84	81,60	510,00	8,50	13,75	62,50
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 23	778558	1875252	254	Essai 24	778387	1875419	254
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	23,00	0,00	0,00	0,00	22,00	0,00
10,00	0,17	22,41	5,90	10,00	0,17	21,37	6,30
20,00	0,33	21,86	11,40	20,00	0,33	20,79	12,10
30,00	0,50	21,35	16,50	30,00	0,50	20,23	17,70
50,00	0,83	20,87	21,30	50,00	0,83	19,73	22,70

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

70,00	1,17	20,45	25,50	70,00	1,17	19,27	27,30
90,00	1,50	20,07	29,30	90,00	1,50	18,85	31,50
120,00	2,00	19,73	32,70	120,00	2,00	18,47	35,30
150,00	2,50	19,43	35,70	150,00	2,50	18,15	38,50
180,00	3,00	19,15	38,50	180,00	3,00	17,87	41,30
220,00	3,67	18,93	40,70	220,00	3,67	17,65	43,50
260,00	4,33	18,75	42,50	260,00	4,33	17,47	45,30
300,00	5,00	18,60	44,00	300,00	5,00	17,31	46,90
350,00	5,83	18,48	45,20	350,00	5,83	17,19	48,10
400,00	6,67	18,40	46,00	400,00	6,67	17,11	48,90
450,00	7,50	18,34	46,60	450,00	7,50	17,05	49,50
510,00	8,50	18,30	47,00	510,00	8,50	17,01	49,90
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 25	778270	1875605	254	Essai 26	778440	1875283	253
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	23,00	0,00	0,00	0,00	19,00	0,00
10,00	0,17	22,36	6,40	10,00	0,17	18,41	5,90

**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

20,00	0,33	21,76	12,40	20,00	0,33	17,86	11,40
30,00	0,50	21,18	18,20	30,00	0,50	17,35	16,50
50,00	0,83	20,66	23,40	50,00	0,83	16,87	21,30
70,00	1,17	20,18	28,20	70,00	1,17	16,45	25,50
90,00	1,50	19,76	32,40	90,00	1,50	16,07	29,30
120,00	2,00	19,38	36,20	120,00	2,00	15,75	32,50
150,00	2,50	19,06	39,40	150,00	2,50	15,47	35,30
180,00	3,00	18,78	42,20	180,00	3,00	15,21	37,90
220,00	3,67	18,56	44,40	220,00	3,67	14,99	40,10
260,00	4,33	18,38	46,20	260,00	4,33	14,80	42,00
300,00	5,00	18,22	47,80	300,00	5,00	14,64	43,60
350,00	5,83	18,10	49,00	350,00	5,83	14,50	45,00
400,00	6,67	18,02	49,80	400,00	6,67	14,38	46,20
450,00	7,50	17,96	50,40	450,00	7,50	14,30	47,00
510,00	8,50	17,92	50,80	510,00	8,50	14,24	47,60
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 27	778640	1875425	255	Essai 28	778137	1875339	254

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	24,00	0,00	0,00	0,00	19,00	0,00
10,00	0,17	23,22	7,80	10,00	0,17	18,51	4,90
20,00	0,33	22,48	15,20	20,00	0,33	18,06	9,40
30,00	0,50	21,80	22,00	30,00	0,50	17,65	13,50
50,00	0,83	21,14	28,60	50,00	0,83	17,27	17,30
70,00	1,17	20,52	34,80	70,00	1,17	16,93	20,70
90,00	1,50	19,94	40,60	90,00	1,50	16,63	23,70
120,00	2,00	19,42	45,80	120,00	2,00	16,35	26,50
150,00	2,50	18,94	50,60	150,00	2,50	16,10	29,00
180,00	3,00	18,50	55,00	180,00	3,00	15,89	31,10
220,00	3,67	18,08	59,20	220,00	3,67	15,71	32,90
260,00	4,33	17,70	63,00	260,00	4,33	15,55	34,50
300,00	5,00	17,38	66,20	300,00	5,00	15,43	35,70
350,00	5,83	17,10	69,00	350,00	5,83	15,35	36,50
400,00	6,67	16,88	71,20	400,00	6,67	15,29	37,10
450,00	7,50	16,70	73,00	450,00	7,50	15,25	37,50
510,00	8,50	16,56	74,40	510,00	8,50	15,23	37,70

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 29	778959	1875397	254	Essai 30	779513	1875307	256
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	21,00	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00
10,00	0,17	20,49	5,10	10,00	0,17	19,38	6,20
20,00	0,33	20,00	10,00	20,00	0,33	18,80	12,00
30,00	0,50	19,52	14,80	30,00	0,50	18,26	17,40
50,00	0,83	19,06	19,40	50,00	0,83	17,76	22,40
70,00	1,17	18,64	23,60	70,00	1,17	17,30	27,00
90,00	1,50	18,26	27,40	90,00	1,50	16,88	31,20
120,00	2,00	17,90	31,00	120,00	2,00	16,50	35,00
150,00	2,50	17,58	34,20	150,00	2,50	16,16	38,40
180,00	3,00	17,30	37,00	180,00	3,00	15,86	41,40
220,00	3,67	17,04	39,60	220,00	3,67	15,60	44,00
260,00	4,33	16,80	42,00	260,00	4,33	15,38	46,20
300,00	5,00	16,60	44,00	300,00	5,00	15,20	48,00
350,00	5,83	16,42	45,80	350,00	5,83	15,04	49,60

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

400,00	6,67	16,26	47,40	400,00	6,67	14,92	50,80
450,00	7,50	16,14	48,60	450,00	7,50	14,82	51,80
510,00	8,50	16,04	49,60	510,00	8,50	14,74	52,60
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 31	778793	1875405	255	Essai 32	779388	1875333	256
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	25,00	0,00
10,00	0,17	17,32	6,80	10,00	0,17	24,18	8,20
20,00	0,33	16,70	13,00	20,00	0,33	23,38	16,20
30,00	0,50	16,10	19,00	30,00	0,50	22,60	24,00
50,00	0,83	15,52	24,80	50,00	0,83	21,85	31,50
70,00	1,17	14,96	30,40	70,00	1,17	21,14	38,60
90,00	1,50	14,44	35,60	90,00	1,50	20,46	45,40
120,00	2,00	13,96	40,40	120,00	2,00	19,84	51,60
150,00	2,50	13,54	44,60	150,00	2,50	19,26	57,40
180,00	3,00	13,16	48,40	180,00	3,00	18,74	62,60
220,00	3,67	12,84	51,60	220,00	3,67	18,26	67,40

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

260,00	4,33	12,56	54,40	260,00	4,33	17,80	72,00
300,00	5,00	12,30	57,00	300,00	5,00	17,38	76,20
350,00	5,83	12,08	59,20	350,00	5,83	17,00	80,00
400,00	6,67	11,90	61,00	400,00	6,67	16,68	83,20
450,00	7,50	11,74	62,60	450,00	7,50	16,40	86,00
510,00	8,50	11,62	63,80	510,00	8,50	16,18	88,20
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 33	779633	1875308	253	Essai 34	778500	1875411	254
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	19,00	0,00	0,00	0,00	21,00	0,00
10,00	0,17	18,36	6,40	10,00	0,17	20,25	7,50
20,00	0,33	17,76	12,40	20,00	0,33	19,54	14,60
30,00	0,50	17,18	18,20	30,00	0,50	18,86	21,40
50,00	0,83	16,62	23,80	50,00	0,83	18,20	28,00
70,00	1,17	16,08	29,20	70,00	1,17	17,58	34,20
90,00	1,50	15,56	34,40	90,00	1,50	17,00	40,00
120,00	2,00	15,08	39,20	120,00	2,00	16,44	45,60

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

150,00	2,50	14,62	43,80	150,00	2,50	15,92	50,80
180,00	3,00	14,20	48,00	180,00	3,00	15,44	55,60
220,00	3,67	13,82	51,80	220,00	3,67	15,00	60,00
260,00	4,33	13,46	55,40	260,00	4,33	14,58	64,20
300,00	5,00	13,14	58,60	300,00	5,00	14,20	68,00
350,00	5,83	12,86	61,40	350,00	5,83	13,88	71,20
400,00	6,67	12,60	64,00	400,00	6,67	13,60	74,00
450,00	7,50	12,38	66,20	450,00	7,50	13,36	76,40
510,00	8,50	12,20	68,00	510,00	8,50	13,16	78,40
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 35	778025	1875432	254	Essai 36	778260	1875470	254
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	22,00	0,00	0,00	0,00	18,00	0,00
10,00	0,17	21,17	8,30	10,00	0,17	17,32	6,80
20,00	0,33	20,36	16,40	20,00	0,33	16,68	13,20
30,00	0,50	19,56	24,40	30,00	0,50	16,08	19,20
50,00	0,83	18,78	32,20	50,00	0,83	15,50	25,00

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

70,00	1,17	18,03	39,70	70,00	1,17	14,96	30,40
90,00	1,50	17,32	46,80	90,00	1,50	14,46	35,40
120,00	2,00	16,64	53,60	120,00	2,00	13,98	40,20
150,00	2,50	16,00	60,00	150,00	2,50	13,56	44,40
180,00	3,00	15,40	66,00	180,00	3,00	13,18	48,20
220,00	3,67	14,82	71,80	220,00	3,67	12,82	51,80
260,00	4,33	14,30	77,00	260,00	4,33	12,50	55,00
300,00	5,00	13,82	81,80	300,00	5,00	12,22	57,80
350,00	5,83	13,40	86,00	350,00	5,83	12,00	60,00
400,00	6,67	13,02	89,80	400,00	6,67	11,82	61,80
450,00	7,50	12,66	93,40	450,00	7,50	11,66	63,40
510,00	8,50	12,34	96,60	510,00	8,50	11,54	64,60
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 37	778119	1875628	254	Essai 38	778683	1875248	255
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	24,00	0,00
10,00	0,17	16,44	5,60	10,00	0,17	23,18	8,20

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

20,00	0,33	15,90	11,00	20,00	0,33	22,38	16,20
30,00	0,50	15,38	16,20	30,00	0,50	21,60	24,00
50,00	0,83	14,90	21,00	50,00	0,83	20,86	31,40
70,00	1,17	14,44	25,60	70,00	1,17	20,14	38,60
90,00	1,50	14,02	29,80	90,00	1,50	19,46	45,40
120,00	2,00	13,66	33,40	120,00	2,00	18,80	52,00
150,00	2,50	13,34	36,60	150,00	2,50	18,18	58,20
180,00	3,00	13,06	39,40	180,00	3,00	17,60	64,00
220,00	3,67	12,80	42,00	220,00	3,67	17,08	69,20
260,00	4,33	12,58	44,20	260,00	4,33	16,60	74,00
300,00	5,00	12,40	46,00	300,00	5,00	16,18	78,20
350,00	5,83	12,24	47,60	350,00	5,83	15,80	82,00
400,00	6,67	12,10	49,00	400,00	6,67	15,44	85,60
450,00	7,50	11,98	50,20	450,00	7,50	15,12	88,80
510,00	8,50	11,90	51,00	510,00	8,50	14,84	91,60
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 39	779234	1875384	255	Essai 40	779425	1875139	255

Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	27,00	0,00	0,00	0,00	23,00	0,00
10,00	0,17	26,16	8,40	10,00	0,17	22,34	6,60
20,00	0,33	25,35	16,50	20,00	0,33	21,70	13,00
30,00	0,50	24,57	24,30	30,00	0,50	21,08	19,20
50,00	0,83	23,83	31,70	50,00	0,83	20,50	25,00
70,00	1,17	23,13	38,70	70,00	1,17	19,94	30,60
90,00	1,50	22,45	45,50	90,00	1,50	19,40	36,00
120,00	2,00	21,80	52,00	120,00	2,00	18,88	41,20
150,00	2,50	21,19	58,10	150,00	2,50	18,40	46,00
180,00	3,00	20,61	63,90	180,00	3,00	17,94	50,60
220,00	3,67	20,05	69,50	220,00	3,67	17,50	55,00
260,00	4,33	19,53	74,70	260,00	4,33	17,08	59,20
300,00	5,00	19,05	79,50	300,00	5,00	16,70	63,00
350,00	5,83	18,61	83,90	350,00	5,83	16,34	66,60
400,00	6,67	18,19	88,10	400,00	6,67	16,00	70,00
450,00	7,50	17,81	91,90	450,00	7,50	15,70	73,00
510,00	8,50	17,45	95,50	510,00	8,50	15,42	75,80

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 41	778904	1875328	254	Essai 42	779593	1875200	256
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	17,00	0,00	0,00	0,00	21,00	0,00
10,00	0,17	16,17	8,30	10,00	0,17	20,22	7,80
20,00	0,33	15,38	16,20	20,00	0,33	19,46	15,40
30,00	0,50	14,61	23,90	30,00	0,50	18,74	22,60
50,00	0,83	13,61	33,90	50,00	0,83	18,06	29,40
70,00	1,17	13,25	37,50	70,00	1,17	17,40	36,00
90,00	1,50	12,90	41,00	90,00	1,50	16,78	42,20
120,00	2,00	12,60	44,00	120,00	2,00	16,20	48,00
150,00	2,50	12,32	46,80	150,00	2,50	15,66	53,40
180,00	3,00	11,32	56,80	180,00	3,00	15,18	58,20
220,00	3,67	11,12	58,80	220,00	3,67	14,74	62,60
260,00	4,33	10,94	60,60	260,00	4,33	14,34	66,60
300,00	5,00	10,78	62,20	300,00	5,00	13,96	70,40
350,00	5,83	9,78	72,20	350,00	5,83	13,64	73,60

Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali

400,00	6,67	9,68	73,20	400,00	6,67	13,36	76,40
450,00	7,50	9,60	74,00	450,00	7,50	13,10	79,00
510,00	8,50	9,50	75,00	510,00	8,50	12,88	81,20
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 43	779480	1875225	255	Essai 44	779455	1875410	256
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	16,00	0,00	0,00	0,00	18,00	0,00
10,00	0,17	15,42	5,80	10,00	0,17	17,21	7,90
20,00	0,33	14,86	11,40	20,00	0,33	16,45	15,50
30,00	0,50	14,34	16,60	30,00	0,50	15,73	22,70
50,00	0,83	13,86	21,40	50,00	0,83	15,05	29,50
70,00	1,17	13,42	25,80	70,00	1,17	14,39	36,10
90,00	1,50	13,02	29,80	90,00	1,50	13,77	42,30
120,00	2,00	12,66	33,40	120,00	2,00	13,19	48,10
150,00	2,50	12,34	36,60	150,00	2,50	12,65	53,50
180,00	3,00	12,06	39,40	180,00	3,00	12,15	58,50
220,00	3,67	11,80	42,00	220,00	3,67	11,69	63,10

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

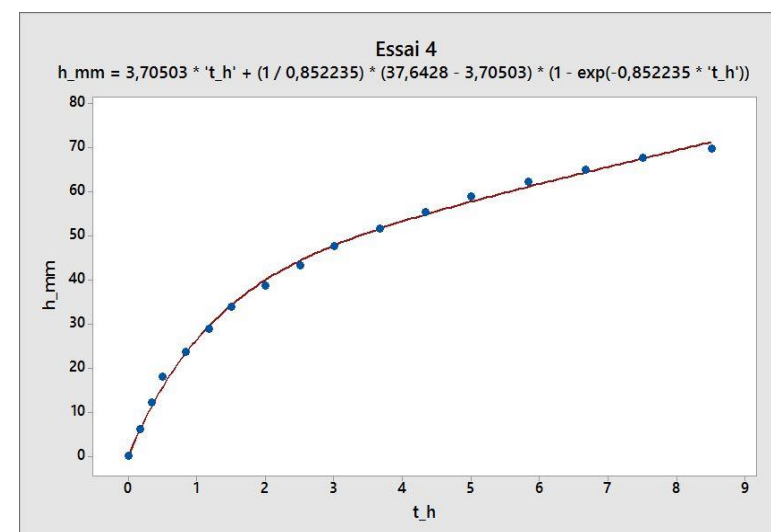
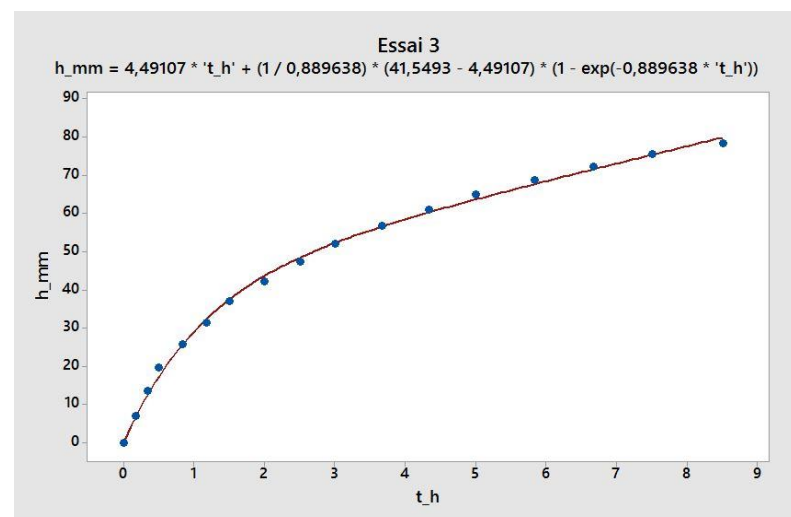
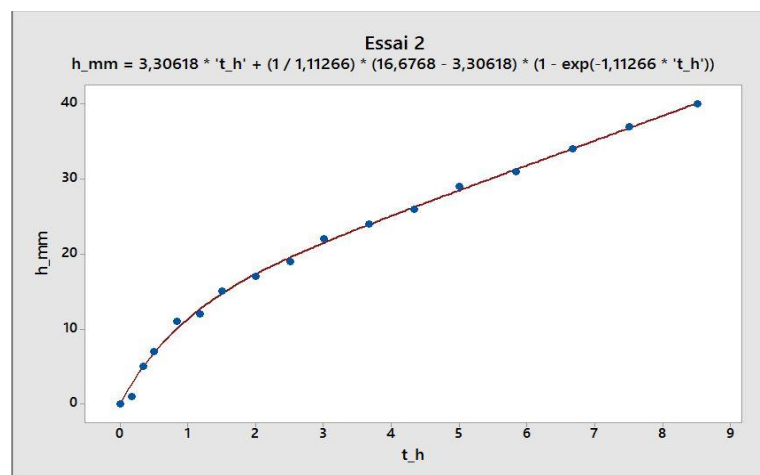
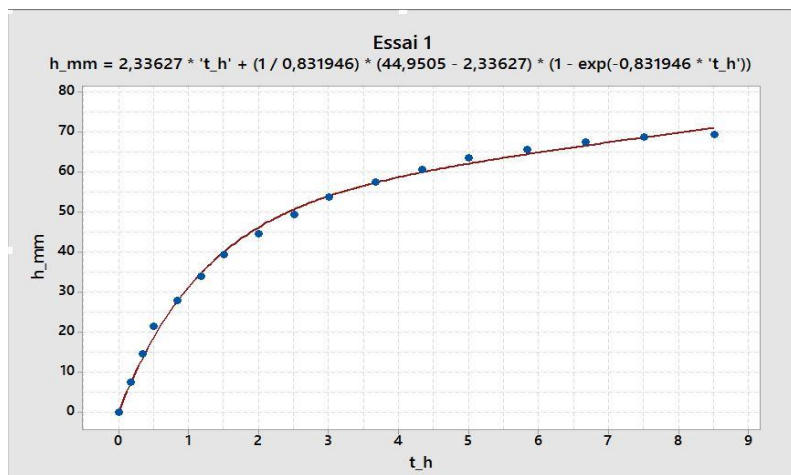
260,00	4,33	11,56	44,40	260,00	4,33	11,27	67,30
300,00	5,00	11,36	46,40	300,00	5,00	10,89	71,10
350,00	5,83	11,18	48,20	350,00	5,83	10,55	74,50
400,00	6,67	11,02	49,80	400,00	6,67	10,27	77,30
450,00	7,50	10,90	51,00	450,00	7,50	10,03	79,70
510,00	8,50	10,80	52,00	510,00	8,50	9,83	81,70
Coordonnées	30 Q			Coordonnées	30 Q		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Essai 45	778643	1875352	254	Essai 46	778448	1875541	256
Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)	Temps (min)	Temps (h)	h remplissage (cm)	h cumul (mm)
0,00	0,00	26,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00
10,00	0,17	25,11	8,90	10,00	0,17	14,43	5,70
20,00	0,33	24,26	17,40	20,00	0,33	13,89	11,10
30,00	0,50	23,45	25,50	30,00	0,50	13,39	16,10
50,00	0,83	22,67	33,30	50,00	0,83	12,91	20,90
70,00	1,17	21,93	40,70	70,00	1,17	12,47	25,30
90,00	1,50	21,23	47,70	90,00	1,50	12,07	29,30
120,00	2,00	20,55	54,50	120,00	2,00	11,69	33,10

