



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

OPTIONS DE RATIONALISATION DU POMPAGE SUR RIVIERE ET DE LA DISTRIBUTION D'EAU SUR LE PERIMETRE IRRIGUE DE BANANIERES DE FARA AU BURKINA FASO

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

Réalisé par

ADOUM ATTOR Annour

Sous la direction de :

Hamma YACOUBA, Enseignant-Chercheur (Chef UTER-GVEA)

Amadou KEITA, Enseignant-Chercheur (UTER-GVEA)

Promotion 2008/2009

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à :

■ *Mon père ATTOR Annour Wadack et ma mère Mariam Ali Hassan, qui ont toujours cru en mes efforts depuis mon premier pas à l'école et n'ont ménagé aucun effort pour mon éducation et ma réussite.*

■ *Mon oncle Dr Mahamat Annour Wadack, qui n'a jamais baissé les bras à me soutenir dans mes études.*

■ *Mon épouse Raouda Mahamat Issaka, pour son endurance et son soutien inlassable. Qu'elle trouve ici la joie et la récompense de ses multiples sacrifices.*

■ *Ma fille Oummi-Mariam Adoum Attor, qui depuis trois années a su garder la patience et l'espoir et a surmonté, malgré elle, ma longue absence.*

■ *Mes filles bien-aimées Fatimé-zara Adoum Attor et Mouna Adoum Attor la Ouagalaise, qui ont su me distraire pendant les moments difficiles.*

■ *Mes inoubliables frères et sœurs qui m'ont toujours soutenu et éprouvé de la joie pour mes succès et de la peine pour mes moments difficiles.*

■ *Toute ma famille pour ses encouragements et ses soutiens multiformes pendant ma formation.*

■ *Tous mes amis et collègues de la coopération suisse au Tchad, qui attendent de moi ce résultat. Qu'Allah fasse que tous nos rêves se réalisent !*

■ *A tous, je formule ma profonde gratitude pour les multiples peines que vous avez endurées pour moi.*

REMERCIEMENTS

Louange et Glorification à DIEU EXALTE SEUL DETENTEUR DU SAVOIR ET DU POUVOIR INFINI.

Les mots paraissent toujours bien radins quand vient le moment d'être reconnaissant et de dire merci à ceux qui, patience et dévouement, vous ont guidé et aidé. « *Bien malheureux celui qui évalue la quantité de bien qu'on lui fit.* »

Je tiens particulièrement à remercier :

- Le Bureau de la Coopération Suisse au Tchad *pour avoir accepté*, par le biais du programme TCH49 Wadi Fira, de financer si généreusement notre formation.
- Mes encadreurs MM. *Amadou KEITA* et *Hamma YACOUBA* pour avoir accepté de me suivre dans ce travail ; leur disponibilité, leurs enseignements et leurs conseils avisés m'ont été un apport précieux, qu'ils soient louablement gratifiés.
- MM. OUEDRAOGO Mahamadi, SAWADOGO Issaka, Somé Robert, OUEDRAGO Boukari, SAWADOGO Filbert, HIEN Badiourkoum et leurs collègues de SOCAF pour leur disponibilité et leur chaleureux accueil lors de notre séjour parmi eux à Faso Djigui, dans le département de Fara.
- M. Séwa K. da SILVEIRA, pour sa disponibilité et ses conseils.
- M. DEMBELE Diuntoma Serge-Didier, bibliothécaire au Centre de Documentation et d'Information du 2iE, qui a mis à notre disposition toute la documentation nécessaire.
- Tout le corps enseignant du 2iE pour la qualité de la formation reçue.
- Tous les compatriotes de Ouagadougou pour leur solidarité et les camarades de classe du 2iE pour les bons moments passés ensemble.
- Tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'aboutissement de ce travail.

RESUME

Le périmètre de bananiers de Fara est irrigué par un système de distribution par conduite, communément appelé « système californien ». De l'implantation d'une parcelle pilote de 5 ha irriguée par aspersion à l'exploitation actuelle de 30 ha, des enseignements ont été tirés des difficultés rencontrées et de l'expérience acquise tant au niveau de l'installation que de l'exploitation.

Les contraintes liées aux aléas climatiques provoquant une réduction de la ressource en eau du fleuve Mouhoun, l'accroissement des aménagements hydro-agricoles et des prélèvements au fil de l'eau d'une part, la hausse du coût de la main-d'œuvre et du prix du carburant qui se traduisent par une augmentation du coût d'irrigation d'autre part, ont conduit la SOCAF à envisager d'autres techniques d'irrigation moins gaspilleuses d'eau. Les techniques d'irrigation par goutte-à-goutte et par barboteurs, proposées dans la présente étude, combinent tout à fait harmonieusement l'efficacité et la qualité ; ce qui hisse à l'heure actuelle à la pointe du progrès en irrigation.

Le montant élevé de l'investissement initial de ces systèmes ainsi que la part importante de l'irrigation sur le coût de production, exigent de la rigueur dans la conduite de l'alimentation hydrique et minérale de la culture et la valorisation des avantages offerts par ces nouvelles technologies.

En attendant la reconversion à la micro-irrigation qui dépend de plusieurs facteurs, le système en place requiert une réhabilitation, pour pallier les problèmes récurrents de fuites d'eau dans les conduites de distribution.

Mots clés : Irrigation – Périmètre irrigué – Ressources en eau – Pompage sur rivière – Coopérative agricole – Burkina Faso – SOCAF

ABSTRACT

The perimeter of banana Fara is irrigated by a system of distribution pipeline, commonly known as "Californian system". For setting up a pilot plot of 5 ha irrigated by spraying with the current operation of 30 ha, lessons have been learned from the difficulties encountered and experience gained both in the installation and operation.

Constraints linked to climatic events causing a reduction of water resources of the river Mouhoun, increasing hydro-agricultural and levies on the water on the one hand, the rising cost of handworkers and fuel prices which result in an increase in the cost of irrigation on the other hand, led the SOCAF to consider other techniques less wasteful irrigation water. The techniques of irrigation drip and dabbling proposed in this study combine quite smoothly efficiency and quality, which brings at the moment at the cutting edge of irrigation. The high amount of initial investment of these systems and the high share of irrigation on production costs, demand rigor in the conduct of food and mineral water of the culture and recovery of benefits these new technologies.

Pending conversion to micro-irrigation, which depends on several factors, the system requires rehabilitation, to overcome the problems of water leakage in the pipelines.

Key words: irrigation – irrigated perimeter – water resource – pumping on river – agricultural cooperative – Burkina Faso – SOCAF

SOMMAIRE

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SOMMAIRE.....	v
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	vii
LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET ANNEXES.....	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	I
Première Partie : PRESENTATION GENERALE.....	3
1.1. PRESENTATION GEOGRAPHIQUE, HUMAINE ET PHYSIQUE DE LA ZONE.....	4
1.1.1- Présentation géographique.....	4
1.1.2. Population.....	4
1.1.3. Aspects physiques du milieu.....	4
1.2. CONTEXTE.....	6
1.3. PROBLEMATIQUE.....	8
1.4. OBJECTIFS.....	8
1.5. QUESTIONS DE RECHERCHE.....	9
Deuxième Partie : METHODOLOGIE DE L'ETUDE.....	11
2.1. TRAVAUX PREPARATOIRES.....	12
2.1.1. Le contact avec l'équipe d'encadrement.....	12
2.1.2. La recherche documentaire.....	12
2.1.3. L'élaboration des outils.....	13
2.2. COLLECTE DE DONNEES SUR LE TERRAIN.....	13
2.2.1. Entretiens avec les exploitants.....	13
2.2.2. Délimitation du périmètre.....	13
2.2.3. Les travaux de nivellement.....	14
2.2.4. Mesure de perméabilité du sol in situ.....	14
2.2.5. Mesure de débit.....	15
Troisième Partie : RESULTATS DE L'ETUDE.....	17
3.1. LA STRUCTURE DE GESTION DU PERIMETRE.....	18
3.1.1. Historique et fonctionnement interne de la coopérative.....	18
3.1.2. La Rentabilité Economique.....	19
3.1.3. Les difficultés et les perspectives de la SOCAF.....	20
3.2. ETAT DE LIEUX DU SYSTEME D'IRRIGATION EN PLACE.....	21
3.2.1. Les parcelles de cultures.....	21
3.2.2. La ressource en eau du périmètre.....	21
3.2.3. Le système de pompage.....	22
3.2.4. Le réseau d'irrigation.....	23
3.2.5. Le réseau de drainage.....	23
3.2.6. La dose brute apportée.....	24
3.3. LES CALCULS DES PARAMETRES D'IRRIGATION.....	25
3.3.1. Les données de base.....	25

3.3.2. Les besoins en eau de la culture	26
3.3.3. Les besoins en eau d'irrigation	26
3.3.4. La distribution de l'eau aux plantes	27
3.4. CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION.....	28
3.4.1. Les différents systèmes d'irrigation.....	28
3.4.2. Choix des techniques d'irrigation.....	28
3.4.3. Dimensionnement des réseaux d'irrigation.....	29
3.4.4. Dimensionnement du réseau de drainage.....	40
3.5. MAINTENANCE DES SYSTEMES D'IRRIGATION	44
3.5.1. Entretien des réseaux d'irrigation localisée.....	44
3.5.2. Entretien du réseau d'irrigation Californien.....	46
3.6. ELABORATION DE CALENDRIERS D'IRRIGATION	47
3.7. COMPARAISON ECONOMIQUE DES SYSTEMES D'IRRIGATION	50
3.8. LE SYSTEME DE POMPAGE	51
3.8.1. Les stations de pompage.....	51
3.8.2 Les courbes caractéristiques des pompes - Point de fonctionnement.....	55
3.8.3. Les installations des stations de pompage (pompe de surface)	58
3.8.4. Les pistes d'accès aux stations de pompage.....	61
Quatrième Partie : ANALYSES ET DISCUSSIONS.....	63
Cinquième Partie : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	69
BIBLIOGRAPHIE.....	73
ANNEXES.....	75

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

2iE :	Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
Cirad :	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
E_a :	Efficiencence d'application de l'irrigation
EC_w :	Conductivité électrique de l'eau d'irrigation
EU :	Coefficient d'uniformité en irrigation localisé
FAO :	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
FEER :	Fonds de l'Eau et de l'Equipement Rural
GC :	Taux de couverture du sol
GPS :	Global Positionning System
ha :	Hectare
j :	Jour
K_c :	Coefficient cultural
K_r :	Facteur de réduction de la couverture du sol (valeur obtenue par la méthode de Decroix CTGREF, dans notre cas)
K_s :	Coefficient de stockage (applicable dans le cas de l'irrigation localisée)
$maxEC_e$:	Conductivité électrique maximale du sol saturé d'eau
$minEC_e$:	Conductivité électrique minimum du sol saturé d'eau
NPSH :	Net Positive Suction Head
PEFD :	Polyéthylène à faible densité
PEHD :	Polyéthylène à haute densité
PN :	Pression Nominale
PVC :	Polychlorure de Vinyle
Pw :	Pourcentage de la surface du champ (terrain) couvert par la culture
R :	Autres ressources naturelles contribuant, en plus de l'irrigation et de la pluie, à l'alimentation en eau de la culture
S :	Superficie
SOCAP :	Société Coopérative Agropastorale de Fara
Z :	Profondeur des racines

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET ANNEXES

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Localisation du site	4
Tableau 2 : Coordonnées géographiques	4
Tableau 3 : Calculs de rentabilité économique du périmètre	19
Tableau 4 : Moyennes des pluies mensuelles de la station de Boromo	25
Tableau 5 : Les valeurs de ETo de la station de Boromo	25
Tableau 6 : Les caractéristiques de la culture	26
Tableau 7 : Caractéristiques des fossés distributeurs	31
Tableau 8 : Caractéristiques des colatures tertiaires	41
Tableau 9 : Caractéristiques des colatures secondaires	42
Tableau 10 : Caractéristiques des colatures primaires	42
Tableau 11 : Calendriers d'irrigation de trois systèmes d'irrigation	47
Tableau 12 : Caractéristiques des motopompes	51
Tableau 13 : Caractéristiques des pompes immergées	52

Liste des Figures

Figure 1 : Carte de la végétation de Fara	5
Figure 2 : Carte des types de sols de Farad	5
Figure 3 : Carte hydrographique de Fara	6
Figure 4 : Organigramme de l'approche méthodologique	12
Figure 5 : La carte de situation du périmètre	13
Figure 6 : Une lecture sur la mire, au cours du nivellement	14
Figure 7 : Une illustration de mesure de perméabilité	14
Figure 8 : Une illustration de mesure de débit	15
Figure 9 : Un bananier atteint par la maladie de cercosporiose	20
Figure 10 : Une vue du fleuve Mouhoun	21
Figure 11 : Histogramme des débits moyens mensuels du Mouhoun à Boromo	22
Figure 12 : Motopompe centrifuge de marque TOPLAND	22
Figure 13 : La vue d'une raie	23
Figure 14 : Une vue d'un collecteur secondaire	23
Figure 15 : Pratique de l'arrosage avec fuites d'eau dans les conduites de distribution	24
Figure 16 : Profils en travers type des fossés distributeurs	31
Figure 17 : Techniques de raccordement dans l'irrigation par barboteurs	34
Figure 18 : Ouvrage de tête dans l'irrigation par goutte-à-goutte	37
Figure 19 : Profil en travers type des colatures	43
Figure 20 : Filtre à sable : contre lavage du filtre droit	44
Figure 21 : Localisation des points de mesure des débits	45
Figure 22 : Calendrier d'irrigation pour le système californien	48

Figure 23: Calendrier d'irrigation pour le système par barboteurs	48
Figure 24 : Calendrier d'irrigation pour le système goutte-à-goutte	49
Figure 25 : Comparaison économique des trois systèmes d'irrigation	50
Figure 26 : Changements de diamètre et de vitesse sur une conduite	53
Figure 27 : Courbes caractéristiques de la pompe de surface	56
Figure 28: Courbes caractéristiques de la pompe immergée	58
Figure 29 : Coupe schématique d'une prise d'eau pour une pompe de surface	59
Figure 30 : Une vue de montage d'un groupe électropompe de surface sur socle constitué de béton et bois	60
Figure 31 : Coupe de la chaussée de pistes d'accès aux stations de pompage	62
Figure 32 : Pratique de l'arrosage sans fuites d'eau dans les conduites de distribution	64

Listes des Annexes

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête et d'entretien	76
Annexe 2 : Feuille de Nivellement Direct	84
Annexe 3 : Calcul des besoins en eau d'irrigation pour le système californien	86
Annexe 4 : Calcul des besoins en eau d'irrigation pour le système d'irrigation par barboteurs	88
Annexe 5 : Calcul des besoins en eau d'irrigation pour le système d'irrigation goutte-à-goutte	90
Annexe 6 : Dimensionnement du système d'irrigation californien	92
Annexe 7 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système californien	93
Annexe 8 : Dimensionnement du système d'irrigation par barboteurs	94
Annexe 9 : Récapitulatif du dimensionnement du système par barboteurs	96
Annexe 10 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système par barboteurs	98
Annexe 11 : Dimensionnement du système d'irrigation goutte-à-goutte	99
Annexe 12 : Récapitulatif du dimensionnement du système goutte-à-goutte	102
Annexe 13 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système goutte-à-goutte	103
Annexe 14 : Comparaison économique des trois systèmes d'irrigation	105
Annexe 15 : Calculs du tracé des courbes caractéristiques - point de fonctionnement de la pompe de surface	106
Annexe 16 : Calculs du tracé des courbes caractéristiques - point de fonctionnement de la pompe immergée	107
Annexe 17 : Trame du système d'irrigation californien	108
Annexe 18 : Trame du système d'irrigation par barboteurs	108
Annexe 19 : Trame du système d'irrigation goutte-à-goutte	108

INTRODUCTION GENERALE

Le Burkina Faso consent de gros investissements dans les aménagements hydroagricoles pour mieux valoriser les ressources en eau et en sol. Entre-temps, l'agriculture irriguée doit relever plusieurs défis liés notamment à l'accroissement des tensions sur les ressources en eau limitées. Ces contraintes rendent nécessaires, d'une part, l'amélioration de l'efficacité et de l'efficacé de l'utilisation de l'eau et, d'autre part, la modernisation des infrastructures et techniques d'irrigation dans les périmètres irrigués.

L'irrigation localisée, aujourd'hui peu développée, semble être la solution vers une gestion efficace de l'irrigation.

Cependant, le choix des techniques de modernisation doit être mûrement réfléchi, en tenant compte des contraintes sociales du monde paysan car la durabilité d'un système irrigué repose sur le professionnalisme des exploitants.

Créée en 1986, la Société Coopérative Agro-pastorale de Fara (SOCAF) compte 30 familles qui exploitent 35 hectares de banane, 70 hectares de maïs et 38 hectares de riz. Pour la campagne 2008-2009, la production brute attendue de banane est d'environ 1 250 tonnes sur 22,50 hectares en production. Le revenu net se chiffre à 92 875 000 F CFA, soit 3 062 500 F CFA par famille, tandis que les charges sont estimées à 60 000 000 F CFA.

Le degré de maturité organisationnelle que la SOCAF a atteint est encourageant. Il se traduit par quelques principes : concertation, transparence, partage clair des responsabilités, professionnalisation de la gestion, existence de règles et de sanctions.

Mais, d'un point de vue technique, il existe malheureusement des problèmes tels la défaillance du réseau de conduites, la mauvaise organisation des arrosages, l'absence de chemins d'accès aux stations de pompage, l'engorgement des parcelles pendant l'hivernage ... Autant de difficultés auxquelles la présente étude tente d'apporter des réponses.

Loin de nous la prétention de trouver, en l'espace d'un mémoire de fin d'études, des solutions à tous les problèmes des agricultures. Mais nous serons bien heureux d'avoir apporté notre contribution.

Première Partie : PRESENTATION GENERALE

I.1. PRESENTATION GEOGRAPHIQUE, HUMAINE ET PHYSIQUE DE LA ZONE

I.1.1- Présentation géographique

a) Localisation

Tableau 1 : Localisation du site

Site	Bananeraie de Fara
Département	Fara
Province	Balé
Région	Boucle du Mouhoun
Distance Ouagadougou - Fara	200 Km

b) Accès

On accède au périmètre à partir de Ouagadougou par la Route Nationale RN5 bitumée Ouagadougou – Bobo jusqu'à Poura-carrefour sur 160 km.

Ensuite, on bifurque à gauche pour emprunter la route régionale R13 menant à Fara sur 34 Km, en passant par la localité de Poura. Enfin, on arrive sur le périmètre situé à 7 km à l'Ouest de Fara. La distance totale qui sépare le site de Ouagadougou est de 200 km environ.

Les coordonnées géographiques du périmètre sont les suivantes :

Tableau 2 : Coordonnées géographiques

Longitude	Latitude
2,83° W	11,53° N

I.1.2. Population

Le département de Fara compte 23 villages avec une population de 35 120 habitants (source INSD, recensement 2006). Les habitants de Fara vivent essentiellement de l'agriculture et de l'élevage. Il possède également un marché fréquenté par des gens venant d'horizon divers (Koudougou, Sabou, Boromo, du Ghana ...). Ce qui fait du commerce une activité assez importante pour les habitants de Fara surtout en saison sèche.

I.1.3. Aspects physiques du milieu

a) Climat

Fara est soumis au climat soudano-sahélienne, caractérisé par une saison des pluies courte (ou hivernage) de juin à octobre avec un maximum des précipitations en août. Cette période est

favorable à la culture (moins ou presque pas d'irrigation). La pluviométrie moyenne annuelle de 1029 mm. L'hivernage est suivi d'une saison sèche d'octobre à juin, décomposée en une sèche froide et une saison sèche chaude.

b) La végétation

La zone de Fara est dominée dans sa partie Nord et dans sa partie centrale par la savane arbustives à arborée constitué de *Butyrospermum parkii* (karité), *Detarium microcarpum*, *burkea africana*, de *crossopteryx febrifuga*, de *combretum spp.*

L'Est et le Sud de Fara sont dominés par la Savane arborée à arbustive et boisée (*Burkea africana*, *Butyrospermum parkii*, *Pterocarpus erinaceus*) - Parcs à *B. parkii* et à *Parkia biglobos*.

Fara est limité dans toute sa partie ouest par la volta noire (Mouhoun) ce qui a favorisé la naissance d'une forêt galerie le long de sa limite occidentale. Cette forêt est constitué de *Berlinia grandifolia*, *Daniellia oliveri*, *Mitragyna inermis*) et prairie aquatique associées - Formation ripicole du domaine soudanien plus. Le périmètre est situé au bord du fleuve et dans la partie Nord –ouest de Fara.

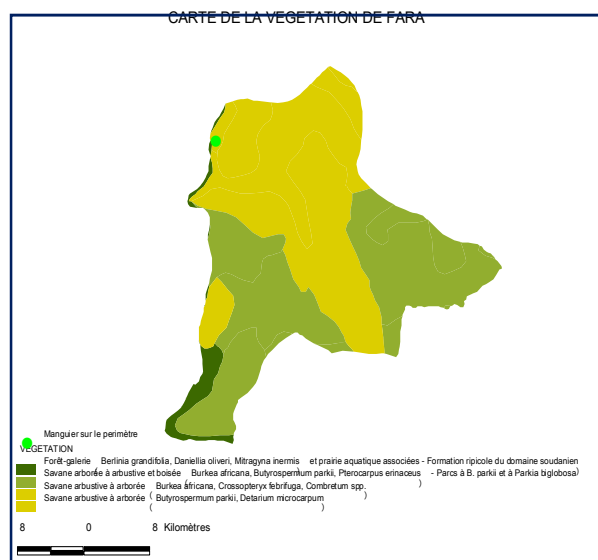


Figure 1 : Carte de la végétation de Fara

c) Les sols

Plusieurs types de sols peuvent être observés dans la zone de Fara. On y trouve des sols argileux, sableux, argilo-sableux, des sols gravillonnaires...

Les contraintes physiques comprennent : la structure et la texture qui peut engendrer des cas d'hydromorphie. Cependant, il ne s'agit pas de contraintes majeures. Leur richesse minérale et leurs caractères morphologiques relativement favorables donnent à ces sols une bonne aptitude pour les cultures vivrières et industrielles (le riz, le maïs, le sorgho...) et industrielles comme le coton. Le long du fleuve les sols sont de type

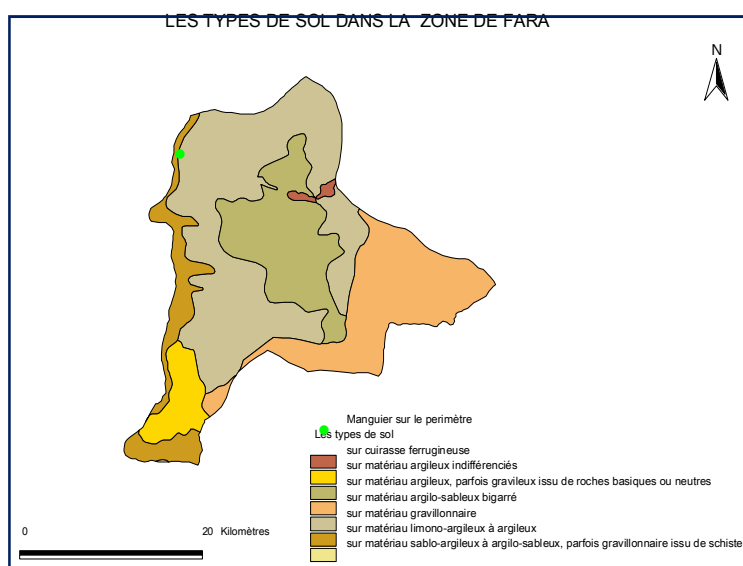


Figure 2 : Carte des types de sols de Farad

limono-argileux ou argileux. La culture de banane peut bien s'adapter à ces types de sols et leur fertilisation permettra d'obtenir un bon rendement si toutefois l'on arrive à compenser les caprices des pluies par l'irrigation.

d) L'hydrographie

La zone de Fara est entièrement située dans le bassin du fleuve Mouhoun. Bien que relativement peu arrosé, la zone possède un réseau hydrographique particulièrement dense. Ce qui est beaucoup remarquable sur la carte ci-contre obtenue avec le logiciel ArcView des systèmes d'information géographique.

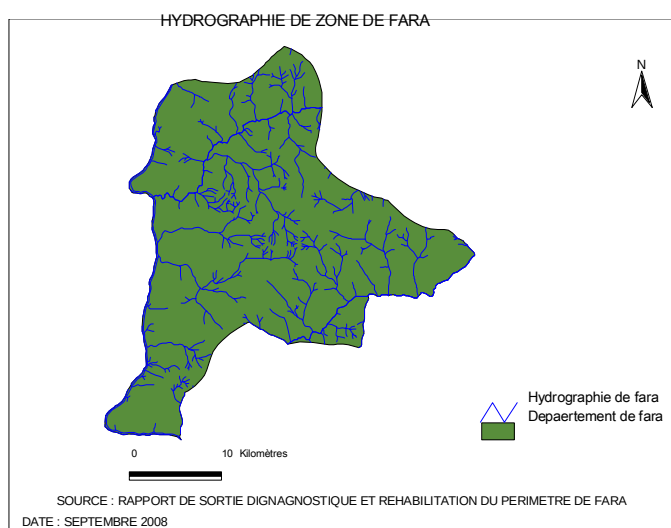


Figure 3 : Carte hydrographique de Fara

I.2. CONTEXTE

L'agriculture demeure le plus important consommateur d'eau. De ce fait, la gestion des eaux d'irrigation devra évoluer considérablement pour s'adapter aux nouvelles exigences de la production et concilier les besoins concurrentiels des autres secteurs et le souci de protéger l'environnement. Toutefois, il existe maintenant des technologies permettant d'économiser considérablement l'eau. En outre, le cadre politique, légal et institutionnel qui appuie l'amélioration de la productivité de l'eau dans l'agriculture irriguée montre également des signes d'adaptation. La tendance, en matière de gestion de l'eau, est à la responsabilisation des acteurs. Au Burkina Faso comme dans de nombreux pays du sahel où l'eau manque très souvent et constitue une denrée rare, le développement de l'irrigation passe par la maîtrise de l'eau en vue d'améliorer la productivité et de garantir la sécurité alimentaire. Pour combler les déficits de production agricole (dus à l'insuffisance de la pluviométrie), et satisfaire les besoins des plantes, les agriculteurs font recours à des moyens d'exhaure de l'eau de plus en plus motorisés et efficaces, par exemple les motopompes. Outre cela, l'installation dans les périmètres irrigués des réseaux d'irrigation moins gaspilleuse d'eau s'avère nécessaire.

Dans le cadre de leur formation, un groupe d'étudiants en Master 2 « Eau de surface et Irrigation » de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement (2iE) se rendu (du 15 au 16 octobre 2008) sur le périmètre irrigué de la bananeraie de Fara pour faire un

PRESENTATION GENERALE – PRESENTATION GEOGRAPHIQUE, HUMAINE ET PHYSIQUE DE LA ZONE, CONTEXTE

diagnostic rapide. Les rapports de deux sous-groupes d'étudiants ont souligné un certain nombre de problèmes de gestion et proposé des solutions/recommandations.

I.3. PROBLEMATIQUE

Le fleuve Mouhoun constitue la ressource en eau du périmètre. Tout au long de l'année, le débit qui y transite assure convenablement le besoin en eau du périmètre. Néanmoins, la baisse du niveau d'eau dans le fleuve, contraint les agriculteurs à repositionner sans cesse les motopompes afin de maintenir une hauteur d'aspiration maximale d'environ 7 m. Ainsi, les exploitants aménagent, régulièrement, les prises d'eau avec les moyens du bord. Ce qui engendre forcément des travaux onéreux, au vu du nombre élevé de prises d'eau (07 prises).

En outre, les boues déposées par les crues sur le lit majeur, ne permettent guère d'accéder aisément aux prises d'eau durant la période de juin à novembre.

A l'intérieur du périmètre, les pratiques actuelles contribuent à une surconsommation de l'eau. Le réseau d'irrigation, hormis la conduite d'amenée en PVC, est constitué des canaux en terre non revêtus. Cette méthode traditionnelle d'irrigation occasionne énormément des pertes d'eau et nécessite une main d'œuvre importante pour les travaux d'entretien.

D'autre part, selon les exploitants, le réseau de drainage n'assure pas convenablement l'assainissement du périmètre. Par conséquent, l'on assiste à un engorgement prolongé des parcelles pendant l'hivernage.

