

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE -ARBAOUI ABDALLAH-

DEPARTEMENT D'IRRIGATION ET DRAINAGE

MEMOIRE DE MASTER

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option: IRRIGATION ET DRAINAGE

THEME DU PROJET :

**ÉTUDE ET DEVELOPPEMENT DE
L'IRRIGATION SOUTERRAINE EN ALGERIE**

PRESENTÉ PAR :

AOUATA Ibrahim

Devant les membres du jury

Noms et Prénoms	Grade	Qualité
M ^r MEDDI Mohamed	Professeur	Président
M ^r RASSOUL Abdelaziz	M.C.B	Examineur
M ^{me} AZIEZ Wahiba	M.A.A	Examinatrice
M ^r YAHIAOUI Samir	M.A.B	Examineur
Mr BENKACI TARIK	M.C.B	Promoteur

Jan - 2015

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à toute ma famille, mon père ALI, ma mère SIHEM, Mon frère ABDALLAH et ma sœur ROKIYA et toute la famille de Aouata .

Je le dédie particulièrement à mes tantes CHEFIA et SAMEH

Je dédie également ce travail à tous mes amis avec qui j'ai partagé beaucoup de souvenirs inoubliables : yasser , driss , zaki, chemeddine, fayçel, wafa, zahra, safia, hadjer, naffisa, badri, chiheb safia , alla, morad et fathi.

Qu'ils trouvent à travers ce travail ma sincère reconnaissance.

Remerciements

Avant tout, je remercie le bon Dieu qui a illuminé mon chemin et qui m'a donné la force, ainsi que la bonne volonté pour achever le cursus universitaire et ce modeste travail.

Je tiens à remercier chaleureusement, Mon promoteur Monsieur TARIK BENKACI qui a bien voulu m'encadrer durant ce mémoire de master, et qui a assuré la direction et l'orientation scientifique de ce travail. Je lui exprime mes vifs remerciements et ma sincère gratitude.

Enfin, mes derniers remerciements mais non les moindres s'adressent à tout le corps enseignant et le personnel de l'E.N.S.H, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ma formation.

تعتبر الموارد المائية بالمناطق الجافة و شبه الجافة نادر و ذات نوعية متدنية حيث أن استمرارية الإنتاج الزراعي و الأمن الغذائي يعتمد على المحافظة عليها ولذلك يجب علينا تسيير هذه الموارد المستعملة عقلانيا في السقي. إلا أن معظم التقنيات المستعملة حاليا هي تقنيات سطح مما تؤدي إلى ضياع كميات كبيرة من الماء عن طريق تبخر المياه و تسربها إلى جوف الأرض.

الهدف من دراستنا هو عرض تقنيات السقي بالتقطير تحت الارض ثم مقارنة تقنية السقي قطرة قطرة المدفونة تحت سطح الارض مع تقنية السقي قطرة قطرة فوق سطح الارض من حيث اقتصاد مياه السقي و المردودية

Résumé

Ressources en eau dans les régions arides et semi-arides est rare. L'assurance d'une production agricole est d'autant plus difficile quand l'eau est non disponible doivent être optimisées et bien gérées en particulier en irrigation.

Cependant la majorité des techniques utilisées en irrigation sont des techniques de surface qui présentent beaucoup de pertes d'eau en raison de la percolation de l'eau en profondeur et l'évaporation de l'eau.

Le but de cette étude est de présenter les techniques d'irrigation enterrées beaucoup plus efficaces, et faire une comparaison entre l'irrigation en goutte à goutte localisée et l'irrigation enterrée en termes d'économie d'eau d'irrigation et de rentabilité.

Abstract

In arid and semi-arid area as the continuity of the safety of food and agriculture water resources are scarce and of poorer quality when the continuity of the food security of the country and the sustainability of agricultural production depends on the conservation of water resources and the management of the water used for irrigation. However, the majority of the techniques used in irrigation are currently surface techniques and have many water losses due to water seepage and evaporation. The main objective of the study is to present micro-irrigation techniques, and make a comparison between located drip irrigation and buried drip irrigation in terms of water conservation and efficiency in irrigation.

SOMMAIRE

Introduction générale	1
-----------------------------	---

CHAPITRE I : L'eau dans le sol

I.1-Introduction.....	2
I.2-Définition d'un sol.....	2
I.3-Composition et structure de	3
I.3.1- compositions.....	3
I.4-Structure du sol.....	4
I.4.1- Différentes structure de sol.....	5
I.6-Micro pore.....	5
I.7- L'eau dans le sol.....	6
I.7.1-Définition potentiel de l'eau.....	7
I.7.2-BILAN HYDRIQUE DU SOL.....	8
I.7.3-La circulation de l'Eau dans le sol.....	9
I.8-L'infiltration.....	9
I.8.1-Les différents modèles d'estimation de l'infiltration.....	10
I.8.1.1-Calcul de l'infiltration par le modèle de Horton.....	10
I.8.1.4-Les modèles de « Green et Ampt » et de « Smith et Parlange »	11
Conclusion	12

CHAPITRE II : Les techniques d'irrigation

II.1-Introduction : Provenance de l'eau d'irrigation.....	13
II.2-L'irrigation dans le monde.....	13
II.3- Importance de l'irrigation.....	14
II.4-Insuffisance des ressources en eau.....	16

SOMMAIRE

II.5- La nécessité d'augmenter les rendements	17
II.6-Techniques d'irrigation.....	18
II.6.1-L'irrigation gravitaire.....	19
II.6.1.1- L'irrigation par planche.....	19
II.6.1.2-L'irrigation par bassin	19
II.6.1.3-Irrigation par rigole.....	19
II.6.1.4-Irrigation par siphon.....	20
II.6.1.5-Irrigation par rampe à vannettes.....	21
II.6.1.6-Irrigation par gaine souple.....	21
II.6.2-L'irrigation par aspersion.....	22
II.6.2.1-Aspersion traditionnelle.....	24
II.6.2.2-Les installations mobiles.....	24
II.6.2.3-Les installations semi-mobiles.....	24
II.6.2.4-Les installations permanentes	25
II.6.2.5-Les installations temporaires.....	25
II.6.2.6-Aspersion mécanisée.....	26
II.6.2.7-Les enrouleurs.....	26
II.6.2.8-L'irrigation localisée (goutte à goutte)	26
II.6.2.8.1-Composition d'une installation goutte à goutte.....	27
II.6.2.8.2-Différents types de distributeurs.....	29
II.7-Nécessité de l'irrigation goutte à goutte.....	29
Conclusion.....	30

CHAPITRE III : L'irrigation souterraine : approche théorique

III.1 Introduction.....	31
III.2- Définition.....	31
III.3 Techniques d'irrigation souterraine.....	32
III.3.1- Techniques d'irrigation par pot en argile enterré.....	32
III.3.1.1- Principes Matériel et méthodes.....	32
III.3.2- Techniques d'irrigation par mèche.....	33
III.3.2.1- Principes Matériel et méthodes.....	34
III.3.3- Techniques d'irrigation par tuyau en profondeur.....	34

SOMMAIRE

III.3.3.1- Principes Matériel et méthodes.....	34
III.3.5- Techniques d'irrigation par tuyaux poreux.....	35
III.3.5.1- Principes Matériel et méthodes.....	35
III.3.6 Irrigation souterraine par contrôle des nappes phréatiques.....	36
III.3.7- diffuseur enterré.....	38
III.3.7.1 Les diffuseurs pour arbres et arbustes fruitiers, forestiers et ornementaux.....	38
III.3.7.2 Les diffuseurs réservoirs pour plantes ornementales dans des pots.....	38
III.3.7.3 Les diffuseurs pour cultures maraîchères en plein champ ou sous abris serre.....	39
III.3.7.4- Caractéristiques du diffuseur enterré.....	39
Conclusion.....	42

CHAPITRE IV : Le système du goutte à goutte enterré

IV.1 Introduction	43
IV.2- Techniques d'irrigation par goutte à goutte souterrain.....	43
IV.2.1- Principes Matériel et méthodes.....	43
IV.2.2- La technique d'irrigation goutte à goutte enterré présente les avantages et les inconvenients suivants (Reich, 2009).....	46
IV.3- Résultats issus d'expérimentations.....	49
IV.3.1- Parcelle expérimentale de SDI.....	49
IV.3.2- Résultats.....	51
IV.4- Etude comparative entre le système goutte à goutte de surface et le système enterre Pour l'irrigation d'une culture de pomme de terre	54
IV.4.1- Dispositif expérimental	54
IV.4.2- Résultats et discussions	55
IV.4.3- Rendements	57
IV.4.3.1- Rendement par plante	57
IV.4.3.2- Productions totales et commercialisables	58
IV.4.3.3- Efficience de l'irrigation	60
IV.5- Perspectives de l'irrigation enterrée en Algérie : un outil d'irrigation en zones arides..	61
Conclusion.....	62

Conclusion générale

Bibliographie

Chapitre I : l'eau dans le sol

Tableau I -1 : Bilan hydrique du sol en France.....8

Chapitre II : Les techniques d'irrigation

Tableau II-1 Chiffres extraits du CNRS. Cycle de l'eau et réservoir.....18

CHAPITRE IV : Etude du système du goutte à goutte enterré

Tableau IV-1 Productivité de l'eau d'irrigation (WPI) mesurée au centre Irstea de
Montpellier sur du maïs en sol limoneux.....53

Tableau IV-2. Description des traitements54

Tableau IV-3 Caractéristiques physiques du sol56

Tableau IV-4. Diamètre et longueur de la tige à la fin du cycle cultural56

Tableau IV-5 Rendement par plante57

Tableau IV-6 Rendements total et commercialisable58

Tableau IV-7 Rendement par calibre58

Tableau IV-8 Efficience de l'irrigation59

Tableau IV-9 Productivité et marge brute de l'eau59

Chapitre I : l'eau dans le sol

Figure I.1 Figure I-1 Les couches du sol.....	3
Figure I-2 Schéma d'un profil de sol.....	4
Figure I-3 Structure de sol	5
Figure I-4: teneur en eau dans le sol et le sous-sol.....	7

Chapitre II : Les techniques d'irrigation

Figure II-1 Les systèmes d'irrigation.....	20
Figure II-2 Irrigation par planche.....	21
Figure II-3 Irrigation par bassins.....	21
Figure II-4 L'irrigation par rigole	22
Figure II-5 Alimentation des sillons par siphons.....	23
Figure II-6 Irrigation par rampe à vannettes.....	23
Figure II-7 Irrigation par gaine souple.....	24
Figure II-8 Schéma type d'un réseau d'irrigation par aspersion.....	25
Figure II-9 Pivots, rampes frontales.....	27
Figure II-10 Enrouleurs Utilisation et entretien du système de pompage.....	27
Figure. II.11 : Système d'irrigation localisée.....	28
Figure II.12: Dilueur d'engrais.....	29
Figure II.13: Filtre à gravier.....	30

CHAPITRE III : L'irrigation souterraine : approche théorique

Figure. III.1 : Forme du mouillage du sol autour d'un vase d'argile poreux enfoui entre deux rangées de cultures (source FAO, 1997)33

Figure III.2 : Photo représentative de l'irrigation par mèche avec un pot en argile enterré35

Figure III.3 Dessin représentatif de l'irrigation par tuyau en profondeur Source.....36

FigureIII.4 : Dessin représentatif de l'irrigation par tuyaux poreux Source.....37

Figure III.5 : Elévation ou abaissement de la nappe phréatique pour l'irrigation souterraine, en contrôlant le niveau de l'eau dans des fossés parallèles.....38

Figure III.6 diffuseur 15cm/30cm source (chahbani technologies, 2013).....39

Figure III.7 diffuseur pour maraichage (chahbani technologies,2013).....40

CHAPITRE IV : Etude du système du goutte à goutte enterré

Figure IV.1 Exemple d'une installation du goutte à goutte enterré.....45

Figure IV.2: Dessin schématique de réseau d'irrigation du goutte à goutte enterré Source (Reich, 2009).....46

Figure IV-3 Dispositif goutte à goutte enterré ou SDI (*Subsurface drip irrigation*) en place et goutteur d'une gaine souple en fonctionnement.....48

Figure IV-4 Parcelle expérimentale de SDI.....50

Figure IV-5S schéma du dispositif expérimental : pour toute la parcelle(a)et au niveau du bloc(b)..... 55

Introduction générale

Le recours à l'irrigation est dans bien des cas nécessaire pour garantir le maintien d'un niveau de production suffisant dans de nombreuses régions du monde, et pour rentabiliser l'investissement consenti afin de se prémunir contre les aléas climatiques et sécuriser la production.

On distingue essentiellement les modes d'irrigation de surface, par aspersion et localisée. Les deux premiers modes d'irrigation, de surface et par aspersion, représentent les méthodes classiques d'irrigation.

A l'heure actuelle, l'irrigation de surface est de loin la technique la plus courante, et elle est en particulier très utilisée par les petits exploitants, puisqu'elle ne fait pas appel à des équipements hydrauliques complexes de gestion et d'entretien compliqués. C'est pour cette raison que l'irrigation de surface sera vraisemblablement encore la technique dominante en 2030, même si elle gaspille l'eau et est responsable d'une grande partie de l'engorgement et de la salinisation des sols. **(FAO 2002).**

L'irrigation goutte à goutte est un des exemples de systèmes d'irrigation localisée qui relèvent de méthodes d'irrigation de plus en plus répandues grâce auxquelles l'efficacité de l'eau est portée au maximum puisqu'elle n'est appliquée qu'aux endroits où elle est nécessaire, l'eau n'est donc que très peu gaspillée. **(FAO 2002).**

Mais il n'y a pas que la technologie; des méthodes comme la petite irrigation et l'utilisation des eaux usées d'origine urbaine sont aussi prometteuses que l'évolution des technologies d'irrigation pour augmenter la productivité de l'eau. **(FAO 2002).**

L'irrigation localisée, système réputé pour être économique en eau, se développe à la faveur de subventions conséquentes accordées aux agriculteurs par l'état. Cependant, en raison d'une mauvaise maîtrise et de contraintes locales, les doses et leur variabilité au sein de la parcelle s'avèrent parfois ut élevées selon les enquêtes et le suivi effectuée chez des agriculteurs. L'irrigation goutte à goutte souterraine est une forme de l'irrigation localisée qui distribuent l'eau aux plantes directement dans les racines. Elle consiste à placer les conduites sous la surface du sol, à une profondeur qui dépend de la nature du sol et du développement du système racinaire de la plante. **(FAO 2002).**

L'objectif de ce mémoire est de présenter les techniques de l'irrigation souterraines, et d'établir une comparaison entre l'irrigation en goutte à goutte localisée et le goutte à goutte enterré en termes d'économie d'eau d'irrigation et de rentabilité, en particulier en zone aride et semi-aride.

CHAPITRE I :

l'eau dans le sol

Chapitre I : l'eau dans le sol

I.1-Introduction

L'eau dans le sol ne représente qu'une infime part de l'eau douce (0.1%), mais à l'instar de la vapeur d'eau, elle-même fraction infime dans l'atmosphère et néanmoins fondamentale pour le cycle de l'eau. Il est indispensable pour la continuité du cycle hydrologique; à la fois par l'intermédiaire de l'évapotranspiration (plantes et surface des sols) et en entretenant l'approvisionnement des nappes phréatiques et des aquifères.

Toute l'eau dans le sol n'est pas pareillement ou totalement disponible pour les plantes ou pour les aquifères. En effet, l'eau entretient avec les différents matériaux composant les sols, des relations particulières qui la rendent plus ou moins durablement indisponible.

I.2-Définition d'un sol

Le sol provient en général de l'altération de la roche mère sous-jacente, appelée sous-sol. La pédologie décrit les différents types de sols ainsi formés, en distinguant la couche arable et le sol sous-jacent.

L'agriculteur travaille la couche arable, plus riche en matières organiques. L'horizon sous-jacent, entre la couche arable et la roche mère, contribue aussi à la nutrition de la plante en éléments minéraux et en eau. L'agronomie s'intéresse à ces deux horizons à travers le profil cultural. **(BabaAhmed,2012)**

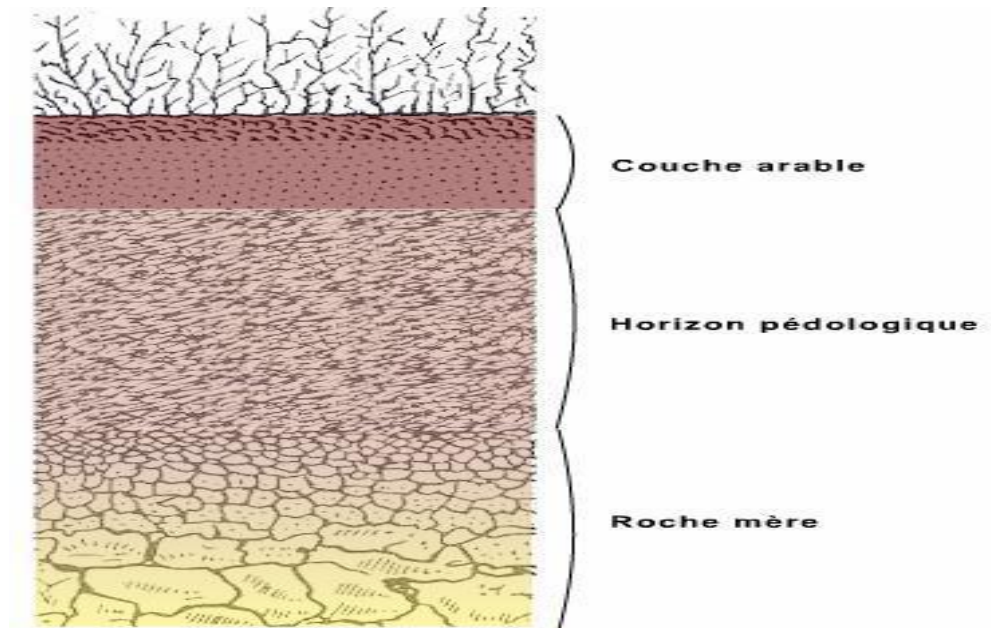


Figure I-1 Les couches du sol (Baba Ahmed,2012)

I.3-Composition du sol

Le sol est composé de :

1. Végétation:

En surface, la litière constituée des feuilles mortes encore identifiables avec beaucoup d'air, abritent plantes et animaux vivants.

