

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun Tiaret



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Nutrition et de Technologie Agro-alimentaire

(NTAA)

## Cours d'Irrigation

Intitulé de la Licence : Licence Sol et Eau

Intitulé de la Matière : Irrigation

Présenté par Mr KOUADRIA Mostefa

Maître de Conférences « A »

Etablissement de Rattachement :

Université Ibn Khaldoun Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Année Universitaire : 2021 - 2022

## — Avant-propos —

*L'enseignement de cette unité d'enseignement est programmé pour les étudiants de 3<sup>ème</sup> année Licence. Il est conçu pour compléter les connaissances de la matière irrigation programmée au profit des étudiants de la troisième année Licence spécialité sol et eau. Il peut également servir aux étudiants de licence en production végétale ou en écologie.*

*Le programme de ce présent polycopié regroupe trois grands chapitres à savoir : les bases de l'irrigation, la nécessité de l'irrigation et enfin les différentes techniques d'irrigation.*

*Ce polycopié est le résultat des enseignements que j'ai assuré pendant plusieurs années pour le niveau L3, Persuadé que ce document facilitera la tâche aux apprenants, je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui m'ont aidé ou m'encourager dans sa réalisation.*

### «L'irrigation : l'eau, l'agriculture et l'alimentation»

*IL n'existe pas de vie sans eau. En effet le rôle de l'eau est fondamental pour tous les êtres vivants, en particulier pour les plantes (eau de constitution - eau de végétation).*

*Donc, le but de l'hydraulique agricole est la maîtrise de l'eau qui est un facteur essentiel pour la productivité agricole, il s'agit donc de :*

- ▶ *lutter contre le manque d'eau par irrigation de façon à permettre une production régulière et de bonne qualité (Irrigation) ;*
- ▶ *lutter contre l'excès d'eau par l'assainissement des terres de façon à éliminer les eaux nuisibles aux sols et aux plantes (Drainage agricole).*

*Définition de l'irrigation : Technique consistant à apporter artificiellement de l'eau aux plantes cultivées afin de permettre leur croissance.*

*Définition de drainage agricole : Ensemble des opérations nécessaires à la suppression des excès d'eau à l'échelle de la parcelle agricole.*

*Il est important de savoir où, quand, combien et comment faut-il intervenir à faire placer une culture donnée dans les meilleures conditions de productivité ?*

*C'est l'objectif de ce cours d'irrigation qui destiné aux étudiants de la troisième année licence spécialité : Sol et Eau.*

# ◆ ————— ◆

# Table des matières

<b>Chapitre 01 : Les bases de l'irrigation .....</b>	<b>7</b>
1. Les bases de l'irrigation.....	7
1.1. Relation Plante-Eau-Sol .....	7
1.1.1. Relation Eau - plante .....	7
1.1.2. Relation Sol - plante .....	7
1.1.3. Relation Eau - sol .....	8
1.1.3.1. Caractéristiques physiques .....	8
1.1.3.2. Caractéristiques chimiques .....	9
1.2. les différents états de l'eau dans le sol .....	10
1.2.1. Eau de rétention .....	10
1.2.1.1. Eau d'hygroscopicité (eau pelliculaire).....	10
1.2.1.2. Eau de capillarité .....	10
1.2.2. Eau de gravité ou de saturation (eau libre).....	10
1.3. Etat énergétique de l'eau dans le sol : .....	11
1.4. Potentiel de l'eau dans le sol .....	11
1.5. Les différents Potentiels .....	12
1.6. L'humidité du sol .....	12
1.6.1. L'humidité équivalente « notée : $H_e$ ».....	12
1.6.2. Capacité de rétention « notée : $H_r$ ou $C_r$ » .....	12
1.6.3. Point de flétrissement ou coefficient de flétrissement « noté : $H_f$ ».....	13
1.6.4. Point d'hygroscopicité « noté : $H_h$ ».....	13
1.7. Eau utile (Réserve utile) « notée $H_u$ ou $R_u$ » .....	14
1.8. Réserve facilement utilisable « notée RFU » .....	15
1.9. L'évapotranspiration « notée : ET ».....	16

1.9.1. L'évapotranspiration potentielle « notée : ETP » .....	16
1.9.2. L'évapotranspiration réduite « notée : ETR » .....	17
1.10. L'évapotranspiration et les besoins des cultures en eau .....	17
1.11. Calcul de L'ETP .....	19
<b>Chapitre 02 : Nécessité des irrigations .....</b>	<b>21</b>
2. Nécessité des irrigations .....	21
2.1. Le déficit pluviométrique : .....	21
2.2. Détermination des besoins en eau d'irrigation : .....	21
2.2.1. Les besoins des plantes.....	21
2.2.2. Notion de réserve utile.....	22
2.3. Les calculs fondamentaux de l'irrigation .....	22
2.3.1. Les paramètres naturels .....	22
2.3.2. Les paramètres pratiques .....	22
2.4. Détermination des facteurs naturels dans le calcul d'irrigation .....	23
2.4.1. Le débit fictif continu 24h/24h .....	23
2.4.2. Définition du débit caractéristique .....	25
2.4.3. Détermination des doses pratiques (arrosage) .....	25
2.4.4. Dose maximale (RU) .....	25
2.4.5. Dose pratique et dose réelle (RFU) .....	26
2.4.6. Dose réelle .....	26
2.5. Détermination des paramètres pratiques d'arrosage.....	27
2.5.1. Le tour d'eau où espacement d'arrosage .....	27
2.5.2. Le temps d'arrosage.....	27
2.5.3. Le module d'arrosage « Main d'eau » (débit pratique d'arrosage) « m » .....	28
2.5.4. L'unité parcellaire d'arrosage.....	28
2.5.5. Surface globale irriguée par un module « m ».....	29

<b>Chapitre 03 : Technique d'irrigation (Système d'arrosage).....</b>	<b>30</b>
3. Technique d'irrigation (Système d'arrosage).....	30
3.1. Définition d'une technique d'irrigation.....	30
3.2. Différentes techniques d'irrigation.....	30
3.2.1. L'irrigation de surface : .....	31
3.2.1.1. L'irrigation par submersion.....	31
3.2.1.2. L'irrigation par ruissellement ou déversement.....	32
3.2.1.3. L'irrigation par infiltration .....	35
3.2.2. L'irrigation par aspersion .....	36
3.2.2.2. Les éléments d'une installation en aspersion .....	37
3.2.3. L'irrigation localisée ou micro irrigation .....	39
3.2.4. L'irrigation par contrôle de nappe .....	44
<b>Bibliographie .....</b>	<b>47</b>

# ◆ ————— **Chapitre 1: Les bases de l'irrigation** ————— ◆

## **1. Les bases de l'irrigation**

Dans cette première partie, sont rassemblées les données concernant le sol, l'eau, la plante et évidemment le climat. Donc il faut tenir compte :

\* le sol : Il possède de nombreuses propriétés jouant un rôle fondamental dans le processus cultural qu'est l'irrigation.

\* L'eau : En cas de sécheresse, il est important de savoir où on pourra s'approvisionner en eau pour irriguer et la connaissance de l'origine de l'eau devra fournir des éléments de valeur concernant sa qualité pour l'irrigation.

\* La plante : Elle consomme de l'eau en fonction de ses besoins qui sont variables selon le type de plante et son stade de développement.

\* Le climat : Il détermine l'importance des besoins et les périodes où ceux-ci sont les plus importants.

Du point de vue technique, L'irrigation repose sur la connaissance de trois éléments fondamentaux réagissant étroitement les uns sur les autres : Plante-Eau-Sol.

### **1.1. Relation Plante-Eau-Sol**

#### **1.1.1. Relation Eau - plante**

- Absorption de l'eau : L'eau et les sels minéraux sont absorbés par les racines ;
- Transport de l'eau : l'eau captée est ensuite transportée par les vaisseaux et les tubes criblés ;
- l'eau existe sous deux formes :

\* L'eau de constitution : elle représente 30 à 80% de la masse des végétaux ;

\* L'eau de végétation ou eau transpirée : Est un élément indispensable de la régulation thermique du végétal.

#### **1.1.2. Relation Sol - plante**

La plupart des plantes sont en interaction directe avec le sol tout au long de leur existence, de la graine jusqu'aux débris végétaux, et reposent largement sur lui pour leur alimentation en eau, leur nutrition minérale et leur ancrage.

### **1.1.3. Relation Eau - sol**

Le sol est un support et un réservoir d'emménagement en eau pour la plante, la capacité et les modalités de vidange de ce réservoir nécessitent la connaissance de certains éléments pour chaque type de sol : Texture, Structure, Perméabilité et capacité du sol.

Le sol possède deux critères essentiels de caractéristiques relatives à l'irrigation :

- Caractéristiques physiques ;
- Caractéristiques chimiques.

a) Caractéristiques physiques : ses principales propriétés physiques influant sur l'irrigation sont :

- La texture ;
- La structure et la porosité ;
- La perméabilité ;
- La topographie ;
- La capacité pour l'eau.

b) Caractéristiques Chimiques : La salinité, l'alcalinité et la teneur en matière organique.

#### **1.1.3.1. Caractéristiques physiques**

\* Texture : La texture indique l'abondance relative, dans le sol, de particules de dimensions variées : sable, limon ou argile.

L'analyse granulométrique consiste à séparer et à fixer avec précisions les pourcentages des divers constituants du sol, définissant les différentes textures.

La granulométrie proprement dite concerne la terre fine.

Sables : > 50  $\mu\text{m}$

Limons : de 50  $\mu\text{m}$  à 2  $\mu\text{m}$

Argiles : < 2  $\mu\text{m}$

\* Structure et porosité : Mode d'assemblage de ces particules rassemblées en agrégats, laissant entre eux des pores (vide).

L'espace poreux du sol contient la phase liquide (microporosité) et gazeuse du sol (macroporosité).

La porosité des sols dépend de la *granulométrie*, de leur répartition et donc du volume poreux du sol.

