

BURKINA FASO  
Unité-Progrès-Justice

\*\*\*\*\*

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR, DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)

\*\*\*\*\*

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

*En vue de l'obtention du*

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

Thème :

*Conception, installation et évaluation d'un système d'irrigation  
goutte à goutte pour la production de légumes dans le village de  
Sonsogona.*

Présenté par : YE Dofindoubê Victor

Directeur de Mémoire : Pr Bismarck Hassane NACRO

Co-Directeurs de Mémoire : M. Bégué DAO

Dr Vinsoun MILLOGO

N : .....2018/AGRO

Novembre 2018

## **DEDICACE**

A Mon Défunt Père

A Ma Très Chère Et Tendre Mère LAMIEN N'Tiohan

A Mes Adorables Frères Et Sœurs De La Famille

A Tous Ceux Qui Œuvrent pour Le Développement de  
L'Afrique

Ce Travail Est Vôtre !

## Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre sympathie et notre profonde gratitude à toutes les personnes qui, de près ou de loin ont œuvré à la réussite de ce mémoire. Nous adressons nos sincères remerciements particulièrement :

- **à l'équipe du projet ASMC (Appropriate Scale Mechanization Consortium)** dont le financement a permis de réaliser les travaux du présent Mémoire. Nos travaux s'insèrent dans le volet du système d'irrigation et de l'amélioration de la nutrition des ménages ruraux dans le programme Feed the Future financé par l'USAID à travers le Laboratoire d'Innovation (SILL, Sustainable Intensification Innovation Lab) ;
- **au Professeur Hassane Bismarck NACRO, notre Directeur de mémoire**, Enseignant Chercheur à l'Institut du Développement Rural (IDR) pour ses critiques et suggestions qui ont contribué à l'amélioration de la qualité scientifique du document;
- **à Monsieur Bégué DAO, notre Co-Directeur de mémoire**, pour son suivi constant et sa disponibilité tout au long de notre stage ;
- **au Docteur Vinsoun MILLOGO, notre Co-Directeur de mémoire** et Directeur du Laboratoire d'Innovation du projet ASMC pour ses conseils, son appui pratique et sa supervision sur le terrain
- **au Docteur Michel KERE**, Chargé des opérations du Laboratoire d'Innovation du projet ASMC, pour son encadrement et sa disponibilité ;
- **au Professeur Georges Anicet OUEDRAOGO**, Coordonnateur National du Projet ASMC pour nous avoir acceptés comme stagiaire au sein du LARESBA (Laboratoire de Recherche et d'Enseignement en Santé et Biotechnologie Animales) ;
- **Professeur Timothy HARRIGAN**, maître de conférences à Michigan State University (USA) et membre de l'équipe ASMC pour son appui dans l'élaboration du dispositif expérimental ;
- **au Professeur Ajit SRIVASTAVA, Professeur titulaire** à Michigan State University (USA), Coordonnateur Pays du Projet ASMC pour son appui dans la conception du système d'irrigation et pour nous avoir acceptés comme stagiaire ;
- **au Docteur Bernard BACYE**, Direction de l'IDR, le personnel et à l'ensemble des enseignants pour la qualité de la formation reçue ;
- **à Madame Euphrasie SAWADOGO/BAYALA et Madame Maïmouna SAWADOGO/CISSE** respectivement Secrétaire Principale et Secrétaire Stagiaire pour leurs conseils et appuis multiples tout le long de notre stage ;

- à **Monsieur Assami SORGHO, chauffeur du projet ASMC** pour nous avoir conduits et acheminés tous les équipements nécessaires au travail sur le site expérimental de Sonsogona/Nasso ;
- à **Monsieur Amadé NAKANABO et Famille**, pour avoir concédé leur terre ayant servie de site expérimental. En plus soutien et appui durant le stage ;
- **aux techniciens d'IRRIFASO**, pour nous avoir facilité l'installation et la compréhension du système d'irrigation ;
- à **tous les producteurs et artisans du Houet, Kéné Dougou et Tuy**, pour les moments passés ensemble lors des formations de dressage des animaux, de confection de joug, de fabrication des outils agricoles (coutrier, semoir, sarcler, chopper) et d'ensilage ;
- à **tous les membres de nos familles**, pour leurs soutiens multiformes ;
- à **nos camarades co-stagiaires** : Mme Fatoumata Simsin GAMSORE/GANOUE, BOUREIMA SAYAOGO, Saïdou DIANDA pour l'amitié, la convivialité et l'esprit d'équipe dont a fait montre tout au long de notre stage ;
- à **tous les camarades de la 41<sup>ème</sup> promotion**, pour le temps passé ensemble garni d'échanges fructueux, de solidarité et du respect mutuel que nous avons entretenu ;
- à nos amis(es) et à nos aînés de promotion particulièrement **BAMBARA C. Aboubacar, SOME B. Marc**, pour leurs encouragements, solidarité, conseils et contributions ;
- à ma douce et tendre amie **NEIMATOU TRAORE**, pour m'avoir supporté pendant tout le temps de cette étude ;
- à tous ceux ayant contribué de près ou de loin à notre formation et dont les noms n'ont pu être cités.

## Table des matières

DEDICACE.....	i
Remerciements .....	ii
Table des matières.....	iv
Sigles et abréviations.....	viii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures, photos et planches.....	x
Résumé.....	xi
Abstract.....	xii
Introduction.....	1
PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIE.....	3
Chapitre I : Quelques aperçus sur l'irrigation.....	4
1.1 Définition de l'irrigation.....	4
1.2 Origine et développement.....	4
1.3 Système d'irrigation.....	5
1.3.1 Composantes d'un système d'irrigation.....	5
1.3.1.1 Ressource en eau.....	5
1.3.1.2 Moyens de transport.....	6
1.3.1.3 Moyens de distribution de l'eau.....	6
1.3.2 Types de système d'irrigation.....	6
1.3.2.1 Système californien.....	6
1.3.2.2 Système semi-californien.....	6
1.3.3 Méthodes d'irrigation.....	7
1.3.3.1 Irrigation de surface.....	7
1.3.3.1.1 Irrigation par bassins.....	7
1.3.3.1.2 Irrigation par siflons.....	8
1.3.3.1.3 Irrigation en planches.....	9

1.3.3.2 Irrigation par aspersion .....	10
1.3.3.3 Irrigation goutte à goutte .....	11
Chapitre II : Différents systèmes d'irrigation rencontrés au Burkina Faso .....	14
2.1 Catégorisation des aménagements hydro agricoles.....	14
2.2 Potentialités liées à l'irrigation.....	14
2.2.1 Ressources en eau.....	14
2.2.2 Ressources en terre.....	15
2.3 Contraintes liés à l'irrigation.....	16
Chapitre III : Etapes de conception d'un système d'irrigation .....	17
3.1 Choix des cultures .....	17
3.2 Détermination des besoins en eau des cultures .....	17
3.2.1 Identification de la ressource .....	17
3.2.2 Détermination des besoins en eau des cultures .....	17
3.2.3 Détermination des doses d'arrosage .....	18
3.2.3.1 Dose pratique d'arrosage .....	18
3.3 Choix du matériel d'irrigation .....	19
3.3.1 Les distributeurs (goutteur).....	19
3.3.1.1 Choix du type de distributeur .....	19
3.3.1.2 Détermination du nombre de goutteurs .....	20
3.3.2 Choix du type de pompe .....	20
3.3.2.1 Détermination de la hauteur manométrique .....	20
3.3.2.1 Détermination de la puissance de la pompe .....	20
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....	21
Chapitre IV : Matériel et méthodes.....	22
4.1 Matériel .....	22
4.1.1 Site d'étude .....	22
4.1.1.1 Situation géographique .....	22

4.1.1.2 Description du site .....	23
4.1.1.3 Climat.....	23
4.1.1.2 Végétation .....	24
4.1.1.3 Sols.....	24
4.1.2 Matériel d'étude.....	25
4.1.2.1 Matériel Végétal.....	25
4.1.2.2 Matériels techniques utilisés pour l'installation du système.....	25
4.2 Méthodes d'étude .....	26
4.2.1 Choix du site d'expérimentation.....	26
4.2.2 Préparation du terrain .....	27
4.2.3 Dispositif expérimental.....	27
4.2.4 Installation du système .....	28
4.2.4.1 Réalisation du puits.....	28
4.2.4.2 Installation du polytank.....	28
4.2.4.3 Installation des kits d'irrigation .....	29
4.2.4.4 Installation de la pompe et ses accessoires .....	30
4.2.5 Détermination des besoins en eau .....	31
4.2.6 Collecte des données .....	32
4.2.6.1 Mesure des volumes d'eau.....	32
4.2.6.2 Evaluation de la variation de la quantité d'eau en fonction du temps .....	33
4.2.6.3 Evaluation de la pompe.....	34
4.2.6.4 Variation du débit du château .....	34
4.2.6.5 Analyse statistique des données.....	34
Chapitre V : Résultats et discussion.....	35
5.1 Résultats .....	35
5.1.1 Système d'irrigation goutte à goutte.....	35
5.1.2 Evaluation de l'homogénéité de distribution de l'eau .....	36

5.1.2	Evaluation de la variation de la quantité d'eau en fonction du temps .....	37
5.1.3	Fonctionnement de la pompe.....	39
5.1.4	Variation du débit du château.....	41
5.1.5	Efficacité agronomique du système d'irrigation goutte à goutte (production) et évaluation de l'utilité du paillage .....	41
5.2	Discussion .....	42
5.2.1	Evaluation de l'homogénéité de distribution de l'eau .....	42
5.2.2	Variation de la quantité d'eau en fonction du temps .....	42
5.2.3	Fonctionnement de la pompe.....	43
5.2.4	Variation du débit du château .....	44
	Conclusion et recommandations .....	45
	Références Bibliographiques.....	46
	ANNEXE .....	xiii

## Sigles et abréviations

**ASMC** : *Appropriate Scale Mechanization Consortium*

**CILLS** : Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel

**DADI** : Direction des Aménagements et du Développement de l'Irrigation

**DRDA** : Direction Régionale du Développement Agricole Zinder

**EAE** : *Eijkelpamp Agrisearch Equipment*

**ENEF** : Ecole Nationale des Eaux et Forêts

**FAO** : *Food and Agriculture Organization*

**FMI** : *Fonds Monétaire International*

**IDR** : Institut du Développement Rural

**JIAC** : Agence Japonaise de Coopération Internationale

**LARESBA** : Laboratoire de Recherche et d'Enseignement en Santé et Biotechnologies Animales

**MAAF** : Ministère de l'Agriculture

**MAAH** : Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques

**MADRPM** : Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la pêche Maritime

**MAH** : Ministère de l'Agriculture et L'Hydraulique

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

**MASA** : Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité alimentaire

**MEE** : Ministère de l'Eau et de l'Environnement

**PDIP** : Projet de Développement de l'Irrigation Privée

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**PVC** : PolyVinylChlorure

**UNB** : Université Nazi Boni

**USAID** : *United States Agency International Development.*

## Liste des tableaux

Tableau I : Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion .....	11
Tableau II : avantages et inconvénients de l'irrigation goutte à goutte.....	13
Tableau III : Potentiel en terres irrigables au Burkina Faso (répartition par région) .....	16
Tableau IV : Proportion en pourcentage de l'analyse du sol .....	25
Tableau V : Résumé des mesures effectuées et leur durée.....	33
Tableau VI : Quantité d'eau recueillie au niveau des goutteurs par vanne en fonctionnement d'une rampe.....	36
Tableau VII : Quantité d'eau recueillie au niveau des goutteurs par vanne en fonctionnement sur l'ensemble des rampes.....	37
Tableau IX : Variation de la quantité d'eau des goutteurs par vanne en fonction du temps : toutes les vannes en fonctionnement.....	38

## Liste des figures, photos et planches

Figure 1 : Irrigation par bassins.....	8
Figure 2 : Irrigation par sillons.....	9
Figure 3 : Irrigation à la planche .....	10
Figure 4 : Formes du volume de sol humidifié suivant les caractéristiques du sol.....	12
Figure 5 : Carte des bassins versants nationaux du Burkina Faso .....	15
Figure 6 : Carte de la commune de Bobo-Dioulasso avec localisation du site d'étude .....	22
Figure 7 : Pluviométrie mensuelle de Bobo-Dioulasso, année 2017 (INERA Farakoba, Bobo-Dioulasso, 2017).....	24
Figure 8 : Dispositif expérimental.....	27
Figure 9 : Dispositif de collecte d'eau .....	32
Figure 10 : Courbe d'évolution des heures de démarrages automatiques de la pompe .....	39
Figure 11 : Courbe d'arrêts automatiques de fonctionnement de la pompe.....	40
Figure 12 : Courbe de l'évolution du débit de la pompe sur une journée de pompage.....	40
Figure 13 : Évolution du débit du château .....	41
Photo 1 : Site expérimentale après paillage .....	23
Photo 2 : Château après installation .....	28
Planche 1a : Quelques matériels techniques utilisés .....	25
Planche 1b : Quelques matériels techniques utilisés (suite).....	26
Planche 2: Installation des kits.....	29
Planche 3a : Installation de la pompe.....	30
Planche 3b : Installation de la pompe (suite).....	31
Planche 4 : Mesure des quantités d'eau .....	33
Planche 5 : Différents composants du système d'irrigation.....	35

## Résumé

L'objectif du présent travail a été de concevoir et de tester un système d'irrigation goutte à goutte à la portée des petits exploitants où le gain de temps dû au système mécanisé peut pousser les femmes vers la production de légumes. Notre question de recherche a été : est-il possible de produire des légumes qui rentrent dans la consommation d'un ménage rural et améliorer son état nutritionnel à travers un système d'irrigation goutte à goutte ?

L'expérimentation s'est conduite à Sonsogona/Province du Houet/Région des Hauts-Bassins. Le système d'irrigation est composé de quatre compartiments : un puits de 7 mètres de profondeur dans lequel était placé une pompe immergée PS2-200 HR 07 raccordée à un dispositif de deux panneaux solaires (130 watts chacun) électriquement automatisés, un château d'eau en polytank d'une capacité de 2000 litres et en fin le système goutte à goutte en quadrillage sur la parcelle d'irrigation. Le dispositif expérimental a été en blocs de Fischer complètement randomisé muni de cinq rampes en PVC dont une principale et quatre secondaires (une par bloc). L'évaluation du système a été basée sur les mesures de quantités d'eau émises par 48 goutteurs par blocs, l'évaluation du débit de la pompe et du château d'eau.

Le premier résultat auquel nous avons abouti a été le système d'irrigation goutte à goutte solaire complètement installé et apte pour la production de légume de contre saison. L'analyse des variances et la séparation des moyennes par le test de Student Newman Keuls au seuil de 5 % avec le logiciel XL STAT version 2014.5.03 ont montré que la répartition de l'eau dans les parcelles est plus homogène en fonctionnement complet du système qu'en fonctionnement partiel (fonctionnement d'une rampe à la fois). Aussi, une baisse progressive des performances du système a été observée au fil du temps suite à une absence de maintenance. Les points les plus éloignés de la source de pression (château d'eau) ont reçu moins d'eau que les points les plus proches du château. Les données collectées à partir de la pompe ont montré que son pic de fonctionnement journalier a été de 1,10 m<sup>3</sup>/h avec un débit moyen de pompage d'eau d'environ 0,87m<sup>3</sup>/h. Elle démarre automatiquement aux environs de 07 heures et s'arrête à 17 heures. Le débit moyen délivré par le château est de 1,06 m<sup>3</sup>/h environ.

On peut conclure qu'il est possible de concevoir à l'échelle du ménage agricole un dispositif d'irrigation goutte à goutte autour d'un puits dans une zone où la profondeur de la nappe n'excède pas les 20 mètres de profondeur et en fonction de l'évolution de la saison sèche.

**Mots clés :** Système d'irrigation, irrigation goutte à goutte, installation, évaluation, production de légumes.

## Abstract

The objective of the current experiment was to design, implement and test a drip irrigation system. This system was design to meet smallholders farmers need who by mechanizing their agriculture system could save time to produce vegetable for family consumption. How vegetable production under drip irrigation system is the way to improve famers'weath and nutritional statue ?

The experiment was carried out at Sonsogona village located in the city of Bobo-Dioulasso/Hauts-Bassins Region. The experimental design was a block Fischer completely randomized, four treatements and four replications. The drip irrigation device was now adapted to the experimental design and lay down according to blocks. The irrigation system is a combine tools divided into four sections. The first section was a 7 meters deep drill as water source with inside water pump PS2-200 HR 07. The second section was two solar panels of 130 W each recorded to the pump and provides energy to the system. The third section was a two meters high water tube of 2 000 liters recorded directly to the pump. The fourth section was a drip irrigation device recorded to the water tube. The system was assessed by collecting data on water, pump rate flow and irrigation time. The amount of water was assessed from drill to the water tube and from the water tube to the crops. The data were subjected to ANOVA using XL STAT software version 2014.5.03. The least means square (LSM) were compared using the Student Newman Keuls test at level 5%.

The first result we achieve is the solar drip irrigation system installed and suitable for dry season vegetable production. The analysis of the variances and the separation of the means showed that the distribution of the water in the plots is more homogeneous in complete operation of the system only in partial operation (running one ramp at a time). Also, a gradual decline in system performance has been observed over time following a lack of maintenance. The points farthest from the source of pressure (water tower) received less water than the points closest to the castle. The data collected from the pump shows that its daily operating peak is 1.10 m<sup>3</sup> / h with an average water pumping rate of about 0.87 m<sup>3</sup> / h. It starts automatically around 07:00 and stops at 17:00. The average flow delivered by the castle is about 1.06 m<sup>3</sup> / h.

It can be concluded that it is possible to design a drip irrigation system around a well in an area where the depth of the water table does not exceed 20 meters deep and depending on the dry season evolution.

