



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
البشير الإبراهيمي برج بوعريش

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé

**Analyse des performances d'irrigation par la technique de
goutte à goutte**

**Présenté par : BELAKHDAR Dahmane
GHODBANE Chawki**

Soutenu le : 13 Octobre 2019 ;

Devant le jury :

Président : M^m SAID Lamria

Encadrant : M^r NAOURI Mohamed

Examineur : M^r OULD KIAR Redha

Année universitaire : 2018/2019

« Analyse des performances d'irrigation par la technique de goutte à goutte »

Résumé

La raréfaction des ressources en eau et le souci de les valoriser au mieux a poussé les agriculteurs à mener une gestion plus rationnelle de l'eau en utilisant des techniques d'irrigation économes en eau. La région du Loued Lakhdar a connu l'introduction de la technique d'irrigation localisée dès ces dernières années, accompagné des pratiques de différentes cultures maraichères. Le présent travail s'est fixé pour objectif l'analyse des performances d'irrigation par la technique de goutte à goutte. Ce travail consiste à évaluer les performances des installations d'irrigation localisée. Pour atteindre les objectifs de ce travail, une enquête a été menée sur un échantillon de 16 exploitations cette enquête a permis de dégager 2 classes d'exploitations qui utilisent ce système d'irrigation, la première contient trois sous classes. Nos résultats montrent que ce système d'irrigation présente un bon niveau de performance vue le potentiel hydrique important, la nouveauté des équipements d'irrigation utilisés.

Mots clé : irrigation localisée, performance de l'irrigation, coefficient d'uniformité d'irrigation, économie de l'eau.

"تحليل" دام تقنيہ ير "

دفعت الندرة المتزايدة لموارد المياه والرغبة في الاستفادة منها على أفضل وجه المزارعين إلى إدارة أكثر عقلانية للمياه باستخدام تقنيات الري الموفرة للمياه. حيث شهدت منطقة في السنوات الأخيرة تقنية الري الموضعي، مصحوبة الهدف من هذا العمل هو تحليل أداء الري باستخدام تقنية الري بالتقطير. هذا العمل لتحقيق أهداف هذا العمل، تم إجراء تحقيق ميداني على مستوى 16 مزرعة، وقد أتاح لنا هذا التحقيق تحديد صنفين بالتقطير، يحتوي الأول على ثلاثة أصناف فرعية. تظهر نتائجنا أن نظام الري هذا يتمتع بمستوى جيد من الأداء إلى الإمكانيات المائية الكبيرة، وحدثة معدات الري الـ .

المياه :

« Analysis of irrigation performance using the drip technique »

Summary

The growing scarcity of water resources and the desire to make the best use of them has prompted farmers to conduct more rational water management by using water-saving irrigation techniques. The Loued Lakhdar region has seen the introduction of the localized irrigation technique in recent years, accompanied by the practices of different vegetable crops. The objective of this work is to analyze the performance of irrigation using the drip technique. This work consists of evaluating the performance of localized irrigation installations. To achieve the objectives of this work, a survey was carried out on a sample of 16 farms. This survey allowed us to identify 2 classes of farms that use this irrigation system, the first contains three subclasses. Our results show that this irrigation system has a good level of performance given the significant water potential and the novelty of the irrigation equipment used.

Keywords: localized irrigation, irrigation performance, irrigation uniformity coefficient, water saving.

REMERCIEMENTS

A l'issue de cette fin de travail nous adressons nos remerciements premièrement à dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études.

Que celui ne remercie pas les gens ne remercie donc pas le bon dieu.

Au terme de ce travail, on tient à remercier cordialement :

Monsieur NAOURI Mohamed qui a dirigé ce travail.

Tous les agriculteurs des exploitations qui ont accepté de travailler et de nous accueillir dans leurs propriétés.

Tous les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail qui sont :

Mme SAID Lamria, présidente du jury.

Mr OULD KIAR Redha, examinateur.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

- Ames parents,
- Mes frères Krimou et Walid,
- Ma sœur,
- Ma femme pour sa patience et pour son aide,
- Mes enfants Sohaib et Maria pour ces sourires,
- Mes merveilleux amis Kader, Nabil, Samir, Youcef, Hocine et Mouloud.

DAHMANE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

- A mes très chers parents pour les sacrifices qu'ils ont fait, leurs amours, leurs encouragements et leurs confiances en moi.
- A mes beaux-frères.
- A mes amis Khaled, Amine, Kadour, Anouar, Mohamed et Haitham.
- A tous mes oncles et mes tantes et ses enfants, chacun avec son nom.

CHAWKI

Table des matières

	Page
Introduction	1
Partie bibliographique	3
Chapitre 1 : Systèmes d'irrigations	3
1. Différents systèmes d'irrigation	3
1.1. Irrigation de surface.....	3
1.1.1. Irrigation par bassins.....	3
1.1.2. Irrigation par sillons / à la raie.....	4
1.1.3 Irrigation par planches.....	5
1.2. Irrigation par aspersion.....	5
1.3. Irrigation localisé (goutte à goutte).....	6
1.4. Exploitation des réseaux d'irrigation.....	6
Chapitre 2 : Concepts de performance des systèmes d'irrigation	7
1. Performance hydraulique.....	7
1.1. Efficacité des réseaux d'adduction et de distribution.....	7
1.2. Efficacité d'irrigation à la parcelle.....	8
1.2.1. Efficacité d'application.....	8
1.2.2. Efficacité de stockage.....	9
1.2.3. Efficacité du transport.....	9
1.2.4. Efficacité de la distribution.....	9
1.2.5. Efficacité d'uniformité.....	10
2. Performances énergétiques.....	13
2.1. Energie pour la mobilisation de la ressource.....	13
2.2. Energie pour le matériel à la parcelle.....	14
3. Performance agronomique.....	14
3.1. Rendement (t/ha).....	14
3.2. Productivité de l'eau et efficacité d'utilisation de l'eau	15
4. Performance économique.....	16
4.1. Productivité.....	16
4.2. Notion d'efficacité.....	18
4.2.1. Efficacité technique.....	18
4.2.2. Efficacité allocative.....	19
4.2.3. Efficacité économique.....	19
Chapitre 3 : Situation de l'agriculture de la zone d'El Hamadia	20
1. Infrastructure hydraulique et gestion de l'eau.....	20
2. Occupation du sol.....	20
Partie expérimentale	21
Chapitre 1 : Matériel et méthodes	21
1. Présentation de la région d'étude.....	21
2. Protocole expérimental et mesure.....	22
2.1. Calcul de la réserve facilement utilisable	22
2.2. Matériel utilisé.....	23
2.3. Mesure et résultats du coefficient d'uniformité pour le système d'irrigation goutte à goutte..	26
Chapitre 2 : Résultats et discussion	26
1. Enquête de structure et typologie des exploitations.....	26
1.1 Regroupement des exploitations selon des différents paramètres et interprétation.....	26
2. Typologie des exploitations.....	31
3. Mesure et résultats du coefficient d'uniformité d'irrigation pour le système d'irrigation goutte à goutte dans les différentes exploitations.....	35
Chapitre 3 : Discussion	45
Conclusion	47

Liste des abréviations

CU : Coefficient d'uniformité

Cult. : Culture

da : Densité apparente

DSA : Direction des services agricoles

EAC : Exploitation agricole collectif

EAI : Exploitation agricole individuel

éch : Echantillon

GPI : Grand périmètre d'irrigation

ha : Hectare

Hcc : Humidité à la capacité au champ

Hpf : Humidité au point de flétrissement

ITGC : Institut technique des grandes cultures

ITMAS : Institut de technologie moyen agricole spécialisé

L : Longueur

Mech : Masse d'échantillon

Ms : Matière sèche

Nbr : Nombre

OPI : Office des périmètres irrigués

PMH : Petite et moyenne hydraulique

PRCHAT : Programme de renforcement des capacités humaines et de l'assistance technique

r : Rayon

RFU : Réserve facilement utilisable

RU : Réserve utile

SAT : Superficie agricole utile

SAU : superficie agricole utile

Vech : Volume d'échantillon

Liste des tableaux

Tableau 01 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle N°1)

Tableau 02 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle N°1)

Tableau 03 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle N°2)

Tableau 04 : Débits moyens des goutteurs (l/h) Tableau (parcelle N°2)

Tableau 05 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle N°3)

Tableau 06 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle N°3)

Tableau 07 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle N°4)

Tableau 08 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle N°4)

Tableau 09 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle N°5)

Tableau 10 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle N°5)

Tableau 11 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle N°6)

Tableau 12 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle N°6)

Liste des figures

Figure 1 : Irrigation par bassins

Figure 2 : Irrigation par sillons

Figure 3 : Alimentation des planches par siphons

Figure 4 : Irrigation par aspersion

Figure 5 : Irrigation à la goutte à goutte

Figure 6 : Circuit de distribution de l'eau agricole

Figure 7 : Processus impliqués dans la détermination de l'efficience d'utilisation de l'eau par la plante

Figure 8 : Prélèvement d'échantillon

Figure 9 : Représentation graphique d l'âge des agriculteurs

Figure 10 : Regroupement des exploitations selon le type de statut

Figure 11 : Représentation graphique montrant la relation entre la SAT et la SAU

Figure 12 : Représentation graphique des superficies irriguées

Figure 13 : Interaction entre la SAU et la sup irrigué

Figure 14 : Présentation graphique qui montre la superficie destinée à la céréaliculture par rapport la culture maraichère

Figure 15 : Technique d'irrigation pratiquée par exploitation

Figure 16 : Présentation graphique des ressources hydrique et ses profondeurs

Figure 17 : Représentation graphique des ressources hydriques

Figure 18 : Représentation graphique des profondeurs des forages

Figure 19 : Protocole expérimental (parcelle n°1)

Figure 20 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs (parcelle n°1)

Figure 21 : Variation des débits dans la parcelle en l/h (parcelle n°1)

Figure 22 : Protocole expérimental (parcelle n°2)

Figure 23 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs (parcelle n°2)

Figure 24 : Variation des débits dans la parcelle en l/h (parcelle n°2)

Figure 25 : Protocole expérimental (parcelle n° 03)

Figure 26 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs (parcelle n° 03)

Figure 27 : Variation des débits dans la parcelle en l/h (parcelle n° 03)

Figure 28 : Protocole expérimental (parcelle n°4)

Figure 29 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs (parcelle n°4)

Figure 30 : Variation des débits dans la parcelle en l/h (parcelle n°4)

Figure 31 : Protocole expérimental (parcelle n°5)

Figure 32 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs (parcelle n°5)

Figure 33 : Variation des débits dans la parcelle en l/h (parcelle n°5)

Figure 34 : Protocole expérimental (parcelle n°6)

Figure 35 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs (parcelle n°6)

Figure 36 : Variation des débits dans la parcelle en l/h (parcelle n°6)

Introduction

Introduction

La plupart des pays à climat aride et semi-aride sont en situation de stress hydrique important en raison d'une forte demande en eau agricole d'une part et de la rareté des ressources en eau disponibles d'autre part. Ces pays sont confrontés, et seront encore plus dans les années à venir, à l'enjeu majeur d'améliorer la gestion de leurs ressources en eau. Face à la nécessité de préserver les ressources en eau et le besoin d'augmenter la production agricole en raison d'une population toujours en croissance, il devient impératif de se focaliser sur l'efficacité d'utilisation de l'eau en agriculture irriguée (Bhouriet al., 2015).

Dans notre pays, la superficie irriguée actuellement est de l'ordre de 712.000 ha dont 200.000 ha dans les régions sahariennes et ce, sur une superficie agricole utile de 8.265.259 ha soit près de 8.6% de la surface agricole utile (SAU). Les 520.000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 6,3% de la SAU) se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion : Les grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par les offices régionaux ou de wilaya (OPI) et les irrigations de petite et moyenne hydraulique (PMH) gérées directement par les agriculteurs. Ces superficies sont classées en deux grandes catégories, le GPI et le PMH (Bhouriet al., 2015).

L'eau constitue à la fois un élément essentiel et un facteur stratégique à l'aménagement du territoire ; sa disponibilité conditionne de manière déterminante la répartition des populations, de l'urbanisation et des activités économiques. L'accroissement rapide de la démographie ainsi que l'amélioration du niveau de vie des populations engendre un développement économique et social et nécessitent proportionnellement un accroissement des besoins en eau. Toutefois, la sécheresse des années successives accompagnant la rareté et l'irrégularité des apports annuels aussi bien en eaux superficielles qu'en eaux souterraines retardent le développement et posent un sérieux problème de gestion de ces ressources. Cela se traduit clairement en Algérie où le développement économique est basé essentiellement sur l'agriculture nécessitant une mobilisation importante des ressources en eau, qui coïncide en revanche avec l'effet de sécheresse persistante depuis le début des années 1980 (Boulahia, 2016).

La situation de l'agriculture algérienne est très difficile ; la production agricole n'a que peu augmenté et son poids sur l'économie a diminué considérablement. Les ressources en eau sont relativement limitées et se réduisent progressivement, une portion importante de la superficie irrigable n'est pas actuellement suffisamment approvisionnée en eau pour permettre

des cultures riches ou délicates ; c'est ainsi qu'on ne pratique qu'une culture de légumes par an sur la même terre qui devrait parfois en porter plusieurs (Boulahia, 2016).

Dans un pays où l'eau est rare et trop souvent de qualité médiocre, très peu fut fait depuis l'indépendance en matière d'irrigation, il faut remarquer la faiblesse des superficies irriguées par rapport à une superficie agricole utile de 8.265.259 ha soit près de 8,6%.

La superficie agricole totale (SAT) de la wilaya de Bordj Bou Arreridj est de 245 754 ha dont 186 600 ha est une superficie agricole utile (SAU), la superficie irriguée a connu un peu d'évolution de l'année 1992 jusqu'à l'année 2017 qui étaient 4750 ha et 8092 ha respectivement avec un taux d'évolution de 58 % (Boulahia, 2016).

Face à l'augmentation prévisible de la superficie des terres irriguées dans cette région, le problème de la disponibilité en eau d'irrigation devient de plus en plus crucial. Le problème se pose sous les deux aspects, quantitatifs et qualitatifs, souvent interdépendants en zones arides et semi-arides. Quelles sont les ressources en eau dont on peut disposer à l'agriculture ? Quelles sont les potentialités des ressources en eau et quelle sont leur répartitions spatiales ? Quelles sont les problèmes relatifs à la qualité et la quantité de ces ressources ? Comment peut-on améliorer l'efficacité des systèmes d'irrigation ?

Partie

Bibliographique

CHAPITRE 1 : SYSTEMES D'IRRIGATION

La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures. Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures. Chaque méthode présente en même temps des avantages et des inconvénients, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales.

La méthode d'irrigation la plus élémentaire consiste à transporter l'eau à partir de la source d'alimentation jusqu'à notre culture avec un minimum possible des pertes d'eau.

1. Différents systèmes d'irrigation

1.1. Irrigation de surface

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, 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) (Booher, 1974).

1.1.1 Irrigation par bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers ; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (12 à 24 heures) (Booher, 1974).



Figure 1 : Irrigation par bassins (Booher, 1974).

1.1.2. Irrigation par sillons / à la raie

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltré dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons. Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée. Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée (Booher, 1974).



Figure 2 : Irrigation par sillons (Booher, 1974).

1.1.3. Irrigation par planches

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calant ou planches d'arrosage. L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons: soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci (Booher, 1974).



Figure 3 : Alimentation des planches par siphons (Booher, 1974).

1.2. 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 (Kay, 1983).



Figure 4 : Irrigation par aspersion (Kay, 1983).

1.3. Irrigation localisée (goutte à goutte)

L'irrigation à la goutte à goutte 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. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau. L'irrigation à la goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation (Vermeiren et Jobling, 1980).



Figure 5 : Irrigation à la goutte à goutte (Vermeiren et Jobling, 1980).

1.4. Exploitation des réseaux d'irrigation

Quelle que soit la technique d'irrigation utilisée, le but final est d'avoir une récolte de qualité supérieure et une productivité élevée. Pour cela la bonne conception du réseau, sa bonne exécution et la pratique judicieuse des irrigations sont de première importance. Les travaux d'entretien qui ont pour objet de garder l'infrastructure du réseau et les ouvrages en bon état de fonctionnement sont souvent négligés. Ce fait a toujours amené la baisse du rendement (efficacité) de distribution d'eau et a conduit à la réduction du profit qu'on peut tirer des techniques d'irrigation. Les canaux, les ouvrages et les réseaux de distribution doivent faire l'objet d'un contrôle régulier. La réparation immédiate des ouvrages endommagés et le remplacement des équipements défectueux doivent être les premiers résultats de ce contrôle régulier. Les travaux d'entretien des réseaux d'irrigation par aspersion et à la goutte à goutte sont généralement décrits dans les manuels fournis par les fabricants de ce genre d'équipement (Brouwer, 1990).

