

**Institut National Agronomique d'El Harrach**  
**Département du Génie Rural**  
**Section Hydraulique Agricole**

**Cours d'irrigation**  
**3<sup>ème</sup> Année Tronc commun**

**M<sup>me</sup> Chekired-Bouras Fatma Zohra**  
**Chargée de cours**

B. 5515/A

## Sommaire

Introduction

I. Définition de l'irrigation

II. Buts de l'irrigation

### **Première partie: L'eau dans le système sol-plante-atmosphère**

#### **Chapitre I: L'eau et l'atmosphère**

I. L'évaporation: étude du phénomène physique

I.1. Définition

I.2. Les facteurs climatiques

I.2.1. L'humidité de l'air

I.2.2. Le rayonnement solaire

I.2.3. Le vent

Conclusion

II. Origine de l'énergie dans l'atmosphère

II.1. Le rayonnement solaire

II.2. Le bilan de l'énergie au niveau du sol

II.3. Le bilan radiatif ou rayonnement net

II.3.1. Définition du bilan radiatif

II.3.2. Expression du bilan radiatif

III. Le cycle de l'eau

#### **Chapitre II: L'eau et la plante**

I. Données de base

I.1. Rôle de l'eau

I.2. Quantité d'eau mise en jeu dans le développement végétal

I.2.1. Teneurs en eau des organes végétaux

I.2.2. Utilisation de l'eau

II. Quelques exemples de consommation

II.1. Devenir de l'eau d'irrigation

II.2. Productivité de l'eau en agriculture

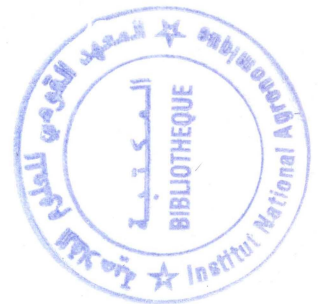
III. La transpiration et l'absorption

#### **Chapitre III: L'eau et le sol**

I. Généralités

I.1. La texture du sol

I.2. La structure du sol



## II. Le réservoir sol: Caractéristiques principales

### II.1. État de l'eau dans le sol

### II.2. Potentiel de l'eau

### II.3. Relation entre potentiel et teneurs en eau

### II.4. Les valeurs remarquables de l'humidité du sol

## III. Utilisation des réserves en eau du sol par les plantes

### III.1. La réserve utile maximum

### III.2. La réserve facilement utilisable

## **Deuxième partie: Bases de la pratique d'irrigation**

### **Chapitre I: Les bases fondamentales de l'irrigation**

#### I. Les mesures à prendre pour une meilleure économie d'eau

##### I.1. Pourquoi irriguer ?

##### I.2. Quelles sont les quantités d'eau nécessaire à l'irrigation

### **Chapitre II: Les besoins en eau des cultures**

#### I. Les différents concepts de l'évapotranspiration

##### I.1. Evapotranspiration (ET)

##### I.2. Evapotranspiration potentielle (ETP)

##### I.3. Evapotranspiration réelle (ETR)

##### I.4. Evapotranspiration maximale (ETM)

#### II. Le coefficient cultural ( $K_c$ )

#### III. La détermination des besoins en eau des cultures

##### III.1. Méthodes directe

###### III.1.1. Les cuves lysimétriques ou lysimètre

###### III.1.2. Le bac évaporant

###### III.1.3. Evapotranspiromètre Piche

##### III.2. Méthodes indirectes

##### III.3. Méthodes informatiques

### **Chapitre III: Les besoins en eau d'irrigation**

#### I. Le déficit pluviométrique

#### II. Le déficit agricole ou le déficit pédoclimatique

#### III. Notion de débit fictif continu

#### IV. Notion de débit caractéristique

#### V. Module d'arrosage

#### VI. Notion d'îlot d'irrigation

VII. Principes directeurs de calculs des doses et des fréquences d'arrosage

VII.1. Notion de doses d'arrosage

VII.1.1. Dose maximale

VII.1.2. Dose pratique

VII.1.3. La fréquence d'arrosage

VII.1.4. Le tour d'eau

## **Chapitre IV: Les techniques d'irrigation**

I. Généralités

II. Les systèmes d'irrigation

II.1. Les systèmes classiques

II.2. Les systèmes modernes

III. Irrigation par submersion ou inondation

III.1. Définition

III.2. Avantages et inconvénients

IV. Irrigation par ruissellement

IV.1. Définition

IV.2. Avantages et inconvénients

V. Irrigation par infiltration

V.1. Définition

V.2. Avantages et inconvénients

VI. Irrigation par aspersion

VI.1. Définition

VI.2. Avantages et inconvénients

VII. Irrigation localisée ou goutte à goutte

Définition

III.2. Avantages et inconvénients

## I. Définition de l'irrigation

L'irrigation consiste à apporter artificiellement une certaine quantité d'eau au niveau d'une culture afin de compenser le manque de pluies durant le cycle végétatif.

## II. Buts de l'irrigation

Augmenter les rendements;

Possibilité de réaliser la fertigation;