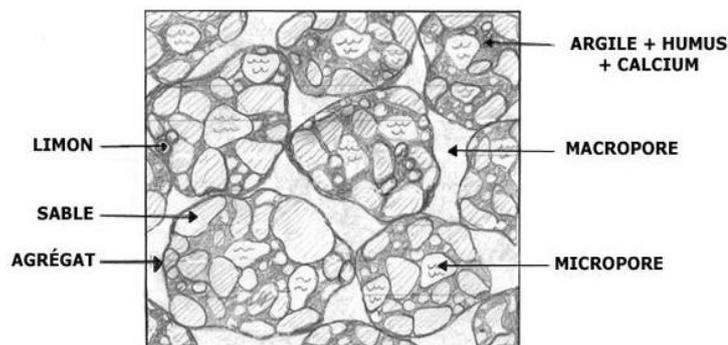
$$P = V_t - V_s$$

avec :

P : Porosité

V<sub>t</sub> : Volume total

V<sub>s</sub> : Volume solide



**Figure 1 : Structure du sol.**

\* Perméabilité : La perméabilité ou conductivité hydraulique est la propriété qui traduit la facilité de l'écoulement de l'eau dans le sol.

\* Perméabilité : La perméabilité des sols dépend principalement de leur porosité. →

\* Topographie : La pente est un facteur important pour tout type d'irrigation. Elle conditionne la vitesse de circulation de l'eau en surface et en profondeur.

### **1.1.3.2. Caractéristiques chimiques**

\* La salinité : C'est la masse de sels (composés ioniques) dissous dans 1 L d'eau. Elle s'exprime en g par kg d'eau.

\* L'alcalinité : Elle mesure la capacité de l'eau à neutraliser les acides. C'est ce que l'on appelle le pouvoir tampon de l'eau ou la capacité de l'eau à résister à un changement de pH lors de l'ajout d'acide.

\* La matière organique : Le sol contient un faible pourcentage massique de matière organique, généralement compris entre 1 et 5%. Cette petite quantité de matière organique,

dont le carbone organique constitue à peu près la moitié, est très importante pour le fonctionnement du sol et de l'écosystème tout entier.

## **1.2. les différents états de l'eau dans le sol**

### **1.2.1. Eau de rétention**

#### **1.2.1.1. Eau d'hygroscopicité (eau pelliculaire)**

Lorsque le sol est très sec, l'eau est retenue très intensivement par le sol. Il faut des moyens très énergiques pour les séparer (dessiccation artificielle), c'est une eau qui est très liée aux particules du sol, elle est inutilisable par les plantes.

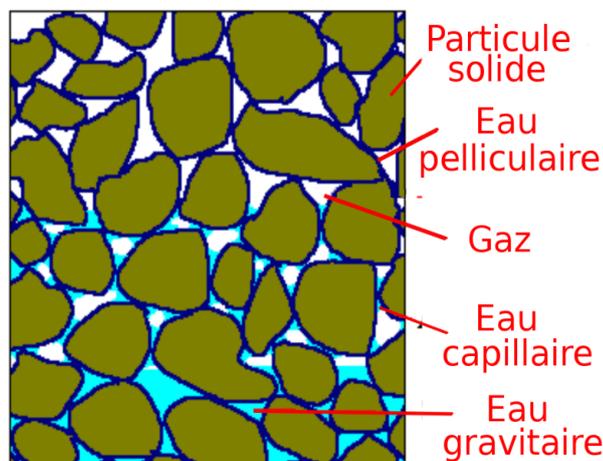
#### **1.2.1.2. Eau de capillarité**

Lorsque le taux d'humidité augmente au niveau du sol, l'eau qui s'y fixe essentiellement dans les interstices, va être soumise aux forces capillaires.

Cette eau est facilement utilisable par la plante.

### **1.2.2. Eau de gravité ou de saturation (eau libre)**

C'est une eau qui n'est pas retenue par le sol, s'écoulant sous l'action de la pesanteur dans les sols bien drainés. C'est une eau inutilisable par la plante, contenue au-delà de la capacité de rétention.



**Figure 2 : États de l'eau dans le sol.**

### **1.3. Etat énergétique de l'eau dans le sol :**

L'état énergétique de l'eau dans le sol est défini par deux paramètres :

- Energie cinétique ;
- Energie potentiel.

L'écoulement (transfert hydrique) dépend de la différence de potentiel (pression).

### **1.4. Potentiel de l'eau dans le sol**

L'eau est liée à la phase solide du sol par un système de forces qui est défini par la relation suivante :

$$\Psi_t = \Psi_w + \Psi_e + \Psi_c + \Psi_o + \Psi_g$$

avec :

$\Psi_t$  : Potentiel total

$\Psi_w$  : Potentiel d'adsorption

$\Psi_e$  : Potentiel électrochimique

$\Psi_c$  : Potentiel capillaire

$\Psi_o$  : Potentiel osmotique

$\Psi_g$  : Potentiel gravitaire

Dans un sol saturé : C'est le potentiel gravitaire qui domine ( $\Psi_g$ ) ;

Dans un sol à capacité au champ : C'est le potentiel capillaire qui domine ( $\Psi_c$ ) ;

Dans un sol sec : C'est le potentiel électrochimique qui domine ( $\Psi_e$ ).

### 1.5. Les différents Potentiels

Une molécule d'eau placée dans une différence de potentiels se déplace du potentiel le plus grand vers le potentiel le plus bas et les forces qui agissent sur la molécule d'eau sont de plusieurs natures : force d'adsorption, force de capillarité, force osmotique, force de pesanteur, force hydrostatique...

### 1.6. L'humidité du sol

L'humidité du sol, c'est la quantité d'eau qu'il contient. Elle dépend du type de sol (texture et structure) et de sa capacité à retenir l'eau.

#### 1.6.1. L'humidité équivalente « notée : $H_e$ »

C'est l'humidité de l'eau dans le sol correspondant à un 1 Pf (Potentiel).

Mesure : Mesure de l'humidité équivalente d'un sol par centrifugation est une méthode fiable, facile et rapide. Suite à de nombreuses mesures effectuées sur différents types de sol, les résultats obtenus par les chercheurs sont :

- Pour un sol argileux :  $H_e = 0.35$  soit un taux de 35%
- Pour un sol limoneux :  $H_e = 0.18$  soit un taux de 18%
- Pour un sol limoneux-sableux :  $H_e = 0.13$  soit un taux de 13%
- Pour un sol sableux :  $H_e = 0.06$  soit un taux de 06%

D'après AUBERT :  $H_e = 10 + 0,55 ta$

Avec

ta : C'est le taux d'argile

#### 1.6.2. Capacité de rétention « notée : $H_r$ ou $C_r$ »

C'est la quantité d'eau qui est retenue par le sol après ressuyage de 48 heures

$$H_r = \frac{\text{l'eau liée}}{\text{poids du sol sec}}$$

### 1.6.3. Point de flétrissement ou coefficient de flétrissement « noté : $H_f$ »

Le point de flétrissement permanent correspond au seuil au-delà duquel l'humidité du sol ne permet plus à la plante de prélever l'eau dont elle a besoin, car la réserve utile en eau du sol a été entièrement consommée. La plante flétrit alors puis meurt si ce taux d'humidité dure.

Le point de flétrissement «  $H_f$  » est lié à l'humidité équivalente par la relation suivante :

$$H_f = \frac{H_e}{1.84}$$

### 1.6.4. Point d'hygroscopicité « noté : $H_h$ »

L'eau hygroscopique est une eau absorbée de l'atmosphère et retenue très étroitement par les particules du sol, de sorte qu'elle n'est pas disponible pour les plantes. Sa valeur dépend de l'humidité et la température de l'atmosphère. D'après VAGELER, le point d'hygroscopicité correspond à la dessiccation naturelle.

Le point d'hygroscopicité «  $H_h$  » est lié à l'humidité équivalente par la relation suivante :

$$H_h = \frac{H_e}{4.55}$$

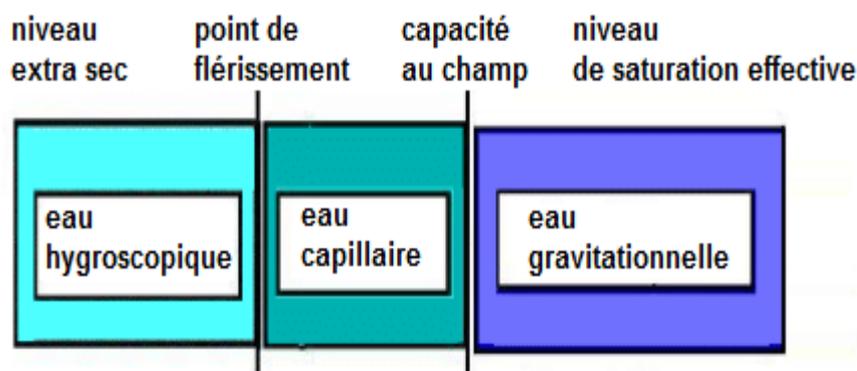


Figure 3 : Capacité de rétention.

### 1.7. Eau utile (Réserve utile) « notée $H_u$ ou $R_u$ »

L'eau utile pour la plante est la quantité maximale d'eau qu'elle peut prélever dans le réservoir sol. Elle est égale à la différence entre la capacité de rétention (capacité au champ) et le point de flétrissement.

$$H_u = H_r - H_f$$

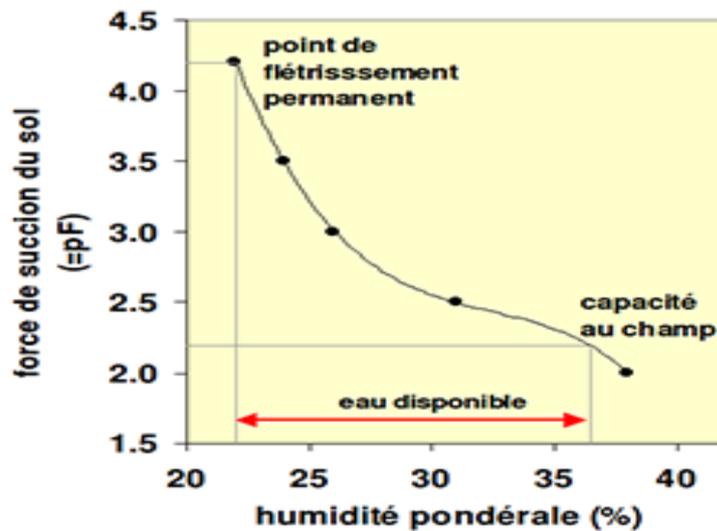


Figure 4 : Eau utile (Réserve utile).