2. L'humus

Une terre noire et souple, riche en matières organiques. L'humus désigne la matière issue de la décomposition de matières organiques brutes comme les feuilles, les branches et les tontes de gazon qui s'accumulent à la surface du sol. Cette décomposition réalisée par les organismes du sol rend au sol des nutriments vitaux que les végétaux peuvent utiliser.

3. La couche arable :

La couche dite arable que l'homme peut travailler : mélange riche en humus et en minéraux.

4. Le sous sol :

Généralement pauvre en humus, avec peu de traces de vie.

5. La roche mère

100% minérale, sans air, sans vie



Figure I-2 Schéma d'un profil de sol (image Google)

I.4-Structure du sol

La structure d'un sol fait référence à la façon dont les particules de sable, de limon et d'argile sont disposées les unes par rapport aux autres.

Dans un sol bien structuré, les particules de sable et de limon sont liées en agrégats (petites mottes) par l'argile, l'humus et le calcium.

Les grands espaces vides entre les agrégats (micropores) permettent à l'eau et à l'air de circuler et aux racines de s'enfoncer dans le sol. Les petits espaces vides (micropores) retiennent quant à eux l'eau dont les plantes ont besoin. Cette structure « idéale » est appelée structure grumeleuse.

La structure grumeleuse comporte de nombreux avantages :

- ✓ Une bonne rétention de l'eau et des éléments nutritifs,
- ✓ Un bon drainage,
- ✓ Une bonne aération,
- ✓ Un bon développement du système racinaire des végétaux,
- ✓ Un travail facile du sol,

- ✓ Un réchauffement rapide du sol au printemps,
- ✓ Une bonne activité biologique du sol,
- ✓ Une bonne résistance à l'érosion et à la compaction.

Les sols argileux, sableux et limoneux présentent rarement une structure idéale. On peut toutefois les améliorer en incorporant des amendements.

I.4.1- Différentes structures du sol

1. Sols sableux

On améliore la structure des sols sableux en les amendant régulièrement avec de la matière organique sous forme de engrais . Il est préférable d'incorporer ces amendements au début du printemps, Parce que le travail du sol sablonneux à l'automne favorise l'érosion.

2. Sols argileux

On améliore la structure des sols argileux par des apports en matières organiques sous forme de compost ou de fumier composté. Ces amendements sont préférablement incorporés à la fin de l'automne. Les sols argileux mal drainés peuvent aussi être amendés avec une terre sableuse.

Certains sols argileux sont très riches en sodium, ce qui nuit à l'agrégation des particules minérales. Il est possible d'améliorer la structure de ces argiles sodiques en y incorporant du gypse (si leur pH est neutre ou alcalin) ou de la chaux (si leur pH est acide).

3. Sols limoneux

On améliore le drainage et l'aération des sols limoneux par des apports importants de matières organiques, sous forme de compost ou de fumier composté. Il est préférable d'incorporer ces amendements à la fin de l'automne.

I.5-Macro pore

Les pores qui sont trop grands pour avoir une force capillaire significative. Ces pores sont remplis d'air à la capacité au champ. Les macro-pores peuvent être causés par la fissuration, division de pieds et des agrégats, ainsi que les racines des plantes, et l'exploration zoologique, Leur est taille est supérieure à 75 μm .

I.6-Micro pore

Les pores sont remplis avec de l'eau au point de flétrissement permanent. Ces pores sont trop petits pour une plante à utiliser sans grande difficulté. L'eau est généralement associée et adsorbé sur la surface des molécules d'argile. L'eau contenue dans les micropores est importante pour l'activité des microbes anaérobies créant des conditions humides. L'eau peut également provoquer l'oxydation ou la réduction de molécules dans la structure cristalline des minéraux du sol. La taille de ces pores est généralement inférieure à 30 μm .

I.7- L'eau dans le sol

Sous un climat, l'apport d'eau au sol se fait sous forme de pluie, neige, rosée et brouillard. Toute l'eau des précipitations n'atteint pas le sol: une part est évaporée directement pendant et après la pluie; les gouttes peuvent être interceptées en partie par le feuillage. L'eau qui atteint le sol ruisselle, s'infiltre et ré humecte le sol. Les racines absorbent cette eau que la tige et les feuilles évaporent par transpiration. Une fraction réduite finalement gagne la profondeur et atteint la nappe. Un profil habituel de la quantité d'eau contenu dans une coupe du sol et du sous-sol montre une augmentation de la teneur en eau avec la profondeur (Hillel, 1988).

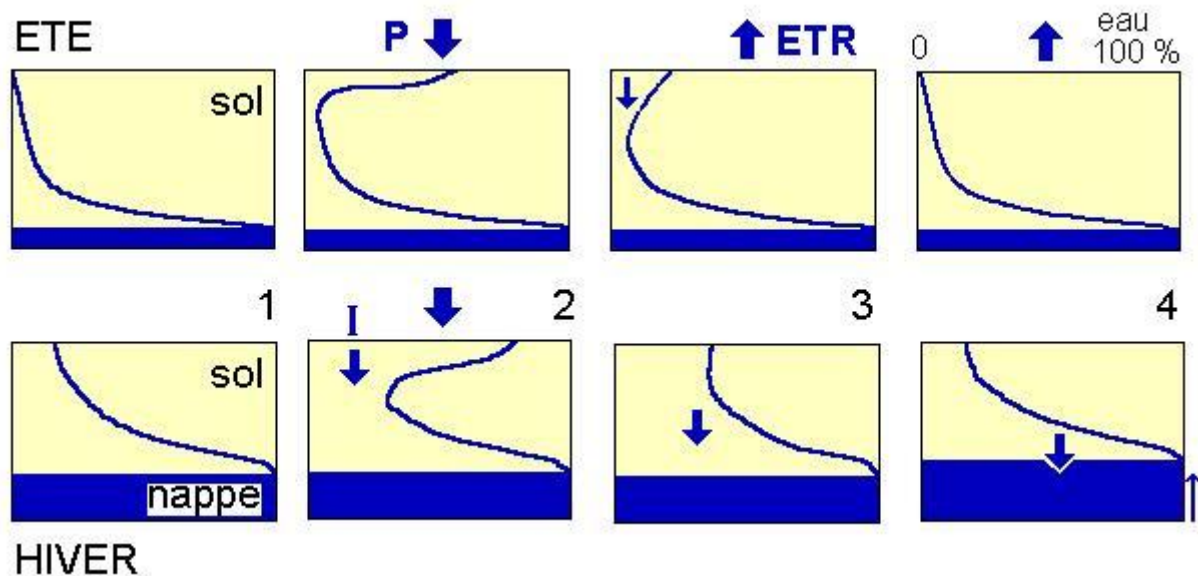


Figure I-4: teneur en eau dans le sol et le sous-sol. Jacques Beauchamp

La teneur en eau est fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. Le volume maximal d'eau qu'un sol peut retenir est la "capacité au champ" qui dépend essentiellement de la granulométrie du sol. Près de la surface, le sol n'est pas saturé, les espaces vides contiennent de l'eau et de l'air; l'eau est soumise aux forces de gravité et de capillarité. A partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus: le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau: cette zone saturée forme une nappe; les forces de gravité sont prédominantes. L'eau du sol ne représente que 0,064% de l'eau douce totale; son rôle est cependant essentiel puisque c'est l'eau qu'utilisent les racines des plantes.

La réserve en eau assure la quasi-totalité des besoins en eau de la plante. L'eau dissout les éléments nutritifs pour constituer la solution du sol qui est absorbée par les racines. Plus la texture d'un sol est fine, plus sa réserve en eau est élevée. La part de l'eau qui s'infiltré dans le sol est d'autant plus importante que la surface offre plus d'obstacles au ruissellement et que la structure du sol est plus grossière. L'eau d'infiltration se charge sur son passage en oxygène, gaz carbonique et sels minéraux. Une partie de l'eau du sol est prélevée par la plante pour son alimentation mais aussi pour compenser les pertes par évapotranspiration au niveau des feuilles. Une autre partie de l'eau d'infiltration peut être perdue par drainage, durant les périodes humides ou en cas d'irrigation mal conduite, entraînant des pertes d'éléments minéraux. Une autre partie de l'eau du sol peut être perdue par transpiration par les feuilles ou par évaporation à la surface du sol, qui peut être réduite par paillage ou brise-vent. (UNIFA,2005).

1.7.1-Définition du potentiel de l'eau

Le potentiel de l'eau se définit comme la quantité d'énergie contenue dans une quantité unitaire d'eau. L'état énergétique, ou potentiel total, de l'eau dans le sol se décompose en énergie potentielle de position dans un champ de force et en énergie cinétique due à la vitesse de déplacement du liquide. Cette dernière, généralement faible dans les sols, est négligeable devant le terme d'énergie potentielle. On considère donc que le terme "énergie potentielle", ou "potentiel", suffit à décrire l'état énergétique de l'eau dans le sol.

I.7.2- Le bilan hydrique du sol

Le suivi du bilan hydrique des sols est une opération complexe car il n'existe pas actuellement d'appareil simple pour mesurer le volume d'eau du sol. Il y a bien la sonde à neutrons, appareil précis mais d'une manipulation délicate. Son principe repose sur l'émission de neutrons par une source radio l'émission de neutrons par une source radioactive et la réception des particules par les molécules d'eau (Hillel, 1988). La quantité d'eau contenue est fonction du rapport neutrons reçus sur neutrons émis. En étude de routine, on préfère calculer la réserve d'eau du sol à partir des données élémentaires fournies par les stations météorologiques: pluviométrie, température et humidité de l'atmosphère, vitesse du vent, insolation. Le régime des précipitations au cours de l'année est exprimé conjointement avec la température moyenne mensuelle sous forme de diagrammes ombrothermiques. Par convention, l'échelle des températures en °C est doublée par rapport à celle des précipitations exprimée en mm.

Tableau I -1 : Estimation du bilan hydrique du sol en Saida ALGERIE.

Paramètres	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Août	Année
Temp, Moy(°c)	21,8	16,5	11,6	9,2	7,9	9,3	10,4	13,1	15,9	21,8	26,5	25,5	15,8
Précipitation (mm)	12	45	51,3	40,1	37,4	41,2	44,3	36	30,6	12,4	2,5	2	355
E.T.P (mm)	106	67,9	35,6	25,8	22	25,5	34	54,5	76,8	123,6	164,7	155,4	891,4
P- E.T.P	-94	-22,9	15,7	14,3	15,4	15,7	10,3	-18,5	-46,2	-111	-162	-153,4	
Réserve (mm)	0	0	15,7	30	45,4	61,1	71,4	52,9	6,7	0	0	0	
E.T.R (mm)	12	45	35,6	25,8	22	25,5	34	54,5	76,8	19,1	2,5	2	354,8
Déficit (mm)	94	22,9	0	0	0	0	0	0	0	104	162	153,4	536,6

I.7.3 La circulation de l'eau dans le sol

L'eau du sol entre en mouvement lorsque des écarts de potentiel se produisent entre différents points du système. L'eau tend à se déplacer d'un lieu de potentiel élevé vers un lieu de potentiel plus faible, Le potentiel détermine donc la direction dans laquelle circule l'eau. Le composant de succion étant parfois plus fort que le composant d'attraction, l'eau peut soit circuler verticalement dans le sens ascendant ou descendant, soit rester immobile quand la force de gravité est exactement contrebalancée par le radient de succion.

I.8-L'infiltration

L'infiltration désigne en hydrologie et sciences de la terre, le processus par lequel l'eau pénètre le sol ou un autre substrat à partir de la surface du sol ou du substrat (**Remeneiras,1986**).

Si le taux de précipitations dépasse le taux d'infiltration (et d'évaporation et d'évapotranspiration), un phénomène de ruissellement se produit habituellement, sauf s'il existe une barrière physique qui va former une retenue d'eau (naturelle ou artificielle), laquelle peut si son fond n'est pas imperméable jouer un rôle tampon en alimentant plus durablement le phénomène d'infiltration (et donc l'alimentation de la nappe et des sources qu'elle produit le cas échéant). L'infiltration Elle est liée à la conductivité hydraulique à saturation du sol près de la surface. La perméabilité k d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau; k est mesuré par la loi de Darcy:

$$Q = k.s. H/h \dots\dots\dots 1$$

Avec :

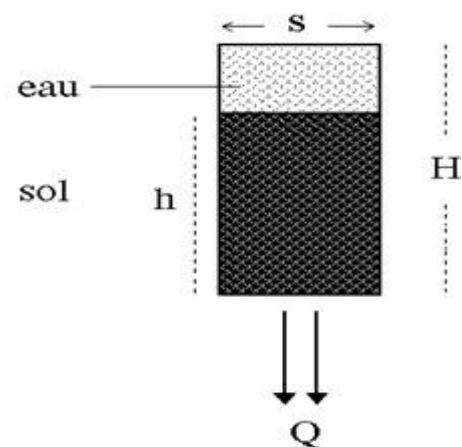
- ✓ Q: débit
- ✓ s: section de la colonne de sol
- ✓ h: hauteur de la colonne d'eau
- ✓ H: hauteur de la colonne de sol

Pour des sols saturés en eau (fortes pluies):

Pour des sols sableux: K est compris entre 5 et 10 cm/heure

sols limoneux: k varie de 2 à 50 cm/heure dans un horizon

A selon le type d'humus. Il est de l'ordre de 1 mm/heure dans les horizons B enrichis en argiles.



I.8.1-Les différents modèles d'estimation de l'infiltration

I.8.1.1-Calcul de l'infiltration par le modèle de Horton

Le modèle de production du ruissellement de **Horton** (1933) calcule une lame ruisselée en supposant que la décroissance de la capacité d'infiltration des sols suit la loi suivante, vérifiée sur des sols partiellement saturés (non applicable sur les sols initialement secs) :

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{(-kt)}$$

Avec :

$f(t)$: Capacité d'infiltration instantanée (mm/h)

f_0 : Capacité initiale d'infiltration en début d'évènement pluvieux (mm/h)

f_c : Capacité limite d'infiltration (mm/h)

k : constante de décroissance

Deux constantes de décroissance différentes peuvent distinguer les périodes de saturation de celles du dégorgeement du sol. (**Mathieu RESCAN, 2004**).

I.8.1.4-Les modèles de « Green et Ampt » et de « Smith et Parlange »

Le modèle de Green et Ampt fait partie de ceux qui suscitent le plus d'intérêt dans l'alittérature scientifique parce qu'on peut assimiler facilement ses paramètres à des caractéristique physiques du sol contrairement à ce que propose Horton. Ci-dessous est présentée l'équation de Green et Ampt (**Mein et Larson .1973**) :

$$f = k_s \left[1 + \frac{SMd}{F} \right] \dots\dots\dots 9$$

L'infiltration cumulée est symbolisée par la lettre « F », le rapport de sa variation sur le temps écoulé représente le flux d'infiltration :

$$f = \frac{dF}{dt} \dots\dots\dots 10$$

L'équation de Green et Ampt peut aussi être écrite sous la forme simplifiée :

$$F = A + C/F \dots\dots\dots 11$$

Avec :

A et C : paramètres qui dépendent des caractéristiques pédologiques et hydriques du milieu, ils sont évaluables notamment avec les données d'infiltration mesurées sur le terrain.

- M_d : déficit hydrique initial ($\theta_s - \theta_{\text{initiale}}$)
- S : succion capillaire moyenne [L].

Telle que l'équation est écrite il est nécessaire de prendre la valeur absolue de S .

- F : infiltration cumulée [L]
- K_s : perméabilité à saturation [L.T-1]

Pour les applications de terrain et pour se rapprocher des données réelles d'infiltration, c'est l'équation simplifiée qui est la plus souvent utilisée (S.K. Mishra, J.V. Tyagi, and V.P. Singh .2003). En adaptant les paramètres, les amplifications de l'équation de Green et Ampt permet aussi de la relier au modèle linéaire de Smith et Parlange (R.E. Smith and J.Y. Parlange .1978).

Ce deuxième modèle s'écrit :

$$f = K_s \left[1 + \frac{C}{K_s F} \right] \dots\dots\dots 12$$

Avec :

C : paramètre relié à la pédologie et aux conditions hydriques du sol. Il est considéré que l'on peut retrouver l'équation de Green et Ampt en posant C tel que :

$$C = -S(\theta_s - \theta_{\text{initial}}) \cdot K_s \dots\dots\dots 13$$

Les autres paramètres sont égaux à ceux utilisés dans les modèles précédents (Smith & Parlange, 1978).

Autres modèles

La difficulté à comprendre et à reproduire la physique du phénomène d'infiltration a mené à une multitude de modèles empiriques, semi-empiriques ou basés sur la physique qu'il est difficile de lister de manière exhaustive. Certains disent que pour chaque hydrogéologue il y existe un modèle, cette affirmation semble encore plus vraie pour les modèles d'infiltration. On peut tout de même se poser la question de leur validité. Il a été démontré que pour certains modèles à bases physiques (ex: Green et Ampt, 1911 ; Philip, 1957 et 1969 ; Mein et Larson, 1973 ; Smith et Parlange, 1978) les résultats s'avèrent meilleurs pour des sols testés en laboratoire que sur le terrain. Enfin l'équation de Green et Ampt prédit avec une bonne précision le moment d'apparition du ruissellement. C'est pourquoi cette équation a été choisie pour calculer l'infiltration d'un des deux modèles que nous avons utilisés, l'autre modèle étant basé directement sur l'équation de Richards.

