



Activité N°: N-W-TN-1

Amélioration de L'Efficacité de L'Utilisation de l'Eau en Agriculture

Application des technologies pour le pilotage de l'irrigation à la parcelle

30,31 mai – 1,2,3 juin 2022, Tunis, Tunisie



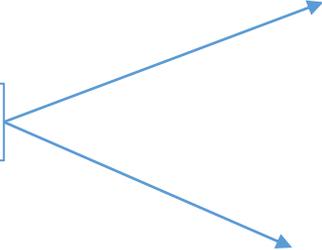
Présenté par:

Sami Bhourri Khila, Expert local non clé (WES)

Pilotage de l'irrigation

- Un outil de pilotage aide l'agriculteur à prendre les meilleures décisions possibles en répondant aux questions: **quand et combien irriguer**.

Pilotage de l'irrigation



```
graph LR; A[Pilotage de l'irrigation] --> B[Quand]; A --> C[Combien];
```

Quand (quand redémarrer l'irrigation après une pluie ou une irrigation antérieure, quand arrêter pour exploiter au mieux le stock d'eau du sol, quel intervalle d'arrosage)

Combien (besoin en eau de culture, dose d'irrigation, quel volume apporter pour ne pas saturer le sol)

- ✓ Le pilotage de l'irrigation vise à maintenir la teneur en eau du sol à un niveau suffisant pour satisfaire les besoins en eau de la culture en évitant les excès et les manques d'eau ainsi que les hétérogénéités de distribution sur la parcelle.
- + Le pilotage de l'irrigation permet l'optimisation de la consommation de l'eau d'irrigation (contribue donc à obtenir une efficacité élevée de l'utilisation de l'eau)
- + le recours aux outils de pilotage améliore les performances techniques (aussi économiques) de la conduite d'arrosage en valorisant au mieux chaque mètre-cube apporté

Combien irriguer

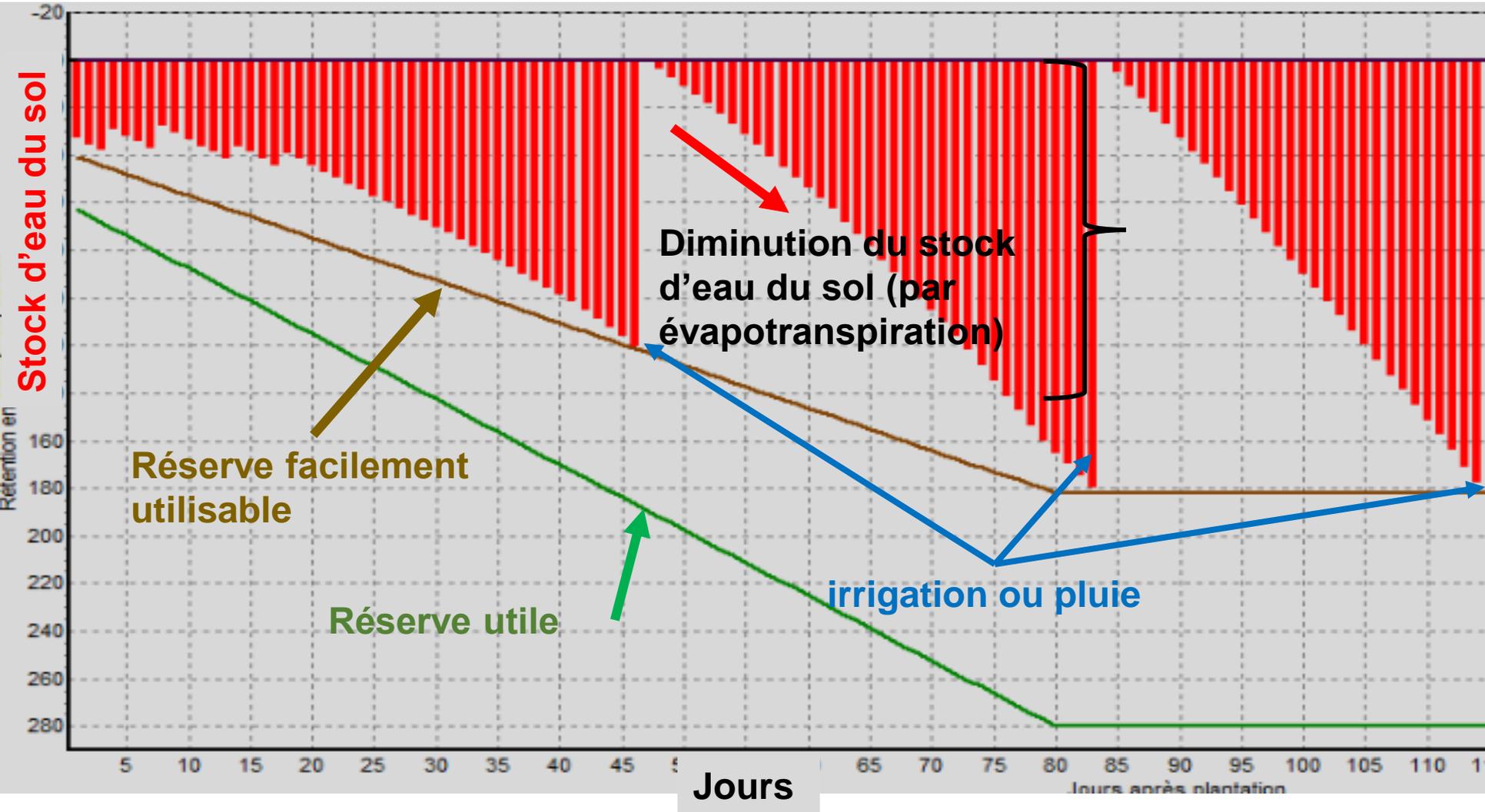
- ✓ Quantité d'eau à apporter par irrigation à l'exclusion des précipitations et de l'humidité du sol pour satisfaire les besoins hydriques d'une culture (pour compenser les pertes d'eau enregistrées pendant une période donnée):