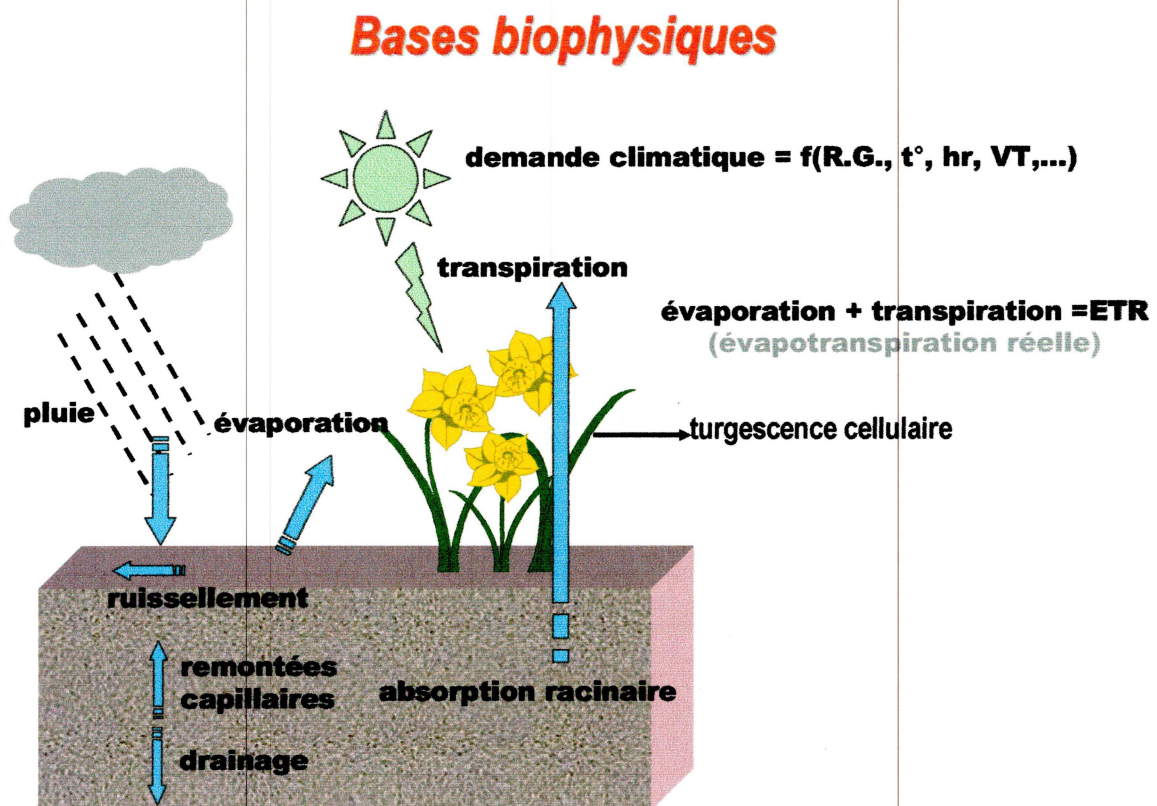
Lutte contre le risque du gel;

Préparer le sol pour les graines et les plantes;

Lessivage des sels;

Satisfaire les besoins en eau des plantes;

Enfin, le but principal est de compenser le déficit agricole d'une culture.



## **PREMIERE PARTIE : L'EAU DANS LE SYSTEME SOL – PLANTE – ATMOSPHERE**

Cette première partie a pour objet de montrer le rôle de l'eau dans la production végétale, à partir de la connaissance des relations entre l'eau, la plante et les milieux dans lequel celle-ci se développe (sol et atm).

### **Chapitre I : L'eau et l'atmosphère**

#### **I. L'évaporation : étude du phénomène physique**

##### **I.1. Définition**

L'évaporation représente le passage de l'état liquide à l'état de vapeur. C'est une transformation qui nécessite de l'énergie : à 0°C, un gramme d'eau liquide se transformant en vapeur absorbe 597 calorie.

La quantité d'eau évaporée pendant un temps donné dépend de plusieurs facteurs à l'état de l'atmosphère.

##### **I.2. Les facteurs climatiques de l'évaporation**

Le climat joue un rôle essentiel dans l'évaporation. Le pouvoir évaporant de l'air, qui représente la capacité de l'air de provoquer l'évaporation de l'eau contenue dans le sol, les feuilles, les êtres vivants, les rivières, ect, et d'emmagasiner une certaine quantité d'eau sous forme de vapeur. Ce pouvoir évaporant (demande d'évaporation) dépend de certains facteurs climatiques, en particulier :

###### **I.2.1. L'humidité de l'air**

Le pouvoir évaporant est d'autant plus grand que l'air est plus sec.

###### **I.2.2. La température de l'air**

En général, le pouvoir évaporant de l'air est d'autant plus fort que sa température est élevée.

### **I.2.3. Le rayonnement solaire**

C'est un facteur essentiel de l'évaporation, c'est en effet du soleil que proviennent, directement ou indirectement, les calories nécessaires à l'évaporation.

### **I.2.4. Le vent**

Le vent a généralement pour effet pour favoriser l'évaporation

**Conclusion :** L'estimation de l'évaporation est essentielle pour l'irrigation. C'est pourquoi de nombreux chercheurs ont proposé des formules de calcul de celle-ci à partir de la mesure de certains de ces paramètres.

## **II. Origine de l'énergie dans l'atmosphère**

Les quantités de chaleur utilisées par l'évaporation de l'eau à la surface de la terre ont pour origine directe le rayonnement du soleil.

### **II.1. Le rayonnement solaire**

A son entrée dans l'atmosphère l'énergie solaire a une valeur relativement constante pendant l'année. Ce rayonnement va se transformer en traversant l'atmosphère, couche gazeuse de 15 Km d'épaisseur environ. Schématiquement la radiation solaire se décompose ainsi :

- Une partie est absorbée par les couches qu'elles traverse et réchauffe, et qui à leur tour émettent de la chaleur vers le sol.
- Une partie atteint directement le sol : c'est le rayonnement direct.
- Une partie enfin diffuse dans toutes les directions, soit au-delà de l'atmosphère, soit vers le sol.

### **II.2. Bilan de l'énergie au niveau du sol**

Si l'on fait le bilan de l'énergie au niveau de toutes les surfaces évaporantes (la terre, les végétaux, les animaux, ect) on constate que la terre :

- Reçoit de l'énergie du soleil, soit directement, soit par l'intermédiaire de l'atmosphère.
- Renvoie vers celle-ci, sous forme de chaleur, une partie de l'énergie reçue.

La différence entre l'énergie reçue et l'énergie perdue est utilisée :

- Pour l'évaporation de l'eau.
- Dans les réactions chimiques comme photosynthèse.