Keywords: Irrigation system, drip irrigation, installation, evaluation, vegetable productio

## Introduction

L'agriculture des pays du Sahel en général et celle du Burkina Faso en particulier, joue un rôle important dans le développement économique et social (SOME, 2017). En effet, l'activité agricole constitue une source importante de revenu pour les populations ; elle contribue pour 35% du Produit Intérieur Brut (PIB) et emploie 82% de la population active (MAAF, 2014). Le climat du Burkina Faso se caractérise par deux saisons très contrastées : une saison des pluies qui dure en général 4 mois de juin à septembre, avec des précipitations comprises entre 300 mm dans le nord et 1 200 mm dans le sud du pays, et une saison sèche qui dure huit mois d'octobre à juin. Cette agriculture est principalement pluviale et donc très dépendante des conditions climatiques. Les techniques agricoles traditionnelles sont confrontées au changement climatique sous la forme de pluies réduites, de températures plus chaudes, de désertification (Fonds Monétaire International, 2012). Cette variabilité du climat au cours de ces dernières décennies a montré la grande vulnérabilité des systèmes de production se traduisant par des répercussions importantes sur les récoltes et les conditions de vie des populations rurales (FOSSI, *et al.*, 2013). Ainsi, dans toutes les régions du monde où la pluviométrie est insuffisante pour permettre des récoltes abondantes et régulières, l'accès à l'eau pour l'irrigation est un complément indispensable pour toute production agricole (MERLET *et al.*, 2018). D'où la nécessité de développer l'irrigation. Toujours selon MERLET (2018), l'irrigation représente sans conteste l'activité la plus importante, car elle contribue, à l'échelle mondiale, à près de 70% des prélèvements d'eau douce et à plus de 90% de l'eau consommée, dans la mesure où une grande part de l'eau prélevée pour cet usage est évapotranspirée. Cependant, en vue d'une meilleure gestion de l'eau, plusieurs systèmes d'irrigation ont vu le jour ; c'est le cas du système d'irrigation goutte à goutte qui est le plus économe en eau. Au Burkina-Faso, les stratégies faisant appel à la maîtrise de l'eau ont vu le jour avec les sécheresses des années 1970 afin de sécuriser et d'améliorer les productions agricoles (FOSSI *et al.*, 2013). En effet, l'irrigation goutte à goutte est une technique de maîtrise de l'eau qui permet non seulement de produire en saison sèche, d'accroître et d'intensifier la production agricole mais aussi de lutter contre la famine et la malnutrition.

C'est dans cette optique d'intensification, de la production en toute période de l'année par la maîtrise de l'eau qu'est né le projet sur le système d'irrigation solaire en collaboration avec des étudiants américains. Ce système d'irrigation solaire comportera deux volets à savoir :

- La partie mécanique (conception et installation du système) qui est l'objet de notre étude ;
- La partie production végétale menée par une autre camarade.

Le présent mémoire, qui fait la synthèse de notre travail s'articule autour de deux parties. La première partie intitulée revue bibliographique, renseigne en chapitre I sur la connaissance de l'irrigation (les différents systèmes et méthodes d'irrigation). Le chapitre II traite de l'irrigation au Burkina Faso et le chapitre III concerne les différentes étapes de conception, d'installation et de gestion d'un système d'irrigation. La deuxième partie s'articule autour de l'étude expérimentale. Elle renseigne sur le matériel et les méthodes d'étude dans le chapitre IV et présente les résultats obtenus et la discussion dans le chapitre V. A la suite, quelques perspectives et recommandations ont été faites en conclusion.

## **PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIE**

# Chapitre I : Quelques aperçus sur l'irrigation

## 1.1 Définition de l'irrigation

L'irrigation se définit comme étant l'apport artificiel de l'eau aux cultures. Selon le dictionnaire français LAROUSSE, l'irrigation serait l'apport d'eau réalisé sur un terrain cultivé ou une prairie en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et/ou des réserves hydriques du sol et, ainsi, de permettre le plein développement des plantes. Quant à la FAO (1998), elle estime que l'irrigation consiste à approvisionner les cultures en eau par des moyens artificiels, en vue de permettre l'agriculture dans les zones arides et de compenser les effets de sécheresse dans les zones semi arides. C'est donc une pratique agricole appliquée soit pour pallier aux problèmes d'eau suite à des poches de sécheresse pendant l'hivernage, soit pour une production pendant la saison sèche. En effet, on pourrait parler d'irrigation de complément quand il s'agira de pallier aux déficits hydriques en hivernage et d'irrigation totale où toute l'eau dont ont besoin les cultures sera apportée artificiellement ; c'est généralement le cas de la production en saison sèche.

## 1.2 Origine et développement

Depuis longtemps et jusqu'au début du XXème siècle, les techniques d'irrigation sont restées immuables tant au plan des réseaux collectifs de distribution sous forme de canaux délivrant l'eau "au tour d'eau" aux exploitations, qu'au plan des différentes pratiques de l'irrigation gravitaire à la parcelle (ZELLA *et al.*, 2007). Des essais avaient été faits en France (Avignon) 1927-1930 pour irriguer localement le sous-sol avec des tuyaux de drainage en poterie, mais ce fut un échec plus encore économique que technique. Plus tard aux USA et en Israël, on essaya encore l'humectation du sol à 0.4 m de profondeur par des canalisations en plastique perforé (WEDHAH, 2015).

Selon ZELLA (ZELLA *et al.*, 2007), c'est dans les années 50 que l'irrigation par aspersion se généralise avec l'introduction d'ailes mobiles d'arrosage équipées d'arroseurs rotatifs à moyenne pression et de moyenne portée. Ces installations vont permettre l'introduction d'un nouveau réseau collectif de distribution, en conduite sous pression, caractérisé par la distribution de l'eau à chaque lot d'exploitation.

Apparu aux alentours de 1960 en Israël, la technique de la micro irrigation est née de l'effet synergique lié à l'apparition de matériau en plastique bon marché, durable et adapté à la

fabrication de capillaires ensuite à des goutteurs et à des gaines. Ce n'est qu'à partir de 1970 que cette technique a commencé à se développer en France.

De nos jours, des réseaux d'irrigation sont informatisés, automatisés et commandés à distance. Leur fonctionnement est rendu sensible aux variations météorologiques locales contrôlées par des capteurs qui mesurent à la précision du centième de mm les très fines dilatations des dimensions du tronc ou de la tige de la plante, liées à l'état hydrique de la plante (ZELLA *et al.*, 2007).

Au Burkina Faso, la pratique de l'irrigation est assez récente. Les systèmes d'irrigation moderne ont été développés à partir des années 1950. De la colonisation aux années 1970, environ une centaine de barrages ont été construits avec une dizaine de périmètres irrigués aménagés comme Loumana dans l'Ouest, Boulbi au Centre, Yalgo dans la province du Namentenga etc. (PDIP, 1995). Selon la même source, c'est avec la grande sécheresse de la période de 1970 à 1980 que l'Etat et ses partenaires financiers et techniques ont consenti des efforts importants dans le domaine de l'irrigation. Précisément sur l'irrigation en aval des petits barrages et les programmes de conservation des eaux et du sol ont commencé à se développer. Ainsi en 1993, la superficie totale aménagée en maîtrise totale était estimée à 14 600 ha, dont 10 600 ha aménagés par l'Etat et environ 4 000 ha aménagés à partir d'initiatives privées. En agriculture avec maîtrise partielle, les superficies actuellement aménagées sont de l'ordre de 6000 ha de bas-fonds. Les ressources proviennent de l'Etat et de ses partenaires, ou d'ONG.

## **1.3 Système d'irrigation**

### **1.3.1 Composantes d'un système d'irrigation**

#### **1.3.1.1 Ressource en eau**

En irrigation, la question de l'eau est primordiale comme elle l'est d'ailleurs dans toute activité agricole. L'irrigation nécessite de l'eau en quantité et surtout en qualité. Ainsi avant l'installation de tout système d'irrigation la ressource en eau doit être évaluée afin de s'assurer de sa disponibilité. La disponibilité de l'eau conditionne la superficie à irriguer. En effet selon SMITH *et al.* (2014), l'évaluation de la ressource en eau doit porter sur :

- La description du climat et des précipitations pendant l'année ;
- Les ressources d'eau de surface et d'eau souterraine disponibles ;
- La distance entre la source d'eau et les champs à irriguer ;
- La variabilité des ressources en eau (variations en profondeur et quantité).

Les sources de prélèvement d'eau pour une irrigation sont diverses et nous pouvons citer : les retenues d'eau, les forages, les puits etc.

### **1.3.1.2 Moyens de transport**

Une question est de trouver de l'eau mais une autre est de s'assurer de son transport jusqu'à la parcelle à irriguer. Les moyens de transport diffèrent selon le type d'irrigation mais ont un seul but : celui de faire parvenir l'eau prélevée de la source aux cultures et de façon efficace. Il s'agit en premier lieu des réseaux primaires d'amenée qui sont soit en canaux fermés soit à ciel ouvert munis de vannes. Le diamètre du canal dépend du débit recherché et de la longueur du circuit (CALCET *et al.*, 2016). Ensuite les réseaux de distributions secondaires, tertiaires et quaternaires en fonction du type d'aménagement.

### **1.3.1.3 Moyens de distribution de l'eau**

Dans un système, d'irrigation la distribution est caractéristique pour une bonne gestion de l'eau afin d'assurer un meilleur développement des cultures. Les distributeurs d'eau définissent généralement la catégorie de système et, dans la plupart des cas, le type d'installation. Branchés sur les conduites latérales à intervalles réguliers, ils apportent l'eau aux plantes sous forme de jet de pluie, pulvérisation, faible débit, fontaine ou gouttes continues. (FAO, 2008). En irrigation de surface, la distribution se fait généralement par ruissellement donc reste toujours traditionnelle. Par contre en irrigation sous pression (aspersion et goutte à goutte) la distribution est conditionnée pour avoir une pression quelconque en fonction des besoins. Cela nécessite l'utilisation de distributeurs spécifiques tels que les asperseurs, les micro-asperseurs, les goutteurs etc.

## **1.3.2 Types de système d'irrigation**

### **1.3.2.1 Système californien**

Le système californien est un dispositif d'irrigation pour lequel l'exhaure de l'eau se fait par pompage, le transport à charge et la distribution par pression. En effet, ce système encore appelé système de distribution en tuyau à basse pression s'est avéré être une technologie d'irrigation efficace pour les petits exploitants agricoles (FAO, 2014). Il nécessite de l'énergie pour son fonctionnement.

### **1.3.2.2 Système semi-californien**

Contrairement au système californien où la distribution de l'eau se fait à pression, le système semi-californien est un système d'irrigation qui ne nécessite pas une pression pour la

distribution de l'eau dans les parcelles. En effet, la distribution de l'eau dans ce système se fait par simple gravité. Donc le système semi-californien a besoin de moins d'énergie pour son fonctionnement que le système californien.

### **1.3.3 Méthodes d'irrigation**

Il existe différentes techniques ou méthodes d'irrigation qui diffèrent en fonction de la distribution sur le terrain de l'eau obtenue à partir de la source. Cependant, chaque méthode présente des avantages et des inconvénients qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte la mieux aux conditions locales. En général, l'objectif est de fournir de l'eau à l'ensemble du terrain de manière uniforme, de sorte que chaque plante ait le volume d'eau dont elle a besoin, ni trop, ni moins (EAE, 2014). Outre l'irrigation manuelle qui reste la méthode la plus élémentaire nécessitant une main-d'œuvre importante, un long travail et un grand effort ; les trois techniques les plus couramment utilisées sont: l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte (FAO, 1991).

#### **1.3.3.1 Irrigation de surface**

Selon la FAO, l'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité. L'eau est ensuite distribuée au champ à partir de canaux ouverts se situant au niveau du sol, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches).

Cette méthode est assez gourmande en eau. La mise en œuvre du gravitaire demande un personnel nombreux mais qui n'a besoin que des connaissances pratiques pouvant aisément s'acquérir sur le terrain. Sauf cas très particuliers, l'eau n'est pas transportée sous pression mais par canaux. La consommation d'énergie extérieure est donc faible (ou nulle) et cette méthode ne nécessite pas, en général, au niveau des parcelles, d'infrastructures ni de matériels trop coûteux.

##### **1.3.3.1.1 Irrigation par bassins**

Ces bassins sont des portions de sol, plates et horizontales, entourées de diguettes. Ils peuvent avoir plusieurs formes : carrée, rectangulaire ou irrégulière. En effet, la forme et la taille d'un bassin en irrigation de surface selon la FAO (2008) sont essentiellement déterminées en fonction de la pente du terrain, du type du sol, du débit du courant d'eau disponible (faible, suffisant ou fort), de la dose d'irrigation à fournir, et des pratiques agricoles. Selon la même source, la technique par bassins convient à l'irrigation d'un grand nombre de cultures sauf pour

les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux pour des durées supérieures à 24 heures.

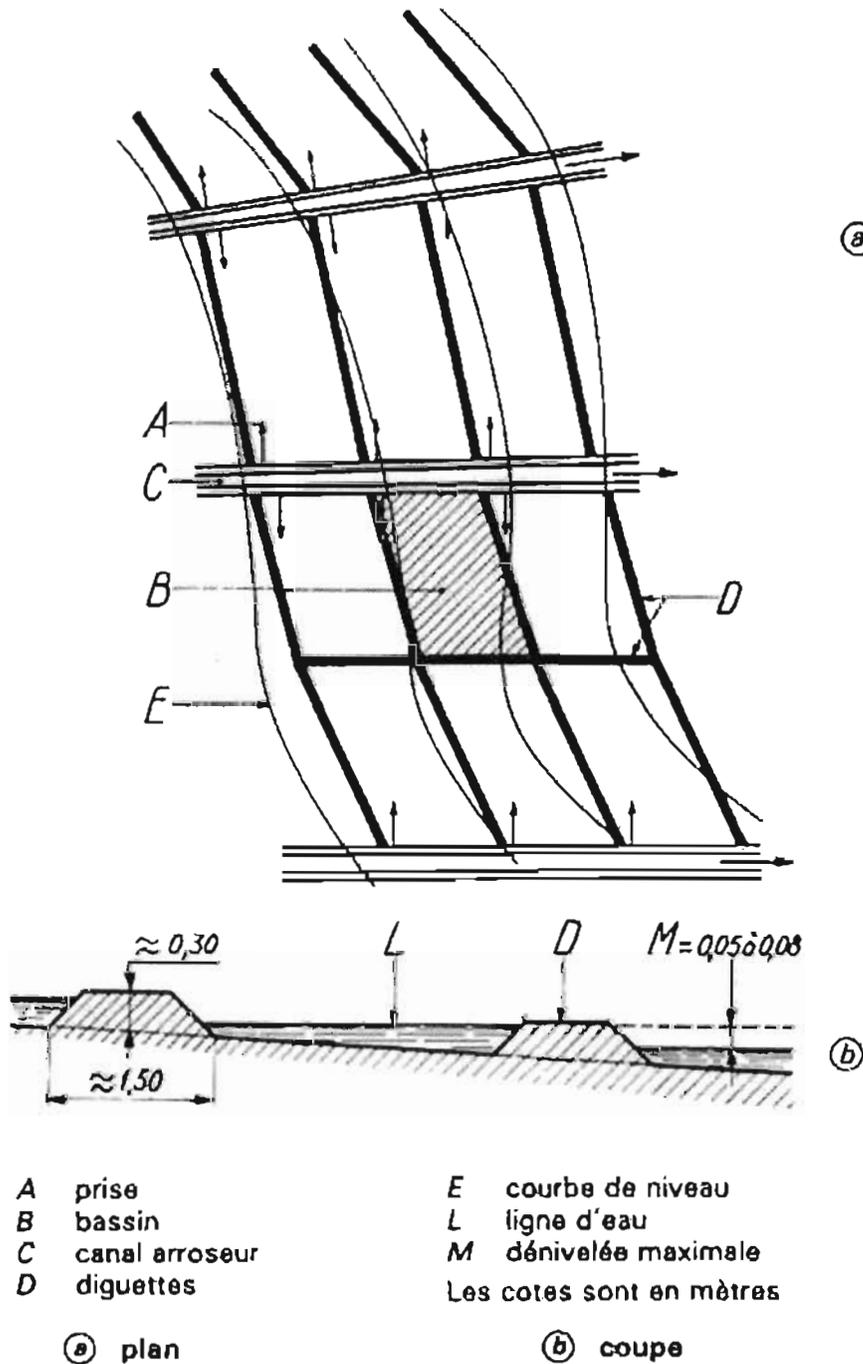


Figure 1 : Irrigation par bassins

Source : CLEMENT *et al.*, (1979)

### 1.3.3.1.2 Irrigation par sillons

Les sillons sont de petites tranchées ouvertes entre les rangées de plantes qui serviront à l'écoulement de l'eau. La forme, la longueur et l'espacement des sillons dépendent du milieu

naturel (la pente et le type du sol) et de la valeur du débit du courant d'eau dérivé (FAO, 1990) Cette méthode est essentiellement appropriée pour les cultures qui ne tolèrent pas la submersion de leurs feuillages ou de leur collet par les eaux pour un temps trop long et convient pour les terrains en pente, et pour plusieurs types de sol.