CHAPITRE 2 : CONCEPTS DE PERFORMANCE DES SYSTEMES D'IRRIGATION

L'utilisation de l'eau d'irrigation pour la production agricole suit une chaîne séquentielle d'étapes interdépendantes (Hsiao et al., 2007). En effet, l'eau d'irrigation est d'abord prélevée à partir d'une source (forage, barrage, ..., etc.) puis transportée, à travers un réseau de conduites ou de canaux, jusqu'aux exploitations agricoles. Lorsque l'eau arrive en tête des exploitations agricoles, elle est stockée puis distribuée aux parcelles pour l'irrigation des plantes par l'intermédiaire d'un réseau de conduites ou de canaux. Ensuite, une partie seulement de l'eau stockée dans la zone racinaire est consommée par la plante sous forme de transpiration tandis que l'autre partie est "perdue" par évaporation à partir du sol (Howell, 2003).

Enfin, l'eau consommée (transpirée) par la plante permet la production de biomasse grâce à l'ouverture des stomates et l'assimilation du dioxyde de carbone. Des pertes d'eau peuvent se produire aussi bien au niveau du réseau de distribution qu'au niveau de la parcelle. A l'échelle de la parcelle, des pertes d'eau peuvent se produire au niveau du système d'irrigation ainsi que lors de l'application de l'eau à la culture. Ces pertes induisent qu'une partie seulement de l'eau disponible en tête de l'exploitation agricole est fournie aux plantes (Hsiao, 2005).

Dans le secteur agricole, plusieurs approches ont été proposées pour l'analyse et l'évaluation de la performance des systèmes d'irrigation. Ces approches traitent, séparément ou à la fois, des aspects hydraulique, agronomique, économique, environnemental, social et organisationnel (Clemmens et al., 2000). Nous allons analyser individuellement les aspects hydrauliques, agronomiques et économiques de la performance.

1. Performance hydraulique

1.1. Efficience des réseaux d'adduction et distribution

L'efficience des réseaux d'adduction et de distribution permet d'estimer le rendement hydraulique de ces réseaux (Hamdy, 2005). En fait, il se produit généralement des pertes au niveau des réseaux d'adduction et de distribution de l'eau (Soutter et al., 2007), ce qui signifie que l'eau fournie aux exploitations est généralement inférieure à l'eau prélevée à partir de la source. Les pertes d'eau dépendent de l'état des canaux ou des conduites qui permettent le transport de l'eau à partir de la source d'eau jusqu'aux exploitations agricoles.

Les pertes d'eau dans le réseau proviennent généralement de l'évaporation de l'eau à partir des canaux et des fuites dans les conduites (Bos et Nugteren, 1990).

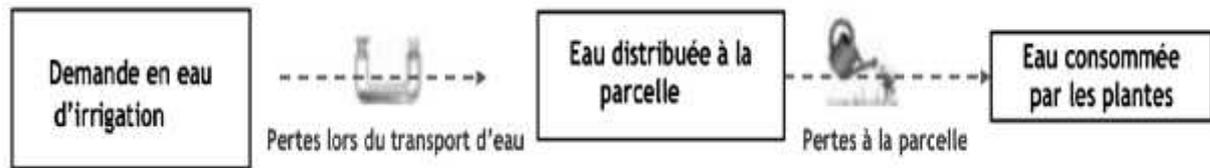


Figure 6 : Circuit de distribution de l'eau agricole (Blinda, 2009).

L'efficacité des réseaux de transport de l'eau a été définie pour la première fois par Israelsen (1932). D'après Hamdy (2005), les efficacités du réseau d'adduction (E_a) et du réseau de distribution (E_d) sont généralement définies comme suit :

$$E_a = V_a / V_s \quad (1)$$

$$E_d = V_f / V_a \quad (2)$$

Avec :

V_a : volume d'eau mesuré à la sortie du réseau d'adduction

V_s : volume prélevé à partir de la source.

V_f : volume mesuré en tête des exploitations agricoles (Bhourikhila et al., 2015).

1.2. Efficacité d'irrigation à la parcelle

L'efficacité d'irrigation à l'échelle de la parcelle exprime le degré de pertes d'eau pouvant se produire dans le système d'irrigation installé à la parcelle ainsi que lors de l'application de l'eau à la culture. En fait, des pertes d'eau peuvent se produire à cause de l'évaporation de l'eau à partir des rigoles d'irrigation (pour l'irrigation de surface), des fuites dans les conduites (pour les systèmes d'irrigation sous pression) ainsi que des pertes par ruissellement ou par percolation profonde lors de l'irrigation de la culture.

1.2.1. Efficacité d'application

L'efficacité d'application permet d'évaluer la technique avec laquelle l'eau est appliquée à la culture dans l'objectif de la stocker dans la zone racinaire et satisfaire ainsi les besoins en eau de la culture (Irmak et al., 2011). Elle dépend du système d'irrigation utilisé ainsi que du degré de connaissances de l'agriculteur concernant les caractéristiques du sol

(Howell, 2003). L'efficacité d'application relie le volume d'eau stocké dans la zone racinaire à celui appliqué lors de l'arrosage. Elle est définie généralement comme suit (Howell, 2003) :

$$E_a = V_s / V_a \quad (3)$$

Avec :

E_a efficacité d'application

V_s volume d'eau stocké dans la zone racinaire

V_a volume d'eau appliqué lors de l'arrosage

1.2.2. Efficacité de stockage

L'efficacité de stockage dépend du pourcentage d'eau stockée dans la zone racinaire par rapport à la capacité de stockage maximale du sol (Irmak et al., 2011). Elle est souvent utilisée pour évaluer la performance des techniques d'irrigation de surface (Howell, 2003). Elle est, généralement, définie comme suit (Irmak et al., 2011) :

$$E_s = V_s / V_{rz} \quad (4)$$

Avec :

V_s : volume stocké dans la zone racinaire

V_{rz} : volume maximal de stockage dans la zone racinaire

1.2.3. Efficacité du transport

C'est le volume d'eau disponible au niveau de la parcelle par rapport au volume d'eau prélevé dans la ressource. Ce terme peut être très important pour les réseaux collectifs : on en a une première approche par le rendement primaire, qui est le rapport entre la somme des volumes relevés sur les compteurs individuels et le volume mesuré à la station de pompage. Ce rapport intègre non seulement les pertes réelles, mais aussi la qualité du suivi et de la gestion du réseau. On peut évaluer les pertes réelles par des tests spécifiques (test réseau fermé). Ces pertes réelles doivent être examinées en tenant compte de la longueur du réseau et de sa durée de fonctionnement (Jacques, 2013).

1.2.4. Efficacité de la distribution

C'est le volume d'eau fourni par le matériel d'irrigation (canon, asperseur, goutteur) par rapport au volume d'eau disponible à l'entrée de la parcelle. Les fuites dans le réseau de distribution à la parcelle sont responsables d'une plus ou moins bonne efficacité de la

distribution. Ces fuites sont souvent accidentelles, et dépendent de l'état de vétusté et de l'entretien du matériel, mais elles peuvent concerner de gros volumes si le délai d'intervention avant réparation est long : par exemple, en couverture intégrale où le linéaire de conduites est important, les fuites de faible débit peuvent être nombreuses et difficiles à déceler (Jacques, 2013).

1.2.5. Efficience d'uniformité

L'efficience d'application ne permet pas d'évaluer l'uniformité de l'irrigation, l'efficience d'uniformité décrit l'homogénéité spatiale de la dose d'irrigation par rapport à la surface irriguée. Cette homogénéité dépend de nombreux facteurs liés à la technique d'irrigation, la topographie, la perméabilité du sol, et les caractéristiques hydraulique (pression, débit, ..., etc) du système d'irrigation (Howell, 2003). La définition utilisée par Christiansen (1942) pour évaluer l'uniformité de l'irrigation par aspersion demeure la plus utilisée dans l'évaluation de l'uniformité d'irrigation :

$$CU(\%) = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |h_i - h_m|}{nh_m} \right)$$

Avec :

h_i : hauteur d'eau apportée par irrigation mesurée en un point i de la surface irriguée (mm).

h_m : la hauteur d'eau moyenne appliquée à la parcelle irriguée (mm).

n : le nombre de points de mesure.

1.2.5.1. Calcul du coefficient d'uniformité

Des collecteurs sont disposés longitudinalement et des autres sont disposés transversalement. Le coefficient d'uniformité longitudinale est noté ($Cu1$). Le coefficient d'uniformité transversal est noté ($Cu2$).

Le coefficient d'uniformité se calcule par la formule de Christiansen (1942) :

$$C_u = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (|V_i - V_m| / S_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{V_i}{S_i}} \right]$$

Avec :

Cu : Coefficient d'uniformité (%)

Vi : Volume d'eau récolté dans le récipient i (cm³)

Vm : Volume moyen de l'eau dans les n récipients (cm³)

Si : Section supérieure du récipient i (cm²)

1.3. Efficience d'utilisation de l'eau par la culture

L'efficience de l'utilisation de l'eau par la culture permet d'évaluer l'efficacité du processus suivant lequel l'eau est consommée par la plante pour produire la biomasse (Doorenbos et Pruitt, 1997).

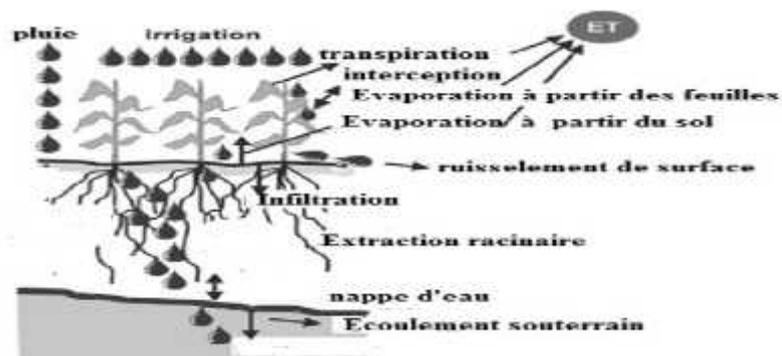


Figure 7 : Processus impliqués dans la détermination de l'efficience d'utilisation de l'eau par la plante (Doorenbos et Pruitt, 1997).

Depuis l'étude de Viets (1962), différentes définitions de l'efficience d'utilisation de l'eau par la culture ont été proposées et discutées (Ritchie, 1983). En général, celle-ci est définie soit par approche éco-physiologique soit par approche agronomique.

La démarche éco physiologique est fondée sur l'analyse de la relation entre la photosynthèse et la transpiration de la culture par l'intermédiaire de ses feuilles (Chen et Coughenour, 2004). En fait, via la photosynthèse, la plante absorbe le CO₂ par l'intermédiaire de ses stomates et rejette de l'eau sous forme de vapeur.

L'efficience de l'utilisation de l'eau par la culture dépend des caractéristiques physiologiques de la plante à savoir sa conductance stomatique (Ashraf et Bashir, 2003) et sa capacité photosynthétique (Condon et al., 2002). En effet, la transpiration de la plante dépend de la conductivité des stomates et de la densité stomatique variable entre 300 et 800 stomates/mm² en fonction des espèces (Woodward, 1993). En fait, la démarche éco-physiologique permet de décrire les processus qui déterminent l'efficience de l'eau (Hsiao,

1993) ainsi que d'évaluer les capacités de photosynthèse et de transpiration foliaires chez les espèces cultivées dans des conditions hydriques contrastées (Katerji et Bethenod., 1997). Toutefois, il n'est pas possible d'appréhender directement le rendement agronomique à partir de la photosynthèse foliaire, car d'autres facteurs entrent en jeu tels que la croissance foliaire, le transfert des assimilés et la mise en place des organes reproducteurs (Steduto et al., 1997).

De point de vue agronomique, on s'accorde généralement pour admettre que l'efficacité d'utilisation de l'eau par la culture est définie comme étant le rapport entre le rendement (grains, biomasse totale, ..., etc.) et la quantité d'eau consommée par la culture pour aboutir à cette production, généralement l'eau utilisée est assimilée à l'évapotranspiration de la culture cumulée lors de son cycle de développement (Steduto et Hsiao, 2005). Ainsi, l'efficacité d'utilisation de l'eau par la culture (WUEc) est définie généralement comme suit :

$$WUEc = Y / ETC$$

Avec :

ETc : évapotranspiration de la culture

Y : Rendement de la culture (Bhourikhila et al., 2015).

L'analyse de WUEc permet d'étudier les effets des conditions environnementales et des pratiques culturales sur la productivité de la plante, d'autres définitions ont été proposées afin de prendre en compte l'influence du régime hydrique appliqué sur la productivité de la culture. Ainsi, il est possible de définir l'efficacité de l'utilisation de la pluie WUEp (Latiri, 2000) et l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation WUEir (Katerji et al., 2010) en conditions pluviales et irriguées respectivement. En outre, en conditions irriguées, l'efficacité de l'utilisation de l'eau WUEir peut être calculée par rapport au volume d'eau total apporté à la plante pendant son cycle cultural en tenant compte de la pluie (Perreira, 2005) :

$$WUE_p = Y_p / P \quad (8)$$

$$WUE_{ir} = Y_i / V_i \quad (9)$$

$$WUE_{ip} = Y_i / (V_i + P) \quad (10)$$

Avec :

P : volume cumulé d'eau précipitée durant le cycle de culture

V_i = le volume d'irrigation total appliqué pendant sur la saison de culture

Par ailleurs, il est possible d'évaluer une stratégie d'irrigation donnée par rapport à la conduite de la culture en pluvial en se basant sur la définition suivante (Rinaldi et Ubaldo, 2007) :

$$dWUE_{ir} = (Y_i - Y_p) / V_i \quad (11)$$

2. Performances énergétiques

Pour irriguer de nouvelles surfaces agricoles, il a fallu souvent aller chercher l'eau plus loin, et quelquefois plus profond : en premier lieu, c'est donc bien le pompage et le transport de l'eau qui sont responsables des fortes consommations d'énergie pour l'irrigation. Mais le développement de l'irrigation s'est fait avec l'apparition de nouvelles techniques souvent gourmandes en énergie.

Les performances énergétiques des systèmes d'irrigation doivent donc être analysées en distinguant deux aspects :

-) l'énergie nécessaire pour mobiliser la ressource en eau, et l'amener au niveau de la parcelle (la station de pompage et le réseau d'amenée) ;
-) l'énergie nécessaire pour appliquer l'eau et la répartir sur l'ensemble de la culture (le matériel d'irrigation à la parcelle).

2.1. L'énergie pour la mobilisation de la ressource

Pour amener jusqu'à la parcelle cultivée les volumes dont la plante a besoin, la topographie impose des consommations d'énergie :

-) la différence de niveau entre la ressource et la parcelle exige que l'on fournisse à l'eau de l'énergie potentielle gravitationnelle : la quantité nécessaire correspond au produit du volume d'eau par la dénivelée convertie en unités de pression : $E = V \times \rho \times g \times h$ avec : E : quantité d'énergie nécessaire en Joules V : volume d'eau en m^3 ? : masse volumique de l'eau en kg/m^3 g : accélération de la pesanteur en m/s^2 h : dénivelée en m Ainsi, par exemple un pompage de $80 m^3/h$ à 5 m de profondeur demandera 3,9 mégajoules pour amener l'eau au niveau voulu.
-) la distance à parcourir depuis la ressource en eau jusqu'à la parcelle occasionne des pertes de charge. Bien entendu, c'est en unités de pression que les hydrauliciens expriment ces pertes, mais il est intéressant de donner des ordres de grandeurs en unités d'énergie : par

exemple, une conduite en acier de 120 mm de diamètre qui transporte un débit de 80 m³/h, occasionne une perte d'énergie de 340 joules par mètre pour chaque m³ d'eau transporté. Ce sera une quantité négligeable si on irrigue à partir d'un forage à proximité de la parcelle, mais qui pourra atteindre des valeurs importantes dans le cadre de réseaux collectifs, où les linéaires de conduite se chiffrent en kilomètres (Christian, 2012).

