

Chapitre II : Les besoins en eau

II.1 Les données de base de l'irrigation

II.1.1 Les données climatiques

Les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture. Celles consistent surtout en la détermination de l'évapotranspiration (ET en mm) dans le système sol – plante.

II.1.2 Les données pédologiques

Lorsque les besoins en eau des cultures tout au long de leur phase de croissance sont connus, il reste à estimer les quantités d'eau d'irrigation à fournir au niveau de la parcelle. Pour ce faire, il est nécessaire d'en connaître les données pédologiques. Celles-ci permettront de déterminer la capacité de stockage de l'eau dans le sol et par-là même de déterminer la dose d'irrigation à appliquer selon une fréquence définie par l'agriculteur de façon à couvrir les besoins en eau des cultures.

II.1.3 Les données culturales

Du fait que les besoins en eau varient suivant les exigences ou non des cultures de part leur physiologie, les données culturales préciseront aussi la réserve en eau facilement utilisable par ces dernières. Compte tenu du type de sol aussi, on définit pour chaque et en fonction du cycle végétatif de la plante, un coefficient cultural k_c .

II.2 Définition des besoins en eau

C'est la quantité d'eau qu'elle besoin une culture donnée durant son cycle végétatif. La détermination de ce paramètre fondamentale pour une culture irriguée et productive, exige d'abords, la connaissance et quantification de ses besoins hydriques sans savoir ce qu'il y a dans la réserve hydrique du sol. C'est les besoins en eau des cultures (en m^3/ha ou en mm).

II.3 Pourquoi déterminer les besoins en eau des cultures ?

Connaître la valeur des besoins en eau des cultures est à la base de :

- **Conception des réseaux d'irrigation** (calcul du débit de dimensionnement des ouvrages),
- **Gestion des réseaux d'irrigation** : prévision à court terme (programmation des apports

d'eau),

- **Planification de l'utilisation des ressources hydrauliques** : volume d'eau nécessaire pour l'irrigation, surfaces irrigables au vu des ressources, etc.

II.4 Les besoins en eaux des cultures

Les plantes consomment de l'eau qu'elles rejettent dans l'atmosphère par évaporation. L'énergie solaire est à l'origine d'une demande climatique potentielle en eau ou évapotranspiration potentielle (ETP exprimé en mm).

II.4.1 Evapotranspiration (ET)

Quantité d'eau transférée du sol vers l'atmosphère par évaporation et transpiration des plantes. Elle est exprimée en hauteur moyenne évaporée sur la surface considérée pendant une durée définie.

Sur un sol présentant une couverture végétale, même partielle, les échanges par transpiration sont quantitativement plus importants que les échanges par évaporation directe.

l'évapotranspiration (*ET*), est affectée par :

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

II.4.2 Processus de transfert d'eau dans le végétal

- **Absorption** par les racines.
- **Circulation** sous forme liquide dans le système vasculaire des racines, du tronc, des branches, des feuilles.
- **Transpiration** par les pores stomates des feuilles (= 90% de la transpiration totale).

La transpiration est un produit direct de la photosynthèse, qui dépend du rayonnement solaire. Elle régule aussi la T°C de la plante (en s'évaporant l'eau emporte une

partie de la chaleur de la plante). La transpiration est influencée par :

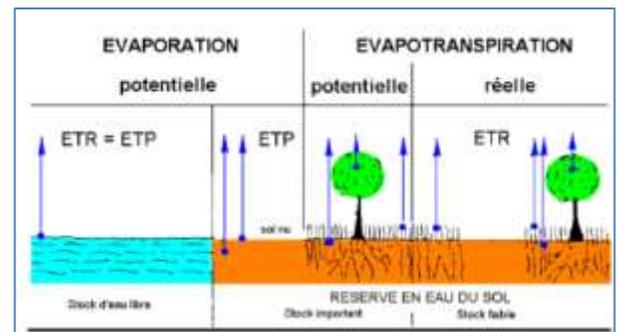
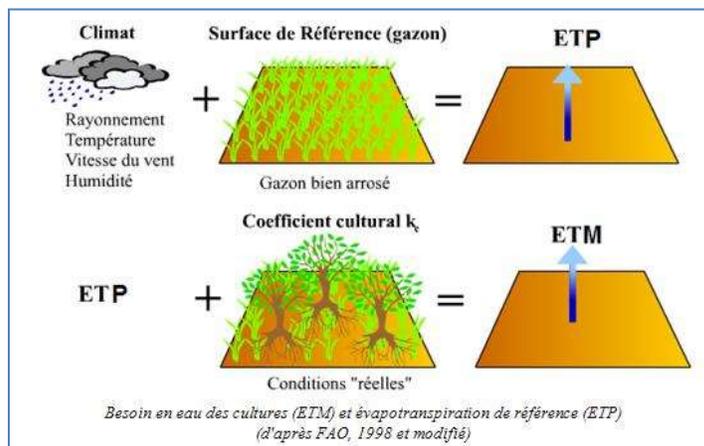
- *Facteurs climatiques
- *Nature, âge et développement du feuillage de la plante
- *Humidité du sol.