**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

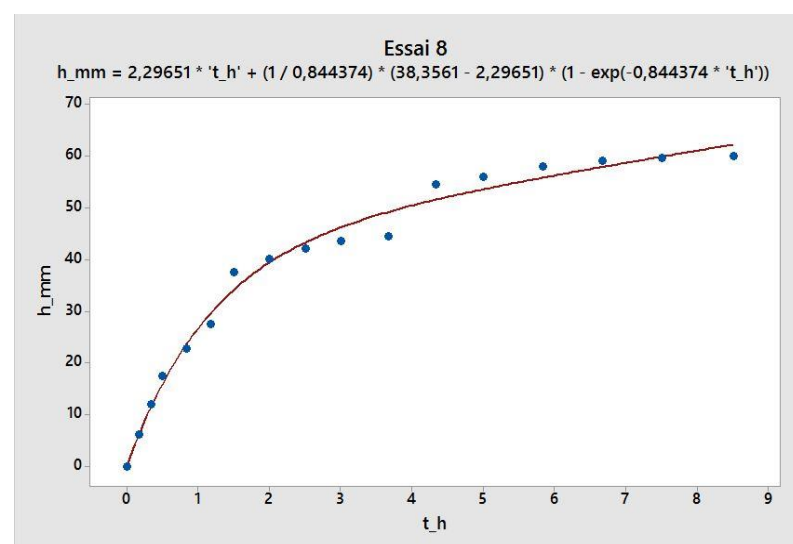
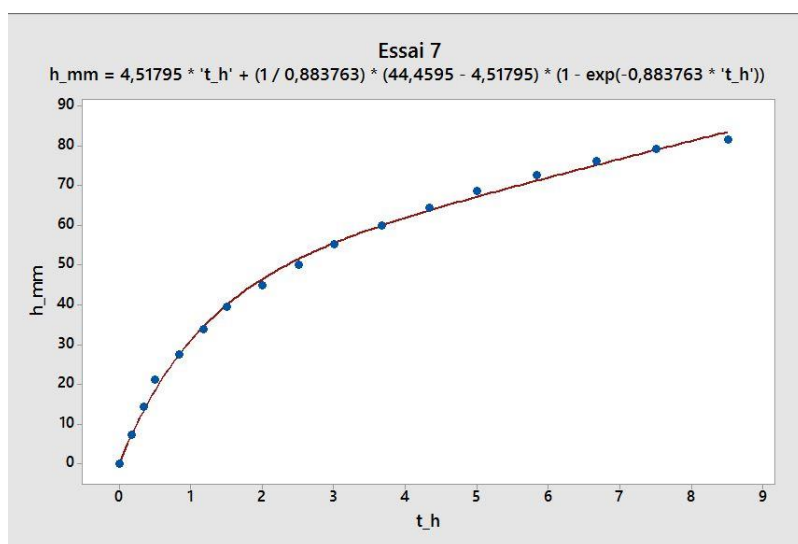
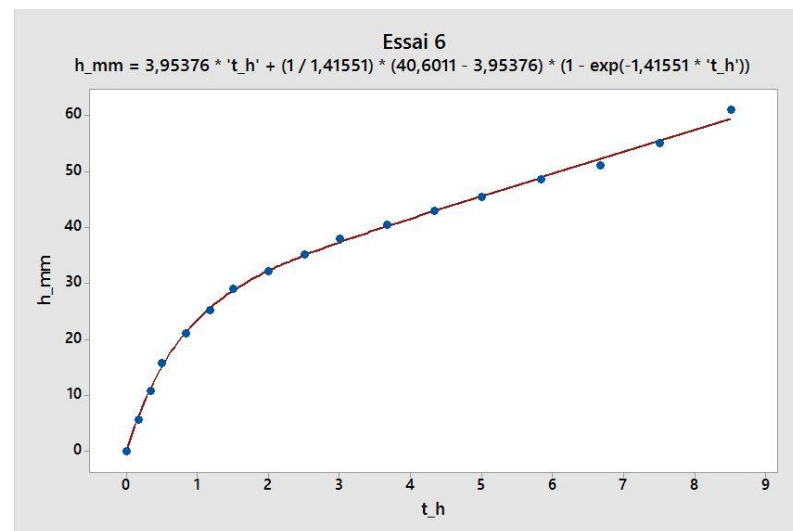
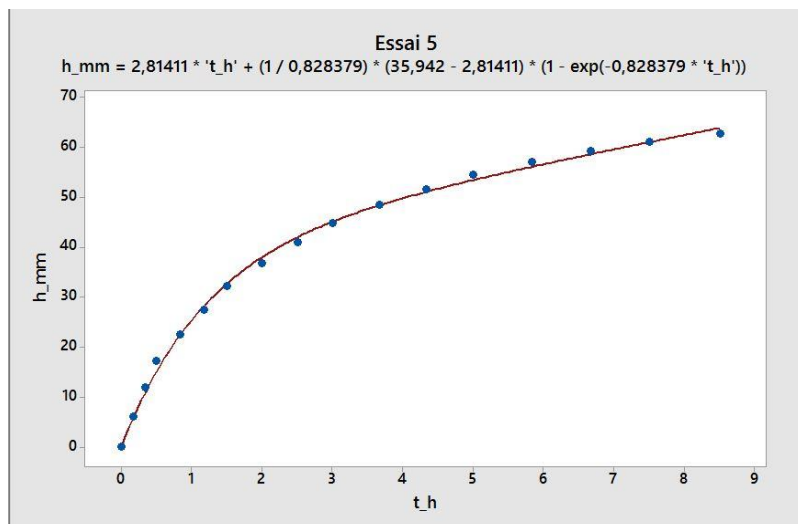
150,00	2,50	19,91	60,90	150,00	2,50	11,35	36,50
180,00	3,00	19,30	67,00	180,00	3,00	11,05	39,50
220,00	3,67	18,72	72,80	220,00	3,67	10,77	42,30
260,00	4,33	18,18	78,20	260,00	4,33	10,55	44,50
300,00	5,00	17,70	83,00	300,00	5,00	10,37	46,30
350,00	5,83	17,26	87,40	350,00	5,83	10,21	47,90
400,00	6,67	16,86	91,40	400,00	6,67	10,09	49,10
450,00	7,50	16,48	95,20	450,00	7,50	10,01	49,90
510,00	8,50	16,12	98,80	510,00	8,50	9,95	50,50

**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

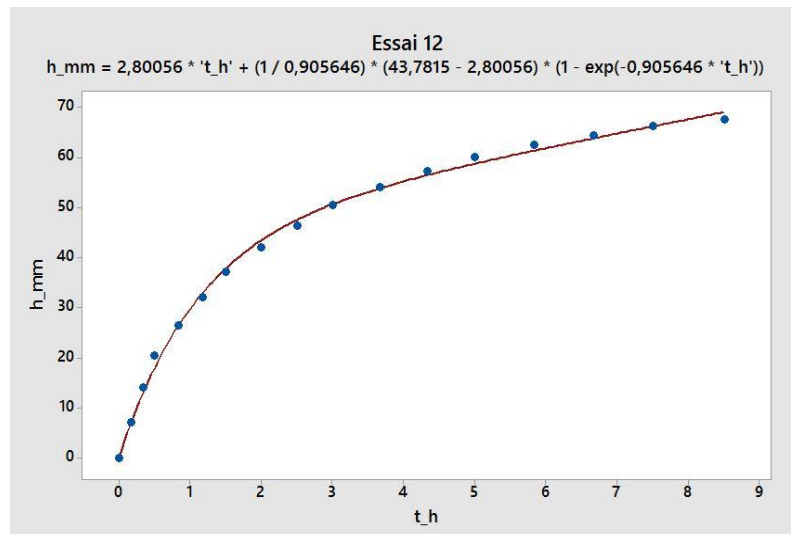
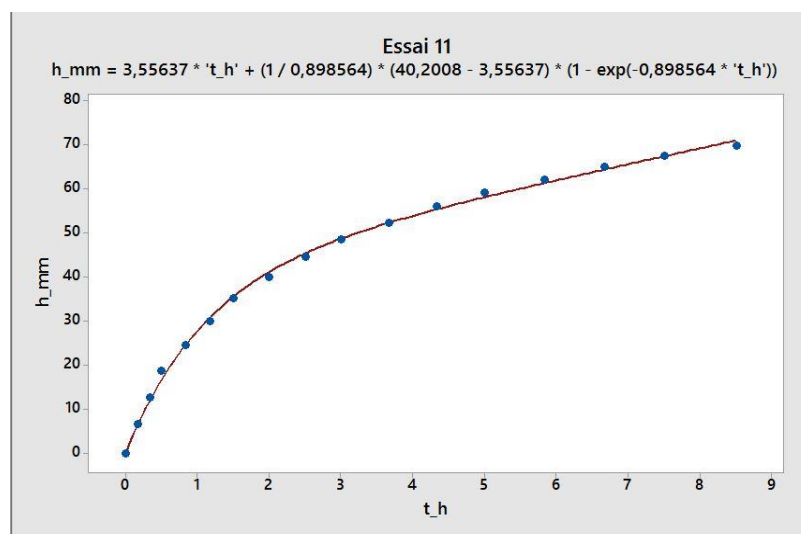
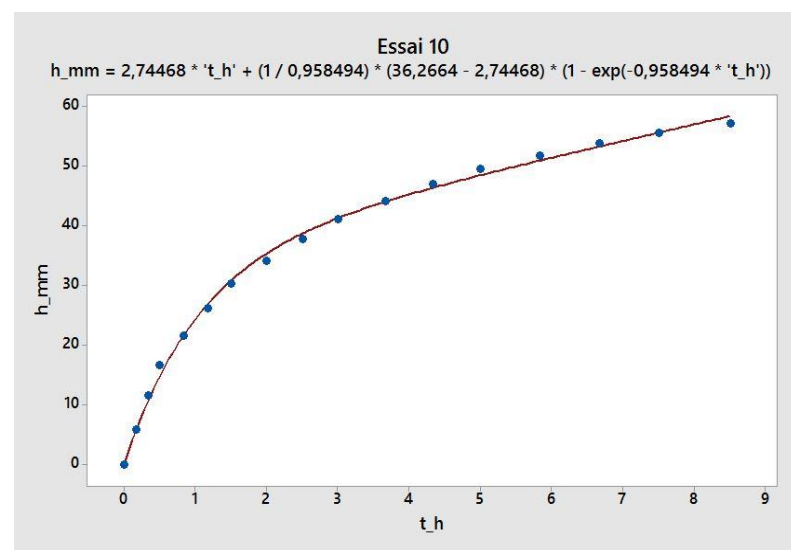
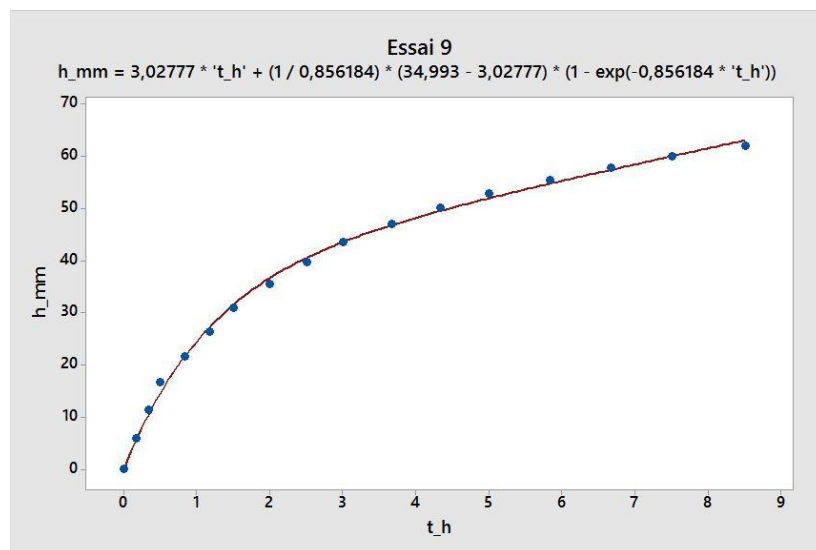
ANNEXE VIII : LES COURBES D'INFILTRATION DE MUTZ