I.9 Conclusion

Le sol est le support de la vie terrestre. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, la croûte terrestre, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants. Hors des milieux marins et aquatiques d'eau douce, il est ainsi à la fois le support et le produit du vivant. Le sol est une interface entre biosphère et lithosphère. La partie du sol spécialement riche en matière organique se nomme l'humu

CHAPITRE II

Les techniques d'irrigation

Chapitre II : Les techniques d'irrigation

II.1-Introduction : Provenance de l'eau d'irrigation

De tout temps, les sociétés humaines ont déployé des efforts pour détourner de multiples manières l'eau nécessaire à leur culture et irriguer leurs champs. Certaines méthodes se contentent de mobiliser les eaux de crues des rivières ou les eaux de pluie. Elles interviennent peu sur le cours des rivières et déplacent peu les eaux dans l'espace.

Par exemple, au bord de certains grands fleuves africains, les paysans cultivent les terrains susceptibles d'être légèrement inondés par les eaux grossies du fleuve à la saison des pluies, qu'ils ensemencent juste avant la montée des eaux. Très utilisée en Asie, mais également en Afrique, notamment pour la culture du riz, la construction de tout un réseau de petits canaux et de digues permet de récolter les eaux de crue des rivières, de les distribuer en contrôlant leur niveau dans chaque parcelle et de les retenir.

D'autres méthodes cependant consistent à pratiquer de véritables détournements d'eau. Le recours aux puits, notamment, permet de prélever toute l'année l'eau de certaines nappes souterraines, en d'autant plus grandes quantités que l'on sait aujourd'hui forer jusqu'à de grandes profondeurs et pomper l'eau mécaniquement.

Une autre pratique consiste à détourner l'eau des rivières, et à la transporter par canaux, parfois très loin de son lieu de prélèvement, jusqu'à des régions moins bien dotées où elle manque.

Enfin, une technique qui s'est beaucoup développée au cours du XXe siècle est la construction, sur le cours des rivières, d'immenses barrages capables de stocker d'énormes réserves d'eau. De tels aménagements offrent un accès quasi permanent à l'eau (**Ollier et Poirée, 1983**).

II.2-L'irrigation dans le monde

La consommation d'eau agricole est très variable d'un pays à l'autre. Elle n'intéresse que 273 millions d'hectares dans le monde éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents contrairement à ce que l'on pourrait penser, les pays qui irriguent le plus ne sont pas les pays au climat aride ou semi-aride. (**BOUAROUDJ Sara ,2012**)

Dans ces régions, en effet, il ne peut y avoir de culture sans irrigation. Aussi, toutes les surfaces cultivées sont-elles irriguées. Mais, comme il ne peut y avoir d'irrigation sans eau, les surfaces cultivées demeurent réduites en superficie, limitées par la faiblesse des ressources en eau, et

localisées là où ces ressources sont disponibles. C'est le cas de pays comme l'Égypte par exemple où l'agriculture s'est développée sur les bords du Nil, ou de certains pays de l'Amérique latine comme le Mexique. A l'inverse, dans les régions qui reçoivent suffisamment d'eau de pluie, la superficie des terres cultivées peut être très importante, surtout si le relief le permet.

Bien que l'irrigation n'y soit pas indispensable, elle est néanmoins utilisée, et ce d'autant plus facilement que l'eau est disponible, afin de diversifier et d'améliorer les cultures, d'obtenir des récoltes multiples, ou encore d'augmenter les rendements. Même si elle n'est pas systématique, l'irrigation peut donc être conséquente, c'est le cas de certains pays tels que le Japon la Chine, ou le Pakistan (**Milos, 1971**).

Des facteurs autres que la situation géographique interviennent également, qui doivent être pris en compte pour expliquer la répartition mondiale de l'irrigation. Par exemple, l'irrigation nécessitant des infrastructures parfois Trop cher , la richesse des pays considérés est un élément important. Il explique notamment qu'en Afrique ou au Brésil l'irrigation soit moins développée.

En conséquence, les pays qui irriguent le plus sont ceux situés dans le sud-ouest asiatique, lesquels rassemblent plus de 60 % des terres irriguées de la planète, et certains pays du pourtour méditerranéen.(FAO , 2012)

II.3- Importance de l'irrigation

Jusqu'à présent l'irrigation reste le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus de production (et même dix en zone aride) (**Plauchu, 2004**).

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Elle est considérée plutôt comme un ensemble d'actions de développement intégré des milieux agricole et rural qui doit se traduire non seulement par l'augmentation de la production et l'amélioration du niveau de vie de l'agriculteur, mais doit se traduire également par la préservation du milieu, notamment des terres agricoles, et par une économie de l'eau d'irrigation qui elle-même se traduit par une économie dans l'utilisation de l'énergie, (**Ollier et Poirée, 1983**).

a- Apport sur le plan économique

Depuis les années 60, la pratique de l'irrigation est à l'origine d'une augmentation de la production alimentaire globale dans l'ensemble des pays du tiers monde (**De Regt, 1990**). Répondant ainsi à une demande de produits alimentaires qui a considérablement augmenté par suite de l'essor démographique qui s'est manifesté dans la plupart des pays en voie de développement, où dans certains, la population double tous les 25 ou 30 ans.

L'irrigation n'a pas été seulement un atout dans l'augmentation de la production, elle a favorisé l'extension des surfaces agricoles mais également une diversification de produits plus large consommation que dans le passé. Cette évolution explique l'élévation du niveau de vie et les progrès de la diététique. Les changements dans les habitudes alimentaires ont souvent donné la préférence à des produits irrigués légumes et fruits notamment (**Ollier et Poirée, 1983**).

b- L'auto-suffisance alimentaire

Tous les pays cherchent à satisfaire la demande nationale, mais ceux qui le peuvent s'efforcent d'exporter leurs surplus agricoles ou la totalité de certaines productions qui ne trouvent pas ou peu de débouchés sur le marché national. Certaines cultures de plantations irriguées, souvent héritage d'une colonisation, donnent des produits qui doivent être nécessairement exportés, c'est le cas par exemple de l'Algérie ou le Maroc qui doivent trouver des clients pour leurs agrumes (**Conac, 1978**).

c- L'irrigation un rempart à la famine

L'irrigation bien maîtrisée est un rempart utilisé de longue date pour endiguer la sous-alimentation et renforcer la sécurité alimentaire des sociétés, la preuve en est que:

L'intensification de la production agricole mondiale entre 1950 et 1990 doit beaucoup à l'irrigation (**FAO, 1975**). Entre ces deux années le rendement en céréales a plus que doublé et la récolte a presque triplé. Au début des années 50 on a étendu la surface cultivée, mais le boom, sans précédent historique, de la croissance des rendements et de la production est associé au doublement des surfaces irriguées, soutenue à partir des années 60 par la mise au point de nouvelles variétés de riz et de blé réagissant de manière optimale aux engrais et à l'eau (**Tiercelin, 1998**).

En conclusion, nous pouvons dire que l'usage de l'irrigation présente de nombreux avantages :

Il permet d'augmenter la superficie des surfaces cultivées, en particulier dans les zones arides, d'assurer parfois deux récoltes (ou plus) au lieu d'une seule dans l'année, notamment dans certaines zones tropicales humides, d'améliorer les rendements, et d'une façon générale d'intensifier et stabiliser la production en se libérant des variations climatiques.

Enfin, les techniques modernes d'irrigation permettent aussi dans le même temps de fertiliser les sols.

Cependant l'irrigation présente deux inconvénients majeurs pour les milieux aquatiques. Elle est grande consommatrice d'eau et peut accélérer la désertification de certaines régions.

-L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation qui peut être apprécié par la conductivité électrique (CE) et celui de l'alcalinisation des sols. Cette dernière, due aux échanges ioniques, concerne surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol; il est évalué par le coefficient d'absorption du sodium (SAR).

L'irrigation est l'activité qui consomme le plus d'eau, elle absorbe plus de 85 % de l'eau maîtrisée par l'homme (**Horning, 1973, Plauchu, 2004**). D'importantes quantités d'eau sont en effet nécessaires pour compenser les pertes des plantes et des sols par évapotranspiration.

En outre une majeure partie de l'eau d'irrigation retourne directement dans l'atmosphère, où elle est momentanément perdue pour d'autres usages. Cela est d'autant plus vrai que plus une plante dispose d'eau, plus son évaporation n'est importante.

Il existe cependant une limite à ce phénomène au-delà de laquelle un apport supplémentaire d'eau n'augmentera pas la transpiration végétale. Pour éviter d'utiliser trop d'eau, les quantités justes nécessaires aux cultures doivent donc être soigneusement estimées et l'irrigation contrôlée. Quoiqu'il en soit, pour irriguer les champs, il faut de l'eau et beaucoup d'eau, une eau que l'on doit parfois aller chercher très loin.

Au niveau mondial, les prélèvements en eau de l'irrigation représentent aujourd'hui environ 70% des prélèvements totaux, ce qui est énorme (**Plauchu, 2004**). À l'échelle locale, la consommation immodérée d'eau d'irrigation peut même parfois conduire à une réduction considérable des volumes disponibles. Ainsi, le lac Tchad, autrefois la plus grande réserve d'eau douce du continent africain, est aujourd'hui 20 fois plus petit qu'il n'était il y a 35 ans.

II.4-Insuffisance des ressources en eau

Sur la Terre, il y a l'eau visible : l'eau de mer, l'eau contenue dans les calottes polaires, les lacs, les rivières, les nuages et la pluie ; et l'eau invisible : les eaux souterraines.

Si l'eau est très présente sur la Terre, 97 % de la ressource est de l'eau salée et 2 % est bloquée sous forme de glace. Il ne reste environ que 1 % d'eau sous forme d'eau douce liquide.

Les eaux douces exploitées ont une origine continentale :

- les eaux de précipitations : atmosphère ;
- les eaux de surface : rivières, plans d'eau ;

- les eaux souterraines : elles proviennent du sous-sol (aquifères ou roches réservoirs) captées par sources naturelles ou forages.

Elles représentent 0,6 % de la ressource totale en eau.

Tableau II-1 Cycle de l'eau et réservoirs (Centre national de la recherche scientifique).

Stocks totaux d'eau ²	1,4 milliard de km ³	
océans, mers	1,35 milliard de km ³	97,3 %
glaces	27,5 millions de km ³	2,15 %
eaux souterraines	8,2 millions de km ³	0,63 %
lacs, rivières	170 000 km ³	0,01 %

Source (Centre national de la recherche scientifique).

II.5- La nécessité d'augmenter les rendements

Les prévisions, même les plus optimistes en matière de croissance de la productivité, d'amélioration de l'efficacité et d'expansion de la superficie irriguée, anticipent une augmentation de 14 pour cent des besoins en eau pour l'agriculture irriguée des pays en développement d'ici 2030. Cela équivaut à 220 km³ de stockage supplémentaire qui serait nécessaire. Il faudrait en outre remplacer les réserves perdues par l'envasement des réservoirs existants, estimées à 1 pour cent ou 60 km³ par an, soit 1 800 km³ sur trente ans, ainsi que l'eau extraite des nappes souterraines, qui représente 160 km³ supplémentaires. Le volume stocké nécessaire pour les 30 prochaines années se situe donc autour de 2 180 km³, c'est-à-dire plus de 70 km³ par an (sans compter l'augmentation des pertes par évaporation dues à l'accroissement de la surface). Il s'agirait donc de prévoir annuellement le stockage d'un volume au moins équivalent au haut barrage d'Assouan.

Il est peu probable, pour une série de raisons d'ordre économique, écologique et social, que l'on puisse construire une telle capacité supplémentaire de stockage en surface au cours des trente prochaines années. Le stockage de volumes d'eau plus importants dans les nappes souterraines constitue une alternative tentante. Il serait urgent de mettre au point de nouvelles techniques et de nouveaux dispositifs institutionnels pour améliorer l'approvisionnement des nappes souterraines (Bainbridge, 2002).

II.6- Etude des techniques d'irrigation

Le manque d'eau et l'accroissement constant des besoins en eau en agriculture, conjugués aux conflits d'usage avec les autres secteurs, tels que l'industrie et la consommation en eau potable, nous amènent à constamment réfléchir sur les économies d'eau et d'énergie. Ceci passera forcément par une gestion efficace de l'irrigation ainsi que par la maîtrise de l'utilisation et le choix des systèmes d'irrigation.

Les systèmes d'irrigation peuvent être classés en deux grandes catégories: l'irrigation gravitaire et l'irrigation sous pression.

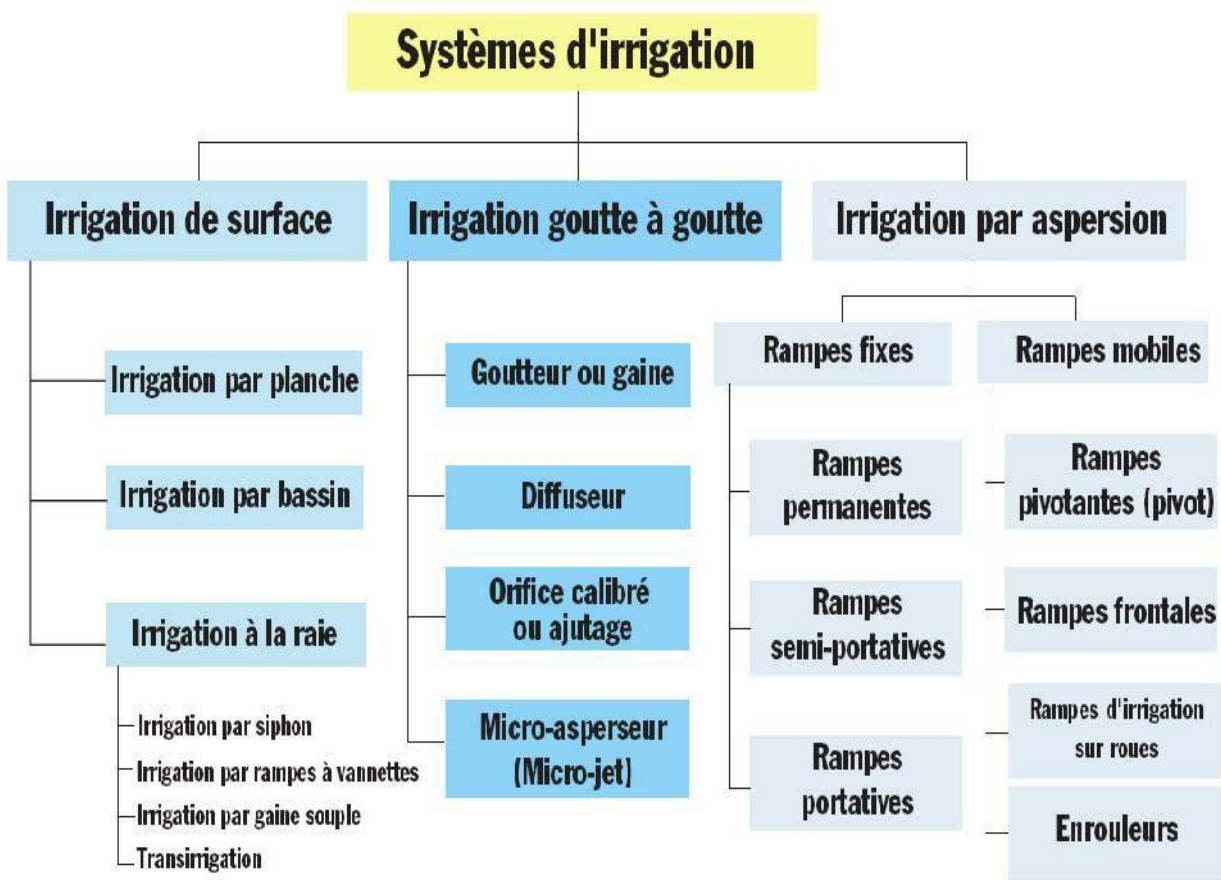


Figure II-1 Les différents systèmes d'irrigation

Dans la pratique, on distingue l'irrigation gravitaire, l'irrigation goutte à goutte et l'irrigation par aspersion.

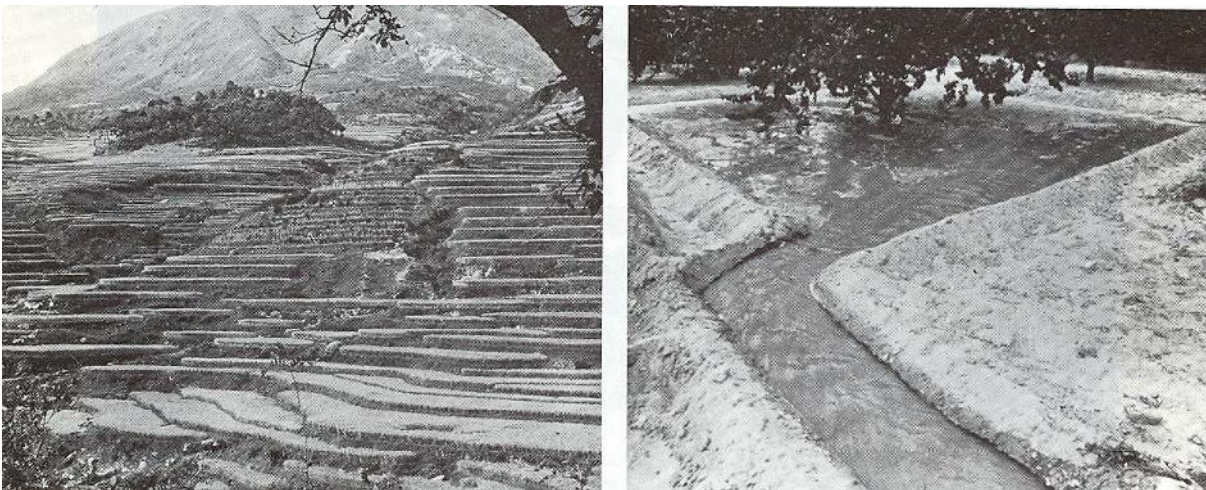
II.6.1-L'irrigation gravitaire

II.6.1.1- L'irrigation par planche

Consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol inclinée 0,2 à 3%. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables.