II.4.3 Notions d'évapotranspiration potentielle, maximale et réelle

- **L'évapotranspiration potentielle ETP**: est la quantité d'eau susceptible d'être évaporée d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau et dont le couvert végétal est réparti régulièrement en pleine période de croissance. Elle est dite aussi évapotranspiration de référence (ET_o).
- **L'évapotranspiration maximale ETM** : elle est fonction du stade végétatif de la culture, lorsque l'eau est en quantité suffisante et que les conditions agronomiques sont optimales (sol fertile,...).

$$ETM = ETP \times K_c$$

- **L'évapotranspiration réelle ETR** : est la quantité d'eau réellement évaporée du sol et transpirée par le couvert compte tenu de l'eau disponible.



II.4.4 Les méthodes de détermination de l'ET

L'ETP est déterminé expérimentalement (Bacs, évaporomètres,...) ou empiriquement par des formules empiriques sur la base de données climatiques nécessaires (formules de Penmann, TURC, Blany-Criddle,...).

II.4.4.1 Formules empiriques de calcul de l'ETP

Plusieurs formules permettent de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP à partir des mesures climatologiques.

a- Formule de Turc

Elle dérive de la simplification de la formule de Penman dont son expression est la suivante :

$$ETP = 0,4 \cdot \frac{t}{t+15} \cdot (I_g + 50) \cdot k$$

Avec :

ETP : L'évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

I_g : radiation globale moyenne mensuelle reçue au sol (cal/cm²/j).

k : coefficient en fonction de l'humidité relative h_r Si $h_r \geq 50\%$ alors $k=1$

$$h_r < 50\% \text{ (généralement sous nos climat)} \quad k = 1 + \frac{50-h_r}{70}$$

b- Formule de THRONTHWAITE

Elle s'écrit sous l'expression suivante :

$$ETP = 16 \cdot \left(10 \cdot \frac{t}{I}\right)^a \cdot F(\lambda)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514},$$

$$a = 0,49 + (1,79 \times 10^{-2}) \cdot I - (7,71 \times 10^{-5}) \cdot I^2 + (6,75 \times 10^{-7}) \cdot I^3$$

Avec :

ETP : L'évapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

i : indice thermique mensuel.

I : indice thermique annuel.

a : fonction complexe de l'indice I

$F(\lambda)$: Facteur correctif qui est fonction de la latitude du lieu et du mois considérés (ci-joint le tableau des valeurs de $F(\lambda)$).

c- Formule de Penman

Elle est la plus complète et la plus complexe, est basée sur la notion du bilan énergétique dont son expression est comme suite :

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{cste}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

$$\Delta = \frac{4098 e_{sat}(T)}{(T+237,3)^2}, \gamma = 0,665 \cdot 10^{-3}, P = 101,3 \cdot \left(\frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$

$$e_{sat}(T) = 0,6108 e^{\frac{17,27 T}{T+237,3}}$$

Avec :

ET_o : évapotranspiration de référence (mm/j).

R_n : rayonnement global en MJ/m²/j

G : flux de chaleur dans le sol par conduction en MJ/m²/j.

Δ et γ : constante en Kpa/°c

Cste= 900 pour un pas de temps journalier et 37 pour un pas de temps horaire.