En fin, d'autres problèmes, de point de vue agronomique, organisationnel, financier... existent fort probablement.

Au cours de cette étude, il est question d'analyser minutieusement les problèmes évoqués et/ou décelés et proposera ensuite des solutions techniques appropriées.

Mais quels sont donc les objectifs poursuivis par cette étude ?

I.4. OBJECTIFS

Afin de Promouvoir le rôle économique de l'eau et contribuer à la mise en place d'une économie de l'eau au niveau du périmètre irrigué de bananiers de Fara, les objectifs assignés à cette étude sont de :

- ☞ Identifier, caractériser et évaluer les pratiques (point de vue hydraulique, agronomique, organisationnel et financière) actuelles au niveau du périmètre et proposer des solutions d'amélioration des performances;
- ☞ Evaluer l'adéquation entre l'offre (irrigation + pluie) et les besoins en eau de la culture ainsi que l'efficacité d'utilisation de l'eau ;
- ☞ Proposer différents types de réseaux d'irrigation, économiquement acceptables, dans le but d'accroître l'efficacité de l'irrigation ;

PRESENTATION GENERALE – PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS ET QUESTIONS DE RECHERCHE

- ☞ Identifier les causes possibles de l'engorgement du sol et proposer un réseau de drainage efficient (suffisant) ;
- ☞ Proposer pour les motopompes des aménagements (plateformes) adaptés à la fluctuation saisonnière du niveau d'eau dans la rivière ;
- ☞ Proposer des aménagements (chemins) d'accès facile aux stations de pompage.

I.5. QUESTIONS DE RECHERCHE

Au cours de cette étude on tentera de répondre à cette question principale :

Quelles sont les stratégies actuelles des irrigants, quels paramètres de maîtrise des technologies de production doit-on identifier et quelles solutions mettre en place pour améliorer l'efficience de l'irrigation sans pour autant compromettre les objectifs de production ?

Deuxième Partie : METHODOLOGIE DE L'ETUDE

La méthodologie générale se présente comme suit :

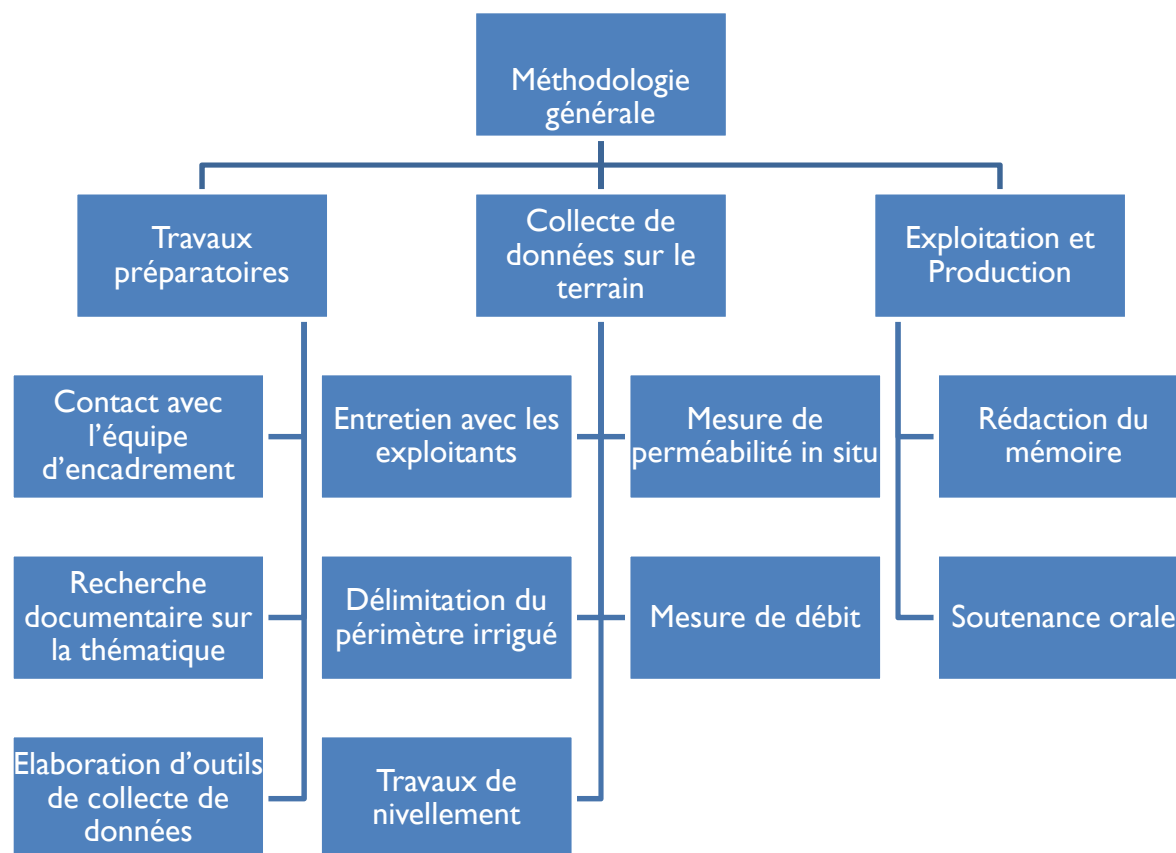


Figure 4 : Organigramme de l'approche méthodologique

2.1. TRAVAUX PREPARATOIRES

2.1.1. Le contact avec l'équipe d'encadrement

La réussite d'une étude suppose que l'on ait une idée claire du contexte, des objectifs, des résultats attendus, du calendrier des activités et de la méthodologie, et que l'on exerce un suivi régulier de son déroulement. C'est ainsi qu'avant le démarrage de l'étude proprement dit, ces éléments ont été clarifiés d'un commun accord avec les encadreurs.

Tout au long de l'étude, un contact régulier a été maintenu avec les encadreurs pour rendre compte de la progression des travaux et tirer le meilleur profit de leurs connaissances et de leurs expériences.

2.1.2. La recherche documentaire

La recherche documentaire effectuée, afin d'approfondir les connaissances du sujet, a concerné les documents disponibles au Centre de Documentation et d'Information du 2iE, sur l'Internet et ceux dont dispose la SOCAF. Les rapports de diagnostic rapide dudit périmètre, élaborés

par les étudiants en Master 2 « *Eau de surface et Irrigation* » en octobre 2008, ont été également examinés.

2.1.3. L'élaboration des outils

La phase de conception des outils de collecte des données a immédiatement précédé la sortie sur le terrain. Ces outils sont notamment, le questionnaire d'enquête et d'entretien, les feuilles de nivellement direct, la fiche de mesure de perméabilité et celle de mesure de débit.

Lesdits outils n'ont pas seulement facilité les travaux, mais ont permis également d'éviter des erreurs.

2.2. COLLECTE DE DONNEES SUR LE TERRAIN

Cette étape, qui s'est déroulée du 9 au 15 avril 2009, a fait l'objet des entretiens avec les exploitants, de caractérisation du périmètre, ainsi que des diverses mesures (nivellement direct, perméabilité du sol et débit).

2.2.1. Entretiens avec les exploitants

Les entretiens ont été réalisés par le moyen d'un questionnaire (voir le questionnaire en *Annexe I*), au cours de deux réunions tenues avec les exploitants. En outre, des discussions enrichissantes se sont poursuivies avec les exploitants, pris individuellement, tout au long des cinq jours de travaux sur le périmètre.

2.2.2. Délimitation du périmètre

La délimitation du périmètre une étape importante de l'étude. Elle a permis de situer le périmètre dans son ensemble, ainsi que les éléments particuliers qui s'y trouvent. Notamment, les sept (7) stations de pompage sur rivière, les bornes d'irrigation, la digue de protection du périmètre (représentée sur la carte par la ligne rouge) et la piste de circulation (ligne noire). Un GPS (Garmin) a permis de réaliser ladite délimitation. La manipulation est simple et fait gagner du temps. A chaque point caractéristique (sommets du polygone représentant les limites, axes, etc.) on relève : la latitude, la longitude et l'altitude

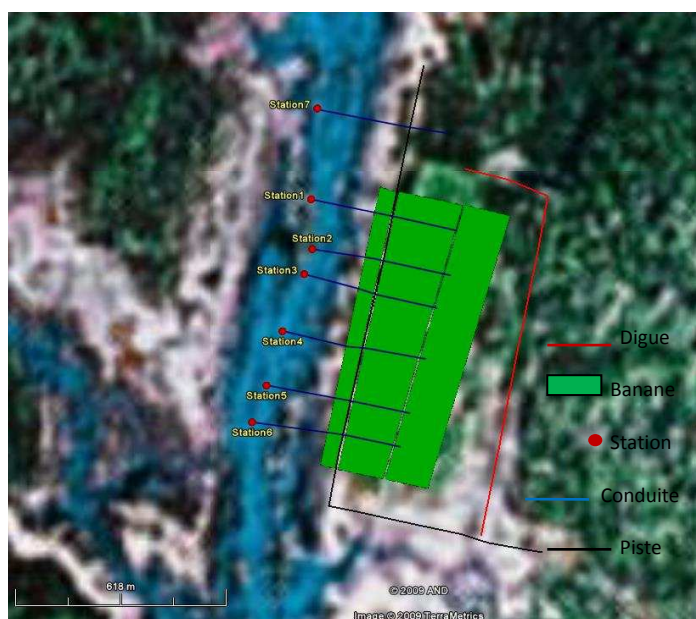


Figure 5 : La carte de situation du périmètre

2.2.3. Les travaux de nivellement

Les travaux topographiques ont nécessité l'utilisation des matériels suivants : un niveau, un trépied, une mire, une chaîne de 50 mètres, trois jalons et des feuilles de nivellement. Le principe est assez simple et consiste à déterminer sur des segments d'environ 100 mètres, la dénivelée (ΔH) entre les points :

$$\Delta H = Lect_{ar} - Lect_{av}$$

L'opération du nivellement a concerné essentiellement l'itinéraire de la Tête Morte N°6. Une borne de référence, identifiée sur un ancien plan topographique et localisée sur le terrain avec l'aide des exploitants, a servi de point de départ. Le nivellement a été réalisé en deux étapes :

Un premier cheminement de rattachement a consisté de lever, à partir de la borne jusqu'à la station de pompage N°6, sur une distance d'environ 210 m.

Un second cheminement, long de 444 m, a concerné le parcours allant de la station de pompage, jusqu'à la borne d'irrigation B3S6. Ce qui a permis de déterminer les cotes du plan d'eau et du fond de la rivière, ainsi que celles des trois bornes d'irrigation situées sur la conduite. La pente du terrain, suivant la direction Est-Ouest, a été également estimée à partir de ces données de nivellement. Les résultats de nivellement figurent dans l'Annexe 2.



Figure 6 : Une lecture sur la mire, au cours du nivellement

2.2.4. Mesure de perméabilité du sol in situ

La perméabilité du sol est la principale caractéristique qu'on a évaluée. La méthode utilisée est celle de Porchet qui se définit comme suit :

La méthode consiste à creuser un trou d'un mètre de profondeur, avec une tarière manuelle de rayon connu (2,5 cm dans notre cas). Ensuite il faut mettre de l'eau dans le trou jusqu'à remplissage et attendre 10 mn pour laisser le sol s'imbiber. On mesure enfin, à des intervalles de temps convenables, la baisse du niveau d'eau. On arrête la mesure



Figure 7 : Une illustration de mesure de perméabilité

quand la vitesse d'infiltration sera stabilisée.

Par application de la loi de DARCY $V = Ki$, le coefficient de perméabilité vaut :

$$K = \frac{R}{2(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

En prenant un gradient hydraulique $i = 1$.

R = rayon du trou en mètre,

t_1 et t_2 = respectivement les temps aux instants 1 et 2 en secondes,

$\ln$ = logarithme népérien,

h_1 et h_2 = respectivement les hauteurs d'eau dans le trou aux instants 1 et 2 en mètre,

K sera exprimé en m/s.

Il est à noter que les valeurs de la perméabilité obtenue par cette méthode ne sont qu'indicatives.

2.2.5. Mesure de débit

La mesure de débit au niveau de la borne d'irrigation, faute de moyen très élaboré, s'est déroulée avec une méthode simplifiée. Un chronomètre et une barrique de 100 litres ont suffi.

Malgré l'incertitude élevée dans ce cas, la méthode a permis quand même d'estimer et d'avoir une valeur approximative du débit.

Le débit se calcule par la formule :

$$Q = \frac{V}{T}$$

Avec :

V = volume de la barrique en m^3 . Soit 100 l = 0,1 m^3 ,

T = temps nécessaire pour remplir la barrique en s,

Q = débit en m^3/s .



Figure 8 : Une illustration de mesure de débit

Troisième Partie : RESULTATS DE L'ETUDE

3.1. LA STRUCTURE DE GESTION DU PERIMETRE

La durabilité d'un périmètre irrigué collectif dépend impérativement de la présence d'une structure de gestion, organe représentatif de l'ensemble des exploitants qui gère au jour le jour, avec efficacité, le bon fonctionnement du périmètre d'irrigation.

Les statuts bien définis de la structure permettent de réguler les conflits d'usagers, l'adéquation entre les intérêts individuels et le caractère collectif de certaines infrastructures, les stratégies de suivi et d'entretien des équipements.

3.1.1. Historique et fonctionnement interne de la coopérative

a) Historique

Le Gouvernement du Burkina Faso avait conçu depuis 1961 un vaste programme de formation des agriculteurs à travers l'expérience de « l'éducation rurale ». Après une évaluation en 1974, « l'éducation rurale » a été transformée en système de Formation des Jeunes Agriculteurs » (F.J.A.).

Dans sa mise en œuvre, le système de la FJA s'appuie sur les principales structures qui sont :

- Les Centres de Formation des Jeunes Agriculteurs » (C.F.J.A.) ;
- Les groupements de Jeunes Agriculteurs (G.J.A.) qui étaient des organisations de jeunes producteurs agricoles sortis des C.F.J.A. ;
- Les G.J.A. devraient constituer les cadres de mise en pratique des acquis de la formation des C.F.J.A.

La SOCAF (Société Coopérative Agropastorale de Fara), créée en 1986, fait partie de ces groupements de Jeunes Agriculteurs (G.J.A.).

Initialement, la SOCAF a bénéficié de la part de l'État des engins et outils agricoles (camion, des Tracteurs, des motopompes, etc.), ainsi qu'un domaine de 360 hectares comprenant le périmètre irrigué, les champs familiaux de coopérateurs, leur cité des logements et une part importante de terres non viabilisées.

b) Fonctionnement interne de la coopérative

Créée le 27 juin 1986 avec une centaine de membres à ses débuts, la Société coopérative agropastorale de Fara que préside Mahamadi Ouedraogo compte actuellement 30 familles qui exploitent 35 hectares de banne, 70 hectares de maïs et 38 hectares de riz.

La coopérative a pour objet l'amélioration des conditions de vie, de travail et de revenus des membres qui la compose.

Les activités de la coopérative se réfèrent principalement au développement agricole, par l'amélioration de l'hydraulique agricole (systèmes : de captage d'eau, d'exhaure, d'irrigation), les recours aux facteurs de production (outils, équipement spécifique, matériel végétal, produits phytosanitaires, engrais) et la commercialisation de la production agricole.

RESULTATS DE L'ETUDE – LA STRUCTURE DE GESTION DU PERIMETRE

Les instances gouvernantes de la SOCAF sont l'Assemblée Générale des membres et le Comité de gestion qui est responsable devant ses membres de l'administration et de la gestion des affaires de la coopérative.

Le comité de gestion (bureau exécutif) actuel est composé de 6 membres :

- Un président et son adjoint,
- Un trésorier général et son adjoint,
- Un secrétaire général et son adjoint.

Ledit comité de gestion est élu par l'Assemblée Générale. Un tiers de membres est renouvelé tous les trois ans et l'ensemble des membres est remplacé au bout de 6 ans.

Des statuts et un règlement intérieur régissent le fonctionnement de la SOCAF. Tout coopérateur a le droit de solliciter l'accès aux avantages acquis par la coopérative selon les conditions définies par le règlement intérieur. Mais le coopérateur a aussi l'obligation de se conformer aux dispositions des statuts et aux décisions prises par l'Assemblée Générale et le comité de gestion. Tout manquement aux dispositions des statuts et du règlement intérieur expose le contrevenant à des sanctions. Lors de notre séance d'entretien avec les coopérateurs, ces derniers nous ont affirmé que des sanctions, allant d'un simple avertissement à une exclusion, sont effectivement appliquées.

Par ailleurs, il faut signaler que tous les coopérateurs (30 familles) habitent dans un ensemble d'habitations qui est situé à moins de deux km de leur périmètre irrigué.

3.1.2. La Rentabilité Economique

La production brute attendue de banane est de 1 237,5 tonnes pour la campagne 2008-2009 avec un rendement de 55 tonnes/hectare sur 22,50 hectares en production. Cependant, les pertes de production représentent 112,5 tonnes à raison de 5 tonnes/hectare et les charges annuelles sont estimées à 60 000 000 F CFA.

Le revenu brut se chiffre à 167 062 500 F CFA à raison de 135 F le Kg tandis que le revenu net est de 91 875 000 F et le revenu par famille à 3 062 500 F CFA.

Tableau 3 : Calculs de rentabilité économique du périmètre

Sup. (ha) (1)	Rendit (t)/ha (2)	Product. brute $3=(1)\times(2)$	Pertes totale (4)	Prix vente (5)	Revenu brut $6=(3)\times 1000\times$ (5)	Charges totales (7)	Ventes totales $8=((3)-$ $(4))\times 1000\times 135$	Revenu net total $9=(8)-(7)$	Revenu net/famille $10=(9)/ 30$
22,5	55	1237,5 t	112,5 t	135 F/kg	167 062500F	60 000 000F	151 875000F	91 875000F	3 062500F

3.1.3. Les difficultés et les perspectives de la SOCAF

Les principales difficultés auxquelles sont confrontés les exploitants sont d'ordre agronomique. Il s'agit des maladies de la banane qui sont la cercosporiose, la mosaïque du bananier et la verse due aux excès d'eau de pluie.

En perspectives, les exploitants de la SOCAF comptent aménager un nouveau site de 50 hectares pour permettre une rotation des cultures et une centaine d'hectares de rizière. Ils souhaitent la mise en place d'une unité de conservation, l'acquisition de variétés résistantes aux maladies, l'électrification du site de production et la réhabilitation de la piste Fara- Faso Djigui.



Figure 9 : Un bananier atteint par la maladie de cercosporiose

3.2. ETAT DE LIEUX DU SYSTEME D'IRRIGATION EN PLACE

3.2.1. Les parcelles de cultures

Le périmètre irrigué couvre une superficie aménagée de 35 hectares, dont 30 hectares destinés à la culture de banane. Sur les 30 hectares, 22,5 hectares sont effectivement exploités et les 7,5 hectares restants servent de rotation culturale.

La superficie de 22,5 hectares de bananes est découpée en sept (7) blocs d'irrigation, numérotés de 1 à 7. Les 6 premiers blocs mesurent chacun 3,125 ha et le 7^e bloc vaut 3,75 ha. Chaque bloc d'irrigation est approvisionné par une motopompe de 200 m³/h de débit maximal.

La répartition des exploitants dans les blocs est faite de la manière suivante :

Dans les 6 premiers blocs, chaque bloc comporte à son sein 5 exploitants disposant chacun une part de 0,625 ha.

Dans Le 7^e bloc, tous les 30 exploitants possèdent chacun une parcelle de 0,125 ha. Les exploitants ont la possibilité de cultiver d'autres cultures (maïs, maraîchage...) sur ce dernier bloc.

3.2.2. La ressource en eau du périmètre

Le fleuve Mouhoun (ex Volta Noire) constitue la ressource en eau du périmètre irrigué. Unique cours d'eau permanent au Burkina, il draine au total une superficie de 113 038 km². Il prend sa source sur le versant nord du massif gréseux de la falaise de Banfora, à 70 km au sud Ouest de Bobo Dioulasso à 500 m d'altitude. Dans cette région, les précipitations dépassent 1 000 mm par an. Se dirigeant d'abord vers le Nord, il passe à la station de Guena, puis incline son cours vers le Nord-Ouest. En parcourant les 67 premiers kilomètres de son cours, le Mouhoun perd 180 m d'altitude. La pente moyenne de son lit sur ce bief est de 2,69 m/km. Le Mouhoun coule ensuite suivant une direction Nord-est jusqu'à

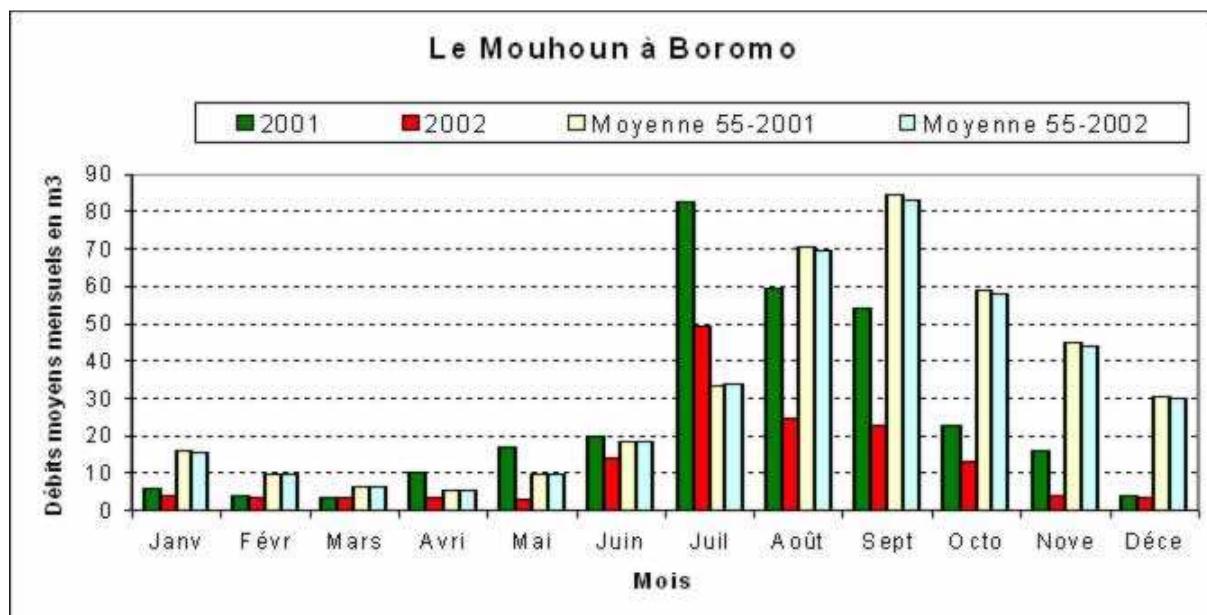


Figure 10 : Une vue du fleuve Mouhoun

recevoir à sa droite le Kou qui est son premier affluent important de rive droite venant du sud. Sur ce tronçon de 106 km, la pente moyenne de son lit est de 0,376 m/km. Le Mouhoun va continuer à couler direction Nord-est jusqu'à sa confluence avec le Sourou. De la confluence du Kou à la confluence du Sourou le Mouhoun perd 29 m d'altitude ; sa pente moyenne est alors de 0,14 m/ km. Au confluent du Sourou, le bassin versant du Mouhoun et ses principaux affluents (Plandi, Kou, Voun Hou) fournissent un débit moyen de 25 m³/s. Ce débit est cependant très irrégulier. Le principal affluent du Mouhoun est le Sourou, rivière à pente peu accentuée, qui draine l'ancienne plaine lacustre du Gondo, dont le bassin versant est de 15 200 km². Changeant brusque de direction après la boucle du Sourou, le Mouhoun coule vers le Sud-est puis plein Sud, formant frontière avec le Ghana à partir de Ouessa. L'aménagement du

RESULTATS DE L'ETUDE – ETAT DE LIEUX DU SYSTEME D'IRRIGATION EN PLACE

Sourou et les prélèvements au fil de l'eau (Ténado, Poura) perturbent le régime naturel aussi bien en étiage qu'en crue. Ainsi le débit d'étiage médian était évalué à 5.9 m³/s à Boromo dans la Monographie du fleuve Volta (ORSTOM, 1977), alors que depuis plusieurs années cette valeur a chuté considérablement jusqu'à assèchement total en 1984. Cette situation pourrait être due à la sécheresse persistante. On note une situation similaire pour les stations de Dapola et de Noubiel (Débits d'étiage médians respectivement de 7.35 et 9.3 m³/s). Le module interannuel du Mouhoun est estimé à 93.8 m³/s à Noubiel sur la période 1975-85, dont plus d'un tiers provient des affluents du Sud (Bougouriba, 16 m³/s, Bambassou 13 m³/s).



Source : le portail du secteur de l'eau Burkina Faso (<http://www.eauburkina.bf/IMG/jpg/debitmouhounboromo.jpg>)

Figure 11 : Histogramme des débits moyens mensuels du Mouhoun à Boromo

3.2.3. Le système de pompage

Le pompage est assuré par sept (7) motopompes (Cf. Tableau 12 : Caractéristiques des motopompes) : Six (6) sont destinées pour la culture de bananes et une (1) pour les autres cultures (maïs et maraîchage). Chacune des 6 pompes couvre l'irrigation d'un bloc de bananeraie, bien déterminé, appartenant à 5 exploitants. Les pompes fonctionnent au maximum dix (10) heures par jour d'irrigation. Les heures de démarrage et d'arrêt de pompage, ainsi que les jours retenus pour l'entretien des motopompes sont connus à



Figure 12 : Motopompe centrifuge de marque

l'avance par les irrigants. Une personne est désignée pour cette tâche.

3.2.4. Le réseau d'irrigation

L'eau est refoulée sous pression jusqu'aux bornes d'irrigation, à l'aide des conduites enterrées en PVC rigide de 160 mm de diamètre. Les bornes disposées le long de la conduite et s'élevant à 50 cm environ au dessus du sol, livre tout le débit aux fossés répartiteurs à ciel ouvert. Ces fossés arrosent, à leur tour, les cuvettes rectangulaires limitées par des bourrelets de terre.

Chaque conduite comporte 3 bornes qui assurent l'irrigation des 3 portions de tailles différentes (0,625 ha, 1,875 ha et 0,625 ha).

Les fossés sont espacés de 2 m et leurs dimensions sont variables au sein d'une même parcelle.

Chaque cuvette renferme en général 4 pieds de bananiers, espacés de 2 m.



Figure 13 : La vue d'une raie

3.2.5. Le réseau de drainage

La technique d'assainissement agricole mis en place sur la bananeraie est le drainage par fossés ouverts. Des fossés peu profonds forment un réseau qui permet d'évacuer les eaux de ruissellement superficiel. Ce réseau de drainage est constitué des collecteurs secondaires et d'un collecteur principal d'une profondeur d'environ 80 cm. Ce dernier reçoit les eaux des collecteurs secondaires et les véhicule jusqu'au point bas du périmètre, où il débouche dans le fleuve qui constitue l'émissaire.



Figure 14 : Une vue d'un collecteur secondaire

3.2.6. La dose brute apportée

Le débit (Q) effectivement livré en tête de la parcelle vaut 59 m³/h. Cette valeur de débit a été mesurée le 12 avril 2009, au cours d'une irrigation.

Le temps d'arrosage (t) est de 1h pour une surface résultante (S) de 0,125 ha. Donc, la **dose réellement appliquée (D)** est :

$$D = \frac{Q \times t}{S}$$

Soit D = 47,2 mm

Le tour d'eau (T) est de 7 jours. Ainsi, l'irrigant fournit un **besoin d'irrigation brut journalier (B_{brut/j})** de :

$$B_{brut/j} = \frac{D}{T}$$

Le calcul des besoins en eau d'irrigation pour le système californien (cf. Annexe 3), réalisé au cours de cette étude, chiffre le besoin d'irrigation brut journalier (B_{brut/j}) du mois d'avril à **11,14 mm/j**. Ce qui signifie que la dose satisfait 61 % seulement du besoin d'irrigation nécessaire.

La Figure 15 présente la situation globale de la campagne d'irrigation.