II.6.1.2-L'irrigation par bassin

Sa pratique sur un sol nivelé (pente 0,1 à 1%) ainsi que la simplicité de l'opération, qui consiste à remplir le bassin, font que cette technique est fréquemment utilisée. Dans plusieurs régions du Maroc, la taille des bassins est de 40 à 50 m² et cette technique est connue sous le nom "Robta". Cette dernière occasionne une perte importante de superficie, due au nombre important de cloisonnements.



a) Irrigation par bassins à flanc de coteau b) Irrigation par bassins pour arbres fruitiers

Figure II-3 Irrigation par bassins

II.6.1.3-Irrigation par rigole

C'est la plus connue dans l'irrigation gravitaire, l'irrigation à la raie ou par rigole convient parfaitement aux sols présentant une pente comprise entre 0,2 et 3%. Les sillons sont séparés d'une distance variant entre 0,6 et 1,25 m, selon le type de sol et la culture. Suivant le débit dont on dispose, on peut irriguer un ou plusieurs sillons à la fois. Les raies peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la rigole permanente d'amenée d'eau. D'une manière générale, l'irrigation est réalisée suivant un débit unique ou suivant une succession de deux débits différents, un premier

débit important qui est appelé débit d'attaque et un deuxième débit plus faible qui est appelé débit d'entretien.



Figure II-4 L'irrigation par rigole

II.6.1.4-Irrigation par siphon

L'irrigation par siphon s'adapte bien à l'irrigation des raies. Les siphons en PVC, d'épaisseur 1,5 mm, sont relativement légers lorsque leur longueur est comprise entre 1 et 1,5 m. Une charge de 10 cm est suffisante pour travailler dans des conditions adéquates. On peut par ailleurs réaliser une irrigation à deux débits, soit en utilisant des diamètres différents, soit en utilisant des bouchons percés à l'extrémité des tubes ou tout simplement en jouant sur le nombre des siphons. Ce type d'irrigation est d'un intérêt certain car il permet d'éviter la construction d'une "séguia" d'amenée, et donc tous les travaux liés à la distribution. Il permet également de réduire l'érosion du sol à la tête de la raie. Par ailleurs, l'irrigation par siphon permet une bonne répartition de l'eau.



Figure II-5 Alimentation des sillons par siphons

II.6.1.5-Irrigation par rampe à vannettes

Ce type de matériel correspond mieux aux cultures irriguées à la raie et qui nécessitent peu d'interventions sur la parcelle. L'avantage réside dans la possibilité de réglage du débit par des vannettes coulissantes; qui offrent des positions d'ouverture de 25, 50, 75 et 100%. Par rapport aux siphons, on évite l'opération d'amorçage qui est un travail lent et fastidieux.



Figure II-6 Irrigation par rampe à vannettes

L'autre avantage réside dans le fait que les débits obtenus sont plus précis et fiables. Cette technique présente l'avantage de ne pas gêner les travaux agricoles. Par contre, une étude de dimensionnement est nécessaire.

II.6.1.6-Irrigation par gaine souple

La gaine souple est posée dans une rigole préparée à l'avance pour éviter les déplacements de la gaine une fois remplie d'eau. La pose peut être effectuée à l'aide d'un engin ou d'un petit tracteur. Les perforations peuvent être effectuées sur un ou deux côtés. La gaine peut être munie de manchettes souples de dérivation qui permettent d'irriguer au centre des raies, sans se soucier d'un emplacement précis des perforations.

Ce type d'irrigation, ayant une charge de 0,4 à 1 m, convient pour un sol relativement plat. Les débits de dérivation sont de l'ordre de 2 l/s. Les gaines sont facilement installées sur le terrain et demandent un investissement modeste. Cependant, elles présentent l'inconvénient d'être fragiles et le réglage des débits est peu précis.



Figure II-7 Irrigation par gaine souple

II.6.2-L'irrigation par aspersion

L'irrigation par aspersion est basée sur le principe d'une utilisation de l'eau aux plantes sous forme de pluie artificielle. Elle est recommandée dans les cas suivants:

- sols de faible profondeur**, ne pouvant être correctement nivelés pour une irrigation de surface;
- sols trop perméables, qui ne permettent pas une répartition uniforme de l'eau dans le cadre d'une irrigation avec ruissellement en surface;
- terrains à pente irrégulière avec microrelief accidenté, ne permettant pas l'établissement d'une desserte gravitaire à surface libre.

Par contre, elle est à écarter dans les régions très régulièrement ventées où les vents supérieurs à 4 ou 5 m/s dégradent considérablement l'homogénéité de l'arrosage. Une installation d'irrigation sous pression est généralement composée d'un équipement fournissant la pression nécessaire à son fonctionnement, d'appareils de mesure et de contrôle de débit, et d'une conduite principale amenant l'eau jusqu'aux conduites secondaires et tertiaires. D'autres éléments peuvent être utilisés, notamment un filtre ou une batterie de filtres et un dispositif d'adjonction d'éléments fertilisants.

La considération des facteurs suivants est nécessaire à la conduite d'un projet de dimensionnement de tout système d'irrigation sous pression: a) la dimension et la forme de la surface à irriguer, sa topographie et le type du sol; b) les sources d'eau disponibles ou potentielles et leurs caractéristiques et c) Les conditions climatiques dans la région, l'accessibilité à la parcelle et la culture à irriguer.



Figure II-8 Schéma type d'un réseau d'irrigation par aspersion

a- Les Asperseurs

L'eau débitée par les dispositifs d'aspersion est projetée en l'air et retombe sur le sol en arrosant un cercle autour de l'asperseur. La plupart des asperseurs agricoles sont dotés d'un mécanisme à rotation lente, avec un battant, ou tournant (batteur en forme de coin et ressort, ou batteur et balancier à contrepoids) et fonctionnent avec une pression basse à moyenne (2 à 3,5 bars). Ils sont munis de deux buses de projection de l'eau: la principale de longue portée, de plus gros diamètre, couvre la zone éloignée de l'asperseur, tout en activant le mécanisme de rotation de l'asperseur; la buse secondaire pulvérise l'eau à proximité de l'asperseur. Les buses sont interchangeables pour permettre des variations de performance en fonction des besoins. Les asperseurs sont en laiton ou en plastique à haute résistance; la plupart comportent plusieurs pièces en laiton et d'autres en plastique. L'axe et le ressort sont faits d'acier inoxydable. Les principales caractéristiques des asperseurs utilisés par les systèmes à tuyaux flexibles sont les suivantes:

- deux buses: 3–6 mm (longue portée) x 2,5–4,2 mm (proximité);
- basse à moyenne pression de fonctionnement: 1,8–3,5 bars;
- débit hydraulique: 1,1–3 m³/h;
- diamètre de couverture (arrosé): 18–35 m;
- angle du jet: 20°–30° (sauf lorsqu'un angle très faible est requis, par 3 exemple en cas de vents forts, ou d'eaux traitées);
- type de raccord: fileté interne ou externe 0,5–1 pouce.

Afin d'assurer une aspersion satisfaisante avec des asperseurs rotatifs conventionnels, la pression minimale de fonctionnement doit être au moins de 2 bars.

b- Avantages

- Efficacité d'irrigation élevée: 75 pour cent.
- Conception simple, installation et fonctionnement simplifiés.
- Adaptabilité à tous les types de sols, à de nombreuses espèces de cultures et à de petites parcelles irrégulières.
- Moindre coût par rapport à bien d'autres systèmes modernes d'irrigation.
- Ne nécessite pas de main-d'œuvre qualifiée.

c- Inconvénients

- Pénible et déplaisant labeur de déplacement des asperseurs avec leurs tuyaux flexibles.
- Longue durée du cycle d'irrigation.

Dans l'irrigation par aspersion, on rencontre les installations suivantes:

II.6.2.1-Les installations mobiles

Portatives comprennent des canalisations principales ainsi que des rampes pouvant être déplacées à la main. De ce fait, les conduites formant l'ensemble du système doivent être légères, facilement raccordables et détachables les unes des autres. Elles sont habituellement en aluminium léger ou en alliage d'aluminium et sont présentées en segments, munies de raccords rapides et mesurant en général 6 m de longueur. Ces installations sont conseillées pour les régions à capital d'investissement faible mais disposant d'une main d'œuvre abondante.

II.6.2.2-Les installations semi-mobiles

Ces installations sont portatives et ont des canalisations principales qui sont fixes et enterrées à intervalles réguliers. En général, la station de pompage est permanente, elle est située de manière à réduire le trajet de l'eau. Les canalisations fixes sont généralement en acier ou en amiante-ciment et sont protégées contre la corrosion. D'autres variantes existent, en combinant les tuyaux flexibles.

II.6.2.3-Les installations permanentes

(Ou couverture totale), où les conduites principales et les rampes sont enterrées, se rencontrent principalement dans les exploitations de vergers.

II.6.2.4-Les installations temporaires

sont des systèmes mobiles ou semi-mobiles ayant la particularité d'avoir assez de canalisations pour pouvoir être montés au moment de la plantation et laissés en place jusqu'à la dernière irrigation avant la récolte

II.6.2.5-Aspersion mécanisée

Les systèmes de rampe pivotante et de rampe frontale sont des installations utilisées essentiellement dans les grandes exploitations. Elles possèdent un mécanisme d'entraînement programmable qui sert à déplacer les éléments. Le système de rampe pivotante est constitué d'une conduite avec arroseurs, supportée à l'une de ses extrémités par une tour à pivot central, une série de tours munies de roues et un moteur électrique (ou hydraulique). La conduite peut mesurer de 100 à 500 m, pouvant irriguer jusqu'à 75 ha. L'ensemble permet d'irriguer une surface circulaire, mais nécessite un capital d'investissement élevé. Les débits sont de l'ordre de 250 à 850 m³/h pour une pression de 6 bars.

Le système de rampe frontale diffère de la rampe pivotante par le fait que tous les tours sont mobiles et le déplacement se fait latéralement. L'alimentation en eau se fait soit par un fossé creusé au milieu ou au bord du champ, soit par un tuyau flexible. Il nécessite un investissement aussi important sinon supérieur à celui du système à rampe pivotante. La consommation énergétique de ces deux systèmes est élevée.

Les autres types d'installations sont: l'aile traînée ou remorquée, bras tournant ou arroseur géant, et le canon automoteur (machine automotrice d'irrigation à tuyau flexible: enrouleurs).



Figure II-9 Pivots, rampes frontales

II.6.2.7-Les enrouleurs

Les enrouleurs sont des machines d'irrigation à tambour et à tuyau flexible. Ils sont actuellement désignés par "enrouleurs" à cause de leur principe de fonctionnement. En effet, le porte asperseur est placé à l'une des extrémités du flexible et l'autre extrémité est fixée sur le tambour sur lequel il s'enroule. Ainsi, l'irrigation s'effectue peu à peu sur une bande en tirant le porte asperseur. L'enrouleur peut également fonctionner avec une rampe. Le débit peut atteindre 50 m³/h et la portée du jet de l'asperseur peut dépasser 100 m de rayon.



Figure II-10 Enrouleurs Utilisation et entretien du système de pompage

II.6.2.8-L'irrigation localisée (goutte à goutte)

L'irrigation localisée apporte l'eau nécessaire directement au pied des végétaux. Ce sont des systèmes très utilisés en maraichage, en arboriculture et en horticulture. Le plus connu de ces principes est sans doute le «goutte à goutte », d'autres systèmes existent également tels que les tubes poreux alignés sur le sol ou mini-asperseurs. Ces derniers sont utilisés notamment en arboriculture (Messahel, 1988). L'eau est acheminée aux cultures au moyen de tuyaux munis de goutteurs et s'écoule par ceux-ci sous forme de gouttes avec un faible débit.



Figure. II.11 : Système d'irrigation localisée

A-Composition d'une installation goutte à goutte

-Point de fourniture d'eau :

Une crépine filtrante peut être nécessaire si la ressource en eau, constituée par un petit barrage (lac collinaire) ou un cours d'eau, contient de la matière organique ou des particules en suspension, mais non si elle est relativement propre (**Veschambre & Vaysse, 1980**).

- L'unité de tête :

Cette unité est reliée au point de fourniture d'eau elle permet de réguler la pression et le débit, de filtrer l'eau et d'y introduire des éléments fertilisants. Parfois, des régulateurs de pression et des filtres secondaires sont placés en tête des portes rampes ou même des rampes.

Pour introduire des éléments fertilisants, on utilise le plus souvent un réservoir que l'on remplit d'engrais solubles, azote en particulier : c'est un petit récipient sous pression avec une entrée et une sortie.

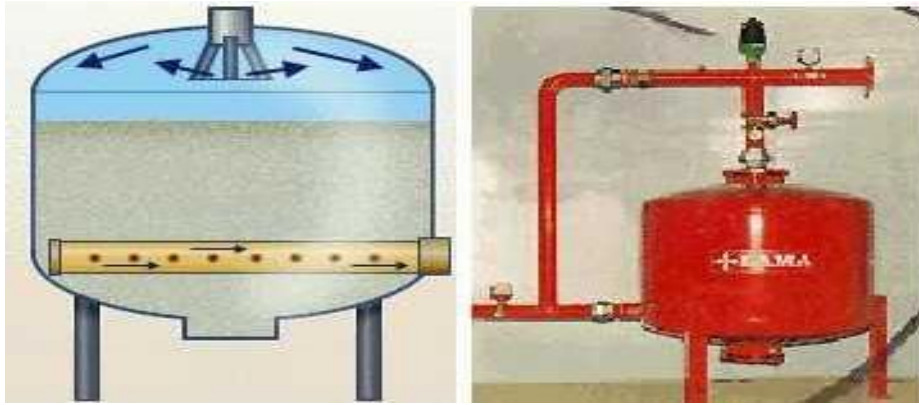


Figure II.12:Filtre à gravier

- Conduites et rampes

- **La conduite principale :**

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les divers porte-rampes. Elle peut être en amiante ciment, en PVC rigide, en polyéthylène (PE) à haute densité peut également être utilisé.

- **-Le porte-rampes :**

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

- **Les rampes :**

Ce sont les conduites qui généralement en PEBD (polyéthylène basse densité), et sont équipés de distributeurs. Les distributeurs y sont fixés avec un espacement prédéterminé.

- **Les distributeurs :**

Les distributeurs constituent la partie essentielle de l'installation. C'est à partir d'eux que l'eau sort, à la pression atmosphérique, en débits faibles et réguliers (quelques l/h). Il existe de nombreux types différents, des ajutages ou des mini diffuseurs dont le débit est un peu plus important (quelques dizaines de l/h).

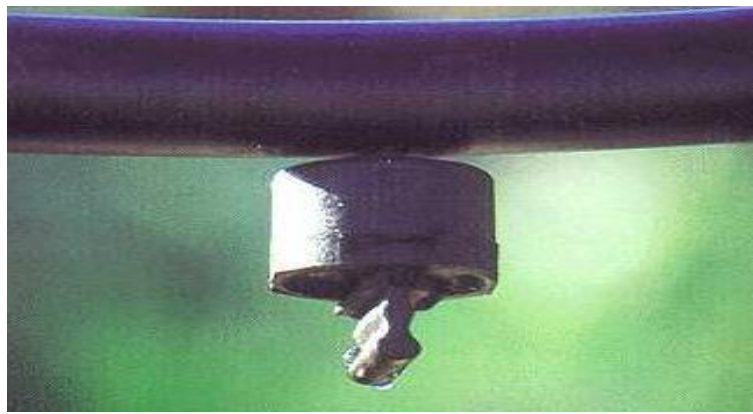


Figure II.13: Exemple d'un goutteur

B-Différents types de distributeurs

Goutteurs: les plus utilisés ont des débits de 2 l/h pour les cultures maraîchères et de 4 l/h pour les cultures pérennes. Gaines: destinée aux cultures maraîchères, peut être utilisée pour les vergers; elles assurent conjointement un rôle de transport et de distributeur.

Tubes poreux: la paroi à structure poreuse laisse passer l'eau, ils sont généralement enterrés.

Mini diffuseurs: ils sont toujours placés en dérivation, fixés directement sur la rampe, fonctionnent comme de petits asperseurs statiques ne couvrant qu'une partie de la surface du sol au voisinage des cultures.

II.7-Nécessité de l'irrigation en goutte à goutte

L'irrigation améliore l'établissement des arbres, l'utilisation des éléments nutritifs, la surface du feuillage et la santé des arbres. il améliore également la taille et la qualité du fruit.

L'irrigation goutte-à-goutte est fondée sur le concept de la prévention plutôt que le soulagement du stress hydrique.

La réponse des cultures à cette approche est positive. Les avantages de l'irrigation au goutte-à-goutte sont :

- la technique est facilement automatisée;
- l'arrosage peut se faire par temps venteux ou pendant la pulvérisation;
- le feuillage n'est pas mouillé, ce qui réduit les problèmes de maladies;
- l'eau n'entre pas en contact avec le produit, donc le risque de la salubrité des aliments lié à l'eau de qualité inférieure est réduit;

II.7 Conclusion

Malgré ces techniques, l'efficacité de l'irrigation est à déplorer. Il est indispensable de pratiquer d'autres techniques plus efficaces et peu consommatrices d'eau, en particulier dans le cas des zones semi-arides et arides, dont le potentiel de ressources en eau mobilisées est faible. La recherche et l'expérimentation de nouvelles techniques d'irrigation économiques en eau est indispensables pour mieux intensifier l'agriculture en zones arides.

CHAPITRE III

L'IRRIGATION

SOUTERRAINE :

APPROCHE THEORIQUE

CHAPITRE III L'IRRIGATION SOUTERRAINE : APPROCHE THEORIQUE

III.1- Introduction

Les systèmes de drainage souterrains peuvent aussi être utilisés pour faire de l'irrigation. L'irrigation souterraine n'est pourtant pas une technique nouvelle, elle est pratiquée en Hollande, depuis fort longtemps, aux moyens de canaux ouverts (**Hooghoudt, 1952**). Selon **Criddle et Kalisvaart (1967)**, la Hollande possède le réseau d'irrigation souterraine le plus étendu au monde. **Renfro (1955)** et **Stephens (1955)** mentionnent déjà l'utilisation de l'irrigation souterraine et du drainage contrôlé dans plusieurs régions des Etats-Unis.