Elle peut être évaluée en poids (exprimée en % de poids) ou en volume ( $H_u + d_a$ ), en tenant compte de la profondeur racinaire ( $h$ )

$$H_u = (H_r - H_f) \times d_a \times h$$

Avec :

$d_a$  : densité apparente

$h$  : profondeur des racines

$H_u$  : Eau utile correspondant à la dose d'irrigation maximale

### 1.8. Réserve facilement utilisable « notée RFU »

La réserve facilement utilisable (RFU) est limitée pratiquement au 2/3 de la réserve utile. Pour les irrigants, la RFU est le paramètre le plus important. Elle correspond à la dose d'irrigation pratique qu'il faut apporter au cours d'une irrigation.

$$RFU = 2/3 RU = 2/3 (H_r - H_f) \times d_a \times h$$

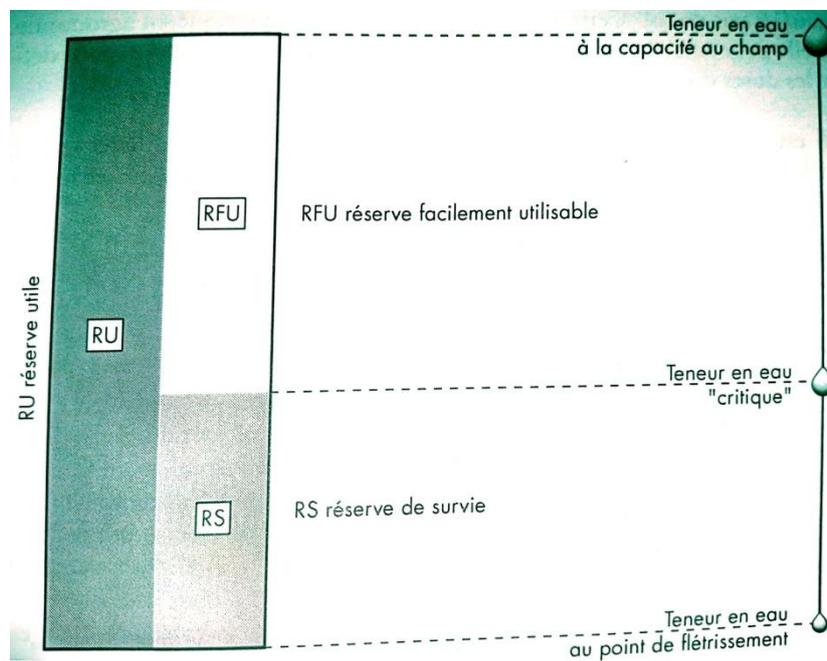


Figure 5 : RU et RFU.

### 1.9. L'évapotranspiration « notée : ET »

L'évapotranspiration (abréviation scientifique ET) est le processus biophysique de transfert d'une quantité d'eau vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes.

Elle dépend :

- Du climat : fournit l'énergie nécessaire à l'ET (Chaleur, Vent, Rayonnement) ;
- De l'eau disponible dans le sol ou dans l'atmosphère ;
- Du développement de la végétation.

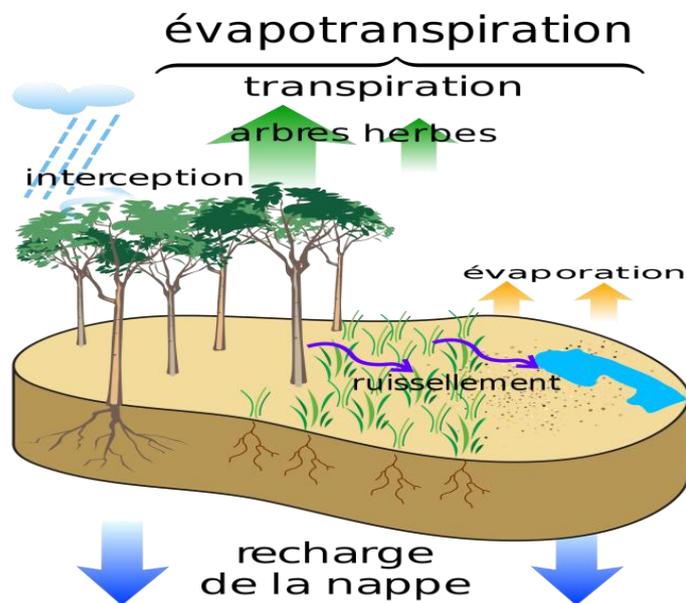


Figure 6 : Evapotranspiration.

#### 1.9.1. L'évapotranspiration potentielle « notée : ETP »

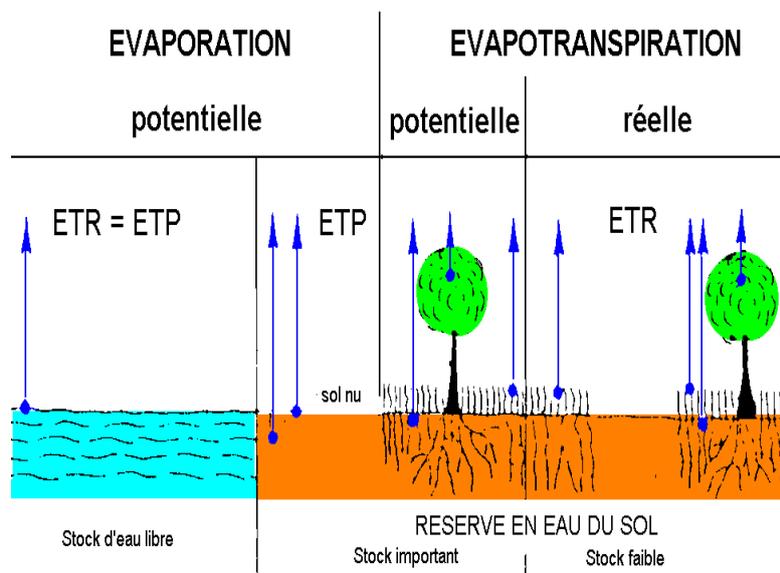
Une évapotranspiration potentielle ETP est la quantité maximale d'eau évaporée sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré. Elle s'exprime en hauteur d'eau (mm).

L'ETP est considérée comme une demande en eau par le climat au système sol-plante. Lorsque le système sol-plante est capable de répondre à cette demande, la quantité d'eau perdue par celui-ci correspond à l'ETP.

Lorsque le système sol-plante est incapable (sécheresse) d'avoir une offre égale à la demande climatique, il ne se produira que L'ETR (évapotranspiration réduite).

### 1.9.2. L'évapotranspiration réduite « notée : ETR »

C'est la quantité d'eau réellement perdue par le système sol-plante. Elle peut être inférieure à l'ETM (Evapotranspiration maximale), car en plus des facteurs qui déterminent celle-ci, elle est influencée par le déficit éventuel d'humidité du sol et des excès de chaleur provoquant des réactions de défense contre la perte d'eau (fermeture des stomates).



**Figure 7 : ETP et ETR.**

### 1.10. L'évapotranspiration et les besoins des cultures en eau

Pour déterminer les besoins maximums des plantes en eau, on procède comme suit :

- On calcule par l'une des méthodes la valeur de l'ETP par période (décade - quinzaine - mois) selon le degré de finesse désiré ;

- On calcule ensuite les besoins des plantes pour chacune de ces périodes par application de coefficient cultural  $K_C$ .

$$ETM = K_C \times ETP$$

Le coefficient «  $K_C$  » dépend de la nature de la culture, de la phase de vie du végétal et des conditions climatiques.

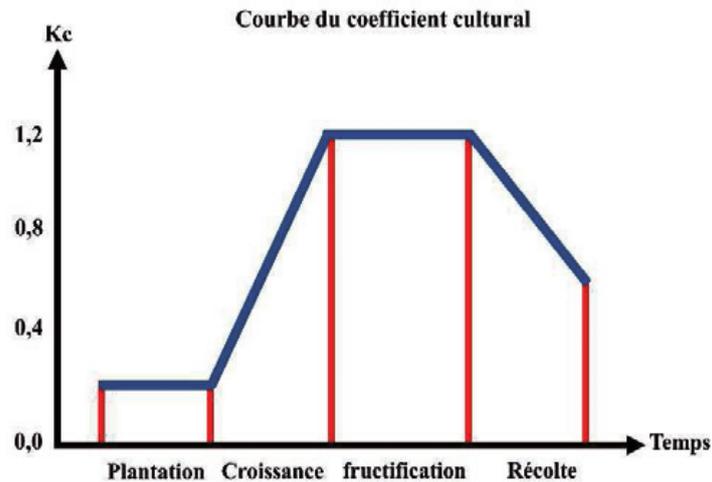


Figure 8 : Courbe du coefficient cultural.

Tableau 1 : Coefficients culturaux  $K_c$  pour quelques cultures maraîchères.

Culture	$K_c = ETM / ETP$	
	Phase de pleine végétation	Phase de maturation
Aubergines	1	0,9
Tomates	1,1	0,7
Poivrons	1	0,9
Haricots verts	1	0,9
Pois	1,1	1
Carottes	1	0,8
Oignons	0,9	0,7
Concombres	0,9	0,8
Courges	0,9	0,7
Melon	0,9	0,5

### 1.11. Calcul de L'ETP

Elle est déterminée par deux approches :

- Méthode directe ;
- Méthode indirecte par des formules empiriques.