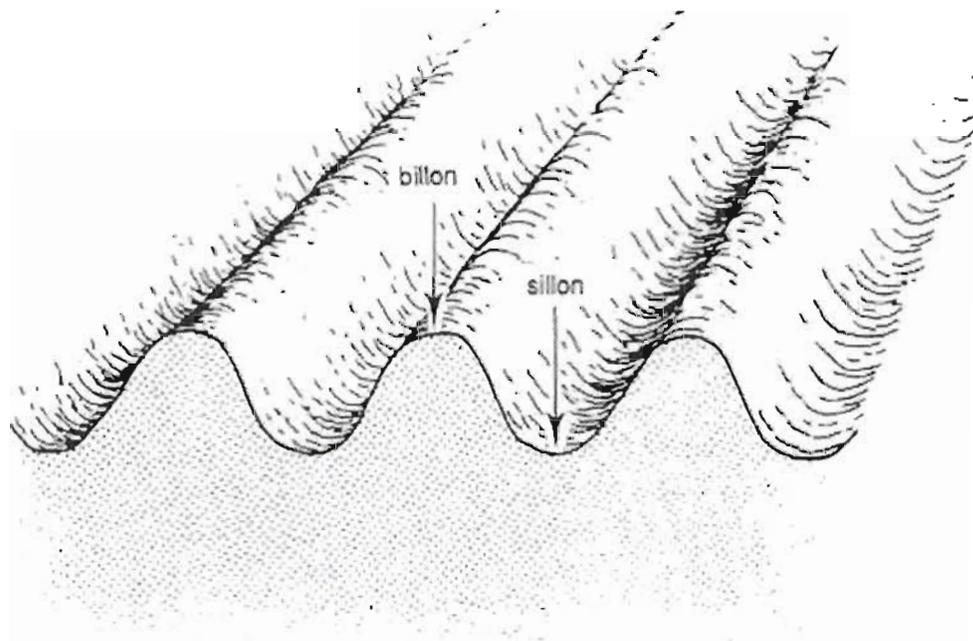
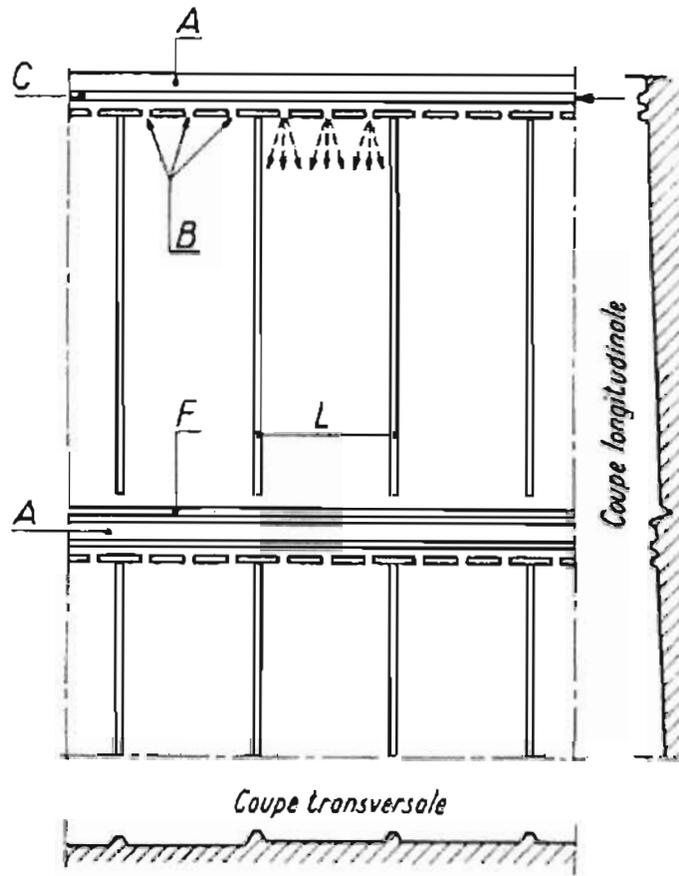


Figure 2 : Irrigation par sillons

Source : FAO (2008)

#### 1.3.3.1.3 Irrigation en planches

Dans l'irrigation en planches, le champ à irriguer est divisé en bandes (planches) par des diguettes parallèles. Les planches sont généralement des bandes de terre assez longues, à pente uniforme, et séparées par des diguettes parallèles. Contrairement à l'irrigation par bassins, les diguettes ne sont pas conçues pour former une cuvette pour contenir les eaux, mais pour guider les filets d'eau dans leur ruissellement à travers la planche (FAO, 1990). Selon cette même source, les dimensions et la forme des planches sont fonction du type du sol, du débit du courant d'eau, de la pente du terrain, de la dose d'arrosage et d'un certain nombre de facteurs tels que les pratiques culturales et la taille de l'exploitation comme c'est le cas pour l'irrigation par bassins et par sillons. Cette méthode d'irrigation est recommandée pour les exploitations de grande taille, où les travaux agricoles sont mécanisés.



- A chemin
- B pertuis ou bouches d'irrigation
- C canal arroseur
- F fosse de colature
- L levées

Figure 3 : Irrigation à la planche

Source : CLEMENT *et al.*, (1979)

### 1.3.3.2 Irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle (FAO, 1990). Cet épandage de l'eau sous forme de pluie se fait 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 (LAERE, 2003). Selon la même source, l'irrigation par aspersion est recommandée dans les cas de sols à faible profondeur, de sols légers et perméables, en cas de relief trop peu

accidenté ainsi qu'en cas d'utilisation d'eau salée. L'eau est mise sous pression, généralement par pompage, pour être ensuite distribuée au moyen d'un réseau de canalisations. La distribution d'eau est faite au moyen de rampes d'arrosage équipées d'asperseurs. L'eau sort sous la forme d'un jet et se répartit en gouttelettes d'eau qui tombent sur le sol. Beaucoup plus économe en eau que l'irrigation de surface, l'aspersion est cependant consommatrice d'énergie externe et nécessite un personnel bien formé pour les manipulations. Bien que ce système imite la pluie, il présente des avantages tout comme des inconvénients (tableau I).

Tableau I : Avantages et inconvénients de l'irrigation par aspersion

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facile et rapide à installer ;</li> <li>- Facile à déplacer d'une culture à l'autre (cas mobile) ;</li> <li>- Limite la présence des acariens qui sont gênés par une ambiance humide.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investissement de départ Important ;</li> <li>- Favorise le développement des adventices ;</li> <li>- Mouille le feuillage (risque de maladies) ;</li> <li>- Sensible au vent ;</li> <li>- Pertes en eau importantes par évaporation ;</li> <li>- Débit et pression plus importants que dans un système de goutte-à-goutte ;</li> <li>- Nécessite un système de filtration.</li> </ul>

Source : CALCET *et al.*, (2016)

### 1.3.3.3 Irrigation goutte à goutte

L'irrigation goutte à goutte est une technique qui consiste à mettre l'eau au pied de la plante, directement à la disposition des racines à l'aide d'un goutteur (DRDA, 2008). Encore appelée irrigation localisée ou micro irrigation, l'irrigation goutte à goutte consiste à appliquer l'eau à faible débit et à intervalles fréquents au voisinage des plantes uniquement au moyen d'un réseau dense de conduites (MERMOUD, 2004). En effet, la méthode consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. Selon la FAO (2008), dans l'irrigation goutte-à-goutte, l'eau est directement versée sur les cultures par de petits goutteurs placés sur des tuyaux souples en polyéthylène longeant les rangées de culture. Ainsi, par cet apport d'eau localisé il y a création

d'une zone humide (ou bulbe) (voir schéma ci-dessous). Ce bulbe est maintenu au cours du temps en ajustant les apports pour :

- conserver une humidité suffisante par rapport à la consommation d'eau de la plante,
- éviter le drainage ou l'asphyxie racinaire par excès d'eau.

Les racines se développent principalement dans la zone humide artificiellement créée. Et donc pour éviter les pertes par drainage, un fractionnement de la dose journalière est conseillé (BRL exploitation, 2010). Il se forme sous le goutteur une zone saturée de faible volume, d'où la majeure partie de l'eau diffuse en écoulement non saturé. Ainsi, pour un débit et une durée d'arrosage déterminés, la forme et les dimensions du volume de sol humidifié (extension latérale et profondeur d'humectation) dépendent essentiellement des caractéristiques hydrodynamiques du sol et de son degré de siccité. (Figure 4).

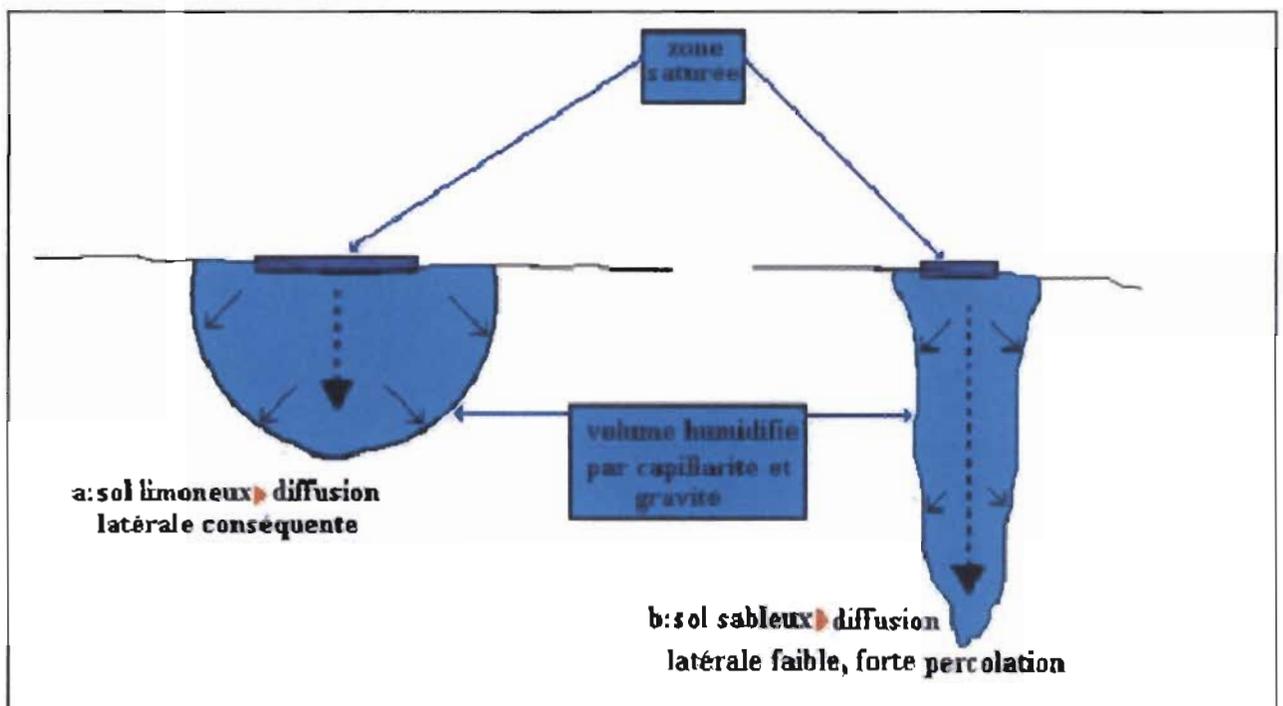


Figure 4 : Formes du volume de sol humidifié suivant les caractéristiques du sol.

L'irrigation goutte à goutte peut être très efficace en termes d'utilisation d'eau, atteignant jusqu'à 90 %. Elle est alors le système d'irrigation le plus économe en eau et qui permet de limiter certaines maladies cryptogamiques (exemple le mildiou) puisque les feuilles des plantes ne sont jamais mouillées. Il est donc utilisé en priorité pour la culture de légumes sensibles aux maladies cryptogamiques sur feuilles, tiges ou fruits comme la tomate ou la laitue (CALCET *et*

al., 2016). Toutefois, bien que le goutte à goutte permet un apport d'eau optimisé par rapport aux besoins des plantes, il présente des avantages tout comme des inconvénients (tableau 2).

Tableau II : avantages et inconvénients de l'irrigation goutte à goutte

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Répartition uniforme de l'eau dans la parcelle</li> <li>- Basse pression et économie d'énergie</li> <li>- Economie en eau</li> <li>- Ne mouille pas le feuillage des plantes et réduit ainsi certaines maladies cryptogamiques</li> <li>- Limite l'évaporation et le refroidissement du sol</li> <li>- Compatibilité avec l'utilisation de paillage</li> <li>- Défavorise la poussée des mauvaises herbes entre les rangs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps d'installation long au départ</li> <li>- Complique le sarclage des cultures</li> <li>- Nécessite une eau de bonne qualité et un système de filtration performant</li> <li>- Présente un débit irrégulier sur les terrains en pente (sauf si goutteur autorégulant)</li> <li>- Nécessite de fractionner les apports</li> <li>- Risque de rupture de capillarité dans le sol</li> <li>- Risque d'obturation nécessitant un entretien et un nettoyage réguliers</li> </ul>

Source : CALCET *et al.*, (2016)

### Type de cultures adaptées à l'irrigation goutte à goutte

Les cultures jugées convenables pour le système d'irrigation goutte à goutte sont :

- les arbres fruitiers ;
- les cultures légumières de plein champ ;
- les cultures maraîchères et florales sous serres ;
- la vigne, la canne à sucre, le coton, les fraises.

## **Chapitre II : Différents systèmes d'irrigation rencontrés au Burkina Faso**

### **2.1 Catégorisation des aménagements hydro agricoles**

Les aménagements hydro-agricoles au Burkina Faso sont regroupés en grands, moyens, petits et en aménagement de bas-fond.

- Les grands aménagements couvrent une superficie de 12058 ha soit 37% des plaines aménagées. Ce sont tous des périmètres gravitaires classiques à l'exception de la plaine sucrière de Banfora et de la vallée du Sourou. (MAH, 2011).
- Toujours selon la même source, avec des superficies d'une centaine d'hectares environ, les aménagements moyens sont surtout des périmètres gravitaires en aval de petits barrages ou par pompage autour de lacs naturels. Les systèmes d'irrigation rencontrés sont l'irrigation gravitaire, le système californien, et le système semi-californien.
- La petite irrigation correspond aux périmètres allant de moins d'un hectare à une vingtaine d'hectares. Elle peut être individuelle ou pratiquée par des groupements. Elle se caractérise par des périmètres irrigués à partir d'une pompe à pédales, à partir d'une motopompe, ou en irrigation localisée (MAH, 2011).

### **2.2 Potentialités liées à l'irrigation**

#### **2.2.1 Ressources en eau**

L'essentiel des ressources en eau du Burkina Faso provient des pluies et sont estimées à 17,5 milliards de m<sup>3</sup> dont 8 milliards de m<sup>3</sup> pour les eaux de surface et 9,5 milliards de m<sup>3</sup> pour les eaux souterraines (MAH, 2011). Cependant, le réseau hydraulique quant à lui s'étend sur toute l'étendue du territoire à travers trois bassins versants internationaux qui permettent le réapprovisionnement des nappes phréatiques: la Volta, le Niger, la Comoé. Ces trois bassins sont eux-mêmes subdivisés sur le territoire burkinabè en 4 bassins versants nationaux : le Nakanbé, le Mouhoun, le Niger et la Comoé. A un niveau inférieur, ces 4 bassins nationaux sont subdivisés en 17 sous-bassins versants nationaux (MEE, 2001). En outre, selon MASA (2011), avec environ 1200 plans d'eau (barrages, lacs, mares), le pays peut mobiliser jusqu'à cinq (05) milliards de mètres cubes d'eaux de surface par an.

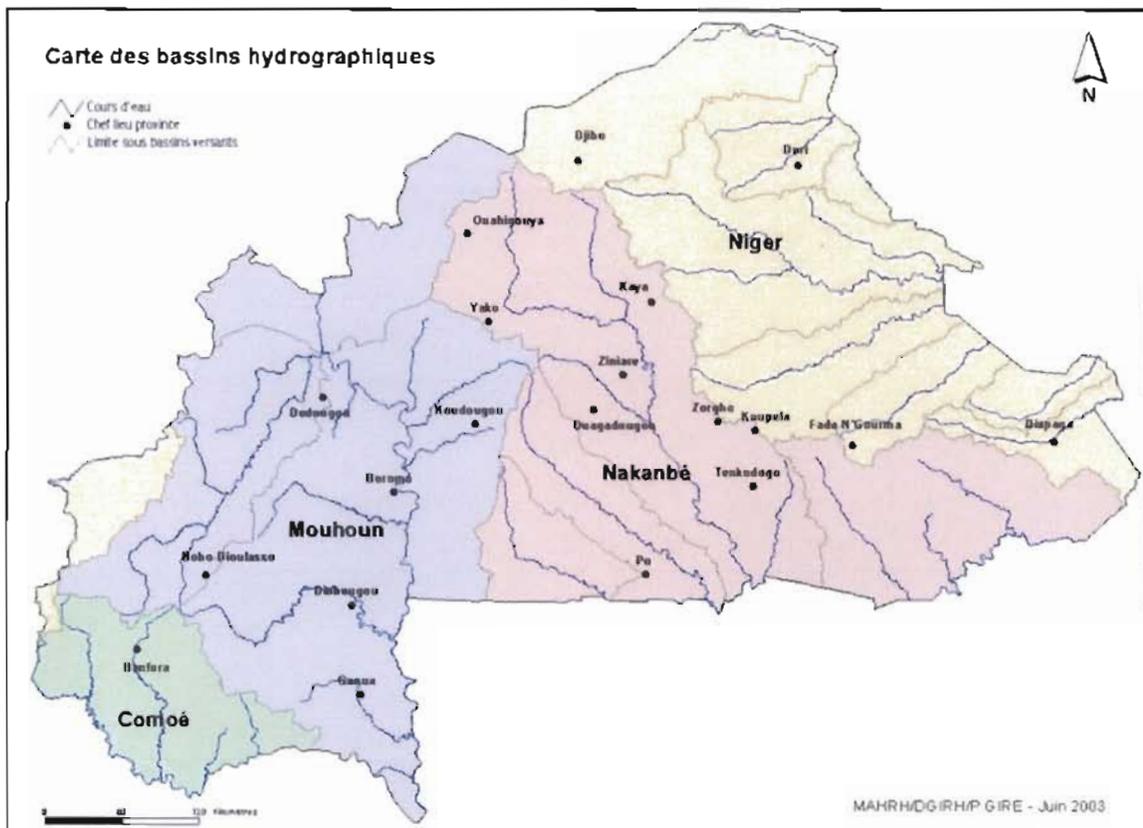


Figure 5 : Carte des bassins versants nationaux du Burkina Faso

### 2.2.2 Ressources en terre

Le Burkina Faso dispose d'un grand potentiel en terres cultivables estimé à 9 millions d'hectares dont environ 46% sont actuellement exploités. Les terres irrigables atteignent 233.500 ha, dont environ 12% actuellement exploitées. En outre, le pays dispose de 500 000 ha de bas-fonds facilement aménageables. Les potentialités pour le développement de l'irrigation sont donc immenses (MASA, 2011).