III.2- Définition de l'irrigation souterraine

L'irrigation souterraine peut être définie comme l'action de fournir l'eau aux plantes en dessous de la surface du sol, en maintenant une nappe d'eau artificiellement élevée, de façon à maintenir la meilleure combinaison d'eau et d'air dans la zone des racines pour des rendements maximaux. Il faut bien distinguer l'irrigation souterraine ("subirrigation") de la micro-irrigation localisée ("subsurface irrigation") qui est aussi un système qui fournit de l'eau sous la surface du sol, mais à chaque plan de façon individuelle, tel l'irrigation goutte à goutte.

L'irrigation souterraine peut se faire à l'aide de tuyaux perforés enterrés ou de canaux ouverts (**Mailhol et al., 2009**).

Jusqu'au début des années 1970, l'irrigation souterraine se faisait par des canaux ouverts uniquement. **Israelsen (1962)** et **Renfro (1955)** décrivent plusieurs réseaux de ce genre situés dans diverses régions des Etats-Unis et dont les canaux sont espacés de 15 à 90 m. Sous certaines conditions de sol, les canaux pourraient être espacés de 300 mètres (**Zimmerman, 1966**).

En Floride, il n'est pas rare de voir des espacements de 120 m pour des sols organiques possédant une perméabilité de l'ordre de 5 à 6 m/jour.

L'utilisation de canaux ouverts pour l'irrigation souterraine au Québec s'avère moins avantageuse que l'utilisation de réseaux enterrés.

Les réseaux de conduites enterrées tout en permettant à la fois le drainage et l'irrigation comme pour les canaux ouverts n'amènent aucune perte de surface cultivable par rapport aux fossés.

De plus, les fossés sont considérés par les agriculteurs comme une nuisance pour les travaux de culture et la circulation des machines.

Ce chapitre traitera de l'irrigation souterraine à l'aide d'un système de drainage souterrain.

III.3 Techniques d'irrigation souterraine

III.3.1- Techniques d'irrigation par pot en argile enterré

L'une des plus anciennes méthodes d'irrigation basée sur le déversement fréquent (ou continu) d'eau sur une partie du volume du sol consiste à enfouir des vases poreux dans le sol (FAO, 1997). Il ne dispose pas d'informations certaines sur l'origine et l'ancienneté de cette méthode, mais de nombreux rapports attestent qu'elle était utilisée dans toute l'Afrique du Nord et le Proche- Orient (FAO, 1997). (Figures III.1)

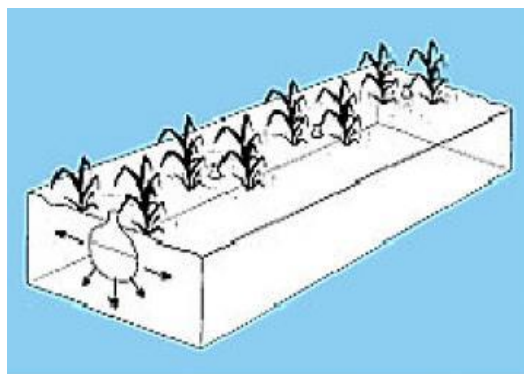


Figure. III.1 : Forme du mouillage du sol autour d'un vase d'argile poreux enfoui entre deux rangées de cultures (source FAO, 1997)

III.3.1.1- Principes Matériel et méthodes

La méthode consiste à placer des vases (ou des pots) d'argile poreux dans des fosses peu profondes creusées à cet effet (FAO, 1997). Le sol est ensuite damé autour des cols des vases de façon à ce que leurs bords dépassent de quelques centimètres la surface du sol. L'eau est versée dans les vases à la main ou au moyen d'un tuyau souple relié à une source d'eau. Les vases sont généralement fabriqués avec de l'argile trouvée sur place, si bien que leur forme, leur taille, l'épaisseur de leurs parois ou leur porosité sont variables (FAO, 1997).

Une caractéristique particulière dans. Cette technique d'irrigation est sa capacité d'autorégulation du potentiel matriciel du sol, qui résulte de l'interaction étroite entre le pot et son environnement, à savoir la plante, le sol et la matière de pot, si le potentiel matriciel est élevé (sol sec), le pot fournira de l'eau au sol, si l'humidité du sol augmente, le potentiel matriciel diminuera et le débit d'eau diffusé par le pot diminuera aussi jusqu'à l'arrêt de la diffusion (FAO, 1997). Le fonctionnement efficace de cette technique d'irrigation est en

fonction de la conductivité hydraulique du matériau constitutif du pot (FAO, 1997).

Ce dernier est commandé par la température de la combustion lors de la fabrication et la matière première du pot (FAO, 1997).

La technique d'irrigation du pot en argile enterré offre les avantages et les inconvénients suivants (THE HINDU, 2008):

a- les avantages

- L'autorégulation du potentiel de l'eau du sol, en assurant une teneur en eau stable, constante et évite le stress hydrique à la plante
- L'efficacité de l'utilisation de l'eau est très élevée (la percolation profonde, et les pertes par évaporation sont réduites)
- L'eau est diffusée dans la zone racinaire des plantes, la surface du sol est sèche ce qui réduit les mauvaises herbes
- Faible coût de la technologie de la technique;

b- Inconvénients de la technique

Cependant cette technique présente des inconvénients sur terrain comme :

- Pas de possibilité de mécanisation de la technique, l'installation des pots se fait seulement à la main, un nombre élevé de main-d'œuvre est demandé
- Avec une eau non traitée les pots doivent être vidés une fois par an afin d'éviter le bouchage des pores des pots
- Seulement applicable à des petites surfaces agricoles
- La longévité des pots n'est pas satisfaisante (1 à 3 ans).

III.3.2- Techniques d'irrigation par mèche

III.3.2.1- Principes Matériel et méthodes

Le système d'irrigation par mèche est une technique utilisée en Inde à l'aide des pots en argile enterrés, un trou ou des trous sont percés dans le pot de terre enterré et des mèches en coton sont insérées dans le trou (voir figure III.2). Les mèches aident à déplacer le plus d'eau dans le pot d'argile afin d'encourager un grand développement des racines (Bainbridge, 2002).



Figure III.2 : Photo représentative de l'irrigation par mèche avec un pot en argile enterré

Actuellement la diffusion de l'eau se fait par deux systèmes, un système par capillarité et un système par gravité. Le système capillaire utilise une mèche dans un tube qui s'élève au-dessus du niveau d'eau, le mouvement de l'eau est limité mais constant, et le système gravitaire utilise une mèche au-dessous du niveau d'eau, et l'eau s'écoule à travers la mèche.

Les avantages et les inconvénients de cette technique sont :

L'irrigation par mèche présente les mêmes inconvénients et les mêmes avantages que l'irrigation par pot en argile enterré mais elle offre d'autres avantages (FAO ,1997) :

- Elle fournit une source d'eau plus lente et plus régulière par rapport aux pots enterrés
- Elle favorise le développement des racines et la croissance de la plante par rapport aux pots enterrés.

III.3.3- Techniques d'irrigation par tuyau en profondeur

III.3.3.1- Principes Matériel et méthodes

L'irrigation par tuyau en profondeur utilise un tuyau vertical troué installé à proximité de la plante, l'eau d'irrigation est remplie par l'extrémité supérieure du tuyau et l'eau diffuse dans la zone racinaire profonde à travers les trous (voir figure III.3). Les tuyaux utilisés sont couramment en PVC de 1 à 3 cm de diamètre placés verticalement dans le sol et avec une profondeur de 30 à 50 cm latéralement de la plante ou un arbre. (Bainbridge, 2006).

Les séries de trous sont percées le long du tuyau avec un diamètre de 1 à 2 mm espacés d'environ 5 à 7,5 cm.

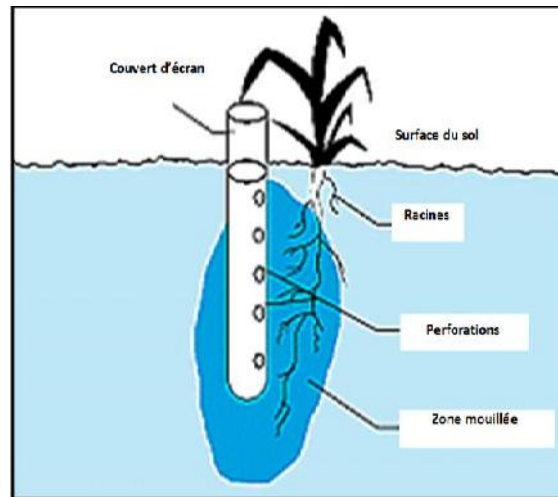


Figure III.3 Principe de l'irrigation par tuyau en profondeur Source : FAO, 1997

-L'irrigation par le tuyau profond aide la plante à développer un volume racinaire beaucoup plus important que d'autres techniques d'irrigation et la plante est mieux adaptée quand un arrêt d'irrigation s'est produit durant la saison d'été où les pluies sont rares, (FAO, 1997).

-La technique d'irrigation par tuyau profond ne présente pas des pertes d'eau par évaporation ou par ruissèlement (réduit le développement des mauvaises herbes), elle n'exige pas la présence d'un système sous pression et un système de filtration (FAO, 1997). Cependant, l'irrigation par tuyau profond ne s'adapte pas pour les jeunes plantations et les plantes à enracinement superficiel. Les racines de la plante ne peuvent pas entrer en contact avec l'eau d'irrigation diffusée par le tuyau en profondeur, ce qui limite la croissance de la plante (FAO, 1997).

III.3.5- Techniques d'irrigation par tuyaux poreux

III.3.5.1- Principes Matériel et méthodes

L'irrigation par des tuyaux poreux est une technique similaire à l'irrigation par conduites de drainage. Dans cette technique les tuyaux sont répartis le long d'une bande horizontale continue dans le sol (voir figure III.4). La méthode des tuyaux poreux est plus appropriée pour les cultures en rangs rapprochés cultivés dans des lits, comme les cultures maraîchères. Les tuyaux sont enterrés au-dessous de la surface du sol à 30 et jusqu'à 45 cm et espacés de 60 à 120 cm (Bainbridge, 1997).

Une des extrémités du tuyau poreux remonte au-dessus du sol pour que l'opérateur soit en mesure de le remplir avec de l'eau dès que cela est nécessaire (Bainbridge, 2008).

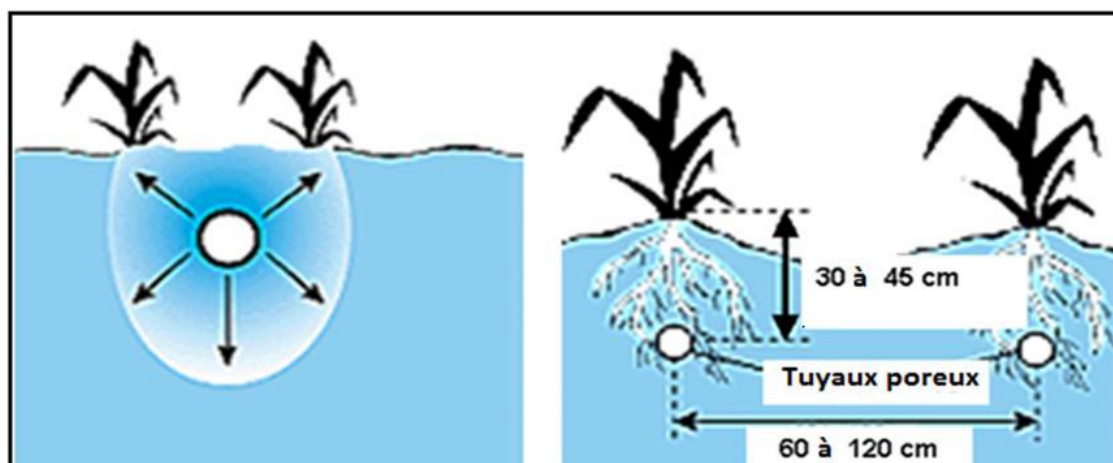


Figure III.4 : Principe de l'irrigation par tuyaux poreux Source: FAO, 1997

Parmi ses avantages:

- Les travaux du sol sont plus faciles, pas de tuyaux à déplacer;
- La fertirrigation plus efficace ;
- Diminution du lessivage des éléments nutritifs dans la zone des racines;
- Le contrôle des mauvaises herbes est facilité. Les pertes par évaporation sont réduites. L'évaporation survient dans la couche la plus près du sol, or celle-ci n'est que très peu mouillée.

Cependant cette technique diffuse l'eau d'irrigation le long d'une ligne horizontale dont la distribution de l'eau dans le sol se fait sur toute la longueur du tuyau non seulement là où il est perforé, son efficacité est faible par rapport à l'irrigation goutte à goutte (**Bainbridge, 1997**).

III.3.6 Irrigation souterraine par contrôle des nappes phréatiques

L'irrigation souterraine consiste à amener de l'eau jusqu'à la zone racinaire des plantes en régularisant, par des moyens artificiels, la hauteur de la nappe souterraine. Cette méthode peut être appliquée dans les endroits où la nappe est naturellement haute, ce qui est souvent le cas le long des vallées fluviales ou dans les plaines recouvrant des strates imperméables (figure III.5)

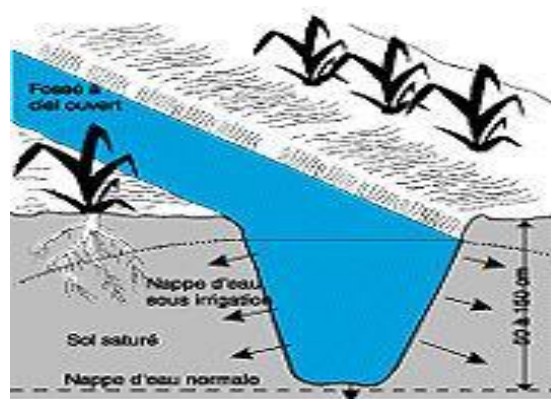


Figure III.5 : Elévation ou abaissement de la nappe phréatique pour l'irrigation souterraine, (FAO, 1997)

On creuse habituellement des tranchées ouvertes jusqu'à une profondeur inférieure à la nappe, et le niveau de l'eau est contrôlé par des barrages régulateurs ou des vannes. De cette manière, les tranchées peuvent servir soit à drainer l'excédent d'eau et, partant, à abaisser la nappe phréatique pendant les saisons humides, soit à élever la nappe en période sèche et de ce fait, à humidifier la rhizosphère par en dessous. Les tranchées ouvertes ont pour inconvénient de «couper» le champ et de gêner les travaux de labour, de plantation et de récolte. Elles diminuent aussi sensiblement la surface cultivable (FAO, 1997).

L'irrigation souterraine peut être utilisée pour arroser les cultures de plein champ, les pâturages et les vergers. Elle convient particulièrement bien aux plantes hydrophiles, telles que la canne à sucre et les dattes. L'uniformité de l'irrigation dépend de la régularité de la surface et de l'uniformité du sol (FAO, 1997).

Le contrôle précis du niveau d'une nappe d'eau souterraine peu profonde est une tâche délicate et difficile comportant de grands risques. La profondeur idéale de la nappe d'eau devrait être de 30 à 60 cm en dessous de la rhizosphère. Si elle est plus élevée, elle tend à engorger le sol, à limiter l'aération et à provoquer une ascension capillaire et une évaporation à la surface, où les sels risquent de s'accumuler. Par ailleurs, si elle est maintenue à un niveau trop bas, la plante risque d'être privée de l'humidité dont elle a besoin.

Cependant, cette méthode est adaptée plus au moins dans les régions où l'on observe les remontées des nappes, de plus elle est déconseillée dans le cas des sols imperméables.

III.3.7- Le diffuseur enterré

Le diffuseur enterré est un appareil sous différentes formes et tailles pour l'irrigation souterraine localisée des arbres et arbustes fruitiers et forestiers ainsi que pour des cultures maraîchères et plantes ornementales mises dans des pots, containers, vases et bacs. Les trois grandes familles du diffuseur sont :

III.3.7.1 Les diffuseurs pour arbres et arbustes fruitiers, forestiers et ornementaux

Les diffuseurs sont installés et enterrés dans des trous autour des arbres. L'eau d'irrigation remplie dans les réservoirs ou provenant d'un réseau d'irrigation ou d'un réservoir extérieur, passe à travers les trous de la partie inférieure du diffuseur et imbibe la plaque poreuse puis s'infiltrate dans le sol sous-jacent. Cette infiltration s'effectue à environ 70 cm (ou plus) de profondeur loin de toute évaporation.