T : température en °c

P : pression atmosphérique en Kpa.

z : l'altitude par rapport la mer (m)

e_s = e_{sat} : la pression de vapeur saturante (kpa).

e_a : pression de vapeur actuelle en Kpa e_a= humidité relative.e_s /100

u₂ : vitesse du vent à 2m du sol en (m/s)

Ayant la vitesse du vent à 10m du sol nous utiliserons la formule suivante, avec z l'altitude à laquelle la vitesse est mesurée (ici 10 mètres).

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)}$$

II.4.4.2 Bac d'évaporation

Une autre méthode, plus simple, consiste à estimer directement le taux d'évaporation par le bac évaporatoire. le plus couramment utilisé est le bac de classe A. Il s'agit d'un récipient circulaire, d'un diamètre de 121 cm et d'une profondeur de 25,5 cm, placé sur un cadre de bois posé sur le sol. Le bac est rempli d'eau jusqu'à environ 5 cm du bord.

Le problème est de traduire l'évaporation du bac en une estimation de l'ETP de la plante cultivée, une surface recouverte de végétation diffère d'une surface d'eau libre, à bien des points de vue: pouvoir réfléchissant, propriétés thermiques (accumulation thermique),

fluctuation des températures entre la nuit et le jour, coefficient de transmission de l'eau et rugosité aérodynamique du couvert végétal, dont on déduira les besoins d'irrigation effectifs.

1^{ère} étape : on applique un coefficient de correction pour tenir compte du fait que l'eau libre a généralement un pouvoir d'évaporation plus grand. D'après de nombreuses expériences, le coefficient de correction approprié varie entre 0,5 et 0,85.

$$ETP_{\text{couvert total}} = 0,66 E_{\text{bac}} \dots\dots\dots(1)$$

2^{ème} étape : il faut prendre en compte le stade de croissance de la plante, attesté par la fraction de sol qu'elle recouvre. Il peut être estimé à partir d'observations de la surface ombragée par la culture. Etant donné que l'évapotranspiration potentielle est fonction de la surface couverte par la culture, mais ne lui est pas simplement proportionnelle, il est proposé d'utiliser la relation empirique suivante:

$$ETP_{\text{couvert partiel}} = 0,33 (1 + C) E_{\text{bac}} \dots\dots\dots(2)$$

où C est la fraction de sol couverte par la plante, qui varie de 0 (quand la culture vient d'être semée ou plantée) à 1 (quand la parcelle cultivée est complètement couverte). Dans le dernier cas, l'équation (2) devient l'équation (1).

Dans de telles conditions, une culture annuelle donnée a, en fonction de son stade de développement et en l'absence de facteurs limitants, une évapotranspiration maximale (ETM exprimé en mm).

Pour des périodes données, le rapport $K_c = ETM/ETP$ définit un coefficient cultural K_c ou rythme de consommation d'eau de cette culture. Si la plante manque d'eau, elle réduit sa consommation à une évapotranspiration réelle inférieure (ETR, exprimé en mm).

On définit pour chaque et en fonction du cycle végétatif de la plante, un coefficient cultural k_c .

Tableau : Coefficients culturaux Kc pour quelques cultures maraîchères.

Cultures	Kc =	
	Phase de pleine végétation	ETM / ETP
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

Par ailleurs, il faut savoir que pour les premières phases (semi et plantation; développement et enracinement), une bonne alimentation en eau est impérative à l'installation des cultures.

II.5 Surveillance de la teneur en eau dans le sol

La quantité exacte à donner à une culture dépend aussi de ce que le sol peut emmagasiner qui est la teneur en eau. La quantité d'eau que le sol peut emmagasiner dépend de la texture du sol, du % de matière organique et de profondeur des racines.

- ✓ **La capacité au champ** ou **capacité de rétention du sol** : est le volume maximal d'eau qu'un sol (les premiers niveaux du sol) peut retenir qui sera utilisée par les racines des plantes. Elle dépend essentiellement de la granulométrie du sol. À partir d'une certaine profondeur, la teneur en eau n'augmente plus: le sol est saturé, tous les pores du sol sont remplis d'eau: cette zone saturée forme une nappe; les forces de gravité sont prédominantes.
- ✓ **Point de flétrissement permanent** : L'eau qui reste dans le sol est fortement retenue par les particules du sol et ne peut être absorbée par les racines, donc le végétal se flétrit.
- ✓ **Eau utile (EU) ou disponible** : quantité d'eau que la plante peut théoriquement utiliser dans ses conditions optimales. Cette quantité est toujours < à la capacité de la rétention et dépend des plantes. La quantité d'eau qui reste dans le sol, mais qui ne peut pas être utilisée par les plantes définit le point de flétrissement.