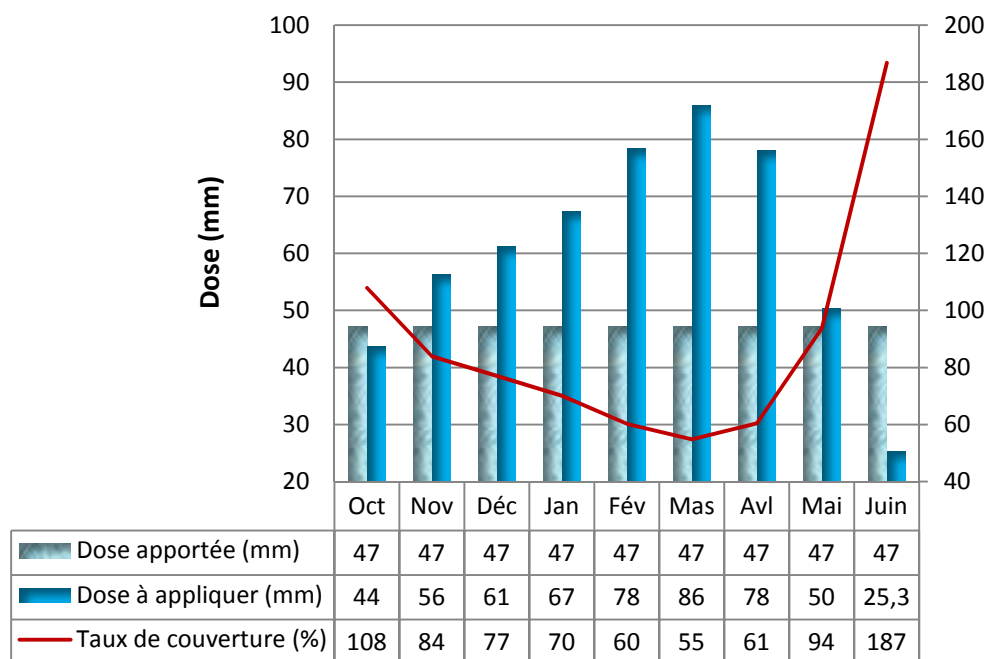


Figure 15 : Pratique de l'arrosage avec fuites d'eau dans les conduites de distribution

3.3. LES CALCULS DES PARAMETRES D'IRRIGATION

L'étude se limitera aux 6 blocs d'irrigation (18,75 ha), dans lesquels l'on cultive exclusivement la banane. Etant donné que les blocs sont analogues dans tous leurs aspects (disposition, superficie, nombre de bornes d'irrigation, motopompe, organisation de l'arrosage etc.), le bloc N°6 (3,125 ha) servira de modèle représentatif pour l'étude.

3.3.1. Les données de base

La détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région.

- les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture ;
- les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol ;
- les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

A l'aide des différents résultats obtenus, il sera relativement aisé de déterminer par la suite les quantités d'eau d'irrigation nécessaires au bon développement de la plante.

a) Le climat

Le climat de la zone d'étude, est assimilé à celui de Boromo (ville située à 26 km à vol d'oiseau). Les données mensuelles des pluviométries (P) et des évapotranspirations de référence (ET₀) sont celles contenues dans la base de données du logiciel CropWat 4 du FAO.

La valeur de la pluie efficace (P_e) est approximée de la manière suivante :

$P_e = 0,8P$ si $P > 75$ mm ;

$P_e = 0,6P$ si $P < 75$ mm.

Tableau 4 : Moyennes des pluies mensuelles de la station de Boromo

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	TOTAL
Pluie (mm)	0,0	3,0	9,0	32,0	91,0	120,0	228,0	291,0	196,0	48,0	9,0	2,0	1029,0
P _e (mm)	0,0	1,8	5,4	19,2	72,8	96,0	182,4	232,8	156,8	28,8	5,4	1,2	802,60

Source : FAO

Tableau 5 : Les valeurs de ET₀ de la station de Boromo

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
ET ₀ (mm)	5,21	6,12	6,80	6,57	5,85	5,04	4,51	4,01	4,27	4,99	5,15	5,98

Source : FAO

b) Les caractéristiques du sol

C'est un sol argileux. Ainsi nous choisissons la valeur de l'humidité du sol à la capacité au champ, $H_{cc} = 35\%$ et celle de l'humidité du sol au point de flétrissement permanent, $H_{fp} = 17\%$. La vitesse d'infiltration du sol, $K = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ (12 mm/h).

c) Les caractéristiques des cultures

Tableau 6 : Les caractéristiques de la culture

Culture	S (ha)	K_c	GC	K_r	Z (m)	K_s	EU	E_a	R (mm)	ECW (dS/m)	maxEC _e (dS/m)	minEC _e (dS/m)
Banane	3,125	1,00 à 1,20	0,7	0,8	0,8	1	0,9	0,9	0	2	27	7,7

3.3.2. Les besoins en eau de la culture

Les calculs sont effectués sur la base des formules suivantes et les résultats de calculs se trouvent sur les classeurs Excel joints en Annexe 3, Annexe 4 et Annexe 5.

a) Calcul de l'Évapotranspiration Maximale, ETM (mm/j)

$$ETM = K_c \times ET_o$$

b) Calcul de l'Évapotranspiration Maximale Corrigé, ETM_{loc} (mm/j)

$$ETM_{loc} = K_r \times K_c \times ET_o \rightarrow \text{en irrigation localisée}$$

$$ETM_{loc} = K_c \times ET_o \rightarrow \text{dans le cas général}$$

3.3.3. Les besoins en eau d'irrigation

a) Calcul du besoin d'Irrigation Net, B_{net} (mm/j)

$$B_{net} = ETM_{loc} - (P_e + R)$$

b) Calcul du besoin d'Irrigation Brut, B_{brut} (mm/j)

$$B_{brut} = \frac{B_{net}}{E_a} + LR \rightarrow \text{en irrigation localisée}$$

RESULTATS DE L'ETUDE – LES CALCULS DES PARAMETRES D'IRRIGATION

avec

$$E_a = K_s \times EU$$

$$K_s = \frac{\text{Eau stockée dans la zone racinaire}}{\text{Eau apportée}} = 1 \text{ (sol argileux)}$$

$$LR = LR_t \times \frac{B_{net}}{E_a} \quad LR_t = \frac{EC_w}{2[maxEC_e]}$$

Où

$$B_{brut} = \frac{B_{net}}{E_a} \rightarrow \text{dans le cas général}$$

NB : Les besoins d'irrigation de pointe (mois de mars) sont utilisés pour le dimensionnement du réseau (calcul des diamètres des conduites, du débit des pompes, etc.). Les besoins d'irrigation réels serviront pour la conduite des arrosages.

3.3.4. La distribution de l'eau aux plantes

a) Calcul de la réserve utile, RU (mm)

$$RU = (H_{cc} - H_{fp}) \times Z \times 10$$

b) Calcul de la réserve facilement utilisable, RFU (mm)

$$RFU = P \times RU$$

c) La dose d'arrosage, D (mm)

$$D \leq RFU$$

d) La fréquence des arrosages, F (j)

$$F = \frac{D}{B_{brut}}$$

3.4. CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

3.4.1. Les différents systèmes d'irrigation

Les systèmes d'irrigation se regroupent en 2 catégories : les systèmes gravitaires et les systèmes sous pression :

a) Les systèmes gravitaires

- irrigation en bassin (plus connue) : l'eau est apportée sous forme d'une nappe dans un bassin (qui peut être cloisonné) aménagé sur un sol nivelé (pente de 0,1 à 1 %) ;
- irrigation à la raie : l'eau est apportées par ruissellement dans des sillons séparés d'une distance de 0,6 m à 1,25 m ; le sol est nivelé (pente de 0,2 à 3 %) ;
- irrigation par siphon ou rampes à vannettes : l'eau est amenée à la raie par des siphons ou des rampes à vannettes qui permettent la réduction de l'érosion en tête de la raie, une meilleure maîtrise des débits et de l'uniformité de répartition de l'eau.

b) Les systèmes sous pression

- irrigation par aspersion : épandage de l'eau sous forme de pluie avec régulation et uniformité de la dose apportée à condition que la zone ne subisse pas des vents supérieurs à 4 m/s ; les systèmes d'irrigation par aspersion sont soit fixes, soit mobiles;
- irrigation localisée : l'eau circule dans des tuyaux souples de petit diamètre disposés à la surface du sol et sont munis de dispositifs " goutteurs " qui apportent l'eau au pied des végétaux ; les systèmes d'irrigation localisée les plus répandus sont le goutte à goutte (indiqué pour le maraîchage) et le micro-jet (indiqué pour l'arboriculture).

Les systèmes d'irrigation sous pression engendrent une économie d'eau moyenne de 30 à 60 % par rapport aux systèmes gravitaires. Les systèmes d'irrigation localisée, quant à eux, peuvent engendrer une économie d'eau allant jusqu'à 50 % par rapport aux systèmes par aspersion (limitation maximale de l'évaporation et de la percolation car l'eau est livrée à faible dose n'humidifie qu'une fraction du sol). Les systèmes d'irrigation localisée occasionnent les plus-values suivantes : prévention du développement des mauvaises herbes et possibilité de fertigation. Ils ne sont par contre pas adaptés si les cultures emblavées sont à enracinement profond ainsi que si les eaux sont trop chargées (sable, limon, matière organique, fer,...qui peuvent obstruer les tuyaux) ou trop salées (pas de lessivage).

3.4.2. Choix des techniques d'irrigation

L'irrigation par aspersion était la toute première installation entreprise au niveau du périmètre, grâce à un projet d'accompagnement financé intégralement par l'état. Jadis, la superficie du périmètre mesurait 5 hectares et le réseau d'irrigation par aspersion fut équipé d'asperseurs

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

disposés en ligne le long d'une rampe mobile en alliage léger, qu'on démontait et déplaçait à la main, de poste en poste, pour irriguer l'ensemble de la parcelle.

Lorsque la coopérative a décidé d'étendre le périmètre, elle a porté son choix sur le système californien, à cause du coût élevé des équipements et de la main d'œuvre qu'exige le système d'irrigation par aspersion.

Au cours des discussions menées avec les exploitants, dans le cadre de la présente étude, il s'est dégagé très clairement que le système par aspersion n'est plus à l'ordre du jour. La coopérative envisage plutôt une réhabilitation du système (Californien) en place, pour résoudre le problème récurrent des fuites d'eau au niveau des conduites de distribution.

Par ailleurs, la coopérative s'intéresse aussi pour un système d'irrigation localisée. Lors d'une visite d'échange effectuée au Ghana, certains exploitants ont eu à visiter des installations de goutte-à-goutte qui méritent qu'on s'y intéresse. Dès ce moment-là, ils ont mis le projet de goutte-à-goutte en perspective. Cependant, la concrétisation dudit projet est conditionnée par deux facteurs :

- 👍 l'aboutissement du projet d'électrification du site du périmètre ;
- 👍 un apport extérieur (don ou crédit) des moyens financiers importants.

Eu égard à ce qui précède, le dimensionnement des réseaux d'irrigation se limitera à la conception des trois systèmes, à savoir :

- ☐ Le système d'irrigation "californien" ;
- ☐ Le système d'irrigation par barboteurs ;
- ☐ Le système d'irrigation par goutte-à-goutte.

3.4.3. Dimensionnement des réseaux d'irrigation

A) CONCEPTION D'UN SYSTEME D'IRRIGATION CALIFORNIEN

Le système californien, appelé aussi système de distribution par conduites, est une technique d'irrigation de surface par conduites, classifiée comme un système à basse/moyenne pression et installée de manière fixe et permanente. Il s'agit en fait du remplacement des canaux à ciel ouvert par un réseau fermé de conduites soigneusement conçu pour amener et distribuer l'eau aux parcelles sans pertes d'eau.

Trame et composantes du système

La trame de base du système californien comprend un ouvrage de tête simple, un réseau de conduites de distribution et des bornes.

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

L'ouvrage de tête comprend les vannes de réglage requises (sectionnement, contrôle, purgeur d'air) montées sur une section de conduite fileté en acier galvanisé de 60 cm au-dessus du sol, avec des sorties en té pour les robinets et le manomètre.

Une conduite d'adduction, enterrées, en PVC rigide de 168 mm (DN 6") de diamètre, PN 6 bars, relie la pompe au bloc. **Le réseau de conduites de distribution** à la ferme, de même type et dimension, est enterré le long des limites des parcelles.

Les bornes de prise sortent en surface, chacune desservant une surface de 0,042 ha. Elles sont équipées d'une vanne de sectionnement (robinet-vanne) capable de distribuer tout ou partie du débit aux fossés répartiteurs à ciel ouvert.

Caractéristiques et fonctionnement du système

La superficie du bloc d'irrigation est de 3,125 ha, divisée en 5 parts de 250 x 25 m et de même forme rectangulaire.

La topographie est régulière avec une pente de 0,59 % du nord au sud et 0,77 % de l'est vers l'ouest (voir le plan de l'aménagement en *Annexe 17*).

Les besoins en eau d'irrigation du mois de point sont estimés à 12,29 mm/j. La fréquence des arrosages est fixée à 7 jours : les irrigants ont 5 jours pour irriguer toutes les parcelles et les 2 jours restants sont consacrés à d'autres activités. Ainsi, la dose (D) à appliquer est de 86 mm (860 m³/ha).

Chaque exploitant irrigue une portion de 0,125 ha (50 x 25 m) par jour d'irrigation. Donc la superficie totale à irriguer par jour est de 0,625 ha dans le bloc.

Le débit, Q, en tête de la parcelle

Il est égal au débit nominal de la pompe (voir *Figure 27 : Courbes caractéristiques de la pompe de surface*).

$$\begin{aligned}\text{Donc } Q &= 140 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 39 \text{ l/s}\end{aligned}$$

Le dimensionnement des fossés distributeurs

Les fossés, au nombre de 3, auront des sections trapézoïdales et chacun irrigue une superficie de 0,042 ha (8,30 x 50 m) dans la parcelle de 0,125 ha (25 x 50 m).

La formule utilisée est celle de Manning-Strickler :

$$Q = K_s \times \frac{[y \times (b + m \times y)]^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 \times y \times \sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$$

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

En prenant une pente longitudinale de 1/00, des pentes de talus de 1/1, une largeur au plafond B = 30 cm et un Ks = 30, on obtient un tirant d'eau Y = 0,27 m.

Par conséquent, ces fossés auront une Hauteur H = 40 cm, avec une revanche de 13 cm.

Les caractéristiques des fossés sont récapitulées dans le *Tableau 7* ci-dessous :

Tableau 7 : Caractéristiques des fossés distributeurs

N°	Fossé	Q (l/s)	Larg. Plaf.	Pente	Ks	Talus	Tirant d'eau	Rev	Hauteur	Vitesse	Long.	Superficie irrig
			B (m)	I (0/00)		m	Y (m)	r (m)	H (m)	V (m/s)	L (m)	(ha)
1	F1	39	0,3	1	30	1	0,27	0,13	0,40	0,26	50,5	0,042
2	F2	39	0,3	1	30	1	0,27	0,13	0,40	0,26	50,5	0,041
3	F3	39	0,3	1	30	1	0,27	0,13	0,40	0,26	50,5	0,042
Sous-total parcelle											151,5	0,125
Sous- total bloc											3787,5	3,125
Total											22 725 m	18,75 ha

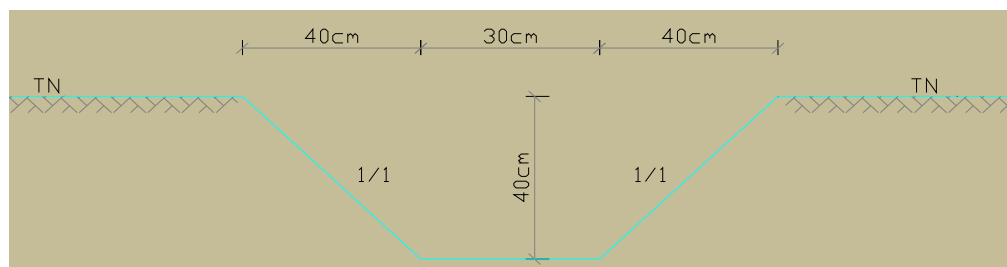


Figure 16 : Profils en travers type des fossés distributeurs

Détermination du temps nécessaire, t, pour irriguer la superficie de 0,625 ha

$$t = \frac{D * S}{Q} = \frac{860 * 0,625}{140} = 3,84 \text{ h}$$

t = 3h 50mn

La pression de fonctionnement

La pression requise pour le fonctionnement normale du système est de **1,28 bars**.

Charge dynamique totale de l'unité de pompage

La hauteur de pompage est de 7,8 m. Donc la charge dynamique totale de l'unité de pompage vaut **2,06 bars**.

La puissance requise (P)

La puissance requise de la pompe est de **22,88 kw**.

Les détails de calculs se trouvent en *Annexe 6 : Dimensionnement du système d'irrigation californien*

Le coût du système

Ce système à basse pression est installé de manière fixe et permanente. Le coût global des équipements nécessaires pour l'installation du système est d'environ **37 657 000 F CFA**. Soit **2 008 500 F CFA/ha** (voir les détails en *Annexe 7 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système californien*).

Les avantages du système

- 👍 Investissement initial faible ;
- 👍 Disponibilité de l'équipement requis ;
- 👍 Facilité de fonctionnement et d'entretien ;
- 👍 Adaptabilité très aisée pour les utilisateurs ;
- 👍 Validité pour une large gamme de cultures ;
- 👍 Adaptabilité à toutes dimensions d'exploitations et formes irrégulières de parcelles.

Les inconvénients du système

- 👎 Nécessite des irrigants expérimentés ;
- 👎 Faible efficacité d'application (distribution) au champ ;
- 👎 Adaptabilité difficile aux terrains inégaux et sols sableux ;
- 👎 Ne s'applique pas aux faibles débits ;
- 👎 Système mieux adapté aux sols moyens/lourds.

En dehors des avantages et inconvénients mentionnés ci-dessus, la principale caractéristique du système est qu'il constitue la première mesure à prendre pour permettre aux exploitants de passer en douceur, facilement, sûrement et économiquement des pratiques d'irrigation traditionnelle à des techniques plus avancées.

B) CONCEPTION D'UN SYSTEME D'IRRIGATION PAR BARBOTEURS

L'irrigation par barboteurs est un système d'irrigation localisée à basse pression, installé de manière fixe et permanente et utilisé dans les plantations d'arbres. Au pied de chaque arbre est aménagée un bassin (ou cuvette) rond ou carré, qui est rempli d'eau durant l'irrigation. Disposés dans chaque bassin, Les barboteurs distribuent l'eau à un débit de 100 litres/heure.

Trame et composantes du système

La trame du réseau comprend un ouvrage de tête sans dispositif de filtration ni de fertilisation (voir *Figure 17*). Les conduites principales et secondaires sont des conduites enterrées rigides en PVC, respectivement de 125 mm et 90 mm de diamètre, PN 6 bars. Les conduites latérales de 50,5 et 52 m de longueur sont aussi des tuyaux enterrés rigides en PVC de 50 mm de diamètre. Une conduite latérale est disposée pour deux rangées de bananiers avec de petits tuyaux flexibles se déroulant de chaque côté et branchés aux barboteurs. De cette manière, la même conduite latérale, enterrée entre deux rangs de bananiers, peut desservir 25 pieds de chaque côté, soit 50 pieds espacés de 2 m, avec 50 barboteurs (un barboteur par pied). Le plan de l'aménagement est joint en *Annexe 18 : Trame du système d'irrigation par barboteurs*.

Les principales caractéristiques des barboteurs :

- pression de service : 1 bars ;
- débit : 100 l/h.

Caractéristiques et fonctionnement du système

Les mêmes données de base (superficie et découpage parcellaire, topographie, besoins en eau d'irrigation, fréquence des arrosages, dose brute) utilisées précédemment sont valables pour le dimensionnement de ce système.

Les caractéristiques déterminées pour le système sont les suivantes :

- Nombre de barboteurs par conduite latérale : 50 ;
- Débit dans la conduite latérale : 5 000 l/h (5 m³/h) ;
- Nombre de conduites latérales : 900 (150 x 6 blocs) ;
- Débit du système : 180 m³/h (60 m³/h x 3 stations équipées de pompes immergées) ;
- Nombre de conduites latérales en service simultanément : 36 (6 x 2 parcelles x 3blocs) ;
- Nombre de tours par irrigation : 5 ;
- Heures de fonctionnement par tour : 1,33 h (1h 20 mn) ;
- Temps requis pour une irrigation : 6,65 h (6h 40 mn).

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

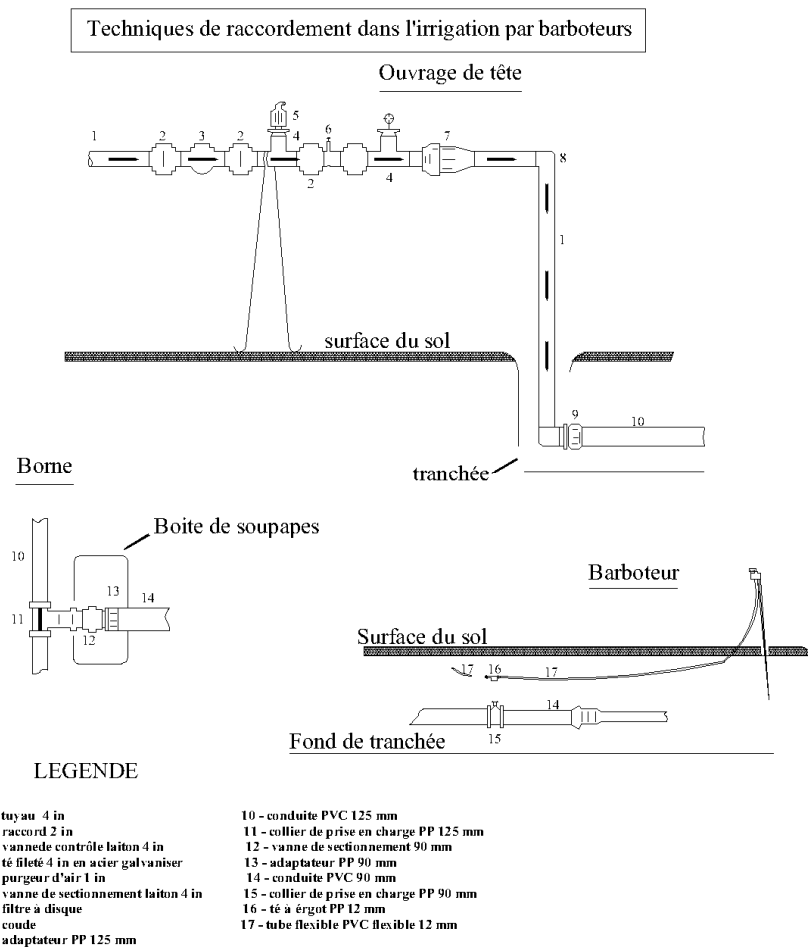


Figure 17 : Techniques de raccordement dans l'irrigation par barboteurs

Les trois (03) stations de pompage, équipées de pompes immergées, livrent chacune un débit de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ partagé entre 2 blocs. Ainsi, le débit requis pour le fonctionnement simultané des 6 conduites latérales d'un bloc ($3,125 \text{ ha}$) est de $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

La dose d'irrigation étant de $576,5 \text{ m}^3/\text{ha}$, l'apport par irrigation de pointe est de :

avec

$P_w = 57,54 \%$;

$A = 4 \text{ m}^2$ ($0,0004 \text{ ha}$), l'aire d'une plante.

La durée d'application, t , par tour pour une dose d'irrigation de $0,133 \text{ m}^3$ est de :

donc **$t = 1 \text{ h } 20 \text{ mn}$** . Soit $1 \text{ h } 30 \text{ mn}$ dans la pratique.

avec $q = 100 \text{ l/h}$ ($0,1 \text{ m}^3/\text{h}$), le débit d'un barboteur.

La pression de fonctionnement

La pression requise pour le fonctionnement normale du système est de **4,13 bars**.

Charge dynamique totale de l'unité de pompage

La hauteur de pompage est de 10,8 m. Donc la charge dynamique totale de l'unité de pompage vaut **5,21 bars**.

La puissance requise (P)

La puissance requise de la pompe est de **24,80 kw**.

Les détails de calculs figurent en *Annexe 8 : Dimensionnement du système d'irrigation par barboteurs* et *Annexe 9 : Récapitulatif du dimensionnement du système par barboteurs*

Le coût du système

Le coût global des équipements nécessaires pour l'installation du système par barboteurs est d'environ **90 056 000 F CFA**. Soit **4 803 000 F CFA/ha** (voir les détails en *Annexe 10 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système par barboteurs*).

Les avantages du système

- 👉 Efficience d'irrigation élevée, jusqu'à 75 %, permettant des économies d'eau considérables, avec un contrôle absolu de l'eau de sa source jusqu'au bassin de l'arbre ;
- 👉 L'ensemble du réseau est enterré, ce qui laisse le terrain libre pour toutes les façons culturales ;
- 👉 La technologie est simple et aucun équipement sophistiqué n'est requis. Le système peut être utilisé par des exploitants et ouvriers non spécialisés ;
- 👉 Aucun filtre ni installation de fertilisation ne sont nécessaires.

Les inconvénients du système

- 👉 Investissement initial élevé ;
- 👉 Les petits débits ne conviennent pas, à l'inverse des autres systèmes de micro-irrigation ;
- 👉 Dans les sols sableux à taux d'infiltration élevé, il est malaisé d'obtenir une distribution uniforme de l'eau dans les bassins des arbres.

C) CONCEPTION D'UN RESEAU D'IRRIGATION PAR GOUTTE-A-GOUTTE

L'irrigation par goutte-à-goutte est la méthode d'irrigation la plus avancée, avec l'efficacité d'application la plus élevée. L'eau est distribuée en continu au même endroit sous forme de gouttes. La zone plantée n'est que partiellement humidifiée.

Superficie et besoins en eau

La superficie du bloc d'irrigation de 3,125 ha, composée de 5 parts de 250 x 25 m, porte les rangs de bananiers espacés de 2 m, avec un espacement de 2 m entre chaque pied de bananier. Chaque part appartenant à un exploitant est divisée, à son tour, en cinq parcelles de 12 rangs de 50 m de longueur chacune ; à raison de 25 plantes par rang, cela donne 7500 plantes et 300 rangs plantés pour l'ensemble du bloc.

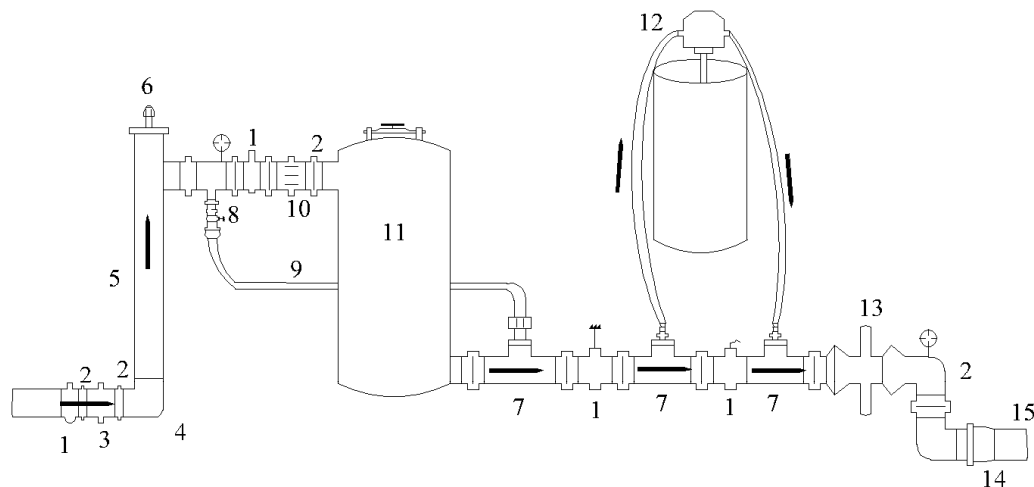
La topographie est régulière avec une pente de 0,59 % du nord au sud et 0,77 % de l'est vers l'ouest (voir le plan en *Annexe 19 : Trame du système d'irrigation goutte-à-goutte*).

Les besoins en eau d'irrigation du mois de point sont estimés à 8,24 mm/j. La fréquence des arrosages est fixée à 2 jours. Ainsi, la dose (D) à appliquer est de 16,47 mm (164,7 m³/ha).

Trame du système

Le système comprend un ouvrage de tête (voir *Figure 18*) équipé d'un filtre à gravier, d'un filtre à disque, d'un injecteur à fertilisant et d'une vanne de réglage. La tête morte, ainsi que les conduites principale sont en PVC rigide 125 mm, enterrées. Les conduites secondaires de 90 mm et les adducteurs de 50 mm sont en PEHD, posés en surface. Sur les conduites secondaires, on installe les bornes sur lesquelles sont connectés les adducteurs. Les conduites latérales sont des tuyaux en PEFD de 16 mm posés perpendiculairement aux conduites secondaires, un par rangée de plantes. Afin d'alimenter des pieds de bananiers, des goutteurs sont insérés dans les conduites latérales tous les 1 m (deux par plante). Voir Le plan de l'aménagement en *Annexe 19*.