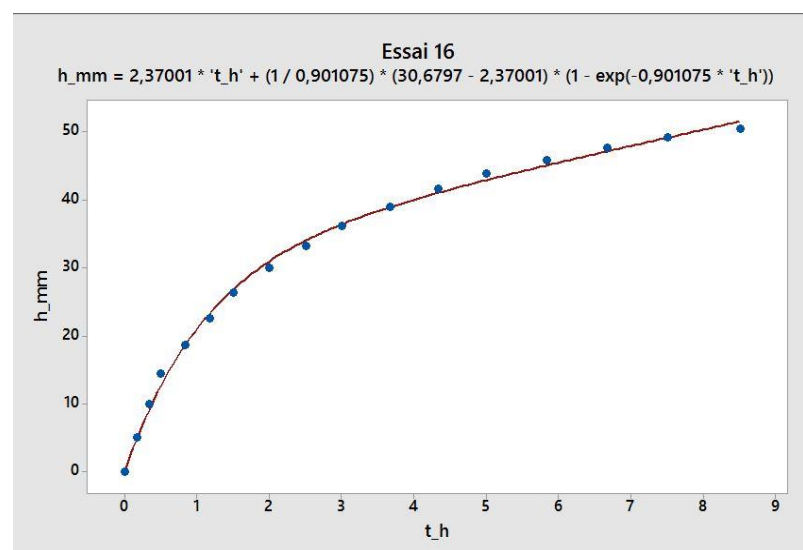
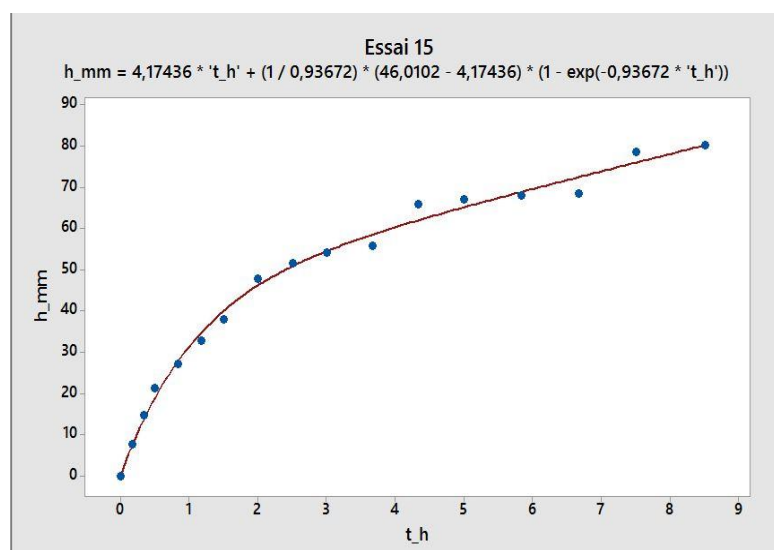
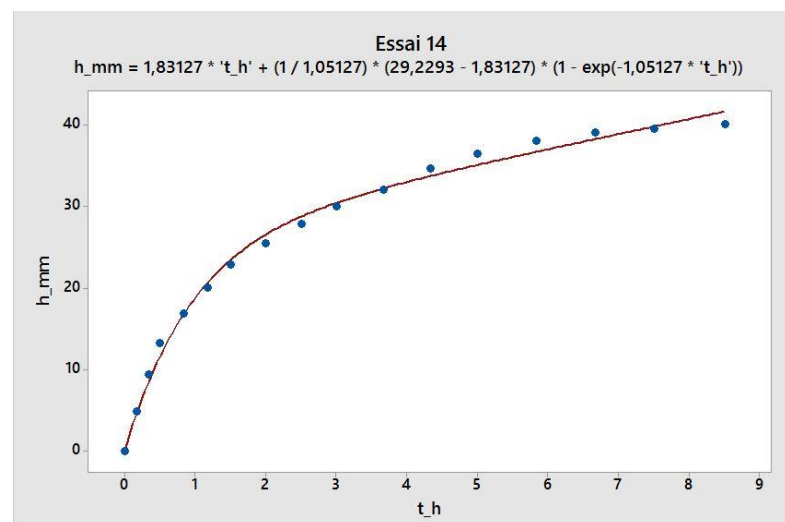
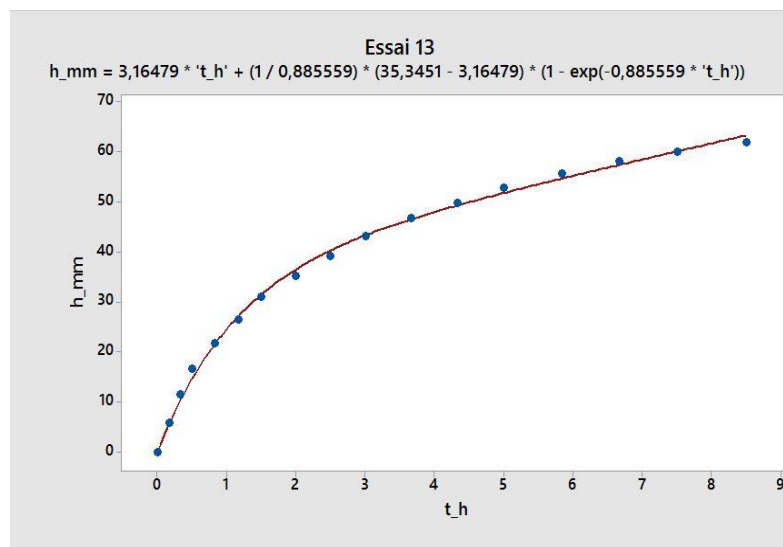
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



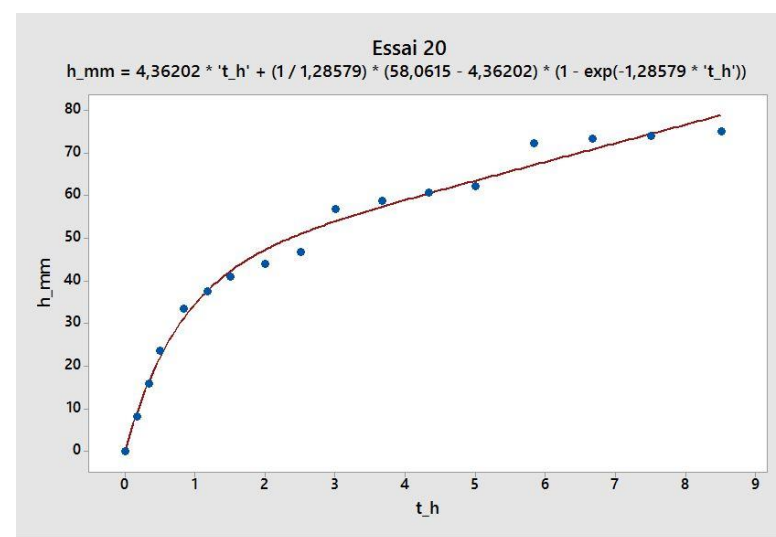
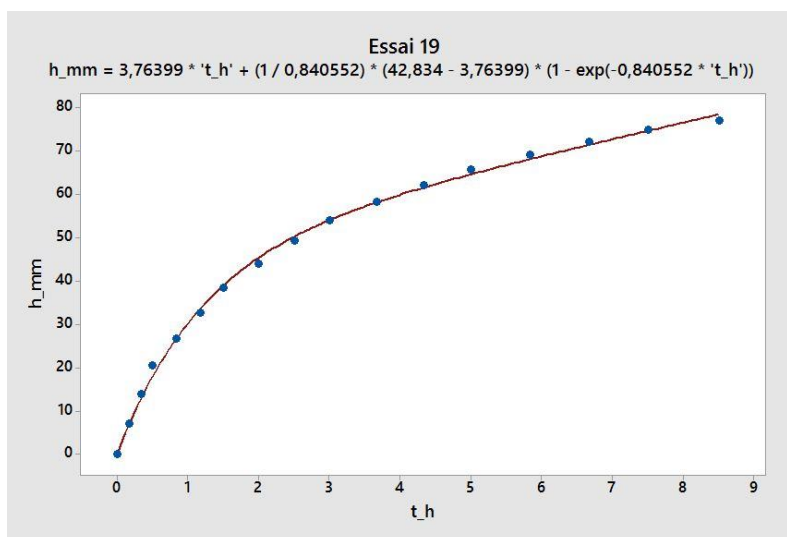
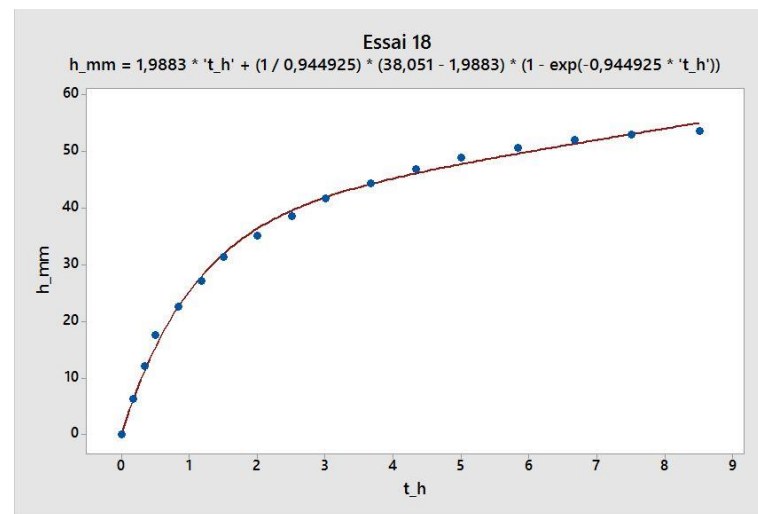
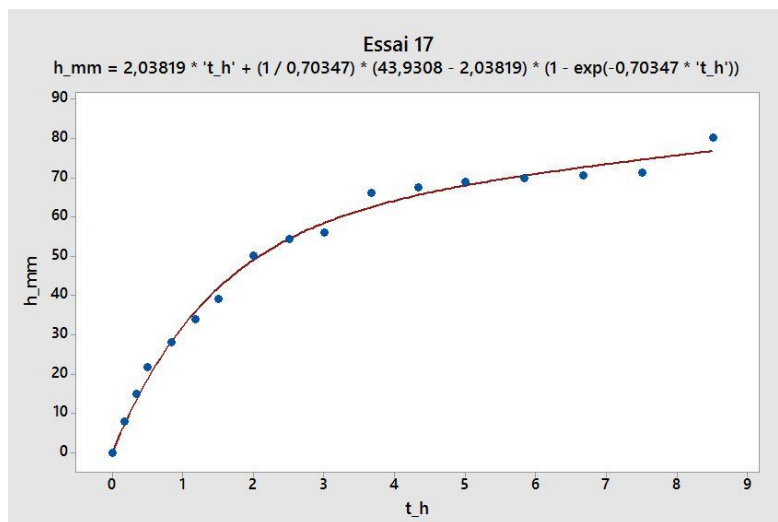
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