## II.3. Le bilan radiatif ou rayonnement net

### II.3.1. Définition du bilan radiatif

C'est la résultante au niveau de la surface de la terre de l'ensemble des transferts d'énergies sous forme radiative. Il comprend :

1. Le rayonnement d'origine solaire.
2. Le rayonnement terrestre.
3. Le rayonnement atmosphérique.



### II.3.2. Expression du bilan radiatif

En comptant positivement les flux descendants et négativement les flux ascendants, l'expression du bilan radiatif ou rayonnement net est :

$$RN = (1-a) RG + RA - RT$$

Avec : RG est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

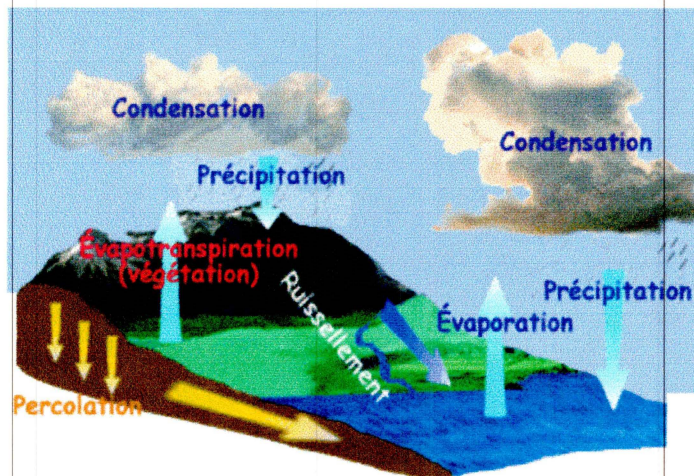
a : est l'albédo ce rayonnement est réfléchi par la surface de terre, il varie suivant la nature de la surface (Prairie, surface d'eau libre, sol nu, forêt, neige).

## III. Le cycle de l'eau

Entre l'atmosphère et la surface du sol, il y a un échange continu dans les deux sens :

- Sous forme de vapeur : c'est l'évaporation à partir de la terre, des végétaux, des lacs, des mers, ect...
- Sous formes liquide : se sont les précipitation ou pluies à partir des nuages (au quelles il faut ajouter la neige, la grêle, ect...).
- L'eau qui est libérée retourne au sol où elle est absorbée par la végétation ou ruisselle vers les rivières et les fleuves si elle n'est pas absorbée par le sol. L'eau peut également percoler (pénétrer lentement dans le sol) vers les couches les plus profondes pour alimenter la nappe phréatique et le système des fleuves et des rivières.





*Tout nouveau projet d'irrigation va augmenter les volumes d'eau évaporés par les végétaux et va donc modifier le cycle de l'eau.*

## Chapitre II : L'eau et la plante

Comme tout être vivant, la plante a besoin d'eau pour:

1. Germer;
2. Se développer;
3. et se reproduire.

### I. Données de base

#### I.1. Rôle de l'eau

L'eau est indispensable à la vie des organismes vivants comme à celle des cellules dont ils sont formés :

- L'eau fait partie de la structure cellulaire elle-même ;
- Elle permet la transformation des substances nutritives absorbées qui se passe toujours en milieu liquide ;
- Elle rentre directement dans certaines réactions exemple de la photosynthèse ;
- L'eau sert à transporter les aliments et les déchets, d'une part à l'intérieur de l'organisme (par exemple des tiges vers les feuilles), d'autres parts entre l'organisme et le milieu extérieur (par exemple du sol vers les racines). Chez les végétaux, ce transport est représenté par l'absorption et la transpiration ;
- Rôle de régulation thermique : Le mouvement ascendant de l'eau absorbée par la plante permet de maintenir celle ci à une température pratiquement toujours inférieures à la

température ambiante pendant les heures chaudes de la journée et souvent supérieures pendant les heures froides de la nuit ;

## **I.2. Quantité d'eau mise en jeu dans le développement végétal**

### **I.2.1. Teneurs en eau des organes végétaux**

Les teneurs en eau des tissus végétaux sont assez élevées : on peut retenir comme ordre de grandeur 80 à 90% de leur poids pour les organes en pleine activité.

Organes	Teneurs en eau en % du poids
Graines	10
Organes âgés (tronc d'arbre)	50
Feuilles de blé en herbe	75
Feuilles de maïs en pleine turgescence	90
Sommet des tiges	93
Jeunes racines	95
Fruit et tubercules	95

### **I.2.2. Utilisation de l'eau**

Les nombreuses fonctions assurées par l'eau font supposer que les volumes d'eau importants vont être utilisés pour assurer le développement végétal.

On estime généralement que la production d'un gramme de matière sèche exige une consommation variant entre 300 à 800 grammes d'eau, cette consommation est répartie de façon très inégale :

1. La plus grande partie de l'eau absorbée par les racines sert à assurer les besoins de transpiration et à transporter les minéraux puisés dans le sol ;
2. Une petite partie est stockée dans la plante ;
3. Une très faible partie est utilisée pour la croissance, la formation des fruits, de graines etc.

## **II. Quelques exemples de consommation**

Riz	3500 à 7000 m <sup>3</sup>
Coton	7000 à 13000 m <sup>3</sup>
Bananes	12000 à 22000 m <sup>3</sup>

Cannes à sucre

15000 à 25000 m<sup>3</sup>

Luzerne

350 à 900 litres d'eau par kg de foin sec

## **II.1. Devenir de l'eau d'irrigation**

La fraction de l'eau absorbée par la plante à deux destinations :

### **Eau de constitution**

Cette eau est stockée dans la plante jusqu'à son dessèchement naturel (maturation) ou artificielle. Cette eau représente 1 % de l'eau totale consommée par la plante durant son cycle végétatif.

### **Eau de végétation**

Cette eau est transitée vers les organes verts de la plante pour y être rejetée purement et simplement par transpiration après avoir accompli le cycle de la photosynthèse. Elle représente 99 % de l'eau totale consommée.

## **II.2. Productivité de l'eau en agriculture**

En agriculture, 1 m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation peut produire:

1. 12 kg de pomme de terre;
2. 10 kg de tomate;
3. 30 à 40 kg de pastèque;
4. 3 à 4 kg de fraise;
5. et seulement 0.5 à 1 kg de blé.