Besoin net → évapotranspiration de la culture

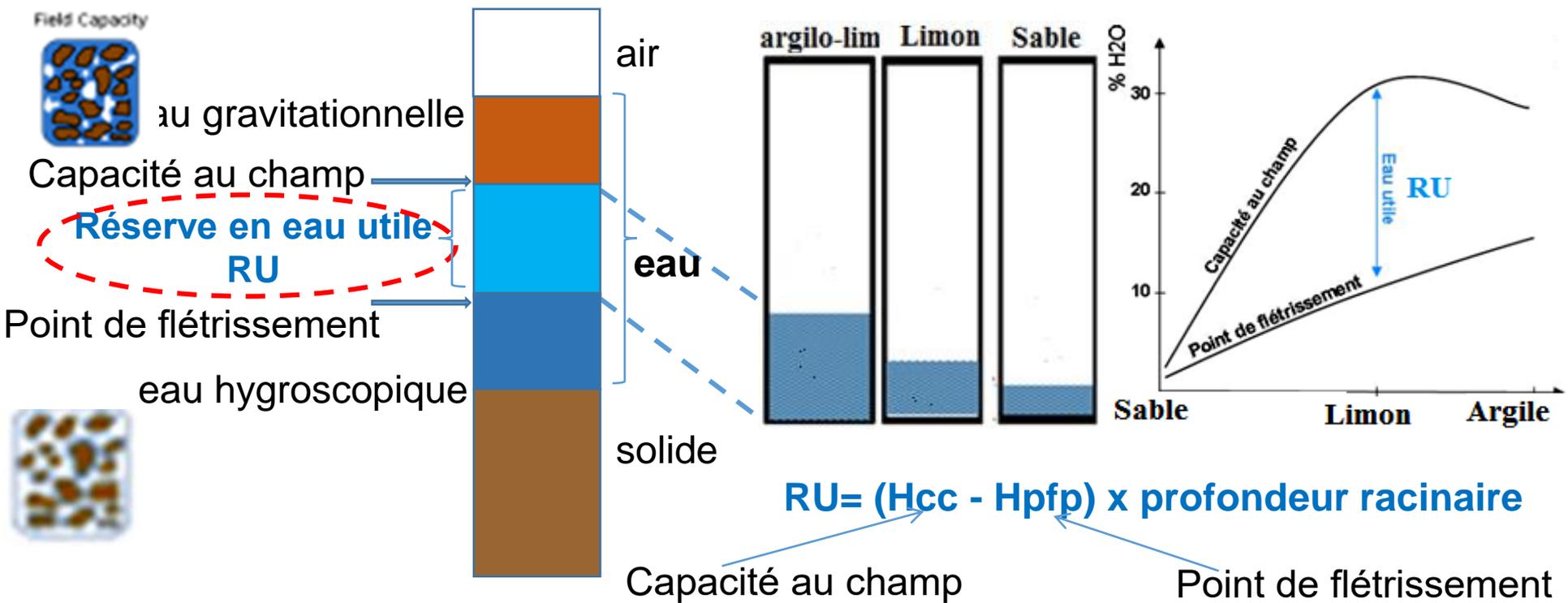
Besoin brut → ETC + compenser les pertes d'eau dans le système d'arrosage+ besoin de lessivage