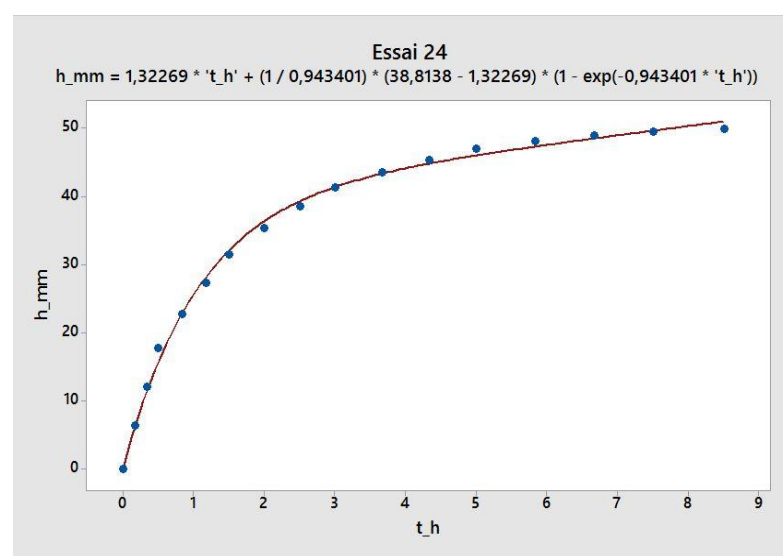
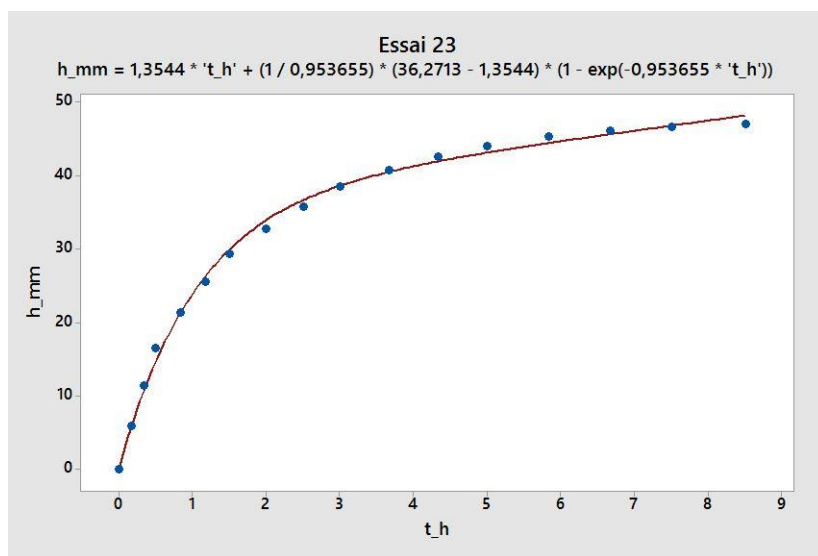
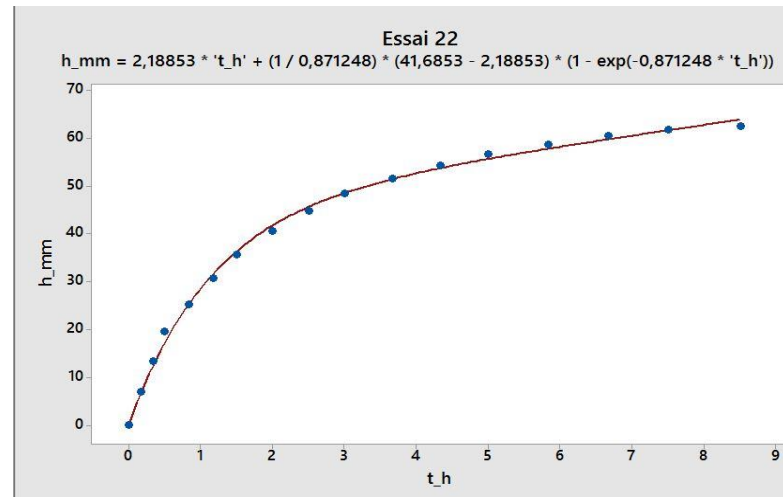
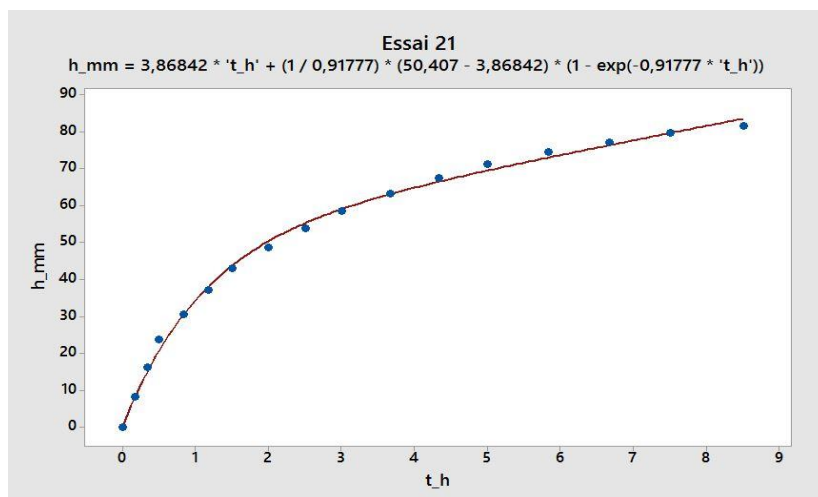
**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



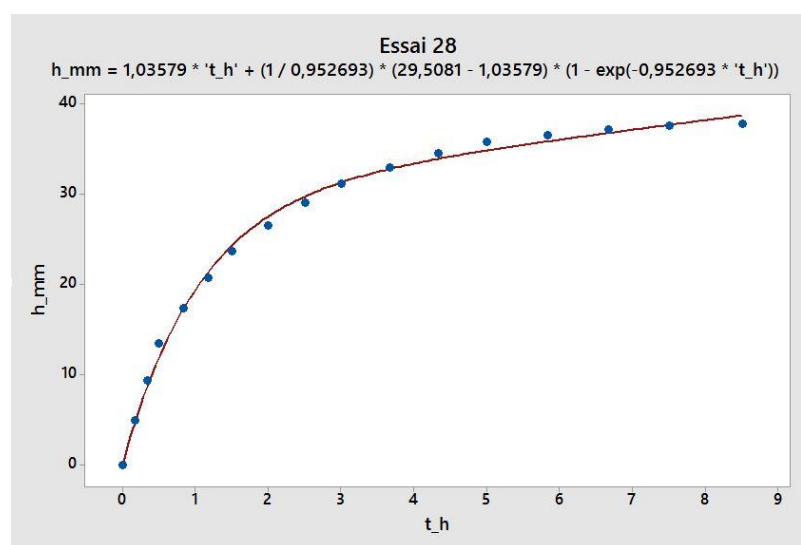
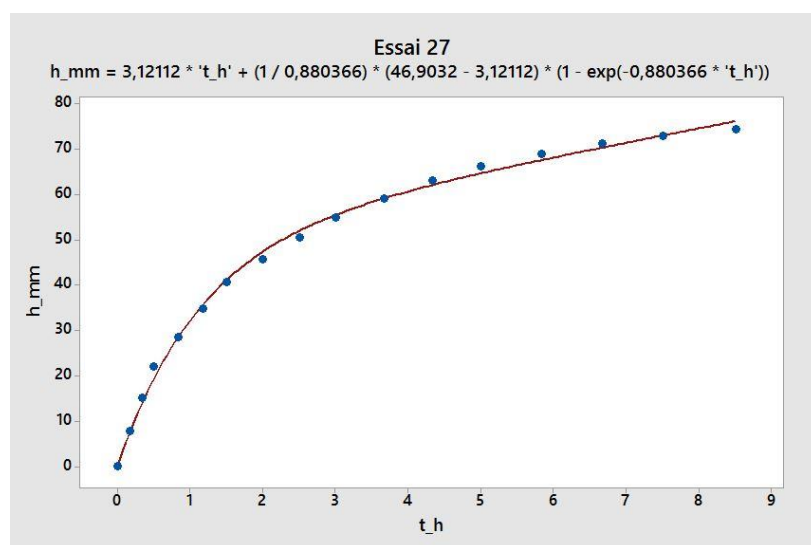
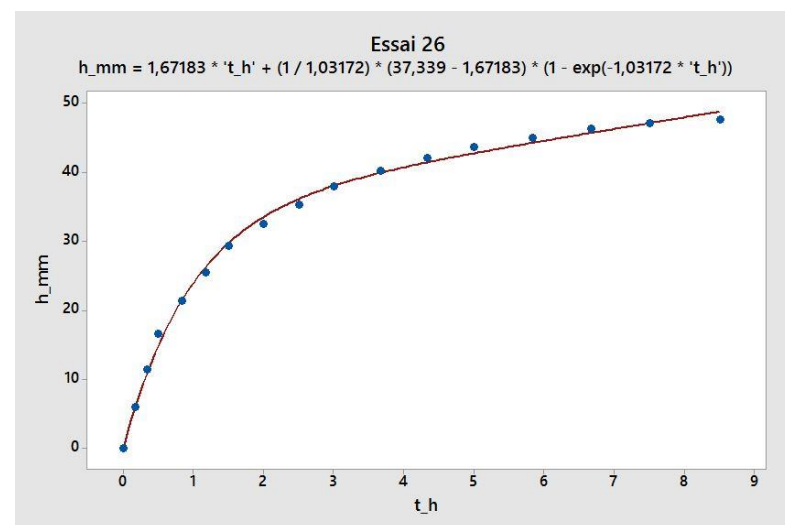
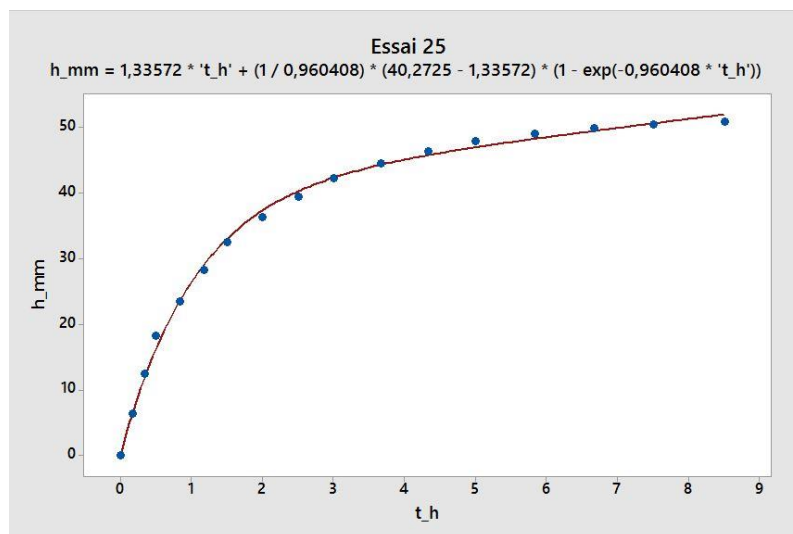
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