Ouvrage de tête dans l'irrigation par goutte-à-goutte



LEGENDE

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 - vanne de sectionnement laiton 4 in | 9 - tuyau PEFD 32 mm |
| 2 - raccord 4 in | 10 - raccord fileté $\frac{3}{4}$ in |
| 3 - vannede contrôle laiton 4 in | 11 - filtre gravier 4 in |
| 4 - coude fileté | 12 - injecteur de fertilisant |
| 5 - tube fileté 4 in en acier galvanisé | 13 - filtre à disque 4in |
| 6 - purgeur d'air 1 in | 14 - adaptateur compression |
| 7 - tête fileté 4 in en acier galvanisé | 15 - conduite principale PVC 125 mm |
| 8 - vanne de sectionnement 1 in | |

Figure 18 : Ouvrage de tête dans l'irrigation par goutte-à-goutte

Caractéristiques des goutteurs

- en dérivation : 4 litres/heure à 1 bar ;
- filtration requise de 160 « mesh».

Caractéristiques des conduites latérales

- tuyaux en PEFD de 16 mm, PN4 bars, longueur 50 m ;
- nombre de goutteurs par latérale : 50 ;
- débit total : 200 litres/heure
- nombre de conduites latérales pour 1 bloc : 300 ;
- longueur totale pour 1 bloc : 15 000 m
- nombre total de goutteurs pour 1 bloc : 15 000.

Caractéristiques des adducteurs

- tuyaux en PEHD de 50 mm, PN6 bars, longueur 22 m ;

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

- nombre de latérales : 12 ;
- débit total : 2 400 litres/heure
- nombre d'adducteurs pour 1 bloc : 25 ;
- longueur d'un adducteur : 22 m
- longueur totale pour 1 bloc : 550 m

Caractéristiques des conduites secondaires

- tuyaux en PEHD de 90 mm, PN6 bars, longueur 122,5 m en moyenne (124,5 m dans le bloc 7 et 120,5 m dans le bloc 6) ;
- nombre de conduites secondaires : 3 ;
- longueur totale pour 1 bloc : 367,5 m

Caractéristiques de la conduite principale

- tuyaux en PCV rigide de 125 mm, PN6 bars, longueur 219,30 m (correspondant à 109,65 m par bloc) ;
- nombre de conduites principales : 1 ;
- longueur totale pour 1 bloc : 109,65 m

Caractéristiques de la tête morte

- tuyaux en PCV rigide de 125 mm, PN6 bars, longueur 245 m ;

Fonctionnement du système

Le débit requis pour le fonctionnement simultané des conduites latérales d'un bloc (3,125 ha) est de 60 m³/h. La dose d'irrigation étant de 164,7 m³/ha, l'apport par irrigation de pointe pour 1 bloc est de :

$$164,7 \times Pw \times 3,125 \text{ ha} = 296,15 \text{ m}^3$$

Avec $Pw = 57,54 \%$

La durée d'application, t , par tour pour une dose d'irrigation de 296,15 m³ est de :

$$t = \frac{296,15}{60} = 4,94 \text{ h}$$

Donc $t = 5 \text{ h}$

La pression de fonctionnement

La pression requise pour le fonctionnement normale du système est de **4,48 bars**.

Charge dynamique totale de l'unité de pompage

La hauteur de pompage est de 10,8 m. Donc la charge dynamique totale de l'unité de pompage vaut **5,56 bars**.

La puissance requise (P)

La puissance requise de la pompe est de **26,47 kw**.

Les détails de calcul sont en *Annexe 11 : Dimensionnement du système d'irrigation goutte-à-goutte* et *Annexe 12 : Récapitulatif du dimensionnement du système goutte-à-goutte*

Le coût du système

Le coût global des équipements nécessaires pour l'installation du système goutte-à-goutte est d'environ **57 871 000 F CFA**. Soit **3 086 500 F CFA/ha** (les détails figurent en *Annexe 13 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système goutte-à-goutte*).

Les avantages du système

- 👉 Economie d'eau. La superficie plantée est partiellement humidifiée, mais précisément et avec une quantité d'eau contrôlée. ainsi, de grandes quantités d'eau d'irrigation sont économisées et la superficie irriguée peut être accrue avec le même volume mobilisé, ce qui permet un revenu supérieur par unité de volume d'eau ;
- 👉 Utilisation sur des sols marginaux. De petites parcelles irrégulières marginales, éloignées en raison du morcellement des terres et présentant des topographies variables et des sols peu profonds, peuvent être productrices avec les techniques de goutte-à-goutte qui livrent directement aux plantes les quantités nécessaires d'eau et d'éléments nutritifs ;
- 👉 Les faibles besoins en main-d'œuvre, la surveillance restreinte de la culture, la lutte réduite contre les mauvaises herbes et le fonctionnement ininterrompu font également partie des avantages de la méthode.

Les inconvénients du système

- ☞ Coût initial assez élevé ;
- ☞ Une gestion rationnelle de l'irrigation est indispensable pour un fonctionnement satisfaisant du système, l'application de la fertilisation et l'entretien de l'équipement de l'ouvrage de tête (filtres, injecteurs, etc.) ;
- ☞ Engorgement des goutteurs. Le premier obstacle à la réussite de l'introduction des techniques d'irrigation par goutte-à-goutte est le colmatage mécanique des goutteurs dû à un filtrage insuffisant des impuretés de l'eau d'irrigation.

3.4.4. Dimensionnement du réseau de drainage

Le réseau de drainage permettra d'évacuer les eaux superficielles excédentaires hors du périmètre. Un réseau régulier, c'est-à-dire un canevas de fossés ouverts dont l'écartement et l'orientation sont réguliers, couvrira l'ensemble du périmètre irrigué. Il est composé des colatures tertiaires, secondaires et primaires. Les cours d'eau naturels constituent les émissaires (voir le plan de l'aménagement en *Annexe 17 : Trame du système d'irrigation californien*).

a) Pluie critique, débit caractéristique

Le réseau de drainage doit évacuer la pluie critique dont la durée est égale à la durée admissible de submersion des cultures qui est de 3 jours. La périodicité moyenne de retour des pluies est fixée à 10 ans.

Le débit caractéristique est donné par la formule suivante :

$$q_c = \frac{1 - e}{0,36} * i$$

avec :

q_c = débit caractéristique en l/s/ha

i = intensité de la pluie critique en mm/h

e = coefficient d'évaporation

Par défaut de la valeur de l'intensité de la pluie critique, on utilise la formule de MONTANA qui en donne une évaluation approximative en fonction de la durée et de la fréquence de retour des pluies (Source : mémento de l'adjoint technique des travaux ruraux).

$$i = \frac{a}{\sqrt{t}}$$

$$i = \frac{145}{\sqrt{72 * 60}} = 2,21 \text{ mm/h}$$

fréquence	a
1 an	47
2 ans	79
5 ans	113
10 ans	145

Le débit caractéristique, le coefficient d'évaporation étant de 0,50, sera :

$$q_c = \frac{1 - 0,50}{0,36} * 2,21 = 3,07 \text{ l/s/ha}$$

b) Dimensionnement

En prenant une pente longitudinale de 1‰, des pentes de talus de 1/1 et un $K_s = 30$, on obtient par la formule de Manning-Strickler qui s'écrit pour une section trapézoïdale :

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

$$Q = K_s \times \frac{[y \times (b + m \times y)]^{\frac{5}{3}}}{(b + 2 \times y \times \sqrt{1 + m^2})^{\frac{2}{3}}}$$

Les superficies drainées sont variables au sein d'une même catégorie de colatures, à l'exception des colatures tertiaires qui sont identiques. Par conséquent, ces colatures auront des dimensions différentes logiquement. Cependant, pour des raisons pratiques, on prendra les profondeurs de 40 cm, 30 cm et 25 cm, respectivement pour les colatures primaires, secondaires et tertiaires (voir le profil en travers ci-dessous).

Globalement, sur le bloc N°6, il y aura trois (3) colatures primaires, dix (10) colatures secondaires et dix-sept (17) colatures tertiaires.

Pour obtenir le nombre total des colatures sur le périmètre, ainsi que leurs longueurs totales, il suffit tout simplement de multiplier les données du bloc N°6 par 6.

Les caractéristiques de ces colatures sont données dans les tableaux suivants :

Tableau 8 : Caractéristiques des colatures tertiaires

Colature	i	q	q	I	Ks	m	B	Y	H	r	Long.	Sup. drainée
	(mm/h)	(l/s/ha)	(l/s)	(‰)			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(ha)
CT1	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT2	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT3	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT4	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT5	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT6	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT7	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT8	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT9	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT10	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT11	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT12	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT13	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT14	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT15	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT16	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
CT17	2,21	3,07	0,43	1,00	30	1	0,10	0,04	0,25	0,21	26,00	0,14
Sous-Total bloc											442,00	2,38
Total											2 652 m	14,28 ha

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

Tableau 9 : Caractéristiques des colatures secondaires

Colature	i	q	q	I	Ks	m	B	Y	H	r	Long.	Sup. drainée
	(mm/h)	(l/s/ha)	(l/s)	(‰)			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(ha)
CS1	2,21	3,07	1,53	1,00	30	I	0,20	0,05	0,30	0,25	108,00	0,50
CS2	2,21	3,07	1,53	1,00	30	I	0,20	0,05	0,30	0,25	108,00	0,50
CS3	2,21	3,07	1,53	1,00	30	I	0,20	0,05	0,30	0,25	108,00	0,50
CS4	2,21	3,07	1,53	1,00	30	I	0,20	0,05	0,30	0,25	108,00	0,50
CS5	2,21	3,07	1,53	1,00	30	I	0,20	0,05	0,30	0,25	108,00	0,50
CS6	2,21	3,07	1,01	1,00	30	I	0,20	0,04	0,30	0,26	54,00	0,33
CS7	2,21	3,07	1,01	1,00	30	I	0,20	0,04	0,30	0,26	54,00	0,33
CS8	2,21	3,07	1,01	1,00	30	I	0,20	0,04	0,30	0,26	54,00	0,33
CS9	2,21	3,07	1,01	1,00	30	I	0,20	0,04	0,30	0,26	54,00	0,33
CS10	2,21	3,07	1,01	1,00	30	I	0,20	0,04	0,30	0,26	54,00	0,33
Sous-Total bloc											810,00	4,15
Total											4 860 m	24,90 ha

Tableau 10 : Caractéristiques des colatures primaires

Colature	i	q	q	I	Ks	m	B	Y	H	r	Long.	Sup. drainée
	(mm/h)	(l/s/ha)	(l/s)	(‰)			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(ha)
CPI	2,21	3,07	7,12	1,00	30	I	0,30	0,11	0,40	0,29	210,00	2,32
CP2	2,21	3,07	4,73	1,00	30	I	0,30	0,08	0,40	0,32	130,00	1,54
CP3	2,21	3,07	2,49	1,00	30	I	0,30	0,06	0,40	0,34	144,00	0,81
Sous-total bloc											484,00	4,67
Total											2 904 m	28,02 ha

RESULTATS DE L'ETUDE – CHOIX ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'IRRIGATION

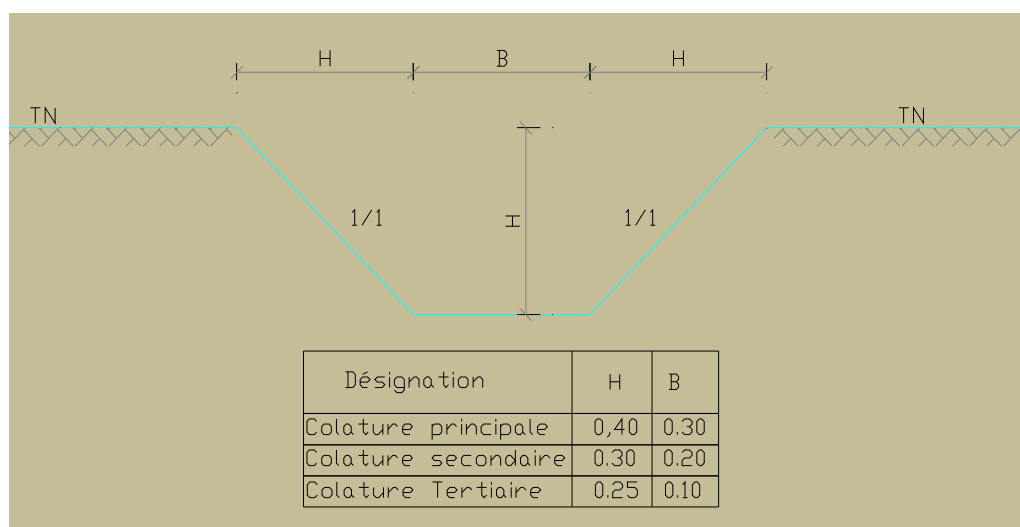


Figure 19: Profil en travers type des colatures

c) Entretien du réseau de drainage

L'ensemble des fossés (colatures) du réseau doit être curé au minimum une fois l'an. Cette opération consiste à désherber et à remettre aux dimensions initiales les colatures. Elle peut être exécutée manuellement.

3.5. MAINTENANCE DES SYSTEMES D'IRRIGATION

Pour garantir une qualité de fonctionnement qui permette d'assurer véritablement des bonnes performances au niveau du réseau, il est indispensable d'instaurer un programme rigoureux de suivi, de contrôle et de maintenance.

3.5.1. Entretien des réseaux d'irrigation localisée

Pour fonctionner correctement, un système d'irrigation goutte-à-goutte a besoin d'eau propre. Une filtration appropriée est donc une nécessité absolue car, dans la nature, l'eau est rarement exempte de matières en suspension. La filtration est la clé du bon fonctionnement du système. Le système d'irrigation doit être muni d'un filtre à tamis à l'aval du filtre à sable pour éviter l'entrée de particules du milieu filtrant dans les systèmes d'irrigation.

Pour maintenir une distribution d'eau aussi homogène que possible, les exploitants doivent bien entretenir le réseau :

- ☞ en veillant au bon fonctionnement des filtres en les nettoyant ;
- ☞ en contrôlant régulièrement le réseau de distribution.

a) Le nettoyage et le contrôle des filtres (spécialement pour le système goutte-à-goutte)

▪ Nettoyage du filtre à sable

Le nettoyage du filtre à sable se fait par contre-lavage, en faisant passer de l'eau filtrée en sens inverse de la filtration, par un jeu de vannes. Les impuretés sont évacuées à l'extérieur par le courant d'eau.

*Fermer la vanne d'arrivée **Vb1** et la vanne de contre-lavage **Va2** ;*

*Ouvrir la vanne d'arrivée **Va1** et la vanne de contre-lavage **Vb2** ; et la vanne de contre-lavage **Vb2**.*

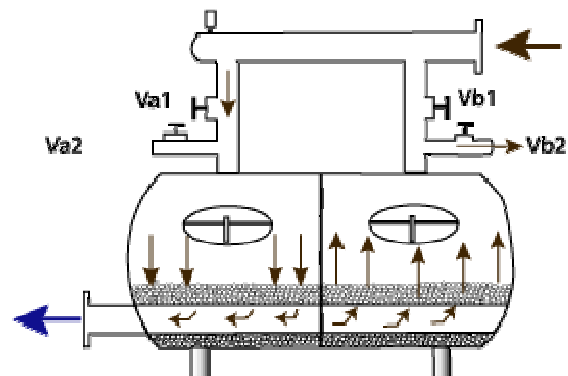


Figure 20 : Filtre à sable : contre-lavage du filtre droit

▪ Nettoyage du filtre à tamis

Pour nettoyer le filtre à tamis, l'on doit brosser et rincer le tamis. On doit éviter d'utiliser des brosses métalliques dures qui peuvent détériorer les mailles du tamis.

Malgré les nettoyages des filtres, des dépôts finissent par altérer leur perméabilité, plus ou moins rapidement suivant la qualité de l'eau.

- *Filtre à sable*

Il est conseillé de changer le sable au moins tous les deux ans. Il faut veiller à la qualité du sable (calibré et roulé) et le laver avant de l'utiliser.

- *Filtre à tamis*

Il faut :

- vérifier périodiquement l'état du tamis et le changer si les mailles sont obstruées ou détériorées ;
- vidanger les filtres en fin de saison d'irrigation

b) Le nettoyage et le contrôle des distributeurs

▪ *Contrôle*

Pour surveiller les variations des débits dues au colmatage progressif des distributeurs on mesure régulièrement le débit total distribué par l'installation grâce à un compteur monté en tête du réseau sur lequel on contrôlera le volume distribué en une heure.

Il faut :

- vérifier périodiquement en début et en cours de campagne que les distributeurs ne sont pas obstrués ou détériorés ;
- contrôler périodiquement, si possible chaque année avant la mise en eau du réseau, l'uniformité des débits et leur variation par rapport à ceux du réseau neuf.

Calcul de l'uniformité des débits

Pour contrôler l'uniformité des débits la procédure suivante pourra être appliquée au champ.

- Mesurer sur au moins quatre rampes le débit d'au moins quatre distributeurs (voir Figure 21)

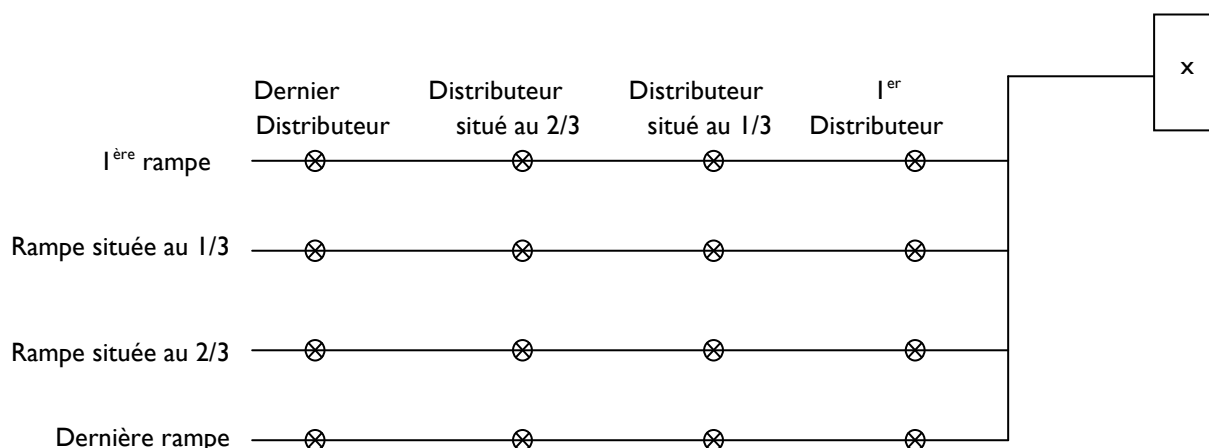


Figure 21 : Localisation des points de mesure des débits sur installation d'irrigation localisée

RESULTATS DE L'ETUDE – MAINTENANCE DES SYSTEMES D'IRRIGATION

- Choisir

- ☞ la première et la dernière rampe, celles qui se trouvent au tiers et aux deux tiers de la longueur du porte-rampe ;
- ☞ sur chacune de ces rampes, le premier et le dernier distributeur, ceux qui se trouvent au tiers et aux deux tiers de la longueur de la rampe ;
- ☞ classer les débits mesurés par ordre croissant.

- Calculer :

- ☞ la moyenne de l'ensemble des débits mesurés

$$q' = \frac{\text{somme des 16 valeurs}}{16}$$

- ☞ la moyenne des 4 mesures de débit les plus faibles

$$q'_{min} = \frac{\text{somme des 4 valeurs des débits les plus faibles}}{4}$$

Le coefficient d'uniformité est : $Cu = 100 \times \frac{q'_{min}}{q'}$

- ▶ si Cu est supérieur à 90 il n'y a pas lieu d'intervenir sur le réseau ;
- ▶ si Cu est compris entre 90 et 70 le réseau doit être nettoyé ;
- ▶ si Cu est inférieur à 70, il faut rechercher les causes du colmatage et traiter.

3.5.2. Entretien du réseau d'irrigation Californien

L'entretien du réseau d'irrigation est un facteur essentiel d'une bonne gestion de l'irrigation. Il comprend un ensemble d'opérations qui doivent être effectuées par les exploitants pour assurer la pérennité des équipements. La procédure pour le réseau consiste à :

- purger les conduites de distribution d'eau ;
- rechercher les fuites d'eau dans les conduites, et les réparer ;
- ouvrir et drainer complètement toutes les vannes ;
- etc.

Les dégâts divers causés au matériel feront l'objet de réparation rapide. A cet effet, il est indispensable de constituer un stock conséquent de pièces de rechange, de former les exploitants aux opérations de réparation simples et de disposer de compétences locales pour les réparations plus importantes.

3.6. ELABORATION DE CALENDRIERS D'IRRIGATION

De manière générale, les agriculteurs ne maîtrisent pas les notions de doses, de réserve en eau du sol, de temps d'irrigation. Ainsi, ils apportent la même dose tout au long de la campagne d'irrigation. Pour remédier à ces pratiques qui induisent des consommations en eau supplémentaires, les calendriers d'irrigation, présentés dans le «Tableau 10» ainsi que dans les figures Figure 22, Figure 23 et Figure 24) peuvent aider les irrigants du périmètre à organiser efficacement les arrosages. Ils constituent un « garde-fou » contre l'usage abusif de l'eau.

Tableau 11: Calendriers d'irrigation de trois systèmes d'irrigation

Période	Système d'irrigation californien			Système d'irrigation par barboteurs			Système d'irrigation goutte-à-goutte		
	Fréquence (j)	Dose (mm)	Durée d'irrig.	Fréquence (j)	Dose (mm)	Durée d'irrig.	Fréquence (j)	Dose (mm)	Durée d'irrig.
Octobre	7	43,73	25mn	7	27,79	40mn	2	7,94	1h10mn
Novembre	7	56,30	30mn	7	37,62	55mn	2	10,75	1h35mn
Décembre	7	61,26	35mn	7	41,22	1h	2	11,78	1h45mn
Janvier	7	67,33	40mn	7	45,38	1h 5mn	2	12,97	1h55mn
Février	7	78,40	45mn	7	52,73	1h15mn	2	15,07	2h15mn
Mars	7	86,00	50 mn	7	57,65	1h20mn	2	16,47	2h25mn
Avril	7	78,01	45mn	7	51,42	1h15mn	2	14,69	2h10mn
Mai	7	50,31	30mn	7	29,65	45mn	2	8,47	1h15mn
Juin	7	25,24	15mn	7	11,21	20mn	2	3,20	30mn

RESULTATS DE L'ETUDE – ELABORATION DE CALENDRIERS D'IRRIGATION

ORGANISATION MENSUELLE DE L'IRRIGATION
(californien)

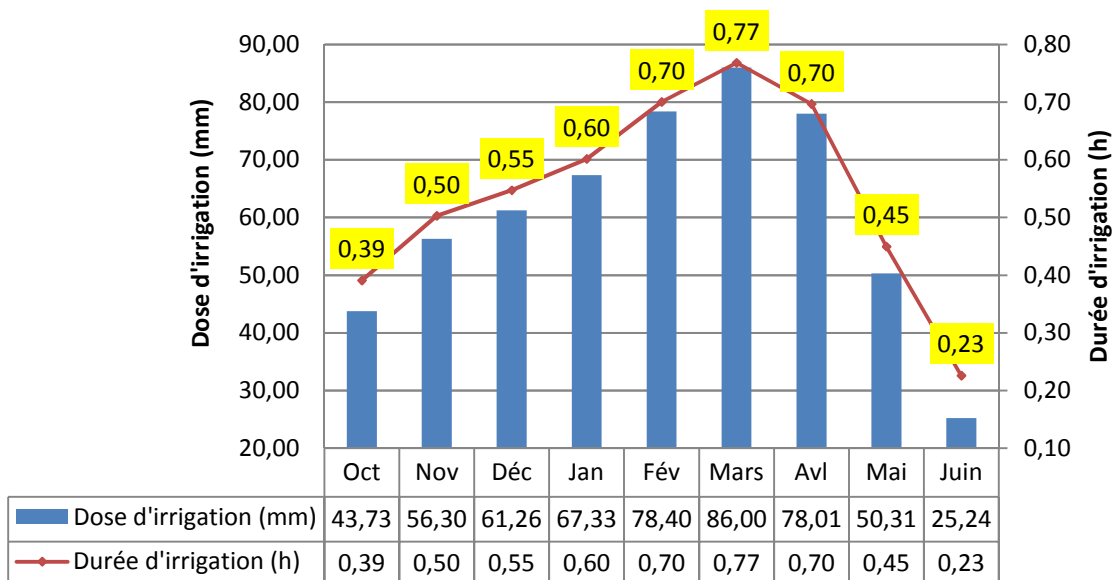


Figure 22 : Calendrier d'irrigation pour le système californien

ORGANISATION MENSUELLE DE L'IRRIGATION
(barboteurs)

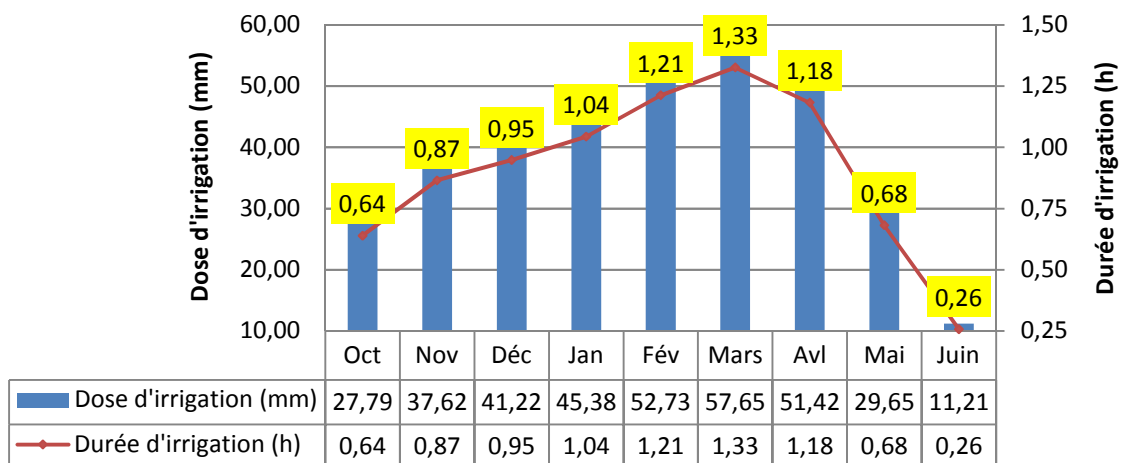


Figure 23: Calendrier d'irrigation pour le système par barboteurs

RESULTATS DE L'ETUDE – ELABORATION DE CALENDRIERS D'IRRIGATION

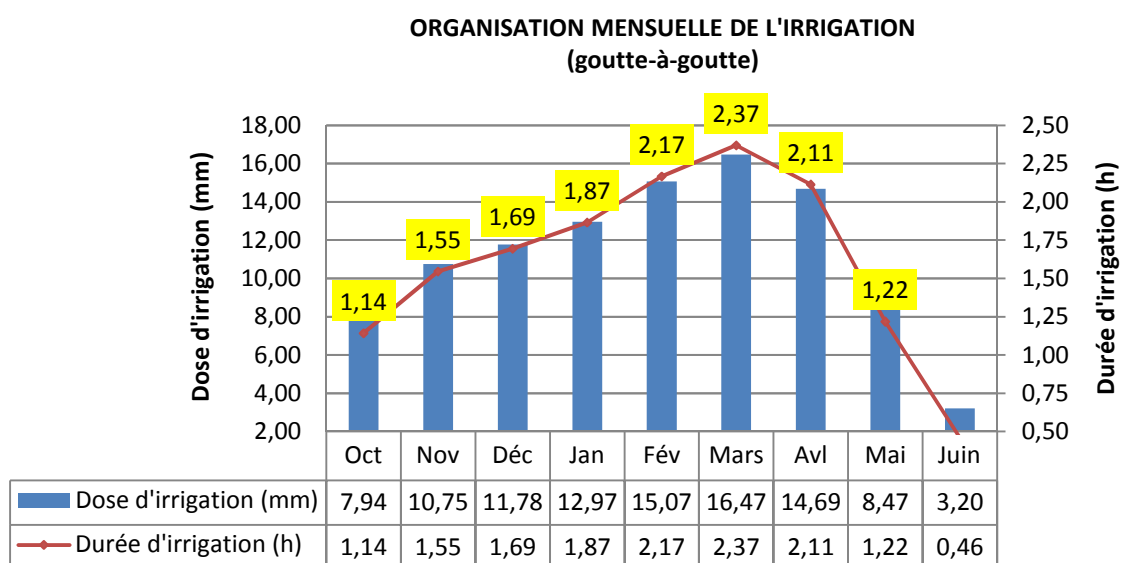


Figure 24 : Calendrier d'irrigation pour le système goutte-à-goutte

3.7. COMPARAISON ECONOMIQUE DES SYSTEMES D'IRRIGATION

Cette comparaison est basée uniquement sur les coûts d'acquisition des équipements des systèmes d'irrigation et une partie des frais de fonctionnement (énergie et redevance eau). Les autres frais, tels que la main d'œuvre, les frais d'entretien, ... ne sont pas pris en compte. La valeur de l'amortissement annuel des équipements est évaluée au dixième du coût global. Quant aux prix de l'énergie et de l'eau, ils sont estimés respectivement à 100 F.CFA / kwh et 50 F.CFA / m³.