\* La méthode directe :

Elle peut être réalisée à partir de l'évapotranspiromètre ou cuve lysimétrique.

Lysimètre : c'est une cuve (case) étanche enterrée à parois verticales ouvert en surface et rempli par le sol à tester. La surface du sol de lysimètre reçoit des précipitations (pluviométrie), alors que le fond laisse percoler l'eau afin qu'on puisse la récolter.

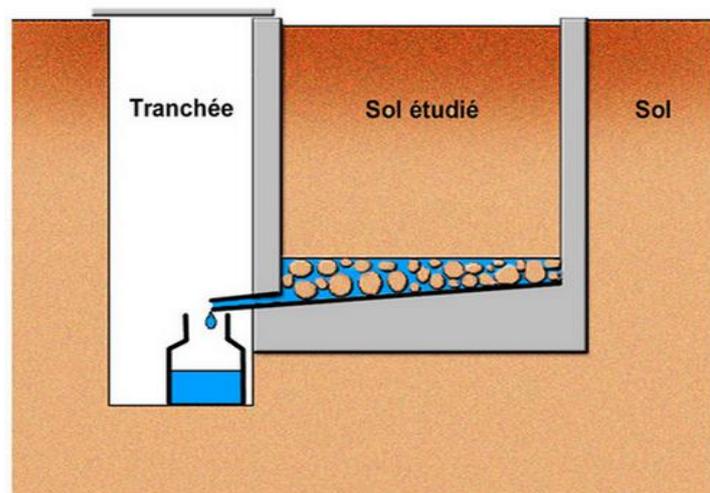
$$ETP = P - D - R$$

Avec :

P : Précipitations

D : Drainage

R : Réserve



**Figure 9 : Cuve Lysimétrique**

\* Méthode indirecte :

Cette constance de la valeur de l'évapotranspiration potentielle, démontrée par un nombre considérable d'expériences systématiques, a incité les chercheurs d'établir des modèles reliant l'ETP aux éléments climatiques.

Certaines formules proposées résultent d'ajustements statiques (Thornthwaite, 1948 ; Blaney et Criddle, 1950 ; Turc, 1961...), d'autres résultent d'un raisonnement physique basé sur le bilan énergétique (Penman, 1949 ; Bouchet, 1964 ; Gerbier, 1974).

Certains auteurs Algériens en 1983 en utilisant des mesures effectuées à Ain Baida, ils ont abouti aux conclusions suivantes :

- La formule de Blaney et Criddle estiment les valeurs de l'ETP pendant les mois froids ;
- La formule de Penman pendant le printemps et l'été, donne une estimation d'ETP plus importante que les autres formules.

## ◀ Chapitre 2 : Nécessité des irrigations ▶

### 2. Nécessité des irrigations

#### 2.1. Le déficit pluviométrique :

Connaissant l'évapotranspiration (ETP), il est possible de définir le déficit pluviométrique (DP) d'une période donnée comme étant la différence entre l'évapotranspiration et le module pluviométrique correspondant (P) :

$$DP = (ETP) - P$$

On calcule des déficits pluviométriques mensuels, dont la somme sera le déficit pluviométrique annuel.

#### 2.2. Détermination des besoins en eau d'irrigation :

##### 2.2.1. Les besoins des plantes

\* Le flux hydrique : Le sol a un rôle régulateur due à sa capacité de stockage.

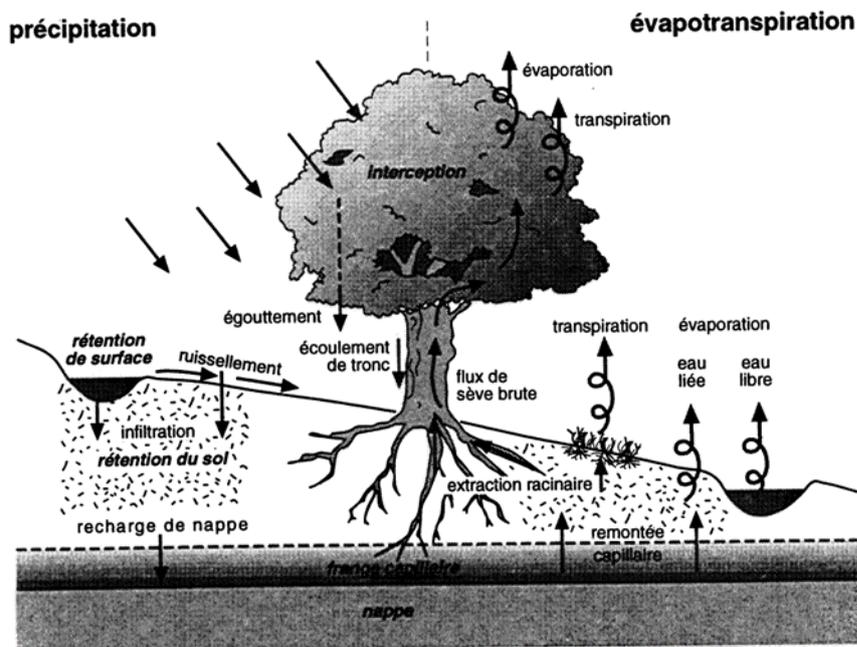


Figure 10 : L'eau dans le système sol - plante - atmosphère.

### **2.2.2. Notion de réserve utile**

La réserve utile est la quantité d'eau disponible pour les plantes contenue dans le sol. C'est la quantité d'eau dans le sol entre le point flétrissement permanent et l'humidité équivalente à la capacité de rétention du sol.

### **2.3. Les calculs fondamentaux de l'irrigation**

L'élément de base pour l'étude d'un projet d'irrigation est essentiellement le besoin propre des plantes cultivées en eau. La somme des besoins de toutes les cultures pratiquées dans le périmètre à irriguer nous donne le besoin total en eau.

Pour le calcul d'irrigation, on a besoin en général de deux paramètres à savoir :

- Les paramètres naturels ;
- Les paramètres pratiques.

#### **2.3.1. Les paramètres naturels**

Les données imposées par la nature essentiellement les besoins des plantes, le climat et le sol se résument aux paramètres suivants c'est à dire à partir de ces données naturelles :

- Débit fictif continu mensuel imposé par les plantes et le climat ;
- Dose pratique d'arrosage fixée par le sol ;
- Perméabilité du sol, caractéristiques du terrain.

#### **2.3.2. Les paramètres pratiques**

Nous pourrons ensuite définir les caractéristiques ou facteurs des arrosages, celles qui intéressent spécialement les agriculteurs à savoir :

- ✓ Les dimensions des parcelles à irriguer ;
- ✓ Le débit à fournir pour arroser ;
- ✓ La fréquence des arrosages ;
- ✓ La durée des arrosages.

**N.B :** Les facteurs naturels limitent extrêmement le choix des paramètres pratiques.

## 2.4. Détermination des facteurs naturels dans le calcul d'irrigation

### 2.4.1. Le débit fictif continu 24h/24h

Comme son nom l'indique, il représente la quantité d'eau nécessaire à rapporter par unité de temps et par unité de surface pour compenser les pertes par évapotranspiration au niveau de la même parcelle.

$$q_c = \frac{V}{J \times 86400 \times E}$$

Avec :

V : volume d'eau à apporter et correspond aux besoins en eau des plantes c'est-à-dire l'ETM ;

J : Nombre de jours de la période considérée ;

E : L'efficacité du réseau (rendement du réseau d'irrigation depuis la source jusqu'au dernier point d'irrigation).

N.B : On peut avoir quatre types de l'efficacité du réseau :

► Rendement au temps :	24h/24h → 100 % 12h/12h → 50 %
► Rendement aux pertes au cours de transport :	Exemple : Un rendement aux pertes au cours de transport égale à 90 %, cela veut dire qu'il y a 10 % d'eau perdue au cours de route.
► Rendement à la parcelle :	Un rendement de 80 %, cela veut dire que 20 % de perte au niveau de la parcelle (Ruissellement – Evaporation) ;

**Exemple 1** : Les besoins journaliers exprimés en mm d'une exploitation agricole (polycultures) sont mentionnés dans le tableau suivant :

Mois Culture	Superficie	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre
<b>Blé</b>	40 ha	1.5	2.5	5	3	/	/
<b>Avoine</b>	30 ha	1.5	3	6	4.5	/	/
<b>Mais</b>	15 ha	/	3.5	5.5	6.5	/	/
<b>Vigne</b>	8 ha	/	1	3.5	5	5	/
<b>Luzerne</b>	5 ha	5	6.5	7.5	8.5	8.5	6
<b>Prairie</b>	18 ha	5	6	7.5	8	8	5.5
<b>P. de terre</b>	1 ha	/	1.5	3	5	5	/
<b>Besoins Totaux</b>		2200	3925	6660	5840	2125	1300

A titre de Rappel : 1 mm correspond à 10 m<sup>3</sup>/ ha

Donc pour le blé et pour le mois de juin :

5 mm correspond à 50 m<sup>3</sup> / ha

Donc 50 × 40 = 2000 m<sup>3</sup> (Besoin de blé)

Le volume d'eau d'irrigation d'appoint pour le mois de juin est estimé :

Volume global = V1S1 + V2S2 +..... + VnSn

avec:

V1, V2, V3..... Besoin mensuel ou journalier en m<sup>3</sup> / ha

S1, S2, S3..... Surfaces respectives des cultures ha

$$\text{Donc : } 50 \times 40 + 60 \times 30 + 55 \times 15 + 35 \times 8 + 75 \times 5 + 75 \times 18 + 30 \times 1 =$$

$$2000 + 1800 + 825 + 280 + 375 + 1350 + 30 = 6660 \text{ m}^3 / \text{ Juin}$$

Donc, l'exploitation aura besoin de 6660 m<sup>3</sup> pour survenir au besoin d'irrigation d'appoint pour le mois de juin et pour toutes les cultures.