2.2. L'énergie pour le matériel à la parcelle

Le rôle de l'équipement d'irrigation est de répartir l'eau uniformément sur la parcelle. Pour chaque technique employée, on peut distinguer deux phases : une première qui conduit l'eau sous pression, et une deuxième où elle se diffuse dans l'air et dans le sol. La première phase est coûteuse en matériel, et peu en énergie ; la deuxième phase, au contraire, exige que l'eau ait conservé suffisamment d'énergie cinétique pour pouvoir aller loin. La couverture intégrale, et plus encore l'irrigation localisée, ont développé la première phase, et sont donc plus coûteuses en matériel, et moins en énergie. Le canon-enrouleur, à l'inverse, est beaucoup moins cher à l'hectare, mais exige des pressions plus élevées. Enfin, le système d'avancement des appareils, comme dans le cas des enrouleurs, permet de réduire le matériel, mais consomme de l'énergie.

Ces considérations suggèrent que pour une appréciation fine des performances énergétiques, il faut faire un bilan d'énergie sur l'ensemble du système (Christian, 2012).

3. Performance agronomique

En agronomie, l'irrigation est considérée comme une des pratiques culturales que l'agriculteur est amené à gérer (Sabatier et Ruf, 1991). L'agronome s'est concentré sur l'étude de la productivité de l'eau et des relations eau-plante-climat (Sarma et Rao, 1997), surtout que le secteur de l'agriculture fait face au défi de produire plus avec moins d'eau. Plusieurs études ont focalisé sur les indicateurs agronomiques avec une tendance à étudier la productivité de l'eau d'irrigation et la relation eau-plante (Doorenbos et Kassam, 1979).

3.1. Rendement (t/ha)

Le rendement est l'un des indicateurs de performance agronomique ; il doit être calculé sur trois à quatre ans pour tenir compte des variabilités inter annuelles. Des études ont montré que les performances individuelles pourraient être grandement améliorées, sans augmentation des coûts de production. La qualité du suivi de la parcelle, la composition des

intrants et leur mode d'application approprié, le respect du calendrier cultural, le contrôle efficace des adventices et la maîtrise de l'eau à la parcelle sont autant de principes d'amélioration des rendements (Doorenbos et Kassam, 1979).

3.2. Productivité de l'eau et efficience de l'utilisation de l'eau

L'efficience de l'utilisation de l'eau (WUE) est un terme utilisé par les agronomes pour mettre en relation les rendements avec les quantités d'eau utilisées qui ne sont pas spécifiques à une source bien déterminée, cet indicateur est étroitement lié au système de production des cultures (Condon et al., 2004). Ce dernier a montré que l'amélioration de WUE, en appliquant, dans certaines mesures, plus d'irrigation, n'était pas significative en termes de rendement de culture.

La productivité de l'eau agricole (AWP) diffère de l'efficience de l'utilisation de l'eau (WUE) ; elle indique la marge d'amélioration des rendements par rapport à l'eau allouée à la transpiration ; la première intègre la deuxième. Pour améliorer la productivité de l'eau il faut choisir des espèces de culture à haute efficience d'utilisation de l'eau. La productivité de l'eau est définie comme la production des cultures par unité d'eau utilisée (Belder et al., 2004). Dans d'autres cas, ce même indicateur est défini comme étant la valeur économique de la production par unité d'eau utilisée (Sakthivadivel et al., 1999). D'après ces exemples, l'efficience de l'utilisation de l'eau (WUE) et la productivité de l'eau (AWP) sont deux noms différents pour désigner un même critère de performance. Pour éviter toutes confusions, le terme efficience d'utilisation de l'eau (WUE) doit être utilisé seulement pour désigner la performance d'utilisation de l'eau par la plante ou par les cultures, irriguées ou non irriguées, pour produire de la biomasse et/ou un rendement. Le terme productivité de l'eau (WP) doit être utilisé pour désigner la quantité de produit par une quantité d'eau utilisée, consommée ou non consommée par les cultures (Pereira et al., 2011).

Dans la productivité de l'eau dans un sens plus large, une augmentation de quantité d'eau utilisée doit engendrer un supplément pour chaque goutte d'eau. Mais la valeur de la productivité de l'eau ne dépend pas que de l'approvisionnement en eau de la culture. D'autres paramètres, tels que les divers intrants agricoles, le système de culture, etc. influencent également cet indicateur. Dans une certaine mesure, l'approvisionnement relatif en eau est inversement proportionnel à la productivité de l'eau. Il est possible d'économiser de l'eau en diminuant légèrement l'offre par rapport à la demande en eau, sans occasionner de baisses

significatives des rendements. La productivité de l'eau permet d'évaluer la performance agronomique, tout en renseignant davantage sur l'efficacité des apports d'eau.

La notion d'efficience d'irrigation et de l'efficience de l'utilisation de l'eau (WUE) sont des indicateurs importants à évaluer, à condition qu'ils soient appropriés à un agriculteur ou à un périmètre irrigué, mais l'idée de "more crop per drop" est fastidieuse. Ce terme est empreint du domaine de l'économie dans le sens "quel est le supplément d'output que peut apporter un supplément d'input ?", où l'input et l'output sont exprimés en termes monétaires. Mais s'il s'agit de la gestion de l'eau en agriculture, ces indicateurs peuvent conduire à des erreurs dans la politique de gestion des systèmes et, par la suite, vers des actions inefficaces et inappropriées. Kuper et al. (2009) ont présenté une approche qui mobilise des acteurs, des expériences et des connaissances, et ce dont l'objectif de durabilité de l'agriculture, l'intégration des contraintes environnementales et l'analyse de nouveaux modes de coordination des filières agricoles et des territoires irrigués. Le blé et le maïs sont plus efficaces dans l'utilisation de l'eau quand ils sont stressés et pour avoir une productivité de l'eau des cultures (CWP) optimale dans les zones arides, il vaut mieux irriguer le blé et le maïs avec une quantité d'eau optimale recommandée pour maximiser les rendements.

La performance agronomique qui peut donc être exprimée par un rendement ou par la productivité de l'eau ou encore par l'efficience de l'utilisation de l'eau, reste une notion appropriée à un contexte physique donné (Pereira et al., 2011).

4. Performance économique

4.1. Productivité

La croissance économique dans les pays à vocation agricole exige une révolution au niveau de la productivité des exploitations agricoles, la productivité est généralement définie comme le rapport entre une production quelconque et l'ensemble des intrants nécessaires pour la produire. Elle représente donc le degré d'efficacité avec laquelle une entreprise met à profit les ressources dont elle dispose pour fabriquer un produit. L'augmentation de la productivité implique une plus grande quantité de produits en utilisant les mêmes intrants. Pour autant, elle présente des enjeux et des contraintes. C'est la fonction de production qui, au niveau d'une exploitation agricole, met en relation la quantité maximale de l'output qui peut être obtenue par une combinaison des différents facteurs de production. Cette fonction caractérise donc les

relations entre les quantités produites et l'ensemble des facteurs utilisés avec les différentes techniques (Brossier, 2007).

En agriculture, deux considérations ont donné naissance à la productivité : le rendement et l'efficience. Au sens strict du terme, le rendement est la production par unité de terre. Il mesure donc le rapport entre la quantité de produit agricole récoltée et la superficie de terre qui a produit cette récolte. Dans ce sens, le rendement concerne la terre, alors que la productivité concerne le travail et le capital.

Différents indicateurs ont été développés pour exprimer la productivité et son évolution. Ces indicateurs peuvent être exprimés par des mesures uni factorielles, mettant en relation la production avec un seul intrant (travail ou capital ou terre), ou multifactorielles qui combinent simultanément les effets de plusieurs intrants. L'augmentation de la production peut donc être comparée à l'augmentation d'un seul facteur de production ou à celle de tous les intrants à la fois. En d'autres termes, l'augmentation de la production peut être comparée à celle de tous les intrants à la fois ou juste à celle d'un seul facteur de production (Kaci, 2006). La productivité uni-factorielle se mesure donc comme suit :

Productivité uni-factorielle = quantité produite/quantité de l'input

Productivité du travail=quantité produite/quantité de travail (nombre d'actifs agricoles)

Productivité de la terre = quantité produite/superficie de production

Productivité du capital = quantité produite/quantité de capital

La productivité globale des facteurs se définit donc comme le rapport des outputs à l'ensemble des inputs effectifs (Blancard et Boussemart., 2006).

Ainsi, la forme générale d'une fonction de production pour une firme quelconque est :

$$y=f(x_1, x_2, \dots, x_j)$$

Avec y = quantité produite ou l'output par la firme considérée ; f désigne la fonction de production et (x_1, x_2, \dots, x_j) les facteurs (inputs) utilisés par cette firme. Dans le cas d'une exploitation agricole, les inputs ou les facteurs de production peuvent être le capital, le travail et la terre.

L'analyse de la productivité partielle des facteurs de production prend en compte la contribution d'un facteur à la production. Cependant, cette analyse néglige les interactions

entre les facteurs de production. L'analyse de l'efficacité économique permet de surmonter cette limite.

4.2. Notion d'efficacité

Toute activité de production met en jeu des inputs (facteurs) qui constituent des ressources productives à utiliser, et des outputs (production en quantité ou en valeur) qui sont les résultats de l'activité de production. L'évaluation de la performance et des types d'allocation des ressources à la production se fait en étudiant le lien entre les inputs et les outputs. Ainsi, les économistes ont recours à la notion d'efficacité pour tenir compte du critère de maximalité du produit, d'une part, et de la possibilité d'une utilisation minimale des moyens de production, d'autre part.

Les premiers à travailler sur le concept d'efficacité sont Koopmans (1951), qui a proposé une mesure du concept de l'efficacité, et Debreu (1951), qui l'a mesuré empiriquement. En 1957, c'est à Farrell à qui revient la primeur d'avoir défini clairement le concept d'efficacité économique et d'avoir distingué les concepts d'efficacité technique et d'efficacité allocative. Il a également proposé une approche pour estimer les frontières d'efficacité ou "best practice envelope" pour une activité donnée. En agriculture, l'efficacité traduit le comportement non gaspillant des ressources disponibles en eau, terre et capital pour obtenir les meilleurs résultats, en utilisant des technologies données. Piot Lepetit et Rainelli, (1996) affirment que les écarts possibles entre le niveau maximum de production, sous les contraintes subies par les agriculteurs, et la réalité, sont sensibles et montrent l'existence d'importantes marges de manœuvre.

La notion d'efficacité présente trois composantes qui sont : l'efficacité technique, l'efficacité allocative et l'efficacité économique (Piot Lepetit et Rainelli., 1996).

4.2.1 Efficacité technique

Pour Farrell (1957), l'efficacité technique mesure la manière avec laquelle une firme utilise les quantités d'inputs qui entrent dans le processus de production. Une exploitation est techniquement efficace si, pour un niveau de facteurs et de produits utilisés, il est impossible d'augmenter la quantité d'un produit sans augmenter la quantité d'un ou de plusieurs facteurs ou sans réduire la quantité d'un autre produit. La mesure de l'efficacité technique d'une activité de production permet de voir si cette dernière peut augmenter sa production sans pour

autant consommer plus d'intrants, ou diminuer un intrant au moins, tout en conservant le même niveau de production (Amara et Robert, 2000).

4.2.2. Efficience allocative

L'efficience allocative exprime la manière avec laquelle une exploitation agricole, ou toute autre unité de production, choisit les proportions des différents inputs par rapport aux prix du marché. C'est la combinaison optimale, ou l'utilisation des facteurs dans les meilleures proportions, étant donné leurs prix relatifs (Amara et Robert, 2000). Une exploitation est donc déclarée allocativement efficiente si, à un niveau de production donné, le coût des facteurs est minimal.

4.2.3. Efficience économique

L'efficience économique ou "efficience totale" est déterminée conjointement par l'efficience technique et l'efficience allocative. Elle correspond aux produits de ces deux types d'efficience. Une exploitation agricole est considérée économiquement efficiente si elle est à la fois techniquement efficiente et alloue de manière efficiente ses ressources productives. La figure 3 ci-dessous, proposée par Farrell (1957), présente une illustration des types d'efficience. L'isoquant SS' représente la frontière de production. La droite (AA') représente graphiquement le rapport des prix des inputs déterminés par le marché. Selon Farrell (1957), l'efficience technique de l'exploitation au point P est donnée par le rapport OQ/OP et l'efficience allocative par le rapport OR/OQ . Tous les points situés sur la frontière de production sont techniquement efficaces, et ont une efficience technique égale à 1. Chacune des exploitations aux points P et E est techniquement efficiente, mais l'exploitation au point E a une efficience allocative égale à 1. L'efficience économique correspond à l'efficience technique et à l'efficience allocative réunies. La mesure de l'efficience, dans la littérature économique, se limite généralement au calcul de l'efficience technique (Bravo Ureta et Pinheiro, 1997).

CHAPITRE 3 : SITUATION DE L'AGRICULTURE DE LA ZONE D'ELHAMADIA

1. Infrastructure hydraulique et gestion de l'eau

La commune d'El Hammadia est connue par ses activités brillantes dans le domaine de l'agriculture vu ses potentialités hydriques souterraines et superficielles, grâce à sa superficie agricole utile (SAU) importante qui est de 8074 ha répartie sur 18 exploitations agricoles collectives (EAC) de 1680 ha de superficie et 7 exploitations agricoles individuelles (EAI) de 120 ha de superficie et 6274 ha de superficie des terres privées et à la nature de sole qui se caractérise par une bonne structure et un bon niveau de fertilité permettant le développement de différents types de cultures (grandes cultures, cultures maraichères, fourrages et arboricultures), la superficie irriguée dans cette commune est de 1683 ha.

Les ressources hydriques dominantes sont les puits avec 67 % couvrant 8% de la superficie irriguée. Les forages avec 32 % couvrant 17 % de la superficie irriguée. Le pompage au fil de l'eau avec 1 % couvrant 75 % de la superficie totale irriguée, ces superficies sont irriguées sous deux modes d'irrigation : - gravitaire à raison de 96 % de la superficie totale. - aspersion à raison de 4 % de la superficie totale irriguée, ce dernier s'effectue soit par des kits d'aspersion soit par l'enrouleur. La grande majorité de ces activités se base dans le village d'Oued Lakhdar.

2. Occupation du sol

Les cultures pratiquées dans cette commune sont : La céréaliculture essentiellement le blé dur et l'orge en premier ordre avec un taux de 65 %. La jachère avec 16 %. L'oléiculture avec 9 %. Les cultures fourragères essentiellement l'orge et l'avoine fourragère avec 6 %. L'arboriculture fruitière essentiellement le pommier, le poirier, l'abricotier, le pêcher, le prunier, l'amandier, le figuier, le grenadier, le néflier et le cognassier avec 2 %. Et enfin les cultures maraichères essentiellement la pomme de terre, la carotte, le navet, la tomate, l'oignon vert et sec, l'ail, le fève vert, la cardes, la laitue, le haricot vert, le melon, le pastèque, la betterave, le concombre, le piment, le poivron et la courgette, même les condiments essentiellement la coriandre, les céleris et le persil avec un taux de 2 %.

Partie

Expérimentale

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

Les exploitations agricoles du village d'Oued Lakhdar qui appartient administrativement à la commune d'El Hammadia constituent une zone d'étude. Cette zone, reflète la relation typique entre les ressources disponibles pour produire et la réalisation des objectifs économiques. De plus, ils n'offrent pas une grande diversité en aménagements hydrauliques malgré la diversité des espèces végétales cultivées et le potentiel hydrique important. Ces facteurs rendent l'étude de ce cas, pertinent pour l'évaluation de la performance.

1. Présentation de la région d'étude

La commune d'El Hamadia situé au sud de la wilaya de Bordj Bou Arreridj, elle est construite dans les années de 1885, elle s'est appelé Ouled Akla selon le colon français, elle contient 15 villages de 30116 habitants selon la direction du programmation et suivi des budgets pour l'année 2014, dominé par l'aspect agricole.

La commune d'El Hammadia est située sur la pente nord de la chaîne montagneuse d'El Hodna exactement dans la pente orientée vers Oued Lakhdar et Oued Bayata elle est limitée comme suivant :

Au nord : commune de Bordj Bou Arreridj et El Anasser

A l'est : commune de Bordj El Ghdir et Belimore

Au sud : commune d'ElAache et Rabta

A l'ouest : commune de El K'sor et El Achir.