## **III. La transpiration et l'absorption**

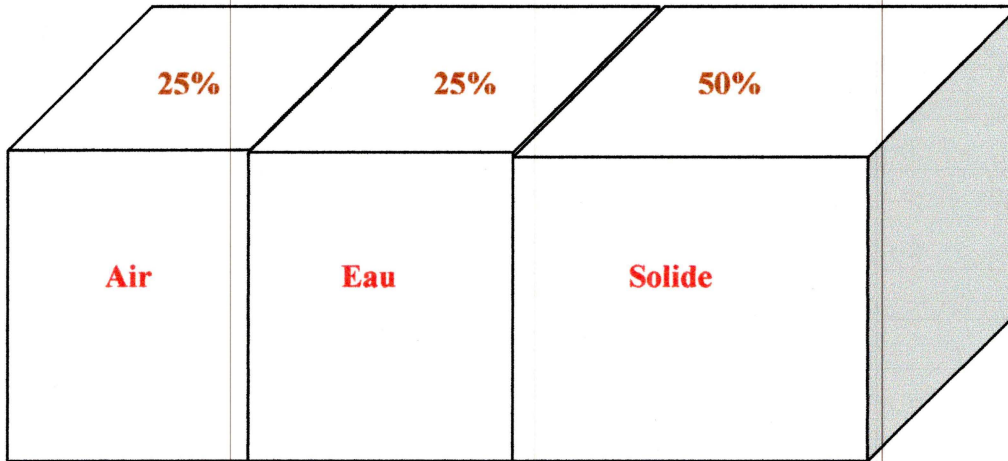
En ce qui concerne la circulation de l'eau, la plante peut être schématiquement assimilée à une pompe qui puise l'eau dans le sol (phénomène de l'absorption) et la rejette dans l'atmosphère sous forme de vapeur (phénomène de la transpiration).

## **Chapitre III : L'eau et le sol**

Le sol joue un rôle de support pour les plantes; Un réservoir pour l'eau; Ce sont les caractéristiques de ce réservoir et son mode de fonctionnement qu'il est utile de connaître dans un périmètre d'irrigation. La texture et la structure confèrent à chaque sol une propriété plus ou moins grande à retenir l'eau « Rétention de l'eau »

## I. Généralités

Le sol est un système à trois phases : Solide, liquide, gazeuse.



**Répartition des différentes phases dans un sol normalement ressuyé**

La phase solide constitue la charpente du sol. Elle est caractérisée par sa texture et sa structure.

### I.1. La texture du sol

Elle caractérise la nature, la taille et la distribution des particules solides qui le constituent.

**Tableau n° 1 : Classification des particules solides du sol en fonction de leur diamètre**

Particules	Argile	Limon	Sable	Sable G	Gravier	cailloux
Diamètre(mm)	2/1000	2/100	2/10	2	20	

### I.2. La structure du sol

Elle caractérise la façon dont sont associées les particules élémentaires solides ou agrégats.

C'est de la structure que découle directement des propriétés telles que la porosité.

On peut utiliser les définitions de base rassemblées dans le tableau suivant :

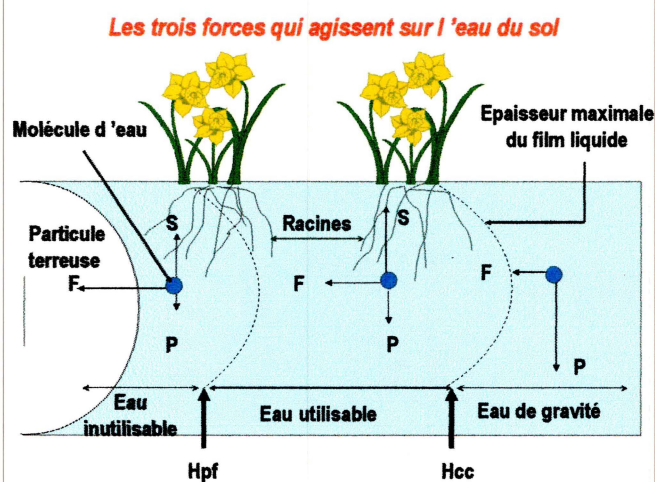
Terme	Symbole	Définition	Ordre de grandeur	observation
Densité réelle	Dr	$M_s / V_s$	Sol moyen : 2.6 à 2.7	
Densité apparente	Da	$M_s / V_t$	Variable avec texture : Sol sableux : 1.3 à 1.4 Sol limoneux : 1.2 à 2.5 Sol argileux : 1.1 à 1.3	Permet de calculer Hv à partir de Hp
Porosité	P	$V_v / V_t$ $= (V_e + V_a) \times 100 / V_t$	Sol argileux : 50 à 70 % Limoneux : 40 à 60 %	Exprime le volume maximum d'eau qu'un sol peut contenir
Humidité : Pondérale	Hp	$(M_e / M_s) \times 100$	$H_v = D_a \times H_p$	Déterminée par le labo
Volumique	Hv	$(V_e / V_t) \times 100$		Utilisée par l'irriguant

## II. Le réservoir sol : caractéristiques principales

### II.1. Etat de l'eau dans le sol

Les molécules d'eau sont soumises à trois forces:

1. La pesanteur P
2. L'attraction par les solides F
3. La succion par les racines S



L'eau de gravité ou de saturation s'écoule d'abord rapidement puis de plus en plus lentement. Cette eau occupe la macroporosité du sol, lorsque l'eau cesse de s'écouler la terre

ressuyée atteint son « Taux d'humidité à la capacité au champ » ou « capacité de rétention de l'eau ».

**L'eau utilisable par la plante** est celle qui retient le sol, la plante s'en nourrit mais à un moment donnée la plante semble souffrir de la sécheresse et se fane « le point de flétrissement » est atteint.

**L'eau inutilisable par la plante** cette eau est retenue par le sol avec tant d'énergie que la force de succion ne peut l'en extraire.

## II.2. Potentiel de l'eau

Le potentiel exprime l'intensité des forces qui retiennent l'eau dans le sol (en atmosphère) et, par conséquent, l'importance du travail qu'il faudra fournir pour extraire cette eau. On retiendra en particulier que :

1. Plus le sol est humide, plus le potentiel de l'eau est faibles, plus l'eau est mobile ;
2. Au fur est à mesure que le sol se dessèche, les forces de rétention du sol et le potentiel de l'eau augmente.

## II.3. Relation entre potentiel et teneur en eau

Ce graphe représente deux courbes « humidité - potentiel » concernant l'une un sol argileux, et l'autre sableux. L'examen et la comparaison de ces courbes permettent de tirer quelques conclusions pratiques.

