



الجمهورية الجزائرية
 الديمقراطية و الشعبية
 وزارة التعليم
 العالي و البحث العلمي

Université
**Mohamed Chérif
 Messadia University**
Souk-Ahras

Logo



Cours d'irrigation 3^{ème} LMD

Spécialité Hydraulique

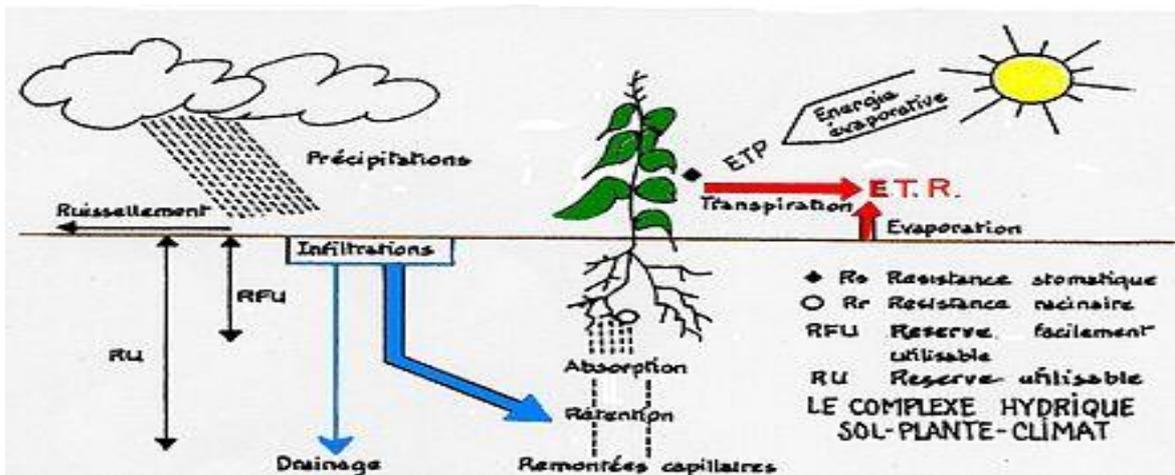


Table de Matières

Chapitre 1 : Généralités sur le sol

1	Définition.....	10
1.1	La morphologie des sols	10
1.2	La morphologie des sols :	11
1.3	Les morphologies pédologiques sont en relation directe avec les propriétés physiques, chimiques, biologiques, mécaniques des sols :	12
2	Caractéristiques et propriétés physiques des sols.....	Error!
	Bookmark not defined.	
2.1.1	Composition du sol.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.1.1	La matière organique contenue dans le sol	Error! Bookmark not defined.
2.1.1.2	Les minéraux du sol.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.1.3	L'eau du sol.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.1.4	La perméabilité.....	Error! Bookmark not defined.
2.1.1.5	L'air contenu dans le sol.....	Error! Bookmark not defined.
3	L'eau du sol en relation avec l'irrigation.
3.1	Les facteurs élémentaires de l'irrigation	Error! Bookmark not defined.
3.1.1	Structure et texture du sol.....	14

Chapitre 2: Principes de l'irrigation

1	Principes de l'irrigation	2
2	Définition	20
3	Complément ou l'appoint	21
3.1	L'irrigation d'appoint	22

4	L'eau dans la plante	24
	(A quoi sert l'eau dans la plante ?).....	24
4.1	L'eau participe au processus de photosynthèse	26
4.2	L'eau assure la turgescence, phénomène qui donne à la plante sa forme de plante...27	
4.3	L'eau contribue à la régulation de la température de la plante	27
5	Effets secondaires de l'irrigation.....	28
5.1	Salinité	28
5.2	Sodium :	29
5.3	L'alcalinité et la dureté sont deux notions intimement liées au risque de colmatage du système goutte-à-goutte.....	29
5.4	Les bicarbonates de calcium et de magnésium sont relativement peu solubles dans l'eau. 29	
5.5	PH de l'eau d'irrigation	30
5.6	Autres éléments	30
6	Caractéristiques biologiques.....	32
7	Conditions de l'irrigation traditionnelle	33

Chapitre 3: Réseau d'irrigation

1	Description.....	35
1.1	Morphologie d'un système d'irrigation	36
1.2	Gestion Rationnelle d'une agriculture	37
2	Détermination de la portée des canaux	39
3	Pertes dans les canaux	41
3.1	Conservation de l'eau.....	41
3.2	Classification des techniques d'irrigation.....	41
3.3	Réseau de transport et de distribution de l'eau en terre.....	42
3.4	Réseau de transport et de distribution en en pvc ou système californien	43

Chapitre 4: Techniques d'irrigations

1	Définition d'une technique d'irrigation.....	46
2	Irrigation par ruissèlement	48
2.1	Les avantages de l'irrigation par ruissèlement.....	48
2.2	Les inconvénients.....	48
2.3	Irrigation par bassins	49
2.4	Irrigation par sillons/a la raie	50
2.4.1	Irrigation par planches	50
3	Irrigation par infiltration ou gravitaire.....	51
3.1	Les avantages	52
3.2	Les inconvénients.....	52
4	Irrigation par Aspersion	53
4.1	Les avantages	53
4.2	Inconvénients	53
5	Irrigation au Goutte à Goutte.....	54
5.1	Description du système goutte à goutte.....	58

Chapitre 5: Etude d'un projet d'irrigation

1	Estimation des besoins en eau des cultures.....	61
1.1	Le bilan hydrique	61
2	Besoins en eau des cultures.....	63
2.1	Disponibilité en eau du sol.....	64
2.1.1	Eau totale disponible (ETD)	64
3	Déficit en eau	65
4	Déficit agricole.....	66
5	Etats des Réserves en eau des sols	66
5.1	Eau facilement disponible (RFU).....	66

5.1.1	Exercice :	70
6	Principes de base de la conception d'un réseau goutte-à-goutte ou aspersion	71
6.1	Données :	72
6.2	Exemple de la ville de Souk-Ahras période d'étude 1969-2007 :	73
6.2.1	Calcul des paramètres climatiques	73
6.2.1.1	L'évapotranspiration potentielle (ETP)	73
6.2.1.2	Les précipitations.....	Error! Bookmark not defined.
6.2.1.3	Type de culture de la zone d'étude	Error! Bookmark not defined.

Liste des figures

Figure 1.1:	Formation et Genèse du Sol.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 2.1:	Les différentes étapes de la genèse d'un sol.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 3.1:	Eau-sol-ETP et ETR	14
Figure 4.1:	Texture du sol.....	15
Figure 2.1 :	Reserve du sol +Pluie +Irrigation.....	21
Figure 2.2:	L'eau dans la plante.....	30
Figure 2.3 :	Eau +processus de photosynthèse.....	32
Figure 3.1:	réseau de canaux d'irrigation.....	40
Figure 3.2:	réseau d'irrigation.....	41
Figure 3.4 :	prises d'eau dans les champs irrigués traditionnelles.....	42
Figure 3.5 :	prises d'eau dans les champs irrigués traditionnelles (avec un seau ou un arrosoir).....	43
Figure 3.6 :	Galerie de capture de la nappe d'eau.....	45
Figure 3.7:	capture de la nappe d'eau.....	46
Figure 3.8 :	Système californien.....	48
Figure 4.1 :	système d'irrigation.....	50

Figure 4.2 : Bulbe humidifié par le goutteur selon le type de sol.....	60
Figure 4.3 : schéma d'irrigation goutte à goutte.....	63
Figure 5.1 : schéma du bilan hydrique.....	66
Figure 5.2 : Exemple du coefficient cultural.....	68
Figure 5.3: Teneurs en eau caractéristiques d'un sol.....	71
Figure 5.4: réserve en eau du sol.....	72
Figure 5.5: Système d'irrigation goutte à goutte.....	76
Figure 5.6: Schéma de la parcelle.....	77
Figure 5.7 : Les résultats de calcul d'ETo Station de Souk ahras 1969-2007.....	78
Figure 5.8 : Les résultats de calcul Peff Station de Souk ahras 1969-2007.....	79
Figure 5.9 : Evolution des pluies totales et l'ETP Station de Souk ahras1969-2007.....	79
Figure 5.12 : Diagramme de comparaison d'ETc et Besoin en Irrigation des cultures (Souk ahras 1969-2007).....	82

Liste des Tableaux

Tableau 4.1 : avantages et inconvénients du système goutte à goutte.....	61
Tableau 5.1 : Les ordres de grandeur de la RU.....	72
Tableau5.2 : Les ordres de grandeur de la RFU/RU.....	73
Tableau 5.3: Dimensions des sous unités.....	77
Tableau 5.4 : Besoins en eau des cultures (Souk ahras 1969-2007).....	81

Semestre: 5

Unité d'enseignement: UED 3.1

Matière 1: Irrigation

VHS: 22h30 (Cours: 1h30)

Crédits: 1

Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

L'étudiant devra acquérir, à la fin de ce semestre, les connaissances de base du fonctionnement d'un système d'irrigation.

Connaissances préalables recommandées:

Notions de base d'hydraulique.

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Généralités sur le sol (3 semaines)

Définition ; caractéristiques et propriétés physiques des sols ; l'eau du sol en relation avec l'irrigation.

Chapitre 2 : principes de l'irrigation (3 semaines)

Définition de l'irrigation ; complément ou l'appoint ; l'eau dans la plante ; effets secondaires de l'irrigation ; classification des irrigations ; conditions de l'irrigation rationnelle.

Chapitre 3 : Réseau d'irrigation (3 semaines)

Description ; Détermination de la portée des canaux ; pertes dans les canaux

Chapitre 4 : Techniques d'irrigations (3semaines)

Définition d'une technique d'irrigation ; Irrigation par ruissèlement ; irrigation par submersion ; irrigation par infiltration ; Irrigation par Aspersion ; Irrigation au Goutte à Goutte.

Chapitre 5 : Etude d'un projet d'irrigation par aspersion et au goutte à goutte (3semaines)

Estimation des besoins en eau des cultures (l'évapotranspiration ; déficit pluviométrique ; réserve utilisable ; réserve facilement utilisable ; déficit agricole ; débits caractéristique) ; calcul d'équipement

Mode d'évaluation:

Examen: 100%

Références bibliographiques:

1. CEMAGREF, "Guide pratique de l'irrigation".
2. PHOCAIDES, A "Manuel des techniques d'irrigation sous pression", (2° Ed.)..
3. DONEEN I.D, "Techniques de l'irrigation et gestion des eaux. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage N° 1", Rome, 1972.

Chapitre 1 :

Généralités sur le sol

Chapitre 1 : Généralités sur le sol

Volume horaire = 4h30

(3 semaines)

Définition ; caractéristiques et propriétés physiques des sols ; l'eau du sol en relation avec l'irrigation.

1 Définition

Les sols constitue une interface issue des interactions entre les différents ensembles que sont la lithosphère, l'hydrosphère, l'atmosphère, la biosphère et enfin l'anthroposphère. Cette particularité des sols rend difficile le choix d'une définition unique, et ce, pour au moins deux raisons :

La pédologie, discipline visant à étudier les sols, a développé le paradigme de sol (ou mieux « couverture pédologique ») « interface ».

La pédologie est à l'interface d'autres disciplines telles que la biologie, la géologie, la géomorphologie, la minéralogie, l'agronomie l'écologie, la géotechnique, l'hydrologie, l'archéologie ... De ce fait un même sol peut-être étudié, par exemple, par des écologues et des géotechniciens qui ne définissent pourtant pas ce sol de la même manière.

Il existe un lien entre les sols et les activités humaines (anciennes ou récentes) qui se traduisent en matière de processus de formation et de différenciation des sols mais aussi par l'intermédiaire de l'utilisation et le point de vue que les individus ont de ces derniers. La définition d'un sol dépend donc de l'activité ou de l'observateur concerné. (voir Figure1)

1.1 La morphologie des sols

Le sol étant un milieu naturel, c'est par sa morphologie qu'il est tout d'abord facilement identifiable. En effet, ce que tout un chacun voit des sols dans les paysages et qu'il peut interpréter à partir du regard est, principalement, du domaine de la morphologie (on pourrait dire « anatomie »). On distingue :

- des couleurs (rouge, blanc, sombre, brun, jaune...) ;
- des constituants (argiles, sables, calcaire, sels... matières organiques) ;

- des structures superficielles (mottes fines ou grossières, tassements, pellicules sans porosité, traces de roues de machines agricoles, flaques d'eau dans les champs, fissurations...);
- des morphologies de profondeur, visibles quand il y a des coupes (les couches superposées, leurs couleurs et leurs structures);
- des variations latérales, en surface et en profondeur, en fonction des roches, des reliefs, des végétations, des activités humaines;
- des dégradations d'origine humaine : érosions, tassements, salinisation, pollutions...;
- des aménagements anthropiques : Terrassent, labours, cultures en courbes de niveaux, irrigation, drainage, urbanisation, constructions avec des matériaux issus des sols...

Tout cela permet d'identifier les sols, leur présence et leur diversité ; tout cela permet de comprendre les sols et leurs rôles.

1.2 La morphologie des sols : du microscope au paysage

Au sein d'une couverture de sols, les constituants, minéraux et organiques, sont organisés les uns par rapport aux autres : ces organisations ne sont jamais quelconques ; elles donnent naissance à des morphologies originales, spécifiques du milieu sol, et qui sont différentes d'un type de sol à l'autre.

On peut découvrir, observer, interpréter ces morphologies à diverses échelles :

- les échelles microscopiques : on y voit les constituants (minéraux argileux, quartz, hydroxydes, calcite, particules organiques...); on y voit les organisations, les architectures qui associent les constituants. Tout cela s'interprète en termes de mécanismes, de dynamiques et d'étapes de la formation des sols ;
- les échelles millimétriques et centimétriques : on y observe les constituants, les agrégats (les mottes) qui associent les constituants, les vides (les porosités), les couleurs... les relations qui associent ces morphologies;

- les échelles décimétriques et métriques qui sont celles du profil pédologique, au sein duquel se succèdent, verticalement et latéralement, plusieurs horizons : chaque horizon est une couche, qui se décrit en termes de constituants, de couleurs et de structures, ainsi qu'en termes de morphologie des transitions entre les horizons ;
- les échelles paysagiques : c'est l'échelle de la couverture pédologique, qui permet de décrire et comprendre les organisations verticales et latérales. Toutes ces morphologies constituent l'anatomie des sols. Elles sont spécifiques et originales, complètement différentes des structures géologiques et des structures biologiques.

1.3 Les morphologies pédologiques sont en relation directe avec les propriétés physiques, chimiques, biologiques, mécaniques des sols :

Elles expriment et influencent ces propriétés, leur histoire et leur dynamique actuelle. Ainsi, le regard sur les morphologies des sols permet :

- de reconnaître leur présence, en particulier de distinguer le sol de la roche sous-jacente à partir de laquelle il se forme ;
- de découvrir et de comprendre, en un lieu donné, les principales propriétés, les principaux comportements des sols, des couvertures pédologiques ;
- de construire des hypothèses concernant le fonctionnement actuel, mais aussi l'histoire et, à partir de là, l'avenir des couvertures de sols : on est alors conduit à la découverte des unités pédologiques, qui sont caractérisées par leur morphologie, par leur dynamique actuelle et par leur histoire ;
- de mettre en évidence les principales fonctions des unités pédologiques, en relation avec la lithosphère, l'hydrosphère, l'atmosphère, la biosphère et l'anthrosphère.

Pourquoi surveiller l'humidité du sol : même si on applique la règle simple " d'arroser avec 2,54 cm (1 po) d'eau par semaine " pour les cultures horticoles, la quantité exacte à administrer à une culture dépend de combien elle a besoin et de ce que le sol peut emmagasiner.