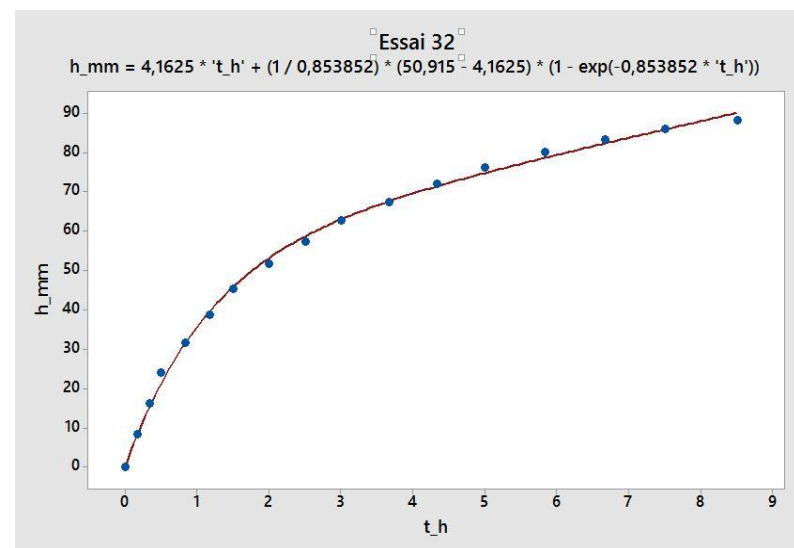
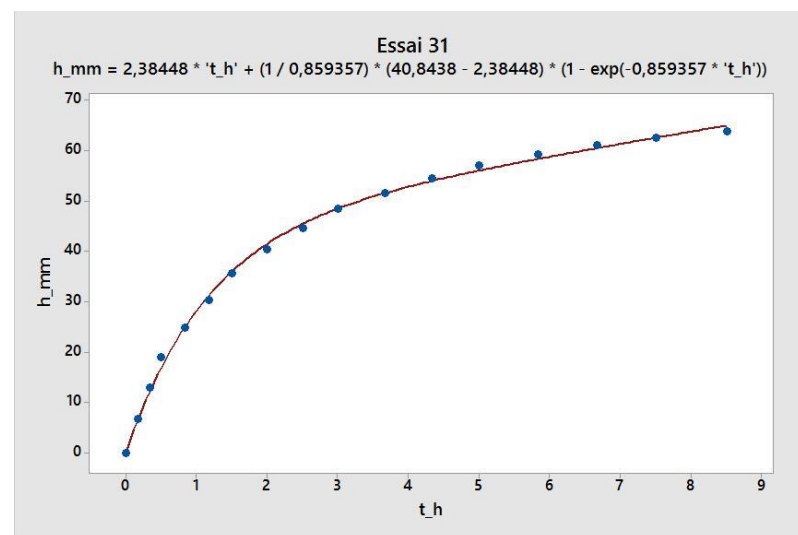
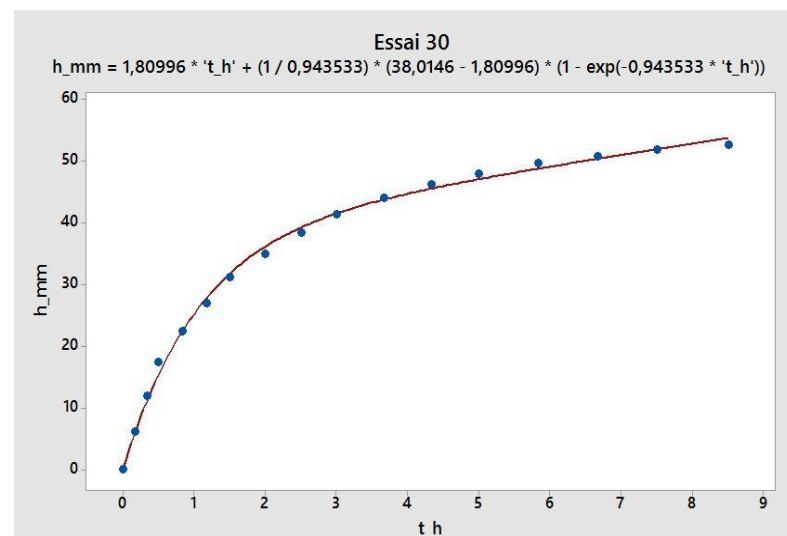
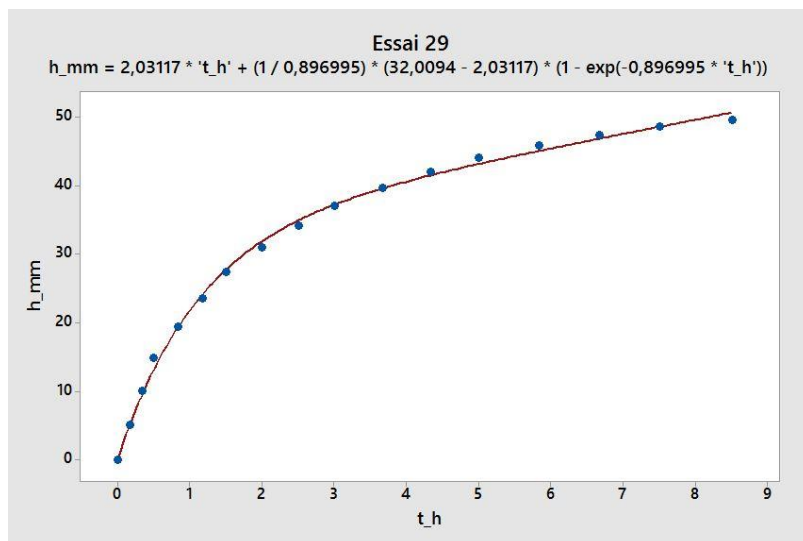
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



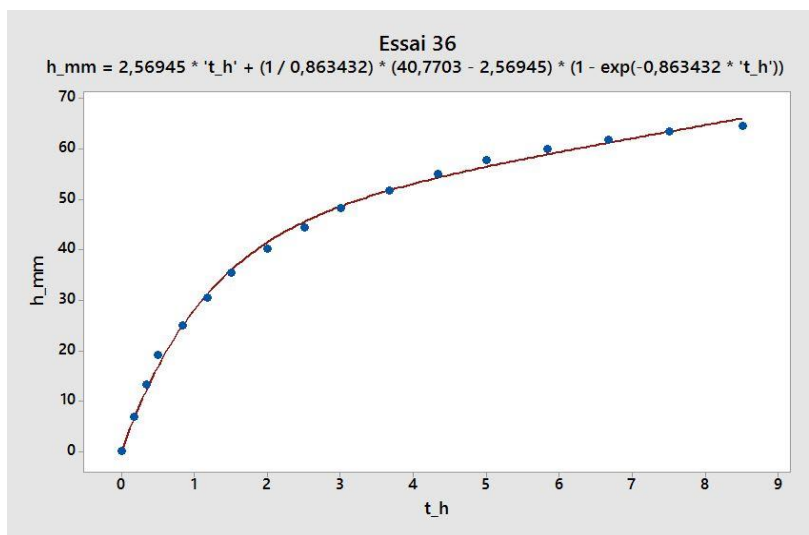
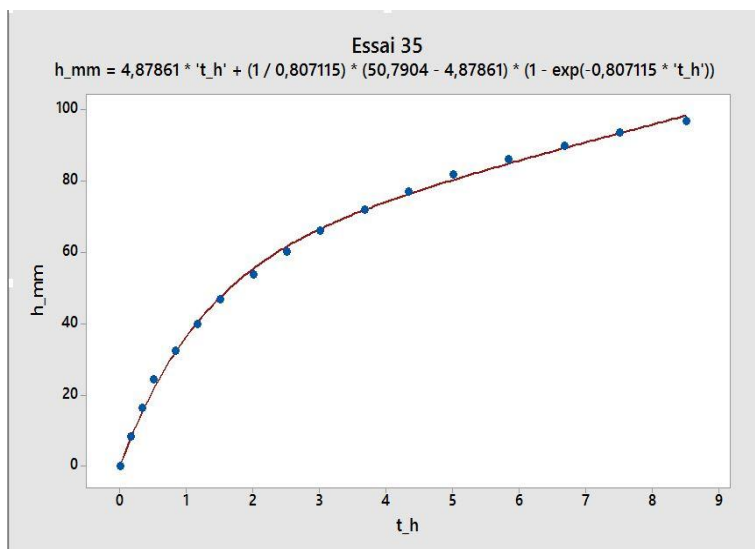
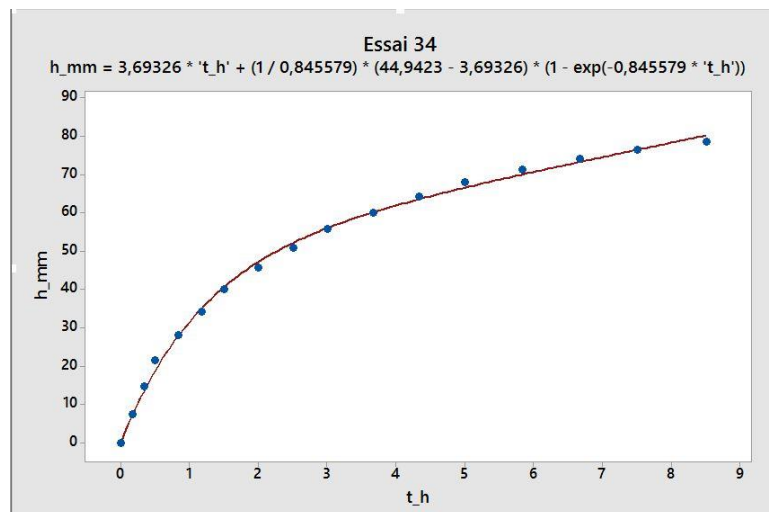
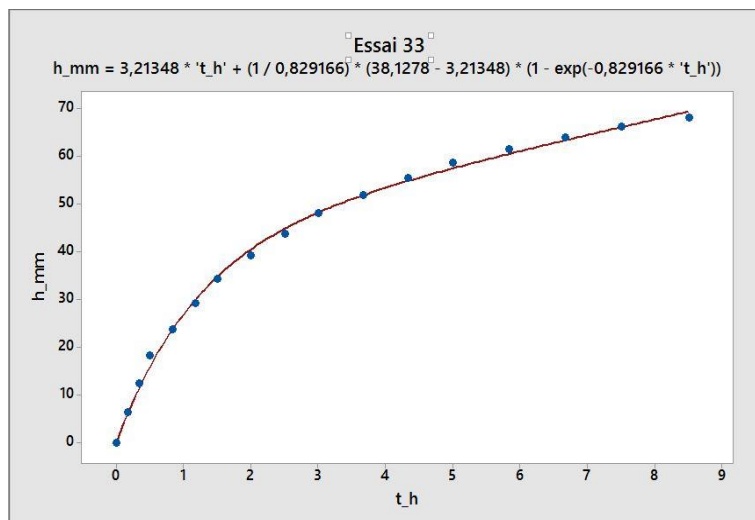
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