II.6 L'état des Réserves en eau des sols

II.6.1 La réserve utile (*RU*)

La réserve utile (*RU*) est la quantité d'eau stockée dans le sol qui peut être absorbée par les racines des plantes (entre la capacité de rétention et le point de flétrissement). En général, cette réserve utile pour les plantes dépend essentiellement de la granulométrie des sols et varie à l'inverse de la perméabilité: les sols argileux ont une réserve utile supérieure aux sols sableux, mais ils sont moins perméables.

Les paramètres pédologiques et culturaux permettront donc, d'estimer la réserve en eau utile du sol.

$$EU = (\theta_{FC} - \theta_{WP})$$

$$RU = EU * Z_r = (\theta_{FC} - \theta_{WP}) * Z_r$$

EU est la teneur en eau utile du sol (mm/m). EU est la différence entre le contenu en eau à la capacité au champ (θ_{FC}) et la teneur en eau au point de flétrissement (θ_{WP}).

- Z_r (m), la profondeur d'enracinement maximale, déterminée pour des cultures arrivées à maturité et cultivées sur sol profond.

- RU (mm) est l'eau accessible aux végétaux dans le volume de sol exploité par leurs racines.

En l'absence de mesures précises, qu'il faut faire au laboratoire, on peut donner les ordres de grandeur suivants de cette capacité utile:

Tableau : La réserve utile des sols

Type de sol	RU %
Sols sableux	6
Sols moyens (limoneux-sablo/argileux)	12
Argiles	16

II.6.2 La réserve facilement utilisable (*RFU*)

Est la quantité d'eau qu'une plante peut extraire d'un sol sans que sa production ne soit affectée de façon notable. Elle est comprise entre deux limites ; d'un part le point de flétrissement et d'autre part la capacité de rétention.

Elle est définie par l'introduction d'un coefficient empirique (f).

$$RFU = RU * f$$

Ce coefficient représente le risque potentiel de soumettre la plante à un stress hydrique et est fonction de la culture. Il est généralement admis de lui donner une valeur de 1/3 à 2/3.

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

$$RFU/RU = 2/3$$

RFU dépend essentiellement de la nature du sol et son profondeur, la nature des cultures (profondeur des racines). En pratique, on déconseille d'attendre que le sol soit revenu au point de flétrissement avant de pratiquer une irrigation. On déclenche l'irrigation dès que la "réserve facilement utilisable" (RFU) a été consommée.

Le rapport RFU/RU dépend de tout un ensemble de facteurs, en particulier la densité des racines (et donc le volume de sol effectivement utilisé par les racines). Pour faciliter les calculs, on considère souvent que ce rapport est fixe et que $RFU/RU = 2/3$, mais en réalité, les sols argileux sont souvent compacts et moins bien explorés par les racines que les sols sableux et on recommande les rapports suivants:

Tableau 4 : Rapport RFU/RU des sols

Type des sols	RFU/RU
Sols argileux	0,5
Sols limoneux:	0,65
Sols sableux	0,75

Dans un même sol les cultures résistantes à la sécheresse disposent d'une RFU plus importante que les cultures sensibles. Il faut considérer que les cultures maraîchères disposent d'une RFU réduite par rapport aux céréales; elles doivent donc recevoir des doses d'irrigation plus petites mais plus fréquentes.

II.7 La profondeur racinaire Z_r

Cet élément est variable en fonction du type de culture et de son stade végétatif de développement. Egalement et compte tenu du type de sol aussi, Egalement, Les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par plante. Les racines des plantes puisent l'eau dans la réserve utile du sol et la disperse dans

l'atmosphère par évapo-transpiration. Si l'eau disponible diminue tandis que la tension de succion du sol augmente, les racines ont de plus en plus de difficulté d'extraire l'eau, l'évapotranspiration diminue; elle devient inférieure à l'ETP: c'est l'ET Réelle (ETR).