La quantité d'eau dont la culture a besoin dépend de l'évapotranspiration (ET), qui est affectée par :

- la température et l'humidité
- le stade de croissance de la culture
- le rayonnement solaire
- la présence de paillis.

La quantité d'eau que le sol peut emmagasiner dépend :

- de la texture du sol
- du % de matière organique
- de la profondeur des racines.

L'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs est à son plus efficace quand l'eau est fournie dans les quantités exigées par la culture et que le sol ne peut en emmagasiner ni plus, ni moins. Capacité de rétention : autant d'eau que le sol peut en retenir (plus précisément, la quantité d'eau retenue dans le sol deux ou trois jours après qu'il ait été saturé par des précipitations. Il y a peu de mouvement descendant, par gravité, de l'eau dans le sol et très peu de succion capillaire). Point de flétrissement permanent : quantité d'eau qui reste dans le sol quand le végétal se flétrit dans une atmosphère humide. L'eau qui reste dans le sol est fortement retenue par les particules du sol et ne peut être absorbée par les racines. Eau disponible : c'est la quantité d'eau dans le sol qui se situe entre la capacité de rétention et le

arrosage de loin en loin (Abricotier, olivier), tandis que certaines nécessitent des irrigations suivies (agrumes).

1.3.1 Structure et texture du sol

Sous nos climats, 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'infiltré 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.

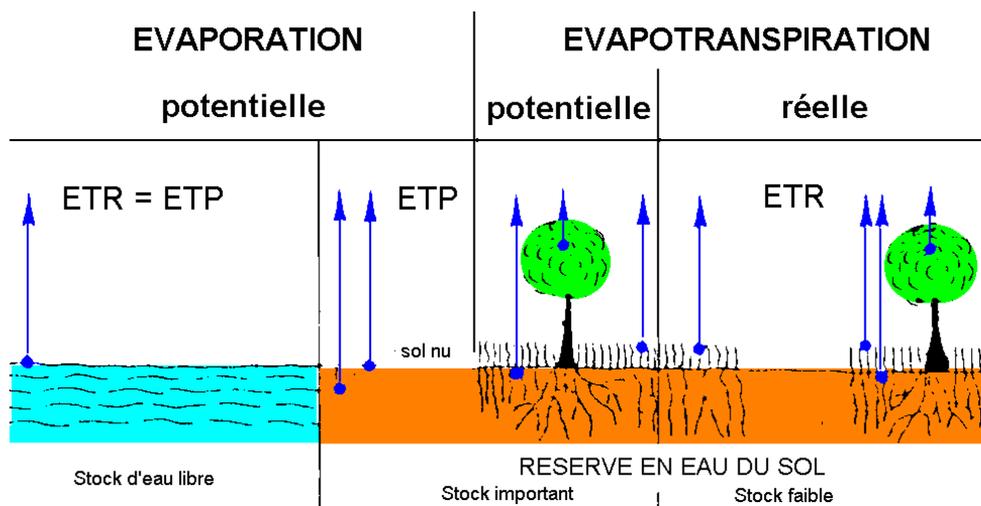


Figure 1.1: Eau-sol-ETP et ETR

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" ou capacité de rétention du sol 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.

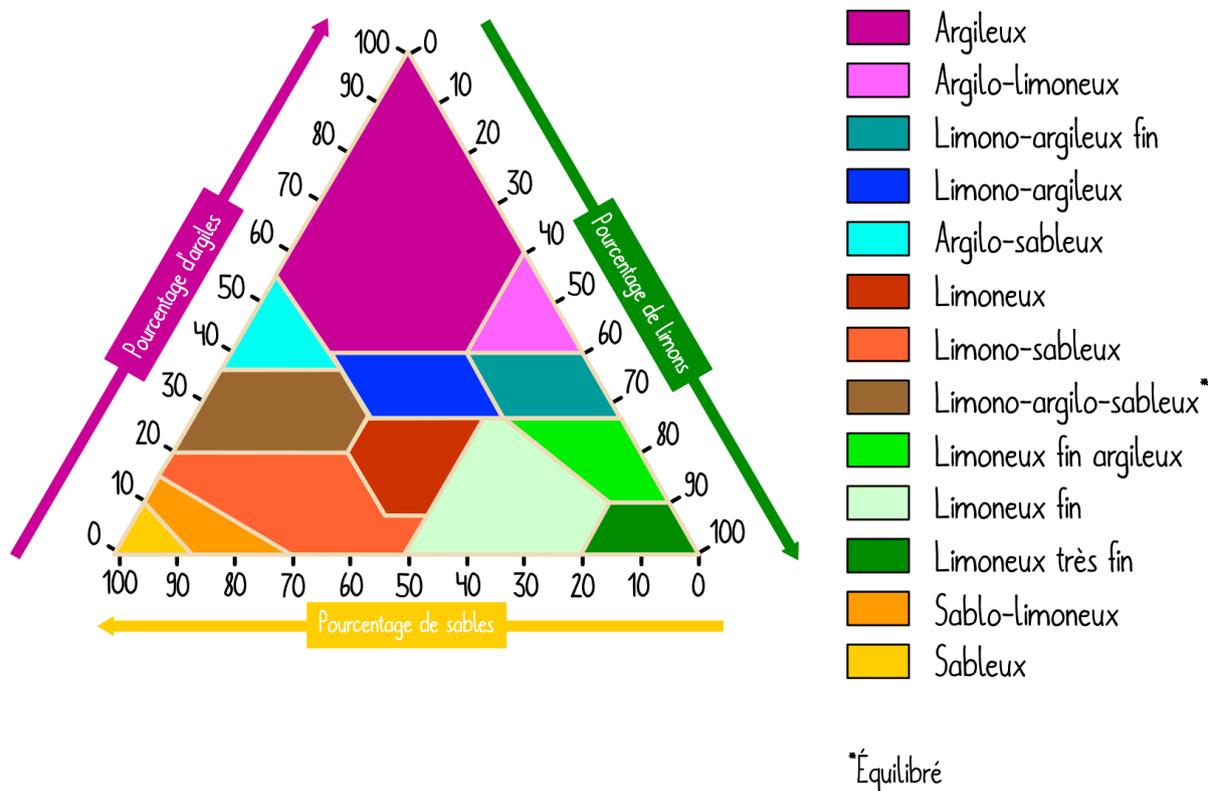


Figure 1.1: Texture du sol

Question 1 : (1 point)

L'humus :

- est très riche en matière organique.
- est une couche de feuilles mortes.
- se forme à la suite de l'érosion du sol.
- se forme à partir de l'altération de la roche mère.

Je ne sais pas.

Question 2 : (1 point)

Le sol est constitué :

uniquement de matières organiques.

uniquement d'humus,

uniquement de matières minérales.

de matières minérales et organiques.

Je ne sais pas.

Question 3 : (1 point)

Un horizon des sols :

correspond à la roche-mère du sol.

est une couche ayant une composition hétérogène.

définit une couche dans un sol.

correspond à la roche-mère du sous-sol.

Je ne sais pas.

Question 4 : (1 point)

L'humus :

- correspond à une partie de la roche mère.
 - correspond à l'horizon le plus profond du sol.
 - correspond à la partie superficielle de l'écorce terrestre.
 - correspond au produit de décomposition de la matière organique par les êtres vivants.
 - Je ne sais pas.
-

Question 5 : (1 point)

Les organismes présents dans le sol ont comme action :

- l'humidification du sol.
- la formation de la couche minérale.
- la formation de la litière.
- la dégradation des débris végétaux et animaux.



Je ne sais pas.

Principes de l'irrigation

Chapitre 2 : principes de l'irrigation

Volume horaire = 4h30

(3 semaines)

Définition de l'irrigation ; complément ou l'appoint ; l'eau dans la plante ; effets secondaires de l'irrigation ; classification des irrigations ; conditions de l'irrigation rationnelle.

1. Définition

La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures. Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures.

L'irrigation est généralement définie comme étant l'application de l'eau au sol dont le but d'assurer l'humidité essentielle pour la croissance de la plante. Toutefois, une définition large est que l'irrigation est l'application de l'eau au sol pour plusieurs objectifs:

- Ajouter de l'eau au sol pour assurer l'humidité essentielle au développement de la plante;
- Rafraichir le sol et l'atmosphère, de cette façon on assure un environnement favorable au développement de la plante;
- Réduire le risque de la gelée;
- Lessiver le sol;
- Faciliter le labour du sol;
- Remettre la formation des bourgeons par évaporation rafraichissante.

Le développement de l'irrigation est lié à la fois à la conception et la mise en place de grands équipements d'irrigation (barrages, lacs collinaires, bassins, forages, réseaux collectifs de distribution, etc.) et aussi à la gestion et la valorisation de l'eau d'irrigation.

Pour atteindre des objectifs de production satisfaisants, il convient de mettre les cultures dans des conditions hydriques optimales. Ces conditions peuvent être assurées grâce à une bonne connaissance des **besoins en eau de la culture** (Evapotranspiration), des **stocks d'eau dans le sol**, et des **apports d'eau extérieurs** (Pluie, irrigation). Ces éléments sont représentés sur le schéma ci-dessous.

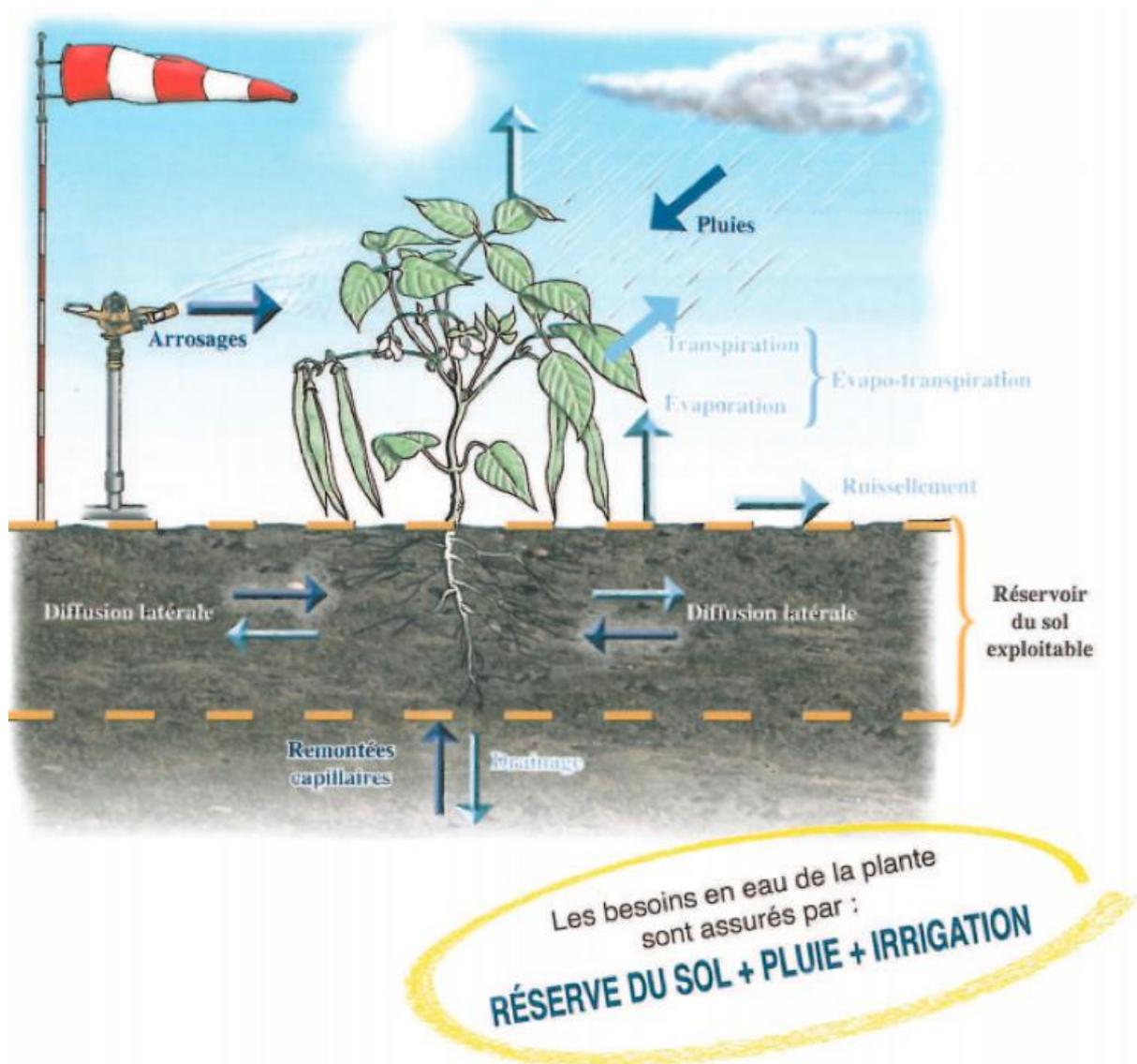


Figure 0 : Réserve du sol +Pluie +Irrigation

2. Complément ou l'appoint

L'irrigation connaît plusieurs définitions dont les plus utilisées sont :

- C'est l'art d'apporter volontairement de l'eau à un sol, généralement en vue de prévenir les effets de la sécheresse.
- Consiste à essentiellement à remettre au profit du sol, au moment opportun, l'eau consommée par la culture.
- C'est apporter aux plantes les quantités d'eau nécessaires, en complément des apports naturels, aux moments opportuns, par l'intermédiaire d'un réseau d'irrigation.

- C'est un ensemble de techniques culturales destinées à fournir aux végétaux par le truchement du sol toute l'eau mais seulement l'eau dont ils ont besoin pour se développer. On distingue 2 types d'irrigations : L'irrigation d'appoint ; La culture irriguée.

2.1 L'irrigation d'appoint

En termes simples, l'irrigation consiste à :

- trouver l'eau en quantité suffisante,
- la transporter,
- la répartir sur les champs

La maîtrise de l'eau en agriculture consiste à déployer toutes les connaissances et les moyens humains et matériels visant à donner aux cultures les quantités d'eau dont elles ont besoin et quand elles le veulent et garantir ainsi des rendements optimums. Concrètement, cette maîtrise vise non seulement une économie d'eau dans l'activité agricole, mais prêter à ce qu'on produit plus avec moins d'eau. Dans cette idée, il est essentiel d'agir d'abord au niveau du régime hydrique du système sol – plante – atmosphère pour éviter un stress hydrique et/ou excès d'eau. A défaut de pluviométrie, dans les pays à agriculture irriguée, cette action ne peut aboutir que si on intervient par l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation. L'intervention sur le régime hydrique par le biais d'une irrigation efficace, revêt plusieurs aspects ; sur la culture en sol, la pratique et la façon d'irriguer, sur les pertes par évapotranspiration, ...

Parmi les objectifs visés par l'efficacité de l'irrigation, sont ceux relatifs au maintien d'un taux d'humidité du sol constant en permanence dans la zone racinaire et accessible à la culture. Il faut intervenir à plusieurs niveaux ;

L'objectif donc, est d'offrir une disponibilité en à la culture dans la réserve hydrique du sol. Il s'agit de maintenir une humidité du sol pour les racines, entre pas

- Trop humide (saturation du sol et asphyxie de la plante) et pas trop sec (flétrissement de la plante). Ceci peut être atteint par un certains nombre d'interventions.
- **Intervention par l'irrigation - drainage** ; en effet l'eau amenée à la culture par l'irrigation permet en principe de remplir et d'assurer le bon fonctionnement de la réserve hydrique, tout en maintenant une humidité du sol favorable à l'absorption racinaire et au bon développement de la culture. A cet effet des mesures sont à prendre :

La méthode d'irrigation est fondamentale dans le maintien d'un bulbe humide autour des racines de la culture. C'est le cas de l'irrigation localisée où l'on peut maintenir en permanence l'humidité du sol autour du système racinaire, entre les deux extrêmes de teneur en cités. Ceci étant, il faut tenir compte du type de culture, type de sol, topographie et coûts.