Pour atteindre nos objectifs nous avons opté pour deux phases d'études :

Première phase : Enquêtes avec les agriculteurs sur le terrain pour double objectif

- Comprendre les logiques des agriculteurs
- Établir une typologie des exploitations qui servira de moyen pour déterminer les exploitations sujet du protocole des mesures hydrauliques en basant sur plusieurs paramètres comme l'âge des agriculteurs, le statut administratifs des exploitations, la superficie, les potentielles hydriques, ..., etc.

Deuxième phase : Etude des performances de l'irrigation à l'échelle parcellaire nous avons adopté les étapes suivantes :

- Détermination de la RFU dans les parcelles objet de notre étude.
- Mesures à la parcelle pour déterminer de quelques indicateurs de performance pour le système d'irrigation choisi qui est l'irrigation par le système goutte à goutte, à savoir : coefficient d'uniformité, efficacité d'irrigation.

2. Protocole expérimental et mesure

Pour étudier la performance de l'irrigation à l'échelle parcellaire nous avons adopté le protocole expérimental suivant :

- Calcul de la RFU et la RU dans les parcelles objet de notre étude.
- Détermination de quelques indicateurs de performance pour le système d'irrigation choisi qui est l'irrigation par le système goutte à goutte.

2.1. Calcul de la RFU et la RU

Pour le calcul de la RFU, nous avons prélevé des échantillons des parcelles concernées, ces derniers ont été analysés au niveau du laboratoire du génie civil.

Pour effectuer ces mesures on a suivi les étapes suivantes :

- La saturation des échantillons prélevés,
- Le drainage pendant 24 heures et puis la détermination du poids humide,
- Le passage à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures (pour la détermination du poids sec),
- Pour la détermination de l'humidité à la capacité de rétention nous avons calculés la différence entre le poids humide et le poids sec,
- L'humidité au point de flétrissement est calculée par la relation empirique suivante :

$$H_{pf} = H_{cc} / 1.84,$$

H_{pf} : l'humidité au point de flétrissement,

H_{cc} : l'humidité à la capacité au champ,

- La RFU est calculé par la relation suivante :

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) * Z * da *$$

$$RU = RFU /$$

Z : la profondeur racinaire

da : la densité apparente

: 1/2 pour sol argileux et 2/3 pour sol sableux.

Mesure de la densité apparente et teneur en eau (méthode des cylindres)

Les échantillons sont prélevés d'un volume connu de 188,4 cm³ à partir d'une fosse de façon à ne pas les remanier.



Figure 8 : Prélèvement d'échantillon (Mekki et al., 2001)

-) Pesée immédiate : M_{ech}
-) Séchage à l'étuve à 105° C (24 h)
-) Nouvelle pesée : M_s

$$da = M_s / V_{ech}$$

$$V_{ech} = r^2 * 3.14 * L \text{ (L c'est la longueur du cylindre)}$$

2.2. Matériel utilisé

- pour prélever les échantillons du sol nous avons utilisé le cylindre pour les échantillons de la densité apparente et la tarière afin de prélever les échantillons objet des calculs de la Hcc et la Hpf afin de calculer la RFU.
- on a utilisé une balance et étuve au niveau du laboratoire pour peser et sécher les échantillons respectivement.

2.3. Mesure et résultats du CU pour le système d'irrigation goutte à goutte

Pour le système d'irrigation goutte à goutte, nous avons utilisé comme critère de performance le coefficient d'uniformité de distribution en % (Christiansen, 1942).

Avec :

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\sum X}{n \cdot \bar{q}} \right]$$

Avec : X : est la somme des écarts des débits mesurés par rapport au débit moyen \bar{q}

n : est le nombre de mesure.

D'après Mekki et al. (2001), le CU doit dépasser 80 % pour que nous puissions dire que le réseau goutte à goutte est considéré acceptable en matière d'uniformité.

Pour mesurer les débits au niveau des goutteurs nous avons utilisés un chronomètre et un récipient sous le goutteur et nous avons établi la relation entre le temps (une minute) et les volumes trouvés dans les récipients (l'unité de mesure est ml/min).

Interprétation du CU

Pour interpréter les valeurs du CU on retient la classification suivante :

- $CU > 90$: excellente uniformité,
- $80 < CU < 90$: uniformité satisfaisante,
- $70 < CU < 80$: uniformité médiocre,
- $CU < 70$: mauvaise uniformité.

La valeur du CU permet de décider de la nécessité de nettoyer le réseau d'irrigation, le CEMAGREF (1992) propose la classification suivante :

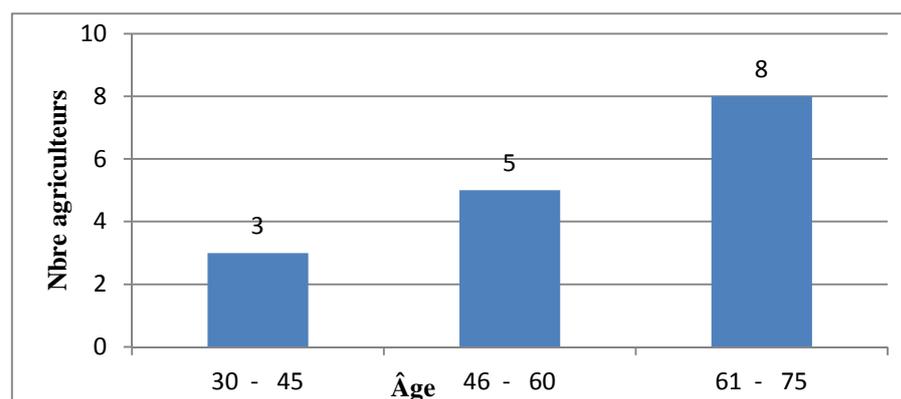
- $CU > 90$: pas d'intervention sur le réseau,
- $70 < CU < 90$: réseau à nettoyer,
- $CU < 70$: rechercher les causes du colmatage et effectuer un traitement.

Une mauvaise uniformité peut être due à :

- des fuites dans le réseau : au niveau de la jonction entre rampes et porte rampes, en fin de rampes lorsqu'elles sont mal fermées, au niveau des rampes lorsqu'elles sont percées ;
- une pression de fonctionnement insuffisante au niveau des goutteurs ce qui fait que les débits des goutteurs sont inférieurs aux débits nominaux ;
- un colmatage des goutteurs.

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION**1. Enquête de structure et typologie des exploitations**

Une enquête exhaustive a été menée en 2018 pour identifier la structure des exploitations familiales qui sont au nombre de 16. Cette enquête a porté sur les cultures installées, leurs superficies et les techniques d'irrigations utilisées (de surface, par aspersion ou localisée). Une typologie a été dressée par le biais d'une analyse en composantes principales. Le choix des exploitations et des variables objet de cette typologie n'était pas neutre. En effet, nous avons remarqués 3 exploitations de tailles disproportionnées (de 20 à 72 ha) par rapport à la superficie moyenne des exploitations familiales (2 ha). Dans ce travail, on a considéré que le périmètre irrigué est représenté par l'ensemble des exploitations familiales. Des simulations initiales ont été effectuées pour choisir les variables de regroupement des exploitations qui sont le statut administratif de l'exploitation, la superficie agricole totale (SAT), la superficie agricole utile (SAU), la superficie des cultures maraichère et celles céréalière, la technique d'irrigation utilisé (de surface, par aspersion et localisé), les ressources hydrique et sa profondeur, et les infrastructures hydrauliques disponibles. Ce regroupement représente un modèle basé sur la mobilisation de connaissances issues du terrain, intégrant la diversité des exploitations agricoles afin de bâtir un référentiel technique.

1.1. Regroupement des exploitations selon des différents paramètres et interprétation**1. Age****Figure 9 : Représentation graphique d'âge des agriculteurs**

Cette représentation montre que la majorité des propriétaires des exploitations sont âgés plus de 45 ans ce qui traduit l'inaptitude des jeunes hommes d'avoir des terres agricoles et que ces terres agricoles sont héritées d'un à un autre.

1.2. Statut administratif des exploitations

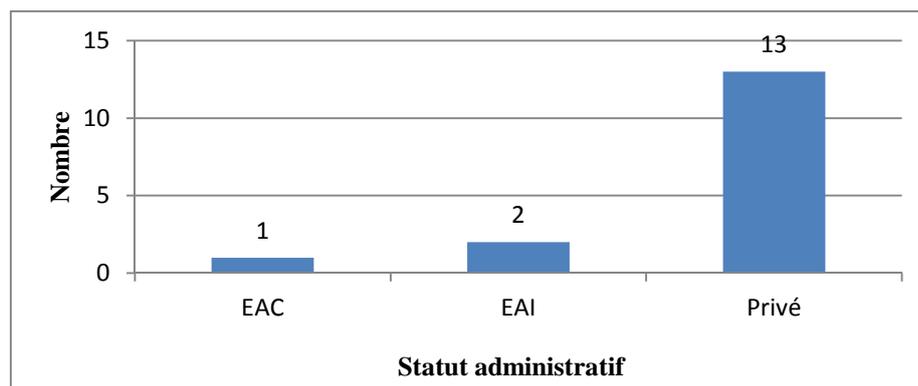


Figure 10 : Regroupement des exploitations selon le type de statut

Concernant ce critère, il est évident que près de la totalité des exploitations sont privé d'où la modestie des superficies de ses terres, et il n'y a qu'un nombre infiniment petit des exploitations qui ont retour à la propriété de l'état, une est une exploitation agricole collective (EAC) et deux autres sont des exploitations agricoles individuelles (EAI).

1.3. Taux d'occupation des terres

Dans ce paramètre on va voir la relation entre la superficie agricole totale (SAT) et celles des superficies agricoles utiles (SAU).

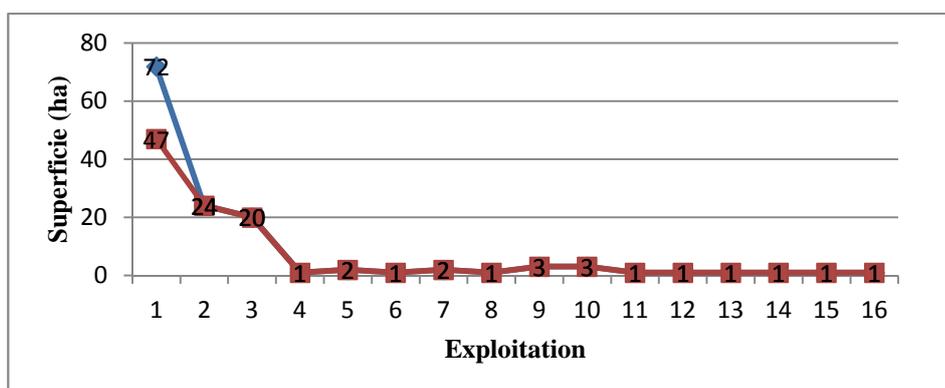


Figure 11 : Représentation graphique montrant la relation entre la SAT et la SAU

Toutes les terres sont exploitées en totalité sauf la première exploitation qui est de grande superficie, cette occupation complète se traduit par la réduction importante des superficies.

1.4. Superficie irriguée

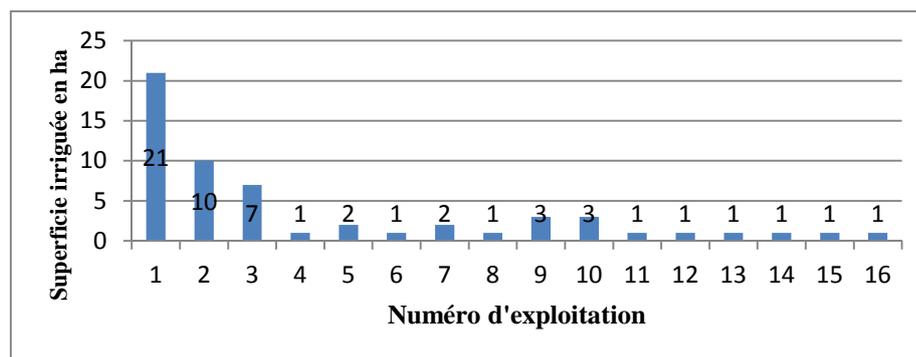


Figure 12 : Représentation graphique des superficies irriguées

Nous voyons que près de la totalité des superficies irriguées comprises entre 1 et 3 ha sauf pour quelques exceptions comme chez le cas de la première exploitation qui est une EAC avec une superficie de 21 ha et la deuxième et la troisième exploitation qui sont des EAI avec 10 et 7 ha respectivement.

1.5. Interaction entre la superficie agricole utile des exploitations et celle de la superficie irriguée

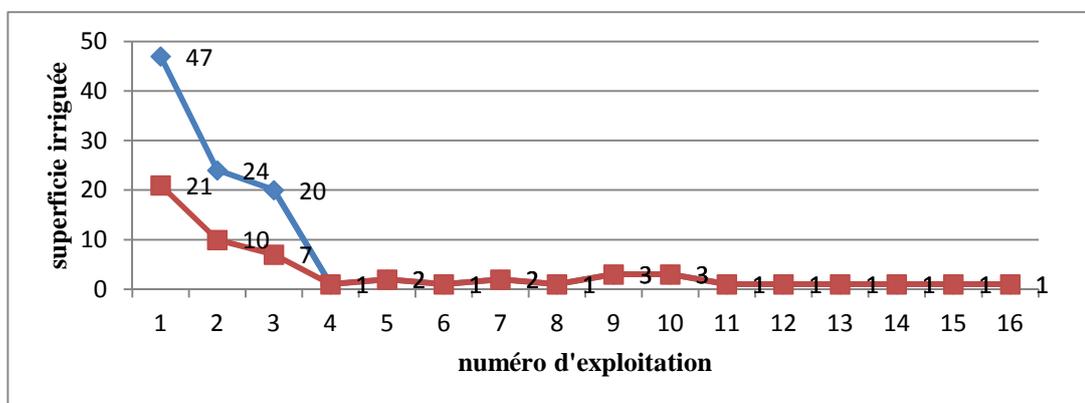


Figure 13 : Interaction entre la SAU et la superficie irriguée

1.6. Type de culture pratiqué en irrigué

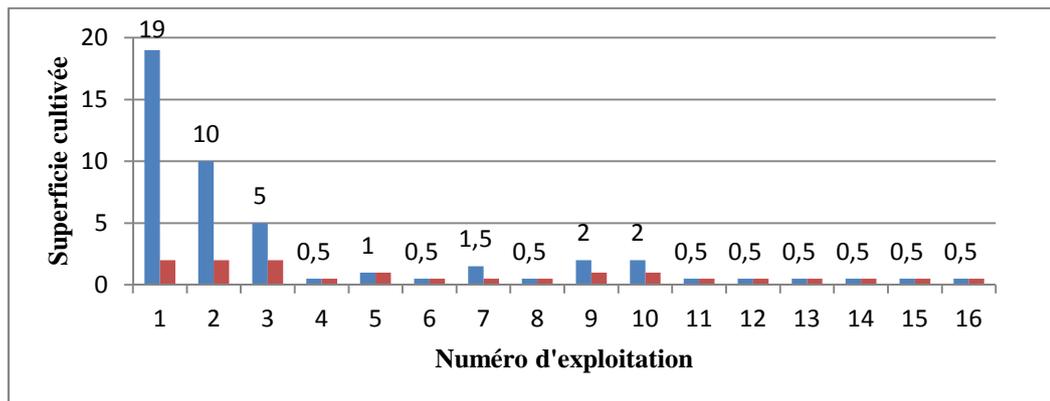


Figure 14 : Présentation graphique qui montre la superficie destinée à la céréaliculture par rapport la culture maraîchère

Il est évident que la majorité des agriculteurs consacrent une moitié du sol pour la céréaliculture et l'autre moitié pour la culture maraîchère, sauf le cas des trois premières exploitations car la superficie est importante et les agriculteurs basent sur la céréaliculture beaucoup plus, parce que le maraîchage demande beaucoup de travaux et par conséquent beaucoup de main d'œuvre qualifié.