1. L'humidité maximum d'un sol dépend de sa nature : pour un même volume de terre, un sol argileux peut retenir plus d'eau qu'un sol sableux. Sur la figure, on remarque par exemple que ces humidités maxima sont de 50 % pour le sol argileux et de 37 % seulement pour le sol sableux.
2. Dans tous les cas, plus l'humidité augmente, plus le potentiel de l'eau diminue, plus celle -ci est facilement absorbable par les racines.
3. Deux sols de nature différente, ayant la même humidité, n'offrent pas aux plantes les mêmes possibilités d'absorption. Sur la figure 3, on constate par exemple que, pour une même humidité de 30 %, l'eau est à un potentiel de 7 atmosphères dans le sol argileux (point A) et à moins de 2 atmosphères dans le sol sableux (point B). Autrement dit, pour une même humidité, l'eau sera d'autant plus disponible pour les plantes que le sol contient beaucoup d'éléments grossiers (sable) et peu d'éléments fins (argiles, limons).

4. A un volume égal, un sol sableux stocke moins d'eau qu'un sol argileux mais il cède celle – ci plus facilement.

**Conclusion :** L'examen des courbes « humidité – potentiel » permet de mieux comprendre le comportement du sol vis-à-vis de l'eau, et de déterminer en particulier les humidités entre lesquelles on a intérêt à maintenir le sol pour que la plante soit dans les meilleures conditions d'absorption.

#### **II.4. Les valeurs remarquables de l'humidité du sol**

**Humidité à la saturation:** C'est l'humidité du sol lorsque l'eau occupe toute la porosité.

**Humidité à la capacité de rétention (Hcr) ou l'humidité à la capacité au champ (Hcc):** C'est l'humidité d'un sol ressuyé c'est à dire après disparition de l'eau de gravité, cette humidité et en quelques sorte la limite supérieure de l'eau utile.

Dans la pratique Hcc est mesurée au laboratoire sur des échantillons du sol, on obtient ainsi une mesure équivalente à la capacité au champ appelée humidité équivalente notée **He = Hcc**.

**Humidité critique (Hc):** C'est l'humidité du sol en dessous de la quelle la plante commence à souffrir d'un déficit hydrique.

**Humidité au point de flétrissement (Hpf):** C'est l'humidité au dessous de la quelle la plante subit des dommages irréversibles à causes de la sécheresse, elle représente la teneur en eau du sol en dessous de laquelle l'absorption de l'eau par la racine est bloquée ce qui entraîne le flétrissement. Cette humidité représente la limite inférieure de l'eau utilisable par les végétaux.

$$\mathbf{H_{pf} = H_e / 1,84}$$

La quantité d'eau maximale disponible dans le sol pour la plante dépend:

1. Des caractéristiques hydrodynamiques du sol (Hcc et Hpf);
2. De la profondeur du sol (Z) exploitée par la plante (la profondeur d'enracinement).

### **III. L'utilisation des réserves en eau du sol par les plantes**

#### **III.1. La réserve utile maximum**

Elle représente le volume d'eau compris entre l'humidité à la capacité de rétention et celle au point de flétrissement on la définit par la formule suivante:

$$\mathbf{RU = (\theta_{vcr} - \theta_{vp}) \times Z_r}$$

### III.2. La réserve facilement utilisable

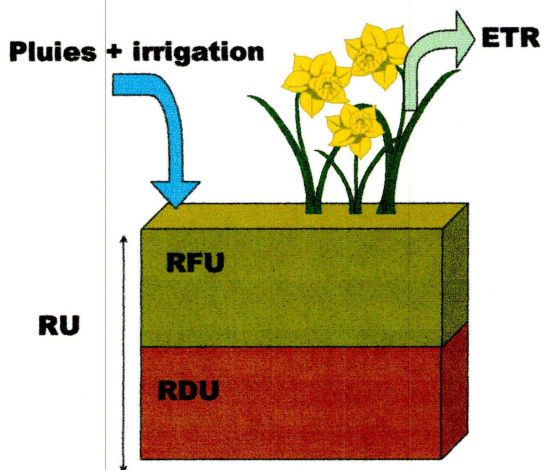
Elle est définie comme étant la quantité d'eau de la  $RU_{max}$  que les plantes peuvent absorber sans effort particulier, on peut l'écrire:

$$RFU = \alpha RU \quad \text{avec} \quad 0.5 \leq \alpha \leq 1$$

$\alpha = 1/2$  sol argileux

$\alpha = 2/3$  sol sableux

### Réserve utile et réserve facilement utilisable





## **DEUXIEME PARTIE : BASES DE LA PRATIQUE DE L'IRRIGATION**

La première partie avait pour objet de montrer le rôle de l'eau dans la production végétale, à partir de la connaissance des relations entre l'eau, la plante et les milieux dans lequel celle-ci se développe (sol et atm).

Dans cette seconde partie, on s'attachera donc à définir les bases d'une irrigation bien conduite, de façon à satisfaire les besoins des cultures au **bon moment** et avec les volumes d'eau **strictement nécessaire**

### **Chapitre I: Les bases fondamentales de l'irrigation**

#### **I. Les mesures à prendre pour une meilleure économie d'eau**

Il s'agira de faire une bonne irrigation :

Techniquement, une bonne irrigation est avant tout une irrigation uniforme (c'est à dire que la quantité d'eau apportée au niveau d'une parcelle doit être identique d'un point à un autre);

Du point de vue pratique, une bonne irrigation est celle qui est faite sur la base « des principes fondamentaux de l'irrigation »

1. Pourquoi irriguer;
2. Quelles sont les quantités d'eau nécessaires à l'irrigation;
3. Quand faudra t-il irriguer;
4. Combien de fois faudra t-il irriguer;
5. Comment irriguer;

#### **I.1. Pourquoi irriguer ?**

Pour avoir une bonne production ou un bon rendement; Dans la pratique, l'irrigation peut être envisagée pour plusieurs raisons autres que celle d'améliorer les rendements, elle peut se faire pour les raisons suivantes:

1- Lutter contre les stress abiotiques

2- La pratique de la pré irrigation :

Sert à préparer la campagne agricole et la mise en place des cultures dans de bonnes conditions en cas de semis durant les mois les moins pluvieux.