Tableau III : Potentiel en terres irrigables au Burkina Faso (répartition par région)

Région agricole	Superficie Géographique (km <sup>2</sup> )	Superficie Irrigable (ha)
Centre	21950	10390
Centre Ouest	26325	9860
Centre Nord	21580	4860
Nord	12295	3100
Boucle du Mouhoun	33015	29140
Centre Est	11260	33830
Comoé	18405	13620
Haut Bassins	24770	25255
Sud-Ouest	17480	96100
Est	49990	6150
Sahel	36870	1195
<b>total</b>	<b>273940</b>	<b>233500</b>

Source : MAH (2011)

### 2.3 Contraintes liés à l'irrigation

L'irrigation est l'une des bonnes pratiques en agriculture pour l'accroissement de la productivité des terres à travers une bonne méthode de gestion de l'eau. Cependant, cette méthode rencontre d'énormes difficultés qui sont entre autres :

- le coût élevé de l'investissement ;
- l'insuffisance de main d'œuvre qualifiée dans la manipulation des équipements après installation (aspersion et goutte à goutte) ;
- la faiblesse organisationnelle des irrigants installés sur les périmètres aménagés (irrigation par bassin) ;
- la baisse des niveaux d'eau des retenues ;
- la mauvaise gestion et le manque de maintenance des aménagements.

Ces contraintes peuvent être généralisées comme d'ordres matériels, techniques et financiers.

## **Chapitre III : Etapes de conception d'un système d'irrigation**

L'irrigation est l'apport d'eau aux cultures mises en place, pour assurer leur développement. Avec l'irrigation, l'agriculteur dispose d'un puissant moyen pour accroître et régulariser la production de ses cultures, à condition de pouvoir la maîtriser, afin de satisfaire les objectifs techniques (rendement) et économiques (à coût optimal) visés. La performance d'une installation d'irrigation dépendra du bon choix de la technique, du système d'irrigation et de la bonne mise en place des équipements sur la base de la parfaite connaissance des informations techniques et économiques liées aux conditions de l'exploitation.

### **3.1 Choix des cultures**

Pour l'installation d'un système d'irrigation, le choix des cultures se fait en fonction de la connaissance de plusieurs paramètres, à savoir :

- les paramètres agro-écologiques de la culture ;
- le climat ;
- le sol ;
- les besoins en eau.

### **3.2 Détermination des besoins en eau des cultures**

#### **3.2.1 Identification de la ressource**

L'eau d'irrigation doit être considérée selon sa nature, sa quantité et sa qualité. Pour sa nature, la ressource peut être souterraine exploitée à partir de puits ou de forage ou bien une source d'eau superficielle à partir des lâchées, d'un écoulement ou un captage de source. Cependant, il est nécessaire de s'assurer de la disponibilité de l'eau au moment voulu pour irriguer, car la connaissance de la quantité d'eau disponible en période de pointe permet de déterminer la superficie à irriguer; et en qualité (bonne, médiocre ou mauvaise) pour savoir le niveau de traitement et la filtration nécessaire à son utilisation. La disponibilité de l'eau dans le temps, en débit et en pression, conditionne la conception d'un système d'irrigation (WEDHAH, 2015).

#### **3.2.2 Détermination des besoins en eau des cultures**

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. Ainsi, nous pouvons citer :

- les données climatiques (ETO) 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.

L'évapotranspiration (ETO) est un élément fondamental pour le plan d'irrigation. La valeur ETO est estimée avec l'équation FAO Penman-Monteith en utilisant les données météorologiques et celles de localisation. L'évapotranspiration de la culture (ET culture) est calculée pour chaque culture en multipliant l'évapotranspiration (ETO) par le coefficient cultural (Kc).

$$\mathbf{ET\ culture = Kc \times ETO}$$

ET culture: Evapotranspiration culture (mm / jour)

ETO: Évapotranspiration (mm / jour)

Kc: coefficient cultural (Source: FAO Irrigation et Drainage n ° 56)

Les besoins en eau d'une culture (CWR) sont calculés en divisant l'Evapotranspiration de la culture (ET culture) par l'efficacité d'irrigation (Ei).

$$\mathbf{CWR = ETculture/Ei}$$

CWR: Besoins en eau des cultures (mm / jour)

ET culture: Evapotranspiration (mm / jour)

Ei: Efficacité d'irrigation (mm / jour)

L'efficacité d'irrigation (Ei) est constituée de l'efficacité de transport (Ec) et de l'efficacité d'application (Ea). L'efficacité de transport (Ec) est spécifiée par la condition du canal d'irrigation; revêtement en terre = 70%, revêtement en béton = 80-90%, tuyau = 90%. Pendant ce temps, l'efficacité d'application (Ea) est spécifiée par la méthode d'irrigation; Irrigation de surface = 70%, Irrigation par aspersion = 80-90%, Irrigation goutte à goutte = 95%. (JICA, 2014).

### **3.2.3 Détermination des doses d'arrosage**

#### **3.2.3.1 Dose pratique d'arrosage**

C'est la quantité d'eau susceptible de subvenir aux besoins de la plante entre deux arrosages successifs. La superficie humectée, fonction du type du goutteur et de leur écartement

représente une fraction de la surface totale. La dose pratique est donnée par :(CH. Ollier et M.Poiree-1986 page 462) :

$$D_p = 2/3 (H_e - H_f) * H * K$$

$H_e$  : étant la capacité de rétention du sol

$H_f$  : étant l'humidité au point de flétrissement

$H$  = profondeur du sol explorée par les racines

$K$  : coefficient de réduction de la surface à irriguer.

### 3.2.3.2 Dose nette d'arrosage

La dose nette, quantité d'eau effectivement consommée par les plantes, n'est qu'une fraction de la dose pratique. Elle dépendra du coefficient d'uniformité ( $C_u$ ) et de l'efficacité d'irrigation ( $E_i$ ) qui est égale à 90%. La dose nette d'arrosage est donnée par la formule suivante :

$$D_n = D_p * C_u * E_i$$

## 3.3 Choix du matériel d'irrigation

### 3.3.1 Les distributeurs (goutteur)

#### 3.3.1.1 Choix du type de distributeur

En irrigation localisée, le choix du type de goutteur est important. D'après KULKER (1988), le choix du type de goutteur conditionne l'uniformité de la répartition de l'eau sur la parcelle, le niveau de filtration de l'eau, le type de maintenance à assurer, la pérennité des équipements. Ce choix doit tenir compte :

- des caractéristiques du sol.
- de la nature des cultures.
- de la qualité de l'eau.
- de la configuration des parcelles.
- du coût de l'installation.

Les distributeurs peuvent être classés par ordre croissant d'exigence :

- les gaines.
- les goutteurs en ligne.
- les goutteurs en dérivation.

- les capillaires.
- Les mini-diffuseurs

### 3.3.1.2 Détermination du nombre de goutteurs

Le nombre de goutteurs est déterminé en utilisant la formule suivante :

$$N_g = (N_r * L) / l$$

L : étant la longueur de la rampe.

N<sub>r</sub> : représente le nombre des rampes ;

l : représente l'espacement entre les goutteurs (WEDHAH, 2015)

### 3.3.2 Choix du type de pompe

#### 3.3.2.1 Détermination de la hauteur manométrique

Pour évaluer la puissance de la pompe, on détermine la hauteur manométrique totale (HMT) à laquelle doit être portée l'eau puisée par la pompe. Elle correspond à la pression totale que doit fournir une pompe et est exprimée en mètres ou mètres de colonne d'eau, en bars ou en kg/cm<sup>2</sup>.

Pour ce faire, on doit connaître :

- la pression ;
- la perte de charge P due aux frottements dans l'ensemble du réseau ;
- la hauteur géométrique HG : dénivellation entre la source d'eau et le terrain à irriguer. La hauteur géométrique HG comprend la hauteur d'aspiration HGA et la hauteur de refoulement HGR.

$$HMT = HT + HG + P$$

#### 3.3.2.1 Détermination de la puissance de la pompe

Selon WEDHAH (2015), la puissance d'une pompe est déterminée avec la formule suivante :

$$P = (Q * HMT * g) / R$$

Q : C'est le débit de la pompe

HMT : Hauteur manométrique totale

g : Accélération de la pesanteur

R : Rendement de la pompe

## **DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE**

## Chapitre IV : Matériel et méthodes

### 4.1 Matériel

#### 4.1.1 Site d'étude

##### 4.1.1.1 Situation géographique

Notre étude, a porté sur le système d'irrigation goutte à goutte en culture de légumes a été conduite dans le village de Sonsogona (Figure 6). Ce village est situé à environ 3,5km de l'axe Bobo-Bana à 20km de la ville et est rattaché à l'arrondissement N°7 de Bobo-Dioulasso. Les coordonnées géographiques du site sont 04°16' de longitude Ouest et 11°60' de latitude Nord.

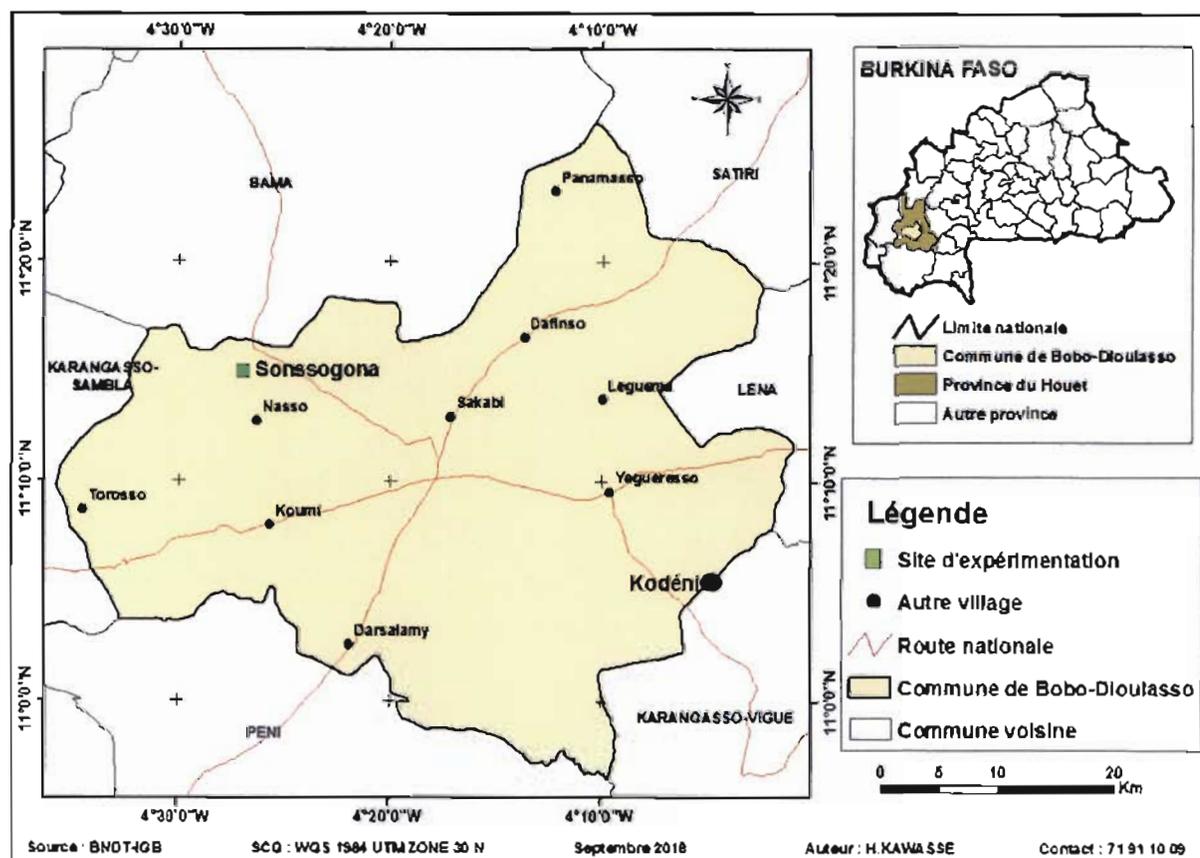


Figure 6 : Carte de la commune de Bobo-Dioulasso avec localisation du site d'étude

#### 4.1.1.2 Description du site

L'expérimentation a été conduite sur un terrain dont l'antécédent cultural était le riz de basfond. La superficie totale de l'essai était de 637 m<sup>2</sup> (soit 49 m x 13 m) divisée en 4 blocs. Chaque bloc était organisé en 8 parcelles élémentaires de 15,96 m<sup>2</sup> (soit 5,7 m x 2,8 m) chacune d'où 32 parcelles au total. Sur les 32 parcelles élémentaires, 16 étaient recouvertes de pailles de riz et les 16 autres restantes étaient non paillées. Les parcelles élémentaires étaient espacées de 0,4 m et les blocs 1 m (photo : présentation du site).



Photo 1 : Site expérimentale après paillage

#### 4.1.1.3 Climat

La zone d'étude appartient au climat sud soudanien. Selon Fontes et Guinko (1995) la pluviosité annuelle de cette zone climatique est comprise entre 800 mm et 1200 mm. Ce type de climat est caractérisé par l'alternance d'une saison sèche au cours de laquelle souffle l'harmattan et d'une saison pluvieuse dominée par les vents humides telle que la mousson. La saison sèche s'étale en moyenne entre octobre-novembre et mars-avril. Quant à la saison pluvieuse, elle dure de mi-avril à la mi-novembre (Fontes et Guinko, 1995). La zone d'étude enregistre une assez bonne pluviosité et compte parmi les localités les mieux arrosées du pays. Les précipitations de la zone d'étude se caractérisent par une très grande variabilité spatio-temporelle.

La figure 7 présente l'évolution de la pluviométrie mensuelle enregistrée cours de l'année 2017. Il est indiqué sur cette figure que le mois le plus arrosé durant l'année écoulée, est celui de mai pendant 10 jours avec une hauteur de pluie de 223,6 mm. Il est suivi du mois d'août qui a enregistré 152,7 mm d'eau durant 14 jours. Notons qu'avant le mois de mai de façon générale aucune précipitation n'a été enregistrée. Cette période correspond à celle de notre expérimentation ce qui explique que l'irrigation effectuée a été celle de contre saison et non celle complémentaire.

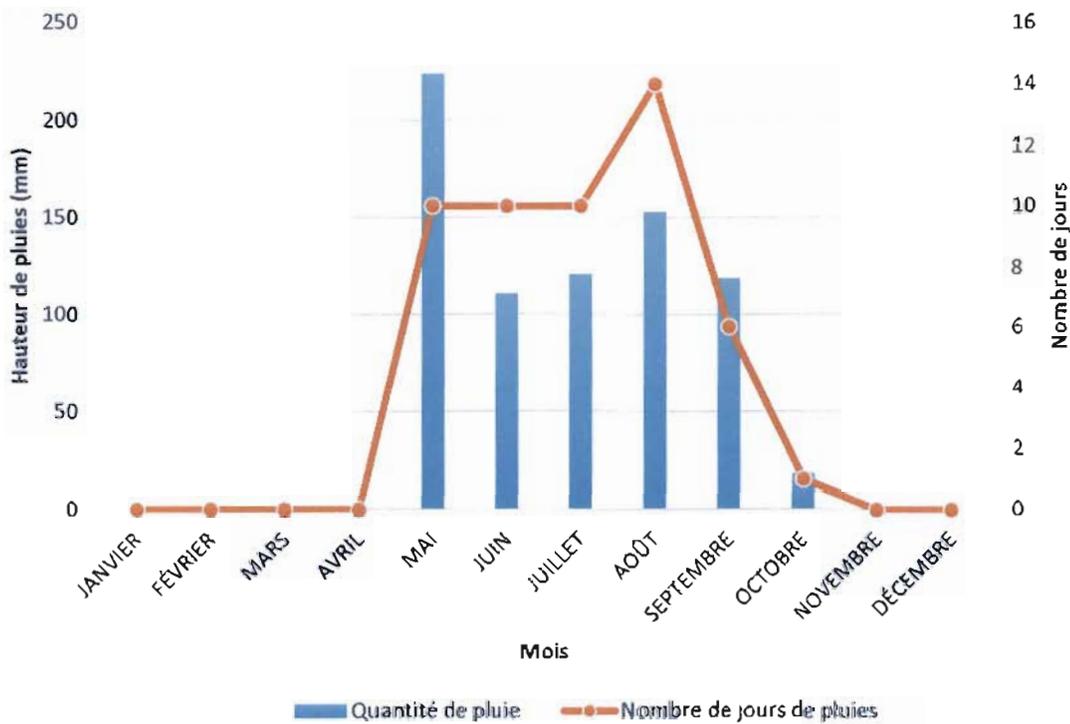


Figure 7 : Pluviométrie mensuelle de Bobo-Dioulasso, année 2017 (INERA Farakoba, Bobo-Dioulasso, 2017)

#### 4.1.1.2 Végétation

Selon le découpage phytogéographique réalisé par Fontes et Guinko (1995), le village de Sonsogona se situe dans le domaine Sud Soudanien. Il a une végétation naturelle de type savane boisée divisée en trois strates : arborée, arbustive et herbacée. On y trouve des forêts claires aux abords des bas-fonds et le long des cours d'eau. La strate arborée comporte des espèces comme *Vittelaria paradoxa* Gaerth.f., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. Br. ex G Don, *Tamarindus indica* L.. La strate arbustive est constituée par les *Combretacées* et des espèces comme *Ptilostigma thonningii* (Schumach.) Milne-Redh, *P. reticulatum* (OC.) Hochst et *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. et Dalz. La strate herbacée est surtout dominée par les espèces suivantes *Andropogon gayanus* Kunth, herbe de jachères, *Crotalaria retusa* Linnaeus. A part la végétation naturelle, on rencontre des plantations d'arbres notamment : *Eucalyptus camaldulensis*, *Gmelina arborea* et *Tecnona grandis* (Somé, 2017).

#### 4.1.1.3 Sols

Les sols de la zone sud soudanienne sont en majorité de type ferrugineux tropical. Selon la synthèse des travaux faite par Fontes et Guinko (1995), ces sols sont à texture variable, généralement à tendance sableuse dans les horizons de surface et argileuse dans les horizons

plus profonds (> 40 cm). Ils ont un régime hydrique imparfait dû à de mauvaises propriétés physiques (porosité et perméabilité). Ils ont tous une faible capacité d'échange cationique (CEC) ce qui s'explique par leur pauvreté en argile et en matière organique. Les analyses effectuées au laboratoire ont montré que le sol de notre site expérimental a une structure sablo-limoneuse et argileuse en profondeur avec un PH acide et pauvre en humus (Tableau 4).