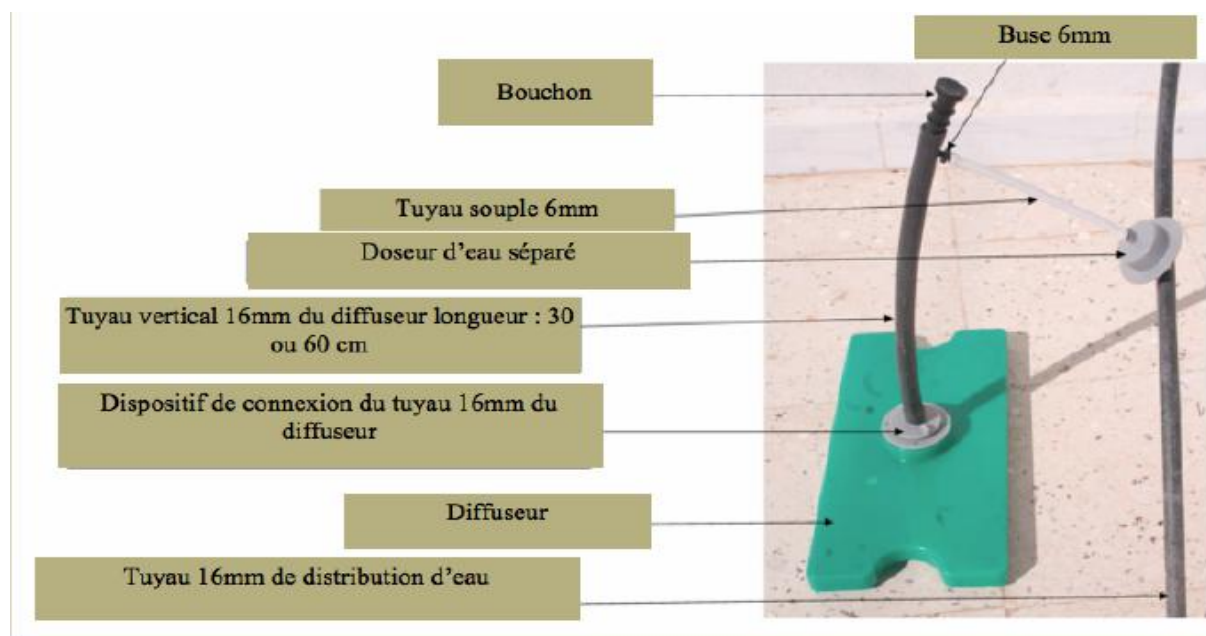


Figure III.6 diffuseur 15cm/30cm (d'après chahbani, 2013)

III.3.7.2 Les diffuseurs réservoirs pour plantes ornementales dans des pots

Ces diffuseurs sont mis pour couvrir le sol d'un container, d'un vase ou d'un pot spécialement conçu. L'irrigation se fait par remplissage des récipients des éléments du diffuseur réservoir par l'un des orifices du couvercle. L'eau remplie dans ces récipients s'infiltrate par la suite dans le substrat situé dessous en passant par les trous du récipient et par la plaque poreuse.

III.3.7.3 Les diffuseurs pour cultures maraîchères en plein champ ou sous abris serre

Ces diffuseurs sont enterrés à 10 cm sous la surface du sol. L'eau provenant de la buse via un tuyau souple continue son parcours vers le sol situé sous le diffuseur, en passant par la buse, la partie moyenne comportant des trous et la plaque poreuse. Les diffuseurs forment un écran protégeant le substrat humidifié contre la perte d'eau par évaporation directe et par capillarité.



Figure III.7 diffuseur pour maraichage (chahbani technologies,2013)

Pour les diffuseurs pour maraichage et pour arboriculture, il existe deux types de doseurs avec deux débits horaires : 1litre /heure pour les diffuseurs 15cm x 15cm et 2litres/heure pour les diffuseurs 15cm x 30

- ✓ Le premier type pour l'irrigation par gravité à très faible pression (maximum 0,2 bar).
L'eau d'irrigation, utilisée pour les doseurs des diffuseurs enterrés, doit être propre bien filtrée ne comportant aucune matière en suspension.
- ✓ Le second type de doseurs des diffuseurs fonctionne sous pression fournie par un château d'eau élevé ou par pompe. La pression maximale d'utilisation est 2 bars.
L'eau d'irrigation, utilisée pour les doseurs des diffuseurs enterrés, doit être propre bien filtrée ne comportant aucune matière en suspension.

III.3.7.4-Avantages du diffuseur enterré :

a- Faibles pertes d'eau par évaporation

Une gestion optimale des eaux d'irrigation et une conservation de 100% de cette eau. Ceci est possible en réduisant au minimum la perte par évaporation (directe ou indirecte par remontée capillaire) de l'eau donnée à la plante. Cette perte par évaporation est très réduite

pour les Diffuseurs Enterrés, alors que pour les techniques conventionnelles, elle atteint 50% à 70% de l'eau donnée à la plante. En effet, pour les diffuseurs enterrés pour arboriculture, l'eau d'irrigation est diffusée dans les horizons du sol situés à plus de 70 cm sous la surface du sol. L'eau diffusée dans ces horizons profonds y est presque totalement conservée grâce à l'absence de toute perte (**Chahbani 2013**).

Dans le cas des diffuseurs enterrés pour culture maraîchère et pour les plantes mises dans des vases, pots et containers, la réduction de l'évaporation est assurée par le diffuseur qui forme un écran et évite le contact direct de la surface du substrat pédologique humecté avec l'air asséchant de l'atmosphère.

b-Gain en productivité

Une productivité et des rendements (par mètre cube d'eau d'irrigation) bien plus élevés que la goutte à goutte. Ainsi des essais dans les exploitations ont montré que, pour un même volume d'eau, l'irrigation par diffuseur est de 3 à 5 fois plus productive que l'irrigation goutte à goutte.

c- Réduction des coûts

Une réduction du nombre (fréquence) d'irrigation et une prolongation de la durée entre les irrigations. Ceci permet une réduction du coût d'irrigation (eau, pompage, main d'œuvre...).

d- Réduction du travail du sol

Une absence presque totale du travail du sol (binage, désherbage) après chaque irrigation.

e- Meilleure diffusion du pollen

Pour les cultures sous abris-serre, l'irrigation par diffuseur enterré permet une meilleure diffusion du pollen entraînant un taux de fécondation très élevé, grâce à la réduction du taux d'humidité à l'intérieur de l'abri serre. En outre, l'irrigation par diffuseur dans ces abri-serres permet une réduction de maladies et par conséquent une utilisation minimale des produits chimiques (pesticides, insecticides) pour lutter contre ces maladies.

f- Réduction de la pollution des nappes

Les différents modèles des diffuseurs permettent l'optimisation de l'utilisation des engrais et notamment lorsqu'on pratique la fertigation. Cette optimisation se traduit par une réduction des quantités de fertilisants utilisées (30% à 50%). Ceci a un important impact

environnemental : la réduction de la pollution des nappes par les effluents des engrais en particulier les nitrates .

g- Meilleure fixation des arbres

Pour les arbres et arbustes, l'irrigation par diffuseur enterré permet un développement du système racinaire profond (pivotant). Ceci permet une meilleure fixation des arbres au sol assurant ainsi une meilleure protection contre le vent notamment l'arrachage.

h- Faible pression de l'eau

Un autre avantage non négligeable pour l'irrigation par diffuseur : il s'agit de fonctionnement de l'irrigation même avec une pression faible de l'eau d'irrigation. En effet on peut irriguer avec le diffuseur même si on a une très faible pression (0,01 bar). Cela veut dire qu'on peut remplir un bidon d'eau (10 litres ou plus), on le pose sur le sol où se trouve le diffuseur, on le connecte directement au tuyau de ce diffuseur et on laisse l'eau s'écouler vers le diffuseur assurant l'irrigation souterraine.

g- Protection de la tuyauterie

L'utilisation de l'irrigation souterraine par diffuseur permet aussi d'enterrer (de 10 à 20 cm de profondeur) toute la tuyauterie assurant la distribution de l'eau d'irrigation pour les diffuseurs. Ceci a plusieurs avantages notamment :

- Une meilleure esthétique en particulier dans les espaces verts
- Une protection de cette tuyauterie contre la dégradation par les rayons solaires ou encore les humains et les animaux aussi bien dans les espaces verts que dans les exploitations agricoles ou forestières

Ceci entraîne une importante prolongation de la durée de vie de cette tuyauterie.

III.4 CONCLUSION :

L'irrigation souterraine est une méthode d'irrigation plus efficace dont l'eau alimente sous la surface du sol directement la zone racinaire des plantes, en éliminant les pertes d'eau par évaporation et réduit le développement des mauvaises herbes et les maladies, mais elle est rarement utilisée en raison des coûts d'investissement élevés.

Cependant une autre technique connaît en ce moment une expansion, c'est la technique du goutte à goutte enterré. L'approche théorique ainsi que son utilisation dans le monde sera exposé dans le chapitre IV.

CHAPITRE IV :

LE GOUTTE A GOUTTE

ENTERRÉ

CHAPITRE IV : ETUDE DU SYSTÈME DU GOUTTE A GOUTTE ENTERRÉ

IV.1 Introduction

Le système d'irrigation localisée enterrée (ou Sub-irrigation) est une des techniques prometteuses pour une meilleure valorisation de l'eau d'irrigation particulièrement dans les régions arides et semi-arides. Ce système est caractérisé par des apports d'eau faibles, fréquents et localisés au niveau de la zone racinaire. Les travaux de recherche menés dans ce sens sont unanimes quant aux avantages multiples de ce système d'irrigation, ce qui explique son extension rapide à travers le monde. Toutefois, sa mise en application en Tunisie est encore très limitée (Ben Ali et al., 2014).

IV.2- Techniques d'irrigation par goutte à goutte souterrain

IV.2.1- Principes Matériel et méthodes

La technique d'irrigation goutte à goutte enterré (Subsurface drip irrigation) est une technique à basse pression et à haute efficacité d'irrigation qui utilise des tuyaux en goutte à goutte enterré (FAO, 1997).

La mise en œuvre de techniques d'irrigation innovantes telles que le goutte à goutte enterré est la solution adoptée par la plupart des pays confrontés aux problèmes de pénurie d'eau en raison de sa très bonne efficacité. De plus en plus de régions françaises étant soumises à des restrictions d'eau, sa possible utilisation pour irriguer les grandes cultures est à l'ordre du jour.

La technique du goutte à goutte enterré (Figure V.1) a fait son apparition aux États-Unis il y a déjà plus de deux décennies (Camp, 1998). L'eau est acheminée sous une faible pression à travers les tuyaux et diffusée par les goutteurs sur les racines sous la surface du sol (FAO, 1997).



Figure IV.1 Exemple d'une installation du système goutte à goutte enterré

C'est une technique qui fournit des arrosages fréquents pour répondre aux besoins en eau des cultures, adapté pour les zones arides, semi- arides, chaudes, et venteuses avec un approvisionnement en eau limité et une production à grande échelle.

Sa conception est similaire à celle du système goutte à goutte de surface (FAO ,1997) (voir figure IV.2).

Cependant, les matériels utilisés généralement constitués de tuyaux poreux s'avéraient peu performants car très vulnérables au colmatage et aux intrusions racinaire. Cet état de fait a pu être confirmé à la faveur d'essais conduits à Montpellier à la fin des années 1980. L'apparition de nouveaux matériels réputés plus performants a incité l'Irstea (ex CEMAGREF) à réaliser des expérimentations afin d'analyser leur application possible au contexte des grandes cultures telles que le maïs lorsqu'elles sont soumises à des conduites hydriques restrictives.

Les nouveaux équipements goutte à goutte, en particulier les gaines en polyéthylène diffusées par certains fabricants ont bénéficié de perfectionnements qui permettent de les enterrer, à une profondeur inférieure à celle du labour (30 cm environ). En effet, ces gaines sont équipées de goutteurs (espacés de 30 à ou 40 cm, en général) présentant un débit qui reste proche du débit

nominal, et avec une bonne uniformité, lorsqu'ils fonctionnent dans la plage de variation de pression (0,5 à 1 bar) recommandée par le fabricant.

Le caractère innovant de cet équipement réside dans le fait qu'il s'oppose à l'intrusion dans les goutteurs des particules du sol et des racines. De plus, les goutteurs sont dotés d'un système anti-siphon et la gaine se vidange automatiquement sitôt l'eau coupée. Ces caractéristiques les éloignent des systèmes testés il y a plus de vingt ans en France, comme les tuyaux poreux.

Enfin, d'après les constructeurs, la durée de vie serait de l'ordre de quinze ans pour ce Irrigation localisée souterraine. Dans la mesure où cette durée peut être effectivement atteinte, le Irrigation localisée souterraine surpasserait largement d'un point de vue économique la technique du canon enrouleur selon Lam et Trooien (2003), surtout si l'on se situe dans la partie basse de la fourchette de prix affichée par les fabricants (entre 2 500 et 5 000 euros/ha).

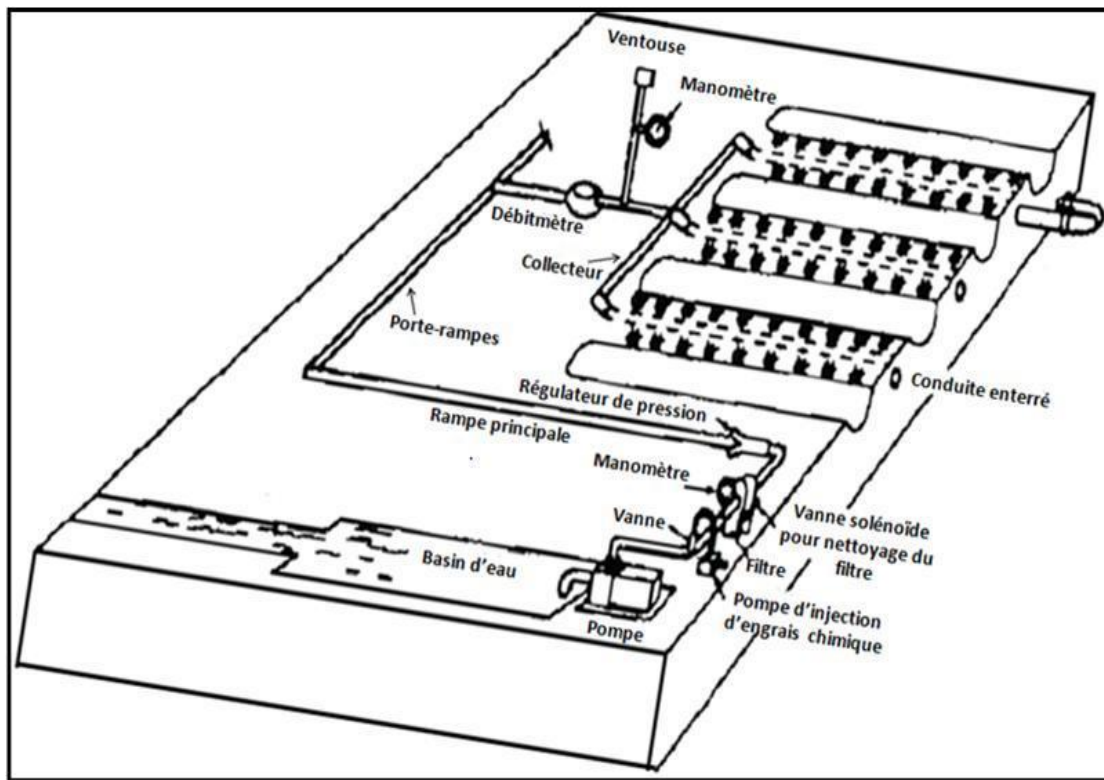


Figure IV.2: Dessin schématique de réseau d'irrigation du goutte à goutte enterré Source

(Reich, 2009)

IV.2.2-Avantages et inconvénients du goutte à goutte enterré (Reich, 2009) :

a-Avantages

1- Économie d'eau

L'efficacité calculée à partir du rapport entre la quantité d'eau mise à disposition des racines de la culture et de la quantité appliquée par l'équipement d'irrigation généralement annoncée pour le goutte à goutte de surface (GAG) est de 90 %; ce niveau est largement atteint, voire dépassé, avec le Irrigation localisée souterraine. La présence d'un système de peigne collecteur en addition du peigne d'alimentation des gaines (comme indiqué sur la figure 2 qui représente une installation type favorise un maintien au cours du temps d'une efficacité ainsi que d'une uniformité d'application élevées.

En effet, ce peigne permet en particulier une maintenance plus aisée du dispositif (notamment pour les contrôles et des purges).

Un des avantages attribués au Irrigation localisée souterraine est la réduction de l'évaporation du sol. Il est cependant à nuancer car il dépend de la date de début des irrigations. L'effet réducteur de l'évaporation sera d'autant plus limité que le début des irrigations sera tardif, à un stade où la plante a sa surface foliaire bien développée.

L'économie d'eau engendrée par le Irrigation localisée souterraine par rapport à l'aspersion, a été évaluée par modélisation (Mailhol *et al.* 2009).

Si l'on considère l'efficacité du canon enrouleur, système d'aspersion le plus répandu en France, qui peut atteindre 90 % (Cemagref *et al.* 1999), en l'absence de vent et moyennant une régulation automatique efficace, le passage au Irrigation localisée souterraine générerait une économie d'eau de 17 % dans les conditions climatiques de Montpellier, soit un à deux passages de canon lors d'un printemps peu pluvieux.

2- Économie de main d'œuvre

Mais l'avantage majeur à mettre au crédit du Irrigation localisée souterraine est l'économie de main-d'œuvre rendue possible par la programmation des arrosages



Figure IV-3 Dispositif goutte à goutte enterré ou Irrigation localisée souterraine (*Subsurface drip irrigation*)

En outre, le Irrigation localisée souterraine permet le travail du sol et tous les travaux culturaux sans avoir à démonter ou à déplacer le matériel comme c'est le cas avec certains systèmes d'aspersion, avec la couverture Intégrale ou même le canon enrouleur, ce dernier est, en outre, beaucoup plus exigeant en termes d'énergie. En Irrigation localisée souterraine, le risque d'apparition de mauvaises herbes est beaucoup plus faible qu'en aspersion.

3- Moindre impact environnemental

Les risques techniques peuvent être mieux maîtrisés. De par son principe même, la technique permet (fertigation) de délivrer les nutriments au niveau des racines et les doses d'irrigation classiquement apportées sont faibles par rapport à celles délivrées par le canon enrouleur. La technique Irrigation localisée souterraine minimise donc le risque de drainage et de lixiviation.

Enfin, on peut noter que l'agriculteur pratiquant le Irrigation localisée souterraine n'est plus

concerné par l'accusation de gaspiller l'eau aux heures de pointe en irrigant par aspersion.