3- Lutte contre les gelées :

En cas de risque de gèle, une irrigation peut éviter les dégâts causés par le gèle par un maintien d'une certaine température (eau irrigation chaude).

4- Irrigation de lessivage des sels :

L'irrigation doit être envisagée à chaque fois qu'il y a risque d'accumulation des sels totaux qui risquent d'atteindre des taux nocifs pour les cultures pratiquées.

## **I.2. Quelles sont les quantités d'eau nécessaire à l'irrigation?**

1. Les besoins en eau des plantes (BC);
2. Les besoins en eau d'irrigation (BI).

## **Chapitre II : Détermination des besoins en eau des cultures**

L'intensité d'évapotranspiration d'une culture qui se trouve dans un milieu donné dépend d'un ensemble de facteurs:

1. Facteurs physiques liés au milieu: ces facteurs sont essentiellement liés au climat dans lequel se trouve la culture (Température, hygrométrie de l'air, l'insolation, la vitesse du vent).
2. Facteurs biologiques liés à la plante: Ils sont très nombreux nous citons les plus importants ( Les caractéristiques intrinsèques de la plante elle même, sa surface foliaire LAI, l'âge de la plante PP).

### **II.1. Les différents concepts de l'évapotranspiration**

1. Evapotranspiration (ET)
2. Evapotranspiration potentielle (ETP)
3. Evapotranspiration réelle (ETR)
4. Evapotranspiration maximale (ETM)

#### **II.1.1. Evapotranspiration (ET)**

Passage de l'eau de l'état liquide à l'état de vapeur à partir des surfaces du sol ou des nappes d'eau, ou à la suite d'un transit à travers le végétal.

### **II.1.2.Évapotranspiration potentielle (ETP)**

C'est la quantité d'eau évapotranspirée par un couvert végétal bas, continu et homogène, dont l'alimentation en eau n'est pas limitante et qui n'est pas soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique.

L'ETP peut être estimée

1. Soit par la mesure de consommation d'eau maximum d'un couvert végétal de référence ;
2. Soit par l'utilisation de nombreuses formules climatiques dont certaines sont:
  - ❖ empiriques (Thorthwaite, Blannet-Criddle, Turc)
  - ❖ et d'autres sont basées sur le bilan d'énergie (Penman, Piche corrigé, Brochet-Gerbier) ;

### **II.1.3.Évapotranspiration réelle (ETR)**

C'est la consommation d'eau d'un couvert végétal soumis à des restrictions dans son alimentation au sens large du terme (condition réelles).

$$ETR \leq ETM$$

### **II.1.4.Évapotranspiration maximale (ETM)**

C'est la quantité d'eau maximale évapotranspirée par une culture donnée conduite sans restriction hydrique, à un stade végétatif donné et dans des conditions climatiques données.

$$ETM = Kc \times ETP$$

### **II.2. Le coefficient cultural (Kc)**

On appelle coefficient cultural le rapport entre l'évapotranspiration maximale d'une culture (ETM) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) de la zone dans laquelle se trouve la culture en question. Dans la pratique le Kc intègre tout un ensemble de facteurs:

1. La culture;
2. Le stade de développement;
3. L'endroit géographique;
4. Mode de culture (plein champ, sous serre, densité de semis, régime hydrique ect...).

### II.3. La détermination des besoins en eau des cultures

Les besoins en eau des cultures peuvent être déterminés soit:

1. Directement par évapotranspiromètre (cuve lysimétrique, bac class A, Piche)
2. Indirectement par l'utilisation des formules utilisant le bilan d'énergie ou des formules empiriques utilisant les données climatiques de la zone à irriguer.

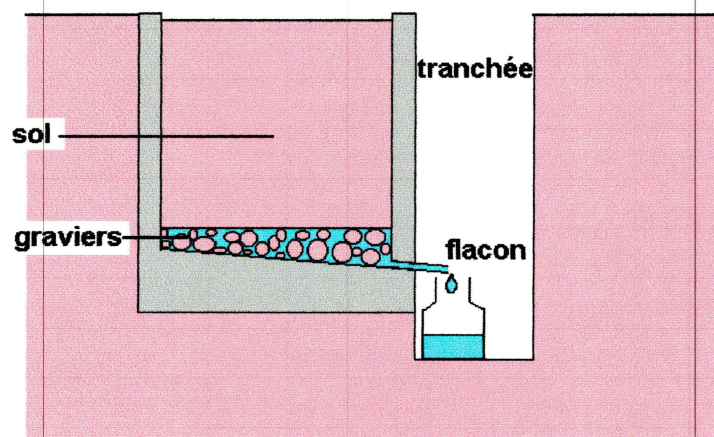
#### II.3.1. Méthodes directes

##### II.3.1.1. Les cuves lysimétriques ou lysimètre

Comme son nom l'indique, l'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration d'un couvert végétal. Le principe est simple, on mesure régulièrement (tous les jours) les apports d'eau en provenance de la pluie ou de l'irrigation, et les pertes d'eau en profondeur.

La différence entre les deux valeurs représente le volume d'eau perdu par évapotranspiration à partir du sol et des plantes installés dans la cuve.

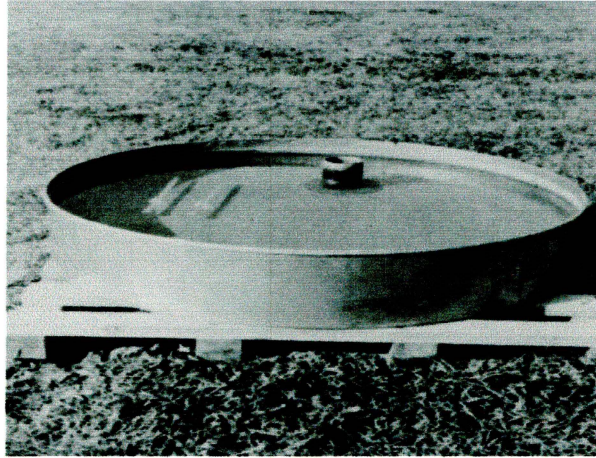
$$ET = P + I - Dr$$



##### II.3.1.2. Le bac évaporant

Cet appareil très simple, permet de mesurer l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP

$$ETP = K_{bac} \times E_{bac}$$



### II.3.1.3. Evapotranspiromètre Piche

Il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard. La tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lit directement sur les graduations du tube.