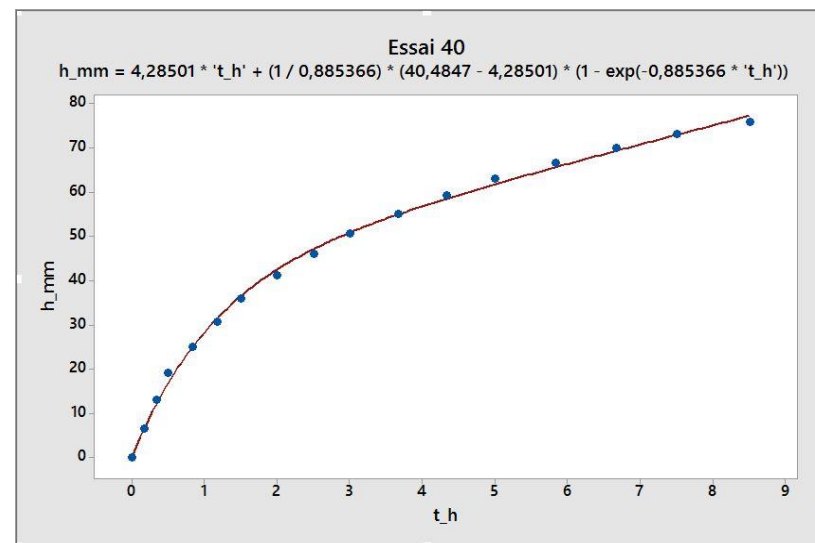
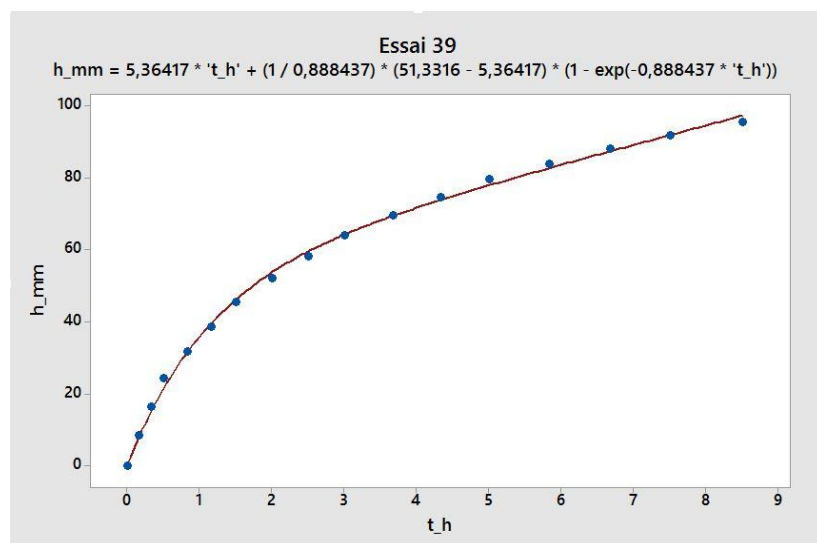
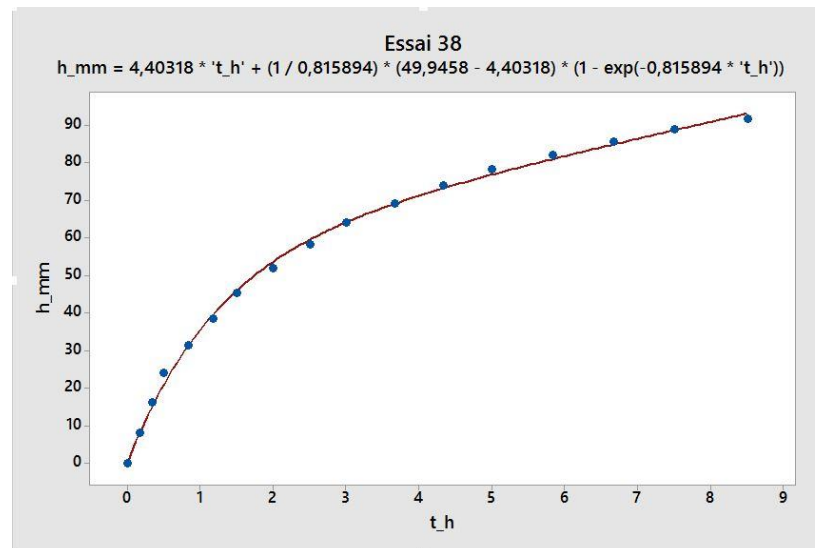
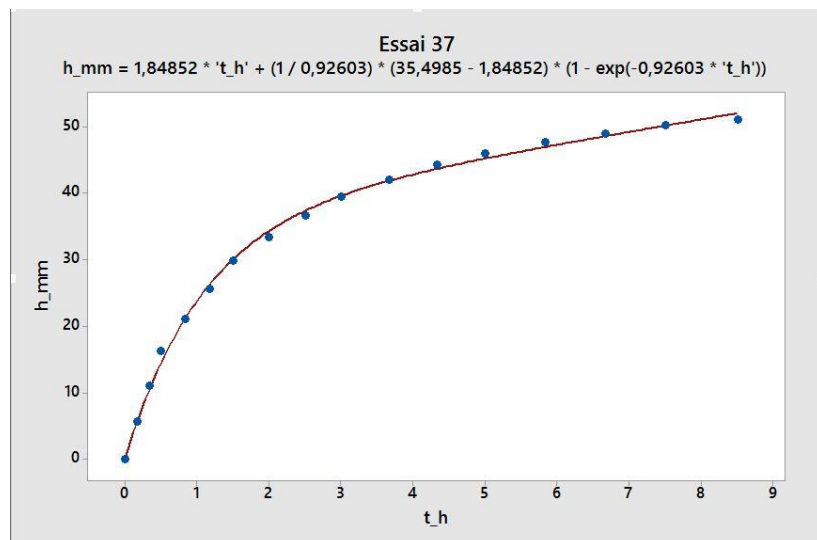
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



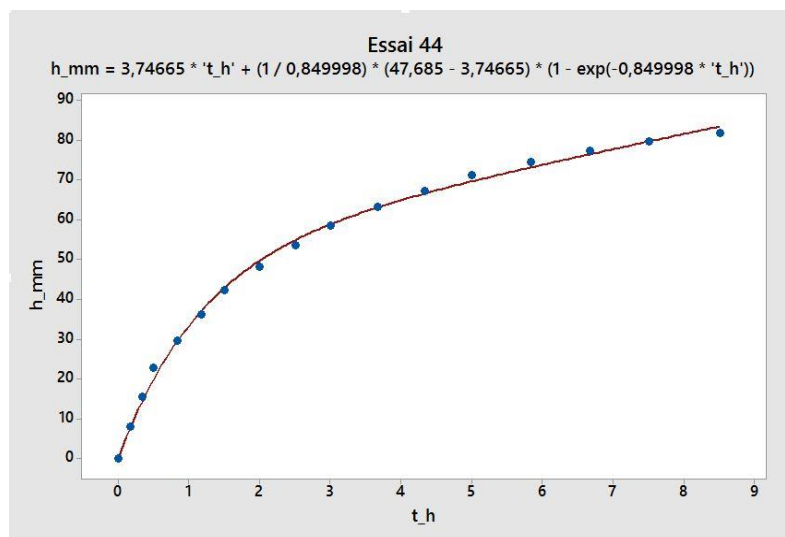
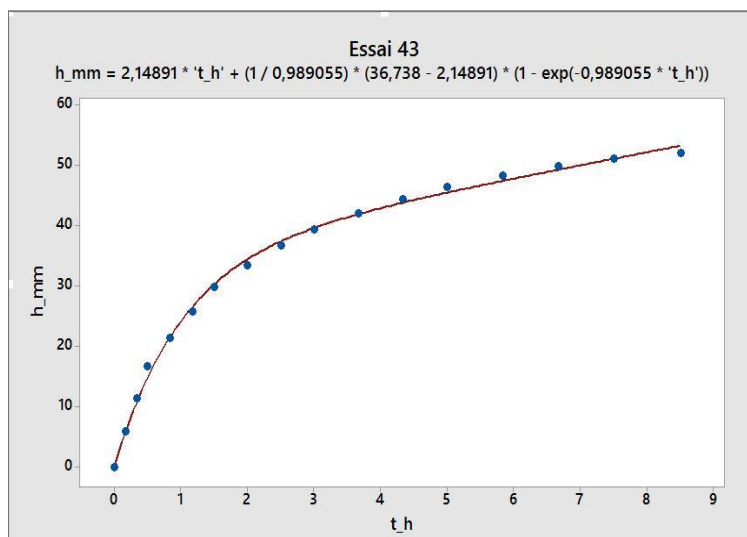
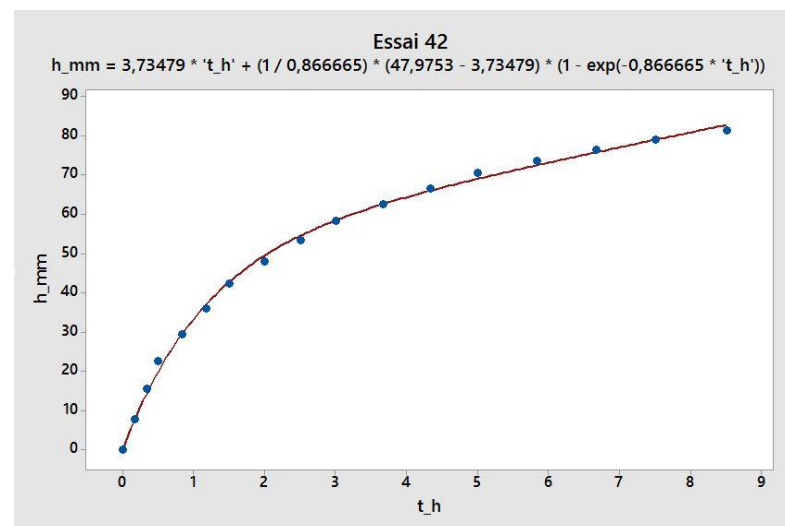
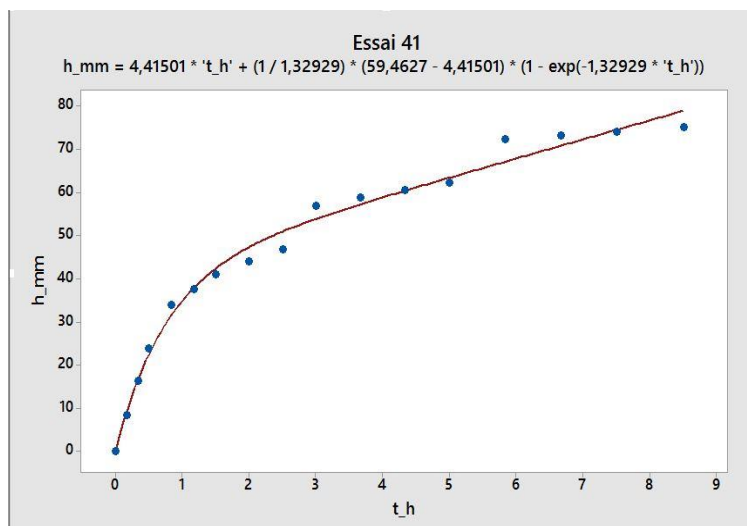
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