1.7. Technique d'irrigation pratiquée par exploitation

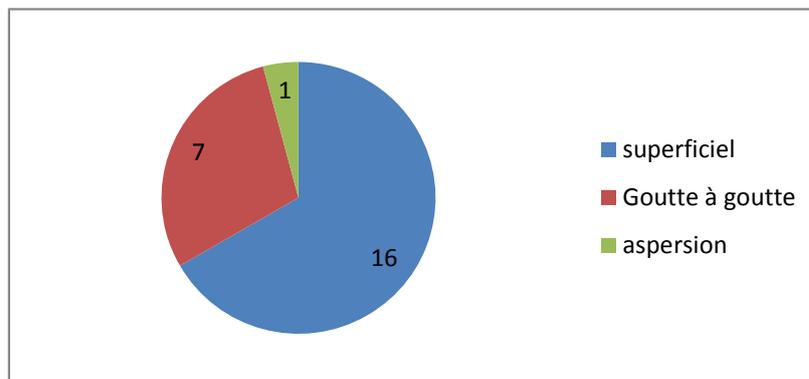


Figure 15 : Représentation graphique de la technique d'irrigation pratiquée par exploitation

On remarque que la technique la plus pratiquée est celle d'irrigation par technique superficiel, comme il y a introduction de la technique d'irrigation par goutte à goutte qui est une technique très économique et qui traduit par la conscience de certains agriculteurs, et la technique d'irrigation par aspersion est pratiquée dans la première exploitation qui est de

grande superficie parce que la technique superficiel ne peut pas couvrir cette énorme superficie.

1.8. Ressources hydriques

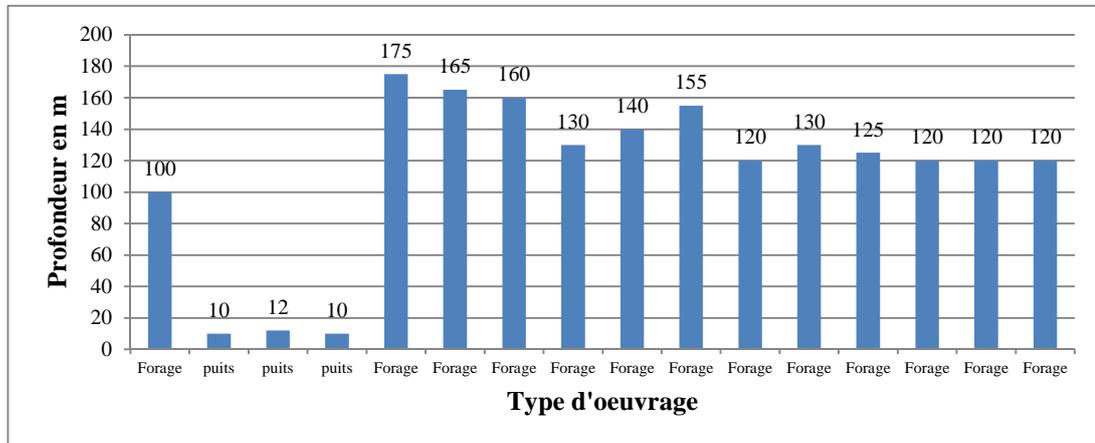


Figure 16 : Présentation graphique des ressources hydrique et ses profondeurs

On remarque que la profondeur des puits est de 10 à 12 m et la profondeur des puits est comprise entre 100 et 175 m de profondeur.

1.9. Regroupement des ressources selon le type et la profondeur

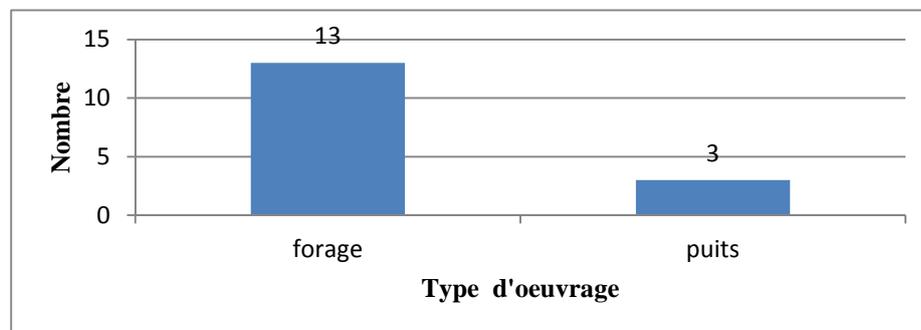


Figure 17 : Représentation graphique des ressources hydriques

Le nombre des puits est presque négligeable par rapport aux forages ce qui traduit l'abaissement du niveau de la nappe superficiel dans cette zone.

1.10. Classification des forages selon la profondeur

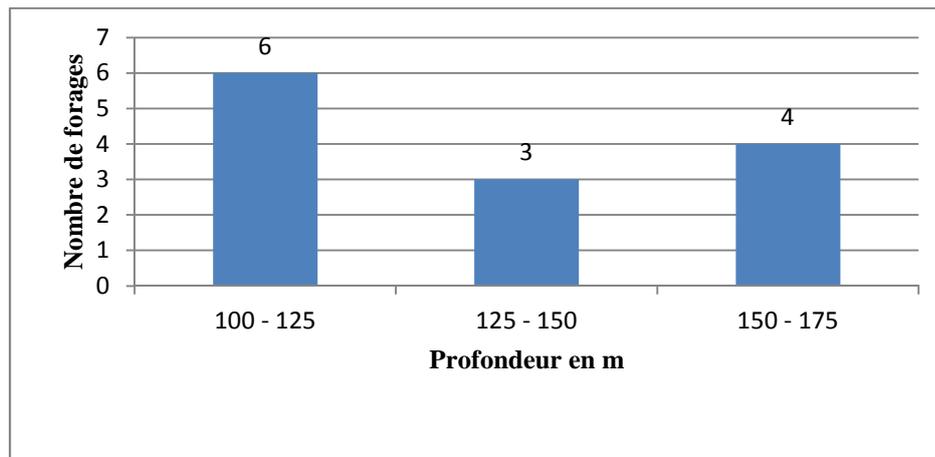


Figure 18 : Représentation graphique des profondeurs des forages

On peut dire qu'il y a trois zones où la profondeur des forages de ses zones se rapproche et que les forages de 100 à 125 m sont situés dans la zone la plus basse, au contraire les forages de 150 à 175 m sont situés au niveau de la zone à une altitude plus haut, et les forages de profondeur de 125 à 150 sont situés dans la zone intermédiaire par rapport aux deux autres zones.

1.11. Infrastructure hydraulique et énergie de pompage

Au niveau des exploitations objet de notre étude il n'y a que deux exploitations qui contiennent des bassins et que la technique d'irrigation superficiel est gravitaire par contre les autres exploitations pratiquent l'irrigation superficiel sous pression du forage aux parcelles directement.

Le pompage d'eau des forages s'effectue par pompe immergé par énergie électrique par contre le pompage d'eau des puits s'effectue par motopompe par énergie diesel.

Cette enquête nous a permis de faire ressortir quatre types d'exploitation organisée comme suite :

2. Typologie des exploitations

D'après la description bien détaillée de différentes exploitations objet de cette étude et à travers la combinaison de plusieurs critères de classification qui sont ; la situation des zones d'exploitations par rapport à l'oued, la superficie utile, des exploitations, l'accès à l'eau, les

différents types de cultures pratiqué, le statut juridique des exploitations et les techniques d'irrigation les plus utilisées, on a pu faire ressortir deux grandes classes d'exploitation comme suit :

Classe 1 : Cette classe elle-même contient trois types d'exploitation.

Sous classe 1 : Ces exploitations appartiennent aux privés. Elles se situent à côté de l'oued, l'une devant l'autre avec des petites superficies d'1 ha pour chacune, elles se caractérisent par un bon accès à l'eau bien qu'elles possèdent tous des forages avec un bon débit et une profondeur moyenne. Les propriétaires de ces exploitations pratiquent la céréaliculture en moitié et l'autre moitié pour les cultures maraichères avec un système intensif d'où l'application de différentes techniques culturales de fertilisation, du désherbage, ..., etc. L'irrigation superficielle est la plus utilisée. Cette catégorie regroupe les exploitations 11, 12, 13, 14, 15 et 16.

Sous classe 2 : Cette catégorie diffère de la catégorie précédente par sa superficie importante. Ces exploitations se situent près de l'oued mais loin des exploitations de la première sous classe. Leurs statuts juridiques sous forme d'EAC, d'où l'importance des superficies agricoles utiles à raison de 47 ha (tableau 5). Le personnel de ces exploitations pratique la céréaliculture en premier ordre (Ce sont des multiplicateurs de semences) comme ils pratiquent des cultures maraichères intensives avec de petite superficie par rapport à la superficie agricole utile (tableau 8). Les techniques d'irrigation pratiquées sont basées sur la technique superficielle, l'aspersion et localisée avec un bon accès à l'eau. Cette catégorie renferme seulement l'exploitation numéro 1.

Sous classe 3 : Cette catégorie présente deux exploitations individuelles EAI (numéro 2 et 3), avec une superficie importantes à l'ordre de 24 et 20 ha respectivement. L'accès à l'eau est très limité et par conséquent les types de cultures pratiqués sont principalement les céréales et les cultures maraichères (comme ces exploitations disposent deux puits chacune avec un débit d'eau très faible). Les cultures pratiquées sont l'oignon et l'ail. La technique d'irrigation superficielle a été utilisée.

Classe 2 : Cette catégorie d'exploitation diffère des précédentes par la situation géographique qui sont loin de l'oued et à des superficies allant jusqu'à 3 ha. Ce sont des exploitations privées caractérisées par un bon accès à l'eau, elles contiennent tous des forages, elles pratiquent la céréaliculture et les cultures maraichères, la technique d'irrigation la plus utilisée

est celle de la technique superficiel. Cette catégorie regroupe les exploitations numéros 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10.

3. Mesure et résultats du coefficient d'uniformité d'irrigation pour le système d'irrigation goutte à goutte dans les différentes exploitations

3.1. Parcelle n°1 (Piment, irrigation par goutte à goutte)

Cette parcelle se trouve près d'oued, elle est de 50 m sur 50 m. Cette parcelle est irriguée par goutte à goutte, l'agriculteur l'irrigue pendant 1 heures chaque 3 jours avec un débit de 1,6 l/h. Les valeurs sont données sur le tableau ci-après :

Tableau 01 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle n°1)

Profondeur racinaire (m)	RU (mm)	RFU (mm)
0,1	22	11

La figure suivante montre le protocole de mesure pour la parcelle n°1 :

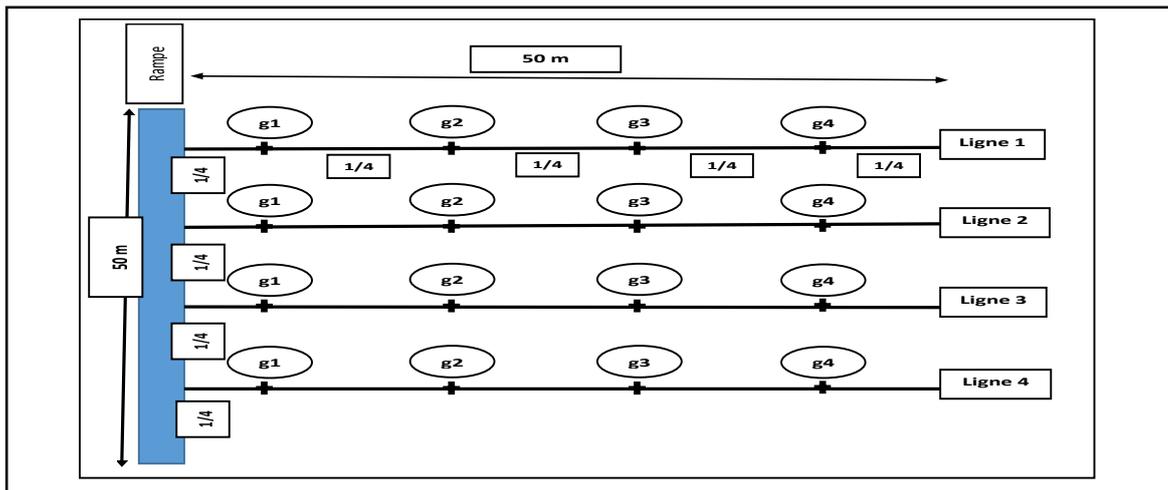


Figure 19 : Protocole expérimental (parcelle n°1)

Nous avons effectué les mesures des débits en eau, aux points mentionnés dans la figure ci-dessus. Le tableau suivant donne les débits moyens des goutteurs pour les différentes rampes en (l/h) :

Tableau 02 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle n°1)

	Goutteur 1	goutteur 2	goutteur 3	goutteur 4
Rampe 1	1,92	1,8	1,62	1,56
Rampe 2	1,86	1,74	1,56	1,56
Rampe 3	1,8	1,68	1,5	1,44
Rampe 4	1,74	1,56	1,44	1,02

Les débits aux niveaux des goutteurs varient entre 1,02 l/h et 1,92 l/h, avec une moyenne totale de 1,61 l/h, avec 330 goutteurs par rampe de 50m et 40 rampes en total dans la parcelle. Nous avons un débit total de 21,25 m³/h, c'est-à-dire il apporte 8,50 mm/h représentant 38,64 % de la RU.

Après les calculs préliminaires du coefficient d'uniformité (CU) (annexe), nous avons trouvé un CU de 90,31 %, ce dernier se trouve dans la case (CU) excellente uniformité.

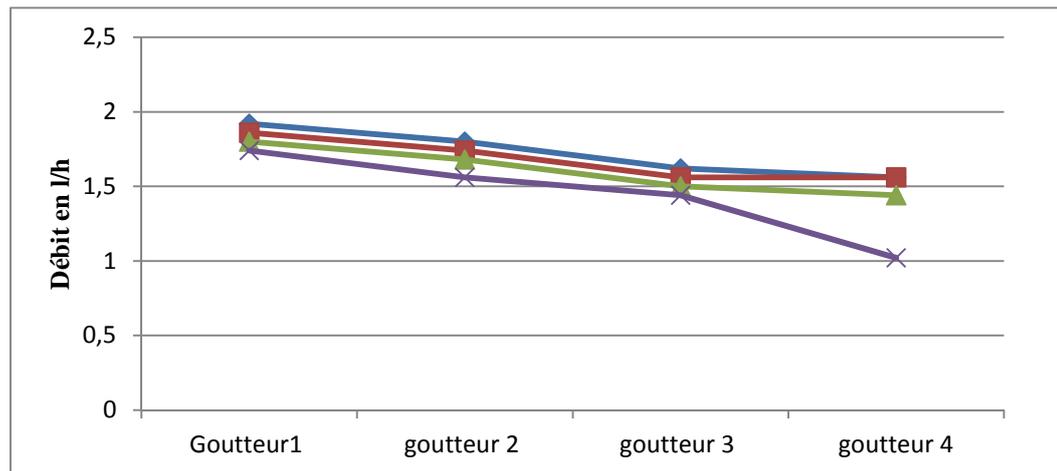


Figure 20 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs

La figure ci-dessus montre une chute de pression en s'éloignant de la source d'eau avec une chute remarquable de pression le long de la dernière rampe (la plus éloignée de la source).

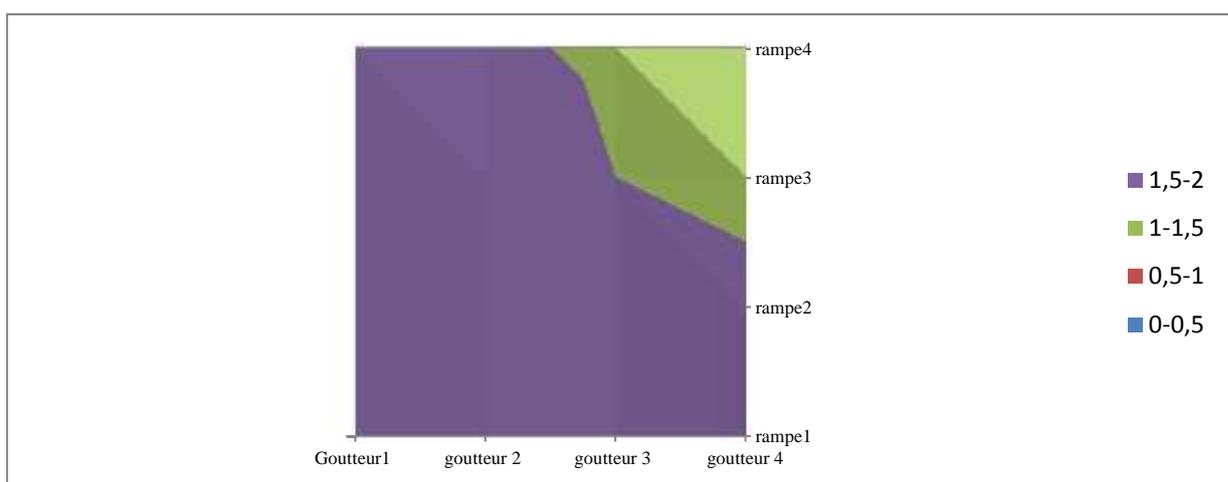


Figure 21 : Variation des débits dans la parcelle en (l/h)

La figure n°21 confirme notre interprétation de la figure précédente qui est la diminution de débit du début de la première rampe jusqu'à la fin de la dernière rampe.