### II.3.2. Méthodes indirectes

Plusieurs formules peuvent être utilisées, parmi les plus importantes nous pouvons citer:

#### Formule utilisant le bilan d'énergie Penman-Monteith

$$ETP_{(MJ/m^2/j)} = \frac{\Delta (RN - S) + 86,4 \frac{\rho C_p (E - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

1.  $Q_h$  = flux de chaleur sensible vers l'atmosphère
2.  $\gamma$  = cte psychrométrique
3.  $Q_e$  = flux de chaleur latente vers l'atmosphère
4.  $f$  = coef d'échange turbulent  $u$  = vitesse du vent
5.  $S$  = flux de chaleur dans le sol
6.  $T_a$  = température de l'air
7.  $T_s$  = température de la surface
8.  $e$  : tension de vapeur d'eau de l'air
9.  $\rho$  : densité de l'air (kg/m<sup>3</sup>) et  $S$  : MJ/m<sup>2</sup>/j
10.  $\gamma$  : kPa/°C

11. Cp :Chaleur spécifique =1,013 kJ/kg/°C

12. rs: rugosité de surface de la culture (s/m)

13. Ra : résistance aérodynamique (s/m)

### Penman simplifiée

$$ETP_{(mm/j)} = \frac{0,408\Delta(RN - S) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (E - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

### Calcul de l'ETP par formules empiriques

#### 1. Brochet et Gerbier

$$ETP = m Rg + \gamma f(u)(E - ea)$$

m : coefficient dépendant du lieu et de la période de l'année

#### 2. Approximation de Bouchet

$$0,0065 Rg \leq ETP \leq 0,013 Rg$$

Rg en cal/cm<sup>2</sup>

#### 3. Turc

$$ETP = C \frac{t}{t+15} (Rg + 50) \left(1 + \frac{50 - HR}{70}\right)$$

t : température moyenne de l'air

HR : Hum. Relative (si HR < 50%)

C=0,13 pour estimation décadaire

C=0,40 pour estimation mensuelle

### II.3.3.Méthodes informatiques

Les méthodes informatiques sont dérivées des méthodes empiriques, Ces formules sont programmées après simplification, parmi les logiciels les plus connus nous pouvons citer:

1. CROPWAT;
2. IRSIS.

Les méthodes informatiques calculent:

1. Les besoins en eau des cultures;
2. Etablir un calendrier de irrigation ou pilotage des irrigations.

L'utilisation des logiciels pour le calcul des besoins en eau nécessite une base de données telle que:

1. La température;
2. L'hygrométrie de l'air;
3. Durée d'insolation;
4. Vitesse du vent.

Sur la base du calcul des besoins en eau, le logiciel permet d'élaborer un calendrier des irrigations appelé encore pilotage des irrigations, utilisant les données suivantes:

1. Pluies utiles;
2. Nature de la culture ( $K_c$ );
3. Nature du sol.

### **Chapitre III: Les besoins en eau d'irrigation**

Les besoins en eau d'irrigation au niveau d'une région ou au niveau d'un champ de culture représente le volume et la fréquence des applications d'eau nécessaire pour compenser les déficits en eau du sol pendant la saison végétative des cultures

On distingue généralement

**III.1. Le déficit pluviométrique ( $D_p$ )** qui est un déficit climatique, il est donné par la relation suivante:

$$D_p = ETP - P$$

P: les précipitations.

#### **III.2. Le déficit agricole ou le déficit pédoclimatique**

( $D_a$ ) qui est donné par la relation suivante:

$$D_a = ETP - (P + K R_{FU} + A_{ph})$$

avec:  $K R_{FU}$  est la réserve d'eau constituée dans le sol ( $K \leq 1$ ).

$A_{ph}$  sont les apports phréatiques ( $A_{ph} = 0$ ).

Remarque:  $D_p$  et  $D_a$  s'expriment généralement par mm/mois, mm/décade, mm/an

#### **III.3. Notion de débit fictif continu**

Le débit fictif continu représente le débit nécessaire pour assurer une irrigation 24 heures sur 24 heures pendant le mois considéré

$$q = \frac{Da}{J \times 24 \times 3600}$$

Avec:

q est le débit fictif continu en l/s/ha

J est le nombre de jours du mois considéré

#### III.4. Notion de débit caractéristique

C'est le débit fictif le plus élevé des débits fictifs continus de l'année et qui correspond généralement au mois de pointe (juillet) en Algérie.

$$q_c = \frac{q}{\zeta_t \zeta_c}$$

Avec :

$\zeta_t$  : rendement d'utilisation dans la temps

$\zeta_c$ : rendement d'utilisation dans le champs

#### III.5. Module d'arrosage (m)

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

Ce débit impose un écoulement sur la parcelle durant un temps qui est assez court et permet d'arroser successivement plusieurs parcelles, m est fonction:

1. De la nature du sol et la topographie de la parcelle;
2. Du type d'irrigation.

$$15 \text{ l/s} \leq m \leq 100 \text{ l/s}$$

#### III.6. Notion d flot d'irrigation ou quartier d'irrigation

C'est la superficie susceptible d'être arrosée avec un module d'arrosage pour les périodes de pointe.

$$S_m = \frac{m}{q} \eta t$$

Avec :

$\eta t$  : Le rendement d'utilisation du réseau dans le temps. 16 h/ 24 h ou 18 h/ 24 h



### **III.7. Principes directeurs de calculs des doses et des fréquences d'arrosage**

#### **III.7.1. Notion de dose d'arrosage**

C'est la quantité d'eau retenue par un sol après irrigation.