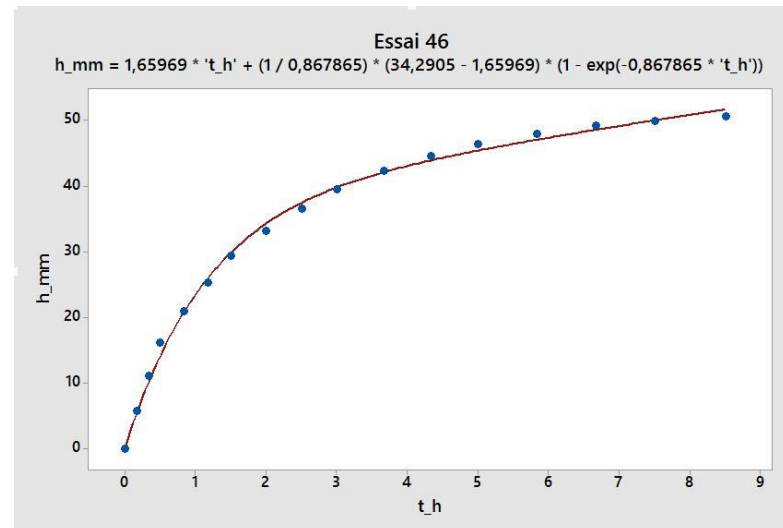
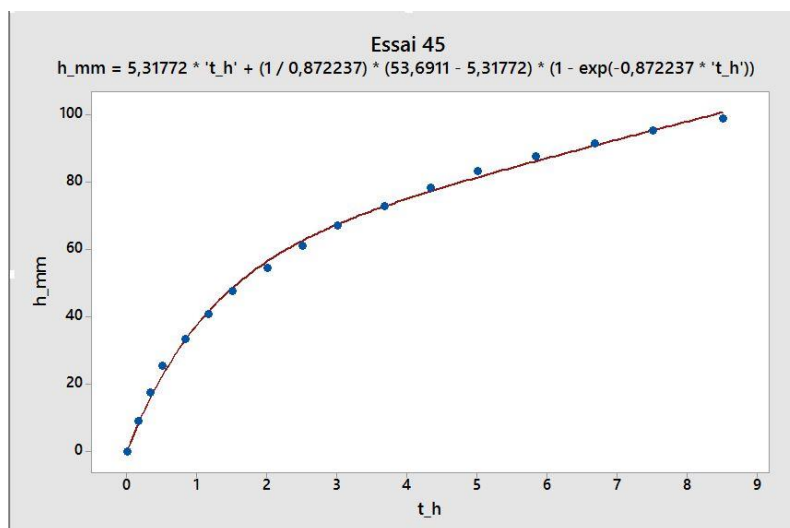
**Etudes techniques d'aménagement en maîtrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

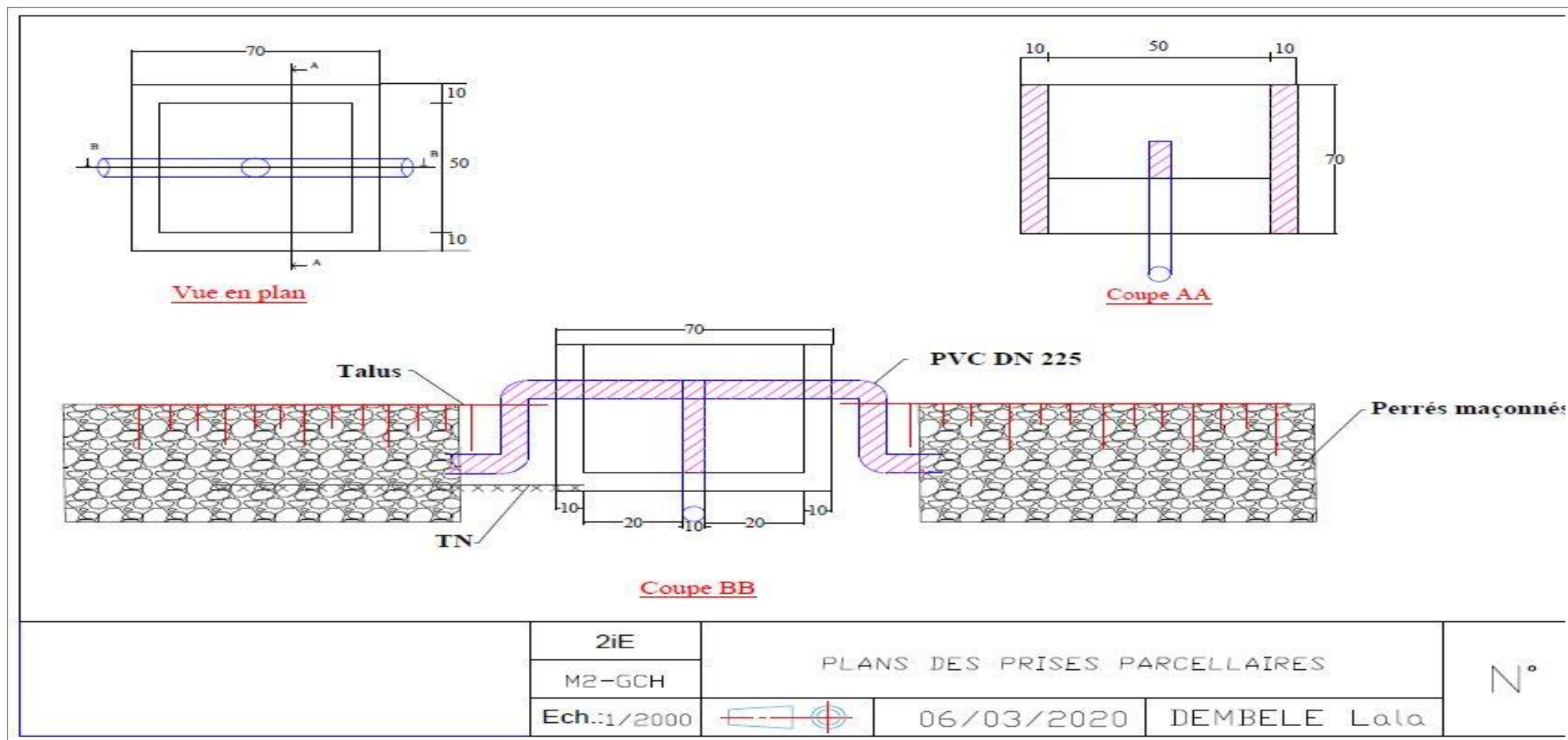


**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**



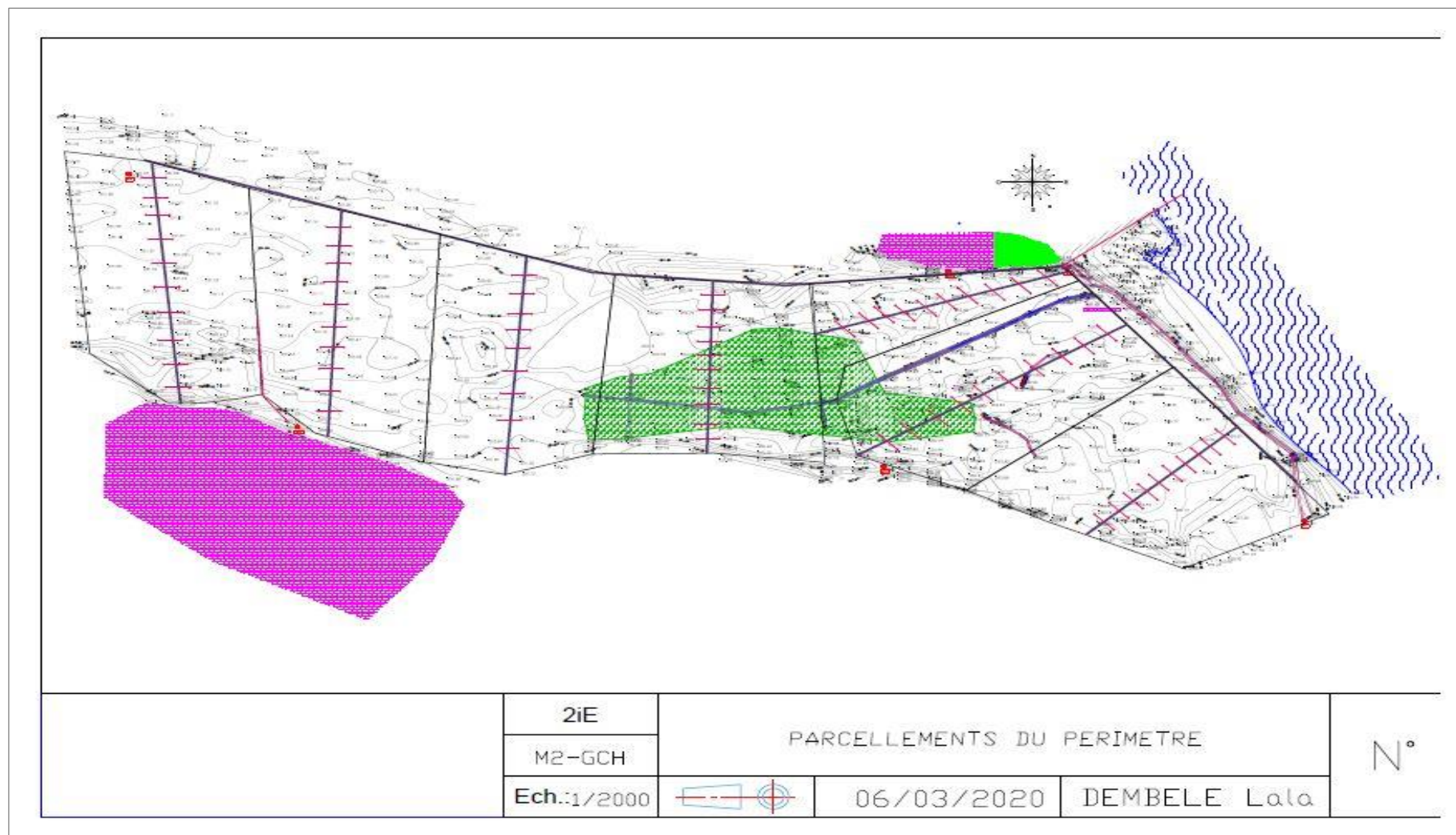
**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

PIECES DESSINEES
Plan des prises parcelaires



**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Parcellement du périmètre



**Etudes techniques d'aménagement en maitrise totale du périmètre irrigué de Bourem (80 ha)
dans la région de Gao au Mali**

Plan des bassins partiteurs