Les histogrammes (voir Figure 25) issus de calculs permettent de mettre en comparaison les trois systèmes d'irrigation. Pour ce qui est de détails de calculs, voir l'Annexe 14 : *Comparaison économique des trois systèmes d'irrigation*.

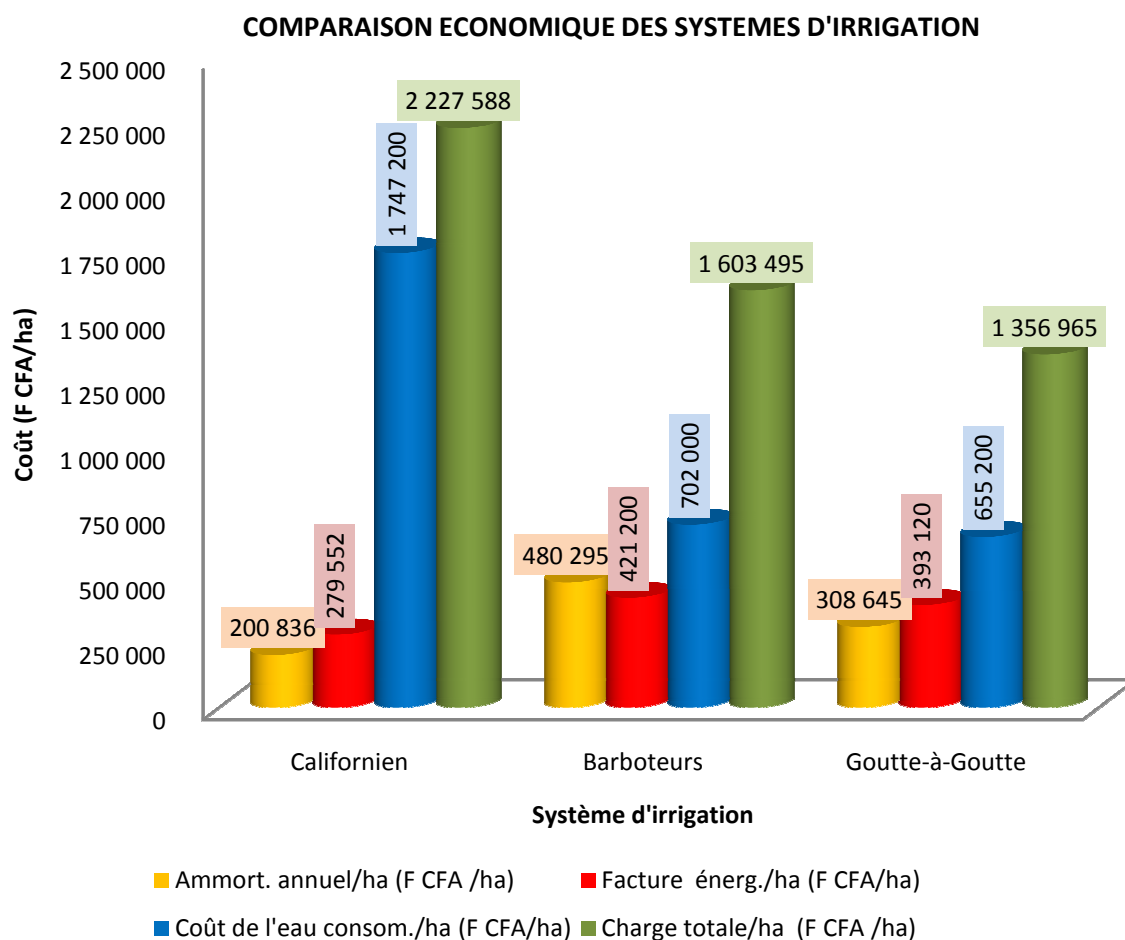


Figure 25 : Comparaison économique des trois systèmes d'irrigation

3.8. LE SYSTEME DE POMPAGE

3.8.1. Les stations de pompage

Les stations de pompage actuelles du périmètre irrigué sont au nombre de sept (07), dont six (06) destinées pour la bananeraie. Toutes les stations sont équipées des pompes centrifuges de surface identiques, qui ravitaillent en eau les systèmes d'irrigation californiens en place. (cf. *Tableau 12 : Caractéristiques des motopompes*).

Tableau 12 : Caractéristiques des motopompes

DÉTAILS DE LA POMPE	Spécifications	Données
	Modèle de la pompe	S66
	Type de la pompe	Douille fendue
	RPM	1800
	Puissance maximale (kW/HP)	13,23/18
	Hauteur Manométrique Totale	18 m
	Débit maxi.	200 m ³ /h
	Ø aspiration	150 mm
	Ø refoulement	150 mm
DÉTAILS DU MOTEUR	Modèle du moteur	89A
	Type du moteur	vertical à quatre temps
	Puissance (CV/kW)	18/13,23
	Vitesse	1800 tr/mn
	Capacité du réservoir	20 litres
	Mode de démarrage	A démarrage manuel
	Méthode de refroidissement	Refroidi à l'eau
	Consommation spécifique de carburant	25 l g/kWh
	Consommation d'huile de lubrification	1% de la consommation de carburant

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

En ce qui concerne les systèmes d'irrigation localisés (goutte-à-goutte et barboteurs) ultérieurs, dont Les pressions requises pour leur fonctionnement sont nettement élevées, le pompage d'eau sera fait par des pompes immergées qui seront installées dans des puits ou forages (cf. *Tableau 13 : Caractéristiques des pompes immergées*)

Tableau 13 : Caractéristiques des pompes immergées

DÉTAILS DE LA POMPE	Spécifications	Données
	Nom de la pompe	GRUNDFOS SP 60-8-B
	Matériau de la pompe	Acier inoxydable I.430I DIN W.-Nr
	Modèle	A
	Nombre d'étages	8
	Pression nominale	56 m
	Débit nominal	60 m ³ /h
	Clapet	Pompe avec clapet anti-retour intégré
	Diamètre au refoulement	Rp 4
DÉTAILS DU MOTEUR	Type du moteur	MS6000
	Fréquence	50 Hz
	Puissance	15,4 kw
	Vitesse	2900 tr/mn
	Type de garniture mécanique	CER/CARBON
	Matériau du moteur	Acier inoxydable I.430I DIN W.-Nr
	Diamètre du moteur	4 inch
	Démarrage	direct

a) Notions essentielles d'hydraulique

Débit (Q)

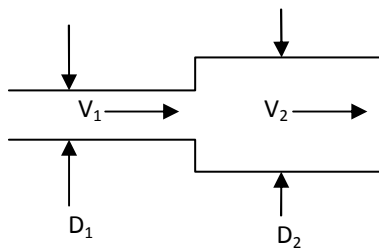
Le débit fourni par une pompe est le volume d'eau qu'elle refoule par unité de temps. Pour une conduite, l'équation qui lie le débit Q à la vitesse moyenne V d'écoulement de l'eau et au diamètre D de la conduite est la suivante :

$$Q = V \frac{\pi D^2}{4}$$

avec

Q en m³/s, V en m/s, D en m.

Pour l'eau, le débit est constant tout le long de la conduite quel que soit son diamètre. L'équation précédente peut s'écrire de la manière suivante :



$$Q = V_1 \frac{\pi D_1^2}{4} = V_2 \frac{\pi D_2^2}{4}$$

Si $D_1 < D_2$, alors $V_1 > V_2$

Figure 26 : Changements de diamètre et de vitesse sur une conduite

Pression (P)

La pression d'un liquide représente l'énergie potentielle par unité de volume de liquide. C'est une force par unité de surface :

$$P = \frac{\text{Force}}{\text{Surface}}$$

Elle s'exprime en pascal (Pa) ou en bar.

En hydraulique, la pression s'exprime en mètre de hauteur de liquide appelée hauteur manométrique H.

$$H = \frac{P * 10,2}{d}$$

avec : H en mètre de colonne liquide (mce), P en bar.

En irrigation (pour l'eau $d = 1$), $H = 10,2 P$

Pertes de charge (ΔH)

Les pertes de charge sont des pertes d'énergie par frottement, changement de direction et variation de vitesse de l'eau à l'intérieur de la tuyauterie et des accessoires. Elles s'expriment en mètres de colonne d'eau et varient sensiblement comme le carré de la vitesse d'écoulement (V^2).

Les pertes de charges linéaires se calculent avec la formule :

$$\Delta H = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

avec :

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

L = longueur de la conduite en m,

g = accélération de la pesanteur en m/s² (g = 9,81)

λ = coefficient qui dépend de la rugosité des parois, de la viscosité du liquide et de l'écoulement.

Les pertes de charges linéaires se calculent avec la formule :

$$\Delta H = k \frac{V^2}{2g}$$

K = coefficient caractéristique de la singularité.

Hauteur Manométrique Totale (HMT)

La hauteur manométrique totale (appelée de nos jours Hauteur totale) est l'énergie totale que la pompe doit communiquer à l'eau pour la déplacer dans l'installation et la livrer au point d'utilisation, sous pression voulue.

Elle s'évalue en mètres de colonne d'eau (mce) et est égale à la somme des hauteurs géométriques d'aspiration et de refoulement, des pertes de charge dans les conduites, et des pressions dans les points d'alimentations en mètres d'eau.

NPSH : Net Positive Suction Head

Le NPSH est la pression absolue, diminuée de la hauteur correspondante à la tension de vapeur du liquide à la température considérée.

Le NPSH disponible (NPSHd) dépend de l'installation. Il est fonction de la pression dans le point d'alimentation, de la pression atmosphérique Pb, de la tension de vapeur Pv de l'eau pompée, de la hauteur d'aspiration et des pertes de charge à l'aspiration. Il s'exprime en mce.

Pompe en aspiration : $NPSHd = (P_1 + P_b) \times 10,2 - h_a - J_a - 10,2 P_v$

On a 10,2 Pv = 0,33 mce pour l'eau froide (T° ≤ 25°C) et à une altitude inférieure à 300 m, 10,2 Pb = 10,33 mce. Soit pour une pompe en aspiration dans un plan d'eau à surface libre (P₁ = 0) : **$NPSHd = 10 - h_a - J_a$**

Le NPSH requis (NPSHr), mesuré par le constructeur, est spécifié en fonction du débit fourni par la pompe considérée.

Le NPSH disponible doit toujours être supérieur au NPSH requis d'au moins 1 mètre pour éviter tout risque de cavitation.

Il est important de vérifier que $NPSHd \geq NPSHr + 1$ pour le débit maximal envisagé, car si le débit augmente, les NPSH changent :

- NPSHd diminue (car Ja augmente) ;
- NPSHr augmente [Voir courbe $NPSHr = f(Q)$]

La hauteur géométrique maximale d'aspiration au début de la cavitation est :

$$H_{amax} = 10 - NPSH_d - J_a$$

Dans la pratique, pour éviter tout risque de cavitation on calculera :

$$H_{amax} = 10 - NPSH_r - J_a - 1$$

Puissance hydraulique (Ph)

La puissance hydraulique Ph correspond au travail effectué pour élever un volume de liquide de masse volumétrique ρ à la hauteur H, par unité de temps.

$$Ph = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g$$

avec :

Ph en Kilowatts, Q en m³/s, g en m/s², on a : $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ pour l'eau et $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

En pratique, Ph s'exprime en kilowatt à l'aide de la formule suivante :

$$Ph(kw) = \frac{Q \cdot H \cdot d}{367}$$

avec :

Ph en kw, Q en m³/s, H en m, d = 1 dans le cas de l'eau.

La puissance s'exprime également en chevaux au moyen de la formule suivante :

$$Ph(cv) = \frac{Ph(kw)}{0,736} = \frac{Q \cdot H \cdot d}{270}$$

Rendement (n)

Le rendement n de la pompe est le rapport entre la puissance hydraulique et la puissance mécanique (puissance absorbée) fournie par le moteur à l'arbre de la pompe :

$$n = \frac{P_{hydraulique}}{P_{mecanique}}$$

Le rendement en fonction du débit est fourni par le constructeur de la pompe. Le constructeur fournit les courbes $H = f(Q)$, $NPSH_r = f(Q)$, $n = f(Q)$.

3.8.2 Les courbes caractéristiques des pompes - Point de fonctionnement

Les relations entre le débit Q, la hauteur totale H, la puissance absorbée P et le rendement n sont données par les courbes caractéristiques des pompes.

Les courbes caractéristiques de la pompe, fournies par le constructeur, sont ensuite utilisées conjointement avec la courbe caractéristique de l'installation $H_I = H_{gt} + \Delta H$ en fonction des débits. ΔH représente les pertes de charges totales (pertes linéaires et pertes singulières, dans

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

l'installation) en fonction des débits et le terme Hgt correspond à la hauteur géométrique totale.

Les courbes caractéristiques une fois dessinées, on obtient, le point de fonctionnement de la pompe par intersection de la courbe du réseau (H1) avec la courbe caractéristique de la pompe (H) ; ce point A, défini par (H_A , Q_A), équivaut à une certaine puissance absorbée P_A et à un rendement η_A déterminé.

Dans le cadre de cette étude, les levés topographiques de la station 6 et de sa conduite de refoulement, ont servi au tracé des courbes caractéristiques de l'installation. Ainsi, la même côte des plus basses eaux est retenue pour la pompe de surface et la pompe immergée.

a) Courbes caractéristiques de la pompe de surface – point de fonctionnement

▪ Les conditions de fonctionnement

Le tuyau de refoulement, long de 444 m, est en PVC rigide enterré de diamètre 160 mm et celui d'aspiration est une conduite souple de 8 m de longueur. La hauteur géométrique totale, quant à elle, vaut 9,56 m. La formule des pertes de charges totales utilisée est celle de Williams-Hazen.

En reportant sur le graphique les courbes caractéristiques fournies par le constructeur, on obtient les résultats présentés sur la Figure 27 ci-dessous.

S'agissant des détails de calcul, voir l'Annexe 15 : *Calculs du tracé des courbes caractéristiques - point de fonctionnement de la pompe de surface.*

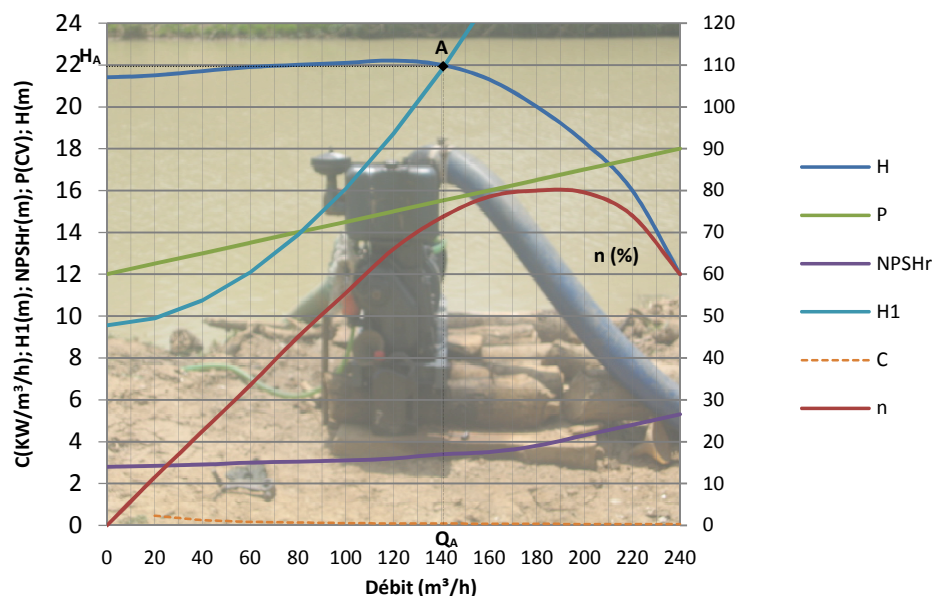


Figure 27 : Courbes caractéristiques de la pompe de surface

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

Au point de fonctionnement optimal A, on obtient les valeurs :

Débit, Q_A	140 m ³ /h
Hauteur, H_A	22 m
Puissance a absorbée, P	15,5 CV
Rendement, n	74 %
NPSHr	3,4 m
Consommation, C	0,08 KW/m ³ /h

La vitesse V, dans ces conditions, est égale à :

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{140/3600}{\frac{\pi(150,6 * 0,001)^2}{4}} = 2,18 \text{ m/s}$$

b) Courbes caractéristiques de la pompe immergée – point de fonctionnement

▪ Les conditions de fonctionnement

La conduite de refoulement de la pompe immergée est constituée de deux tronçons : un 1^{er} tronçon de 464,3 m de longueur et de diamètre 125 mm ; un 2^e tronçon de 145,5 m de longueur et diamètre 90 mm. La hauteur géométrique totale est 10,8 m.

En reportant sur le graphique les courbes caractéristiques fournies par le constructeur (GRUNDFOS), on obtient les résultats présentés sur la Figure 28 ci-dessous.

En ce qui concerne les détails de calcul, voir l'Annexe 16 : *Calculs du tracé des courbes caractéristiques - point de fonctionnement de la pompe immergée.*

Au point de fonctionnement optimal A, on obtient les valeurs :

Débit, Q_A	62 m ³ /h
Hauteur, H_A	54 m
Puissance a absorbée, P	15 kw
Consommation, C	0,25 KW/m ³ /h

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

La vitesse V , dans ces conditions, est égale à :

et

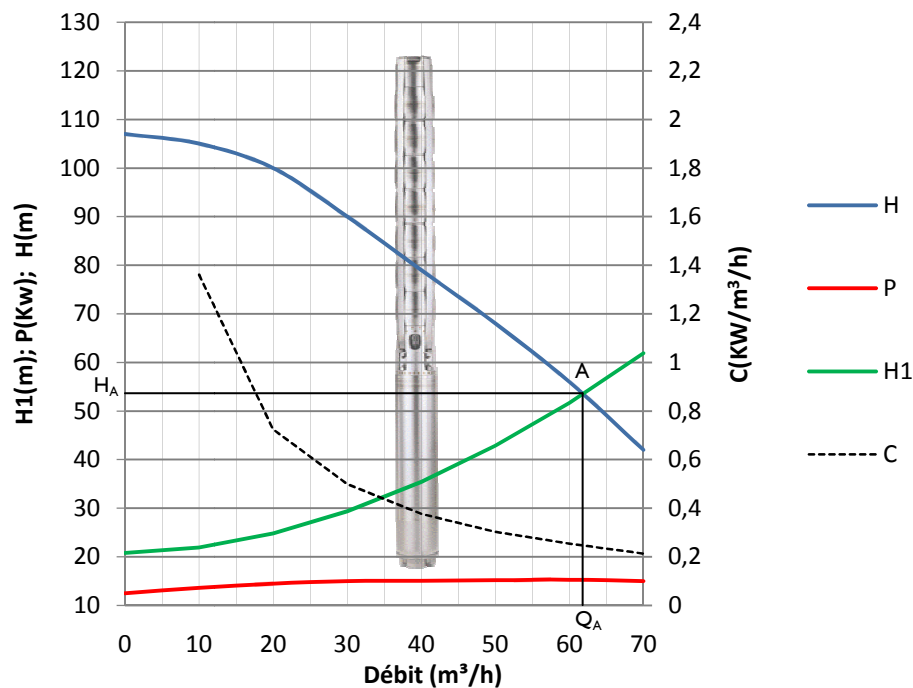


Figure 28: Courbes caractéristiques de la pompe immergée

3.8.3. Les installations des stations de pompage (pompe de surface)

La conception et l'installation d'une station de pompage nécessitent le respect de certaines règles concernant, outre le choix du groupe de pompage :

- L'aménagement de la prise, et l'emplacement de la pompe par rapport à celle-ci ;
- Le montage du groupe de pompage ;
- Son raccordement à la prise d'eau et à la conduite de refoulement ;
- L'alimentation électrique de la station de pompage.

a) Aménagement de la prise d'eau

Un bon aménagement de la prise d'eau doit permettre une mise en vitesse progressive de l'eau tout en évitant l'entraînement de corps étrangers (les débris charriés, particules, etc.), d'air et de poissons. Dans le cas présent d'une pompe de surface, le schéma ci-dessous décrit, en fonction du diamètre (D) de la crépine notamment, les règles à respecter.

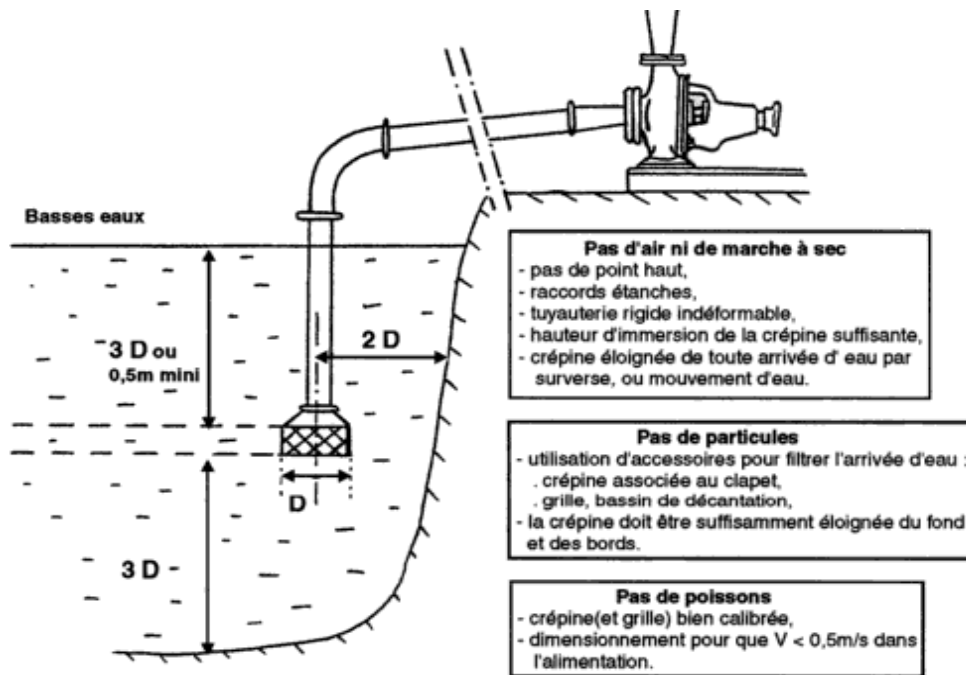


Figure 29 : Coupe schématique d'une prise d'eau pour une pompe de surface

b) Emplacement de la pompe par rapport à la prise d'eau

Afin d'éviter les risques de cavitation il est important de vérifier que le NPSH disponible est supérieur au NPSH requis ($\text{NPSHd} \geq \text{NPSHr} + 1$). De même, la hauteur maximale d'aspiration, doit être limitée à 6 ou 7 m.

Vérification du risque de cavitation

Les données

- La côte de l'axe de la pompe, $Z_p = 293,68 \text{ m}$
- La côte des plus basses eaux à l'aspiration, $Z_{aspmin} = 290,76 \text{ m}$
- Soit une hauteur géométrique d'aspiration, $h_a = 2,92 \text{ m}$
- La longueur du tuyau d'aspiration, $L = 8 \text{ m}$
- Le diamètre du tuyau d'aspiration, $D = 150 \text{ mm}$ (143,2 mm de diamètre intérieur)
- Le coefficient de rugosité de Williams-Hazen, $K = 150$

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

- La pompe doit fournir un débit de 142 m³/h à une hauteur de 22 m
- En utilisant la courbe, $NPSH_r = f(Q)$, la pompe donne une $NPSH_r = 3,4$ m

1^{re} étape – Détermination des pertes de charge à l'aspiration, J_a

$$J_a = 1,10 * L * (10,65 * Q^{1,85}) / (K^{1,85} * D^{4,87})$$
$$J_a = 0,29 \text{ m}$$

2^e étape – Vérification de la charge résiduelle disponible, $NPSH_d$

$$NPSH_d = 10 - h_a - J_a$$
$$NPSH_d = 6,79 \text{ m}$$

La NPSH disponible est donc suffisante :
6,79 m > 4,4 m ($NPSH_d \geq NPSH_r + l$)

Pour éviter tout risque de cavitation, on calculera la hauteur géométrique d'aspiration maximale h_{amax} :

$$h_{amax} = 10 - NPSH_r - J_a - l$$
$$h_{amax} = 5,31 \text{ m}$$

c) Montage du groupe de pompage

Les motopompes sont installées sur des assises constituées des bois et des dalles en béton de faible épaisseur. Les scellages sont réalisés à l'aide de cordes et des piquets en bois. En outre l'horizontalité n'est pas du tout respectée. Lorsque les motopompes fonctionnent, l'on observe une vibration excessive.

Figure 30 : Une vue de montage d'un groupe électropompe de surface sur socle constitué de béton et bois



d) Protection de l'installation de pompage contre les coups de bélier

Dans les petites stations, comme celles dudit périmètre irrigué, les risques de coups de bélier sont très limités si la vanne de refoulement est manipulée lentement.

La protection sera assurée par des ventouses placées en extrémité et aux points hauts du réseau pour éliminer l'air.

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

Malgré la présence d'une colline entre les stations de pompage et le périmètre, aucune ventouse n'est placée dans les réseaux de refoulement. Cela occasionne le plus souvent la cassure des conduites.

e) Local de pompage

Pour protéger les motopompes contre le soleil, on préconise la construction d'un simple hangar sur une dalle en béton avec un dispositif d'écoulement d'eau et de récupération des eaux du presse-étoupe.

Il est impératif de disposer une copie de la notice d'entretien du groupe électropompe dans le local. Celle-ci sera bien en vue et protégée de l'humidité par une pochette étanche. Elle sera utile lors de toute opération de maintenance.

f) Exploitation et entretien des motopompes

L'entretien de la station de pompage conditionne directement sa durée de vie (objectif : 10 ans minimum) : Donc il n'est point à négliger.

Pendant la saison d'irrigation, les consignes de mise en route et d'entretien stipulées par les constructeurs doivent être respectées. A la fin de la saison, certaines précautions doivent être prises pour maintenir le matériel en bon état.

3.8.4. Les pistes d'accès aux stations de pompage

Les pistes ont pour fonction d'assurer l'accès "aisé" des exploitants aux stations de pompage, et surtout de permettre le déplacement des motopompes au début et à la fin de la campagne d'irrigation.

Actuellement, les exploitants utilisent des voies de communication sommaires (sentiers) qui n'ont subi aucun aménagement particulier, excepté peut être la suppression des lianes, le lancement de troncs d'arbre pour faciliter le franchissement des points où les eaux se stagnent.

Dans cette étude, l'on se propose de reconvertir ce sentier en piste améliorée. Pour ce faire, on renforcera la plateforme naturelle par une couche d'amélioration en matériaux sélectionnés, tels que les pierres et les graveleux latéritiques. On peut également prévoir des ouvrages d'art (radiers en enrochements ou buses) dans les zones basses, car au début de crue, ainsi qu'à la fin, les écoulements se concentrent dans ces endroits et érodent la chaussée.

Caractéristiques envisagées sont :

- Un profil en long suivant le terrain naturel, les pentes jusqu'à 12 %.
- Une largeur de débroussaillage de 10 m.

RESULTATS DE L'ETUDE – LE SYSTEME DE POMPAGE

- Une chaussée se confondant avec la plateforme, ayant une largeur de 5 m en deux versants plans à 4 %.
- Une épaisseur de la chaussée, en graveleux latéritique de 15 cm.
- Une couche d'assise, en enrochements de 20 cm.
- Une mise hors d'eau : non obligatoire
- Des ouvrages d'art : radiers souples en enrochements de 4,0 m de large et des buses de 60 cm de diamètre.