##### **III.7.1.1. La dose maximale**

C'est la quantité d'eau qu'il faut apporter à un sol durant chaque irrigation pour reconstituer le réservoir sol sans qu'il y ait perte par percolation profonde ou par ruissellement de surface.

$$D_m = RU = (\theta_{vcr} - \theta_{vp}) \times Z_r$$

##### **III.7.1.2. La dose pratique**

Elle est donnée par la formule suivante:

$$D_p = RFU = \alpha RU$$

#### **III.7.2. La fréquence d'arrosage (N)**

C'est le nombre d'arrosage par mois, elle est égale au rapport entre l'ETP du mois (besoin de la culture) considéré et la dose pratique.

$$N = \frac{ETP_{\text{mois}}}{D_p}$$

#### **III.7.3. Le tour d'eau (T)**

C'est le nombre de jours qui séparent deux irrigations. (T doit être un nombre entier).

$$T = \text{nombre de jours du mois} / N$$

## **Chapitre IV: Les techniques d'irrigation**

### **Comment irriguer ?**

#### **IV.1. Généralités**

Par cette question, on vise la détermination de la technique avec laquelle on doit transporter et distribuer l'eau d'irrigation au niveau de la parcelle. Le choix d'une technique d'irrigation dépend de plusieurs facteurs:

1. D'ordre naturel: La pente du terrain, la perméabilité du terrain, la forme du terrain;
2. D'ordre technique: type de culture, système de captage d'eau, l'état du réseau d'irrigation;
3. D'ordre économique: Certains systèmes d'irrigation sont relativement chers par rapport à d'autres;

4. Selon la rentabilité de la culture;
5. La qualité de l'eau d'irrigation;

#### **IV.2. Les systèmes d'irrigation**

Cinq systèmes d'irrigation peuvent être utilisés. Ces cinq systèmes d'irrigation se subdivisent en deux grands groupes appelés:

1. Systèmes classiques ou gravitaires
2. Systèmes modernes ou sous pression

##### **IV.2.1. Les systèmes classiques**

1. Irrigation par submersion ou inondation;
2. Irrigation par ruissellement ou par déversement;
3. Irrigation par infiltration.

##### **IV.2.2. Les systèmes modernes**

1. Irrigation par aspersion;
2. Irrigation localisée ou micro aspersion (goutte à goutte).

#### **IV.3. Irrigation par submersion ou inondation**

##### **IV.3.1. Définition**

Consiste à submerger une surface du sol aménagé en bassin et à y laisser la totalité de l'eau « s'infiltrer tout en stagnant ». Les cultures qui s'adaptent sont: le riz et certaines plantes aquatiques.

##### **IV.3.2. Avantages et inconvénients**

1. Son principal avantage est que les frais de premier établissement et d'entretien sont faibles;
2. Elle nécessite peu de surveillance;
3. Protège les cultures contre les gelées matinales.
4. Tassement du sol;
5. Destruction de la structure par une diminution de la porosité;
6. Système à éviter dans les sols imperméables;
7. Nécessite des quantités importantes d'eau.

#### **IV.4. Irrigation par ruissellement ou déversement**

##### **IV.4.1. Définition**

Consiste à faire circuler une lame d'eau sur toute la surface à irriguer de manière à ce que l'eau s'infilte pendant tout le temps de ruissellement dans la planche d'arrosage. « L'eau s'infilte durant le ruissellement ». Toutes les cultures s'adaptent à l'irrigation par ruissellement puis que la lame d'eau ne dépasse pas les quelques centimètres.

##### **IV.4.2. Avantages et inconvénients**

1. L'aménagement du sol ne comporte aucun terrassement important.
2. Ne donne pas de bon résultat sur les sols plats.



#### **IV.5. Irrigation par infiltration**

##### **IV.5.1. Définition**

C'est le système le plus utilisé en Algérie, dans ce cas l'eau ne ruisselle pas, elle stagne en s'infiltrant latéralement afin d'humecter la surface qui se trouve entre deux sillons. Cette technique représente 90 % des surfaces irriguées en Algérie.

##### **IV.5.2. Avantages et inconvénients**

1. Frais réduit d'aménagement du sol;
2. Terrains accessibles en tout temps pour les travaux;
3. Sol sans tassement important;
4. La partie aérienne n'étant pas mouillée, ce qui évite certaines maladies ;
5. La lenteur de l'arrosage;
6. Besoins important en main d'œuvre;
7. Les pertes par infiltration profonde importante particulièrement dans les sols légers ou en pente.

#### **IV.6. Irrigation par aspersion**

##### **IV.6.1. Définition**

C'est une technique qui consiste à apporter l'eau d'irrigation sous forme de pluies. Elle se caractérise par :

1. Une pression de service;
2. La portée de jet;
3. La pluviométrie horaire ou densité d'aspersion;

4. Le débit horaire d'aspersion

#### **IV.6.2. Avantages et inconvénients**

1. C'est une technique qui ne nécessite aucun aménagement préalable;
2. L'absence de raies et de digues rend facile la pénétration des machines agricoles;
3. Systèmes qui réalise d'importance économie d'eau comparée au système gravitaire.
4. Frais de première installation assez important;
5. Provoque l'évaporation en cas d excès de vent  $> 5$  m/s;
6. Elle provoque le développement des mauvaises herbes;
7. Tassement du sol important (coûte de battance);
8. A éviter en cas d'utilisation d'eau salée ou trop chargée.

#### **IV.7. Irrigation localisée ou goutte à goutte**

##### **IV.7.1. Définition**

C'est une technique qui consiste à ramener l'eau sous forme de goutte, de jet, de micro jet, à des endroits et des profondeurs biens précis.

Ce système permet une économie relativement élevée par fois jusqu'à 50 % de l'irrigation traditionnelle. Toutes les cultures peuvent être irriguées par un système localisé.

##### **IV.7.2. Avantages et inconvénients**

1. Exploitation plus facile;
2. Meilleures réaction des cultures;
3. Un minimum de main d'œuvre à utiliser surtout pour les réseaux automatisés;
4. Maîtrise de l'eau et des engrais;
5. Economie d'eau;
6. Système qui s'adapte à toutes les natures du sol (lourd, léger, moyen) ;
7. S'adapte à toutes les pentes ;
8. Prix du réseau;
9. Colmatage des goutteurs;
10. Les risques d'accumulation des sels.