*Tableau IV : Proportion en pourcentage de l'analyse du sol*

Sable	Limon	Argile	Humus	pH
62,66	21,66	15,67	Faible	6,8

## 4.1.2 Matériel d'étude

### 4.1.2.1 Matériel Végétal

Le matériel végétal irrigué est principalement constitué de légumes à savoir l'oignon, le chou, la tomate et le haricot vert. Les semences de ces légumes proviennent de deux points de distribution différents : NANKOSEM (pour la tomate et le haricot vert) et AGRI SEMENCE (pour l'oignon et le chou).

### 4.1.2.2 Matériels techniques utilisés pour l'installation du système

Pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé des matériels (planche 1) dont le choix s'est fait par l'intermédiaire de structures expérimentée en matière d'irrigation telle IRRIFASO. Cette structure, après dimensionnement nous a fait la proposition des équipements (annexe 1) tels que la pompe et les kits d'irrigation afin que nous puissions réaliser les installations.

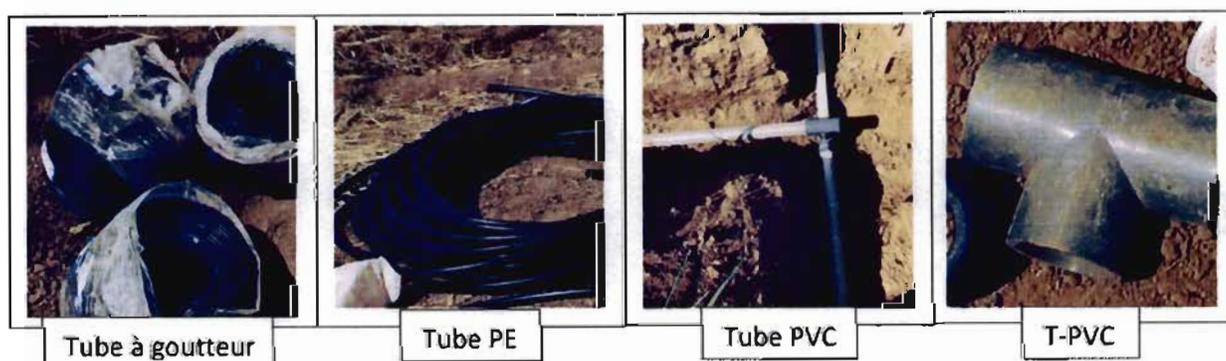


Planche 1a : Quelques matériels techniques utilisés



Planche 1b : Quelques matériel techniques utilisés (suite)

## 4.2 Méthodes d'étude

### 4.2.1 Choix du site d'expérimentation

Le site de notre étude (Sonsogona) situé à quelques kilomètres après le village de Dinderesso a été choisi car il nous offrait un cadre idéal pour la production de légumes. En effet ce village est l'une des zones environnantes de Bobo-Dioulasso où la culture maraîchère est bien développée. Le village est à proximité du fleuve Kou et le site proprement dit est non loin d'un basfond. Aussi, il y a le fait que dans cette zone, particulièrement au niveau site de l'étude la nappe phréatique est peu profonde d'après les habitants. Ainsi, cette zone nous offrait les possibilités d'avoir un puits peu profond avec une quantité importante d'eau surtout en saison sèche pour l'installation de la pompe d'irrigation. Cela nous préservait donc des risques de fonctionnement de la pompe à vide.

## 4.2.2 Préparation du terrain

Le terrain expérimental avant l'installation du kit d'irrigation avait d'abord été labouré à une profondeur d'environ 15 cm avec une charrue à soc à traction animale. Nous avons ensuite procédé au concassage manuel des mottes de terre à l'aide de daba, ainsi que le nivellement, suivi enfin du piquetage. Lors de cette opération, le matériel utilisé était constitué principalement du mètre ruban, de cordes et de piquets. Elle a consisté d'abord à délimiter la parcelle d'étude puis à l'intérieur de celle-ci, on a procédé à la délimitation des blocs et des parcelles élémentaires à l'aide des piquets.

## 4.2.3 Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite dans le village de Sonsogona sur un terrain dont l'antécédent culturel était le riz de basfond. La superficie totale de l'essai était de 637 m<sup>2</sup> (soit 49 m x 13 m) et celle des parcelles élémentaires était de 15,96 m<sup>2</sup> (soit 5,7 m x 2,8 m) chacune. Le dispositif expérimental était en blocs de Fischer complètement randomisés. Les parcelles élémentaires étaient séparées par des allées de 0,4 m et les répétitions par des allées de 1 m. En ce qui concerne le système d'irrigation, 05 tranchées de 0,3m de largeur et 0,5m de profondeur ont été réalisés pour y enterrer les tubes PVC. En effet nous avons réalisé une tranchée principale de 13m et 04 secondaires de 43,3m d'où au total 186,2m de tranchée. Par la suite nous y avons installé 33 vannes dont une vanne par parcelle et une sur la ligne principale entre le château et les blocs de parcelles (Figure 8).

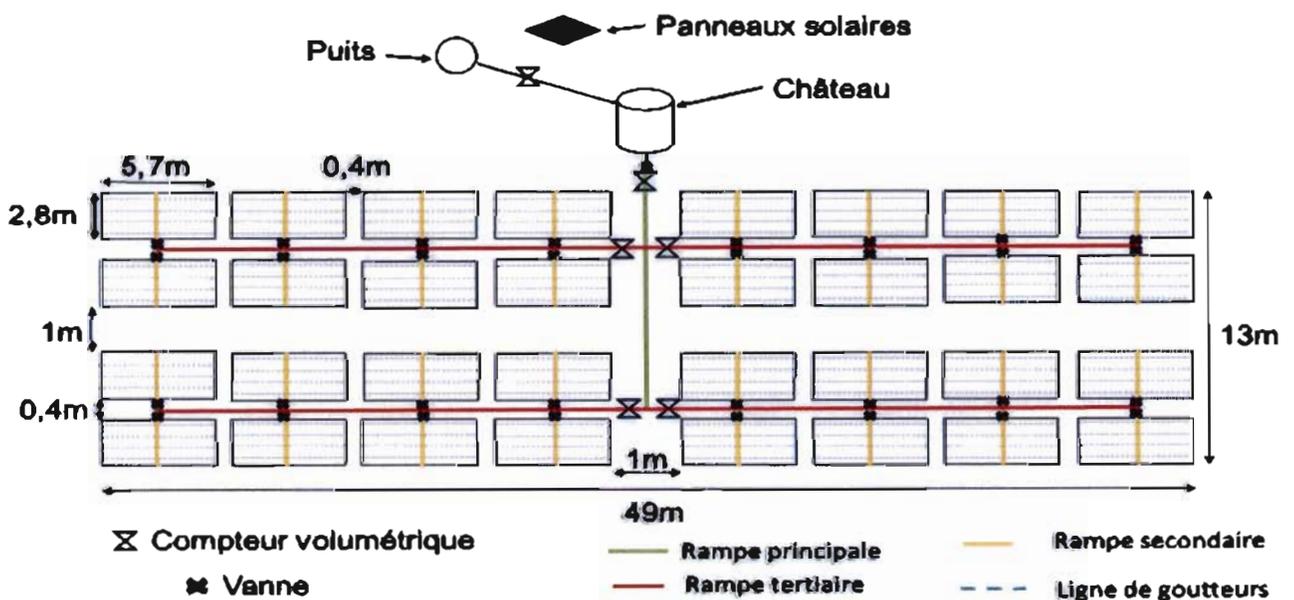


Figure 8 : Dispositif expérimental

## 4.2.4 Installation du système

### 4.2.4.1 Réalisation du puits

Le puits a été réalisé manuellement à proximité des parcelles expérimentales précisément à 5 m. Sa profondeur est de 7 m avec un diamètre de 1,2 m. Sa réalisation a pris plus d'une semaine due au fait qu'à moins de 2 m nous avons commencé à apercevoir les sources d'eau.

### 4.2.4.2 Installation du polytank

Un château en polytank d'une capacité de 2000 litres a servi à la conservation de l'eau remontée par la pompe. Ce château pour être déposé en hauteur a nécessité l'installation d'un support métallique de 2 m de haut. En effet, nous avons d'abord fixé une semelle dans un trou de 1 m<sup>2</sup>. Le matériel utilisé pour cette fixation était du ciment, des pierres, du gravier et du sable. Une semaine (07 jours) après, nous avons fixé le support sur la semelle à l'aide de vis. Après avoir fait monter le château, nous l'avons couvert avec un chaperon métallique vissé sur le support afin de protéger le polytank contre le soleil (figure 8).

Le rôle de ce château est d'assurer le stockage de l'eau qui servira à l'irrigation. Il permet également la mise en pression de tout le système. Ainsi plus le château est en hauteur, plus la pression est importante.

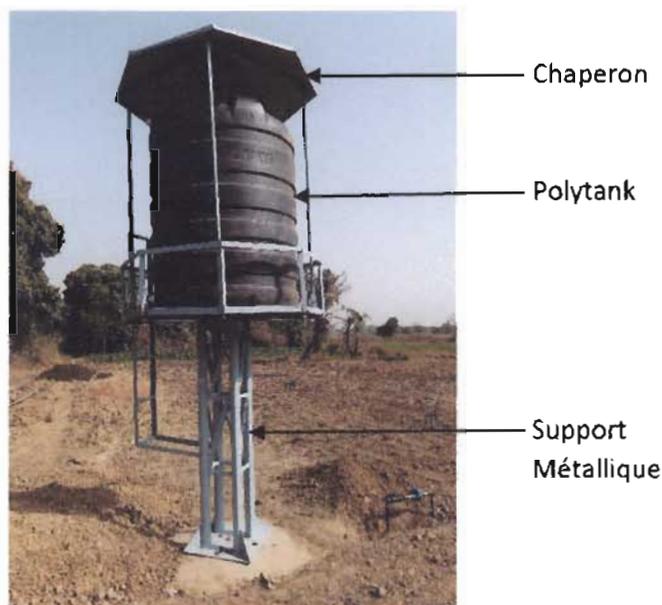


Photo 2 : Château après installation

### 4.2.4.3 Installation des kits d'irrigation

Cette activité a consisté à envoyer le matériel sur le site, à découper les tubes suivant les dimensions recherchées, à les assembler et installer suivant le dispositif. La réalisation de cette activité a pris deux jours et s'est déroulée en plusieurs étapes (planche 2) :

- La réalisation des tranchées (05) de largeur 0,3 m et 0,5 m de profondeur ;
- L'installation des tubes PVC dans les tranchées ;
- L'assemblage et installation des vannes et compteurs ;
- La découpe et l'installation des tubes polyéthylènes
- La perforation des tubes polyéthylènes ;
- L'installation des jonctions sur les tubes polyéthylènes ;
- La découpe et la connexion des lignes de goutteur ;
- Le redressement et fixation des lignes de goutteur à des ficelles.



Réalisation de tranchées



Installation de tubes PVC



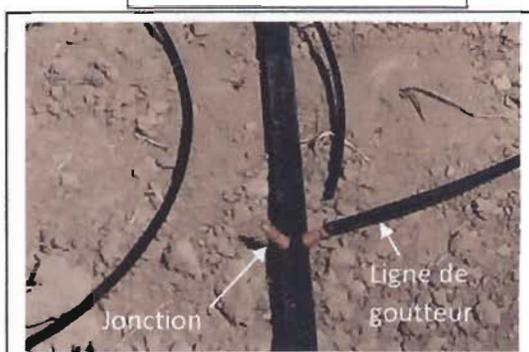
Installation de Vannes



Compteur volumétrique



Perforation de tubes PE



Jonction et ligne de goutteur connectées

#### 4.2.4.4 Installation de la pompe et ses accessoires

La pompe utilisée pour la remontée de l'eau est une PS200. Son installation (planches 3a et 3b) comporte les étapes suivantes :

- Confection (A) et installation du support de la pompe (B) ;
- Confection (C) et installation du support des panneaux solaires (D) ;
- Assemblage des accessoires de la pompe (E) et câblage (F) ;
- Immersion (G) et connexion de la pompe aux panneaux solaires (H) ;
- Essai de pompage.

Accessoires et caractéristiques de la pompe (annexe 3a et 3b).

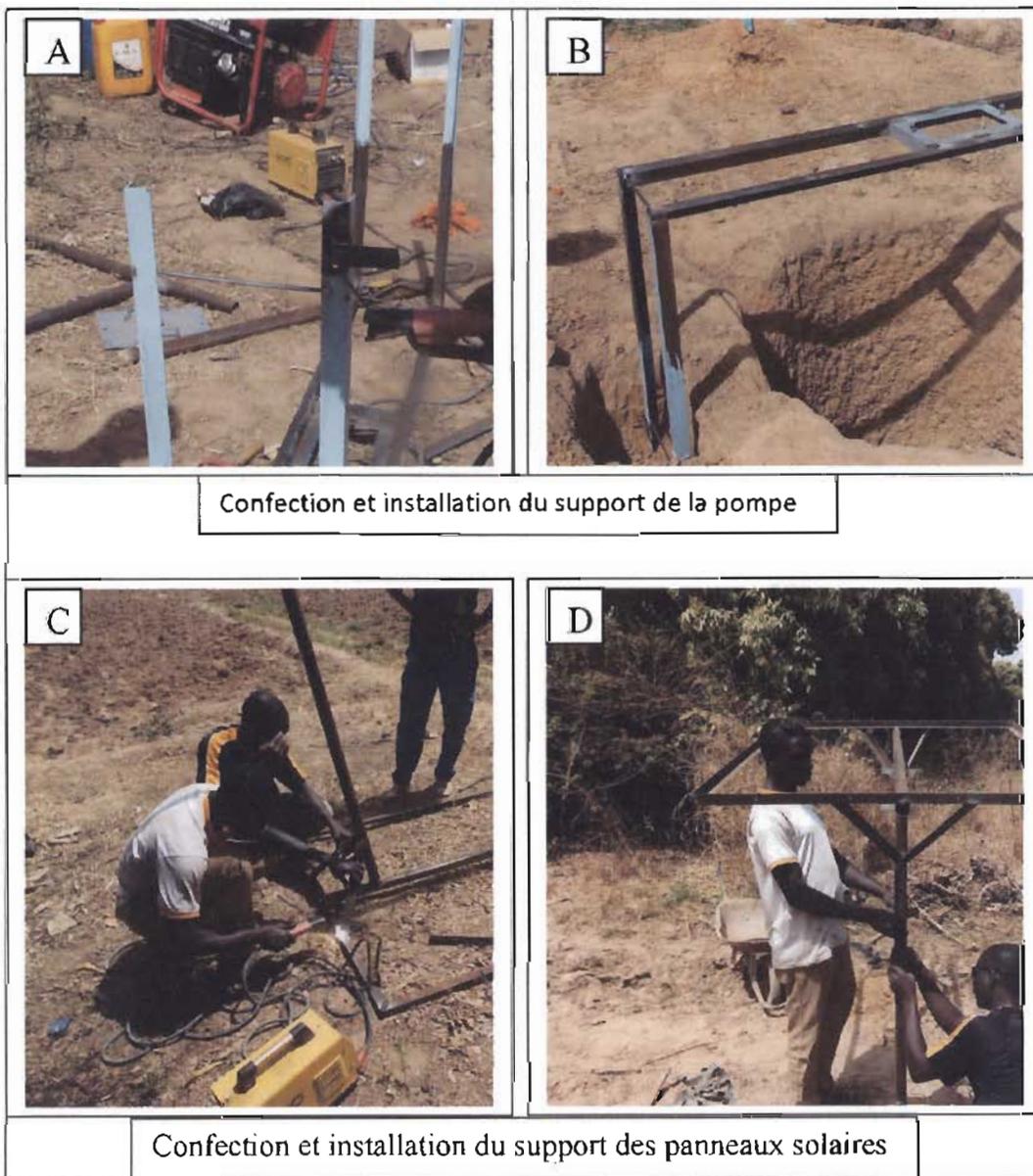


Planche 3a : Installation de la pompe

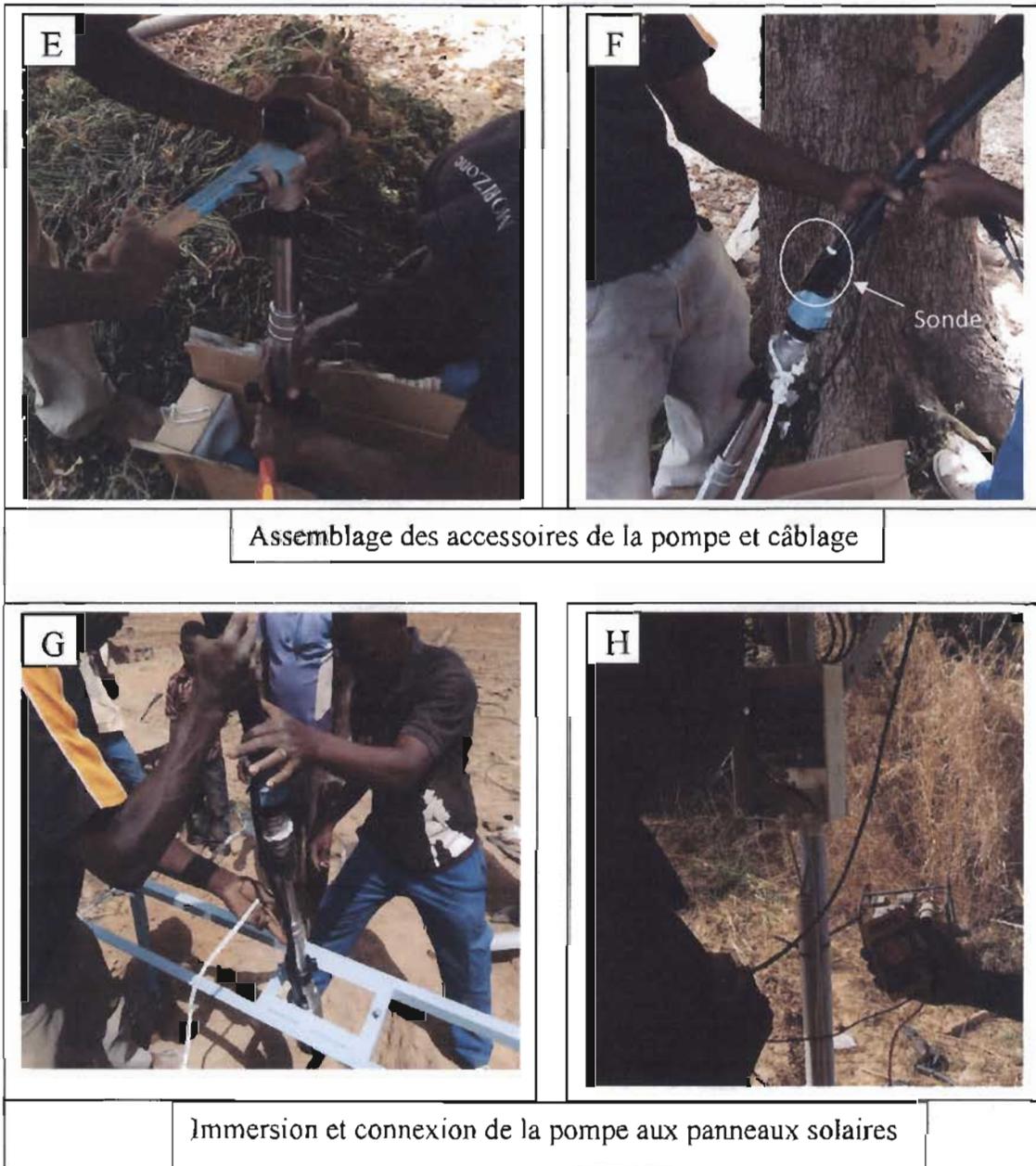


Planche 3b : Installation de la pompe (suite)

#### 4.2.5 Détermination des besoins en eau

Au cours de cette étude nous avons utilisé les logiciels CLIMWAT 2.0 for CROPWAT et CROPWAT 8.0 pour déterminer les besoins en eau des cultures utilisées. En effet, nous avons dans un premier temps recherché les données climatiques de Bobo-Dioulasso plus précisément celles de l'aéroport dans CLIMAWAT. Ensuite nous les avons exportées dans CROPWAT. Enfin nous avons à partir de ces données standards de CLIMWAT, calculé les besoins en eau de nos cultures sur CROPWAT.