3.2. Parcelle n°2 (Piment, irrigation par goutte à goutte)

Cette parcelle se trouve près de l'oued, en même situation que la parcelle précédente, elle mesure 60 m sur 40 m et elle est irriguée par le système goutte à goutte. L'agriculteur l'irrigue pendant 1 heure chaque 3 jour avec un débit de 1,69 l/h. Les valeurs sont données sur le tableau ci-après :

Tableau 03 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle n°2)

Profondeur racinaire (m)	RU (mm)	RFU (mm)
0,12	29.6	14.8

La figure suivante montre le protocole de mesure pour la parcelle n°2 :

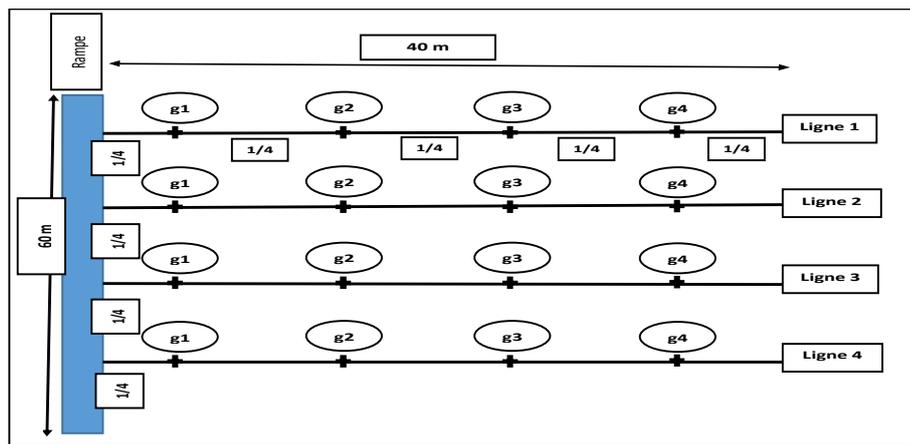


Figure 22 : Protocole expérimental (parcelle n°2)

Nous avons effectué les mesures des débits en eau aux points mentionnés dans la figure ci-dessus. Le tableau suivant donne les débits moyens des goutteurs pour les différentes rampes en (l/h).

Tableau 04 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle n°2)

	Goutteur1	goutteur 2	goutteur 3	goutteur 4
rampe1	1,92	1,92	1,8	1,74
rampe2	1,86	1,8	1,68	1,56
rampe3	1,8	1,74	1,62	1,5
rampe4	1,74	1,62	1,5	1,38

Les débits aux niveaux des goutteurs varie entre 1,38 l/h et 1,92 l/h, avec une moyenne totale de 1,69 l/h, avec 270 goutteurs par rampe de 40m et 60 rampes en total dans la parcelle, nous avons un débit total de 27,37 m³/h c'est-à-dire il apporte 11,40 mm/h, qui représente 38.53 % de la RU.

Après les calculs préliminaires du Coefficient d'Uniformité (annexe), nous avons trouvé un CU de 92,38 % ce dernier se trouve dans la case des CU excellente uniformité.

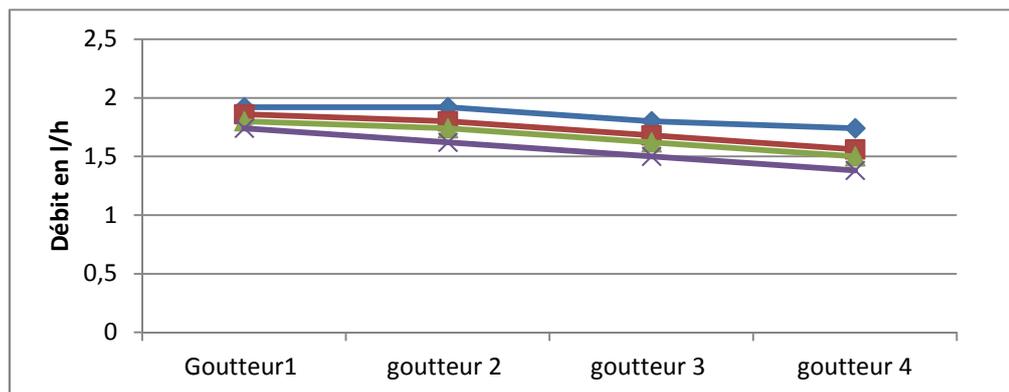


Figure 23 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs

La figure ci-dessus montre qu'il n'y a pas une chute de pression très importante en s'éloignant de la source d'eau.

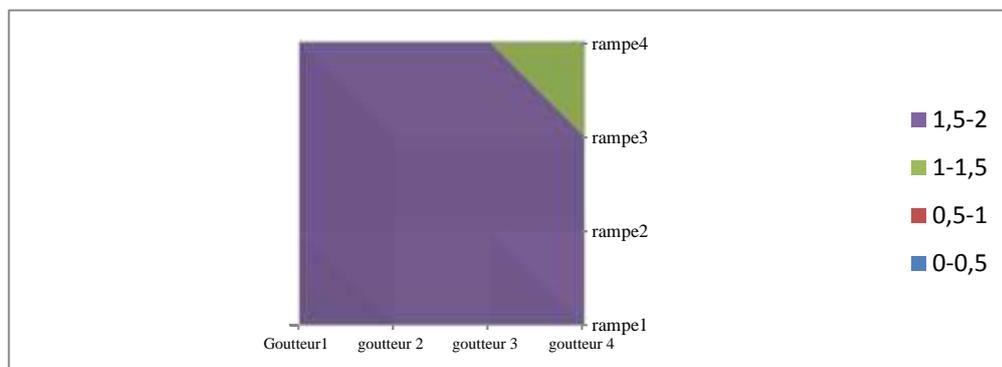


Figure 24 : Variation des débits dans la parcelle en (l/h)

La figure n°24 confirme notre interprétation de la figure précédente qui est la diminution moins importante de débit du début de la première rampe jusqu'à la fin de la dernière rampe.

3.3. Parcelle n°3 (EAC, Piment, irrigation par goutte à goutte)

Cette parcelle est une EAC qui est de 200 m sur 50 m, cette parcelle est irriguée par le goutte à goutte, l'agriculteur l'irrigue pendant 1 heures chaque 3 jours avec un débit de 1,74 l/h. Les valeurs sont données par le tableau ci-après :

Tableau 05 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle n°3)

Profondeur racinaire (m)	RU (mm)	RFU (mm)
0,09	20	10

La figure suivante montre le protocole de mesure pour la parcelle n°3 :

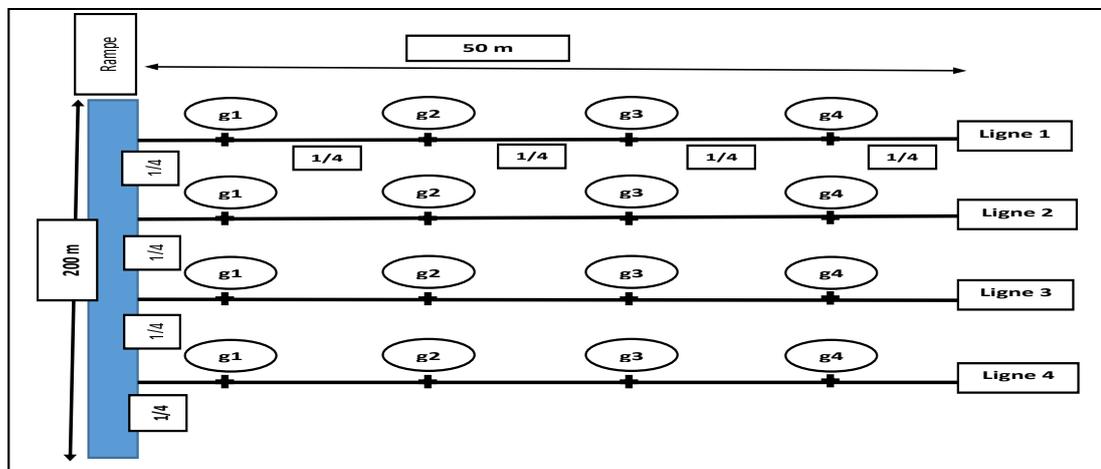


Figure 25 : Protocole expérimental (parcelle n°03)

Nous avons effectué les mesures des débits en eau aux points mentionnés dans la figure ci-dessus. Le tableau suivant donne les débits moyens des goutteurs pour les différentes rampes en (l/h) :

Tableau 06 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle n°3)

	Goutteur 1	Goutteur 2	Goutteur 3	Goutteur 4
Rampe 1	2,28	2,28	2,22	2,1
Rampe 2	1,92	1,8	1,74	1,68
Rampe 3	1,68	1,62	1,56	1,5
Rampe 4	1,5	1,44	1,38	1,2

Les débits aux niveaux des goutteurs varie entre 1,2 l/h et 2,28l/h, avec une moyenne totale de 1,74 l/h, avec 330 goutteurs par rampe de 50m et 140 rampes en total dans

la parcelle, nous avons un débit total de 80,38 m³/h c'est-à-dire il apporte 8,04 mm/h, qui représente 40,2 % de la RU.

Après les calculs préliminaires du Coefficient d'Uniformité (annexe), nous avons trouvé un CU de 84,76 % ce dernier se trouve dans la case des CU uniformité satisfaisante.

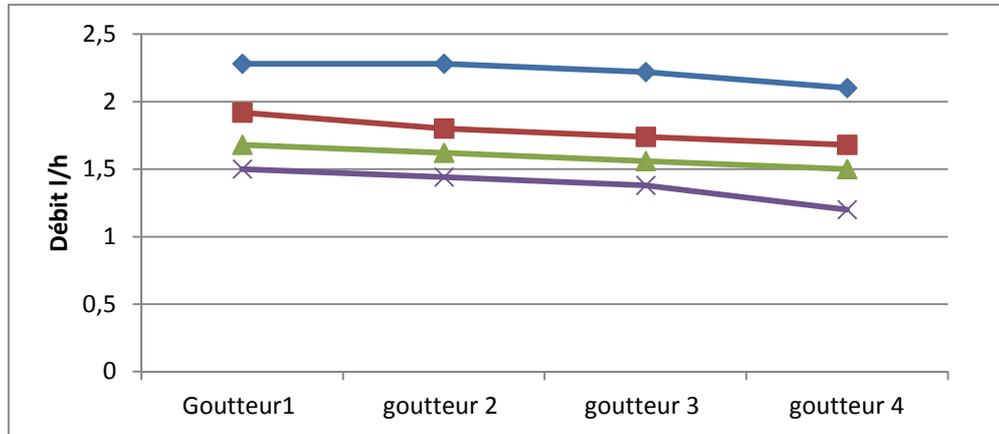


Figure 26 : La variation du débit le long de la rampe porte goutteurs

La figure ci-dessus montre une chute de pression en s'éloignant de la source d'eau avec une chute remarquable de pression le long de la dernière rampe (la plus éloignée de la source).

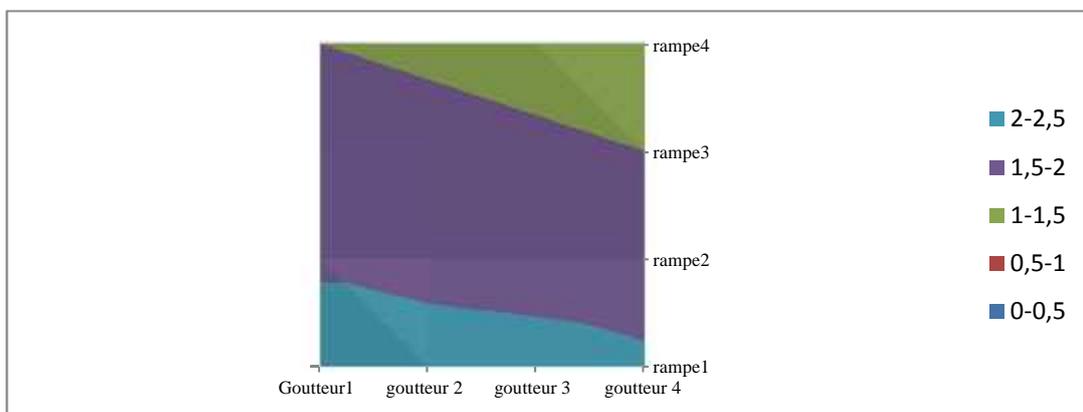


Figure 27 : Variation des débits dans la parcelle en (l/h)

La figure n°33 confirme notre interprétation de la figure précédente qui est la diminution de débit du début de la première rampe jusqu'à la fin de la dernière rampe.

3.4. Parcelle n°4 (EAI, Piment, irrigation par goutte à goutte)

Cette parcelle est une EAI qui est de 70 m sur 40 m, cette parcelle est irriguée par le goutte à goutte, l'agriculteur l'irrigue pendant 1 heures chaque 3 jours avec un débit de 1,76 l/h. Les valeurs sont données par le tableau ci-après :

Tableau 07 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle n° 4)

Profondeur racinaire (m)	RU (mm)	RFU (mm)
0,07	16	8

La figure suivante montre le protocole de mesure pour la parcelle n°4.

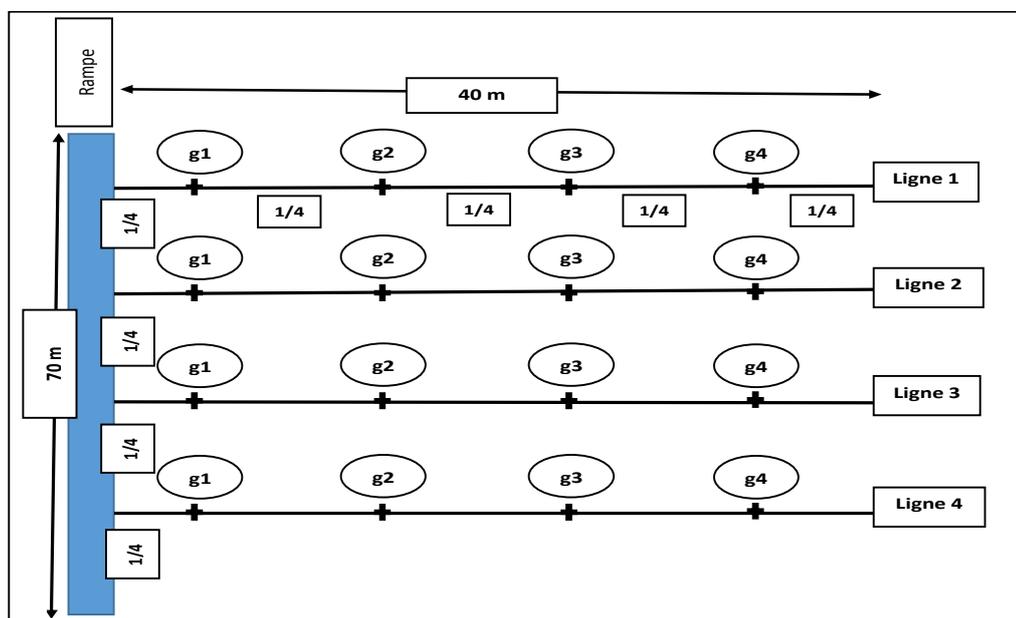


Figure 28 : Le protocole expérimental (parcelle n°4)

Nous avons effectué les mesures des débits en eau aux points mentionnés dans la figure ci-dessus. Le tableau suivant donne les débits moyens des goutteurs pour les différentes rampes en (l/h) :

Tableau 08 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle n° 4)

	Goutteur 1	Goutteur 2	Goutteur 3	Goutteur 4
Rampe 1	2,22	2,1	1,98	1,92
Rampe 2	1,92	1,86	1,74	1,68
Rampe 3	1,8	1,74	1,68	1,5
Rampe 4	1,62	1,56	1,5	1,44

Les débits aux niveaux des goutteurs varie entre 1,44 l/h et 2,22 l/h, avec une moyenne totale de 1,76 l/h, avec 260 goutteurs par rampe de 40m et 56 rampes en total dans la parcelle, nous avons un débit total de 25,62 m³/h c'est-à-dire il apporte 9,15 mm/h, qui représente 57,28 % la RU.