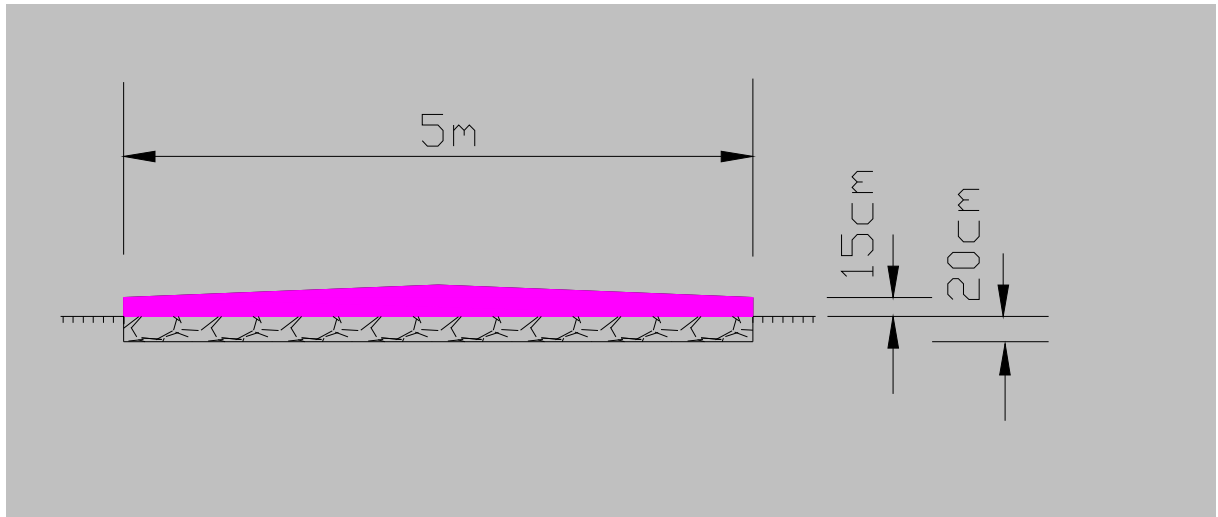


Figure 31 : Coupe de la chaussée de pistes d'accès aux stations de pompage

Quatrième Partie : ANALYSES ET DISCUSSIONS

[I] La pratique actuelle de l'arrosage dans le périmètre

Analyses

Au regard des résultats du sous-chapitre « 3.2.6. La dose brute apportée » (Figure 15 : *Pratique de l'arrosage avec fuites d'eau dans les conduites de distribution*), les doses apportées ne couvrent pas les besoins en eau des plantes sur l'ensemble des périodes d'irrigation, à l'exception de mois d'octobre et du juin, dans lesquels se produit un excès d'irrigation. Logiquement, la pompe doit refouler 140 m³/h (voir Figure 27 : *Courbes caractéristiques de la pompe de surface*). Or, le débit estimé en tête de la parcelle n'est que de 56 m³/h. L'écart de 84 m³/h entre les deux valeurs peut s'expliquer par les nombreuses fuites d'eau décelées sur le réseau de conduites, si bien que la valeur du débit à la sortie de la pompe peut faire également l'objet d'une surestimation. En tout état de cause, les fuites sont très visibles, notamment sur les raccords. Ce réseau est installé en 1986.

Discussions

Supposons que le réseau est réhabilité et qu'il n'y a aucune fuite. Pour le mois de pointe (mars) où la dose d'arrosage est de 86 mm et pour une durée d'application constante de 1 heure, le débit nécessaire en tête de la parcelle serait de 108 m³/h. Mais, avec le débit nominal de 140 m³/h et le temps d'arrosage de 1 heure, l'on assisterait, à une dose excédentaire de 26 mm (260 m³/ha) par irrigation. Pompeux encore, dans les autres où les besoins en eau d'irrigation sont faibles (voir Figure 32 : *Pratique de l'arrosage sans fuites d'eau dans les conduites de distribution*).

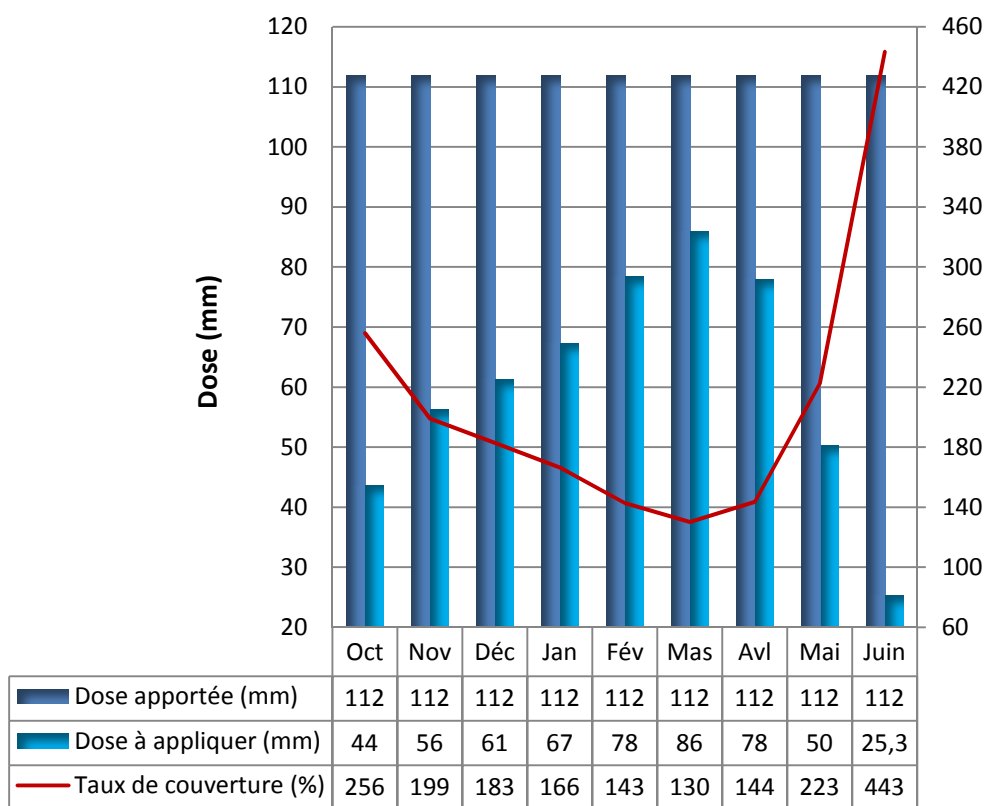


Figure 32 : *Pratique de l'arrosage sans fuites d'eau dans les conduites de distribution*

ANALYSE ET DISCUSSIONS

Donc, il est indispensable d'asseoir un calendrier, simple, qui tiendra compte des besoins d'irrigation spécifiques à chaque période. Pour ce faire, l'on conservera le débit nominal et faire varier la durée d'arrosage. Ainsi, la surirrigation (le gaspillage d'eau) peut être évitée. Evidemment, la réhabilitation du réseau des conduites demeure une condition indispensable pour le succès de cette nouvelle organisation de l'irrigation.

En effet, la plupart des programmes d'irrigation sont basés sur la durée d'application qui dépend, elle, de la dose d'irrigation et du débit du système. En ce qui concerne le dimensionnement du système d'irrigation, il est effectué en fonction de la période de pointe. Par conséquent, il est important que l'irrigant ajuste la durée d'application, pour apporter précisément les besoins en eau sollicités par la culture, dans une période donnée. Malheureusement, dans la pratique les irrigants appliquent la même dose tout le long de la campagne d'irrigation. Cela engendre naturellement des charges de fonctionnement inutiles et diminue aussi le rendement agricole, à cause des excès d'eau nuisibles à la production.

Dans le chapitre « 3.6. ELABORATION DE CALENDRIERS D'IRRIGATION », l'on a proposé des calendriers d'irrigations propres aux trois systèmes d'irrigation, dimensionnés dans le cadre de cette étude.

[2] L'ajustement du débit dans les conduites de refoulement

Système d'irrigation californien

Il faut rappeler que le tuyau de refoulement, long de 444 m, est en PVC rigide enterré de diamètre 160 mm (150,6 mm de diamètre intérieur) et celui d'aspiration est une conduite souple de 8 m de longueur. La hauteur géométrique totale vaut 9,56 m.

Au point de fonctionnement optimal, le débit est de 140 m³/s, pour une HMT de 22 m (voir *Figure 27 : Courbes caractéristiques de la pompe de surface*). Ce qui correspond à une vitesse de 2,8 m/s. Or, la vitesse maximale admissible dans des conditions normales de service est 1,7 m/s. D'ailleurs, les fabricants de tuyaux en PVC et PE recommandent que la vitesse d'écoulement maximale dans ces tuyaux ne dépasse pas 1,5 m/s (A. Phocades, 2008).

Donc, il est nécessaire de changer la conduite, en prenant une autre de diamètre supérieur, pour réduire la vitesse.

On adopte une conduite PVC rigide de 168 mm (163,5 mm de diamètre intérieur), PN 6 bars. Par conséquent, la nouvelle valeur de la vitesse est :

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{140/3600}{\frac{\pi (163,5 * 0,001)^2}{4}} = 1,85 \text{ m/s}$$

Système d'irrigation par goutte-à-goutte

En ce qui concerne le goutte-à-goutte, la conduite de refoulement est composée de deux tronçons : un 1^{er} tronçon de 464,3 m de longueur et de diamètre 125 mm et un 2^e

ANALYSE ET DISCUSSIONS

tronçon de 145,5 m de longueur et diamètre 90 mm. La hauteur géométrique totale, à quant à elle, vaut 10,8 m.

Au point de fonctionnement optimal, le débit est de 62 m³/s, pour une HMT de 54 m (cf. *Figure 28: Courbes caractéristiques de la pompe immergée*). La vitesse sur le premier tronçon est de 1,6 m/s, donc convenable. Par contre, celle du second tronçon, qui vaut 3,44 m/s, est nettement supérieure à la vitesse maximale admissible dans des conditions normales de service. Pour réduire la vitesse sur le second tronçon, on adopte une conduite PEHD 6 bars de 110 mm (97,4 mm de diamètre intérieur). Ainsi la vitesse est égale à :

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{62/3600}{\frac{\pi (97,4 * 0,001)^2}{4}} = 2,31 \text{ m/s}$$

Cette valeur semble être encore grande, mais pour une raison économique il est préférable de garder le même tuyau de 110 mm.

[3] Le fonctionnement requis des systèmes d'irrigation

Système d'irrigation californien

La surface totale de 18,75 ha est constituée de 6 blocs de 3,125 ha. L'irrigation de chacun de blocs est assurée par une motopompe. Au sein de chaque bloc, l'on a 5 portions de 0,625 ha.

La fréquence des arrosages étant de 7 jours (5 jours d'irrigation et 2 jours de repos), la pompe fonctionnent 3h 50mn par jour pour irriguer la superficie de 0,625 ha (voir *Annexe 6 : Dimensionnement du système d'irrigation californien*).

Normalement les motopompes peuvent fonctionner 8 heures par jour. Ce qui signifie qu'il y'a un manque à gagner de 4h 10mn. Alors, il y'a deux variantes à envisager, parmi tant d'autres :

Variante 1 : Etendre chaque bloc d'une superficie de 3,125 ha, pour que les exploitants ait chacun 0,625 ha supplémentaire, c'est-à-dire le double de la superficie actuelle ;

Variante 2 : Conserver les blocs comme tels, mais en utilisant 1 motopompe pour 2 blocs. Ce qui réduira le nombre de motopompes à 3 au lieu de 6 motopompes. Les 3 motopompes peuvent servir de secours, en cas de panne.

Système d'irrigation par barboteurs

Pour le système par barboteurs, l'on prévoit trois pompes immergées, d'une capacité de 60 m³/h chacune. Chaque pompe doit couvrir l'irrigation de 2 blocs. Le débit requis pour le fonctionnement simultané des 6 conduites latérales (0,125 ha) est de 30 m³/h. Ainsi le débit de 60 m³/h livré par la pompe se partage entre les deux blocs. La durée d'application, calculée, est de 1h 20 mn (voir *Annexe 8 : Dimensionnement du système d'irrigation par barboteurs*).

ANALYSE ET DISCUSSIONS

Au cas où la pompe fonctionne 7 h 30mn (5 postes d'irrigation) par jour, l'on peut irriguer 1,25 ha par jour d'irrigation. Donc l'ensemble de 2 blocs (6,25 ha) sera irrigué en 5 jours. La fréquence des arrosages étant fixée à 7 jours, les 2 jours restants vont servir à d'autres occupations.

Système d'irrigation par goutte-à-goutte

Dans ce système, l'on a choisi une seule pompe immergée, identique à celle du système d'irrigation par barboteurs. Le débit requis pour le fonctionnement simultané des conduites latérales d'un bloc (3,125 ha) est de 60 m³/h, correspondant au débit de la pompe. La durée d'application, calculée, est de 4 h 45 mn (voir *Annexe 11 : Dimensionnement du système d'irrigation goutte-à-goutte*).

Donc, pour un fonctionnement de 15 heures du temps par jour, l'on peut irriguer trois 3 blocs par jour d'irrigation. Par conséquent, l'ensemble du périmètre (6 blocs) sera irrigué en 2 jours. Ce qui s'accorde exactement à la fréquence des arrosages fixée.

[4] La comparaison économique des systèmes d'irrigation

Avant d'entamer l'analyse des résultats obtenus, il faut préciser que cette comparaison s'appuie essentiellement sur les coûts d'acquisition des équipements et une partie des frais de fonctionnement (énergie et "redevance eau"). La valeur de l'amortissement annuel des équipements est évaluée au dixième du coût global. S'agissant des prix de l'énergie et de l'eau, ils sont estimés respectivement à 100 F.CFA / kwh et 50 F.CFA / m³.

Les résultats obtenus (voir *Figure 25 : Comparaison économique des trois systèmes d'irrigation*) démontrent que le coût de l'amortissement des matériels du système par barboteurs est le plus élevé, suivi de celui du système par goutte-à-goutte. L'équipement du système californien apparaît le moins onéreux.

La situation est pareille également pour la facture énergétique, sauf que dans le cas du système par barboteurs le coût de l'amortissement des équipements dépasse celui de l'énergie. Pour le californien et les barboteurs, c'est le contraire.

En ce qui concerne la consommation en eau d'irrigation, le système californien est le plus exigeant, avec un montant annuel de 1 747 200 F CFA/ha. Il dépasse même le coût cumulé de deux systèmes d'irrigation localisée.

Pour ce qui est de la charge totale, elle est considérable pour le système californien, suivie ensuite par celle du système par barboteurs.

Mais lorsqu'on se situe dans la conjoncture actuelle où la coopérative ne paie pas l'eau d'irrigation, c'est le système californien qui est le plus avantageux avec seulement 480 400 F

CFA/ha. Pour les systèmes par barboteurs et par goutte-à-goutte, les charges seraient respectivement de 901 495 F CFA/ha et 701 765 F FCA/ha.

[5] La vérification des risques de cavitation

Au regard des résultats de vérification du risque de cavitation (voir 3.8.3. Les installations des stations de pompage (pompe de surface)), on constate que le $NPSH_d \geq NPSH_r + l$: au point de fonctionnement optimal de la pompe, Le $NPSH_d$ calculé est de 6,79 m, tandis que le $NPSH_r$ vaut seulement 3,4 m.

Quant à la hauteur géométrique d'aspiration maximale calculée (5, 31 m), elle est en-dessous de la limite maximale de 7 m (CEMAGREF-AFEID-RNED, 2003). Egalement, La longueur du tuyau d'aspiration, $L = 8 \text{ m} (< 10 \text{ m})$.

Cependant, les groupes de pompage nécessitent le respect de certaines règles et précautions de montage. On doit remplacer les bois d'assise par un socle de béton lourd et légèrement surélevé par rapport au sol. Le scellage du châssis doit réaliser parfait pour limiter la vibration des groupes. Lors de la mise en place, l'on doit veiller à l'horizontalité et à l'alignement du groupe.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cinquième Partie : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS

Aujourd'hui, réduire le gaspillage d'une ressource plus nécessaire que le pétrole et qui se raréfie, et la valoriser au mieux pour assurer la sécurité alimentaire sont des priorités dans le pays comme le Burkina Faso. La marge de manœuvre est grande : les pertes d'eau dans les réseaux d'irrigation peuvent représenter jusqu'à deux tiers du volume mobilisé, principalement par évaporation, fuites et écoulements hors de la parcelle.

Tout projet d'irrigation doit tenir compte du fait que l'eau devient rare et donc chercher à maximiser l'utilisation de l'eau en évitant tout gaspillage. Il faut pour cela adopter les techniques les plus économes en eau ou améliorer les systèmes classiques.

Mais l'adoption de techniques économes en eau ne suffit pas à résoudre tous les problèmes. Le manque d'organisation des exploitants et une gestion défailante du périmètre pèsent sérieusement sur les performances des installations. Il faut asseoir une stratégie de maintenance des systèmes d'irrigation, qui doit s'articuler autour des actions suivantes :

- La collecte des informations précises, complètes et finales sur le fonctionnement des ouvrages ;
- La planification et la programmation des opérations ;
- La mise en place des moyens humains et matériels ;
- Le lancement des opérations et suivi de leur exécution.

Toutefois, l'entretien ou la modernisation des périmètres irrigués sont souvent trop onéreux pour les agriculteurs qui ont du mal à gérer le quotidien de ces périmètres qui se dégradent parfois rapidement. La formation des producteurs et des techniciens/vulgarisateurs de même qu'un environnement économique propice qui permette aux agriculteurs de valoriser leurs investissements sont les clés de la réussite des périmètres irrigués.

L'économie d'eau est et continuera d'être un objectif majeur pour les fermiers, les industries et les gouvernements. Toutes les parties intéressées doivent coopérer pour atteindre cet objectif (A. Phocides, 2008).

RECOMMANDATIONS

Au-delà des adaptations techniques, l'optimisation de l'efficacité d'utilisation de l'eau est une tâche de longue haleine. Les succès en matière d'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau d'irrigation sont espérés, sinon assurés, lorsque les objectifs fixés sont adossés à des réformes institutionnelles qui responsabilisent les acteurs. Pour ce faire, nous proposons quelques recommandations :

[i] Amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau

Le gouvernement peut par exemple, instaurer des mécanismes d'incitation à la modernisation de l'irrigation et à l'adoption de techniques économes en eau :

- incitations sur l'acquisition du matériel d'irrigation localisée et par aspersion par la voie d'exonérations douanières, de subventions, et formations sur l'utilisation et la maintenance des équipements au profit des agriculteurs irrigants ;
- instituer des primes à l'investissement au profit des aménagements permettant l'économie d'eau dans les périmètres irrigués ;
- mise en place d'un Programme National d'Economie d'eau en irrigation ;

[ii] Promouvoir les principes de la gestion intégrée de l'eau au niveau du bassin de Mouhoun

En effet, le gouvernement Burkinabé insiste sur l'irrigation, vitale pour le pays, et sur la formation des agriculteurs pour gérer les périmètres. De la même manière, il doit accélérer le développement des associations dans le but d'organiser une répartition optimale et équitable de l'eau d'un bassin versant ou d'une nappe et assurer l'entretien des installations. Par exemple, le gouvernement peut soutenir la création d'un réseau afin de promouvoir les principes de la gestion intégrée de l'eau au niveau du bassin de Mouhoun. Ainsi, les différents exploitants du bassin, réunis en association, évalueront la quantité d'eau disponible et les prélèvements maximums possibles sans risque de la tarifier, puis décideront de la répartition entre les différents usages (agriculture, eau domestique, industrie) afin d'éviter tout éventuel conflit.

[iii] Développer la gestion volumétrique de l'irrigation

Le besoin en eau de l'irrigation présente la caractéristique, contrairement aux autres usages, de varier soudainement. En effet, elle est principalement dépendante de la pluviométrie qui est un facteur exogène à l'agriculteur.

Les besoins globaux en eau des cultures ainsi que la disponibilité en eau du sol sont mesurables. A long terme, pour faire face aux enjeux d'une gestion commune de l'eau du fleuve Mouhoun, les agriculteurs (périmètre) des principaux secteurs géographiques pratiquant l'irrigation, calculent un volume de référence en fonction des surfaces et des types de cultures à irriguer. Ce volume, basé sur les besoins réels des cultures en eau d'irrigation à l'hectare et par cultures,

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS - RECOMMANDATIONS

permettra de mener à bien lesdites cultures du point de vue de quantité et de qualité dans une situation de faible pluviométrie.

[iv] Amélioration de la conduite de l'irrigation

La non maîtrise de la disponibilité en eau du sol occasionne des situations de sur-irrigation et de sous-irrigation néfaste pour la qualité des productions et l'environnement. Pour rester en adéquation avec le besoin en eau des plantes, le réseau des stations météorologiques des valeurs d'ETP mérite d'être renforcé. Ce qui permettra d'améliorer la précision de calculs de besoins en eau des plantes.

[v] Lutte contre les maladies de la banane

En ce qui concerne la maladie de cercosporiose, on recommande à la SOCAF de se rapprocher auprès de la représentation du Cirad pour voir comment elle peut profiter de son expérience. Le Cirad a développé une stratégie de lutte efficace et moins polluante contre les maladies de la banane (http://www.cirad.fr/fr/regard_sur/devdur/exemple7.php). Celle-ci consiste notamment à mettre en place des méthodes d'avertissement basées sur :

- un dépistage précoce des attaques du champignon (quantification hebdomadaire) ;
- l'utilisation des descripteurs climatiques (l'évaporation) en fonction desquels on détermine la durée d'efficacité des traitements fongicides.

Cette stratégie de lutte raisonnée est développée par le Cirad et ses partenaires dans différentes zones de production (Antilles, Afrique de l'Ouest), non seulement sur la cercosporiose jaune mais également sur la cercosporiose noire. Elle est également utilisée pour le contrôle des populations de ravageurs (nématodes et charançons) et peut aussi être envisagée dans le cas des adventices (mauvaises herbes).

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. CEMAGREF-AFEID-RNED, 2003. *Guide pratique, IRRIGATION*. 3^e édition, Paris, Cemagref Edition, 344 p.
2. Pierre-Emile Van Laere, 2003. *Mémento de l'irrigation*. Collection "Manuels Techniques", 13 p.
3. A. Keïta, Septembre-Octobre 2008. Modern irrigation methods : pressurised pipes irrigation, duplicated 2iE, 115 p.
4. M.L. COMPAORE, Mars 2003 : *COURS DE MICRO-IRRIGATION*, polycopié EIER, 135 p.
5. A. Keïta, janvier 2009 : *Cours d'irrigation gravitaire ou de Surface*, Polycopié 2iE, 90 p.
6. Stipa, décembre 2000 : Prospective de l'agriculture irriguée en Afrique subsaharienne : Stratégie de coopération pour une pérennisation des grands périmètres irrigués, 31 p.
7. W. Price, 2001. Guide de la réhabilitation et de la modernisation des projets d'irrigation, CIID, New Delhi, 56 p.
8. A. Phocaides, 2008. *MANUEL DES TECHNIQUES D'IRRIGATION SOUS PRESSION*. Seconde édition, Rome, FAO, 308 p.
9. J. Verdier, J.M. Millo, 1992. *Maintenance des périmètres irrigués*, Ministère de la coopération et du Développement, 323 p.
10. France. Ministère de la coopération, 1977. *MEMENTO DE L'ADJOINT TECHNIQUE DES TRAVAUX RURAUX*. Edition Laboureur, Paris, 799 p.
11. A. LANCASTRE, 1986. *HYDRAULIQUE générale*, Editions Eyrolles, paris, 633 p
12. Bulletin d'irrigation et de drainage n°24, FAO ,1975 : *Besoins en eau des cultures*, 198 p
13. France. Ministère de la coopération, 1985. *MANUEL DU TECHNICIEN DU GENIE RURAL : Travaux sur un périmètre d'irrigation*. 3^e Edition, SOGREAH, Paris, 391 p.

BIBLIOGRAPHIE

14. Dègla Clarisse Rodrigue DOSSOU. *Avant projet sommaire de mise en place d'équipement d'irrigation à Darsalamy dans le département de Bobo (Burkina Faso)*. Mémoire.
Ouagadougou : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2005,
81 p.

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE I

Annexe I : Questionnaire d'enquête et d'entretien

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE ET D'ENTRETIEN

I- CADRE INSTITUTIONNEL

I.1- Capacité organisationnelle

- ☐ *Quelle est la date de création de l'organisation ?*
- ☐ *Quel est le mode d'organisation des exploitants ?*
- ☐ *Quel est le nombre de membres de l'organisation ?*
- ☐ *Quelle est la répartition des membres de l'organisation selon le sexe ?*
- ☐ *Quel est l'âge moyen des membres ?*
- ☐ *Existe-t-il une structure de gestion ?*
- ☐ *Quel est le nombre de membres de la structure de gestion ?*
- ☐ *Quelle est la répartition des membres de la structure de gestion ?*

I.2- Capacité relationnelle

- ☐ *Avez-vous des partenaires extérieurs ?*
- ☐ *Quel est le nombre de partenaires extérieurs ?*
- ☐ *Quelle est la typologie des partenaires extérieurs ?*
- ☐ *Quelle est la répartition des partenaires extérieurs selon leur type ?*
- ☐ *Quelles sont les Actions majeures réalisées sur les trois dernières années par chaque partenaire ?*
- ☐ *Avez-vous des rapports avec l'encadrement technique (étatique ou ONG) ?*
- ☐ *Avez-vous des rapports avec les autorités locales ?*

ANNEXE I

- ☐ Avez-vous des rapports avec les élus locaux ?

I.3- Gouvernance

- ☐ Quel est le mode de prise et de mise en œuvre des décisions ?
- ☐ Quel est le principe de représentativité ?
- ☐ Quel est le principe de contrôle et de gestion des ressources matérielles et financières ?
- ☐ Quel est le système d'information et de communication ?

II- CADRE JURIDICO REGLEMENTAIRE

II.1- Légalité / Reconnaissance

- ☐ Quel est le statut juridique de l'organisation ?
- ☐ Quels sont les documents et actes juridiques et/ou administratifs disponibles ?
- ☐ Quelle est la source des documents et actes juridiques et administratifs ?
- ☐ Quelle est la date de délivrance des documents et actes juridiques et administratifs ?
- ☐ Quel est le degré de reconnaissance des actes de la structure de gestion par les membres de l'organisation ?
- ☐ Quelles sont les contraintes liées à l'application/utilisation des actes juridiques et administratifs ?

II.2- Fonctionnalité des organes de gestion

- ☐ Quels sont les rôles et responsabilités de la structure de gestion ?
- ☐ Quelle est la régularité des réunions ?
- ☐ Quelle est la Présence des membres aux réunions ?
- ☐ Quel est le cadre de mise en œuvre des résolutions ?
- ☐ Existe-t-il un règlement intérieur ? et quel est le niveau d'application ?

II.3- Réglementation foncière

- ☐ Quel est le mode de répartition des superficies ?

ANNEXE I

☐ Quelles sont les conditions d'acquisition des surfaces de culture ?

☐ Quelles sont les difficultés liées à l'accès à la terre ?

II.4- Réglementation de l'accès à l'eau

☐ Quel est le mode et conditions d'accès à l'eau ?

☐ Quel est le principe d'entretien du réseau ?

II.5- Conflits/ litiges et résolution

☐ Quelle est la nature et typologie des conflits et litiges ?

☐ Quel est le nombre total de conflits et litiges sur les trois dernières années ?

☐ Quelles sont les principales causes des conflits et litiges ?

☐ Quelles sont les personnes généralement impliquées dans les conflits et litiges ?

☐ Quel est le mode de résolution des conflits et litiges ?

☐ Quel est le nombre de conflits et litiges définitivement résolus ?

☐ Quel est le nombre de conflits et litiges non résolus ?

☐ Quelle est la fréquence des conflits et litiges ?

III- CADRE TECHNIQUE

III.1- Superficie

☐ Quelle est la surface totale (en ha) et son évolution sur les cinq dernières années ?

☐ Quel est le nombre total de parcelles disponibles dans le périmètre irrigué et évolution sur les cinq dernières années ?

☐ Quel est le nombre total d'exploitants ayant une parcelle dans le périmètre irrigué et évolution sur les cinq dernières années ?

☐ Quelle est la surface moyenne (en ha) par exploitant et par an et son évolution sur les cinq dernières années ?

☐ Quelle est la répartition annuelle des surfaces selon les spéculations ?