N.B : En cas, ou il n'existe pas de précipitation, on dispose de cette quantité.

Le total des besoins globaux annuel pour toute l'exploitation est égal à la somme des besoins mensuels.

**Exemple 2 :** Pour la culture de blé et pour une efficacité aux pertes de 0.80, calculez le  $q_c$  ?

On sait que :

$$q_c = \frac{V}{j \times 86400 \times E}$$

On  $5 \text{ mm /jour} = 50 \text{ m}^3/\text{ha} = 50 \times 10^3 \times 30 = 5 \times 10^4 \times 30 \text{ litres/ha/mois}$

Donc :  $q_c = \frac{50000 \times 30}{30 \times 86400 \times 0,8} = \frac{50000}{86400 \times 0,8} = \frac{50000}{69120}$

$$q_c = 0.72 \text{ l/s}$$

C'est-à-dire, qu'il faut un robinet (source) qui débite 0.72 l/s

#### **2.4.2. Définition du débit caractéristique**

Si parmi les débits fictifs « q » continu pour une même culture, on choisit le débit fictif maximal, on obtient le débit caractéristique ou débit de pointe. Il correspond au mois le plus chaud de l'année c'est-à-dire le plus déficitaire en eau. Dans le cas de polyculture, on prend le « q » du mois où l'apport d'eau est maximum pour l'ensemble des cultures pratiquées.

#### **2.4.3. Détermination des doses pratiques (arrosage)**

Les plantes n'auront au maximum à leur disposition dans le sol que l'humidité correspondant à la différence entre le point de rétention et le point de flétrissement.

Si par exemple, on étudie un sol qui présente les caractéristiques suivantes :

- Point de rétention :  $H_r = 0.32$
- Point de flétrissement :  $H_f = 0.17$

Donc l'eau disponible sera, par mètre cube de sol de :  $1\text{m}^3 (0.32 - 0.17) = 0.15 \text{ m}^3$

Cette notion d'eau disponible est très importante, elle est le fondement des arrosages (irrigation).

#### **2.4.4. Dose maximale (RU)**

Le sol constitue le réservoir naturel, dont nous connaissons la capacité par  $\text{m}^3$   $1\text{m}^3 (H_r - H_f)$ , mais les plantes ne profitent de l'humidité que jusqu'à une certaine limite, au-delà de laquelle les racines ne peuvent la captée. La dose maximale est la quantité qu'il faudra ramener à la première irrigation à un sol qui est soumis à une dessiccation prolongée c'est donc la réserve utile.

$$D_m = (H_r - H_f) \times h$$

Avec :

- $D_m$  : Dose max
- $h$  : Profondeur des racines

N.B : Avant semis, il faut apporter cette dose d'irrigation.

#### **2.4.5. Dose pratique et dose réelle (RFU)**

C'est la dose d'eau qu'il faudra ramener à chaque irrigation de sorte que le réservoir sol soit rechargé à une profondeur « H » sans qu'il n'y ait percolation profonde.

Dans la première irrigation, on ramène un volume égal à la RU, qui sert une réserve pour le sol et la mise en culture. Par la suite et à chaque irrigation, on ramène aussi un volume ( $RFU = \alpha RU$ ), et ainsi pour qu'il y a toujours un volume sécurisant qui reste dans le sol

$$D_p = \alpha \times D_m$$

Avec :

- $D_p$  : Dose pratique
- $D_m$  : Dose max
- $0.3 < \alpha < 0.7$  (généralement = 2/3 ou 0.5)

Donc :  $D_p = \alpha \times (H_r - H_f) \times h$

#### **2.4.6. Dose réelle**

C'est la dose réelle qu'on doit apporter pour chaque irrigation, elle est calculée en fonction de la dose pratique :

$$\text{Dose réelle} = \frac{\text{Besoins}}{\text{Fréquence}} = \frac{\text{Besoins}}{N}$$

Donc :

$$N = \frac{\text{Besoins}}{D_p}$$

N.B : N doit être un nombre entier.

**Exemple 3 :** Un sol a les caractéristiques suivantes :

$H_r = 21\%$  -  $H_f = 9\%$  -  $\alpha = 0.5$  (sol moyen) – densité apparente = 1.5

Les besoins mensuels de la culture sont de l'ordre de 180 mm et la profondeur racinaire 70 cm.

- Calculer  $D_m$ ,  $D_p$  et la fréquence N.
- Vos conclusions ?

On Sait que :  $D_m = (H_r - H_f) \times da \times h$  (Formule)

Donc :  $D_m = (0.21 - 0.09) \times 1.5 \times 700 = 126 \text{ mm} = 1260 \text{ m}^3/\text{ha} = 1260 \text{ 000 litres/ha.}$

$$D_p = \alpha D_m = 0.5 \times 126 = 63 \text{ mm} = 630 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\text{On a : } N = \text{Besoins} / (D_p) = 180/63 = 2.85 \approx 3 \text{ fois/mois}$$

Conclusion : Si on irrigue avec  $D_p$ , on dépasse largement les besoins de la culture pendant ce mois, car :  $D_p \times N = 63 \times 3 = 189 \text{ mm}$ , sachant que les besoins = 180 mm.

Donc, il y a un excès de  $9 \text{ mm} = 90 \text{ m}^3/\text{ha}$

Donc il faut irriguer avec la dose réelle  $D_r = \text{Besoins}/N = 180/3 = 60 \text{ mm}$

## **2.5. Détermination des paramètres pratiques d'arrosage**

### **2.5.1. Le tour d'eau où espacement d'arrosage**

Le tour d'eau est le nombre de jours qui sépare deux arrosages pour une même parcelle, dans notre exemple le tour d'eau égale à 10 jours.

N.B : Pour l'irrigation localisée (goutte à goutte), la notion de fréquence et tour d'eau n'ont aucun sens (irrigation permanente).

### **2.5.2. Le temps d'arrosage**

C'est le temps qu'il faudra pour recharger le sol c'est le temps qu'il faut pour ramener la dose réelle d'arrosage.

$$t = \frac{D_r \text{ (mm)}}{\text{pluviométrie horaire}} = \frac{D_r}{g}$$

On suppose, qu'on a des asperseurs qui débitent une pluviométrie horaire égale à 12 mm/h.

$$\text{Donc : } t = \frac{60}{12} = 5\text{h}$$

N.B : **Le poste d'arrosage** : c'est le temps de stationnement d'une rampe d'arrosage sur un même endroit, c'est donc égale au temps d'arrosage.

### 2.5.3. Le module d'arrosage « Main d'eau » (débit pratique d'arrosage) « m »

Entre le déversement brutal de la dose d'irrigation et l'arrivée continue de l'eau, il faut rechercher une solution pratique c'est-à-dire un débit d'eau maniable (main d'eau), que l'on diverse pendant un temps d'une durée raisonnable, sur une parcelle de dimensions telle qu'elle reçoive pendant ce temps juste la quantité d'eau dont elle a besoin ( $D_r$ ).

Le module d'arrosage, est le débit d'eau dont l'irrigation dispose pour le déverser sur le sol des parcelles à irriguer.

Plusieurs facteurs peuvent faire varier la valeur à choisir pour le module à savoir :

- La méthode d'arrosage, plus elle est perfectionnée, plus le module pourra être déduit ;
- L'état du sol et sa pente, on peut choisir un petit module lorsque le sol est bien nivelé, pente convenable et lorsque la perméabilité n'est pas prédominante.

Il faut, en effet que l'eau qui arrive une parcelle d'une certaine étendue s'infilte normalement, sans être totalement absorbée en tête de la parcelle, ni au contraire l'écoulée hors de ses limites. L'eau doit être absorbée au fur et à mesure de son déversement sur la totalité de la parcelle sans excès ni insuffisance.

### 2.5.4. L'unité parcellaire d'arrosage

C'est la surface qui peut être irriguée convenablement par un module. Dans la pratique des arrosages, on amènera à la tête de chacune des parcelles à irriguer un débit égal au module.

Quelles Dimensions va-t-on donner à ces parcelles, que l'on met en eau successivement et indépendamment les unes des autres ?

**Exemple** : Un robinet qui débite au max 1 l/s sur un sol, à perméabilité de 0.0001 m/s.

Si, on ouvre le robinet à un débit de 0.1 l/s, il va couvrir une surface de « S »

$$S = \frac{m}{k} = \frac{0.1}{0.0001} = 10 \text{ m}^2$$

Donc  $10\text{m}^2$  qui absorbe un débit de 0.1 l/s.

Si, on ouvre davantage le robinet, la surface sera plus irriguée :

$$S = \frac{m}{k} = \frac{0.2}{0.0001} = 20 \text{ m}^2 \dots \text{etc.}$$

On comprend la nécessité de dimensions des parcelles, à mettre en eau successivement d'une part en fonction du module et d'autre part selon la perméabilité de chacune des parcelles.

On peut noter, pour une parcelle de surface « S » d'un sol, d'une perméabilité k (m/s), il y a équilibre entre le module « m » et « k » de toute la parcelle.

$$S \times K = m$$

### **2.5.5. Surface globale irriguée par un module « m »**

Si, on met à la disposition d'un irrigant un module « m » continu et si le débit fictif continu moyen qui nécessaire à l'hectare pendant la période (mois) est « q », il peut avec ce module irriguer une surface globale :

$$S_g = \frac{m}{q}$$

Avec :

$S_g$  : surface globale ;

m : module ;

q : débit fictif.

Il répartira cette surface globale «  $S_g$  » en unités parcelaires d'arrosage et le nombre « n » de ces unités parcelaires :

$$n = \frac{S_g}{S}$$

## ◆ **Chapitre 3 : Technique d'irrigation (Système d'arrosage)** ◆

### **3. Technique d'irrigation (Système d'arrosage)**



#### **3.1. Définition d'une technique d'irrigation**

C'est le mode de transport et de distribution de l'eau d'irrigation. Le choix d'une technique d'irrigation est fonction de :

- La topographie du terrain ;
- La nature de la culture pratiquée ;
- La nature du sol.