Après les calculs préliminaires du Coefficient d'Uniformité (annexe), nous avons trouvé un CU de 87,33 % ce dernier se trouve dans la case des CU uniformité satisfaisante.

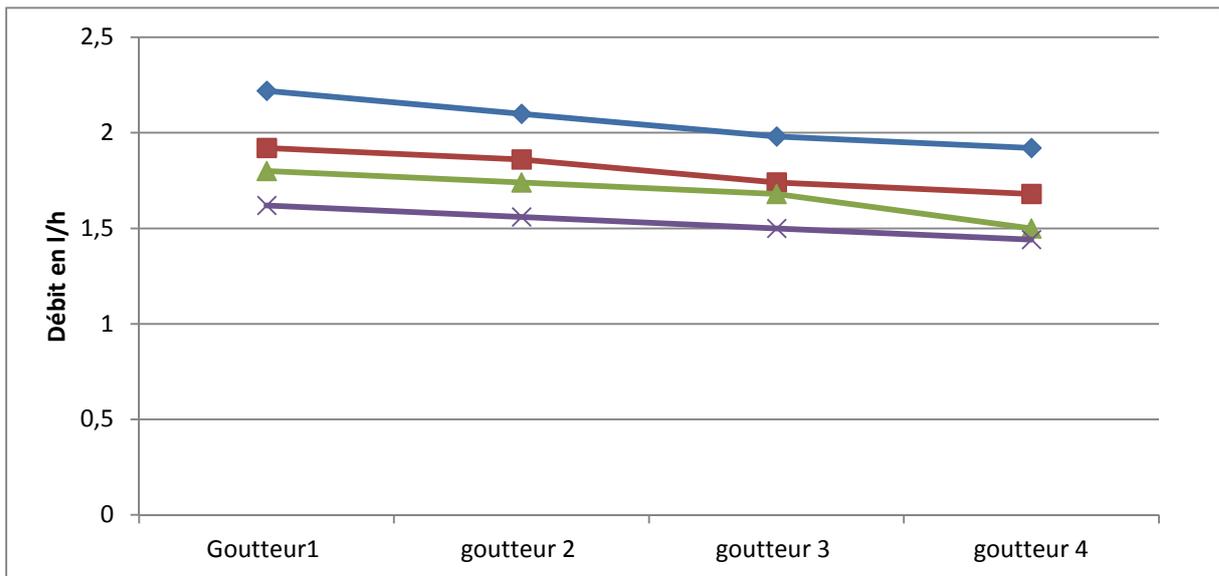


Figure 29 : La variation du débit le long de la rampe porte goutteurs

La figure ci-dessus montre une chute de pression en s'éloignant de la source d'eau avec une chute remarquable de pression le long de la dernière rampe (la plus éloignée de la source).

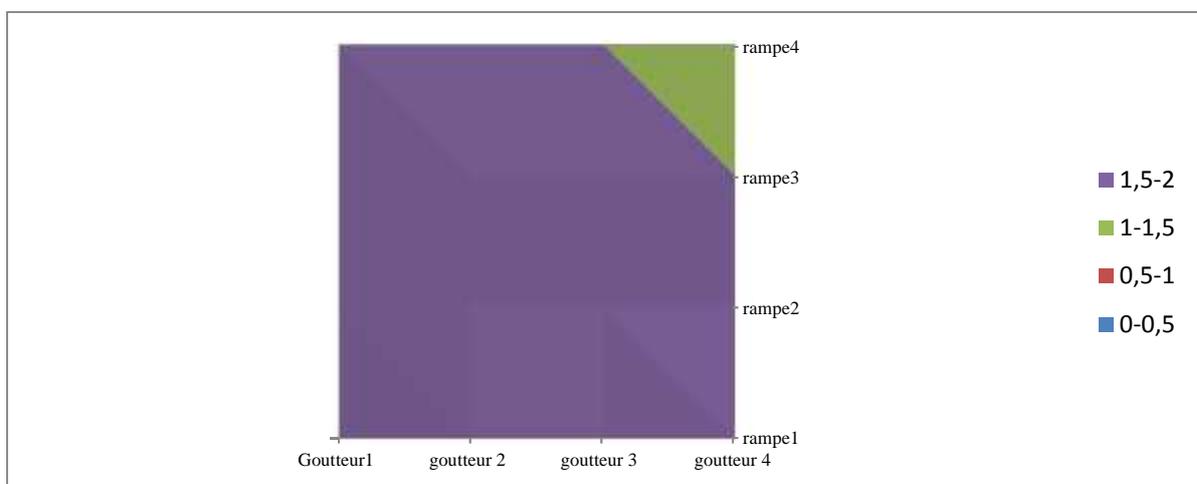


Figure 30 : La variation des débits dans la parcelle en (l/h)

La figure n° 30 confirme notre interprétation de la figure précédente qui est la diminution de débit du début de la première rampe jusqu'à la fin de la dernière rampe.

3.5. La parcelle n° 5 (Piment, irrigation par goutte à goutte)

Cette parcelle se trouve loin de l'oued de 40 m sur 30 m, cette parcelle est irriguée par le goutte à goutte, l'agriculteur l'irrigue pendant 1 heures chaque 2 jours avec un débit de 2,025 l/h. Les valeurs sont données par le tableau ci-après :

Tableau 09 : La réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle n° 5)

Profondeur racinaire (m)	RU (mm)	RFU (mm)
0,09	22.5	14.9

La figure suivante montre le protocole de mesure pour la parcelle n°5 :

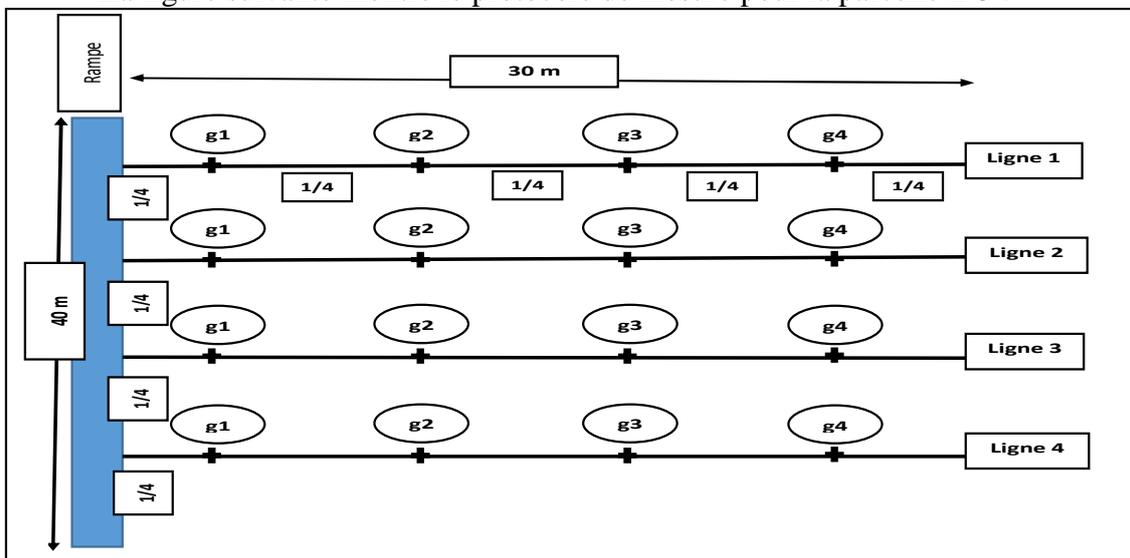


Figure 31 : Protocole expérimental (parcelle n°5)

Nous avons effectué les mesures des débits en eau aux points mentionnés dans la figure ci-dessus. Le tableau suivant donne les débits moyens des goutteurs pour les différentes rampes en (l/h) :

Tableau 10 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle n° 5)

	Goutteur 1	Goutteur 2	Goutteur 3	Goutteur 4
Rampe 1	2,34	2,28	2,22	2,16
Rampe 2	2,28	2,1	1,98	1,92
Rampe 3	2,1	2,04	1,92	1,86
Rampe 4	1,92	1,86	1,74	1,68

(Calculs préliminaires, annexe)

Les débits aux niveaux des goutteurs varie entre 2,34 l/h et 1,86 l/h, avec une moyenne totale de 2,025 l/h, avec 200 goutteurs par rampe de 30m et 32 rampes en total dans la parcelle, nous avons un débit total de 12.96 m³/h c'est-à-dire il apporte 10,8 mm/h, qui représente 48% de la RU.

Après les calculs préliminaires du Coefficient d'Uniformité (annexe), nous avons trouvé un CU de 91,76 % ce dernier se trouve dans la case des CU excellente uniformité.

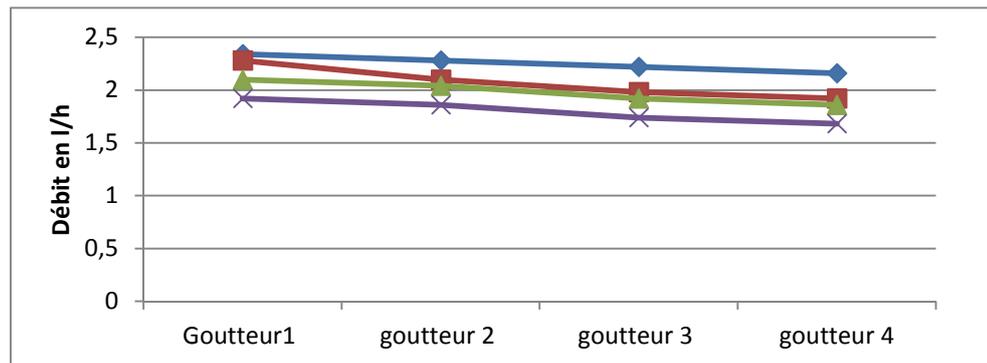


Figure 32 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs

La figure ci-dessus montre une chute de pression en s'éloignant de la source d'eau avec une chute remarquable de pression le long de la dernière rampe (la plus éloignée de la source).

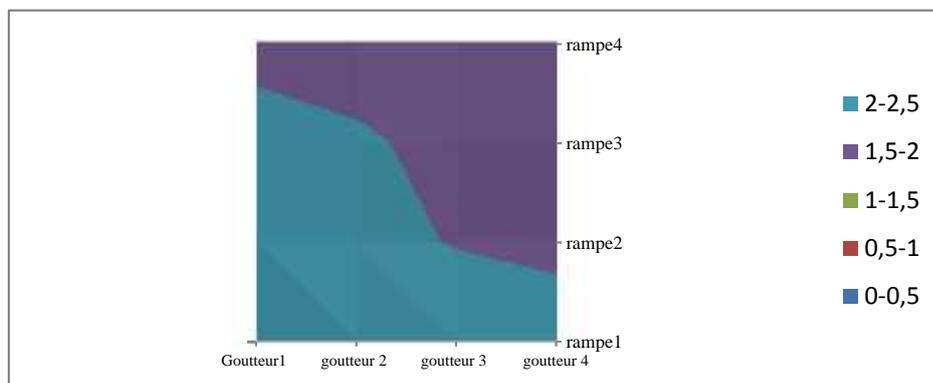


Figure 33 : Variation des débits dans la parcelle en (l/h)

La figure n° 33 confirme notre interprétation de la figure précédente qui est la diminution de débit du début de la première rampe jusqu'à la fin de la dernière rampe.

3.6. Parcelle n° 6 (Piment, irrigation par goutte à goutte)

Cette parcelle se trouve loin de l'oued de 30 m sur 20 m, cette parcelle est irriguée par le goutte à goutte, l'agriculteur l'irrigue pendant 1 heures chaque 2 jours avec un débit de 1,72 l/h. Les valeurs sont données par le tableau ci-après :

Tableau 11 : Réserve utile et la réserve facilement utilisable (parcelle n° 6)

Profondeur racinaire (m)	RU (mm)	RFU (mm)
0,09	14.2	9.3

(Calculs préliminaires, annexe)

La figure suivante montre le protocole de mesure pour la parcelle n°6:

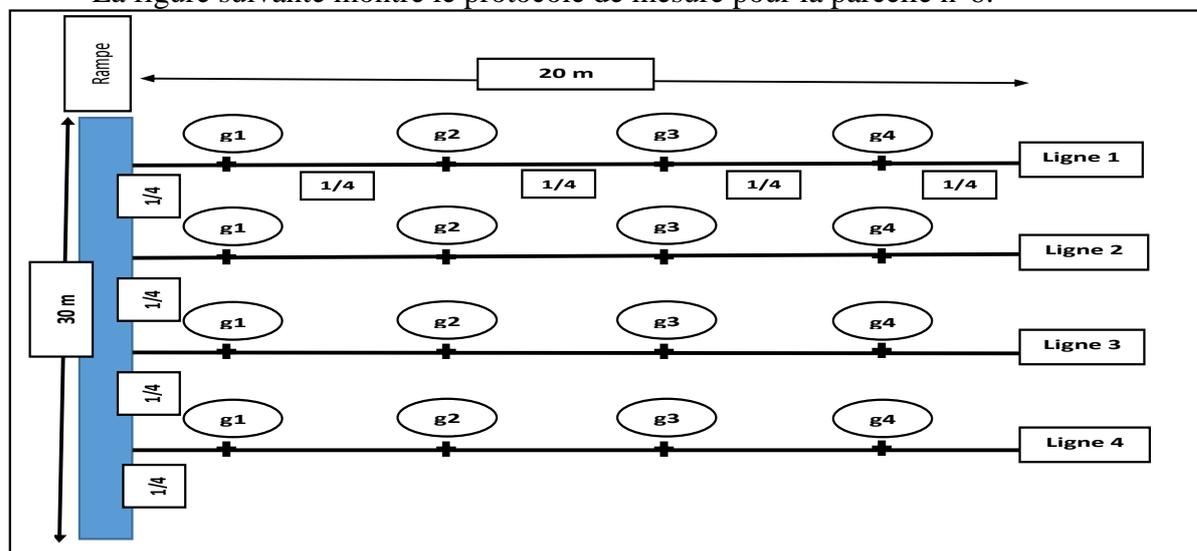


Figure 34 : Protocole expérimental (parcelle n°6)

Nous avons effectué les mesures des débits en eau aux points mentionnés dans la figure ci-dessus. Le tableau suivant donne les débits moyens des goutteurs pour les différentes rampes en (l/h) :

Tableau 12 : Débits moyens des goutteurs (l/h) (parcelle n° 6)

	Goutteur 1	Goutteur 2	Goutteur 3	Goutteur 4
Rampe 1	2,1	2,04	1,92	1,8
Rampe 2	1,92	1,86	1,74	1,68
Rampe 3	1,8	1,68	1,62	1,5
Rampe 4	1,62	1,56	1,38	1,26

Les débits aux niveaux des goutteurs varie entre 2,1 l/h et 1,26 l/h, avec une moyenne totale de 1,72 l/h, avec 135 goutteurs par rampe de 20m et 24 rampes en total dans la parcelle, nous avons un débit total de 5.57 m³/h c'est-à-dire il apporte 9,28 mm/h, qui représente 65.40 % de la RU.

Après les calculs préliminaires du Coefficient d'Uniformité (annexe), nous avons trouvé un CU de 89,54 % ce dernier se trouve dans la case des CU satisfaisante.

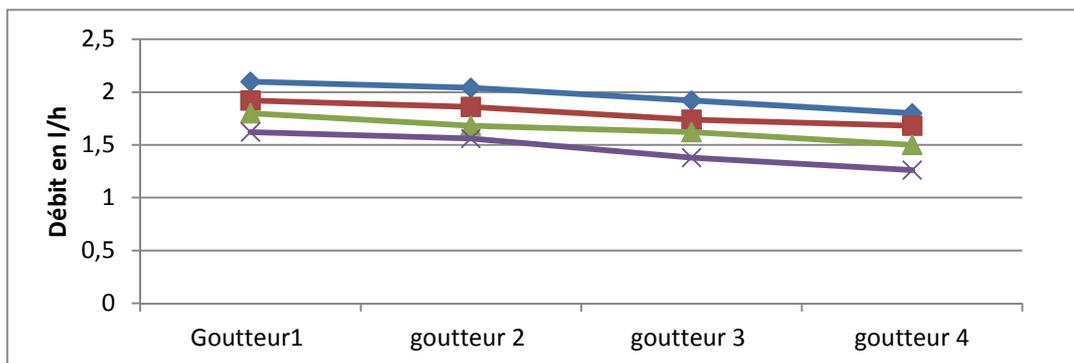


Figure 35 : Variation du débit le long de la rampe porte goutteurs

La figure ci-dessus montre une chute de pression en s'éloignant de la source d'eau avec une chute remarquable de pression le long de la dernière rampe (la plus éloignée de la source).