L'assainissement ou drainage agricole, est une technique associée souvent à l'irrigation des cultures dans les zones semi-arides et arides. Dans de telles conditions, l'eau d'irrigation est souvent chargée en sels, elle engendre donc, des problèmes de salinité pour les cultures et les sols, surtout dans les des pressions des plaines agricoles, où l'on assiste à d'accumulation de sels en surface et au niveau de la zone racinaire. Pour diminuer de ce problème, on recommande souvent d'ajouter aux volumes d'eau d'irrigation un surplus d'eau pour lessiver ces sels au moins en dehors de la zone des racines. C'est ainsi, qu'il faut réaliser un bon travail du sol, pour améliorer ses propriétés physiques afin d'assurer un bon lessivage des sels et un drainage en profondeur. Si cela ne suffit pas, il faut recourir aux techniques de drainage artificiel.

Egalement pour rendre l'irrigation plus efficace, du point de vue économie d'eau, il y'a lieu de limiter les pertes en eau dans le système sol – plante- atmosphère, donc les pertes par

évapotranspiration, en lui associant toutes les techniques culturales possibles (paillage, brise vent, brumisation, mulching,). En dépit des techniques traditionnelles sus citées, en général, le progrès technologique dans le domaine agricole, comme partout ailleurs, a joué pleinement son rôle dans l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation et la prospérité d'une agriculture rentable en irrigué, plus particulièrement. Ainsi plusieurs techniques, méthodes d'irrigation, moyens de mesure de l'humidité du sol, qui contribuent tous à éviter à la culture un stress hydrique ou un excès d'eau.

3. L'eau dans la plante

(A quoi sert l'eau dans la plante ?)

Les plantes ont besoin de beaucoup d'eau pour leur croissance. Ainsi un hectare de forêt tempérée en utilise 2 000 m³ chaque année. Cette eau répond à de nombreux besoins, parmi lesquels domine la transpiration, qui en consomme près de 95 %. L'eau issue de la transpiration retourne dans l'atmosphère. La photosynthèse, quant à elle, en consomme moins de 5 %, mais cette eau est « perdue » puisqu'elle est décomposée lors du processus (avec émission de dioxygène). Une plante est en moyenne composée à 85 % d'eau. L'eau a des rôles très importants dans la plante. L'eau entre par la racine où elle se charge de tous les éléments dont la plante a besoin pour se nourrir : du phosphore, du potassium, mais surtout de l'azote. L'eau est alors appelée « sève brute ». Elle emprunte un réseau appelé « xylème » qui lui permet d'être conduite jusqu'aux feuilles (figure 2.2)

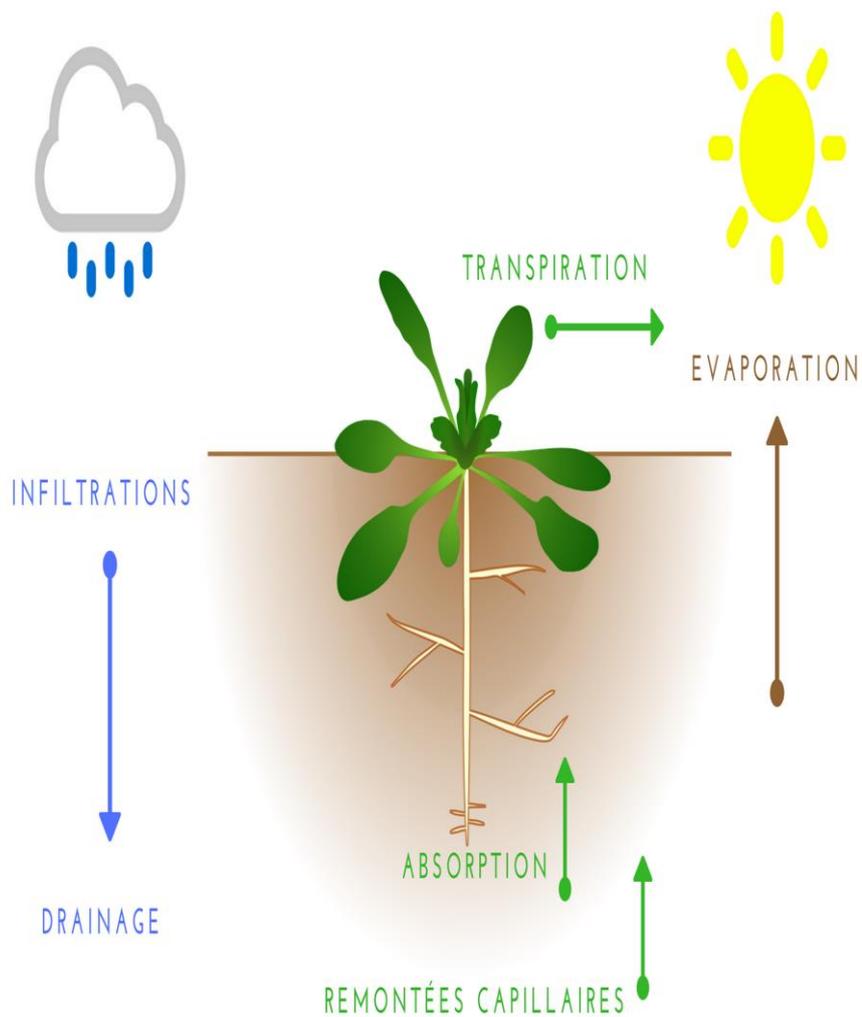


Figure 2.2: L'eau dans la plante

Une fois arrivée aux feuilles, l'eau libère les éléments dont elle s'est chargée. Une partie reste dans les feuilles : l'autre en repart chargée de sucres. On l'appelle alors « sève élaborée ». Elle passe par un autre réseau, appelé « phloème », qui va lui permettre de rejoindre les grains pour y stocker les sucres transportés.

Pour faire monter l'eau de bas en haut, la plante l'aspire très fort en transpirant par les feuilles. Résultat, 98 % de l'eau captée dans le sol et transportée dans la plante sera ensuite libérée sous forme de vapeur d'eau dans l'atmosphère ; cela fait partie du cycle de l'eau.

3.1 L'eau participe au processus de photosynthèse

La plante aspire dans l'air un gaz par les feuilles : le dioxyde de carbone. Elle associe ensuite ce gaz à de l'eau grâce à l'énergie du soleil. Tout cela se transforme ensuite en sucres, appelés « glucides ». C'est ce que l'on appelle la « photosynthèse ».

La photosynthèse est le processus par lequel des organismes vivants utilisent l'énergie lumineuse pour synthétiser leurs biomolécules et se développer (feuilles, fleurs, fruits, troncs...) grâce à des mécanismes impliquant des transferts d'électrons. Elle se différencie en une « photosynthèse oxygénique », qui produit de l'oxygène, et qui est effectuée par les végétaux (plantes et algues) et par les cyanobactéries* (anciennement appelées « algues bleu-vert ») ; et plusieurs classes de photosynthèse non-oxygénique, effectuées uniquement par d'autres bactéries, qui ne seront pas considérées ici.

La lumière est absorbée par un grand nombre de molécules colorées appelées « pigments » (chlorophylles*, caroténoïdes*, pigments biliaires*) organisées en « antennes », lesquelles sont portées par des protéines. Cette architecture permet que l'énergie d'un photon absorbé par une quelconque molécule de pigment soit transférée rapidement pour être piégée dans des protéines membranaires* appelées « centres réactionnels ». Le piège pour l'énergie est constitué d'un ensemble, appelé P, de 6 molécules de pigments très fortement couplées. Quand P est excité, il éjecte un électron sur une molécule voisine (une phéophytine*). Ce transfert d'électron est le premier d'une série qui va impliquer une séquence d'autres molécules, dont les propriétés ont été optimisées au cours de l'évolution pour minimiser la perte d'énergie entre le photon initial (de longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nm) et sa conversion sous forme d'un couple oxydo-réducteur*. Les centres réactionnels sont de deux types appelés « Photosystème I » et « Photosystème II », qui fonctionnent comme des photopiles* montées en série.

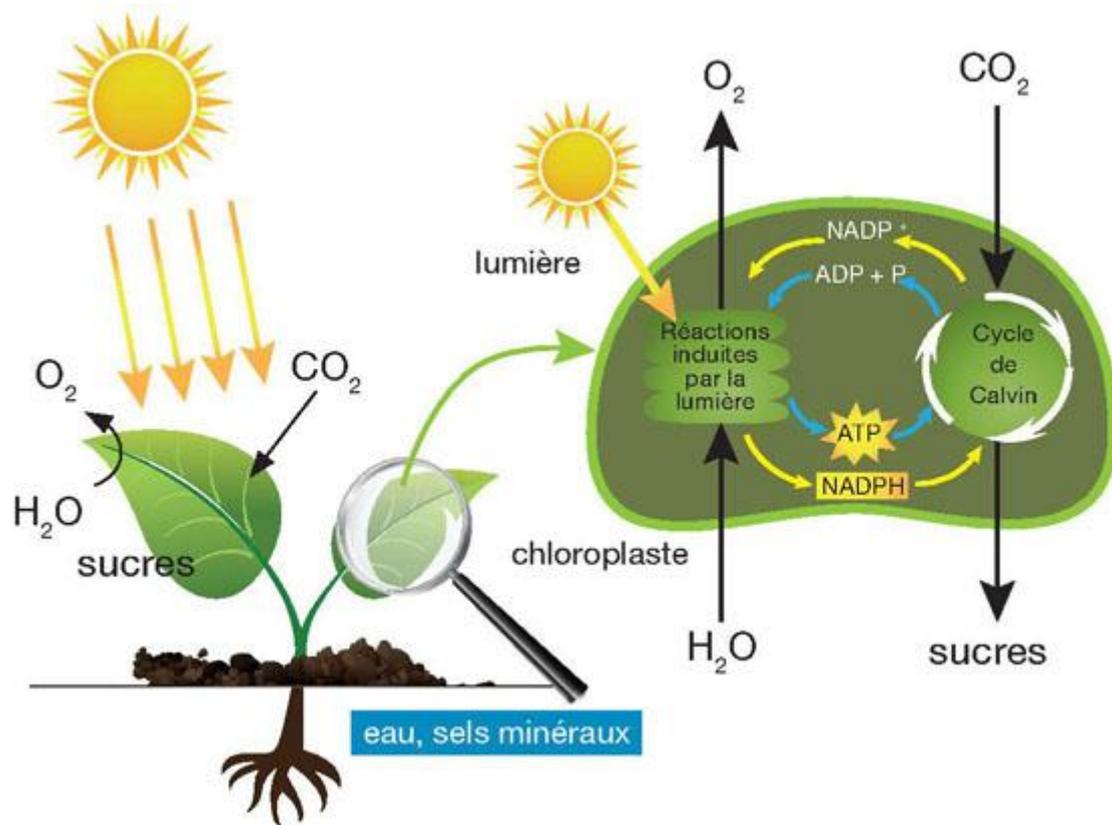


Figure 2.3 : Eau + processus de photosynthèse

3.2 L'eau assure la turgescence, phénomène qui donne à la plante sa forme de plante

Lorsque l'eau rentre dans la plante, elle pénètre dans les cellules qui la composent et les fait gonfler. Les cellules se serrent alors les unes aux autres et cela crée une forme. C'est grâce à la turgescence que la tige reste droite et que les feuilles prennent le bon angle pour capter le soleil. Au contraire, si l'eau vient à manquer, la plante perd peu à peu sa forme : elle fane, ne tient plus debout et flétrit.

3.3 L'eau contribue à la régulation de la température de la plante

Tout comme le corps humain, La plante doit rester à une certaine température. A la surface de ses feuilles, elle a des petits trous qui s'ouvrent et se ferment. On les appelle « stomates ».

C'est par là que rentre le dioxyde de carbone. C'est par là aussi qu'une partie de l'eau peut s'échapper. Cette eau qui s'évapore à la surface de la feuille, en passant de l'état liquide à l'état gazeux, provoque alors une sensation de refroidissement pour la plante.

4 Effets secondaires de l'irrigation

1. **SALINITÉ** : contenu total en sel soluble.
2. **SODIUM** : proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
3. **ALCALINITÉ et DURETÉ** : concentration d'anions Carbonate (CO_3^{-2}) et bicarbonate.
4. (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{+2}) et en magnésium (Mg^{-2}).
5. **pH DE L'EAU D'IRRIGATION.**
6. **AUTRES ÉLÉMENTS.**

Les deux premiers critères sont d'importance majeure, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plants flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration.

4.1 Salinité

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{+2}), de magnésium (Mg^{+2}), de sodium (Na^+), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{-2}) et les bicarbonates (HCO_3^{-3}). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires. La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimées en mg/L ou, plus couramment, par la conductivité électrique.

4.2 Sodium

Proportion relative des cations sodium (Na⁺) par rapport aux autres

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol, ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques-unes.

4.3 L'alcalinité et la dureté sont deux notions intimement liées au risque de colmatage du système goutte-à-goutte.

La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère. L'alcalinité, quant à elle, est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le « pouvoir tampon de l'eau ». Au Québec, une eau riche en calcium et en magnésium possède généralement des quantités équivalentes de bicarbonates ou de carbonates, lesquelles lui confèrent une alcalinité élevée. Et c'est là que le bât blesse...

4.4 Les bicarbonates de calcium et de magnésium sont relativement peu solubles dans l'eau.

Lorsque l'eau des goutteurs s'évapore, ou encore lorsque le pH ou la température de l'eau d'irrigation change un peu, le bicarbonate de calcium et de magnésium précipite sous forme de paillettes. Celles-ci migrent à travers le réseau et se déposent à l'intérieur des goutteurs, provoquant peu à peu leur colmatage. Pour contrer ce risque, on doit descendre le pH de l'eau sous le pH 7. Des traitements périodiques à l'acide nitrique ou sulfurique vont éliminer ces

dépôts. Une fois le processus d'acidification enclenché, la réaction produit alors de l'eau (H_2O), du dioxyde de carbone (CO_2) qui est libéré dans l'air, ainsi que le cation accompagnateur (soit le calcium ou le magnésium).

Quand vous ajoutez de l'acide pour neutraliser l'alcalinité, vous libérez du fait même le calcium et le magnésium qui, sinon, restent emprisonnés par le carbonate. Vous comprendrez alors qu'il est très important de « casser » cette alcalinité qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponibles à la plante. L'alcalinité, tout comme la dureté de l'eau, est généralement exprimée en ppm (mg/L) de carbonate de calcium ($CaCO_3$). Il arrive toutefois que la dureté de l'eau soit élevée sans pour autant que son alcalinité le soit. C'est le cas lorsque le calcium et le magnésium de l'eau sont sous forme de sulfates et de chlorures.

4.5 PH de l'eau d'irrigation

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogènes de la solution (H^+). Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6,0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0.

Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas et plus c'est acide. Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des microéléments est optimale.

4.6 Autres éléments

Certains éléments de l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques à la culture. Établir des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation est compliqué de par les réactions qui peuvent se passer quand l'eau atteint le sol. Les éléments potentiellement dangereux de l'eau peuvent être inactivés par des réactions chimiques ou bien s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes.

Le bore, le sodium et le chlore sont à surveiller

Des excès en bore sont presque tout le temps associés à des puits très profonds qui ont également une forte salinité. Une eau d'irrigation contenant plus de 1 ppm de bore (B) peut causer une accumulation toxique pour les cultures sensibles, tel l'ail, l'oignon, les haricots et les fraises. Les chlorures peuvent causer des dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation, à plus forte raison lorsque c'est par aspersion.