#### **3.2. Différentes techniques d'irrigation**

Il existe différents types de techniques d'irrigation qui diffèrent en fonction de la distribution sur le terrain de l'eau obtenue à partir de la source.

En général, l'objectif est de fournir de l'eau à l'ensemble du terrain de manière uniforme, de sorte que chaque plante ait le volume d'eau dont elle a besoin, ni trop, ni trop peu.

Selon le mode de distribution de l'eau à la parcelle, on distingue essentiellement quatre techniques :

► **L'irrigation de surface** : dans l'irrigation de surface, l'eau distribuée sur la parcelle circule à l'air libre à la surface du sol, cette technique est la plus ancienne. Suivant la pente du terrain, la perméabilité du sol et la nature des cultures, elle peut prendre différents aspects :

- L'irrigation par submersion ;
- L'irrigation par ruissellement ou déversement ;
- L'irrigation par infiltration.

► **L'irrigation par aspersion** ;

► **L'irrigation localisée ou micro-irrigation** ;

► **L'irrigation par contrôle de nappe.**

### **3.2.1. L'irrigation de surface :**

Dans les systèmes d'irrigation de surface, l'eau distribuée sur la parcelle, circule à l'air libre à la surface du sol sous l'effet d'un simple écoulement pour l'humidifier et s'infiltrer dans le sol. L'irrigation de surface est la technique la plus ancienne.

Suivant la pente du terrain, la perméabilité du sol et la nature des cultures, elle peut prendre différents aspects :

#### **3.2.1.1. L'irrigation par submersion**

C'est recouvrir le sol d'une couche d'eau plus ou moins épaisse, le temps nécessaire pour qu'elle pénètre à la profondeur utile.

Elle se pratique en terrain plat dans des bassins entourés de diguettes, que l'on remplit sur une hauteur correspondant à la dose d'arrosage.

Le principe de cette technique consiste à créer une nappe épaisse en engorgeant temporairement toute la surface à pente nulle.



**Figure 11 : Irrigation par submersion.**

**Exemple :** le riz est la culture type irriguée ainsi.



**Figure 9 : Riziculture.**

### **3.2.1.2. L'irrigation par ruissellement ou déversement**

On parle souvent d'irrigation par déversement lorsque l'irrigation entraîne une inondation ou un état proche de l'inondation du terrain cultivé. Historiquement, il s'agit de la méthode d'irrigation la plus utilisée sur les terres agricoles.

Irriguer par ruissellement c'est laisser couler sur une pente une mince couche d'eau, le temps qu'il faut pour que le sol soit humidifié jusqu'à une profondeur voulue.

Méthodes d'arrosage :

- ▶ **Pente** : 0.1 – 5% (pour les prairies) ;  
0.1 – 2 % (pour les terres cultivées).

#### **▶ Régularité de la surface et la pente :**

##### **a) Méthodes naturelles :**

- Arrosage à la planche ;
- Arrosage par rigoles de niveau ;
- Arrosage à la raie ou sillon.



**Figure 10 : Arrosage Par planche.**



**Figure 14 : Arrosage Par Rigoles de niveau.**

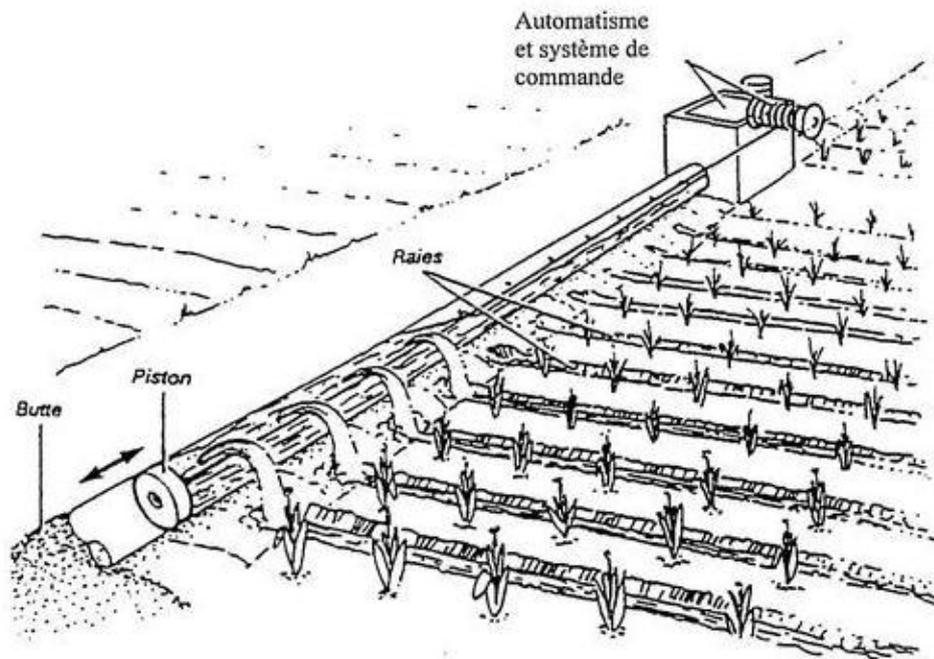


Figure 11 : Arrosage à la raie.

**b) Méthodes artificielles :**

- Arrosage par plans inclinés ordinaires ;
- Arrosage par plans inclinés en étages ;
- Arrosage par plans inclinés en étages naturelles ;
- Arrosage par ados.



Figure 12 : Arrosage Par plans inclinés en étages.



**Figure 13 : Arrosage Par plans inclinés ordinaires.**



**Figure 18 : Arrosage Par Terrasses.**

### **3.2.1.3. L'irrigation par infiltration**

C'est une technique qui consiste à faire des petites rigoles (sillons) en terres aménagées dans le sens de la pente du terrain pour transporter l'eau entre les rangées de cultures.

L'eau ne ruisselle pas à la surface du sol, elle coule dans les fossés, rigoles (sillons) ou raies et pénètre par infiltration latérale jusqu'aux racines des plantes. Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons.



**Figure 19 : Irrigation par infiltration.**

### **3.2.2. L'irrigation par aspersion**

Irrigation qui projette l'eau en l'air pour tomber à la surface du sol sous forme de fines gouttelettes (Pluie artificielle). C'est un réseau de conduites sous pression portant des asperseurs ou des buses, conçu pour projeter des jets ou pulvériser de l'eau sous forme de fine gouttes à la surface du sol.



**Figure 20 : Irrigation par aspersion.**

Les éléments d'une installation en aspersion sont :

- Un appareil de pompage ;
- Conduite ou canalisation ;
- des appareils qui projettent et répartissent l'eau.

### **3.2.2.2. Les éléments d'une installation en aspersion**

#### **3.2.2.2.a) Appareil de pompage**

Les pompes centrifuges sont souvent utilisées à cause de leur souplesse, faible encombrement, de leur bon fonctionnement et ne provoquent pas le phénomène de cavitation (suppression) dans les conduites. Ces pompes sont commandées par un moteur et l'ensemble forme le motopompe. Chaque pompe est caractérisée par un débit et une HMT (hauteur max de transport).

$$HMT = H_{asp} + H_{ref}$$

Avec:

HMT : Hauteur max de transport

$H_{asp}$  : Hauteur d'aspiration

$H_{ref}$  : Hauteur de refoulement

**N.B :** Pour les exploitations dotées de réseau d'énergie électrique, on utilise des pompes immergées dans la source hydrique.

#### **3.2.2.2.b) Conduite ou canalisation**

Il y en a qui sont fixes, mobiles ou mixtes.

- Canalisation fixe : elles sont placées de façon permanente, enterrées au niveau du sol ;
- Canalisation mobile : elles sont placées sur terrain ou bien sur des chevalets des traineaux, on les met généralement en limite des parcelles ;
- Canalisation mixte : on peut installer les deux à la fois (enterrée et mobile).

Pour choisir une conduite, trois critères sont importants : le matériau, la pression de service et le diamètre nominal.

### 3.2.2.2.c) Les asperseurs

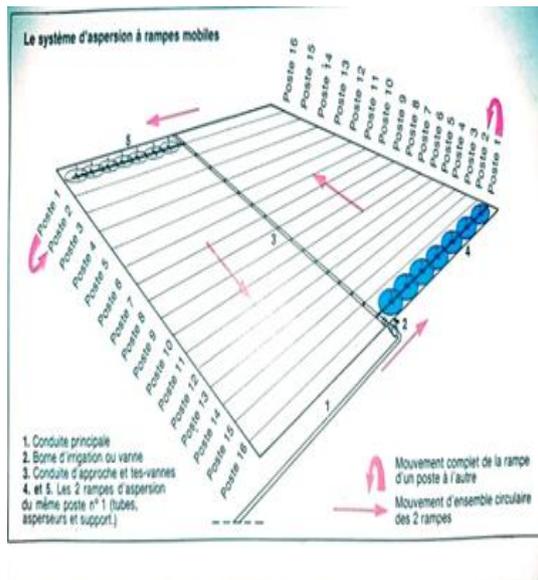
Ils font la répartition à la surface du sol de l'eau fournie par la canalisation. Ces appareils peuvent se classer en deux catégories principales :

- Appareil à base pression : 0,20 à 2 Kg/cm<sup>2</sup>
- Appareil à haute pression : 3 à 8 Kg/cm<sup>2</sup> et parfois même jusqu'à 12 Kg/cm<sup>2</sup>

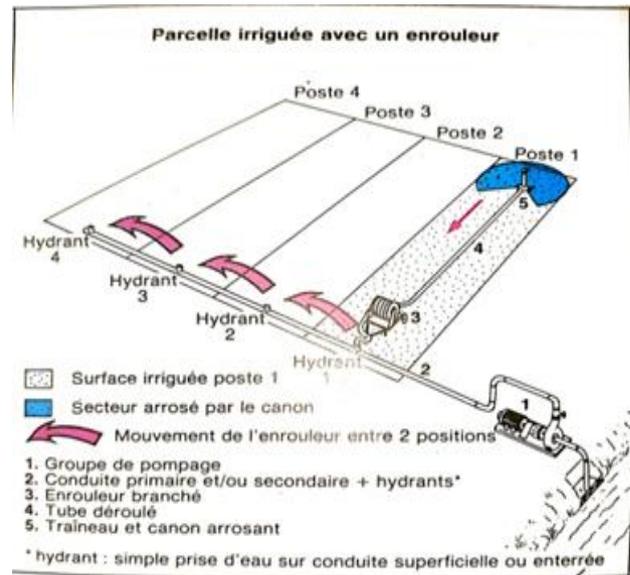


**Figure 21 : Asperseurs.**

Pratiquement, on distingue les rampes d'arrosage, les tourniquets qui sont de petits arroseurs rotatifs, les sprinklers, les lances, les enrouleurs, les pivots et les canons d'arrosage.