En plus de ces avantages, on note le Irrigation localisée souterraine est caractérisé par:

-Un haut degré de contrôle sur l'application de l'eau avec une grande uniformité d'application, et des Excellentes performances dans les endroits venteux et arides ; Les maladies et l'évaporation sont réduites.

b- Les inconvénients

L'installation du système requiert une maîtrise toute particulière. La surface du sol peut être pentue mais la plus plane possible. On devra s'efforcer de bien positionner la ligne de semis par rapport aux gaines. L'inconvénient majeur est lié à la possible rareté des pluies printanières qui va contraindre l'agriculteur à disposer d'un deuxième système d'irrigation, avec un canon enrouleur pour assurer la levée de sa culture. Ces pluies printanières, en favorisant l'installation du système racinaire, et donc une exploitation des réserves hydriques stockées dans le sol, contribuent largement à accroître l'efficacité agronomique du SDI (**Mailhol et al.2011**). Par ailleurs, comme tout système goutte à goutte, le Irrigation localisée souterraine n'échappe pas aux risques de colmatage. Aussi, les consignes de filtration et de maintenance doivent-elles être bien respectées et il est recommandé de se doter de moyens de contrôle des pressions dans les conduites pour détecter le colmatage éventuel.

L'eau n'étant pas visible et facilement quantifiable comme en aspersion, un minimum d'instrumentation sera nécessaire pour suivre et ajuster les apports d'eau (volucompteur et capteurs d'état hydrique du sol). Quant aux problèmes de salinité fréquemment évoqués en goutte à goutte dans les pays du Sud, suite à l'usage d'eaux chargées en sels et qui se manifestent par l'apparition de croûtes au voisinage des gaines, il n'existe guère d'autre solution que celle consistant à maintenir en veille le système d'irrigation gravitaire abandonné au profit du goutte à goutte pour pallier l'insuffisance des pluies hivernales. Enfin, les matériaux utilisés ne sont pas biodégradables, ce qui, pour respecter les contraintes environnementales en fin de vie du SDI, nécessitera une récupération plus ou moins coûteuse des dispositifs enterrés.

Le bilan économique doit intégrer le coût de récupération du matériel. Une meilleure valorisation de l'eau, mais des économies d'eau discutables en cas d'accroissement des productions irriguées Nul ne conteste le fait que le goutte à goutte, et plus particulièrement le SDI, permet de bien valoriser l'eau apportée.

L'accroissement des superficies irriguées en goutte à goutte de surface dans certaines régions du Maghreb témoigne bien des profits réalisés par les agriculteurs.

Toutefois, cet accroissement des superficies, bien souvent associé à un défaut de maîtrise de ces systèmes récemment adoptés, se solde par un abaissement préoccupant du niveau des nappes.

Il n'est donc pas exclu qu'en l'absence de processus de régulation de l'offre imposé par exemple par un système de quotas, une technique réputée économe en eau induise des effets allant à l'encontre des objectifs escomptés par les gestionnaires de l'eau.

IV.3- Résultats issus d'expérimentations Jean Claude MAILHOL, Pierre RUELLE, Cyril DEJEAN et Patrick ROSIQUE

L'absence de références en France sur les nouveaux matériels disponibles (en particulier les gaines souples) pour le goutte-à-goutte enterré en grandes cultures, a incité le centre Irstea de Montpellier à mettre en place un dispositif expérimental. Son objectif était en particulier d'évaluer l'utilisation du Subsurface irrigation goutte à goutte en irrigation déficitaire et la valorisation de l'eau dans les conditions pédoclimatiques méditerranéennes à partir de la collecte d'informations expérimentales prenant en compte en outre des éléments clés, comme les écartements entre gaines, les modes de conduites de l'irrigation ou les contraintes techniques rencontrées.

IV.3.1- Parcelle expérimentale de Subsurface irrigation goutte à goutte.

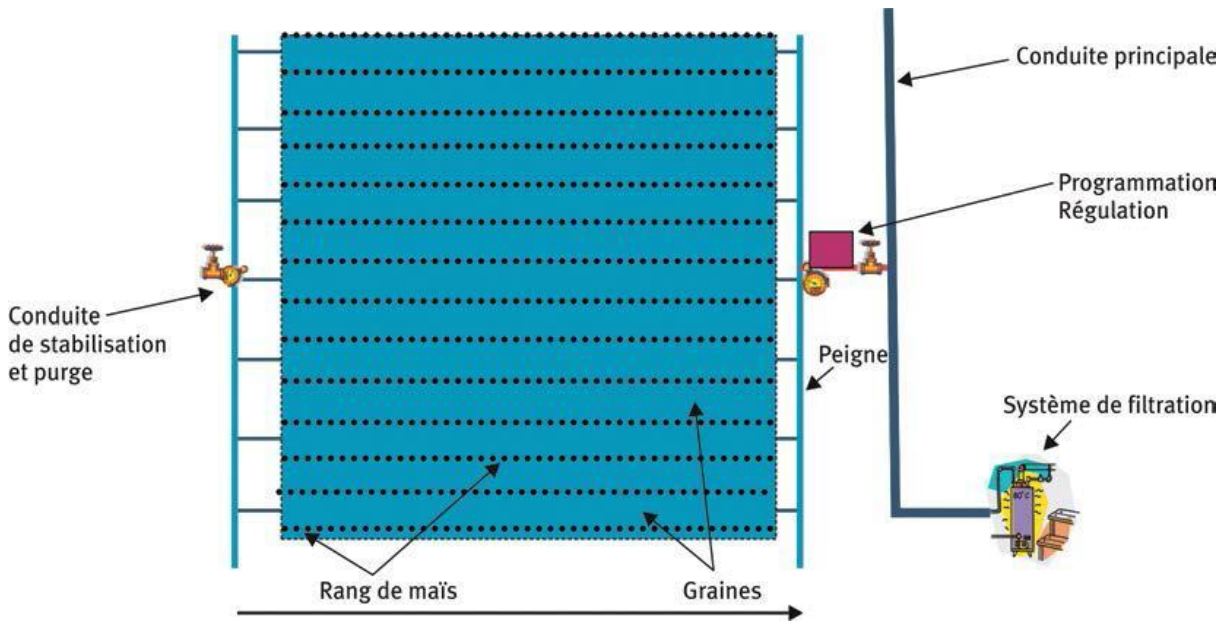


Figure IV-4 Parcelle expérimentale de Subsurface irrigation goutte à goutte.

dispositif expérimental. Son objectif était en particulier d'évaluer l'utilisation du Subsurface irrigation goutte à goutte en irrigation déficitaire et la valorisation de l'eau dans les conditions pédoclimatiques méditerranéennes à partir de la collecte d'informations expérimentales prenant en compte en outre des éléments clés, comme les écartements entre gaines, les modes de conduites de l'irrigation ou les contraintes techniques rencontrées. Les résultats sont illustrés ci-après par des comparaisons entre différents Subsurface irrigation goutte à goutte et irrigation par aspersion au canon enrouleur obtenues sur maïs en sol limoneux à Montpellier. Le dispositif expérimental Irrigation localisée souterraine (selon le schéma de la figure IV-4) comportait (en 2009, 2010 et 2011) des gaines souples Chapin (goutteurs espacés de 30 cm et de débit nominal 0,91 l/h à 0,69 b) placées à 35 cm de profondeur, avec des écartements de 1,60 (SDI 160) et 1,2 m (SDI 120) et des gaines John Deere ont été implantées en 2011 (SDI 80). Des traitements de référence non irrigués complétaient cet ensemble. Trois campagnes climatiquement contrastées quant au régime des pluies printanières ont été retenues : 2008 a connu le printemps le plus arrosé, l'irrigation n'ayant débuté qu'au-delà de la mi-juin, soit un mois plus tard qu'en 2009 et 2011. La stratégie d'irrigation adoptée visait un rendement en grain objectif de 14 T/ha seulement alors que les potentialités de la variété sont de 18 T/ha. En outre, l'objectif était de tester l'applicabilité du Subsurface irrigation goutte à goutte au contexte de « l'irrigation déficitaire » amenant l'agriculteur à apporter des quantités d'eau relativement élevées mais peu fréquentes pour pallier d'éventuelles coupures d'eau. Un calendrier prévisionnel d'irrigation a été établi au moyen de la modélisation (Mailhol et al., 2011) selon une approche adaptative, qui consistait à remettre à jour le calendrier prévisionnel d'irrigation sur la base des doses réellement apportées. Ces dernières résultaient d'une éventuelle correction de la dose prévue afin de réduire tout risque de drainage détectable au moyen d'une batterie de tensiomètres installés à la verticale d'une gaine. Les doses appliquées ont varié de 3 à 30 mm/j environ.

Les résultats sont illustrés ci-après par des comparaisons entre différents Irrigation localisée souterraine et irrigation par aspersion au canon enrouleur obtenues sur maïs en sol limoneux à Montpellier.

Le dispositif expérimental Irrigation localisée souterraine (selon le schéma de la figure IV-4) comportait (en 2009, 2010 et 2011) des gaines souples Chapin (goutteurs espacés de 30 cm et de débit nominal 0,91 l/h à 0,69 b) placées à 35 cm de profondeur, avec des écartements de 1,60 (SDI 160) et 1,2 m (SDI 120) et des gaines John Deere ont été implantées en 2011 (SDI 80).

-Des traitements de référence non irrigués complétaient cet ensemble.

Trois campagnes climatiquement contrastées quant au régime des pluies printanières ont été retenues : 2008 a connu le printemps le plus arrosé, l'irrigation n'ayant débuté qu'au-delà de la mi-juin, soit un mois plus tard qu'en 2009 et 2011. La stratégie d'irrigation adoptée visait un rendement en grain objectif de 14 T/ha seulement alors que les potentialités de la variété sont de 18 T/ha. En outre, l'objectif était de tester l'applicabilité du SDI au contexte de « l'irrigation déficitaire » amenant l'agriculteur à apporter des quantités d'eau relativement élevées mais peu fréquentes pour pallier d'éventuelles coupures d'eau. Un calendrier prévisionnel d'irrigation a été établi au moyen de la modélisation (Mailhol *et al.* 2011) selon une approche adaptative, qui consistait à remettre à jour le calendrier prévisionnel d'irrigation sur la base des doses réellement apportées. Ces dernières résultaient d'une éventuelle correction de la dose prévue afin de réduire tout risque de drainage détectable au moyen d'une batterie de tensiomètres installés à la verticale d'une gaine. Les doses appliquées ont varié de 3 à 30 mm/j environ.

IV.3.2- Résultats et analyse de l'efficiencia du goutte à goutte enterré

Le tableau 1 présente les valeurs de la productivité de l'eau d'irrigation, (kg de grain/m^3) = R/DA , où $R(\text{kg/ha})$ est l'écart de rendement en grain entre celui du traitement irrigué et celui du traitement en sec, $DA(\text{m}^3/\text{ha})$ étant la dose apportée. On constate que la productivité de l'eau d'irrigation est supérieure pour SDI, mais la productivité de l'eau d'irrigation décroît sensiblement avec l'écartement des gaines. La pluviométrie (importante en 2008) atténue l'effet espacement et/ou de dissymétrie. Le SDI80 engendre la productivité de l'eau d'irrigation la plus élevée, mais cependant proche de SDI120. D'un point de vue économique, son utilisation est cependant réaliste dans un système de rotation associant une grande culture (maïs, blé dur) à une culture à forte valeur ajoutée telle que le melon, par exemple. Concernant la stratégie d'irrigation sous SDI, on a pu montrer que ce système, conçu pour fonctionner « sous faibles doses » à haute fréquence, se révèle aussi capable d'apporter d'importantes quantités d'eau. Les doses les plus élevées n'ont entraîné que des pertes par drainages relativement faibles (évaluées à moins de 10 % de la dose totale apportée). Au regard du tableau IV-1, on peut dire sans trop de risques de se tromper, qu'un SDI150 sous maïs avec des rangs espacés de 75 cm,

devrait correspondre à la solution économique optimale sur sol limoneux à Montpellier. Cet espacement est en accord avec les résultats de l'étude de Camp (1998). On note cependant une forte différence entre 120 et 160 en 2011, traitements semés à la même date contrairement à 2009.

Enfin, pour illustrer le rôle du sol, une modélisation adaptée au SDI (Mailhol et Albasha, 2012) permet de montrer qu'en sol sablo-limoneux, où l'extension latérale de la zone humide est plus faible qu'en sol limoneux, il est impossible de dépasser une IWP de 2,23 kg/m³ avec un SDI120 sans engendrer des risques élevés de drainage. En conséquence, l'aspersion s'avère être la solution recommandable dans ce type de sol. Selon nos essais, l'WPI pour l'aspersion n'est pas toujours beaucoup plus faible que pour SDI. Elle l'aurait été probablement davantage si on avait utilisé, pour son calcul, les volumes enregistrés au compteur ramenés à la superficie arrosée, et mesuré le rendement total afférent à cette superficie. Il convient toutefois de noter que notre canon enrouleur possède une régulation automatique et qu'il a toujours été utilisé en l'absence de vent.

Tableau IV-1 Productivité de l'eau d'irrigation (WPI) mesurée au centre Irstea de Montpellier sur du maïs en sol limoneux.

Années	Traitements	Dose (mm)	WPI (kg/m ³)	Pluie sur le cycle
	Aspersion	269	2,70	
2008	SDI120	230	3,90 (+ 44 %)	230
	SDI160	240	3,85 (+ 43 %)	
	Aspersion	217	2,95	
2009	SDI120	247	3,75 (+ 27 %)	57
	SDI160	249	3,40 (+ 15 %)	
	6			
	Aspersion	334	3,20	
2011	SDI80	266	4,25 (+ 33 %)	180
	SDI120	250	4,10 (+ 28 %)	
	SDI160	240	3,50 (+ 9 %)	

Les doses en aspersion sont des hauteurs d'eau moyennes mesurées dans les pluviomètres avoisinant les « placettes de rendement ». Les valeurs des pourcentages (%) des WPI sont les accroissements de la productivité de l'eau calculés par rapport à la référence « aspersion » de l'année considérée.

Enfin en Tunisie, **Douh et Boujelben** (2012) ont réalisé un diagnostic du goutte à goutte enterré dans la culture du maïs et ont mis en évidence des résultats performants : les conditions hydriques ont assuré une augmentation de la production pour le système d'irrigation goutte à goutte enterré en général et en particulier pour celui dont la profondeur est de 0,35 m où le rendement a augmenté de 22,8% par rapport au mode de surface pour atteindre 134,72 q/ha.

IV.4- Etude comparative entre le système goutte à goutte de surface et le système enterre

Pour l'irrigation d'une culture de pomme de terre

IV.4.1- Dispositif Expérimental

La parcelle d'essais d'une superficie de 0,72 ha, a été subdivisée en huit blocs où deux traitements ont été conduits :

- Irrigation goutte à goutte de surface (DI)
- Irrigation localisée souterraine (SDI)

Huit sous-traitements ont été distingués :

Deux pour le système DI où deux débits différents : 2,0 et 4,0 l/h (les plus communément utilisés) ont été appliqués Six pour le système SDI où deux débits différents (2,0 et 4,0 l/h) et trois profondeurs d'enterrement des rampes ont été appliqués (Tableau IV-2). Les profondeurs d'enfouissement des rampes SDI ont été fixées tenant compte des résultats de Neelam et al. [10] obtenus avec une culture de pomme de terre.

Chaque bloc, de 9 lignes de culture (de longueur 86 m, et écartement 0,80 m), a été subdivisé en trois sous-blocs où ont eu lieu les répétitions des prélèvements et des mesures. La station de tête est commune pour les deux systèmes et comporte un filtre à gravier, un filtre à disque, un injecteur d'engrais, un compteur et trois manomètres de pression (Fig. IV-5).

Tableau IV-2. Description des traitements

Traitements	Technique d'irrigation	Débit	Profondeur d'enterrement des rampes
T1	DI	q = 4 l/h	Surface
T2	DI	q = 2 l/h	Surface
T3	SDI	q = 4 l/h	10cm
T4	SDI	q = 2 l/h	10cm
T5	SDI	q = 2 l/h	20 cm
T6	SDI	q = 2 l/h	15 cm
T7	SDI	q = 4 l/h	15 cm
T8	SDI	q = 4 l/h	20 cm

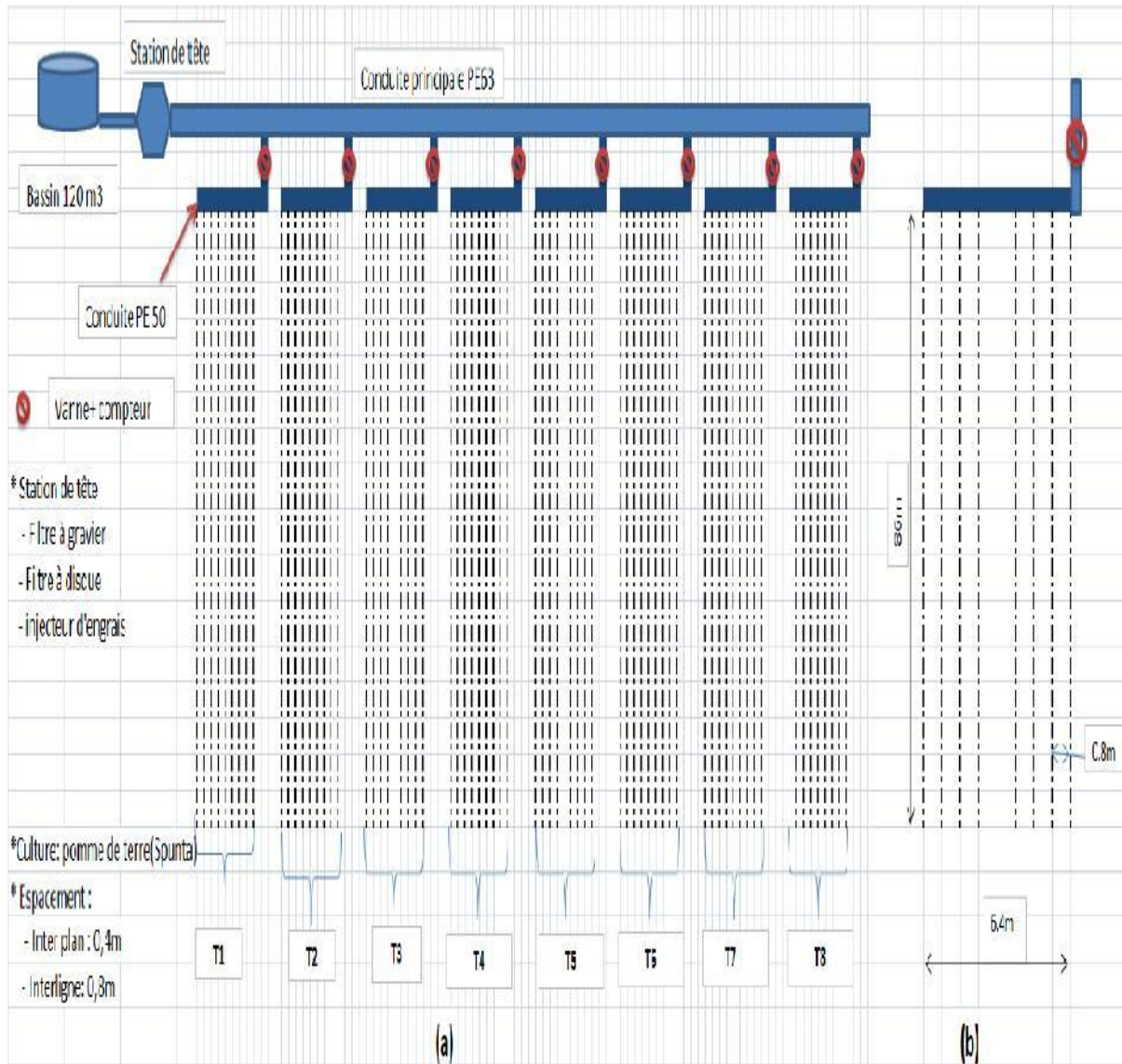


Figure IV-5 Schéma du dispositif expérimental: pour toute la parcelle (a) et au niveau du bloc (b).