ANNEXE I

Nom de la culture	Superficie de la parcelle occupée par la culture (ha)	Date de mise en culture (mois de l'année)

III.2- Production

- ☐ Quel est le Volume total de production (en tonne) par spéculation et son évolution sur les cinq dernières années ?
- ☐ Quel est le volume moyen de production (en tonne) par spéculation et par exploitant par an et son évolution sur les cinq dernières années ?
- ☐ Quelle est la répartition annuelle des volumes de production par spéculation et selon les périodes de culture ?

III.3- Rendement

- ☐ Quel est le rendement moyen à l'ha et par spéculation et son évolution sur les cinq dernières années ?
- ☐ Quel est le rendement moyen à l'ha par spéculation selon les périodes de culture ?

III.4- Ressource en eau

- ☐ Quel est le débit du cours d'eau ? le pompage est-il possible tout au long de l'année ?
- ☐ Les variations du niveau d'eau

Période	Niveau d'eau (profondeur)

ANNEXE I

- ☐ Quelle est votre appréciation de la qualité de l'eau de pompage (agressivité, turbidité, charriage...)
- ☐ Quelle est la nature du sol de fondation du lit mineur du fleuve ?
- ☐ Payez-vous des redevances ? quel est le coût annuel ?

III.5- Système de pompage

- ☐ Quel est le nombre des prises d'eau qui fonctionnent simultanément ?
- ☐ Comment avez-vous déterminé ce nombre ?
- ☐ Pourquoi, selon vous, l'accès aux prises d'eau est pénible ? quelles solutions aviez-vous mises en place ?

Propositions des solutions techniques et discussions

.....

.....

.....

- ☐ Comment avez-vous choisi les motopompes ?
- ☐ Comment gérez-vous les installations des motopompes, eu égard à la fluctuation saisonnière du niveau d'eau dans la rivière ?

Propositions des solutions techniques et discussions

.....

.....

.....

- ☐ Quelle est la date habituelle du début de pompage ?
- ☐ Nombre de jours de pompage par semaine ? et nombre des heures de pompage par jour ?
- ☐ Etes-vous prêts à prolonger la durée de pompage ? à combien des heures par jour ?
- ☐ Où en êtes-vous avec votre projet d'électrification ? et si ça se réalise, envisagerez-vous des forages équipés des pompes immergés ?

ANNEXE I

III.6- Système d'irrigation et de drainage de l'eau

- ☐ Quelle était la méthode d'irrigation au départ et pourquoi ?
- ☐ Quelles sont les raisons qui vous ont poussé à abandonner cette méthode ?
- ☐ Qu'est ce qui a motivé le choix de la méthode d'irrigation actuelle ?
- ☐ Quelles sont les difficultés que vous rencontrez actuellement avec ce réseau ?
- ☐ Voulez-vous changer la méthode d'irrigation actuelle ?
 - Si oui, pourquoi ? et avec quelle méthode ?
 - Si non, quelle est la solution que vous vous proposez ?
- ☐ Quel est votre appréciation du réseau de drainage existant ?

III.7- Equipements et matériels agricoles

- ☐ Quel est le mode d'organisation de l'accès aux équipements et matériels agricoles ?
- ☐ Quelle est la composition quantitative du parc de matériel agricole ?
- ☐ Quelles sont les principales contraintes liées aux équipements et matériels agricoles ?

III.8- Intrants agricoles

- ☐ Quels sont les intrants agricoles utilisés et mode d'organisation de l'accès ?
- ☐ Quel est le dosage à l'ha de chaque intrant agricole par spéculation et évolution sur les cinq dernières années ?
- ☐ Quel est le dosage à l'ha de chaque intrant agricole par spéculation et par période de culture ?
- ☐ Quelles sont les principales contraintes liées aux intrants agricoles ?

III.9- Main-d'œuvre agricole

- ☐ Quelle est la quantité de main-d'œuvre familiale utilisée (en h/jour) par spéculation agricole, par période agricole ?
- ☐ Quelle est la quantité de main-d'œuvre salariée utilisée (en h/jour) par spéculation agricole, par période agricole ?
- ☐ Quelles sont les principales contraintes liées à la main d'œuvre agricole ?

ANNEXE I

III.10- Itinéraire technique de production agricole

- ☐ Quelles sont les opérations culturales par spéculation agricole et par période de culture ?
- ☐ Quel est le temps (en jour) consacré à chaque opération culturale par spéculation ?

III.11- Transport et stockage des produits agricoles

- ☐ Quel est le moyen de transport et de stockage des produits et états ?
- ☐ Quel est le volume moyen de stockage disponible ?
- ☐ Quel est le volume moyen du dispositif de transport disponible ?
- ☐ Quelles sont les difficultés liées au transport et stockage des produits agricoles ?

III.12- Système de commercialisation de la production

- ☐ Quelle est la proportion de la production agricole vendue ?
- ☐ Quel est le volume moyen des ventes par produit et par période ?
- ☐ Quels sont les marchés des produits ?
- ☐ Quelle est la période de vente de la production ?
- ☐ Quels sont les facteurs influençant la vente des produits agricoles ?
- ☐ Quelle est la destination de la part de production non vendue ?
- ☐ Quelles sont les difficultés liées à la commercialisation ?

III.13- Existence des exploitations locales similaires

.....

.....

.....

IV- CADRE SOCIO-ECONOMIQUE ET FINANCIER

IV.1- Socio-demo- économique

- ☐ Quelle est l'ethnie et la religion prédominante parmi les exploitants ?
- ☐ Existent-elles d'activités de production agricole hors du périmètre irrigué ? lesquels ?

ANNEXE I

- ☐ *Quelle est la part des activités de production agricole sur le périmètre dans le revenu global de la famille de l'exploitant ?*
- ☐ *Quelles sont les utilisations des revenus tirés de la production agricole ?*

IV.2- Coûts de production

- ☐ *Quel est le prix d'achat de l'unité de mesure de chaque intrant agricole utilisé et la variation sur les cinq dernières ?*
- ☐ *Quel est le coût à l'ha de chaque intrant agricole utilisé ?*
- ☐ *Quel est le prix de rémunération de la main-œuvre salariée ?*

IV.3- Valeur de production

- ☐ *Quel est le prix de vente par produit et variation sur les cinq dernières ?*
- ☐ *Quel est le facteur de variation du prix de vente des produits ?*

IV.4- Investissement

- ☐ *Quels sont les investissements du périmètre irrigué ?*
- ☐ *Quelle est la valeur totale des investissements du périmètre irrigué ?*
- ☐ *Quelle est la source de financement des investissements ?*
- ☐ *Quel est l'âge moyen des investissements ?*
- ☐ *Quelles sont les difficultés liées aux investissements ?*

IV.5- Système de crédit

- ☐ *Quel est le volume moyen des crédits selon la nature par an ?*
- ☐ *Quelle est l'origine des crédits ?*
- ☐ *Quels sont les taux d'intérêt moyen en fonction des types de crédit ?*
- ☐ *Quelles sont les conditions d'octroi des crédits ?*
- ☐ *Quel est le système de garantie en vigueur ?*
- ☐ *Quelles sont les principales difficultés liées aux crédits ?*

ANNEXE 2

Annexe 2 : Feuille de Nivellement Direct

Date : 11.04.2009

NIVELLEMENT DIRECT

Appareil : Niveau

Projet : Mémoire de fin d'études/2iE

Cheminement: VII – B₃S₆

Opérateur : ADOUM ATTOR Annour

Zone : Bananeraie de SOCAF

Points	Dist.	Lectures arrière		Lectures avant		Dénivelées				Dénivelées compensées		Côtes	Points
		Fils stad.	Fil nivel.	Fils stad.	Fil nivel .	+	c	–	c	+	–		
VII		2322 1823	2075									297,13	VII
						704							
a		1159 0716	0937	1619 1128	1371							297,83	a
								2428					
b		0440 0008	0222	3615 3115	3365							295,41	b
								1392					
c		1770 1270	1520	1854 1374	1614							294,01	c
								740					
d		1372 1153	1263	2390 2130	2260							293,27	d
								2170					
e¹				3477 3390	3433							291,10	e
								1512					
N_{eau}				2800 2750	2775							291,76	N_{eau}
						19							
TN_b				1274 1213	1244							293,29	TN_b
						402							
pompe		2064 1931	1998	0878 0843	0861							293,68	pompe
	33,20					1778							

¹ Les points **e**, **N_{eau}** et **TN_b** sont rayonnés après une lecture arrière sur le point **d**.

ANNEXE 2

f		2120	1959	0303	0220							295,46	f
		1800		0136									
	78,07					279							
g		2340	2210	1920	1680							295,74	g
		2078		1435									
	46,45					1650							
h		3585	3350	0663	0560							297,39	h
		3110		0457									
	91,70					2626							
B₁S₆		1668	1604	0950	0724							300,01	B₁S₆
		1540		0498									
	30,13					44							
B₂S₆		1942	1630	1650	1560							300,06	B₂S₆
		1322		1471									
	98,80					500							
i		2070	1885	1320	1130							300,56	i
		1705		0940									
	65,70					765							
B₃S₆				1268	1120							301,32	B₃S₆
				0970									
Σ =	444,05		14636		6994	7642		0					

$$\Delta_p = \sum \text{lect. ar} - \sum \text{lect. av} =$$

$$f = \Delta_p - \Delta_r =$$

$$c = \Delta_r - \Delta_p =$$

$$\text{Contrôle : } \Delta_p = \sum \text{dénivelées} =$$

$$n \leq 16 \Rightarrow T_{(\text{mm})} = \sqrt{36L + L^2} = ; f \leq T \Rightarrow C_i = \frac{c L_i}{L}$$

$$\Delta_r = Z_{\text{arrivée}} - Z_{\text{départ}} = ; C = \frac{N}{L_{(\text{km})}} = L : \text{longueur du cheminement en km ; } N : \text{nombre de dénivelées}$$

$$\text{Contrôle : } \Delta_p = \sum \text{dénivelées compensées} = n > 16 \Rightarrow T_{(\text{mm})} = \sqrt{36N + \frac{N^2}{16}} = ; f \leq T \Rightarrow C_i = \frac{c \cdot |\Delta_i|}{\sum |\Delta_i|}$$

$f > T \Rightarrow$ pas de compensation $\Rightarrow$ cheminement à reprendre

ANNEXE 3

Annexe 3 : Calcul des besoins en eau d'irrigation pour le système californien

CALCUL DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION POUR LE SYSTEME CALIFORNIEN

Données climatiques													
Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Unités
Nj	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	j
ETo	5,21	6,12	6,80	6,57	5,85	5,04	4,51	4,01	4,27	4,99	5,15	4,98	mm/j
P	0,00	3,00	9,00	32,00	91,00	120,00	228,00	291,00	196,00	48,00	9,00	2,00	mm/mois
Pe	0,00	1,80	5,40	19,20	72,80	96,00	182,40	232,80	156,80	28,80	5,40	1,20	mm/mois
Pe	0,00	0,06	0,17	0,64	2,35	3,20	5,88	7,51	5,23	0,93	0,18	0,04	mm/j
R	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	mm/j
Données du sol													
	argileux												
Hcc	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	mm/m
Hfp	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	mm/m
Données culturales (Banane)													
Kc	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,15	
Z	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	m
Ea	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
Calculs													
ETM	6,25	7,34	8,16	7,88	7,02	5,54	4,51	4,01	4,27	4,99	5,41	5,73	mm/j
Bnet	6,25	7,28	7,99	7,24	4,67	2,34	-1,37	-3,50	-0,96	4,06	5,23	5,69	mm/j
Bbrut	9,62	11,20	12,29	11,14	7,19	3,61	-2,11	-5,38	-1,47	6,25	8,04	8,75	mm/j
RU (dose théorique)	126,00	126,00	144,00	144,00	144,00	144,00	90,00	90,00	108,00	108,00	108,00	126,00	mm

ANNEXE 3

RFU (dose nette)	84,00	84,00	96,00	96,00	96,00	96,00	60,00	60,00	72,00	72,00	72,00	84,00	mm
F (fréquence théorique)	8,73	7,50	7,81	8,61	13,36	26,62	-28,39	-11,14	-48,92	11,52	8,95	9,60	j
Fr (fréquence retenue)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	0,00	0,00	0,00	7,00	7,00	7,00	j
D (Dose à appliquer)	67,33	78,40	86,00	78,01	50,31	25,24	0,00	0,00	0,00	43,73	56,30	61,26	mm

ANNEXE 4

Annexe 4 : Calcul des besoins en eau d'irrigation pour le système d'irrigation par barboteurs

CALCUL DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION POUR SYSTEME D'IRRIGATION PAR BARBOTEURS

Données climatiques													
Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Unités
Nj	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	j
ETo	5,21	6,12	6,80	6,57	5,85	5,04	4,51	4,01	4,27	4,99	5,15	4,98	mm/j
P	0,00	3,00	9,00	32,00	91,00	120,00	228,00	291,00	196,00	48,00	9,00	2,00	mm/mois
Pe	0,00	1,80	5,40	19,20	72,80	96,00	182,40	232,80	156,80	28,80	5,40	1,20	mm/mois
Pe	0,00	0,06	0,17	0,64	2,35	3,20	5,88	7,51	5,23	0,93	0,18	0,04	mm/j
R	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	mm/j
Données du sol													
	argileux												
Hcc	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	mm/m
Hfp	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	mm/m
Données culturales (Banane)													
Kc	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,15	
GC	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	%
Kr	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	%
Z	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	m
Ks	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
EU	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Ea	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Calculs													

ANNEXE 4

ETM	6,25	7,34	8,16	7,88	7,02	5,54	4,51	4,01	4,27	4,99	5,41	5,73	mm/j
ETM-loc	5,00	5,88	6,53	6,31	5,62	4,44	3,61	3,21	3,42	3,99	4,33	4,58	mm/j
Bnet	5,00	5,81	6,35	5,67	3,27	1,24	-2,28	-4,30	-1,81	3,06	4,15	4,54	mm/j
maxECe	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	dS/m
minECe	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	dS/m
ECw	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	dS/m
LRt	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
LR	0,93	1,08	1,18	1,05	0,61	0,23	-0,42	-0,80	-0,34	0,57	0,77	0,84	mm/j
Bbrut	6,48	7,53	8,24	7,35	4,24	1,60	-2,95	-5,58	-2,35	3,97	5,37	5,89	mm/j
RU (dose théorique)	126,00	126,00	144,00	144,00	144,00	144,00	90,00	90,00	108,00	108,00	108,00	126,00	mm
facteur P	0,344	0,308	0,271	0,281	0,324	0,373	0,437	0,474	0,455	0,401	0,380	0,364	
RFU (dose nette)	43,34	38,81	39,02	40,46	46,66	53,71	39,33	42,66	49,14	43,31	41,04	45,86	mm
F (fréquence théorique)	6,69	5,15	4,74	5,51	11,01	33,55	-13,33	-7,65	-20,94	10,91	7,64	7,79	j
Fr (fréquence retenue)	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	j
D (Dose à appliquer)	45,38	52,73	57,65	51,42	29,65	11,21	-20,65	-39,03	-16,43	27,79	37,62	41,22	mm

ANNEXE 5

Annexe 5 : Calcul des besoins en eau d'irrigation pour le système d'irrigation goutte-à-goutte

CALCUL DES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION POUR LE SYSTEME D'IRRIGATION GOUTTE-A-GOUTTE

Données climatiques													
Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Unités
Nj	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	j
ETo	5,21	6,12	6,80	6,57	5,85	5,04	4,51	4,01	4,27	4,99	5,15	4,98	mm/j
P	0,00	3,00	9,00	32,00	91,00	120,00	228,00	291,00	196,00	48,00	9,00	2,00	mm/mois
Pe	0,00	1,80	5,40	19,20	72,80	96,00	182,40	232,80	156,80	28,80	5,40	1,20	mm/mois
Pe	0,00	0,06	0,17	0,64	2,35	3,20	5,88	7,51	5,23	0,93	0,18	0,04	mm/j
R	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	mm/j
Données du sol													
	argileux												
Hcc	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	mm/m
Hfp	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	17,00	mm/m
Données culturales (Banane)													
Kc	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,05	1,15	
GC	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	%
Kr	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	%
Z	0,70	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	m
Ks	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
EU	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Ea	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Calculs													

ANNEXE 5

ETM	6,25	7,34	8,16	7,88	7,02	5,54	4,51	4,01	4,27	4,99	5,41	5,73	mm/j
ETM-loc	5,00	5,88	6,53	6,31	5,62	4,44	3,61	3,21	3,42	3,99	4,33	4,58	mm/j
Bnet	5,00	5,81	6,35	5,67	3,27	1,24	-2,28	-4,30	-1,81	3,06	4,15	4,54	mm/j
maxECe	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	dS/m
minECe	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	dS/m
ECw	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	dS/m
LRt	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
LR	0,93	1,08	1,18	1,05	0,61	0,23	-0,42	-0,80	-0,34	0,57	0,77	0,84	mm/j
Bbrut	6,48	7,53	8,24	7,35	4,24	1,60	-2,95	-5,58	-2,35	3,97	5,37	5,89	mm/j
RU (dose théorique)	126,00	126,00	144,00	144,00	144,00	144,00	90,00	90,00	108,00	108,00	108,00	126,00	mm
facteur P	0,344	0,308	0,271	0,281	0,324	0,373	0,437	0,474	0,455	0,401	0,380	0,364	
RFU (dose nette)	43,34	38,81	39,02	40,46	46,66	53,71	39,33	42,66	49,14	43,31	41,04	45,86	mm
F (fréquence théorique)	6,69	5,15	4,74	5,51	11,01	33,55	-13,33	-7,65	-20,94	10,91	7,64	7,79	j
Fr (fréquence retenue)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	j
D (Dose à appliquer)	12,97	15,07	16,47	14,69	8,47	3,20	0,00	0,00	0,00	7,94	10,75	11,78	mm

ANNEXES 6 et 7

Annexe 6 : Dimensionnement du système d'irrigation californien

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME CALIFORNIEN		
Parcelle et Arrosage	Valeur	Unité
Largeur (l)	25,00	m
Longueur (L)	50,00	m
Surface (S)	0,13	ha
Fréquence des arrosages	7,00	jour
Dose (D)	86,00	mm
Débit du système (Q)	140,00	m³/h
Fossés distributeurs		
Débit (q)	38,89	l/h
Nombre des fossés par parcelle	3,00	
Longueur d'un fossé	50,50	m
Espacement entre fossés	8,30	m
Superficie Irriguée par un fossé	0,04	ha
Temps nécessaire pour irriguer la parcelle	0,77	h
Temps nécessaire pour irriguer le bloc (0,625)	3,84 3h 50 mn	h
Dimensionnement hydraulique		
Conduite en PVC rigide PN 6 bars		
Diamètre intérieur (DN 168 mm)	163,50	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la conduite (de la pompe à la borne)	469,50	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = L * (10,65 * Q^{1,85}) / (K^{1,85} * D^{4,87})$	7,84	m
Côte de l'axe de la pompe, Zp	293,68	m
Côte de la borne, Zph	301,47	m
Différence d'altitude ΔZ	7,79	m
Charge dynamique totale du système (TDHS)		
Pression de service (basse pression)	0,30	bar
Pertes de charge dans la conduite	0,78	bar
Pertes de charge dans l'ouvrage de tête (10 % pertes dans les conduites)	0,08	bar
Pertes de charge singulières (15 % pertes dans les conduites)	0,12	bar
TDHS	1,28	bar
Charge dynamique totale de l'unité de pompage (TDH)		
Hauteur de pompage (HP)	0,78	bar

ANNEXES 6 et 7

TDH = TDHS+HP	2,06	bar
Puissance au frein (P)		
Efficienc global de pompage (e)	35,00	%
P = Q*TDH /(360*e)	22,88	kw

Annexe 7 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système californien

LISTE DES EQUIPEMENTS NECESSAIRES ET DEVIS ESTIMATIF DU SYSTEME CALIFORNIEN						
N°	Description	Qtité	Unité	Prix U. (SEU)	Prix U. (CFA)	Prix T. (CFA)
	Réseau de distribution du système					
1	Tuyau PVC rigide 168 mm (DN 6"), 6 bars	5 790	m	4,5	2 250	13 027 500
2	Raccord mâle PP 4 in x 168	102	m	19	9 500	969 000
3	Té femelle PP 168 mm x 4 in	390	U	30,5	15 250	5 947 500
4	Coude femelle PP 168 mm x 4 in	36	U	22	11 000	396 000
5	Tube de rallonge fileté 4 in	450	U	8	4 000	1 800 000
6	Vanne laiton 4 in	450	U	22,5	11 250	5 062 500
7	Coude fileté mâle 4 in	450	U	5	2 500	1 125 000
8	Bouchon PP 168 mm	6	U	5	2 500	15 000
9	Excavation et remblai de la tranchée	7 008	m	1	500	3 504 000
	Sous total					31 846 500
	Ouvrage de tête					
10	Vanne de réglage laiton 4 in	1	U	26	13 000	13 000
11	Vanne laiton 4 in	1	U	22,5	11 250	11 250
12	Té fileté femelle 4 in	2	U	6	3 000	6 000
13	Raccord 4 in	2	U	2	1 000	2 000
14	Tube fileté 60 cm 4 in	2	U	8	4 000	8 000
15	Coude fileté femelle 4 in	1	U	5	2 500	2 500
16	Purgeur d'air 1 in	1	U	24	12 000	12 000
17	Manomètre avec base adaptatrice 4 in	1	U	22,5	11 250	11 250
	Sous total					66 000
	Total					31 912 500
	Total + TVA (18%)					37 656 750

Annexe 8 : Dimensionnement du système d'irrigation par barboteurs

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME PAR BARBOTEURS		
Parcelle et Arrosage	Valeur	Unité
Largeur (l)	25,00	m
Longueur (L)	50,00	m
Surface (S)	0,125	ha
Fréquence des arrosages	7,00	jour
Dose (D)	57,65	mm
Distributeur (barboteur)		
Débit (q)	100,00	l/h
Pression (Pa)	1,00	bar
Espacement des plantes sur ligne (Sp)	2,00	m
Espacement entre ligne (Sr)	2,00	m
Aire d'une plante (A) $A = Sp * Sr$	4,00	m ²
Calcul du nombre de lignes (NI) $NI = l / Sr$	12,50 12,00	
Nombre de plantes par ligne (Npl) $Npl = L / Sp$	25,00	
Nombre total de plante (Ntp) $Ntp = Npl * NI$	300,00	
Détermination de l'aire mouillée par un goutteur (Aw) Pw choisi Aw (KELLER & BLIESNER) sol argileux et homogène: Profondeur de 0,75 m; Aw = 0,99 m ² Profondeur de 1,50 m; Aw = 1,80 m ² Profondeur de 0,80 m; Aw = 1,04 m ² (par interpolation)	0,55 1,04	 m ²
Nombre des barboteurs par plante (Np)	1,00	
Calcul de l'espacement entre barboteurs (Se) $Se = Sp / Np$	2,00	m
Calcul du diamètre mouillé (W) $W = \text{racine}(4 * AW / \pi)$	1,15	m
Calcul de Pw $Pw = 100 * Np * Se * W / (Sp * Sr)$	57,54	%
Calcul du nombre des barboteurs par ligne de cultures (NL)		

ANNEXES 8, 9 et 10

NL= $N_{pl} \cdot N_p$	25,00	
Calcul du nombre total des barboteurs (NLt) $N_{Lt} = N_{tp} \cdot N_p$	300,00	
Nombre total de latérales (N)	6,00	
Calcul du débit d'un latérale (ql) $q_l = q \cdot NL \cdot 2$	5000,00	l/h
Calcul du débit d'un adducteur (qa) $q_a = N \cdot q_l$	30000,00	l/h
Calcul de l'aire mouillée pour une plante (Ae) $A_e = A \cdot P_w$	2,30	m ²
Temps nécessaire pour irriguer la parcelle $T_I = D \cdot A_e / (N_p \cdot q)$	1,33 1 h 20 mn	h
Dimensionnement hydraulique		
Latérales en PEFD PN 6 bars		
$D = \text{racine}(q_l / (V \cdot 2,826))$	34,34	
Diamètre retenu (DN 50 mm)	44,20	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la conduite latérale	52,00	m
Coefficient de réduction F de Christiansen	0,34	
Différence d'altitude ΔZ	-0,40	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = F \cdot L \cdot (10,65 \cdot q_l^{1,85}) / (K^{1,85} \cdot D^{4,87})$	0,37	m
Adducteur (conduite secondaire) en PEHD PN 6 bars		
$D = \text{racine}(q_d / (V \cdot 2,826))$	79,02	mm
Diamètre retenu (DN 90 mm)	79,80	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de l'adducteur	145,50	m
Coefficient de réduction F de Christiansen	0,34	
Différence d'altitude ΔZ	0,86	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = F \cdot L \cdot (10,65 \cdot q_a^{1,85}) / (K^{1,85} \cdot D^{4,87})$	1,58	m
Conduite principale en PVC PN 6 bars		
Débit de la conduite principale, qp	60000,00	l/h
$D = \text{racine}(q_p / (V \cdot 2,826))$	111,75	mm
Diamètre retenu (DN 125 mm)	117,60	mm

ANNEXES 8, 9 et 10

Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la conduite principale	219,30	m
Différence d'altitude ΔZ	1,69	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = L * (10,65 * q_s^{1,85}) / (K^{1,85} * D^{4,87})$	3,80	m
Tête morte en PVC PN 6		
Débit de la tête morte, q_t	60,00	m³/h
$D = \text{racine}(q_t * 1000 / (V * 2,826))$	111,75	mm
Diamètre retenu (DN 125 mm)	117,60	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la tête morte	245,00	m
Différence d'altitude $\Delta Z = \text{Côte de la borne} - \text{Côte de la pompe}$	6,33	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = L * (10,65 * q_t^{1,85}) / (K^{1,85} * D^{4,87})$	4,25	m
Charge dynamique totale du système (TDHS)		
Pression au barboteur	1,00	bar
Pertes de charge dans la conduite latérale	0,04	bar
Différence d'altitude sur la conduite latérale ΔZ	-0,04	bar
Pertes de charge dans l'adducteur (conduite secondaire)	0,16	bar
Pertes de charge dans la conduite principale	0,38	bar
Pertes de charge dans la tête morte	0,42	bar
Pertes de charge dans l'ouvrage de tête (10 % pertes dans les conduites)	1,06	bar
Pertes de charge singulières (15 % pertes dans les conduites)	1,11	bar
TDHS	4,13	bar
Charge dynamique totale de l'unité de pompage (TDH)		
Hauteur de pompage (HP)	1,08	bar
TDH = TDHS + HP	5,21	bar
Puissance au frein (P)		
Efficienc e globale de pompage (e)	35,00	%
P = Q * TDH / (360 * e)	24,80	kw

Annexe 9 : Récapitulatif du dimensionnement du système par barboteurs

RECAPITULATIF DU DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME PAR BARBOTEURS		
Dimension parcelle (0,125)	Valeur/Nombre	Unité
Longueur	50,000	m

ANNEXES 8, 9 et 10

Largeur	25,000	m
Nombre de lignes de plantes	12,000	
Nombre de plantes par ligne	25,000	
Nombre total des plantes	300,000	
Surface	0,125	ha
Distributeur		
Pression de fonctionnement Pa	1,000	bars
Débit (q)	100,000	l/h
Aire d'une plante	4,000	m ²
Nombre de barboteurs par plante	1,000	
Espacement entre barboteurs	2,000	m
diamètre mouillée pour une plante	1,151	m
Pourcentage de l'aire mouillée a 60 cm de profondeur	57,536	%
Nombre total de barboteurs	300,000	
Latérales en PEHD PN 6		
Débit(qL)	5000,000	l/h
Diamètre	50,000	mm
Longueur	52,000	m
Pertes de charges sur la latérale	0,366	m
Nombre total de latérales	6,000	
Temps nécessaire pour une irrigation complète	1h 20 mn	
Adducteurs (conduites secondaires) en PEHD PN 6		
Diamètre	90,000	mm
Longueur	145,500	m
Pertes de charges sur l'adducteur	1,582	m
Conduite principale en PVC rigide PN 6		
Diamètre	125,000	mm
Longueur	219,300	m
Pertes de charges sur conduite principale	3,803	m
Tête morte en PVC rigide PN 6		
Diamètre	125,000	mm
Longueur	245,000	m
Pertes de charges sur tête morte	4,249	m
Pression de fonctionnement	4,128	bars
Charge dynamique totale de l'unité de pompage	5,207	bars
Puissance de la pompe	24,797	Kw