Sulfate : le soufre est rarement toxique pour les plantes

Les plantes sont très tolérantes aux sulfates. Leur concentration est généralement mesurée afin d'en prévenir les carences plutôt que d'en vérifier les excès potentiels. Des carences en soufre peuvent être appréhendées si l'eau d'irrigation contient moins de 48 ppm de sulfates. Le soufre peut parfois occasionner le colmatage. Certaines eaux, facilement identifiables à leur odeur d'œuf pourri, contiennent du sulfure d'hydrogène qui précipite par simple aération.

Fer : bon pour les plantes mais peut, dans certaines conditions, colmater les émetteurs

Des niveaux de fer se situant entre 1 et 2 mg/L sont considérés optimaux pour la nutrition de la plante alors qu'à l'opposé, des niveaux supérieurs à 0,1 mg/L de fer ferreux (Fe^{2+}) peuvent causer l'obstruction des émetteurs. En effet, si une oxydation se produit, le fer dissous précipite sous forme d'hydroxyde de fer insoluble (Fe^{3+}). L'oxydation peut se faire soit par agitation de la masse d'eau, par incorporation d'oxygène ou par l'action de bactéries ferrugineuses. Contrairement aux carbonates de calcium, l'action de l'acide ne modifie pas le pourcentage de fer qui précipite. Lorsque le colmatage est d'origine minérale, deux solutions de traitement sont possibles. La première solution consiste à pomper l'eau souterraine dans un réservoir avant de l'envoyer dans le système d'irrigation en s'assurant qu'il y a une bonne aération dans le réservoir. L'aération permet la transformation de Fe^{2+} soluble en Fe^{3+} insoluble qui se dépose au fond du réservoir. L'autre alternative consiste à injecter du chlore,

un agent oxydant puissant, sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de Javel), pour que le fer précipite et qu'il soit intercepté par le filtre.

5 Caractéristiques biologiques

Il s'agit essentiellement des bactéries et des algues présentes dans l'eau d'irrigation. L'eau pompée directement de puits artésiens pose rarement problème à cet égard. Il peut en être autrement de l'eau de bassin ou de rivières lorsque le nombre de bactéries de tous types dépasse les 10 000/ml d'eau. Des bactéries individuelles ou des cellules d'algues et leurs résidus organiques peuvent être suffisamment petits pour pouvoir passer au travers des filtres du système d'irrigation et obstruer progressivement les sorties d'eau. En présence de très faibles quantités d'oxygène et de particules organiques en suspension, les bactéries se multiplient et forment des colonies qui prennent l'apparence de traînées gélatineuses, qui peuvent en elles-mêmes colmater les émetteurs. De plus, ce type de bactéries oxyde certains minéraux comme le fer, le manganèse ou le soufre en composés insolubles, qui viennent aussi colmater les goutteurs. Les algues sont rarement un problème, car la filtration les élimine presque complètement.... mais pas totalement. En guise de précaution, le système doit être composé de matériaux opaques car la lumière facilite beaucoup la croissance des bactéries et celles des algues en suspension. Il existe un traitement contre le colmatage biologique et c'est l'injection de chlore dans le système d'irrigation goutte-à-goutte. Pour que ce traitement soit efficace, le pH de l'eau doit être en bas de 6,5. Le chlore sous forme d'eau de Javel (hypochlorite de sodium) est un bon bactéricide, facilement disponible et peu dispendieux. Il peut être injecté de façon continue à raison de 0,5 mg/L de NaOCL, ou à haute concentration à intervalles réguliers. L'injection de chlore est une mesure préventive qui n'a que très peu d'effet sur un système déjà colmaté.

6 Conditions de l'irrigation traditionnelle

Les systèmes d'irrigation sont classés d'après Phocaidès (2008) selon:

- a. **La méthode de distribution de l'eau** : irrigation de surface, irrigation localisée ou par aspersion. (voir chapitre 4)
- b. **Le type d'installation** : installation fixe, installation semi-permanente (les conduites principales et secondaires sont permanentes alors que les conduites latérales sont portables) ou portable.
- c. **La pression de fonctionnement** : c'est la pression hydraulique maximale requise pour le fonctionnement normal du système d'irrigation. Il existe trois systèmes de fonctionnement :
 - d. **Systèmes à basse pression** : la pression requise varie de 2,0 à 3,5 bars;
 - e. **Systèmes à moyenne pression** : la pression requise varie de 3,5 à 5,0 bars;
 - f. **Systèmes à haute pression**: la pression requise est supérieure à 5,0 bars.

Chapitre 3 :

Réseau d'irrigation

Chapitre 3 : Réseau d'irrigation

Volume horaire = 4h30

(3 semaines)

Description ; Détermination de la portée des canaux ; pertes dans les canaux

1. Description

Un système d'irrigation, également connu sous le nom de "réseau de canaux", transporte l'eau de sa source aux parcelles cultivées et à irriguer, et se compose d'une multitude de canaux (Van Den Boscsh & all, 1993). Pour illustrer le fonctionnement d'un réseau de canaux d'irrigation, il peut être comparé à un arbre. (Figure 3. 1).

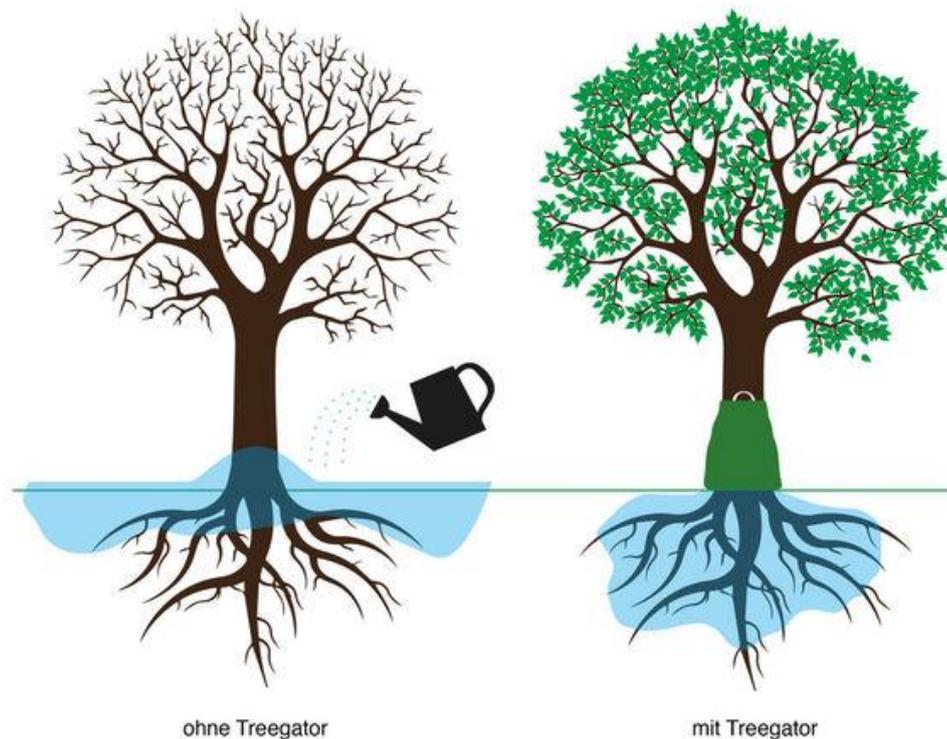


Figure 3.1: réseau de canaux d'irrigation

Le tronc d'un arbre prélève l'eau du sol et la transporte aux branches et rameaux. Les branches fournissent de l'eau aux feuilles et donc finalement pour servir à la croissance du végétal et ensuite s'évaporer. Il en est de même pour une configuration d'un système d'irrigation. En effet, la canalisation principale (le tronc de l'arbre) ramène et véhicule l'eau à partir de la source (cours d'eau, retenue réservoir, eaux souterraines,...). L'eau est alors distribuée par les canaux secondaires (les branches), aux canaux tertiaires (rameaux, brindilles) ce qui sont

encore plus petits. Ceux-ci fournissent l'eau, finalement pour irriguer les champs cultivés (feuillage), avec pertes par évaporation et percolation.

1.1 Morphologie d'un système d'irrigation

La figure n°2 montre une morphologie type d'un système d'irrigation, où une partie d'un cours d'eau est dérivée à l'aide d'une prise avec barrage. Celle-ci dessert en eau le canal principal qui à son tour transmet l'eau aux canalisations secondaires. Les dernières sont considérées comme étant des conduites d'amenées en tête des parcelles à irriguer. Dans ce cas, la technique d'arrosage appliquée, étant l'irrigation gravitaire par siphons. Pour alimenter les rigoles en eau, ils sont placés au niveau de la conduite d'amenée, à des intervalles réguliers, correspondant à ceux des sillons (rigoles). Autrement dit, l'eau captée par la prise, et via le canal principal, arrive à la conduite d'amenée (canalisation secondaire), et est prélevée par les siphons disposés le long de celle-ci pour servir les rigoles et irriguer ainsi la (les) parcelle (s) cultivée (s).

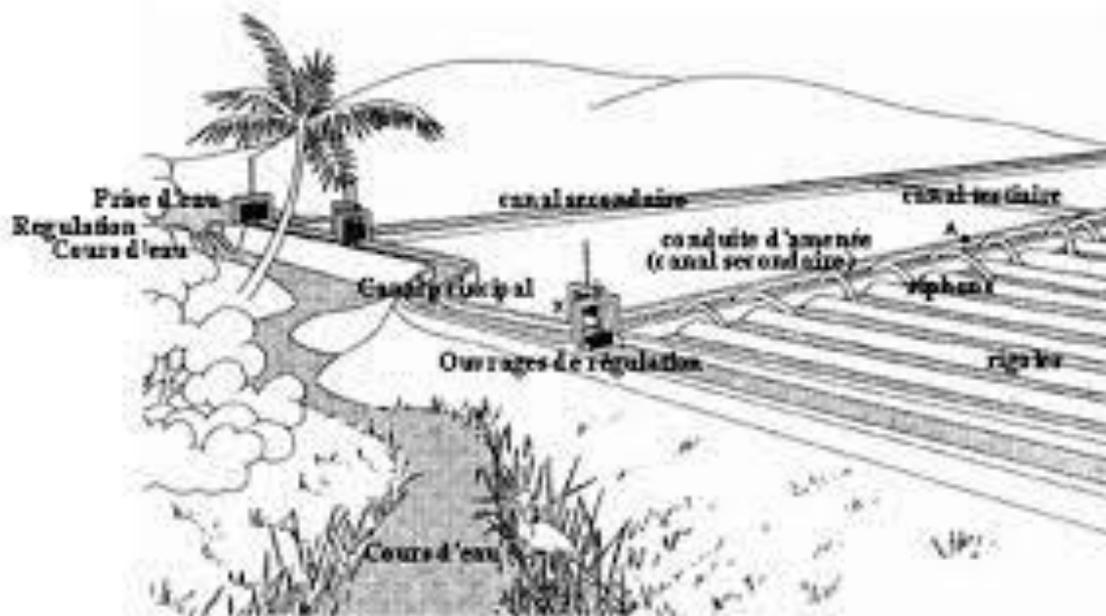


Figure 3.2: réseau d'irrigation

1.2. Gestion Rationnelle d'une agriculture

Pour une gestion rationnelle d'une agriculture, l'eau est prise d'une source d'eau, est véhiculée par des conduites formant un réseau de canalisations, est ensuite délivrée en quantités prescrites vers les champs des agriculteurs. Les volumes d'eaux fournis doivent satisfaire autant que possible les besoins en eau des cultures sans excès ni manque et garantir une récolte productive et rentable. Un tel pari ne peut être gagné que si on maîtrise l'écoulement de l'eau dans les canalisations du système et à l'intérieur même des parcelles. Ceci est rendu possible grâce aux techniques de régulation des niveaux d'écoulement, de control des débits et de partition des quantités d'eau dans différents conduites. Dans ce cadre, les systèmes d'irrigation sont équipés d'ouvrages et de constructions hydrotechniques, ce qui permet d'optimiser leur fonctionnement et par conséquent éviter le gaspillage d'eau et rentabiliser les récoltes. Ainsi ces ouvrages consistent en :

- Des prises d'eau dans les champs irrigués,
- Le niveau d'eau des rigoles et canaux des terres cultivées,
- La distribution d'eau dans le réseau de canalisation.



Figure 3.4 : prises d'eau dans les champs irrigués traditionnelles

La méthode d'irrigation la plus élémentaire consiste à transporter l'eau à partir de la source d'alimentation, e.g. un puits, à chaque plante avec un seau ou un arrosoir (voir figure 3.5).



Figure 3.5 : prises d'eau dans les champs irrigués traditionnelles (avec un seau ou un arrosoir)

Cette méthode nécessite une main-d'œuvre importante, un long travail et un grand effort. Cependant, elle est fortement convenable pour l'irrigation des petits jardins de légumes, à proximité immédiate de la source d'eau. L'irrigation des grandes superficies, ou des périmètres d'irrigation, nécessite le recours à d'autres méthodes d'irrigation plus perfectionnées. Les trois techniques les plus couramment utilisées sont: l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion, et l'irrigation au goutte à goutte.

Les ouvrages de transport, acheminent l'eau d'irrigation depuis la prise d'eau jusqu'aux périmètres à desservir. Ces ouvrages transitent des débits importants (quelques mètres cubes à quelques dizaines de mètres cubes par seconde) sur de longues distances. Ils sont constitués d'ouvrages linéaires (canaux, galeries) et d'ouvrages ponctuels (aqueducs, siphons, régulateurs, ...). - Les réseaux de distribution répartissent à l'intérieur du périmètre et

jusqu'aux prises d'irrigation propres à chaque agriculteur, l'eau amenée par les ouvrages de transport, ces réseaux ont une structure généralement ramifiée. - L'irrigation à la parcelle est relative à la mise en œuvre de l'eau d'irrigation délivrée aux prises du réseau. On entend par parcelle d'irrigation l'unité de surface disposant d'une prise individualisée sur le réseau de distribution. Ce que nous avons présenté ici, n'est qu'une morphologie simplifiée comparé aux grands projets d'aménagement hydro agricole, où les systèmes d'irrigation font l'objet de plusieurs étapes de réalisations ; mobilisation de la source hydrique et prélèvement d'eau, transport de l'eau jusqu'à l'entrée du périmètre d'irrigation, ensuite c'est le réseau collectif qui prend le relai pour la distribution des eaux aux niveaux des prises d'eau (bornes). Cette technologie rentre dans le cadre de la réalisation des grands projets d'aménagement hydroagricole de périmètres irrigués, notamment en Algérie, et consiste à concevoir et réaliser des systèmes d'irrigation basés sur des réseaux collectifs sous pression, modernes de façon où les quantités d'eau sont délivrées automatiquement en terme de débits prédéfinis et lis à la disposition de l'irrigant par le biais des bornes d'irrigation. C'est le cas de cas de la majorité de nos périmètres irrigués en Algérie.

2. Détermination de la portée des canaux

Le choix du type de prise d'eau à utiliser dans la parcelle agricole irriguée dépend des éléments suivants :

1. **Des conditions locales** ; topographie du terrain (adéquation entre le plan du système d'irrigation et de celui de la parcelle à desservir), planification de l'irrigation (durée du débit délivré, type de livraison : à la demande ou par rotation,...).
2. **Niveau de l'eau dans les canalisations.**
3. **Méthode d'irrigation employée** (par sillons, bassins, bordures,...).
4. **Le niveau d'eau des rigoles et canaux des terres cultivées**, conditionne le nombre et le type de prise à utiliser dans les parcelles ainsi que leur dimensionnement.