Tous les droits réservés à la Bibliothèque ENSH

IV.4.2- RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les valeurs moyennes des caractéristiques physiques du sol, sont récapitulées dans le Tableau 2 qui montre que la texture est limoneuse fine à très fine en profondeur, où les proportions d'argile et de limon sont relativement équilibrées.

Alors que la proportion de sable diminue d'une façon prononcée jusqu'à 60 cm. La faible fluctuation de la densité apparente (de l'ordre de 3,4 % par rapport à la moyenne) et des humidités caractéristiques (surtout θ_c et θ_s) confirme cette texture équilibrée sur toute la profondeur prospectée. Ce qui reflète aussi une capacité de rétention moyenne (de l'ordre de 100 mm/m).

Tableau IV-3 Caractéristiques physiques du sol

Couches	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	D_a (g/cm ³)	θ_c	θ_f	θ_s
0-20 cm	22	73	5	1,56	19,3	10,5	38,5
20-40cm	19	77	4	1,62	21,4	10,1	36,3
40-60cm	11	85	4	1,62	18,7	8,8	37,4
60-80cm	17	80	3	1,53	17,2	7,4	42,2

Développement Végétatif

La longueur et le diamètre moyens (de 45 plantes) mesurés à la fin du cycle végétatif pour les différents traitements sont récapitulés au tableau 3.

Tableau IV-4. Diamètre et longueur de la tige à la fin du cycle cultural

Traitements	Longueur moyenne de la tige (cm)	Diamètre moyen de la tige (cm)
T1	58,55a	1,144 a
T2	57,58a	1,224 ab
T3	60,26a	1,216 ab
T4	60,00a	1,182 ab
T5	58,44a	1,271b
T6	60,20a	1,267b
T7	58,66a	1,227 ab
T8	60,22a	1,254b

Les comparaisons des longueurs des tiges entre traitements, moyennant le test de Student Newman Keuls (SNK), a révélé que les différences n'étaient pas significatives au seuil 5%. Donc, il n'y a pas un effet traitement sur la croissance de la tige de la pomme de terre. Par contre, pour la croissance des diamètres des tiges, les différences étaient significatives au seuil 5%. Les diamètres les plus épais (1,27 ; 1,27 et 1,25 cm) correspondaient respectivement aux traitements T5, T6 et T8.

IV.4.3-Rendements

IV.4.3.1- Rendements par plante

Le tableau 4 récapitule la production moyenne (de 45 plantes) par plante, enregistrée pour chaque traitement.

Tableau IV-5 Rendement par plante

Traitements	Nombre moyen de tubercules	Poids moyen par tubercule (kg)
T1	7,36a	0,872 a
T2	7,36a	0,943 a
T3	5,98a	0,845 a
T4	6,78a	0,864 a
T5	6,24a	0,852 a
T6	6,64a	0,926bc
T7	6,47a	0,978 c
T8	6,13a	0,879c

Moyennant le test SNK au seuil 5%, la comparaison des nombres de tubercules obtenus, a révélé des différences non significatives entre tous les traitements. Donc, il n'y a pas un effet traitement sur le nombre de tubercules récoltés par plante.

Par contre, l'effet traitement était nettement significatif sur le poids moyen des tubercules. Les poids les plus élevés ont été enregistrés avec les traitements SDI, à savoir T6, T7 et T8. Donc, le système SDI permet d'augmenter le rendement de la pomme de terre à travers l'augmentation du calibre des tubercules.

IV.4.3.2- Productions totales et commercialisables

Les productions moyennes totales obtenues avec chaque traitement sont présentées au Tableau 5. Les meilleurs rendements sont enregistrés respectivement avec les traitements T7, T2 et T6 qui se distinguent (des autres traitements) significativement au seuil de 1%. L'autre traitement

engendrent pratiquement le même rendement avec un risque d'erreur de l'ordre de 4%. Puisque la récolte de pomme de terre d'arrière-saison a lieu pendant une période où les opportunités d'exportation sont fréquentes, on a cherché à distinguer la part du rendement qui pourrait être facilement liquidée en se basant sur la classification (Tableau IV-6) par calibre adoptée par Xiao et al.[15]. A l'instar du rendement total, les traitements T7, T6 et T2 offrent l'opportunité d'avoir une proportion commercialisable la plus élevée avec une distinction nette pour le traitement T7. Donc, le système SDI (enterré à 15 cm) engendre, non seulement le meilleur rendement, mais offre aussi l'opportunité de liquider au meilleur prix la majorité de la production.

Tableau IV-6 Rendements total et commercialisable

Traitements	Rendement (T/ha)	Rendement commercialisable (T/ha)
T1	27,25a	25,92a
T2	29,47b	27,88b
T3	26,42a	25,44a
T4	26,99a	25,78a
T5	26,63a	25,67a
T6	28,95b	27,99b
T7	30,55c	29,37c
T8	27,46b	26,43b

Tableau IV-7 Rendement par calibre

Traitements	Poids<50g	50g ≤Poids<100g	100g ≤Poids<200g	200g ≤Poids<300g	Poids≥300g	Poids≥50g
T1	1,92	6,48	19,15	8,57	3,12	37,32
T2	2,3	5,55	17	13,23	4,36	40,14
T3	1,41	3	18,49	11,53	3,62	36,64
T4	1,72	4,5	17,57	9,19	5,86	37,12
T5	1,38	4,74	17,62	8,6	6	36,96
T6	1,39	5,59	15,69	11,49	7,53	40,3
T7	1,67	3,24	15,06	16,53	7,46	42,29
T8	1,48	4,14	14,48	11,39	8,05	38,06

IV.4.3.3- Efficience l'irrigation enterrée

Hormis le traitement T1, l'efficience de l'irrigation (E_c) est dans tous les cas bonne (Tableau 7). Mais avec les traitements SDI surtout T6 et T7 se distinguent par des efficacités excellentes. Les valeurs relativement faibles enregistrées avec les traitements T5 et T8 pourraient être imputées aux éventuelles pertes par infiltration au-delà des couches prospectées puisque les rampes étaient plus profondes (enterrées à 20 cm) d'autant plus que le sol est d'une texture limono-sableuse (Tableau 8). Ces résultats corroborent les données de la Figure 3. Neelam and Rajput [9] ont obtenu le meilleur rendement (25,7 t/ha) pour une culture d'oignon avec des rampes SDI enterrées à 10 cm. Selon ces auteurs, les pertes par infiltration profonde étaient significatives pour des rampes enterrées à 20 cm et maximales avec celles enterrées à 30 cm.

Tableau IV-8 Efficience de l'irrigation

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Efficience (%)	62	85	84	83	77	87	90	78

Tableau IV-9 Productivité et marge brute de l'eau

Traitements	ETR (m^3/ha)	Rendement (T/ha)	Marge brute (DT/ha)	Productivité (DT/ m^3)
T1	242,82	25,92	18142	4,6
T2	205,38	27,88	19513	5,9
T3	209,42	25,44	17811	5,3
T4	219,89	25,78	18044	5,1
T5	210,37	25,67	17967	5,3
T6	203,67	27,99	19590	6,0
T7	204,34	29,37	20558	6,2
T8	223,17	26,43	21144	5,1

IV.5-Perspectives de l'irrigation enterrée en Algérie : un outil d'irrigation en zones arides :

Tout au long de ce mémoire, nous avons essayé de détailler la technique prometteuse du goutte à goutte enterrée et de l'irrigation souterraines. Le système goutte à goutte enterré, qui permet une meilleure efficacité de l'eau (cas des régions arides), peut être utilisé à grande échelle en Algérie.

En effet, dans les régions arides, la mise en valeur des terres connaît actuellement un essor considérable, concernée par ce développement, et assure actuellement autour de 40% des besoins nationaux en maraichages, cette perspective attire de plus en plus d'agriculteurs.

Dans ce cas, le goutte à goutte enterré peut être testé et vulgarisé dans les wilaya du Sud du pays telles que Biskra, et El Oued, ceci dans l'irrigation des cultures maraichères et même arboricoles. Cependant ce développement s'il n'est pas soumis à une gestion intégrée de l'ensemble des ressources, risque de porter un préjudice certain à la durabilité de l'agriculture dans cette région par rapport à la maîtrise de la gestion des ressources.

Un encadrement et un accompagnement des agriculteurs par des instituts spécialisés dans l'irrigation souterraine s'avère plus qu'utile dans cette initiative de l'irrigation moderne et efficace.

IV.6 Conclusion

La technique du Irrigation localisée souterraine peut être recommandée pour irriguer les grandes cultures sur des sols dont la granulométrie évolue des sols argileux à limono-sableux. Dans ces conditions, c'est un écartement des gaines de 1,50 m qui s'avère être le plus adapté aux contraintes économiques. La technique peut s'adapter aux pénuries d'eau pouvant engendrer des coupures d'eau prolongées et améliorer très significativement la productivité de l'eau par rapport aux systèmes en aspersion. Son application à des conditions de sols moins favorables (sols de type sablo limoneux) n'apparaît réaliste, d'un point de vue économique, que dans un système de rotation impliquant des cultures à haute valeur ajoutée.

Enfin, l'encouragement au développement d'un tel système en vue de réaliser des économies d'eau pour satisfaire l'ensemble des usagers ne pourra s'avérer efficace sans la mise en place d'un système de quotas.

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons présenté les différents systèmes d'irrigation à savoir le système gravitaire, d'aspersion, localisée et l'irrigation souterraine.

Après une analyse comparative entre les deux systèmes, les résultats de cette étude ont montré que le système d'irrigation souterrain présente des avantages par rapport au système d'irrigation goutte à goutte de surface

Les résultats montrent aussi que la teneur en eau dans la zone racinaire était toujours plus élevée sous le système SDI avec un intervalle de fluctuation plus faible que celui enregistré sous le système de surface.

Enfin, cette étude a montré que le système d'irrigation souterrain présente des avantages importants par rapport aux autres systèmes d'irrigation classiques ou le système goutte à goutte de surface.

Il est donc conseillé la vulgarisation de la technique du goutte à goutte enterré, et cela pour une bonne pratique de l'agriculture et de l'irrigation, en particulier dans les zones arides.

Références bibliographiques

1-BABA AHMED ABDERRAZZAK .2012. Etude De Contamination Et D'accumulation De Quelques Métaux lourds Dans Des Céréales, Des Légumes Et Des Sols Agricoles irrigués Par Des Eaux Usées De La Ville De Hammam Boukhara Chimie de L' Environnement Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, pp 227.

2-Bainbridge. 1997. Irrigation for remote sites, serg: soil ecology and restoration group, 20 p.

3-Bainbridge. 2002. Alternative irrigation systems for arid land restoration, board of regents of the university of Wisconsin system, 23-29 p.

4-Bainbridge, Ramirez, Jose. 2008. More efficient irrigation systems for desert and dry land restoration, marshal goldsmith school of management, Aliant international university, Santiago, 11p.

5-Camp.1998, subsurface drip irrigation: a review, transaction of the ASE, vol. 41(5), 1353-1367p.

6-Carloz et Rousselle – L'irrigation par aspersion. Mise en œuvre de l'eau au niveau de la parcelle. Bull. Techn. Inform. Ministère.

7-Chahbani. B, 2013. Le diffuseur enterré, **CHAHTECH.** Djerba- Tunisie

8-Choisel E. et Noilhan J. (1995) - la prévision des sécheresses. La recherche, p. 34-40.

9-Conac f. 1978. Irrigation et développement agricole. L'exemple des pays méditerranéens et danubiens.

10-Dubost d. 1992- aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes .in sécheresse no 2. Vol. 3.

Références bibliographiques

11-El Asslouj ; E Kholtei ; El Amrani et Hilali. (2007) Analyse de la qualité physico chimique des eaux souterraines de la communauté des mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique science 03(1) (2007) .109 – 122p.

12-FAO 1975. Food alimentation organisation les besoins en eau des cultures. Bull Fao n° 24.

13-Fao. 1997. Small-scale irrigation for arid zones, principles and options, rom, food and agriculture organization of the United Nations (Fao).

14-Hillel, D. 1988. L'eau et le sol: Principes et processus physiques. Ed Academia, 288 pages.

15-Horning H M., 1973. Rôle de l'aménagement rationnel de l'eau d'irrigation au niveau des exploitations. Séminaire régional Fao/pnud damas. 7-13 décembre 1971. 10-21p.

16-Horton r. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. American geophysical union transactions 14: 446-460.

17-Israelsen. 1962. Irrigation principles and practices. New-York, j.wiley and sons.

18-L'eau Et Le Sol auteur : Jacques Beauchamp Professeur A L'université De Picardie

19-Mailhol, Ruelle, Khaledian, Mubarak, Rosique. 2009, systèmes d'irrigation et économies d'eau sous climat méditerranéen : étude expérimentale et modélisation, in: durabilité des systèmes de cultures en zone méditerranéenne, gestion des ressources en eau et en sol, actes du symposium agdumed, rabat (Maroc) 15-16 mai 2009, 156-165p.

20-Mailhol, Albasha, and Sdicm: a crop model for evaluating iwp under SDI, under review: agwat.

21-Mailhol, Ruelle, Walser, Schutze, Dejean. 2011, analysis of aet and yield prediction under surface and SDI, agric. water manag. n° 98, 1033-1044p.

Références bibliographiques

22-Maton, I. (2006). Représentation et simulation des pratiques culturales des agriculteurs à l'échelle régionale pour estimer la demande en eau d'irrigation. Application a un bassin versant maïsicole du sud-ouest de la France. Thèse de doctorat. inp-toulouse, France, 223p.

23-Mein, R. G., & L. Larson. (1973). Modeling Infiltration During a Steady Rain. Water Resources Research, 9(2):384-394. Misra, C., D. R. Nielsen.

24-Milos H. (1971). L'eau et l'environnement bull. FAO. 8 :32-38p.

25-Mishra S.K., j.v. Tyagi, and V.P. Singh. (Sep 2003) Comparison of infiltration models hydrological processes, 17(13):2629–2652.

26-Mohammed Azougagh Département de machinisme agricole institut agronomique et vétérinaire Hassan II.

27-Ollier ch.et Poirée m. (1983). Irrigation : les réseaux d'irrigation, théorie, technique et économie des arrosages. Ed. Eyrolles. paris.455p.

28-P. Ciron 1990 Sitom du val de Durance site de ponserot centre technique d'enfouissement de rognés (bouches du Rhône) bilan hydrique par p. ciron r 31 508 PAC octobre 1990.

29-Philip j. 1957. The theory of infiltration: 1. the infiltration equation and its solution. Soil science, 83(5): 345-358p.

30-Philip j. 1957. The theory of infiltration: 4. sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil science 84(3): 257-264p.

31-Plauchu. 2004. Economies de l'environnement.

32-Remeneiras, G 1986. Hydrologie de l'ingénieur., éditions Eyrolles. 462 pages.

Références bibliographiques

33-Renfro, g.; 1955. Applying water under the surface of the ground, USDA yearbook of agriculture, 273-278p.

34-Regt b. 1990. L'irrigation et la culture du riz au Suriname. Revue. Le courrier n°24 nov.-décembre .94-95p.

35- R.E. Smith and J.Y. Parlange.(1978) Parameter-efficient hydrologic infiltration model. Water resources research, 14(3):533–538p.

36-R.G. Mein and C.L. Larson. (1973) Modeling infiltration during a steady rain. Water resources research, 9(2):384–394 p.

37-Smith r, Corradini c, Melone f. 1993. Modelling infiltration for multistorm runoff events. Water resources research 29(1): 133-144p.

38-Smith r, Corradini c, Melone f. 1999. A conceptual model for infiltration and redistribution in crusted soils. Water resources research 35(5): 1385-1393p.

39-Smith, r, Goodrich, d, Quinton, j. 1995. Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: the kinos2 and eurosem models. Journal of soil and water conservation, 50(5): 517-520p.

40-Tiercelin. 1998. Traité d'irrigation, Lavoisier tec & doc, Paris .1011p.

41-Van Genuchten m. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil science society of America journal 44: 892-898p.