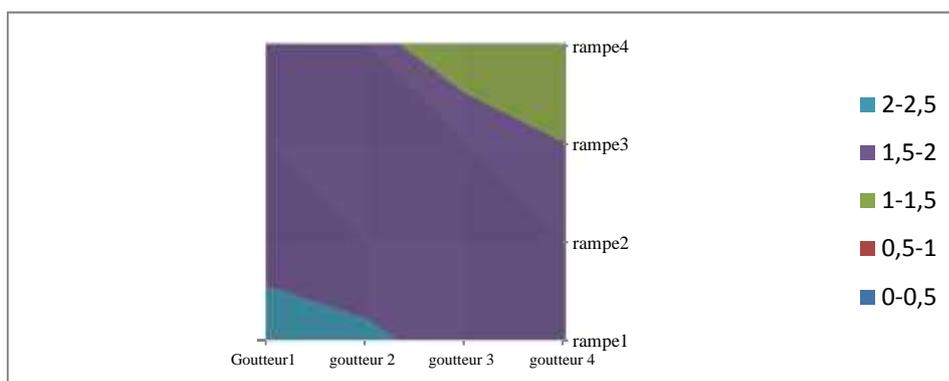


Figure 36 : Variation des débits dans la parcelle (l/h)

La figure n° 36 confirme notre interprétation de la figure précédente qui est la diminution de débit du début de la première rampe jusqu'à la fin de la dernière rampe.

Discussion

L'objectif de notre travail est (1) d'élaborer une typologie des exploitations agricoles de la région d'Elhamadia, (2) d'analyser les niveaux des performances des systèmes d'irrigation dans une PMH dans la région de d'Elhamadia et (3) de comprendre les flux du savoir-faire et les connaissances autour de la technique d'irrigation goutte à goutte et son évolution.

- Typologie des exploitations agricoles

Une enquête exhaustive qui a été faite pour faire une distinction et une typologie entre les exploitations. Malgré l'homogénéité de la plus part des paramètres (les exploitations ne sont pas éloignées elles), nous avons les classé sous quatre catégories : Leurs superficies, leurs situation géographique, l'éloignement par rapport à l'oued et le statut administratif. Ces quatre catégories sont :

- a. Exploitations à côté de l'oued : Elles sont petites avec un bon accès à l'eau souterraine,
- b. Une EAC : Elle a une grande superficie et un bon accès à l'eau,
- c. Une EAI : Elle est de grande superficie avec un faible accès à l'eau,
- d. Exploitations loin de l'oued : Elles sont petites avec un bon accès à l'eau.

- Performances hydrauliques des systèmes d'irrigation (goutte à goutte)

Nous avons constaté selon le coefficient d'uniformité que la performance de la technique d'irrigation goutte à goutte est satisfaisante voir excellente. Les simples agriculteurs au voisinage, qui pratiquent généralement des cultures vivrières sur de petites superficies, seront automatiquement attirés par ce niveau de maîtrise de cette technique d'irrigation. Surtout s'ils utilisent des gaines goutte à goutte neuves chaque saison, admettant que la quasi-totalité des sources d'eau sont des forages avec un débit important et une bonne pression, ce qui implique une bonne circulation d'eau dans le réseau d'irrigation donc un niveau élevé du coefficient d'uniformité. Les faibles niveaux de ce coefficient sont dus généralement à des problèmes de colmatage ou des pressions faibles en tête du réseau d'irrigation.

- Comparaison entre les doses d'irrigation des différents agriculteurs.

La dose d'irrigation apportée est presque semblable pour les parcelles 5 et 6. Elle s'étale d'une heure par trois jours d'1 à 4 litres par heure et par deux jours. Nous avons

remarqué des différences entre l'uniformité des différents types d'exploitation de telle sorte que la parcelle numéro 1, 2 et 5 ont des coefficients d'uniformités excellents par rapport aux autres parcelles, mais cette différence n'est pas assez importante. Nous constatons que la superficie irriguée avec la pression jouent un rôle très important dans l'uniformité d'irrigation. Plus la pression est importante et la superficie parcellaire est réduite, plus l'uniformité est importante. La parcelle numéro 3 qui est une EAC et qui pratique des techniques modernes tout en restant en contact permanent avec les institutions agricoles, nous trouvons que leur coefficient d'uniformité est satisfaisant et le moins important malgré la grande superficie (1 ha) par rapport aux autres parcelles (0.06 et 0.28 ha).

- Le réseau des connaissances

La fiabilité de ce système d'irrigation moderne et économique se traduit par le bon contact entre les agriculteurs à l'esprit de savoir-faire chez les agriculteurs de cette région. Auparavant, l'agriculteur cherche lui-même l'information tout en enregistrant des échecs. Actuellement, c'est l'administration elle-même qui se rapproche et qui cherche à trouver des agriculteurs. Il y a une organisation permanente dans chaque opportunité des journées de vulgarisation par les ingénieurs de la direction des services agricole (DSA), l'organisation des journées de démonstration (techniques agricoles, l'irrigation, ..., etc.) en présence du personnel des institutions techniques (ITGC, DSA, ITMAS, fournisseurs des produits et des équipements agricoles).

Conclusion

Conclusion

La rareté ou l'inexistence des ressources hydriques superficielles des oueds et des sources à cause de la sécheresse des dernières années, a poussé nos agriculteurs de changer leurs comportement vis-à-vis l'irrigation traditionnelle « Seguia », qui apporte une très grande quantité d'eau tout en enregistrant un gaspillage d'eau pour irriguer de très petites parcelles, vers des pratiques et des techniques d'irrigation moderne et économique fondés sur l'irrigation d'un maximum de superficie avec le minimum de quantité d'eau.

Nous avons constaté sur le terrain des niveaux de performances élevés, allant de 84.76% à 92.38 % des paramètres techniques comme le coefficient d'uniformité. Ce niveau de performance est justifié par le flux rapide des connaissances (réseau du savoir-faire) à travers peut être les réseaux sociaux que nous avons senti à travers nos enquêtes avec les agriculteurs.

Les agriculteurs d'aujourd'hui font plus de confiance aux ingénieurs des firmes privés. Ces derniers proposent le conseil technique comme une stratégie de marketing et pour généraliser la culture de pratiquer des techniques modernes d'irrigation chez les agriculteurs. Leurs stratégie est basée sur la réunion de tous les établissements pour faire des essais de démonstration (ITGC) et faire des expérimentations de fin d'études par les universitaires ; lorsque l'agriculteur trouve des résultats positifs et concrètes, il sera par le temps convaincu et confiant à la science et aux scientifiques.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

Amara N. et Robert R. (2000). Mesure de l'efficacité technique : Revue de la littérature, Série Recherche SR.00.07, Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation, Université Laval, Québec. p 11.

Ashraf M. et Bashir A. (2003). Relationship of photosynthetic capacity at the vegetative stage and during grain development with grain yield of two hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in yield. *European Journal of Agronomy*. **19**: 277-287.

Belder P., Spiertz J.H.J. et Tuong T.P. (2004). Nitrogen economy and water productivity of lowland rice under water-saving irrigation. *Field Crops Research*. **93** (2-3): 169-185.

Bensaoucha A. et Naouri M. (2010). Etude de la reconversion subventionnée et non-subventionnée en irrigation localisée dans le Gharb : démarches adoptées et performances hydrauliques. Mémoire de Master. 15p.

Bhourikhila S., Douh B., Mguidiche A. et Boujelben A. (2015). Synthèse des principaux indicateurs de performance des systèmes d'irrigation. Mémoire de master. Pp 267-268.

Blancard S. et Boussemart J.P. (2006). Productivité agricole et rattrapage technologique : le cas des exploitations de grandes cultures du Nord-Pas-de-Calais. *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, **80**: 6-28.

Booher L.J. (1974). L'irrigation de surface. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. FAO, Rome. Pp 9-10.

Bos M.G. et Nugteren J. (1990). On irrigation efficiencies. International institute for land reclamation and improvement (IILRI), Wageningen. Pub 19, Ed 4, 117 p.

Boulahia A. (2016). L'eau d'irrigation en Algérie. Mémoire de master. p 1-2.

Bravo-Ureta B.E. et Pinheiro A.E. (1997). Technical, economic and allocative efficiency in peasant farming : Evidence from the Dominican Republic. *Cahiers d'économie et sociologie rurale*. **44**: 29-59.

Brossier J. (2007). Apport des théories sur l'exploitation agricole dans une perspective de gestion. Dans *Exploitation agricoles familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre*, Quae. Pp 87-101.

Brouwer C. (1990). Gestion des eaux en irrigation : Méthodes d'irrigation. Manuelle de formation **5**: 2-5.

Cemagref (1992). Guide pratique d'irrigation, Editions France Agricole, 2ème édition.

Chend X.C. et Oughenour M.B. (2004). Photosynthesis, transpiration and primary productivity: Scaling up from leaves to canopies and regions using process models and remotely sensed data. *Global Biogeochem*. **18** (4033): 1-15.

- Christian P. (2012).** Typologie des systèmes d'irrigation en Algérie. Annexe tirée à partir du rapport "Evaluation de la demande en eau agricole et de ses besoins estimatifs". Pp 7-9.
- Christiansen J.E. (1942).** Irrigation by Sprinkling California Agricultural Experiment Station. Bulletin N° 670. Berkeley.
- Clemmens A.J., Dedrick A.R. Clyma W. et Ware R.E. (2000).** On-farm system performance in the Maricopa-Stanfield Irrigation and Drainage District area. *Irrigation and Drainage Systems*. **14**: 93-120.
- Condon A.G., Richards R.A., Rebetzke G.J et Farquhar G.D. (2002).** Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Science*. **42**: 122– 131.
- Condon A.G. et Richards R.A. Rebetzke G.J et Farquhar G.D. (2004).** Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*. **55**: 2447–2460.
- Cooper P.J., Gregory D. et Tully H.C. (1987).** Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa *Experimental Agriculture*, **23**: 113-158.
- Doorenbos J. et Kassam (1979).** Is water productivity a useful concept in agricultural water management? *Agricultural Water Management*. **84**: 265-273.
- Doorenbos J. et Pruitt W.O. (1997).** La petite irrigation dans les zones arides Principes et options. Collection FAO: développement. Rome.
- Du T., Kang S., Sun J., Zhang X. et Zhang J. (2010).** An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. *Agricultural Water Management*. **97**: 66-74.
- Edkins R. (2006).** Irrigation Efficiency Gaps – Review and Stock Take. Report No L05264/2, *Aqualinc Research Limited*, 265p.
- Farahani H., Peterson G., Westfall D., Sherrod L. et Ahuja L. (1998).** Soil water storage in dry land cropping systems: the significance of cropping intensification. **62**: 984-991.
- Farrell M.J. (1957).** The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*. Serie A, 120p.
- Buyse J. et Huylenbroeck G.V. (2009).** Water use and technical efficiencies in horticultural greenhouses in Tunisia. *Agricultural Water Management*. **96**: 1509-1516.
- Hamdy A. (2005).** Technical interventions to improve water use efficiency in irrigated agriculture. Water Use Efficiency and Water Productivity. *Cahier Options méditerranéennes*, Series B, pp 57, 63 et 70.
- Howell T.A. (2003).** Irrigation efficiency. In: Stewart B. and Howell T. (eds.) *Encyclopedia of Water Science*, Marcel-Dekker, Inc. Pp 467-472.

Hsiao TC. (1993). Effects of drought and elevated CO₂ on plant water use efficiency and productivity. In Jackson, M.D. and Black, C.R. (eds). *Interacting Stresses on Plants in a Changing Climate. Global Environmental Change*. NATO ASI Series. Springer-Verlag, New York, 264p.

Hsiao T. (2005). Systematic approach to the improvement of agricultural water use efficiency. *Cahier Options méditerranéennes*, Series B, n°57. Water Use Efficiency and Water Productivity. pp 51-58.

Hsiao T., Steduto P. et Fereres E. (2007). A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science*. **25**: 209-231.

Irmak S., Odhiambo L.O., Kranz W.L. et Eisenhauer D.E. (2011). Irrigation efficiency and uniformity and crop water use efficiency. Institute of Agriculture and Natural Resources at the University of Nebraska Lincoln. 732p.

Israelsen O.W. (1932). *Irrigation Principles and Practices* (1st Edition). John Wiley, New York. 265p.

Jacques G. et Jean-Marc D. (2013). Efficience hydraulique et énergétique : les nouveaux critères de performances pour les systèmes d'irrigation du futur. *Sciences Eaux & Territoires*. **11**: 30-34.

Katerji N. et Bethenod O. (1997). Comparaison du comportement hydrique et de la capacité photosynthétique du maïs et du tournesol en condition de contrainte hydrique. Conclusions sur l'efficience de l'eau. *Agronomie* **17**: 17-24.

Katerji N., Mastrorilli M. et Cherni H.E. (2010). Effects of corn deficit irrigation and soil properties on water use efficiency. A 25-year analysis of a Mediterranean environment using the STICS model. *European Journal of Agronomy*. **32**: 177-185.

Kay M. (1983). *Sprinkler Irrigation: Equipment and Practice*. Batsford London.

Kuper M., Bouarfa S., Errahj M., Fayesse N., Hammani A., Hartani T., Marlet S., Zaïri A., Bahri A., Debbarh A., Garin P., Jamin J.Y. et Vincent B. (2009). A crop needs more than a drop: towards a new praxis in irrigation management in North Africa. *Irrigation and Drainage*. **58**: Pp231-239.

Latiri K. (2000). Conditions climatiques, production et fertilisation azotée. In: Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (Eds.), *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New challenges. Options Méditerranéennes CIHEAM*, **40**(A): 591-593.

Pereira L.S. (2005). Relating Water Productivity and Crop Evapotranspiration. *Options méditerranéennes*, Series B, n°57 Water Use Efficiency and Water Productivity. Proceedings of 4th WASAMED Workshop. Edited by: Nicola Lamaddalena, Muhammad Shatanawi, Mladen Todorovic, Claudio Bogliotti, Rossella Albrizio.

Pereira L.S., Cordery I. et Iacovides I. (2011). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agric. Water Management*. 8-9.

Piot-Lepetit P. et Rainelli P. (1996). Détermination des marges de manœuvre des élevages à partir de la mesure des inefficacités, INRA Unité d'Economie et Sociologie Rurales. Politique et de l'impôt, Flammarion, Paris, 508p.

Rinaldi M. et Ubaldo R. (2007). Spatial simulation of water use efficiency in a Mediterranean environment. In Lamaddalena.

Ritchie J.T. (1983). Efficient water use in crop production: generality of relations between biomass production and evapotranspiration. In: Taylor, H.M., Jordan, W.R. and Sinclair, T.R., eds, Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. *American Society of Agronomy*. Madison, 268p.

Sabatier J.L., Ruf T. et Le Goulven P. (1991). Dynamiques des systèmes agraires irrigués anciens: représentations synchroniques et diachroniques. L'exemple d'Urcuquien Equateur. *Les Cahiers de la Recherche Développement*. **29**: 30-43.

Sakthivadivel R., De Fraiture C., Modeln D.J., Perry C. et Kloezen W. (1999). Indicators of land and water productivity in irrigated agriculture. *International Journal of Water Resources Development*. **15**: 161-179.

Sarmap B.S. et Rao V.V. (1997). Evaluation of an irrigation water management scheme case study. *Agricultural Water Management*. **32**: 181-195.

Soutter M., Mermoud A. et Musy A. (2007). Ingénierie des eaux et du sol. Processus et aménagements. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 265p.

Steduto P., Katerji N., Puertos-Molina H., Unlu M., Mastrorilli M. et Rana G. (1997). Water-use efficiency of sweet sorghum under water stress conditions. Gas exchange investigations at leaf and canopy scales. *Field Crops Research*. **54**: 221-234.

Vermeiren L. et Jobling G.A. (1980). L'irrigation localisée : calcul, mise en place, exploitation, contrôle et fonctionnement. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N°36, FAO, Rome.

Viets F.G. (1962). Fertilizers and the efficient use of water. *Adv. Agron.* **14**: 223-264.

Woodward F.I. (1993). Plant responses to past concentrations of CO₂, Pp104-155.

Zwart S.J. et Bastiaanssen W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. *Agricultural Water Management*. 272p.