Rampes d'arrosage



Enrouleur



Pivot

Figure 22 : Irrigation par aspersion.

### 3.2.3. L'irrigation localisée ou micro irrigation

L'irrigation localisée est un système dans lequel l'eau est distribuée en basse pression via un réseau de canaux et qui applique une petite quantité d'eau à chaque plante ou plante adjacente.

La micro-irrigation est une méthode d'irrigation utilisée en zone aride car elle réduit au maximum l'utilisation de l'eau et de l'engrais.

Il existe plusieurs types de micro-irrigation, le plus répandu aujourd'hui étant le « goutte-à-goutte » (souvent raccourci par l'acronyme GAG), où l'eau s'égoutte lentement vers les racines des plantes par un système de tuyaux, soit en coulant à la surface du sol soit en irriguant directement la rhizosphère.



**Figure 14 : Irrigation par goutte à goutte.**

Irrigation localisée au voisinage du pied des plantes, cette technique a pour objet de maintenir humide une partie du volume du sol utilisable par les racines.

Les apports d'eau, à basse pression sont faibles, continus ou fréquents. La localisation des arrosages réalise une économie appréciable d'eau et sauvegarde la structure du sol.

Pendant l'arrosage, le sol reste sec et ferme, ce qui rend possible les façons culturales. Elle peut être pratiquée dans certaines situations particulières : cultures à grands espacement (arbres fruitiers), cultures en conteneurs, cultures sous plastiques et sous serres.

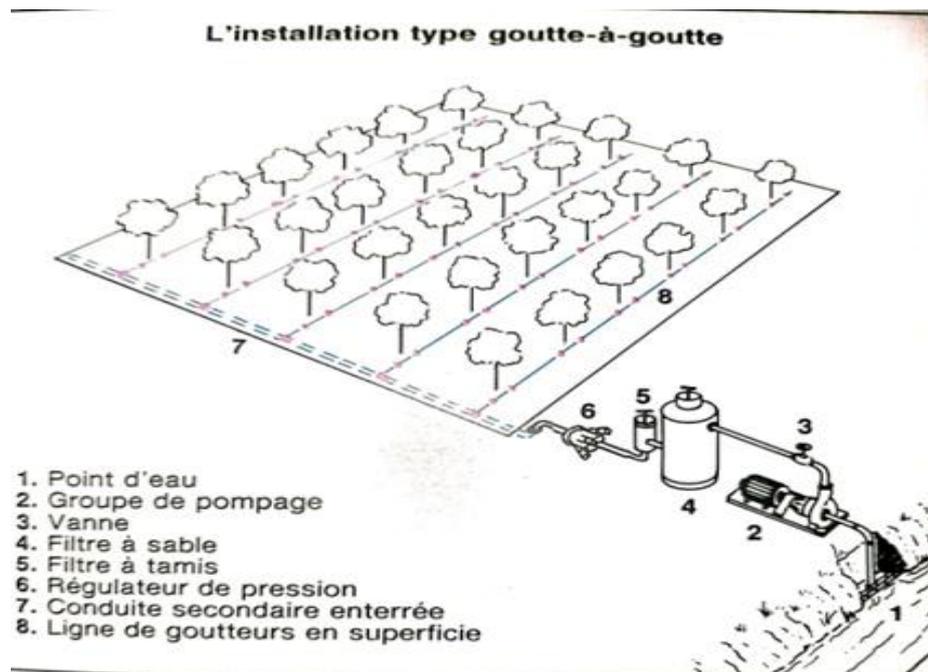
Elle est réalisée par divers systèmes : gouttes à gouttes, les rampes perforées et les mini diffuseurs.



**Figure 15 : La gaine d'irrigation goutte à goutte.**

Le système d'irrigation au goutte à goutte se compose de l'amont vers l'aval (figure 24) d'éléments suivants :

- Une source d'eau (point d'eau) ;
- Un groupe de pompage de l'eau ;
- Un équipement de tête (tête de station), chargé de régulariser le débit, d'améliorer la qualité physique de l'eau (filtration) et parfois sa qualité chimique (incorporation d'engrais) ;
- Des conduites principales et secondaires qui conduisent l'eau en tête des rampes ;
- Des rampes (porteuses de goutteurs) qui servent au transport et à la distribution de l'eau ;
- Des goutteurs constituant l'organe essentiel du système.

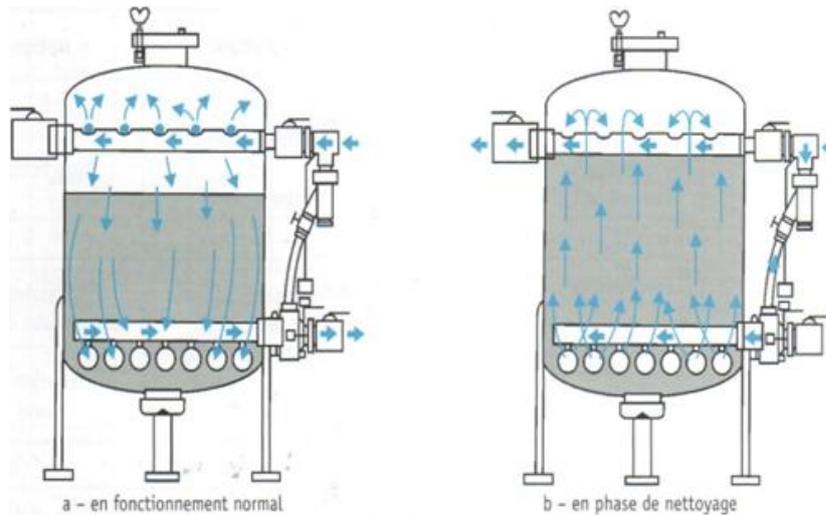


**Figure 16 : Installation Système d'irrigation goutte à goutte**

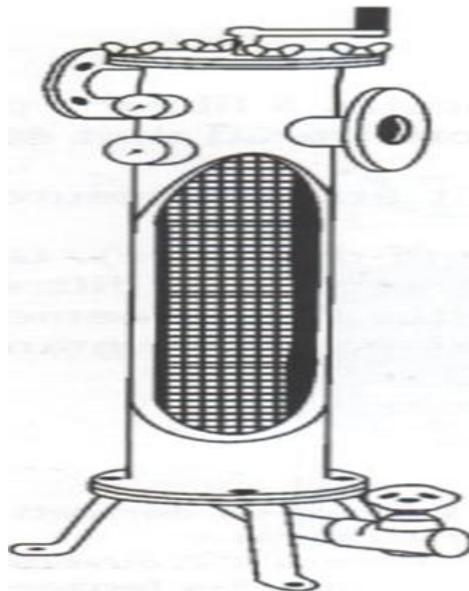
Il est à signaler, que la micro-irrigation exige une grande compétence de la part de l'irrigant dans la conduite des arrosages et une surveillance attentive en raison des risques d'obstruction.

Il n'y a pas d'irrigation localisée sans filtration, qui a pour objet d'extraire de l'eau, destinée à être injectée dans le réseau d'irrigation, Les impuretés susceptibles d'obérer le bon fonctionnement de celui-ci notamment en obstruant les distributeurs (goutteurs). Les dispositifs de filtration installés (filtre à sables et à tamis) doivent être adaptés aux caractéristiques de l'eau brute à traiter et à celles requises par les distributeurs de l'installation.

En irrigation localisée, la filtration est un élément indispensable. On choisit son système de filtration en fonction de la qualité de l'eau et des exigences dues aux distributeurs. Filtres à sables ou filtres à tamis, ils demandent tous un entretien rigoureux pour ne pas pénaliser la qualité de l'irrigation.



**Figure 17 : Filtre à sables.**



**Figure 18 : Filtre à tamis.**

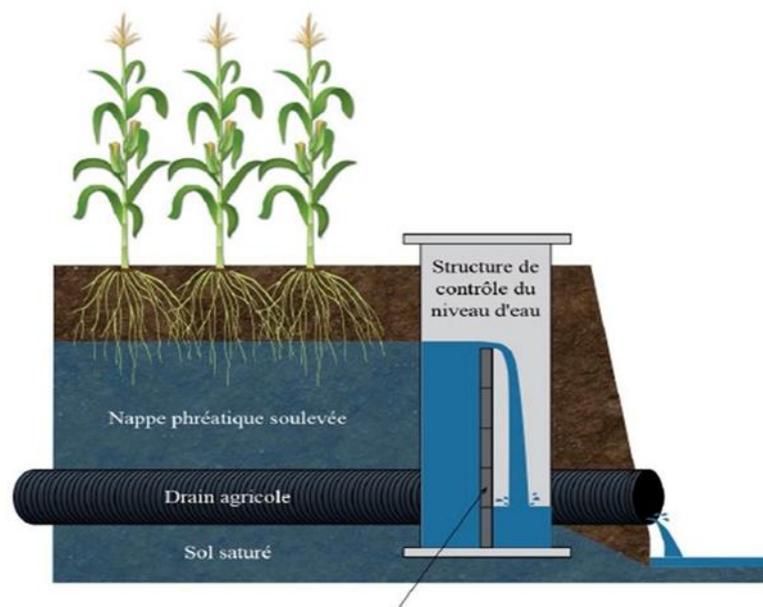
Pour s'assurer d'une bonne homogénéité de l'irrigation sur la parcelle, d'une longévité optimale de son installation(en gouttes à gouttes ou en aspersion), mais aussi éviter les fuites et économiser de l'eau, il est indispensable de :

- Connaître toutes les caractéristiques des matériels qui composent l'installation ;
- Réaliser les opérations de surveillance, nettoyage et entretien tout au long de la saison ;

- Se donner les moyens d'agir rapidement quand on détecte un problème.