Quand irriguer

La détermination de moment adéquat d'arrosage revient à suivre (gérer) le stock d'eau dans le sol de façon à assurer la disponibilité de l'eau dans le sol pour la plante



💧 la **réserve utile (RU)** représente la quantité d'eau disponible dans le sol qui peut être exploitée par le système racinaire (capacité de stockage en eau du sol)



Texture	réserve utile (mm/m)
Sableux	30
Argile	180
Limon argileux	220

CEMAGREF (1995).

La **réserve facilement utilisable (RFU)** est une fraction de la RU correspondante à la quantité d'eau accessible à la plante sans difficultés. Cette fraction varie entre 30% et 60% RU en fonction du type de sol et de la plante.

Le pilotage de l'irrigation peut se faire à travers 3 approches:

✓ **indicateurs liés au climat (mesure des précipitations, de l'eau évapotranspirée)**



✓ **Indicateurs liés au sol (suivi de l'état hydrique du sol)**



✓ **Indicateurs liés au végétal (suivi de l'état hydrique ou énergétique de la plante)**



Indicateurs liés au sol (tensiomètres, sondes)

Les tensiomètres

- constitué d'un tube en plastique fermé, une bougie en céramique poreuse à sa partie inférieure et un manomètre au sommet (sondes Watermark matériel le plus connu dans le monde agricole)
- Le fonctionnement des sondes tensiométriques repose sur un capteur qui mesure la force (en centibars) de succion que les racines doivent exercer pour extraire l'eau du sol. En phase de dessèchement, le sol exerce une force de succion qui se répercute sur le tube et est mesurée par le manomètre
- Le tensiomètre ne mesure pas la teneur en eau du sol mais les forces de rétention de l'eau par les particules du sol à une profondeur donnée:



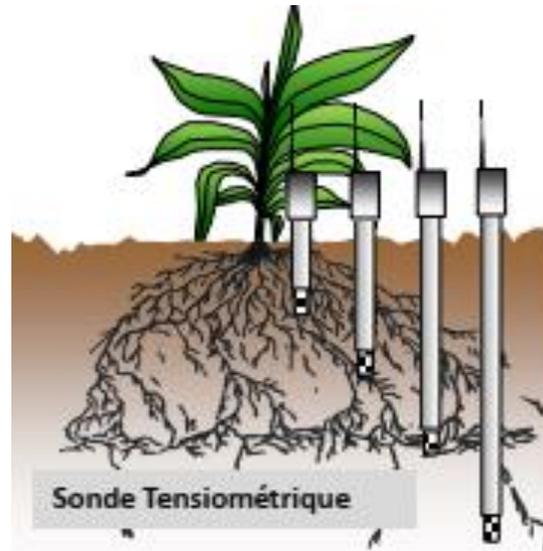
les tensions (valeur de dépression lue sur le manomètre du tensiomètre) augmentent lorsque le sol se dessèche et elles diminuent lorsque le sol est humide (0 cbars pour un sol saturé) .

plus le sol est sec (peu d'eau), plus l'eau est retenue par les particules du sol et plus le niveau de succion serait élevé (forte tension)

Mesures en centibars	Etat du sol
0-10	Sol saturé avec risque d'asphyxie
10-15	Sol ressuyé
15-50	Confort hydrique (RFU) - irrigation
50-100	Fin de la RFU (situation de stress)

Gendrier et al., (1999); Tron et al., (2000).