## 4.2.6 Collecte des données

### 4.2.6.1 Mesure des volumes d'eau

Les mesures sur le terrain (planche 4) ont porté sur les volumes d'eau au niveau des vannes. Pour cela nous avons enterré des bouteilles de 180ml pour recueillir l'eau des goutteurs pendant 07 minutes d'irrigation. Ce temps de mesure a été déterminé par un essai préalable de collecte de 100ml d'eau. Les mesures ont été faites d'abord par rampes c'est-à-dire pendant l'irrigation d'un seul bloc de parcelle. Ensuite une seconde mesure a été réalisée au niveau des mêmes goutteurs mais pendant que toutes les rampes irriguaient. Ces mesures ont concerné 04 vannes par rampe. Compte tenu du nombre élevé de goutteurs, les mesures ont porté sur 12 goutteurs par vanne repartis sur 04 lignes de goutteurs dont 03 goutteurs par ligne à savoir le 2<sup>ème</sup>, 5<sup>ème</sup> et 8<sup>ème</sup> goutteur (figure 9). En somme l'ensemble de ces mesures ont été réalisées sur 1152 goutteurs comme illustre le tableau V. La procédure était la suivante :

- Remplir le château ;
- Nettoyer le filtre à l'aide de brosse;
- Creuser sous le goutteur concerné un trou de 15 cm environ de profondeur ;
- Disposer les bouteilles de 180 ml dans les trous creusés ;
- Ouvrir les vannes d'une seule rampe pour les collectes par rampe ou toutes les vannes pour les collectes en irrigation générale ;
- Chronométrer les 7 minutes ;
- Au bout des 7 minutes d'irrigation, fermer la vanne principale et effectuer les mesures ;
- Puis reprendre la même chose jusqu'à atteindre les 1152 mesures.

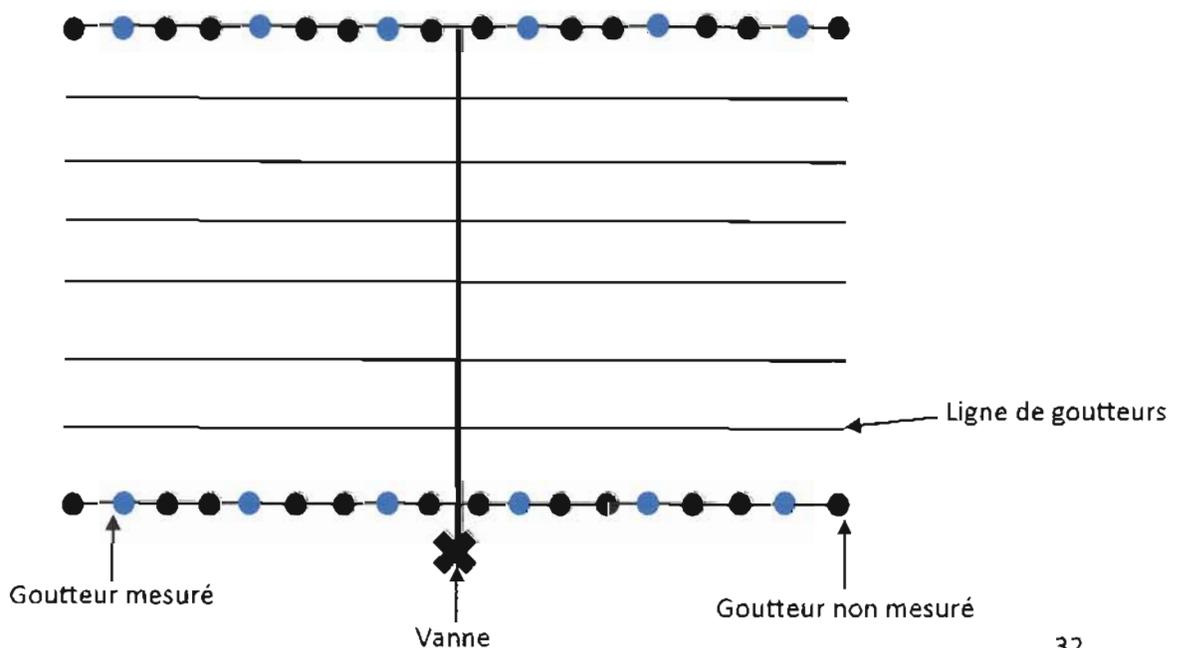


Figure 9 : Dispositif de collecte d'eau

Tableau V : Résumé des mesures effectuées et leur durée

	Une rampe en irrigation	Les 4 rampes en irrigation	Total
Nombre de mesure/jour	32	32	-
Nombre de jour	6	6	-
Période	3	3	-
Nombre total de jour	18	18	36
Total mesure	576	576	1152



Planche 4 : Mesure des quantités d'eau

#### 4.2.6.2 Evaluation de la variation de la quantité d'eau en fonction du temps

Cette évaluation a été réalisée sur trois périodes différentes pendant le fonctionnement du système. Il consistait à mesurer les volumes d'eau collectée en fonction du temps de fonctionnement du système. La première collecte de volume d'eau qui a été réalisée juste après l'installation (5jours) puis la seconde un mois après (30jours) et la troisième deux mois après l'installation du système (60jours).

#### **4.2.6.3 Evaluation de la pompe**

Pour l'évaluation de la pompe, il s'est agi d'apprécier le temps de démarrage de la pompe, ainsi que son temps d'arrêt de fonctionnement. Afin d'y parvenir, la pompe a été laissée en marche depuis la veille jusqu'au lendemain, mais en prenant soin d'enregistrer l'heure de démarrage du pompage d'eau. Après irrigation la pompe a été arrêtée puis mise en marche au tour de 16h et l'heure d'arrêt de fonctionnement a été également notée une fois que la pompe a cessé de faire remonter de l'eau. En plus de cela, nous avons évalué le débit horaire de la pompe en fonction de l'évolution horaire.

#### **4.2.6.4 Variation du débit du château**

Le débit délivré par le château a été évalué à travers le compteur volumétrique principal installé en tête de réseau sur 10 heures de fonctionnement du système. La méthode d'évaluation a consisté à :

- remplir le château ;
- relever le numéro du compteur principal;
- ouvrir la vanne principale ;
- noter le temps d'ouverture de la vanne ;
- relever le nouveau numéro du compteur à chaque une heure ;
- calculer le débit horaire à l'aide de la formule  $D = \text{Volume d'eau} / \text{temps}$ . Voir annexe 3 pour le tableau de collecte.

#### **4.2.6.5 Analyse statistique des données**

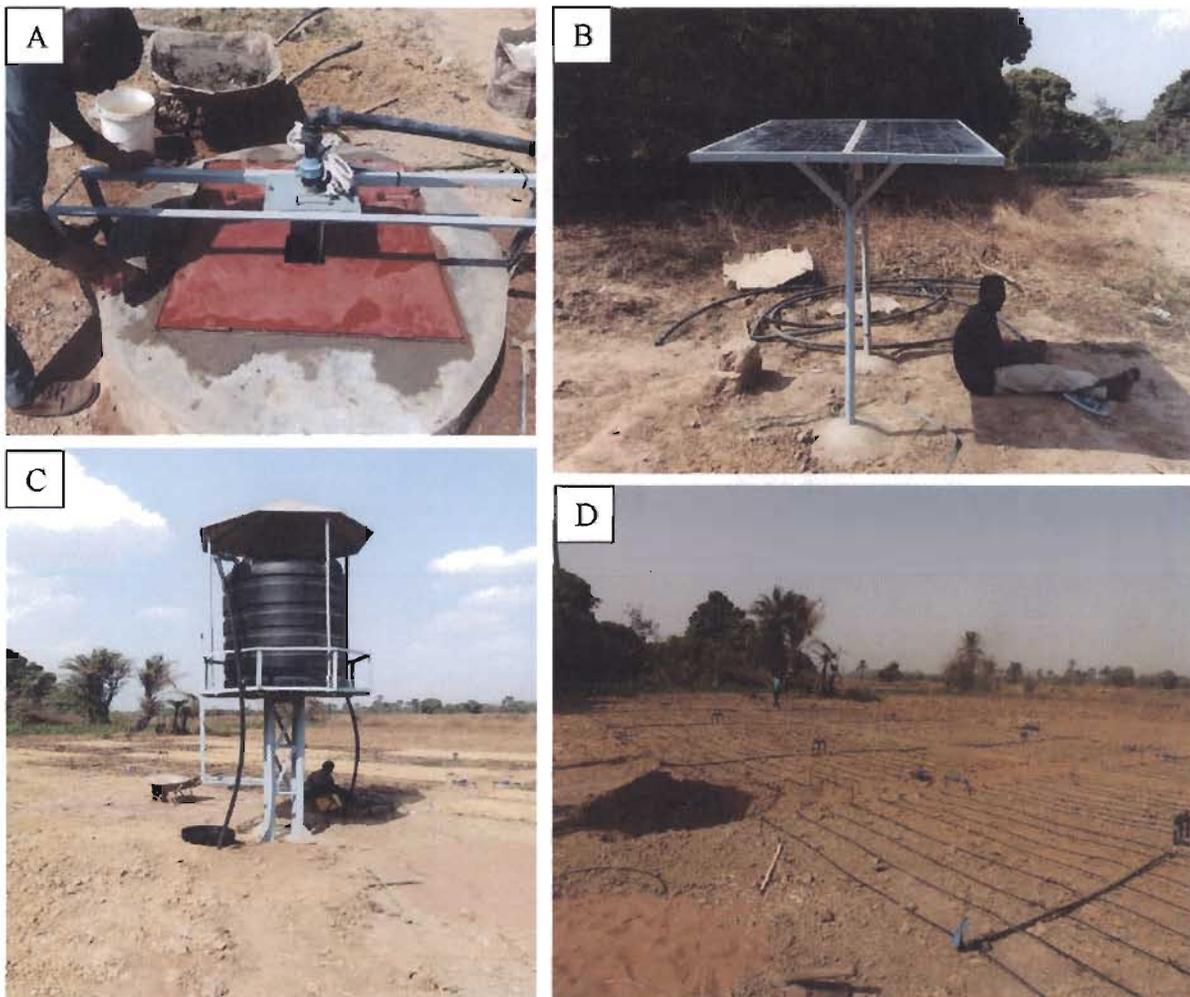
L'ensemble des mesures effectuées ont préalablement été saisies à l'aide du tableur Microsoft Office EXCEL 2013 puis ont fait l'objet d'une analyse de variance à l'aide du logiciel d'analyse XLSTAT 2014.5.03. Celui-ci a permis de faire des calculs de moyennes, des analyses descriptives des données ainsi que des analyses de variance. La séparation des moyennes a été faite par le test de Student-Newman Keuls au seuil de 5 %. Ce test permet de comparer toutes les paires de moyennes en contrôlant le risque alpha global (RAMOUSSE *et al.*, 1996) c'est-à-dire les fluctuations dues aux erreurs d'échantillonnage qui peuvent induire des différences apparentes entre les traitements alors qu'ils sont réellement identiques. Il a servi également à construire des graphiques et à réaliser des tableaux.

## Chapitre V : Résultats et discussion

### 5.1 Résultats

#### 5.1.1 Système d'irrigation goutte à goutte

Lors de notre étude le premier résultat auquel nous avons abouti avant même la mise en place des cultures a été le système d'irrigation installé sur une superficie 637 m<sup>2</sup>. Ce système est composé d'une source d'eau (puits) muni d'une pompe solaire ; d'une installation solaire ; d'une source de stockage d'eau après remontée ; d'un dispositif de kit d'irrigation installé sur la parcelle expérimentale (planche 5).



A : Pompe solaire immergée dans le puits ; B : Installation solaire ; C : Moyen de stockage de l'eau ; D : Dispositif de kit d'irrigation.

Planche 5 : Différents composants du système d'irrigation

### 5.1.2 Evaluation de l'homogénéité de distribution de l'eau

Les résultats de l'évaluation de l'homogénéité de distribution de l'eau par rapport aux goutteurs par vannes sont présentés dans les tableaux VI et VII. Le tableau VI illustre les collectes pendant le fonctionnement d'une seule rampe et le tableau VII présente les quantités d'eau pendant le fonctionnement de tout le système (toutes les rampes sont ouvertes). Du tableau VI, Il ressort que les quantités d'eau recueillies par les goutteurs des vannes concernées à partir du 30<sup>ème</sup> jour après l'installation du système sont statistiquement différentes. Donc il existe une variation significative entre les quantités d'eau collectées au niveau des goutteurs des 4 vannes. La plus petite valeur 92,25 ml s'observe au niveau des goutteurs de la vanne 8 et la plus grande 97,26ml au niveau des goutteurs de la vanne 2. Quant aux collectes du 5<sup>ème</sup> et 60<sup>ème</sup> jour après l'installation, les données révèlent que les variations entre les quantités d'eau émises par les goutteurs des 4 vanne n'étaient pas significatives ( $P < 0.05$ ).

Dans le tableau VII illustrant les quantités d'eau recueillies pendant le fonctionnement de toutes les rampes, il ne ressort pas de différence significative entre ces quantités d'eau collectées au niveau des goutteurs par vannes et ce pour les trois périodes de collectes. Ce qui atteste de l'homogénéité de répartition de l'eau par vanne.

Tableau VI : Quantité d'eau recueillie au niveau des goutteurs par vanne en fonctionnement d'une rampe

Goutteurs	Q5j	Q30j	Q60j
GV2	100,99 <sup>a</sup>	97,26 <sup>a</sup>	93,05 <sup>a</sup>
GV7	99,91 <sup>a</sup>	97,05 <sup>a</sup>	91,85 <sup>a</sup>
GV1	97,83 <sup>a</sup>	94,14 <sup>ab</sup>	90,67 <sup>a</sup>
GV8	94,94 <sup>a</sup>	92,25 <sup>b</sup>	87,94 <sup>a</sup>
Probabilité	0,141	0,035	0,473
Significativité	NS	S	NS

**NB** : Q5j : Quantité d'eau collecté le 5<sup>ème</sup> jour après installation ; Q30j : Quantité d'eau collecté le 30<sup>ème</sup> jour après installation ; Q60j : Quantité d'eau collecté le 60<sup>ème</sup> jour après installation ; GV1 : Goutteurs vanne 1 ; GV2 : Goutteurs vanne 2 ; GV7 : Goutteurs vanne 7 ; GV8 : Goutteurs vanne 8 ; S : Significative ; NS : Non Significative. Les valeurs suivies d'une même

lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différentes (Test de Student-Newman Keuls à  $P = 0,05$ ).

Tableau VII : Quantité d'eau recueillie au niveau des goutteurs par vanne en fonctionnement sur l'ensemble des rampes

Goutteurs	Q5j	Q30j	Q60j
GV2	49,35 <sup>a</sup>	45,48 <sup>a</sup>	41,75 <sup>a</sup>
GV7	50,63 <sup>a</sup>	45,29 <sup>a</sup>	40,55 <sup>a</sup>
GV8	46,95 <sup>a</sup>	43,92 <sup>a</sup>	39,58 <sup>a</sup>
GV1	38,65 <sup>a</sup>	36,27 <sup>a</sup>	32,93 <sup>a</sup>
Probabilité	0,757	0,816	0,825
Significativité	NS	NS	NS

**NB :** Q5j : Quantité d'eau collecté le 5<sup>ème</sup> jour après installation ; Q30j : Quantité d'eau collecté le 30<sup>ème</sup> jour après installation ; Q60j : Quantité d'eau collecté le 60<sup>ème</sup> jour après installation ; GV1 : Goutteurs vanne 1 ; GV2 : Goutteurs vanne 2 ; GV7 : Goutteurs vanne 7 ; V8 : Goutteurs vanne 8 ; NS : Non Significative. Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différentes (Test de Student-Newman Keuls à  $P = 0,05$ ).