Ainsi, l'ouverture de la prise d'eau peut être adaptée pour assurer le passage du débit d'eau demandé. Il est en est de même pour le nombre et le diamètre des siphons ou de faussets. La différence du niveau d'eau entre le canal et le champ affecte aussi les quantités d'eau écoulées au niveau de la prise. Elle peut être réduite et adaptée pour le besoin de la prise d'eau. Les figures 3.6 et 3.7 montrent les niveaux d'eau dans le canal d'amenée (à gauche) et dans les sillons de la parcelle (à droite) et ce, de part et d'autre d'une prise en béton équipée de système d'ouverture et de fermeture. En position d'ouverture de la prise (figure 3.6), l'eau s'écoule du canal d'amenée vers la rigole de la parcelle. Il ya donc baisse du niveau (a) et formation d'une lame d'eau en (b). Quand celle-ci a atteint une hauteur acquise, on ferme la prise d'eau et le canal d'amenée retrouve son niveau initial (élevé) (figure 3.7).

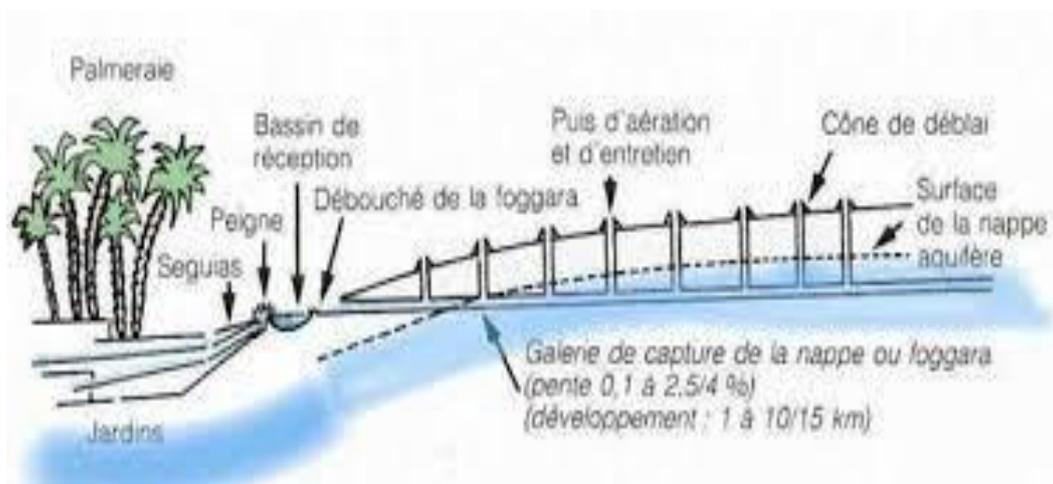


Figure 3.6 : Galerie de capture de la nappe d'eau

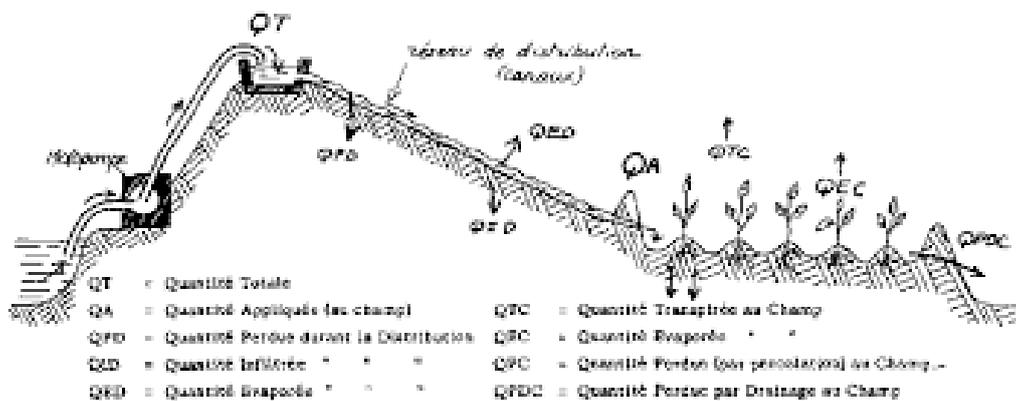


Figure 3.7: capture de la nappe d'eau

3. Pertes dans les canaux

3.1 Conservation de l'eau

- Réduire les pertes pendant le transport en revêtant les canaux ou de préférence en utilisant des conduits fermés.
- Réduire l'évaporation directe pendant l'irrigation en évitant l'arrosage par aspersion à midi. Minimiser le volume d'eau intercepté par le feuillage, en plaçant les asperseurs sous la frondaison et non au-dessus.
- Réduire les pertes par ruissellement et par percolation dues à la sur irrigation.
- Réduire le volume qui s'évapore du sol nu en le recouvrant de paille (mulch) et en veillant à ce que les bandes entre les rangs restent sèches.
- Réduire le volume transpiré par les adventices, en évitant de mouiller les bandes entre les rangs et en désherbant quand il le faut.

3.2 Classification des techniques d'irrigation

La rencontre des deux critères retenus (surface mouillée et volume de sol humecté et mode d'application) permet de définir les différentes techniques d'irrigation.

	Irrigation de surface		Irrigation sous pression	Irrigation souterraine
	submersion	ruissellement		
Irrigation en plein	Bassin	Planches	Aspersion	
Humectation localisée en		Sillon		Contrôle de

surface				nappe
Irrigation localisée			Goutte à goutte	Dispositifs enterrés

3.3 Réseau de transport et de distribution de l'eau en terre

Un réseau d'irrigation peut être :

En déblai : c'est – à – dire le canal est creusé dans le sol en place. Ce type convient bien aux terrains à forte pente. Le canal d'irrigation passe par la partie haute du terrain et peut alimenter gravitaire ment les parcelles situées dans la partie basse ;

En remblai : c'est le cas le plus fréquent sur des terrains plats. Pour que l'eau puisse aller correctement dans les parcelles, il est important que le niveau d'eau dans le canal soit au moins supérieur à 10 cm par rapport à la parcelle dont il dessert.

En remblai – déblai : le canal en remblai – déblai est un canal dont une partie se trouve dans le terrain naturel en place et l'autre partie en remblai. Si la structure du sol en place est compacte, cela permet de limiter les pertes d'eau. Ce type de canal est aussi économique à cause de la réduction de remblai qui est souvent transporté d'ailleurs. Les canaux en terre ont les avantages suivants :

- Coût de construction relativement moins cher ;
- ils peuvent être construits par le maraîcher lui – même.
- Mais les canaux en terre ont également des inconvénients :
- pertes d'eau excessives à travers les parois
- demandent de soins pendant la construction ;
- demandent un entretien régulier ;

Compte tenu des besoins en eau des cultures maraîchères très élevés, des ressources en eau limitées et le prix élevé de carburant, il convient d'améliorer le réseau de transport et de distribution d'eau. Plusieurs techniques peuvent être utilisées :

- revêtement des canaux ;
- Construction du réseau en PVC

3.4 Réseau de transport et de distribution en en pvc ou système californien

La distribution par réseau californien a pour principe d'acheminer l'eau par des canalisations PVC enterrées jusqu'à des bornes de distributions ou cheminées verticales situées sur des points topographiques élevés afin d'alimenter des canaux gravitaires (généralement en terre ou revêtus en plastique) ou pratiquer directement l'irrigation à la plante. L'avantage est que la distance que l'eau doit parcourir après les bornes de distribution se trouve réduite. L'efficience globale se trouve nettement améliorée et on peut économiser de l'eau d'irrigation.

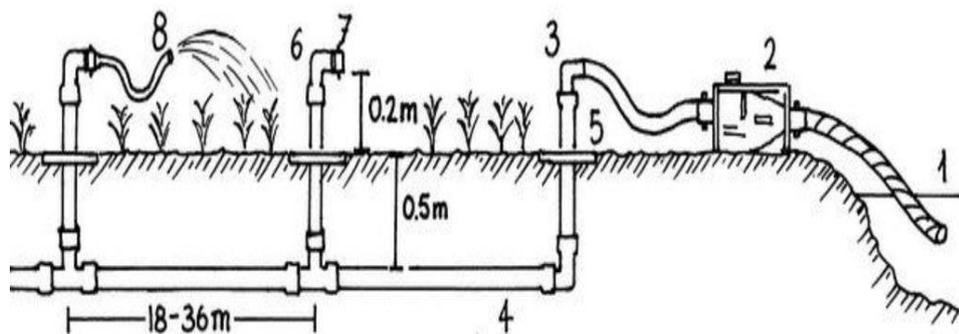


Figure 3.8 :Système californien

IRRIGATION SYSTEM



Techniques d'irrigations

Chapitre 4 : Techniques d'irrigations

Volume horaire = 4h30

(3semaines)

Définition d'une technique d'irrigation ; Irrigation par ruissèlement ; irrigation par submersion ; irrigation par infiltration ; Irrigation par Aspersion ; Irrigation au Goutte à Goutte.

1 Définition d'une technique d'irrigation

L'**irrigation** est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides.

L'irrigation peut aussi avoir d'autres applications :

- l'apport d'éléments fertilisants soit au sol, soit, par aspersion, aux feuilles (fertilisation foliaire) ; dans la culture hydroponique, l'irrigation se confond totalement avec la fertilisation ;
- la lutte contre le gel, par aspersion d'eau sur le feuillage (vergers, vignobles) peut permettre de gagner quelques degrés de température précieux au moment des gelées printanières, voire dans certains cas par inondation.

Généralement on parle d'"arrosage" pour les petites surfaces (jardinage) réservant le terme d'"irrigation" pour les surfaces plus importantes (agriculture de plein champ, horticulture), mais il n'y a pas de norme en la matière.

Selon le glossaire international d'hydrologie, l'irrigation c'est un apport artificiel d'eau sur des terres à des fins agricoles.

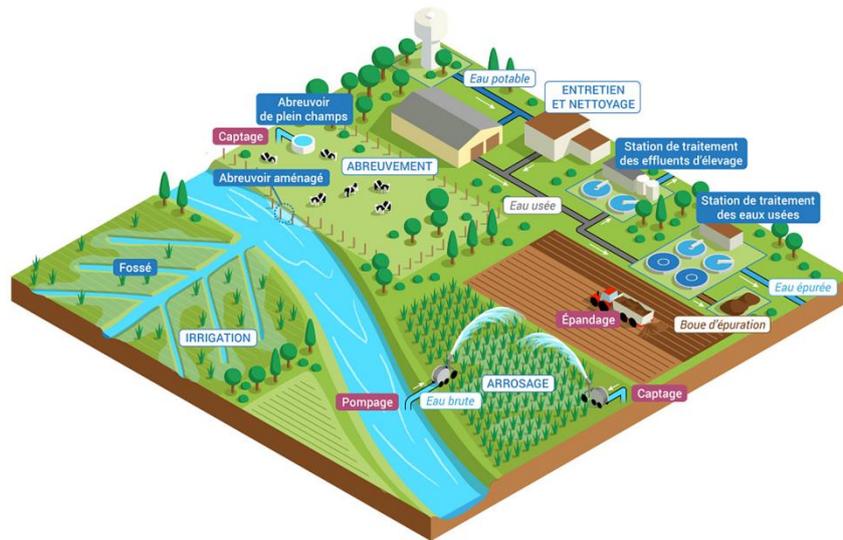
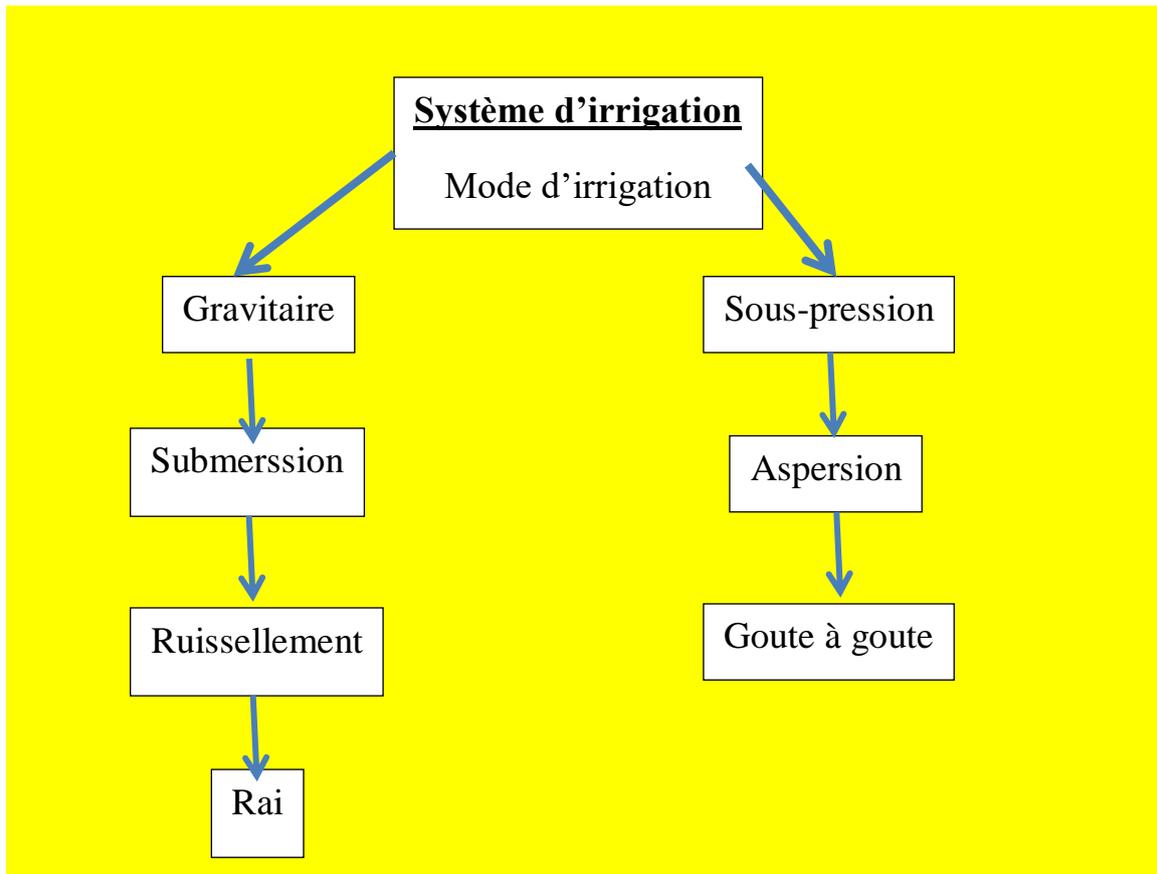


Figure 4.1 : système d'irrigation

Les **techniques d'irrigation agricole** sont des méthodes pour apporter de l'eau aux cultures et sont classifiées en irrigation de surface, irrigation par aspersion et micro irrigation. Décider de sélectionner une technique d'irrigation ou de passer à une technique plus efficace est compliqué. D'un point de vue de la préservation de l'eau, le choix est simple, les économies en eau augmentent lorsque l'on passe de l'irrigation de surface à l'aspersion et de l'aspersion à la micro irrigation. Cependant, le succès d'une technique d'irrigation sera très dépendant du site, de facteurs de situation ainsi que du niveau de gestion utilisé. La technique d'irrigation existante doit être évaluée très précisément avant de passer à une autre technique.