ANNEXES 8, 9 et 10

Annexe 10 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système par barboteurs

LISTE DES EQUIPEMENTS NECESSAIRES ET DEVIS ESTIMATIF DU SYSTEME PAR BARBOTEURS						
N°	Description	Qtité	Unité	Prix U.(SEU)	Prix U.(CFA)	Prix T.(CFA)
	Réseau de distribution du système					
1	Conduite PVC rigide 125 mm, 6 bars	1 393	m	3,00	1 500	2 089 350
2	Conduite PVC rigide 90 mm, 6 bars	2 583	m	2,50	1 250	3 228 750
3	Conduite PEHD 50 mm, 6 bars	7 755	m	1,20	600	4 653 000
4	Collier de prise en charge PP 125 mm	18	U	3,50	1 750	31 500
5	Collier de prise en charge PP 90 mm	900	m	2,50	1 250	1 125 000
7	Adaptateur PP 90 mm x 2,5 in	18	U	10,00	5 000	90 000
8	Adaptateur PP 50 mm x 2 in	900	U	4,00	2 000	1 800 000
9	Bouchon PP 90 mm	18	U	10,00	5 000	90 000
10	Bouchon PP 50 mm	900	U	4,00	2 000	1 800 000
11	Raccord 2 in	900	U	1,00	500	450 000
12	Vanne sectionnement laiton 2 in	900	U	12,00	6 000	5 400 000
13	Té fileté PVC 4 in	18	U	4,00	2 000	36 000
14	Té fileté PVC 1 in	22 500	U	1,00	500	11 250 000
15	Raccord réducteur PVC 1 in x 50 mm	45 000	U	0,60	300	13 500 000
16	Té à ergot PP 12 mm	45 000	U	0,30	150	6 750 000
18	Tube PVC flexible 12 mm	90 000	m	0,25	125	11 250 000
19	Jeu de barboteur, 100 l/h à 1 bar	45 000	U	0,30	150	6 750 000
21	Excavation et remblai de la tranchée	11 731	m	1,00	500	5 865 450
	Sous total					76 159 050
	Ouvrage de tête					
22	Vanne de contrôle laiton 4 in	3	U	26,00	13 000	39 000
23	Vanne de sectionnement laiton 4 in	6	U	24,00	12 000	72 000
24	Té fileté 4 in en acier galvanisé	9	U	4,00	2 000	18 000
25	Raccord 4 in	12	U	2,00	1 000	12 000
26	Purgeur d'air 1 in	3	U	12,00	6 000	18 000
	Sous total					159 000
	Total					76 318 050
	Total + TVA (18%)					90 055 299

ANNEXES 11, 12 et 13

Annexe 11 : Dimensionnement du système d'irrigation goutte-à-goutte

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME GOUTTE-A-GOUTTE		
Parcelle et Arrosage	Valeur	Unité
Largeur (l)	25,00	m
Longueur (L)	50,00	m
Surface (S)	0,13	ha
Fréquence des arrosages	2,00	jour
Dose (D)	16,47	mm
Distributeur		
Débit (q)	4,00	l/h
Pression (Ps)	1,00	bar
Espacement des plantes sur ligne (Sp)	2,00	m
Espacement entre ligne (Sr)	2,00	m
Aire d'une plante (A) $A = Sp * Sr$	4,00	m ²
Calcul du nombre de lignes (NI) $NI = l / Sr$	12,50 12,00	
Nombre de plantes par ligne (Npl) $Npl = L / Sp$	25,00	
Nombre total de plante (Ntp) $Ntp = Npl * NI$	300,00	
Détermination de l'aire mouillée par un goutteur (Aw) Pw choisi Aw (KELLER& BLIESNER) sol argileux et homogène: Profondeur de 0,75 m; Aw = 0,99 m ² Profondeur de 1,50 m; Aw = 1,80 m ² Profondeur de 0,80 m; Aw = 1,04 m ² (par interpolation)	0,55 1,04	 m ²
Calcul du nombre des goutteurs par plante (Np) $Np = A * Pw / Aw$	2,12 2,00	
Calcul de l'espacement entre goutteurs (Se) $Se = Sp / Np$	1,00	m
Calcul du diamètre mouillé (W) $W = \text{racine}(4 * AW / \pi)$	1,15	m
Calcul de Pw		

ANNEXES 11, 12 et 13

$P_w = 100 \cdot N_p \cdot S_e \cdot W / (S_p \cdot S_r)$	57,54	%
Calcul du nombre des goutteurs par ligne de cultures (NL) $NL = N_{pl} \cdot N_p$	50,00	
Calcul du nombre total des goutteurs (NLt) $NL_t = N_{tp} \cdot N_p$	600,00	
Calcul du nombre total de latérales (N) $N = N_l$	12,00	
Calcul du débit d'une latérale (ql) $q_l = q \cdot NL$	200,00	l/h
Calcul du débit d'un adducteur (qa) $q_a = N \cdot q_l$	2400,00	l/h
Calcul de l'aire mouillée pour une plante (Ae) $A_e = S_r \cdot S_p \cdot P_w$	2,30	m ²
Temps nécessaire pour irriguer la parcelle $TI = D \cdot A_e / (N_p \cdot q)$	4,74 4h 45 mn	h
Dimensionnement hydraulique		
Latérales en PEFD PN 4 bars		
$D = \text{racine}(q_l / (V \cdot 2,826))$	6,87	
Diamètre retenu (DN 16 mm)	12,40	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la conduite latérale	50,00	m
Coefficient de réduction F de Christiansen	0,34	
Différence d'altitude ΔZ	-0,39	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = F \cdot L \cdot (10,65 \cdot q_l^{1,85}) / (K^{1,85} \cdot D^{4,87})$	0,45	m
Adducteur en PEHD PN 6 bars		
$D = \text{racine}(q_d / (V \cdot 2,826))$	22,35	mm
Diamètre retenu (DN 50 mm)	44,20	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de l'adducteur	22,00	m
Coefficient de réduction F de Christiansen	0,38	
Différence d'altitude ΔZ	0,13	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = F \cdot L \cdot (10,65 \cdot q_a^{1,85}) / (K^{1,85} \cdot D^{4,87})$	0,04	m
Conduite secondaire en PEHD PN 6 bars		

ANNEXES 11, 12 et 13

Débit d'une conduite secondaire, qs	24000,00	l/h
$D = \text{racine}(10 \cdot q_a / (V \cdot 2,826))$	70,68	mm
Diamètre retenu (DN 90 mm)	79,80	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la conduite secondaire	124,50	m
Différence d'altitude ΔZ	0,73	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = L \cdot (10,65 \cdot q_s^{1,85}) / (K^{1,85} \cdot D^{4,87})$	2,62	m
Conduite principale en PVC PN 6 bars		
Débit la conduite principale, qp	60,00	m³/h
$D = \text{racine}(q_s \cdot 1000 / (V \cdot 2,826))$	111,75	mm
Diamètre retenu (DN 125 mm)	117,60	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la conduite principale	219,30	m
Différence d'altitude ΔZ	1,69	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = L \cdot (10,65 \cdot q_p^{1,85}) / (K^{1,85} \cdot D^{4,87})$	3,80	m
Tête morte en PVC PN 6		
Débit de la tête morte, qt	60,00	m³/h
$D = \text{racine}(q_t \cdot 1000 / (V \cdot 2,826))$	111,75	mm
Diamètre retenu (DN 125 mm)	117,60	mm
Coefficient de rugosité de Williams-Hazen, K	150,00	
Longueur de la tête morte	245,00	m
Différence d'altitude $\Delta Z = \text{Côte de la borne} - \text{Côte de la pompe}$	6,33	m
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = L \cdot (10,65 \cdot q_t^{1,85}) / (K^{1,85} \cdot D^{4,87})$	4,25	m
Charge dynamique totale du système (TDHS)		
Pression au goutteur	1,00	bar
Pertes de charge dans la conduite latérale	0,04	bar
Différence d'altitude sur la conduite latérale ΔZ	-0,04	bar
Pertes de charge dans l'adducteur	0,00	bar
Pertes de charge dans la conduite secondaire	0,26	bar
Pertes de charge dans la conduite principale	0,38	bar
Pertes de charge dans la tête morte	0,42	bar
Pertes de charge dans l'ouvrage de tête (10 % pertes dans les conduites)	1,17	bar
Pertes de charge singulières (15 % pertes dans les conduites)	1,23	bar

ANNEXES 11, 12 et 13

TDHS	4,48	bar
Charge dynamique totale de l'unité de pompage (TDH)		
Hauteur de pompage (HP)	1,08	bar
TDH = TDHS+HP	5,56	bar
Puissance au frein (P)		
Efficiéce globale de pompage (e)	35,00	%
P = Q*TDH/(360*e)	26,47	kw

Annexe 12 : Récapitulatif du dimensionnement du système goutte-à-goutte

RECAPITULATIF DU DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME GOUTTE-A-GOUTTE		
Dimension parcelle (0,125 ha)	Valeur/Nombre	Unité
Longueur	50,000	m
Largeur	25,000	m
Nombre de lignes	12,000	
Nombre de plantes par ligne	25,000	
Nombre total des plantes	300,000	
Distributeur		
Pression de fonctionnement Pa	1,000	bars
Débit de goutteur (qa)	4,000	l/h
Aire d'une plante	4,000	m ²
Nombre de goutteur par plante	2,000	
Espacement entre goutteurs	1,000	m
diamètre mouillée pour une plante	2,151	m
Nombre de latérales par plante	1,000	
Pourcentage de l'aire mouillée a 60 cm de profondeur	57,536	%
Nombre total de goutteurs	600,000	
Latérales en PEFD PN 4		
Débit (qL)	200,000	l/h
Diamètre	16,000	mm
Longueur	50,000	m
Pertes de charges sur la latérale	0,445	m
Nombre total de latérales	12,000	
Temps nécessaire pour une irrigation complète	4h 45 mn	
Adducteurs en PEHD PN 6		
Diamètre	50,000	mm
Longueur	22,000	m
Pertes de charges sur l'adducteur	0,044	m
Conduite secondaire en PEHD PN 6		

ANNEXES 11, 12 et 13

Diamètre	90,000	mm
Longueur	124,500	m
Pertes de charges sur conduite secondaire	2,620	m
Conduite principale en PVC rigide PN 6		
Diamètre	125,000	mm
Longueur	219,300	m
Pertes de charges sur conduite principale	3,803	m
Tête morte en PVC rigide PN 6		
Diamètre	125,000	mm
Longueur	245,000	m
Pertes de charges sur tête morte	4,249	m
Pression de fonctionnement	4,479	bars
Charge dynamique totale de l'unité de pompage	5,559	bars
Puissance de la pompe	26,472	Kw

Annexe 13 : Liste des équipements nécessaires et devis estimatif du système goutte-à-goutte

LISTE DES EQUIPEMENTS NECESSAIRES ET DEVIS ESTIMATIF DU SYSTEME GOUTTE-A-GOUTTE						
N°	Description	Qtité	Unité	Prix U.(SEU)	Prix U.(CFA)	Prix T.(CFA)
	Réseau de distribution du système					
1	Conduite PVC rigide 125 mm, 6 bars	1 500	m	3,00	1 500	2 250 000
2	Conduite PEHD 90 mm, 6 bars	2 205	m	2,50	1 250	2 756 250
3	Conduite PEHD 50 mm, 6 bars	3 300	m	1,20	600	1 980 000
4	Tuyau PEFD 16 mm, 4 bars	90 000	m	0,32	160	14 400 000
5	Goutteurs 4 l/h, 1 bar	90 000	m	0,06	30	2 700 000
6	Adaptateur PP 90 mm x 4 in	18	U	10,00	5 000	90 000
7	Bouchon PP 90 mm	18	U	10,00	5 000	90 000
8	Adaptateur PP 50 mm x 2 in	1 950	U	4,00	2 000	3 900 000
9	Adaptateur PP 16 mm x 3/4 in	1 800	U	0,80	400	720 000
10	Té fileté femelle 2 in en PVC	1 950	U	2,00	1 000	1 950 000
11	Té fileté femelle 4 in en PVC	20	U	4,00	2 000	40 000
12	Bouchon PP 50 mm	300	U	4,00	2 000	600 000
13	Bouchon PP 16 mm	1 800	U	1,50	750	1 350 000
14	Collier de prise en charge PP 50 mm x 3/4 in	1 950	U	1,10	550	1 072 500
15	Vanne sectionnement laiton 2 in	1 950	U	12,00	6 000	11 700 000
16	Raccord 3/4 in en PVC	150	U	0,25	125	18 750

OPTIONS DE RATIONALISATION DU POMPAGE SUR RIVIERE ET DE LA DISTRIBUTION D'EAU SUR LE
PERIMETRE IRRIGUE DE BANANIER DE FARA AU BURKINA FASO

ANNEXES 11, 12 et 13

17	Té 3/4 in en PVC	150	U	0,40	200	30 000
18	Vanne de sectionnement laiton 3/4 in	150	U	2,30	1 150	172 500
19	Té PP 125 mm	3	U	16,00	8 000	24 000
20	Bouchon PP 125 mm	1	U	16,00	8 000	8 000
21	Excavation et remblai de la tranchée	3 705	m	1,00	500	1 852 500
Sous total						47 704 500
Ouvrage de tête						
22	Vanne de contrôle laiton 4 in	1	U	26,00	13 000	13 000
23	Vanne de sectionnement laiton 4 in	2	U	24,00	12 000	24 000
24	Vanne de sectionnement laiton 3/4 in	2	U	4,60	2 300	4 600
25	Té fileté 4 in en acier galvanisé	3	U	4,00	2 000	6 000
26	Raccord 4 in	4	U	2,00	1 000	4 000
27	Raccord 3/4 in	4	U	0,50	250	1 000
28	Purgeur d'air 1 in	1	U	12,00	6 000	6 000
29	Filtre gravier complet 4 in	1	U	1200,00	600 000	600 000
30	Filtre à disque 4 in avec jauges etc.	1	U	360,00	180 000	180 000
31	Injecteur à engrais complet, max. 300 l/h	1	U	1000,0	500 000	500 000
Sous total						1 338 600
Total						49 043 100
Total + TVA (18%)						57 870 858

ANNEXE 14

Annexe 14 : Comparaison économique des trois systèmes d'irrigation

COMPARAISON ECONOMIQUE DES TROIS SYSTEMES D'IRRIGATION

Données de base

Superficie exploitée	18,75	ha
Période d'irrig.(octobre-juin)	273	j
Prix de l'eau	50	F CFA/m³
Prix de l'énergie	100	F CFA/Kwh

Calculs

Système d'irrigation	Débit du système (m³/h)	Nbre de jrs d'irrigation ds l'année (j)	Nbre d'heures d'irrigation ds l'année (h)	Volume d'eau total pompé (m³)	Volume d'eau pompé/ha (m³/ha)	Consom. énerg. (kW/m³/h)	Energie consom./ha (kWh/ha)	Coût de l'eau consom./ha (F CFA/ha)	Facture énerg./ha (F CFA/ha)	Coût des équipmnt/ha (F CFA /ha)	Ammort. annuel/ha (F CFA /ha)	Charge totale/ha (F CFA /ha)
Californien	420,00	195	1 560	655 200	34 944	0,08	2 796	1 747 200	279 552	2 008 360	200 836	2 227 588
Barboteurs	180	195	1 463	263 250	14 040	0,3	4 212	702 000	421 200	4 802 949	480 295	1 603 495
Goutte-à-goutte	60	273	4 095	245 700	13 104	0,3	3 931	655 200	393 120	3 086 446	308 645	1 356 965

ANNEXES 15 et 16

Annexe 15 : Calculs du tracé des courbes caractéristiques - point de fonctionnement de la pompe de surface

CALCULS DU TRACE DES COURBES CARACTERISTIQUES-POINT DE FONCTIONNEMENT

DE LA POMPE DE SURFACE (selon la pression de fonctionnement du système californien)

DONNEES DE BASE							
Côte de refoulement maximum, Zrefmax				301,32	m		
Côte de refoulement minimum, Zrefmin				300,01	m		
Côte des plus hautes eaux à l'aspiration, Zaspmx				293,29	m		
Côte des plus basses eaux à l'aspiration, Zaspmn				291,76	m		
Côte du point haut de la conduite, Zph				301,32	m		
Côte de l'axe de la pompe, Zp				293,68	m		
Diamètre intérieur de la conduite (DN 160 mm), D				150,6	mm		
Longueur totale de la conduite, L				452	m		
Long. conduite de la stat au pt haut, Ltph				444	m		
Coef. de rugosité de Williams-Hazen, K				150			
CARACTERISTIQUES DE LA POMPE							
Débit, Q				variable	m³/h		
Hauteur manométrique, H = f(Q)				variable	m		
Rendement de la pompe, n =f(Q)				variable	%		
Puissance de la pompe, P = f(Q)				variable	CV		
Consommation, C = (270*P)/(367*Q)				variable	KW/m³/h		
Pression absolue, NPSHr = f(Q)				variable	m		
CALCULS							
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH $\Delta H = 1,10*L*(10,65*Q^{1,85})/(K^{1,85}*D^{4,87})$				variable	m		
Hauteur géométrique totale, Hgt =Zrefmax -Zaspmn				9,56	m		
HI = Hgt + ΔH				variable	m		
Q (m³/h)	H	n	P	NPSHr	C	ΔH	HI
0	21,4	0	12	2,8		0,00	9,56
20	21,5	11,5	12,5	2,85	0,4598	0,34	9,90
40	21,7	22,5	13	2,9	0,24	1,22	10,78
60	21,9	33,5	13,5	3	0,17	2,59	12,15
80	22	45	14	3,05	0,13	4,40	13,96
100	22,1	55,5	14,5	3,1	0,11	6,65	16,21
120	22,2	66	15	3,2	0,09	9,32	18,88
140	22	73,5	15,5	3,4	0,08	12,40	21,96
160	21,3	78,5	16	3,5	0,07	15,87	25,43

ANNEXES 15 et 16

180	20	80	16,5	3,8	0,07	19,73	29,29
200	18,3	79,5	17	4,3	0,06	23,98	33,54
220	16	74	17,5	4,8	0,06	28,60	38,16
240	12	60	18	5,3	0,06	33,60	43,16

Annexe 16 : Calculs du tracé des courbes caractéristiques - point de fonctionnement de la pompe immergée

CALCULS DU TRACÉ DES COURBES CARACTERISTIQUES-POINT DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE IMMERGEE (selon la pression de fonctionnement du système goutte-à-goutte)

DONNEES DE BASE							
Côte de refoulement maximum, Zrefmax				302,557	m		
Côte des plus basses eaux à l'aspiration, Zaspmin				291,76	m		
Côte de l'axe de la pompe, Zp				293,68	m		
Longueur de la conduite, tronçon 1 (L1)				464,3	m		
Diamètre intérieur de la conduite, tronçon 1 (D1)				117,6	mm		
Longueur totale de la conduite, tronçon 2 (L2)				145,5	m		
Diamètre intérieur de la conduite, tronçon 2 (D2)				79,8	mm		
Coef. de rugosité de Williams-Hazen, c				150	mm		
CARACTERISTIQUE DE LA POMPE							
Débit, Q				variable	m³/h		
Hauteur manométrique, H = f(Q)				variable	m		
Puissance de la pompe, P = f(Q)				variable	kw		
Consommation, C = P/Q				variable	KW/m³/h		
CALCULS							
Pertes de charges tronçon 1 (Williams-Hazen), ΔH1 ΔH1 = 1,25*L1*(10,65*Q^1,85)/(c^1,85*D1^4,87)				variable	m		
Pertes de charges tronçon 2 (Williams-Hazen), ΔH2 ΔH2 = 1,25*L2*(10,65*Q^1,85)/(c^1,85*D2^4,87)				variable	m		
Pertes de charges totales (Williams-Hazen), ΔH ΔH = (ΔH1 + ΔH2)				variable	m		
Hauteur géométrique totale, Hgt =Zrefmax- Zaspmin				10,797	m		
Pression au distributeur, Pd				10	m		
HI = Hgt + ΔH + Pd				variable	m		
Q (m³/h)	H	P	C	ΔH1	ΔH2	ΔH	HI
0	107	12,5		0	0	0,00	20,80
10	105	13,6	1,36	0,365802	0,7576	1,12	21,92

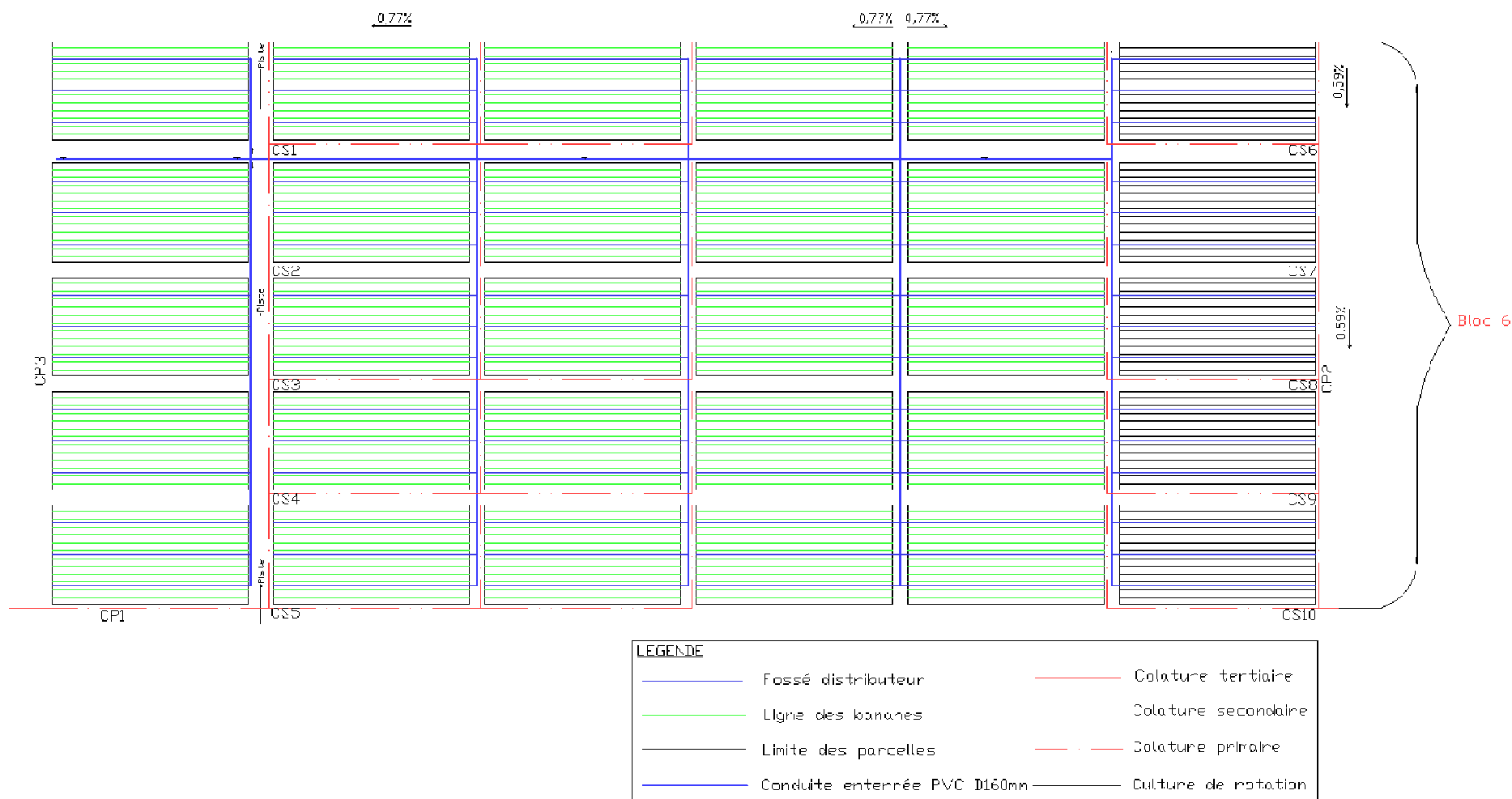
ANNEXES 15 et 16

20	100	14,5	0,73	1,318717	2,73115	4,05	24,85
30	90	15	0,50	2,792033	5,782483	8,57	29,37
40	79	15,1	0,38	4,753978	9,845801	14,60	35,40
50	68	15,2	0,30	7,183576	14,87766	22,06	42,86
60	56	15,3	0,26	10,06528	20,84586	30,91	51,71
70	42	15	0,21	13,38682	27,72499	41,11	61,91

Annexe 17 : Trame du système d'irrigation californien

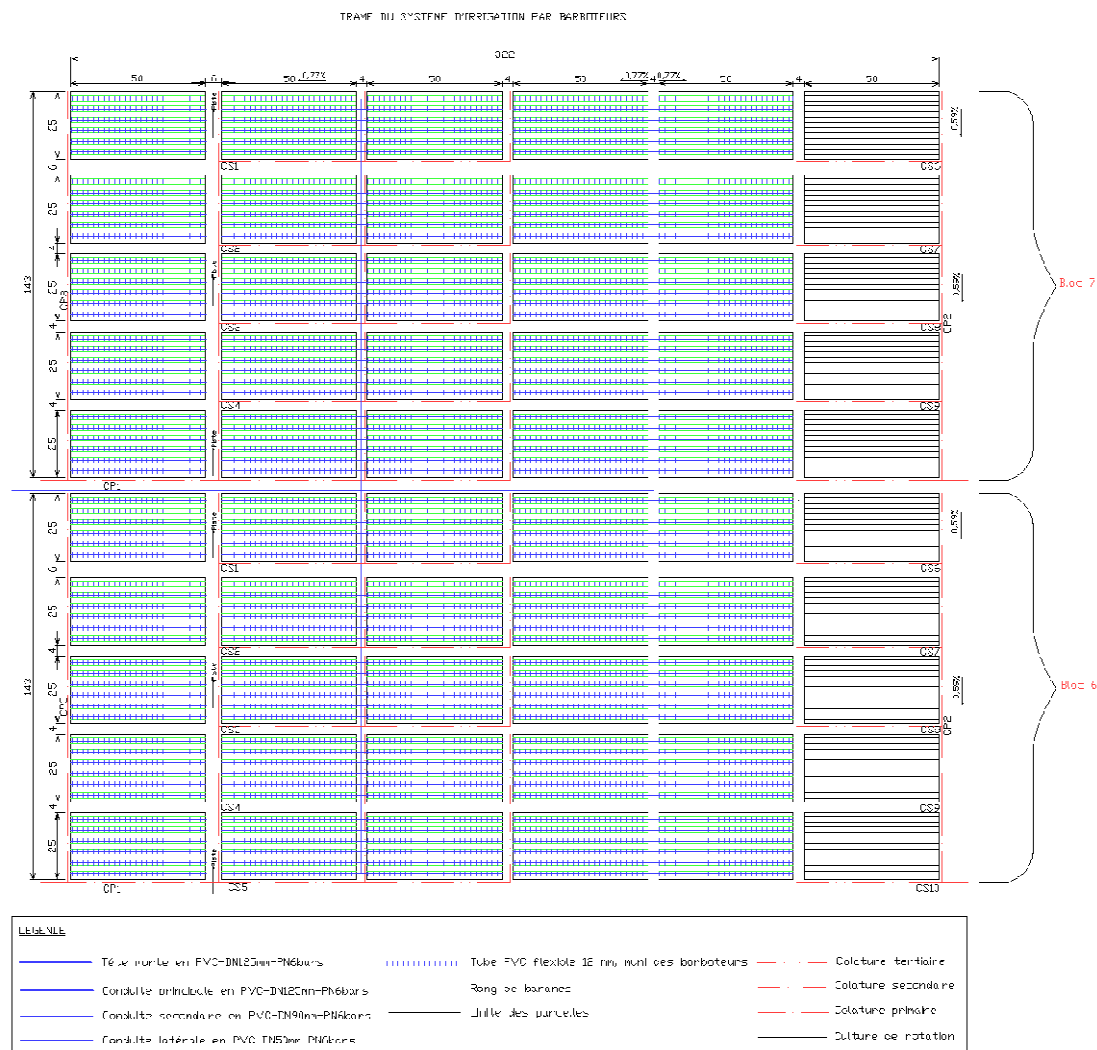
ANNEXES 17

TRAME DU SYSTEME D'IRRIGATION CALIFORNIEN



ANNEXES 18

Annexe 18 : Trame du système d'irrigation par barboteurs



ANNEXES I9

TRAME DU SYSTEME IRRIGATION PAR GOUTTE-A-GOUTTE

Annexe I9 : Trame du système d'irrigation goutte-à-goutte