- ✓ Il est conseillé de placer les tensiomètres à différentes profondeurs (habituellement 30, 60 et 90 cm)



- 30 cm et 60 cm pour analyser la dynamique des réserves du sol
 - 90 cm pour définir la dose d'irrigation et contrôler le drainage (Tron et al., 2000)
-
- ✓ les tensiomètres peuvent être connectés et transmettre les informations en temps réelles (avec possibilité d'ouvrir automatiquement des électrovannes pour lancer l'irrigation)

Les sondes capacitives

- Les sondes capacitives permettent de déterminer l'état des réserves hydriques du sol à une profondeur donnée.
- Le principe des sondes capacitives est de mesurer l'humidité du sol via la permittivité diélectrique du sol:
un condensateur envoie une impulsion électrique entre deux plaques de cuivre. Plus la vitesse de déplacement de l'impulsion est rapide, plus il y a d'eau dans le sol. Cela permet de connaître le stock d'eau (en mm) sur la profondeur explorée par la sonde.
- Grande diversité d'outils: Sonde portable (effectuer des mesures ponctuelles sur différents sites), modèles équipés de capteurs fixes (mesurent en continu les teneurs en eau du sol)



Indicateurs liés au végétal

✓ Se baser directement sur le statut hydrique de la plante

Système pépista

- mesure (par capteurs) des variations des dimensions de la tige ou des fruits
- mesure liée à l'intensité de la transpiration de la plante:
Au cours de la journée, la réduction du diamètre du fruit au-delà d'un certain seuil, indique que le sol ne fournit plus assez d'eau pour un fonctionnement normal de la plante.



chambres à pression



- mesurer le potentiel foliaire (traduisant l'état de liaison de l'eau à l'intérieur des tissus végétaux:
confort hydrique de 1 à 5 bars
stress hydrique (et fermeture partielle des stomates) au-delà de 10 bars

mesure du flux de la sève brute

- Réalisée par des capteurs thermiques insérés radialement sous l'écorce du tronc
- basé sur le fait que le passage de la sève dans les tissus conducteurs de la tige perturbe sensiblement la diffusion de la chaleur dans ces tissus. Ces variations peuvent être mesurées et exprimées en termes de flux



Mesure de la température du couvert végétal (par *radiothermomètre infrarouge*)

- Basée sur la mesure de la température de surface du couvert végétal (associé à une variation de l'émission de rayons infrarouges) à l'aide d'un radiothermomètre portable