- Les systèmes d'irrigation de surface
- Irrigation par ruissellement
- Irrigation par planches
- Irrigation à la raie
- Irrigation par bassins
- L'irrigation par aspersion



2 Irrigation par ruissèlement

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

2.1 Les avantages de l'irrigation par ruissellement

- Les investissements pour l'équipement sont peu élevés
- Pas de dépense pour la mise sous pression de l'eau
- possibilité de lessivage sans risques d'érosion
- Matériel d'irrigation assez simple

2.2 Les inconvénients

- Temps d'irrigation important

- Nécessité de nivellement et son entretien
- Pertes importantes d'eau



Photo 4.1 : irrigation par ruissellement

2.3 Irrigation par bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées. Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau. En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée.



Photo 4.2 : irrigation par bassin

2.4 Irrigation par sillons/a la raie

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

2.4.1 Irrigation par planches

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



Photo 4.3 : irrigation par planche

3 Irrigation par infiltration ou gravitaire

L'eau ne ruisselle pas à la surface du sol, elle coule dans des fossés, rigoles ou raies et pénètre par infiltration latérale jusqu'aux racines des plantes. Parfois, dans ce cas, on combine l'irrigation et le drainage, mais cela seulement dans un nombre très limité de cas particuliers. L'irrigation par infiltration diffère des méthodes précédentes parce que l'eau n'est pas déversée sur le terrain et n'en recouvre pas la surface. Répartie dans un ensemble dense de rigoles, elle y reste sans jamais déborder et s'infiltré dans le sol latéralement ou de haut en bas et humidifie ainsi toute la masse de terre comprise entre les rigoles. Aucune modification n'est apportée à la topographie du terrain. Théoriquement une rigole d'infiltration doit pouvoir humecter sur toute sa longueur et à la profondeur exigée par les plantes cultivées, une masse de terre de largeur égale à la distance séparant les rigoles. On constate alors que la partie superficielle de la couche arable et précisément celle qui porte les plantes ne reçoit l'eau que par remontée capillaire. Dans l'étude des conditions de circulation de l'eau dans la sol, nous avons vu en effet que l'eau de gravité se déplace dans les espaces non capillaires du sol est soumise seulement à l'action de

la pesanteur et descend verticalement dans le sol et que , seule, l'eau de capillarité, dite encore "eau pelliculaire", se dirige dans toutes les directions vers les zones du sol les plus sèches, mais avec une vitesse et un débit réduits. La profondeur et la largeur humectées dépendent de la nature du sol. Si le terrain est perméable, la descente verticale est rapide mais aussi l'humidification par capillarité se fait sur une grande largeur ; il faudra donc éloigner les rigoles, qui seront courtes pour ne pas perdre trop d'eau dans le sous-sol par infiltration profonde ; s'il est assez imperméable la descente est lente et la dispersion latérale de l'eau l'est également ; il faudra, dans ce cas, rapprocher les rigoles et augmenter la durée de l'arrosage. Les sols de perméabilité moyenne dont la couche arable est bien travaillée seront arrosés sans sujétions spéciales.



Photo 4.4 : irrigation par infiltration

3.1 Les avantages

- Pas de danger d'érosion,
- ni de formation de croûtes
- L'accès est facile au terrain

3.2 Les inconvénients

- Grande perte d'eau
- Exigence en main d'œuvre

4 Irrigation par Aspersion

L'eau parvient alors aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie grâce à l'utilisation de divers appareils de projection alimentés en eau sous pression. L'irrigation par aspersion est un système d'arrosage qui consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie sur le sol. Très employée depuis longtemps par les jardiniers, les horticulteurs et les arboriculteurs pour les cultures maraîchères, florales, arbustives, fruitières, les pelouses, l'aspersion tend, vu les gros avantages qu'elle présente, à être utilisée de plus en plus en grande culture. Dans les méthodes précédentes l'eau est distribuée avec plus ou moins d'uniformité sur le sol par des rigoles et elle y pénètre dans des conditions plus ou moins favorables suivant sa régularité de pente. Ici l'eau tombe naturellement sur le sol, donc dans les mêmes conditions que les précipitations atmosphériques, et s'y infiltre, compte tenu seulement de la perméabilité du sol.

4.1 Les avantages

- Elle ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface à irriguer.
 - Elle peut être employée quelle que soit la nature du sol arrosé.
 - Elle provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie.
 - Elle réalise une importante économie d'eau en comparaison avec les autres systèmes d'irrigation.
 - Elle permet un dosage précis et régulier des quantités d'eau distribuées.
- Elle met à la disposition des exploitants des conditions d'arrosage très souples.

4.2 Inconvénients

- Elle nécessite une dépense importante de premier établissement (frais de matériel).
- Elle exige souvent une nombreuse main d'oeuvre d'exploitation.

- Elle favoriserait l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttelettes sont fines et que l'air est sec.
- Elle exige un choix judicieux des époques d'irrigation.
- Elle favoriserait le tassement du sol.



Photo 4.5 : irrigation par aspersion

5 Irrigation au Goutte à Goutte

Le système d'irrigation goutte-à-goutte est une technique moderne, plus sophistiquées mais plus efficace puisqu'elle permette de diminuer la consommation d'eau, aujourd'hui mis en œuvre dans les pays les plus riche, a goutte à goutte, ou l'irrigation localisée, n'est en fait qu'une amélioration des techniques traditionnelles. Il consiste à apporter l'eau sous faible pression jusqu'aux racines de chacune des plantes et à la distribuer au compte-goutte, en surface ou en souterraine à l'aide de petits tuyaux, posés sur le sol ou enterrée. Bien menée, cette technique permet de notablement diminuer la consommation d'eau ; elle n'humidifie que la Portion de sol située au voisinage immédiat des racines et elle limite les pertes par évaporation, ruissellement ou infiltration profonde.

La goutte à goutte est une technique de pointe qui exige une gestion précise, incluant la prise en considération de la qualité de l'eau. Une partie de ce qui fait la force de l'irrigation localisée, ses débits faibles mais très réguliers.

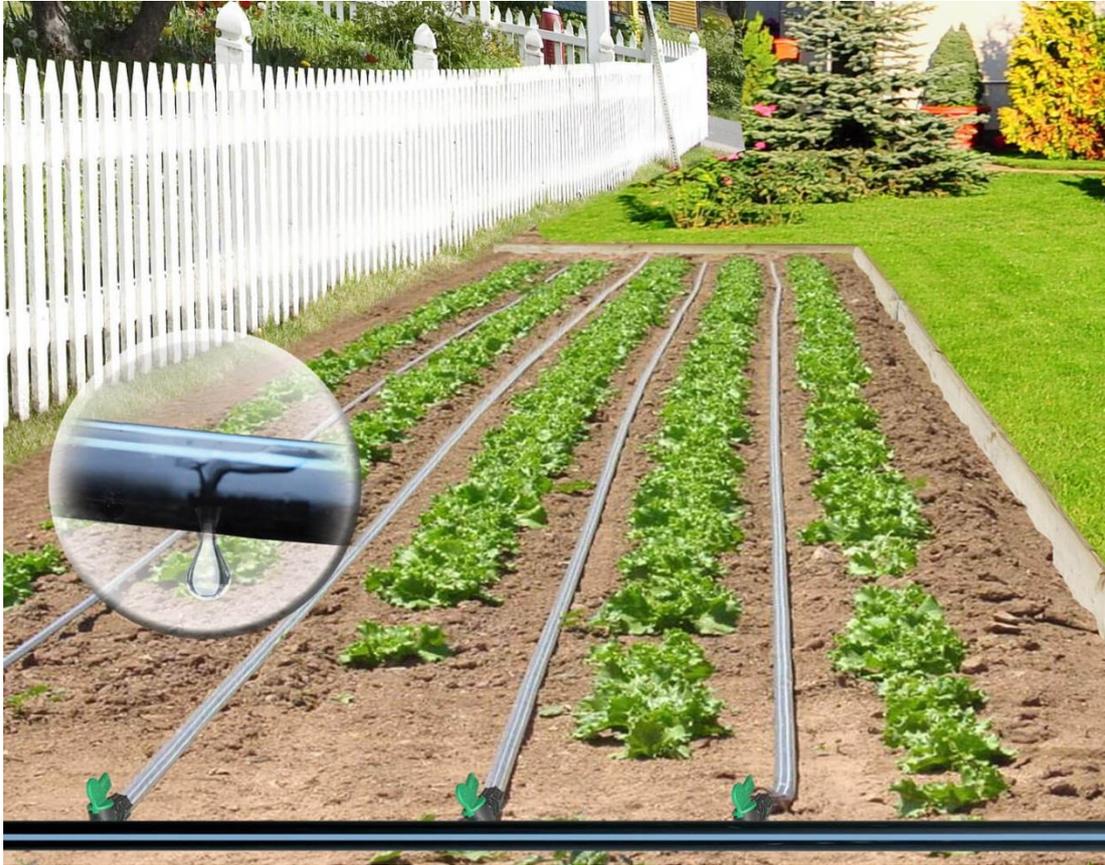


Photo 4.6 : irrigation goutte à goutte

L'irrigation au goutte-à-goutte fait partie de la micro irrigation (irrigation localisée), qui inclue également les micros asperseurs et les micros jets. Le terme est généralement utilisé pour décrire des méthodes d'irrigation dans lesquelles l'eau est distribuée directement dans le sol par petites quantités à intervalles rapprochés, au moyen d'émetteurs points source distincts espacés le long d'étroits tuyaux ou tubes, de goutteurs. L'eau déposée par les micro asperseurs, les micros jets et gicleurs se répand dans le sol à travers la rhizosphère. Les termes de micro irrigation ou micro aspersion, goutte-à-goutte, arrosage de précision et irrigation localisée sont parfois utilisés de façon interchangeable dans la littérature, bien que chacun d'entre eux

possède un sens légèrement différent. L'irrigation au goutte-à-goutte se distingue entre autres par l'humidification partielle du sol. Dans les installations en surface, chaque émetteur mouille la surface du sol qui lui est adjacente. Dans les installations souterraines, la surface du sol reste sèche. Le pourcentage de la zone humectée et le volume de sol mouillé dépendent des propriétés du sol, de son degré d'humidité initiale, du volume d'eau appliqué et du débit de l'émetteur. Dans une terre franche ou argileuse, le mouvement latéral de l'eau sous la surface du sol est plus prononcé que dans les sols sableux. Le bulbe vertical de terre humectée en sol sableux ressemble à une carotte. Dans une terre franche, les dimensions du bulbe humide sont similaires en profondeur et en diamètre. Dans les sols lourds, en revanche, la zone horizontale d'extension d'humidité est plus étendue que sa profondeur.



Figure 4.2 : Bulbe humidifié par le goutteur selon le type de sol

La zone humectée par un goutteur unique est d'approximativement 30 cm dans un sol léger, de 60 cm dans un sol franc et de 120 cm dans un sol léger. ¹¹ En raison de l'humidification partielle du sol par le système de goutte-à-goutte, l'eau être appliquée à plus grande fréquence que dans les méthodes d'irrigation qui mouillent toute la zone, comme l'irrigation par l'aspersion ou par submersion. La diffusion localisée et limitée de l'humidité qui découle de l'arrosage par micro irrigation exige l'application d'engrais par le truchement du système du

goutte-à-goutte, technique qu'on appelle la fertigation. Le grand nombre d'émetteurs d'irrigation par zone implique la réduction au minimum du débit de chaque émetteur. Le débit habituel d'un goutteur varie de 0.1 à 8 litre par heure (l/h). La faiblesse du débit de l'émetteur est obtenue par divers moyens : orifice minuscule, atténuation de la pression par frottement pendant l'écoulement de l'eau dans le long passage du goutteur, circuit turbulent ou à tourbillons. Les étroits passages des émetteurs et leur faible débit conduisent à une accumulation et une précipitation de substances susceptibles d'obstruer totalement ou partiellement le système. Aussi un filtrage adapté est-il indispensable à la mise en œuvre de l'irrigation au goutte-à-goutte. Dans le cas d'une utilisation d'eau de basse qualité, des traitements chimiques complémentaires sont également nécessaires.

Tableau 4.1 : avantages et inconvénients du système goutte à goutte	
Les avantages	Les inconvénients
Précision de l'apport en eau - Réduction des pertes par évaporation - Efficacité du réseau - Diminution des mauvaises herbes - Equilibrage du rapport air – eau - Application intégrée d'eau et l'élément nutritif – fertigation - Autonomisation - Adaptation aux conditions topographiques et édaphiques difficiles - Pas d'interférence avec les autres activités agricoles - Insensibilité au vent - Diminution du fongus des feuilles et maladies des fruits - Pas de brûlure des feuilles	Risques d'obstruction des émetteurs - Coûts initiaux élevés - Accumulation de sel à la surface du sol - Exposition des tuyaux et goutteurs aux dégâts (animaux) - Influence négligeable sur le microclimat - Limitation du volume des racines

5.1 Description du système goutte à goutte

Bien que les goutteurs constituent le dispositif central du système d'irrigation au goutte-à-goutte, celui-ci se compose de plusieurs autres éléments. Ceux-ci doivent être compatibles entre eux et adaptés aux exigences des cultures ainsi qu'aux caractéristiques de la parcelle irriguée. Ces éléments se répartissent en six catégories principales :

- Une source d'eau : système de pompage à partir d'une source superficielle ou souterraine, ou en connexion à un réseau d'approvisionnement public, commercial ou coopératif ;
- Un système de distribution : conduite principale, canalisations secondaires et collecteurs (tuyaux d'alimentation) ;
- Des rampes latérales ;
- Des accessoires de contrôle : valves, compteurs d'eau, régulateurs de pression et de débit, dispositifs automatiques, dispositifs anti-retour, valves anti vide, valve de vidange d'air etc. ;
- Un système de filtrage ;
- Un équipement d'injection de produits chimiques : éléments nutritifs pour les plantes et agents de traitement de l'eau.