### 3.2.4. L'irrigation par contrôle de nappe

L'irrigation par contrôle de nappe est une technique d'irrigation qui consiste à maintenir la nappe phréatique à un niveau suffisant pour permettre l'absorption de l'eau par les cultures par remontée capillaire (figure 27).



**Figure 19 : Irrigation par contrôle de nappe.**

D'après la FAO, pour réaliser le système d'irrigation par contrôle de nappe on doit disposer de :

- Un sol plat ;
- Un sol imperméable en profondeur ;
- La profondeur idéale de la nappe d'eau doit être de 30 à 60 cm en dessous de la rhizosphère ;
- Un sol avec une bonne texture.

Parfois l'irrigation a d'autres buts :

► **L'irrigation Fertilisante** : cette pratique consiste à utiliser le réseau d'irrigation (en gouttes à gouttes et micro-aspersion) pour apporter en solution dans l'eau tout ou partie de la fertilisation. Souvent, afin d'éviter une intervention supplémentaire, on additionne les engrais (surtout l'azote) à l'eau d'arrosage.

Elle permet de fractionner les apports tout au long de la saison, facteur de qualité de production en s'adaptant mieux aux besoins de la culture.

Elle permet de limiter les pertes par lessivage.

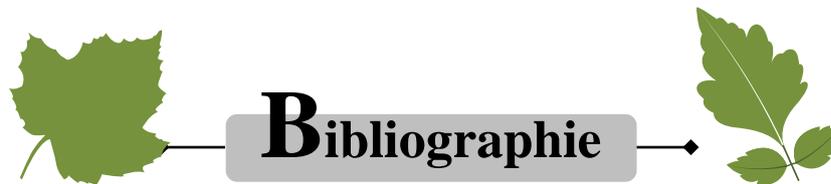
Elle optimise l'assimilation de certains éléments (N, K) pour les productions de plein champ en cas de pluies insuffisantes au printemps.

► **Lutter contre le froid** : depuis plusieurs années se développe une nouvelle méthode de lutte (aspersion d'eau) contre les gelées tardives d'avril ou de mai qui causent des dégâts considérables sur les arbres fruitiers (protection antigel efficace et économique d'eau). ;

► **Lutter contre les parasites** : en été, la pullulation de certains parasites est favorisée soit par la sécheresse (acariens), soit par l'humidité (maladie cryptogamique). Un choix judicieux de la méthode d'arrosage peut réduire le nombre de traitements pesticides, les produits phytosanitaires peuvent être ajoutés à l'eau d'irrigation, ce qui permet d'éviter une intervention complémentaire.

Tableau 2 : Réponses aux questions : Quand ? Combien ? Comment ?

Questions	Réponses attendues	Eléments à prendre en compte	Outils
<b>Quand irriguer ?</b>	Date de démarrage Date de renouvellement Date d'arrêt	Tour d'eau du réseau Tour d'eau propre à l'exploitation Calendrier de travaux Délais depuis l'apport précédent Dose du dernier apport	Bêche  Tarière  Tensiomètre
<b>Combien irriguer ?</b>	Dose pour une parcelle - pour l'année - par apport	Objectif de rendement Age de la culture Nature de la culture Fourniture du sol Pluies probables Délais de retour (fréquence) Doses mini et maxi Pluies efficaces depuis le dernier apport Consommation probable	Appareil de mesure de la teneur en eau sans perturbation dans le sol en place  Manomètre  Compteur
	Volume pour l'exploitation	Somme des parcelles Volume de la source Performance du matériel Risque climatique Main d'œuvre	
<b>Comment irriguer ?</b>	Fréquence des apports Débit Pluviométrie Heure d'application	<u>En général</u> Sol (perméabilité) Main d'œuvre Culture Caractéristiques du matériel	
	Débit Temps d'application	<u>Spécifique au gravitaire</u> Pente Sol Longueur des raies	
	Pluviométrie Implantation du matériel Heure d'irrigation	<u>Spécifique à l'aspersion</u> Sol Culture Qualité de la ressource	
	Densité des points d'apports Débit des distributeurs Segmentation de la dose	<u>Spécifique au localisé</u> Sol Culture Qualité de l'eau	



# Bibliographie

1. Ambroise B, 1998 - La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant. Edition HGA -Bucarest. 206 p.
2. Ardepi (1992 a) - L'irrigation localisée en arboriculture. L'eau fertile Octobre 1992. Manosque (France)
3. Ardepi (1992 b) – Le goutte à goutte en cultures maraichères de pleins champs. L'eau fertile Octobre 1992. Manosque (France)
4. Augier P, Deumier JM, Guillard E, 1995 - Amélioration de l'aspersion et économie de l'eau. Ingénieries- *EAT* n°3, septembre 1995. p. 13 - p. 22
5. Banque Mondiale, 1991 - Formation en irrigation pour le secteur public. Institut de développement économique de la banque mondiale. Washington, Paris 68 p.
6. Baudequin D, 1996 - Irrigation. Une collaboration naissante entre l'ISO et le CEN ISO bulletin, vol.27, No 6, juin 1996
7. Bhatti M.A, 1984 - Bien maîtriser l'irrigation. Cab.fr- maïs, avr.1984, 2-23.
8. B.Molle, juin 1996 - Les stations de pompage individuelles pour l'irrigation – Coordinateur de l'édition ISBN 2- 85362-433-1. Dépôt légal : 2<sup>ème</sup> trimestre 1996. 103 p.
9. Calvet R, 1989 - Les transferts d'eau dans le système sol- plante- atmosphère. INRA
10. CEMAGREF, 1992 - Guide pratique 2<sup>ème</sup> édition - Edition Frans agricole. 249 p.
11. Clement R, 1966 - Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant à la demande La Houille Blanche N° 5, Août 1966. pp. 553-576
12. Clément Mathieu et al, 2007 - Bases techniques de l'irrigation par aspersion. Lavoisier 2007. 474 p.
13. Daniel Bergeron et Jacques Pain chaud, 2009 – Les systèmes d'irrigation : des investissements qui rapportent - Agriculture, Pêcheries et Alimentation - Québec - janvier 2009. 55 p.
14. Decroix M, 1990 - La micro-irrigation : une extension mondiale. *Irrigazette*, 1 septembre- octobre 1990.
15. DUCHAUFOR Ph., 1994 – Pédologie : sol, végétation, environnement. 3<sup>ème</sup> éd. HAL Open science. Paris ,324 p.

16. FAO, 1990 - Gestion des eaux en irrigation. Manuel de formation n° 5 Méthodes d'irrigation. 74 p.
17. FAO, 2008 - Manuel des techniques d'irrigation sous pression. 308 p.
18. Gérard TRON et al, 2013 - La tensiomètre pour piloter les irrigations. 2<sup>ème</sup> édition 2013. Educagri éditions. 239 p.
19. Hallaire M, 1988 - L'eau et le sol. *Tech. agric.* N° 1160. 19 p.
20. Jean-Robert Tiercelin et Alain Vidal, 2006 – Traité d'irrigation 2<sup>ème</sup> édition. Edition TEC et DOC Lavoisier. Paris. 1266 p
21. Lambert R., 1996 - Géographie du cycle de l'eau. P.U.M. Toulouse.
22. MESSAHEL Mekki, 1988 - L'irrigation au goutte à goutte (Régime d'irrigation). Office des Publications Universitaires- Alger. 338 p.
23. Michel Nicoulaud et al, 1988 - La maîtrise de l'irrigation sous pression. Numéro de catalogue : 288927.dépôt légal : 2<sup>ème</sup> semestre 1988. Les éditions Nathan Communication. Paris. 91 p.
24. MATHIEU Clément, AUDOYE Paul, CHOSSAT Jean-Claude, 2007 - Bases Techniques de l'irrigation par aspersion. Ed. Tech et Doc , Lavoisier. 470 p.
25. Nakayoma F.S. et Bucks D.A. (eds), 1986 Trickle Irrigation for Crop Production: Design, Operation and Management. Elsevier, New York. 393 p.
26. Ollier C et Poirée M. 1981 - Irrigation. Les réseaux d'irrigation : théorie, technique et économie des arrosages. Eyrolles, Paris 503 p.
27. PEYREMORTE P., ISBERIE C., 1988 - Contrôle de l'eau, conduite de l'irrigation. *Arbori.Fruit.*, n° 407, 35-44.
28. Pierre-Olivier M., 1994 - Modélisation, analyse et commande optimale LQR d'un canal d'irrigation – thèse de doctorat délivrée par l'ENGREF – Etudes : Equipements pour l'eau et l'environnement N°14 - CEMAGREF- division Irrigation.
29. Rebouh H., Deloye M., 1971 - Méthodes modernes des irrigations de surface et par aspersion. Maison Rustique. Paris
30. Tiercelin JR coord. 1998 - Traité d'irrigation Tec et Doc Lavoisier. Paris
31. Verdier J, 1999 – Sécurité alimentaire mondiale, l'irrigation sera de plus en plus lise à contribution. *Adour Garonne, Rev.de l'Agence de l'eau*, 77 : 3-7, Toulouse.
32. Villard A, Guillot CI, Ceyrat J-P, Guillerand C et Chrétien J, 1997- Secteur de références irrigation, légumes et irrigation en Saône-et- Loire, des références pour agir. Dossier technique, CA de Saône et Loire.