### 5.1.2 Evaluation de la variation de la quantité d'eau en fonction du temps

De l'analyse des quantités d'eau collectées en fonction de la période de collecte en fonctionnement d'une seule rampe (tableau VIII), il ressort que pour les goutteurs des vannes 1 et 8 les valeurs sont statistiquement identiques à un seuil de 5% pour les trois périodes de collecte. Par contre, au niveau des goutteurs des vannes 2 et 7, nous observons des différences hautement significatives. Aussi, les plus petites valeurs collectées s'observent au 60<sup>ème</sup> jour après installation et sont de 93,05 ml et 91,85 ml respectivement pour les vannes 2 et 7. Les grandes valeurs collectées quant à elles s'observent pour les deux vannes (2 et 7) au 5<sup>ème</sup> jour après l'installation du système et sont respectivement de 100,99 ml et 103,75 ml. En plus, une diminution progressive des valeurs au fil du temps s'observe dans l'ensemble du tableau.

Pour ce qui concerne l'analyse des données de l'ensemble des rampes en fonctionnement, il ressort de l'analyse en fonction du temps (tableau IX), qu'au niveau des goutteurs des quatre

vannes il n'y a pas de différence significative entre les valeurs collectées. Cependant, une évolution décroissante des valeurs a été également observée dans le tableau IX.

Tableau VIII : Variation de la quantité d'eau des goutteurs par vanne en fonction du temps : une rampe en fonctionnement.

Périodes	QGV1	QGV2	QGV7	QGV8
P1	97,83 <sup>a</sup>	100,99 <sup>a</sup>	99,91 <sup>a</sup>	94,94 <sup>a</sup>
P2	94,14 <sup>a</sup>	97,26 <sup>ab</sup>	97,05 <sup>b</sup>	92,25 <sup>a</sup>
P3	90,67 <sup>a</sup>	93,05 <sup>b</sup>	91,85 <sup>c</sup>	87,94 <sup>a</sup>
Probabilité	0,063	0,004	0,001	0,249
Significativité	NS	S	TS	NS

**NB** : P1 : Période 1 de collecte (5<sup>ème</sup> jour après installation) ; P2 : Période 2 de collecte (30<sup>ème</sup> jour après installation) ; P3 : Période 3 de collecte (60<sup>ème</sup> jour après installation) ; QGV1 : Quantité d'eau des goutteurs de la Vanne 1 ; QGV2 : Quantité d'eau des goutteurs de la Vanne 2 ; QGV7 : Quantité d'eau des goutteurs de la Vanne 7 ; QGV8 : Quantité d'eau des goutteurs de la Vanne 8 ; NS : Non Significative ; S : Significative ; TS : Très Significative. Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différents (Test de Student-Newman Keuls à P = 0,05).

Tableau IVIII : Variation de la quantité d'eau des goutteurs par vanne en fonction du temps : toutes les vannes en fonctionnement

Périodes	QGV1	QGV2	QGV7	QGV8
P1	38,65 <sup>a</sup>	49,35 <sup>a</sup>	50,63 <sup>a</sup>	46,95 <sup>a</sup>
P2	36,27 <sup>a</sup>	45,48 <sup>a</sup>	45,29 <sup>a</sup>	43,92 <sup>a</sup>
P3	32,93 <sup>a</sup>	41,75 <sup>a</sup>	40,55 <sup>a</sup>	39,58 <sup>a</sup>
Probabilité	0,932	0,411	0,689	0,771
Significativité	NS	NS	NS	NS

**NB** : P1 : Période 1 de collecte (5<sup>ème</sup> jour après installation) ; P2 : Période 2 de collecte (30<sup>ème</sup> jour après installation) ; P3 : Période 3 de collecte (60<sup>ème</sup> jour après installation) ; QGV1 : Quantité d'eau des goutteurs de la Vanne 1 ; QGV2 : Quantité d'eau des goutteurs de la Vanne 2 ; QGV7 : Quantité d'eau des goutteurs de la Vanne 7 ; QGV8 : Quantité d'eau des goutteurs

de la Vanne 8 ; NS : Non Significative. Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différents (Test de Student-Newman Keuls à  $P = 0,05$ ).

### 5.1.3 Fonctionnement de la pompe

Les figures 10 et 11 ci-dessous présentent l'évolution respective des heures de démarrages et d'arrêt de fonctionnement de la pompe sur une durée de 18 jours. De façon générale, la pompe démarrait automatiquement autour de 07 heures et s'arrêtait de fonctionner au environ de 17 heures. Notons que la courbe de démarrage de la pompe présente une allure décroissante sur les 18 jours. Elle montre que la pompe a démarré le 18<sup>ème</sup> jour à 7h05mn c'est-à-dire plus tôt que les jours précédemment enregistrés. Le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> jour, la pompe a démarré à la même heure (7h38mn) correspondant au jour où le démarrage a été le plus tardif. Cependant, la moyenne de démarrage est de 7h21mn.

Pour ce qui concerne les heures d'arrêt, la figure 11 nous indique que le 6<sup>ème</sup> jour, la pompe s'est arrêtée avant 17 heures et plus précisément à 16h46mn. Et les autres arrêts se sont effectués après 17 heures ce qui nous donne une moyenne d'arrêt à 17h22mn.

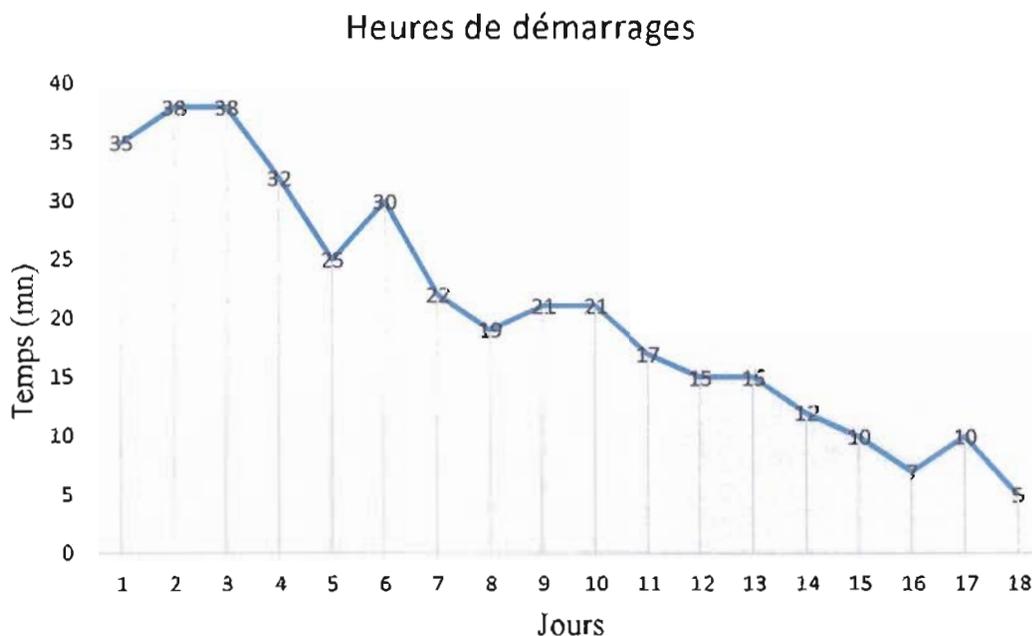


Figure 10 : Courbe d'évolution des heures de démarrages automatiques de la pompe

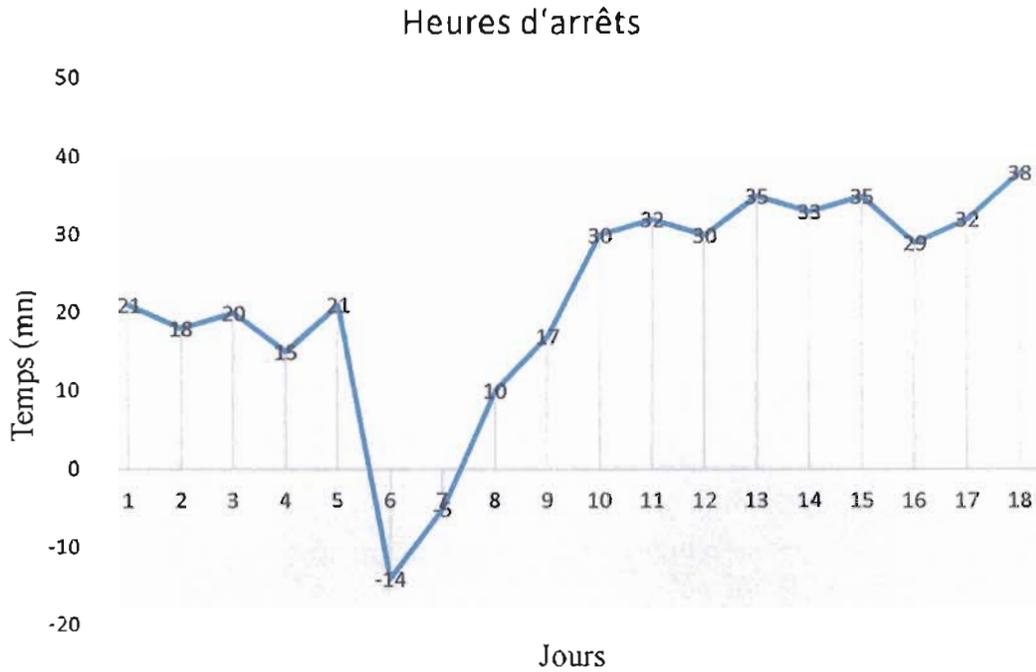


Figure 11 : Courbe d'arrêts automatiques de fonctionnement de la pompe.

Les résultats de fonctionnement journalier de la pompe PS-2 200 HR 07 que nous avons enregistré sont représentés par la figure 12. Le pic de débit ( $1,10 \text{ m}^3/\text{h}$ ) s'observe à partir de 12 heures et la plus faible valeur ( $0,13 \text{ m}^3/\text{h}$ ) s'observe après 17 heures. L'allure de la courbe s'explique par l'ensoleillement de ce jour. Malgré cette courbe de fonctionnement, la quantité d'eau remontée par la pompe dépassait les besoins journaliers de l'exploitation.

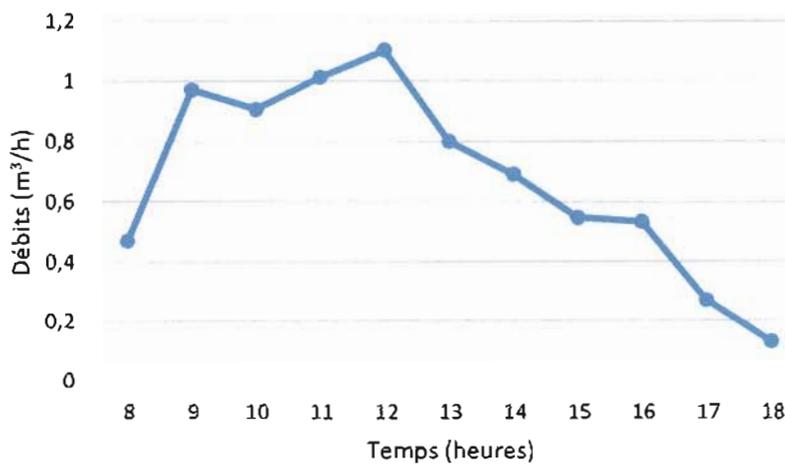


Figure 12 : Courbe de l'évolution du débit de la pompe sur une journée de pompage

#### 5.1.4 Variation du débit du château

La figure 13 ci-dessous renseigne sur l'état de l'évolution du débit horaire du château. La courbe présente une tendance baissière de façon générale bien qu'elle soit en trois phases. La première phase qui est baissière se caractérise par une forme légèrement en arc et dure 05 heures. Elle illustre la plus grande valeur du débit qui est de  $1,056\text{m}^3/\text{h}$ . Par contre, la deuxième partie de la courbe est haussière et ne dure qu'une heure de temps. Quant à la troisième et dernière phase de notre courbe, elle laisse apparaître une ligne baissière sur 03 heures de temps. Cette phase comporte la plus faible valeur du débit qui est de  $0,001\text{m}^3/\text{h}$ . Cependant, le débit moyen du château sur les 10 heures est de  $1,062\text{m}^3/\text{h}$ .

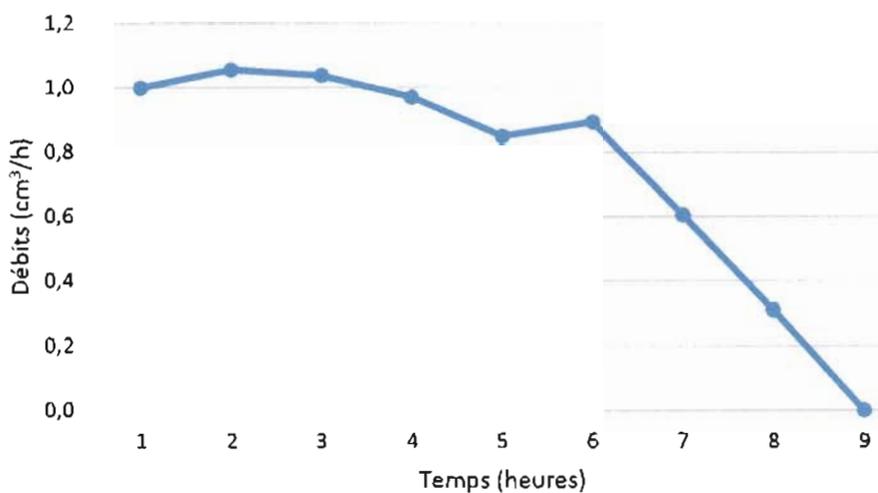


Figure 13 : Évolution du débit du château

#### 5.1.5 Efficacité agronomique du système d'irrigation goutte à goutte (production) et évaluation de l'utilité du paillage

Les analyses des variances et les séparations des moyennes par le test de Student Newman Keuls au seuil de 5 % effectuées par un Co-stagiaire travaillant sur le volet agronomique du système d'irrigation goutte à goutte ont montré que le taux d'enherbement était de  $629 \pm 8,47\text{g}$  de matières sèches. L'application du paillage permet de réduire l'enherbement tout en augmentant la croissance végétative et le rendement. Les rendements moyens ont été de  $14750 \pm 736\text{ kg/ha}$  de chou en parcelle avec paille contre  $8500 \pm 736\text{ kg/ha}$  en parcelle sans paille. L'oignon présentait un rendement de  $4187,5 \pm 162,41\text{ kg/ha}$  avec paillage contre  $1750 \pm 162,41\text{ kg/ha}$  sans paillage. Quant à la tomate il est ressorti que sur les parcelles avec paille le rendement a été de  $6875 \pm 547,5\text{ kg/ha}$  contre  $3975 \pm 547,5\text{ kg/ha}$  sur les parcelles sans paille.

## 5.2 Discussion

### 5.2.1 Evaluation de l'homogénéité de distribution de l'eau

L'évaluation de l'homogénéité de distribution de l'eau par les goutteurs des vanne a permis d'observer des variations significatives de la quantité d'eau recueillie le 30<sup>ème</sup> jour après installation du système d'irrigation goutte à goutte pour les collectes par rampe. Ces variations peuvent s'expliquer par une légère obstruction (colmatage) des goutteurs suite aux sarclages effectués. Ces sarclages sont aussi souvent à la base de déconnexion de certaines lignes de goutteur. En plus il y a les cas de fuite observés pendant cette période sur certaines rampes. Ces résultats vont de pair avec ceux du fabricant des goutteurs utilisés (NETAFIM, 2018) qui stipule que le pH de l'eau, les impuretés, la concentration d'engrais ou certaines caractéristiques techniques du système entraînent la création de dépôts. Ce qui peut entraîner un colmatage total ou partiel des goutteurs. Pour le groupe AZUD (2018), l'obstruction totale ou partielle des goutteurs affecte l'uniformité de l'application de l'eau et réduit l'efficacité du système. Des études menées en Israël dans la vallée du Jourdain sur les systèmes de goutte à goutte ont en effet révélé que deux facteurs favorisent le colmatage du système : il s'agit de l'absence de maintenance préventive et l'existence d'erreurs d'opérations.

Nous expliquons l'obtention de la plus petite quantité d'eau au niveau des goutteurs de la vanne 8, par la perte de charge due à la distance et à sa position latérale par rapport au château et surtout par l'effet de ramification du système de conduite. Ces résultats corroborent avec ceux trouvés par YAMEOGO (2007), qui lors de son étude pour l'évaluation des performances d'un kit d'irrigation a trouvé que les pertes de charges ont été causées notamment par le filtre à tamis, la vanne de commande, les coudes de ramification, les différents raccordements et en fin le porte rampe lui-même. Par contre, NADON *et al.* (2016) ont trouvé que la topographie et la longueur du champ ont un effet sur l'uniformité de distribution de l'eau. Ils ont alors conclu que plus le champ est pentu et long, plus il était propice à ce que le bas du champ reçoive une plus grande quantité d'eau avec une différence en temps d'irrigation pouvant atteindre les 30% pour une pente d'à peine 2%.

### 5.2.2 Variation de la quantité d'eau en fonction du temps

L'étude que nous avons menée révèle que la quantité d'eau recueillie par vanne ne varie pas sur les trois périodes d'évaluation (5<sup>ème</sup>, 30<sup>ème</sup> et 60<sup>ème</sup> jours) de suivi. Le système n'a donc pas présenté de grands déficits de fonctionnement conduisant à une maintenance préventive. Cependant, la baisse progressive de la quantité observée peut s'expliquer par des dépôts ou des

fuites constatées. A cela nous pouvons ajouter l'effet de l'évaporation de l'eau lors de certaines mesures suite à l'augmentation de la température, même si cela n'a pas été vérifié, elle peut constituer une source de variation vu que le temps de collecte est réduit (faible quantité d'eau par mesure). Pour le groupe AZUD (2018), l'obstruction totale ou partielle des goutteurs affecte l'uniformité de l'application de l'eau et réduit l'efficacité du système. En conséquence, le niveau de production diminue, avec une augmentation du temps de retour sur investissement et des coûts d'exploitation.