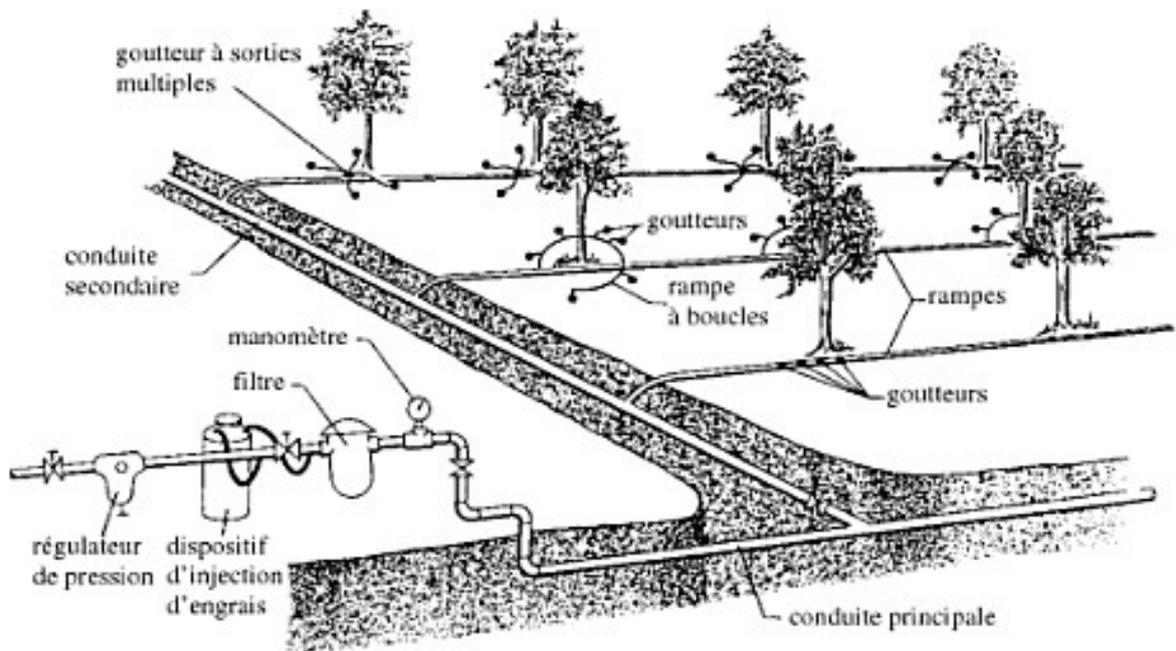
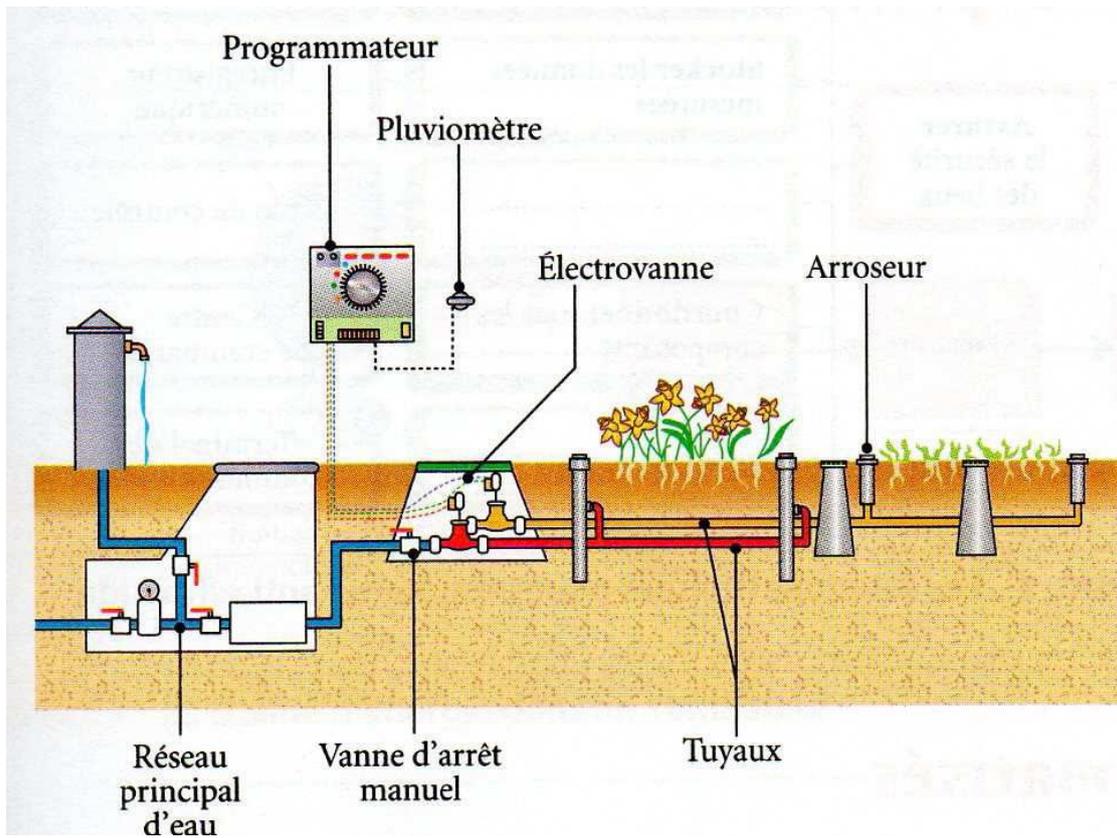


Figure 4.3 : schéma d'irrigation goutte à goutte

Etude d'un projet d'irrigation

Chapitre 5 : Etude d'un projet d'irrigation par aspersion et au goutte à goutte

Volume horaire = 4h30

(3semaines)

Estimation des besoins en eau des cultures (l'évapotranspiration ; déficit pluviométrique ; réserve utilisable ; réserve facilement utilisable ; déficit agricole ; débits caractéristique) ;

Calcul d'équipement

1. Estimation des besoins en eau des cultures

1.1 Le bilan hydrique

On peut schématiser le phénomène continu du cycle de l'eau en trois phases :

- a. les précipitations,
- b. le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain,
- c. l'évapotranspiration.

Il est intéressant de noter que dans chacune des phases on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état. Il s'ensuit que l'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation appelée "hydrologique" qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. Le temporel introduit la notion de l'année hydrologique. En principe, cette période d'une année est choisie en fonction des conditions climatiques. Ainsi en fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débuter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire. Au niveau de l'espace, il est d'usage de travailler à l'échelle d'un bassin versant mais il est possible de raisonner à un autre niveau (zone administrative, entité régionale, etc.). L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un bassin donnés :

$$\mathbf{P + S = R + ETP + (S+\Delta S)} \quad (5.1)$$

Avec: P : précipitations [mm],

S : ressources (accumulation) de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) [mm],

R : ruissellement de surface et écoulements souterrains [mm],

E : évapotranspiration [mm],

S + DS : ressources accumulées à la fin de la période [mm].

Le calcul du bilan hydrique estime l'écoulement et l'évapotranspiration sur un pas de temps décadaire ou mensuelle en fonction du sol et de la météorologie. Le sol a un impact important sur le bilan car il possède une capacité de stockage qui peut s'épuiser ce qui conduit au flétrissement des végétaux et ainsi à une baisse de l'évapotranspiration. La porosité du sol (20 à 30% en général) peut être considérée comme une capacité de stockage. Lorsque le sol est rempli d'eau, la porosité est presque totalement occupée par l'eau, le sol est dit saturé. Les forces agissant sur l'eau du sol diminuent son énergie potentielle et la rendent moins disponible pour l'extraction des racines des plantes. Lorsque le sol est humide, l'eau a une énergie potentielle élevée, est relativement libre de se déplacer et est facilement absorbée par les racines des plantes.

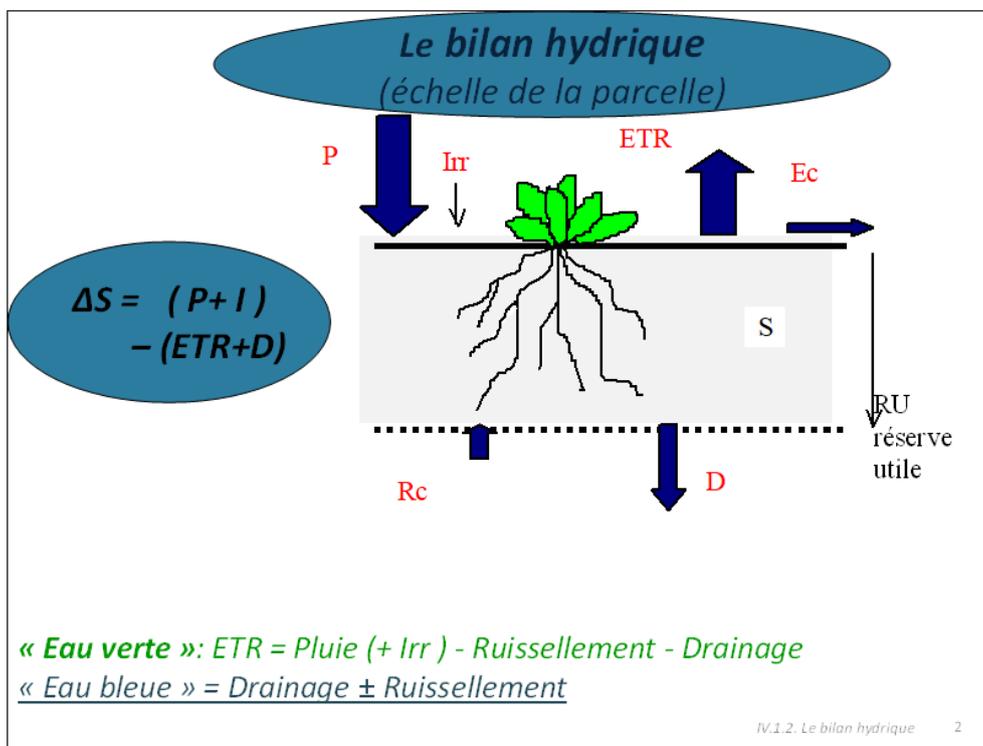


Figure 5.1 : schéma du bilan hydrique

Dans les sols secs, l'eau a une faible énergie potentielle et est fortement liée par les forces capillaires et absorbantes à la matrice du sol, et est moins facilement extraite par la culture.

2. Besoins en eau des cultures

Pour atteindre des objectifs de production satisfaisants, il convient de mettre les cultures dans des conditions hydriques optimales. Ces conditions peuvent être assurées grâce à une bonne connaissance des **besoins en eau de la culture** (Evapotranspiration), des **stocks d'eau dans le sol**, et des **apports d'eau extérieurs** (Pluie, irrigation). Ces éléments sont représentés sur le schéma ci-dessous. Un couple Sol/Plante, en réponse à une demande climatique (effets combinées de la température, vent, ensoleillement, humidité), va respectivement évaporer et transpirer l'eau qu'elle a à sa disposition. On quantifie ce phénomène : l'évapotranspiration de référence ET_{Ref} , exprimée en mm d'eau/jour. Elle est déterminée de manière théorique pour un couvert végétal de type gazon, recouvrant entièrement le sol.

Petit rappel : $1 \text{ mm d'eau} = 1 \text{ L/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$

Pour une culture donnée, l' ET_{Ref} est pondérée grâce à un coefficient cultural K_c , correspondant au stade de développement de la plante (surface foliaire principalement).

Ainsi, on obtient les besoins en eau pour chaque culture :

$$ET_c : K_c \times ET_{Ref} \text{ (en mm d'eau/jour)} \quad (5.2)$$

Les valeurs d' ET_{Ref} (demande climatique) varient entre 0 et 8mm/jour en fonction de la saison et des conditions climatiques. Les valeurs de K_c varient entre 0 et >1 selon les cultures et les stades de développement (voir quelques exemples indicatifs de K_c simplifiés ci-dessous) :

COEFFICIENT CULTURAL  OIGNON

Levée	30 j. après levée	0,6
30 j. après levée	60 j. après levée	0,8
60 j. après levée	Début maturité	1,0
Début maturité	20 j. avant récolte	1,1
20 j. avant récolte	Récolte	0,5

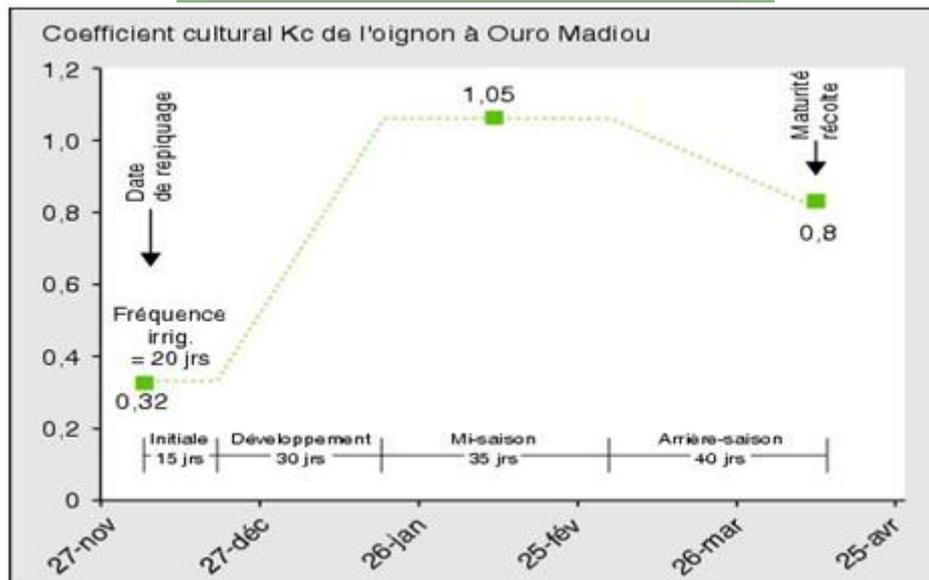


Figure 5.2 : Exemple du coefficient cultural

2.1. Disponibilité en eau du sol

Déficit pluviométrique ; réserve utilisable ; réserve facilement utilisable

2.1.1. Eau totale disponible (ETD)

La disponibilité en eau du sol fait référence à la capacité d'un sol à retenir l'eau disponible pour les plantes. Après de fortes pluies ou une irrigation, le sol s'écoulera jusqu'à ce que la capacité au champ soit atteinte. La capacité au champ est la quantité d'eau qu'un sol bien drainé doit retenir contre les forces gravitationnelles, ou la quantité d'eau restante lorsque le drainage vers le bas a nettement diminué. En l'absence d'approvisionnement en eau, la teneur en eau dans la zone racinaire diminue en raison de l'absorption d'eau par la culture. Au fur et à mesure que l'absorption d'eau progresse, l'eau restante est retenue par les particules du sol

avec une plus grande force, ce qui réduit son énergie potentielle et rend plus difficile son extraction par la plante. Finalement, un point est atteint où la culture ne peut plus extraire l'eau restante. L'absorption d'eau devient nulle lorsque le point de flétrissement est atteint.

Comme la teneur en eau au-dessus de la capacité au champ ne peut pas être maintenue contre les forces de gravité et s'écoulera et comme la teneur en eau en dessous du point de flétrissement ne peut pas être extraite par les racines des plantes, l'eau totale disponible dans la zone racinaire est la différence entre la teneur en eau au champ capacité et point de flétrissement :

$$ETD = 1000(q_{FC} - q_{WP}) Z_r \quad (5.3)$$

où

ETD : la quantité totale d'eau disponible dans le sol dans la zone racinaire [mm],

q_{FC} : la teneur en eau à la capacité au champ [$m^3 m^{-3}$],

q_{WP} : la teneur en eau au point de flétrissement [$m^3 m^{-3}$],

Z_r : l'enracinement profondeur [m].

ETD est la quantité d'eau qu'une culture peut extraire de sa zone racinaire, et son ampleur dépend du type de sol et de la profondeur d'enracinement. Les plages de profondeur d'enracinement efficace maximale pour diverses cultures.

3. Déficit en eau

Déficit en eau est la comparaison entre les besoin mensuelle des plantes avec la quantité d'eau disponible par le sol au cours de la période de végétation.

Déficit pluviométrique (climatique)

Déficit pluviométrique ou climatique est la différence entre l'ETP et le module pluviométrique correspondant :

$$D_p = ETP - P \quad (5.4)$$

P : pluviométrie (mm)

ETP : évapotranspiration potentielle (mm),

Il est important de noter que les excédents de précipitation sont perdus par infiltration et ruissellement et ne viennent pas compenser les déficits des autres mois, et on résulte que le déficit pluviométrique annuel est évalué mois par mois.

4. Déficit agricole

Il n'est pas nécessaire de fournir au sol chaque mois la totalité de déficit pluviométrique si le sol peut mettre à la disposition de la plante une certaine quantité d'eau prise par sa réserve utilisable

$$D_a = ETP - P - K_c \cdot RFU \quad (5.5)$$

$$D_a = d_p - K_c \cdot RFU \quad (5.6)$$

RFU est la réserve facilement utilisable, c'est-à-dire la réserve d'eau dans le sol disponible pour les plantes, exprimée en millimètres.