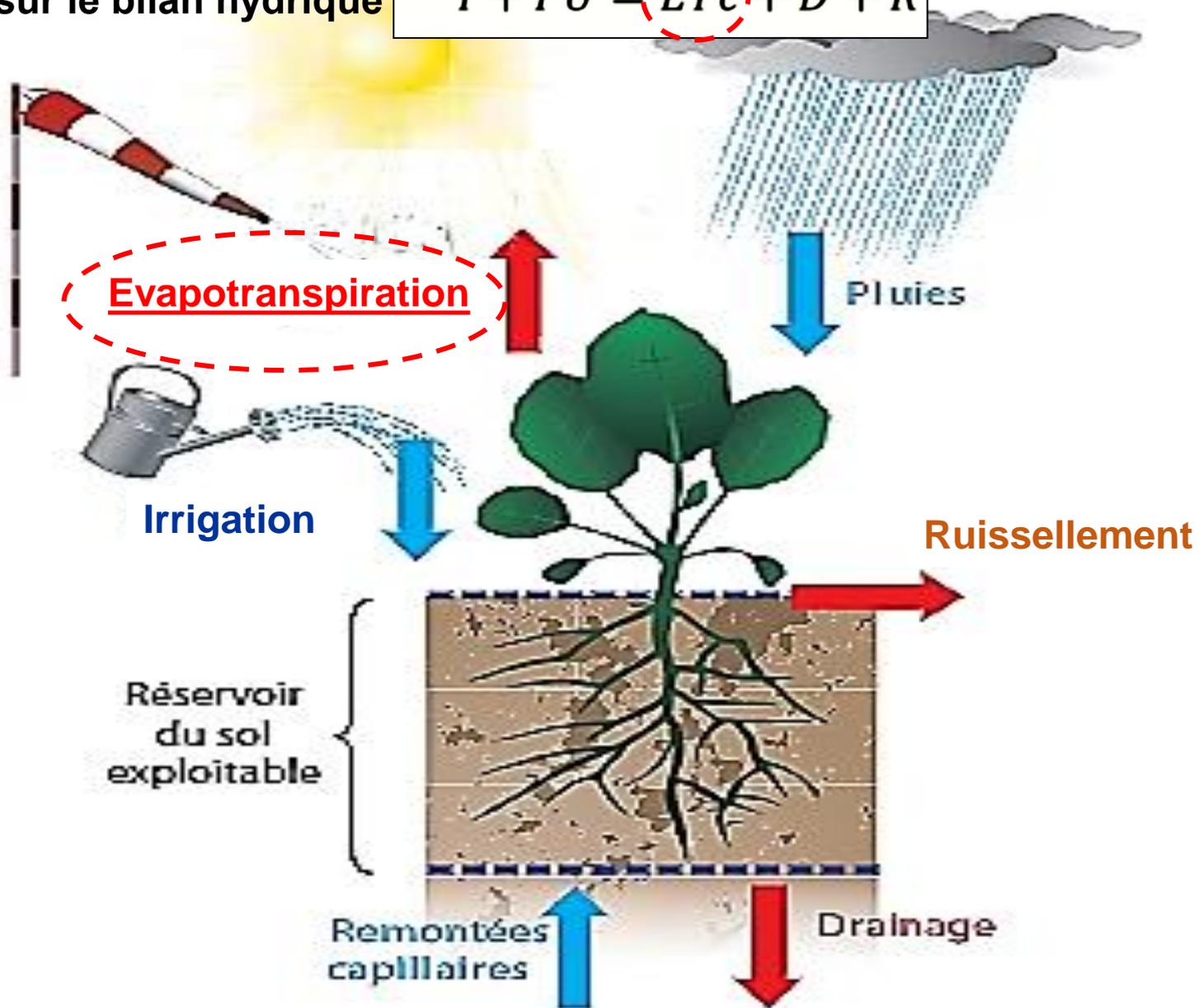
La température est un indicateur de l'état hydrique de la plante:

- la température dépend du refroidissement des feuilles lié à l'évapotranspiration (fonction de la disponibilité de l'eau dans le sol). L'évaporation de l'eau au niveau des feuilles refroidit ces dernières. Mais, en réponse à une sécheresse, la température de la feuille augmente suite à la fermeture des stomates (et baisse de la transpiration)

Indicateurs liés au climat

Basée sur le bilan hydrique

$$I + PU = ET_c + D + R$$



- L'évapotranspiration de la culture (ET_c) est calculée en fonction de l'évapotranspiration de référence, notée ET_0 (mm),
- on calcule l'ETR en multipliant l' ET_0 par le coefficient cultural K_c (qui dépend de l'espèce et de son stade de développement)
- La valeur de l' ET_0 peut être déterminée à partir de mesures lysimétriques, de mesures du bac d'évaporation classe A ou calculée à partir de la formule de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998)
- Pour la formule de Penman-Monteith, L' ET_0 est calculée à **partir de données climatiques**.
 - Les données climatiques sont mesurées au niveau d'une station météorologique la pluviométrie (P), les températures maximale (T_{max}) et minimale (T_{min}), l'humidité relative (HR) de l'air, la vitesse du vent (U_2) et le rayonnement global (R_g) à une échelle de temps horaire ou journalière.



- Les valeurs de l'ETR ne représentent pas les quantités d'eau à apporter. Ces valeurs doivent être majorées par l'efficacité du système d'irrigation
- de préférence débiter le pilotage lorsque la réserve utile du sol est à son maximum)