BATIEBO (2006) a trouvé aussi qu'un manque de maintenance d'un système d'irrigation goutte à goutte pouvait entraîner l'obstruction des goutteur. Selon elle, cette maintenance doit être réalisée par semaine afin de garder les goutteurs en bonne état pour plusieurs années.

### **5.2.3 Fonctionnement de la pompe**

L'analyse des données de la pompe installée révèle que le démarrage automatique se fait en moyenne à 7h21mn et l'arrêt à 17h22mn ce qui correspond à une durée de fonctionnement journalier approximative de 10h lorsqu'elle n'est pas volontairement arrêtée. Les variations de débit observées s'expliqueraient par la variation de la puissance de pompe. Elle est induite par une variation de l'intensité solaire sur les modules solaires due à une baisse ou une augmentation de l'ensoleillement suite à une présence ou une absence de nuages ou tout simplement suite à un dépôt de poussière sur les panneaux solaires. Ces résultats vont de pair avec ceux publiés par SAOUSSEN *et al.* (2008), qui trouvaient que lors de leur étude sur l'effet de l'orientation des panneaux solaires, le passage de quelques nuages avait perturbé tout au long de la journée le fonctionnement des panneaux solaires. La présence de nuages affecte le fonctionnement des panneaux solaires. Ils diminuent le rendement des panneaux. En effet, la quantité d'énergie produite par les panneaux solaires est en rapport direct avec l'ensoleillement du lieu et de leur exposition aux rayons du soleil. Plus le ciel est dégagé, plus les panneaux fonctionnent à pleine puissance et donnent un rendement maximal. Cependant, même si le ciel est nuageux et que la lumière projette de l'ombre sur le sol, les panneaux peuvent encore produire près de la moitié de leur rendement. Pour un ciel entièrement couvert de nuages, les panneaux seront peu productifs.

De plus MESROUK et ARAB (2014) avaient noté que l'inconvénient majeur qui subsiste pour les modules solaires était l'accumulation de poussière sur les plaques en verres constituant ces panneaux, affectant ainsi considérablement le rendement de ces derniers. Il en est de même pour NDIA YE (2013) qui stipule que les dépôts de poussière sur les modules solaires diminuent

fortement la puissance maximale de 77% et 18% respectivement pour le monocristallin et le poly cristallin. En effet, des études réalisées en Égypte par IBRAHIM et al, (2009) ont montré que cette diminution de puissance maximale due à la poussière pouvait atteindre 35% après seulement deux mois sans nettoyage des modules photovoltaïques.

#### **5.2.4 Variation du débit du château**

La variation du débit du château observée lors de l'essai s'explique par la diminution du niveau d'eau dans le château respectivement par la diminution de la hauteur de chute d'eau. Cette variation a entraîné la baisse de la quantité horaire d'eau enregistrée suite à une baisse de vitesse de sortie de l'eau. En effet, TORRICELLI (2011) a expliqué la variation de la vitesse des fluides par deux paramètres à savoir la hauteur du fluide ( $h$ ), et l'accélération de la pesanteur ( $g$ ) :  $v^2=2gh$ . Selon lui, plus la hauteur de liquide est importante, plus la vitesse d'éjection est élevée et inversement moins la hauteur est importante, moins la vitesse d'éjection est élevée.

## Conclusion et recommandations

La présente étude a eu pour objectif, la conception, l'installation et l'évaluation d'un système d'irrigation goutte à goutte pour la production de légumes. Cette étude a été initiée pour apporter une contribution à l'amélioration des conditions de vie et de subsistance des producteurs à travers la production de contre saison par irrigation goutte à goutte.

L'analyse des variances et la séparation des moyennes par le test de Student Newman Keuls au seuil de 5 % ont montré que la répartition de l'eau par vanne dans la parcelle a été plus homogène en fonction complète du système quant au fonctionnement partiel (fonctionnement d'une rampe à la fois). Le système d'irrigation au fil du temps a présenté une légère baisse de la quantité d'eau éjectée par les vannes bien que cette variation ne soit pas significative. Les données collectées à partir de la pompe montrent que son fonctionnement dépend plus de l'ensoleillement. Elle démarre aux environs de 7 heures et s'arrête autour 17 heures. Le débit du château est aussi fonction du niveau d'eau qu'elle contient.

Le système d'irrigation installé a été fonctionnel et a donc permis la production de légumes de contre saison sans aucun souci majeur de fonctionnalité, en dehors des fuites et des déconnexions des lignes de goutteurs observées. On peut donc conclure qu'il est possible de concevoir à l'échelle du ménage agricole un dispositif d'irrigation goutte à goutte autour d'un puits dans une zone où la profondeur de la nappe n'excède pas les 20 mètres de profondeur. Mais cela nécessite une bonne maîtrise de différents paramètres du système goutte à goutte. Ainsi, nous pouvons dire que l'irrigation bien maîtrisée est un moyen que nous pouvons utiliser pour lutter contre la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire. Cette maîtrise passe par une bonne gestion du système bien qu'elle ne soit pas simple. La gestion elle-même est conditionnée par la détermination des cultures en fonction de la période, par la détermination des quantités d'eau à apporter, par les périodes d'apport d'eau, par la superficie à arroser par jour, et ceci jusqu'à l'entretien du système et des cultures. Pour l'entretien il s'agit du nettoyage des filtres, de la réparation des fuites et de faire une purge du circuit.

Le système goutte à goutte étant déjà installé à la première année de notre étude, il serait important de poursuivre pour les années à venir avec l'évaluation :

Du coefficient d'uniformité des goutteurs,

Du temps réel entre deux arrosages en fonction de la culture,

De l'espace entre les lignes de goutteurs et les plants.

## Références Bibliographiques

**BATIEBO E.L., 2006.** Caractérisation et évaluation des performances de l'irrigation goutte à goutte sur les cultures agroforestières en région sahélienne du Burkina Faso : cas de la station de Katchari. Mémoire de DESS ; 42p.

**BRL exploitation, 2010.** Mémento Technique : Irrigation des espaces verts ; 33p.

**CALCET C., ARRUFAT A., MAZOLLIER C., 2016.** Maîtriser son irrigation en maraîchage biologique. Circuits courts bio en languedoc Roussiller-sud & Bio ; 12p.

**CLEMENT R., GALAND A., MEYLAN J., 1979.** Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression ; 48p.

**DRDA, 2008.** Manuel d'irrigation goutte à goutte dans la région de Zinder ; 20p.

**DUNGLAS J., 2014.** Les techniques d'irrigation. AAF - Agriculture-Alimentation-Environnement ; 16p

**EAE, 2008.** Equipement de recherche pour la Gestion de l'irrigation ; 11p. Consulté sur [www.eijkelkamp.com](http://www.eijkelkamp.com) le 28 Août 2017.

**FAO, 1990.** Gestion des ressources en irrigation ; manuel de formation n°5 : méthodes d'irrigation ; 65p.

**FAO, 2008.** Manuel des techniques d'irrigation sous pression. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome 2008 ; 279p.

**FAO, 2014.** Technique d'irrigation pour les agriculteurs à petite échelle : pratiques clés pour les praticiens de la RRC (Réduction des Risques de Catastrophe) ; 46p.

**FMI, 2012.** Burkina Faso: Strategy for accelerated growth and sustainable development 2011-2015; 69p.

**FONTES J & GUINKO S., 1995:** Carte de la végétation et de l'occupation du sol au Burkina Faso. Notice explicative. Ministère de la coopération Française, Toulouse : Projet campus (8813101) Université Paul Sabatier ; 67p.

**FOSSI S., OUEDRAOGO D., ZONGO B., TRAORE Y. M., DA SILVEIRA K. S., 2013.** Acceptation et vulgarisation de l'irrigation complémentaire dans la province du Bam/Burkina Faso ; 8p.

**IBRAHIM M., ZINBER B., EL-SHERIF H., HAMOUDA E., MAKRIDES G., GEORGHIOU G.E., SCHUBERT M., WERNER J.H., 2009.** "Advanced Photovoltaic Test Park in Egypt for Investigating the Performance of Different Module and Cell Technologies" Proceedings of the 24th Symposium Photovoltaic Solar Energy Staffelstien, Germany.

**JIAC, 2014.** Etude du schéma-directeur pour l'irrigation et l'agriculture durable dans la zone sud du Djibouti : Manuel technique pour la création de ferme irriguée. République de Djibouti ; 27p.

**KULKER N., 1988.** La maîtrise de l'irrigation sous pression : aspersion et goutte à goutte. Encyclopédie Agricole Pratique ; 96p.

**LAERE P. E. V., 2003.** Mémento de l'irrigation ; 13p.

**MAAF, 2014.** Les politiques agricoles à travers le monde : quelques exemples ; 6p.

**MADRPM/DERD, 2005.** Transfert de la technologie en Agriculture : la conduite et le pilotage de l'irrigation goutte à goutte en maraichage. MADRP N°124 juin 2005 Royaume du Maroc ; 6p.

**MAH, 2011.** Etude diagnostique et évaluative en vue de l'harmonisation et de l'optimisation des interventions dans le sous-secteur de l'agriculture irriguée au Burkina Faso. CILLS/MAH/DADI ; 78p.

**MEDA B. N., 2011.** Etude comparative des systèmes d'irrigation goutte à goutte et d'aspersion sur la production de *Moringa Oleifera* dans la commune de Dano ; 48p.

**MEE-GIFE, 2001.** Etat des lieux des ressources en eau au Burkina Faso et de leur cadre de gestion. MEE/SG-DGH/GIFE ; 241p.

**MERMOUD A., 2004 :** Cour de micro irrigation ; Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) Institut des Sciences et Technologiques de l'Environnement / Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements; 61p.

**MERLET M., PETIT O.,** « Agriculture : Accès aux ressources productives », Encyclopedia Universalis (en ligne) <http://www.universalis.fr/encyclopedie/agriculture-acces-aux-ressources-productives/> 12p. Article consulté le 2 juin 2018.

**MESROUK M., ARAB A.H.,** 2014. Effet de la poussière sur le rendement des modules photovoltaïques. Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables. Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables ; 6p.

**NADON S., BERGERON D., BOIVIN C., VALLEE J.,** 2016. Création et validation d'un Feuille technique sur la performance de système d'irrigation par aspersion et goutte à goutte en champ; 59p.

**NDIAYE A.,** 2013. Étude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïques - Impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance. Thèse de doctorat Spécialité: Energies Renouvelables et Systèmes Electriques ; 188p.

**Projet de Développement de l'Irrigation Privée,** 1995. Document cadre de développement de l'irrigation privée document de travail. Burkina Faso ; 43p.

**RAMOUSSE R., LE BERRE M., LE GUELTE L.,** 1996. Introduction aux statistiques. Document de synthèse. Conservation et développement durable (CDD).

**SAOUSSEN K., SEGUIN D., MOULAY A.A.I.,** 2008. Étude d'un système solaire thermique : Effet de l'orientation des panneaux solaires ; 15p.

**SIRIMA V.,** 2007. Analyse des contraintes d'utilisation des technologies de maîtrise de l'eau d'irrigation, promues par l'APIPAC. Rapport de stage pour l'obtention du DESS en Eau pour l'Agriculture et l'Approvisionnement des Communautés ; 49p.

**SMITH M., MUNOZ G., ALVAREZ J. S.,** 2014. Technique d'irrigation pour les agriculteurs à petite échelle : Pratiques clés pour les praticiens de la RRC/FAO, 2014. 46p

**SOME B. M.,** 2017. Effet de la litière de volaille et de résidus de production d'asticots sur la fertilité du sol et la production de maïs (*Zea mays L.*) dans l'ouest du Burkina Faso ; 45p.

**TORRICELLI E.,** 2011. Torricelli's theorem. Encyclopédie britannique en ligne ; Consulté le 05 juin 2018.

**WEDHAH B.,** 2015. Dimensionnement d'un réseau d'irrigation goutte à goutte. Document scribe, consulté le 19 juin 2018 ; 50p.

ZELLA L., SMADHI D., 2007. Evolution de l'irrigation ; 80p.

**Webographie :**

<http://www.azud.com/Fr/Groupe/index.aspx>. Consulté le 15 août 2018

<http://www.netafim.fr/irrigation-systems-products>. Consulté le 15 août 2018

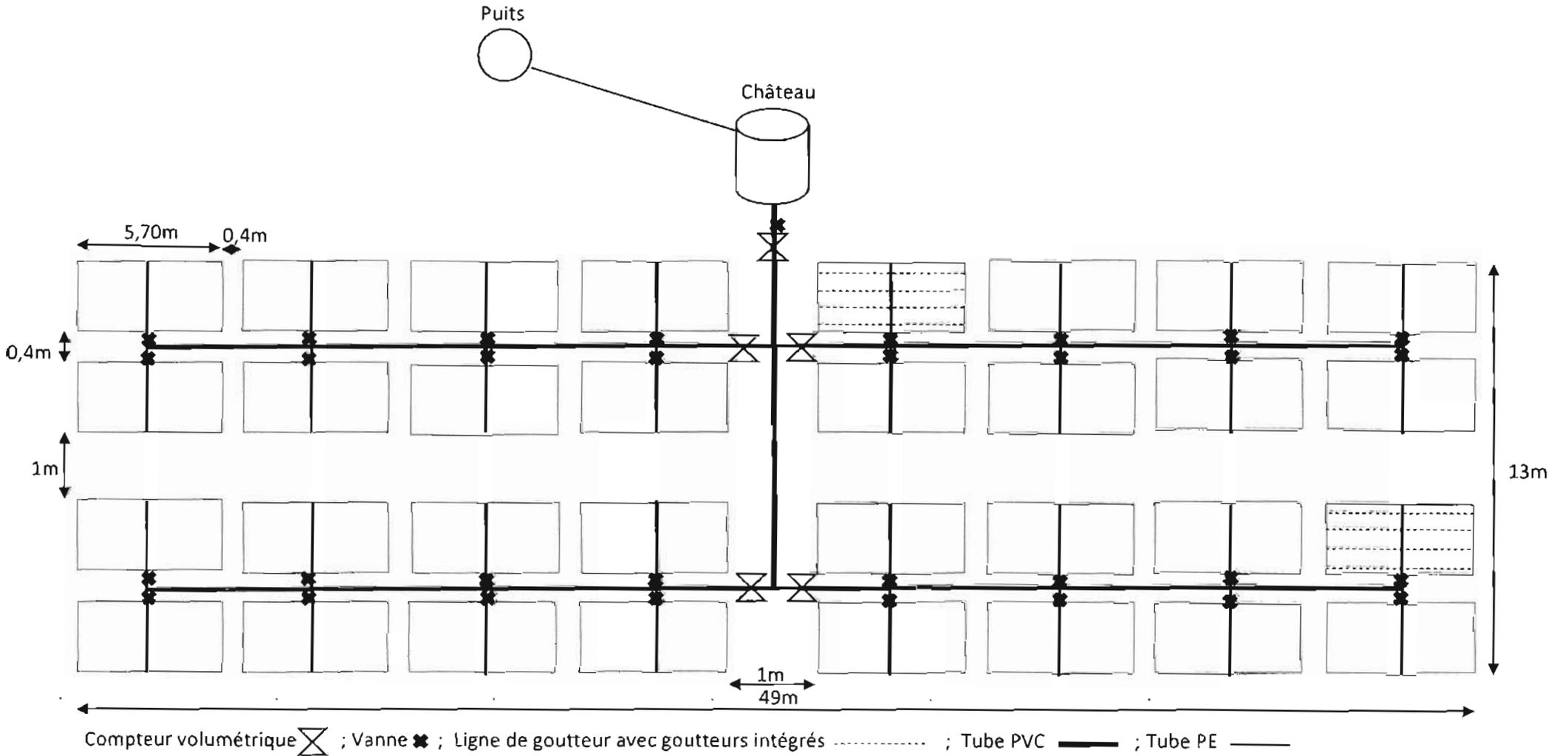
## ANNEXE

### Annexe 1 : Matériels techniques utilisés

Désignation	Quantité
Tube pvc 40mm	100 m
Tube polyéthylène 32mm	100 m
Filtre à tamis fileté	1
Micro drip 8mm	2304 m
Vannes	33
Outil de perçage pour PE	4
Raccord rapide femelle 8mm	512
Raccord rapide mâle 8mm	512
Bouchon rapide mâle 8mm	1
Poly tank 2000L	1
Fer à béton	-
Corde	9 m
Fer à cornet	-
Compteur volumétrique	5
Pompe et accessoires	1

# ANNEXES

Annexe 2 : Dispositif expérimentale



Annexe 3 : Tableau récapitulatif des accessoires de la pompe.

DESIGNATIONS	QUANTITES	UNITES
MATERIEL SOLAIRE		
Pompe solaire PS2-200 HR 07 Lorentz Allemande, moteur et extrémité de la pompe, boîtier contrôleur PS2	1	u
Sonde Pompe	1	u
Panneaux solaires 135wc poly cristallin JA Solar	2	u
Module de protection du contrôleur	1	u
ACCESSOIRES		
Câble soude immergeable plongée de pompe 4*4 mm <sup>2</sup>	10	m
Câble soude immergeable plongée sonde 2,5mm <sup>2</sup>	10	m
Confection support métallique panneaux galva et cornière	2	u
Confection support de fixation tête de forage ou pompe	1	u
Tube PV flexible diamètre 40 cm	15	m
Embouts de fixation n°40	2	u
Colle résine pot	1	u
Corde de sécurité de la pompe	35	m

Annexe 4 : caractéristique et performance de la pompe PS2-200 HR 07

Hauteur manométrique (m)	0-30
Débit max (m <sup>3</sup> /h)	1,2
Rendement max (%)	61
Générateur solaire (Wp)	80-300
Fonctionnement solaire direct	Tension nominale 24-48VDC Tension en circuit ouvert max 100VDC
Fonctionnement sur Tension nominale batteries	Tension nominale 24-48VDC

Annexe 5 : Tableau récapitulatif de l'évaluation de débits

Date	Temps initial (t <sub>1</sub> )	Temps final (t <sub>2</sub> )	Index initial du compteur (I <sub>1</sub> )	Index final du compteur (I <sub>2</sub> )	Différence d'index (I <sub>2</sub> -I <sub>1</sub> )	Différence de temps (t <sub>1</sub> -t <sub>2</sub> )