Elle vaut 2/3 de la RU qui est égale au taux d'humidité multiplié par la profondeur atteinte par les racines. K_c coefficient culturale [0,1]

5. Etats des Réserves en eau des sols

5.1. Eau facilement disponible (RFU)

Bien que l'eau soit théoriquement disponible jusqu'au point de flétrissement, la consommation d'eau des cultures est réduite bien avant que le point de flétrissement ne soit atteint. Lorsque le sol est suffisamment humide, le sol fournit de l'eau assez rapidement pour répondre à la demande atmosphérique de la culture, et l'absorption d'eau est égale à ET_c . à mesure que la

teneur en eau du sol diminue, l'eau devient plus fortement liée à la matrice du sol et est plus difficile à extraire. Lorsque la teneur en eau du sol descend en dessous d'une valeur seuil, l'eau du sol ne peut plus être transportée assez rapidement vers les racines pour répondre à la demande de transpiration et la culture commence à subir un stress. La fraction de TAW qu'une culture peut extraire de la zone racinaire sans subir de stress hydrique est l'eau du sol facilement disponible :

$$BRUT = p \cdot ETD$$

où RFU l'eau du sol facilement disponible dans la zone racinaire [mm], p fraction moyenne de l'eau totale disponible dans le sol (ETD) qui peut être épuisée de la zone racinaire avant que le stress hydrique (réduction de l'ET) ne se produise [0-1]. Le facteur p diffère d'une culture à l'autre. Le facteur p varie normalement de 0,30 pour les plantes à racines peu profondes à taux élevés d'ET c ($> 8 \text{ mm j}^{-1}$) à 0,70 pour les plantes à racines profondes à faibles taux d'ET c ($< 3 \text{ mm j}^{-1}$). Une valeur de 0,50 pour p est couramment utilisée pour de nombreuses cultures.

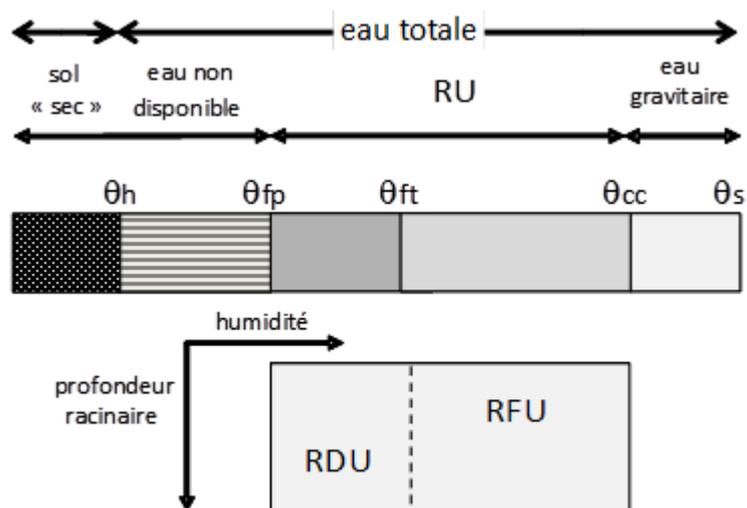


Figure 5.3: Teneurs en eau caractéristiques d'un sol.

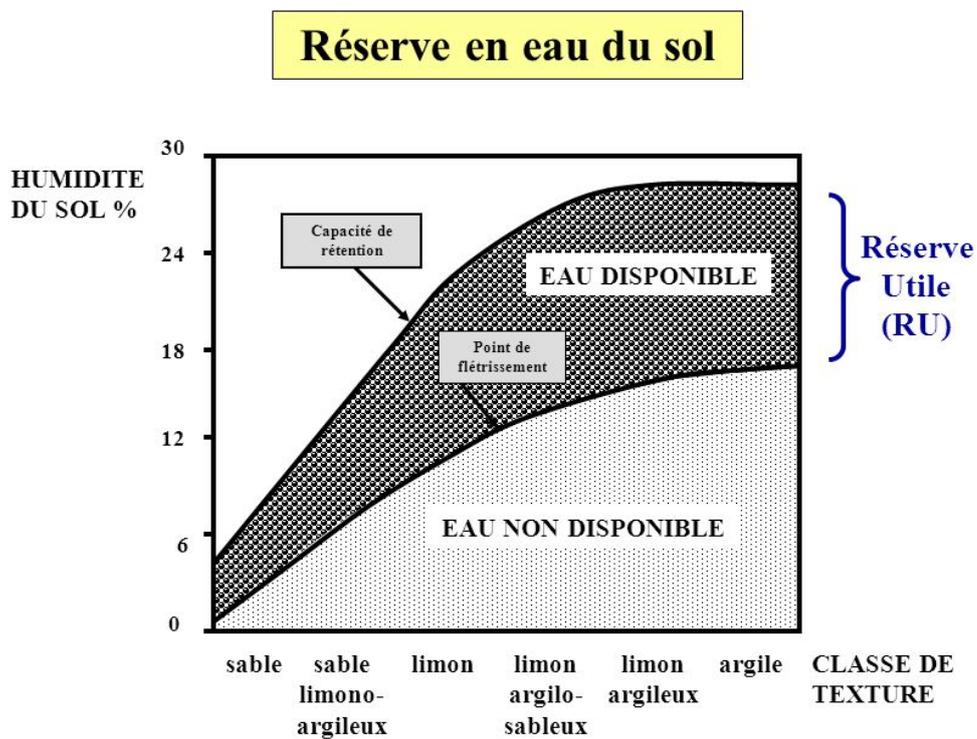
θ_h : teneur en eau hygroscopique, sol sec en équilibre avec l'humidité de l'air ;

θ_{fp} point de flétrissement permanent ; θ_{ft} point de flétrissement temporaire ; θ_{cc} capacité au champ ; θ_s teneur en eau à saturation. Le stock d'eau entre θ_{fp} et θ_{cc} sur la profondeur racinaire définit la réserve utile (RU) séparée en une réserve facilement utilisable (RFU) et

difficilement utilisable (RDU) par qft. L'eau gravitaire est l'eau pouvant circuler sous l'action de la gravité et qui est drainée en profondeur. L'eau non disponible représente la gamme de teneur en eau trop retenue par le sol pour être exploitée par la plante.

$$\text{RFU} = (1/2 \text{ ou } 2/3) \text{ RU} \quad (5.7)$$

$$\text{RFU/RU} = 2/3$$



D'après Morel, 1989

Figure 5.4: réserve en eau du sol.

Tableau 5.1 : Les ordres de grandeur de la RU	
Type de sol	RU %
Sols sableux	6%
Sols moyens (limoneux-sablo/argileux)	12 %
Argiles	16%

Tableau 5.2 : Les ordres de grandeur de la RFU/RU	
Type de sol	RFU/RU
Sols sableux	0.5
Sols moyens (limoneux-sablo/argileux)	0.65
Argiles	0.75

L'eau n'est cependant pas disponible la même façon lorsque le stock de la RU s'épuise (l'eau étant de plus en plus retenue par le sol) et on peut définir également un point de flétrissement temporaire (qft), qui est une teneur en eau correspondant au moment où la plante ne peut plus complètement satisfaire la demande climatique par la transpiration et la régule en fermant ses orifices qui limitent les échanges gazeux au niveau des feuilles.

L'intérêt de cette notion de réserve utile est de pouvoir disposer rapidement d'ordres de grandeur des quantités d'eau disponibles pour l'évapotranspiration, de comparer les sols entre eux, et de pouvoir faire un diagnostic relatif à l'adéquation entre climat, culture et sol. Ce concept présente cependant des limites importantes. D'une part, la notion de capacité au champ reste imprécise (le ressuyage est un phénomène continu, dont l'arrêt est difficile à situer nettement dans le temps). Elle est parfois remplacée par des valeurs fixes précises, mais arbitraires (par exemple, la teneur en eau lorsque le potentiel matriciel du sol est égal à -0.03 MPa). D'autre part, le point de flétrissement permanent n'est pas une référence physiologique universelle (des plantes peuvent ainsi extraire de l'eau pour des potentiels inférieurs à -1.5 MPa). De plus, cette notion de réserve utile fait apparaître des notions de seuils ou des discontinuités brutales dans le domaine des mouvements de l'eau dans le sol et la plante, alors que les transferts hydriques dans le sol et l'absorption racinaire sont des phénomènes continus et progressifs. Enfin, cette approche globale en termes de quantité d'eau disponible ne fait pas apparaître le rôle central des propriétés conductrices du milieu et de l'interface sol - racines dans la satisfaction de l'alimentation hydrique des plantes. La plante y est très simplifiée (une profondeur racinaire et un point de flétrissement). Les remontées capillaires ne sont pas considérées dans cette conception du sol, alors qu'elles peuvent être non négligeables dans le

cas de milieux fortement conducteurs vis à vis de l'eau et lorsqu'une nappe est située à faible profondeur. Il est alors nécessaire de dépasser l'analyse en terme de quantité globale d'eau disponible pour aborder l'analyse du transport de l'eau entre le sol et les racines en terme de flux en tenant compte des facteurs qui vont les déterminer. La dynamique de l'absorption hydrique doit être considérée ainsi que l'équilibre instantané entre l'offre du sol et la demande de la plante.

La dose réelle d'irrigation d_r (volume d'eau) qu'il faut apporter à chaque irrigation dépend de la profondeur explorée par les racines et de la nature du sol:

$$D_r = RU \times (RFU / RU) \times \text{Profondeur enracinement.} \quad (5.8)$$

5.2.Exercice :

Déterminer la dose d'irrigation :

- Pour une culture de radis sur un sol sableux, on peut estimer que les racines n'explorent pas plus de 20 cm. Et les besoin en eau $ETRM = 4,5 \text{ mm/j}$.
- pour une culture de tomate arrivée à floraison en terre franche, racines atteignant 60 cm de profondeur ; l'ETRM est de $6,6 \text{ mm/j}$ Par exemple, pour une culture de radis sur un sol sableux, on peut estimer que les racines n'explorent pas plus de 20 cm. La dose d'irrigation sera donc de $6 \% \times 0,75 \times 0,2 \text{ m} = 0,009 \text{ m} = 9 \text{ mm}$.

Il faudra donc arroser tous les jours (si $ETRM = 4,5 \text{ mm/j}$, ce qui est en général le cas). Par contre, pour une culture de tomate arrivée à floraison en terre franche (racines atteignant 60 cm de profondeur): Dose = $16 \% \times 0,5 \times 0,6 \text{ m} = 48 \text{ mm}$. Si l'ETP est de 6 mm/j , il suffit d'arroser tous les 7 jours (compte tenu du coefficient cultural de 1,1, l'ETRM est de $6,6 \text{ mm/j}$).

6. Principes de base de la conception d'un réseau goutte-à-goutte ou aspersion

Lors de la conception d'un nouveau système d'irrigation au goutte-à-goutte ou aspersion, un certain nombre de paramètres doit être pris en compte de façon à le rendre durable et à le rentabiliser de manière optimale.

La première étape doit consister dans la comparaison entre les besoins en eau des cultures et la capacité d'approvisionnement hydraulique annuelle disponible.

La capacité de débit du système doit être comparée aux besoins en pleine saison. Les données de base peuvent être divisées en un certain nombre de catégories : climat, techniques agricoles, propriétés du sol, topographie, capacité et qualité de l'approvisionnement en eau, équipement disponible.

1. Pourquoi déterminer les besoins en eau des cultures ?
2. Connaître la valeur des besoins en eau des cultures est à la base de : - Conception des réseaux d'irrigation (calcul du débit de dimensionnement des ouvrages),
3. - Gestion des réseaux d'irrigation : prévision à court terme (programmation des apports d'eau),
4. - Planification de l'utilisation des ressources hydrauliques : volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, surfaces irrigables au vu des ressources, etc.

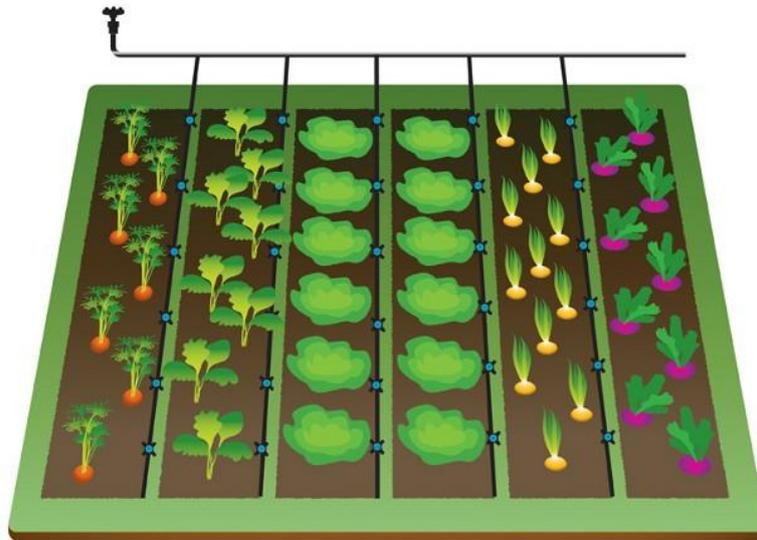


Figure 5.5: Système d'irrigation goutte à goutte

Données :

Une parcelle mesure à peu près un demi -hectare (soit 5000 m²) sur un terrain plat et uniforme. On y cultive 11 types de plantes. En conséquence, on va y installer 11 sous-unités. Afin de simplifier le dimensionnement, on va utiliser des sous-unités similaires, en les groupant selon 2 types :

Sous unités type A : taille de 14m x 21m, avec 9 sous-unités similaires

Sous unités type B : taille de 10m x 27m, avec 2 sous-unités similaires.

Comme on peut voir sur le Cadre 2-1, la superficie totale de zone cultivée (3186 m²) est inférieure à celle de la parcelle. L'espace non cultivé sera utilisé pour le stockage de l'eau ou pour des installations secondaires (pépinière, zone de compost, rangement des outils...).

	N° sous-unités similaires	Largeur [m]	Longueur [m]	Surface de la sous unité [m ²]	Surface totale [m ²]
A	9	14	21	294	2646
B	2	10	27	270	540
Total					3186

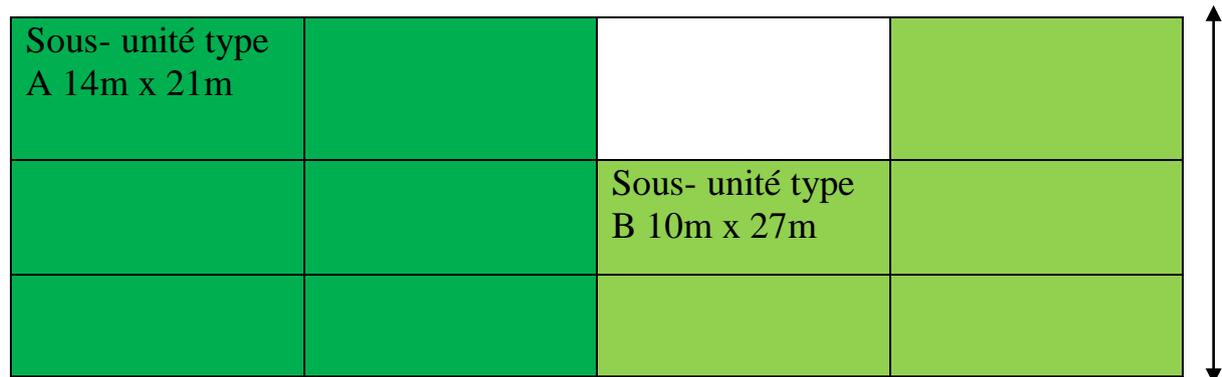


Figure 5.6: Schéma de la parcelle

Exemple de la ville de Souk-Ahras période d'étude 1969-2007 :

Pour les données climatiques, il s'agit bien évidemment d'un climat semi-aride à semi-humide. Elles vont être estimées grâce aux programmes CLIMWAT et CROPWAT en considérant les valeurs de la station de Souk-Ahras.

Calcul des paramètres climatiques

L'évapotranspiration potentielle (ETP)

L'évapotranspiration est l'un des paramètres climatiques les plus importants dans l'étude de cette partie. Alors pour cette étape nous avons la valeur de l'ETP mesuré par mois calculé par la méthode de Blaney-Criddle (1950).