Au-dessous d'une tension de succion de 1 atmosphère (1000 hPa), l'absorption de l'eau par les racines est fortement diminuée; elle devient nulle lorsque le point de flétrissement est atteint (16 atmosphères). Le volume occupé par les racines d'une plante dans le sol a une grande importance pour l'absorption de l'eau. L'espace racinaire varie selon les plantes et la nature du sol. Les racines du blé s'enfoncent à 50 cm dans un sable, mais atteignent 1 m dans un limon. Dans une forêt tempérée, l'espace racinaire, l'effectif des arbres ne dépassent pas 1 m pour l'approvisionnement en eau. En générale, les racines superficielles peuvent vaincre des tensions de succion supérieures et se procurer de l'eau même dans un sol apparemment sec.

II.8 Le bilan hydrique

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

- Les précipitations,
- Le ruissellement de surface et l'écoulement souterrain,
- L'évapotranspiration.

Il est intéressant de noter que dans chacune des phases on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état. Il s'ensuit que l'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut se faire à l'aide d'une équation appelée "hydrologique" qui est le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace et dans le temps. Le temporel introduit la notion de l'année hydrologique.

En principe, cette période d'une année est choisie en fonction des conditions climatiques. Ainsi en fonction de la situation météorologique des régions, l'année hydrologique peut débuter à des dates différentes de celle du calendrier ordinaire.

L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un bassin donnés :

$$P + S = R + ETP + (S+\Delta S)$$

Avec:

P : précipitations [mm],

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

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

E : évapotranspiration [mm],

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

Le calcul du bilan hydrique estime l'écoulement et l'évapotranspiration sur un pas de temps décadaire ou mensuelle en fonction du sol et de la météorologie.

Le sol a un impact important sur le bilan car il possède une capacité de stockage qui peut s'épuiser ce qui conduit au flétrissement des végétaux et ainsi à une baisse de l'évapotranspiration.

La porosité du sol (20 à 30% en général) peut être considérée comme une capacité de stockage : Lorsque le sol est rempli d'eau, la porosité est presque totalement occupée par l'eau, le sol est dit saturé.

II.9 Déficit en eau

Déficit en eau est la comparaison entre les besoins mensuels des plantes avec la quantité d'eau disponible par le sol au cours de la période de végétation. L'étude rationnelle du déficit en eau par rapport aux besoins en des cultures, repose sur deux aspects ; le déficit pluviométrique et l'état hydrique du sol donc on fait référence la réserve hydrique du sol qui caractérise le déficit pédoclimatique ou déficit agricole.

II.9.1. Déficit pluviométrique (climatique)

Connaissant l'évapotranspiration ETP (mm) et le module pluviométrique P (mm), il est possible de définir le déficit pluviométrique dp (mm) pour une période donnée :

$$dp = ETP - P.$$

Les valeurs mensuelles, permettent de déterminer le déficit pluviométrique annuel. Pour un déficit négatif, on assiste à un excédant pluviométrique. Mais il faut noter que ce terme ne tient pas compte des excédents ou pertes d'eau par ruissellement et par infiltration au niveau du sol.

II.9.2 Déficit agricole

Théoriquement, pour combler le déficit pluviométrique, un volume d'eau égal devrait être apporté au niveau du sol cultivé. Mais en réalité ce n'est pas toujours le cas puisque la réserve utile (RU) du sol peut emmagasiner de l'eau. Donc on apporte de l'eau pour remplir une fraction de RU. C'est la réserve facilement utilisable (RFU) qui d'ailleurs très variable en raison de la nature du sol, la profondeur racinaire, le type et le stade végétatif cultural et enfin de l'excédent en eau hivernal. A cet effet donc, on prend plutôt k RFU, où k est compris entre 0 et 1.

$$da = ETP - P - Kc \cdot RFU$$

Dés lors, le déficit pédoclimatique ou en pratique appelé souvent déficit agricole Da , encore déficit pédoagroclimatique, da (mm) = $ETP - P - k$ RFU.

$$da = dp - Kc \cdot RFU$$

Remarque : au moment où RFU est puisée, le sol n'intervient plus dans l'alimentation en eau des cultures. Le déficit agricole est égal au déficit pluviométrique.