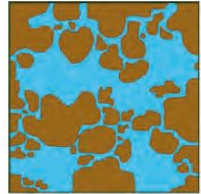




PILOTAGE DE L'IRRIGATION À LA PARCELLE BASÉ SUR L'UTILISATION DE SONDES CAPACITIVES DE MESURE DE L'EAU DANS LE SOL

PROGRAMME DE FORMATION POUR LES IRRIGANTS

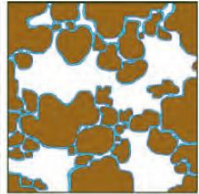
Teneur en eau du sol



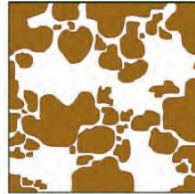
SOL SATURÉ



SOL à
CAPACITÉ au
CHAMP



SOL au POINT
de
FLÉTRISSEMENT
PERMANENT



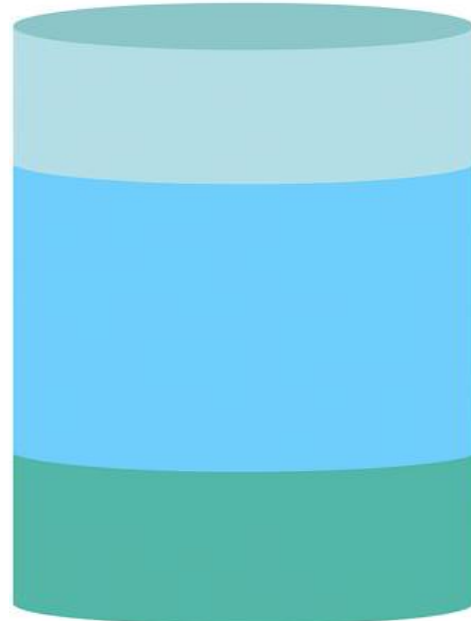
SOL SEC

Sol saturé

Sol à CC

Sol au PFP

Sol sec



Augmentation de la rétention
d'eau

Disponibilité de l'eau dans le sol

L'eau utile pour les plantes dépend des conditions atmosphériques et du niveau d'humidité du sol.

Potentiel hydrique du sol

- effort fourni par les plantes pour extraire l'eau du sol (état énergétique de l'eau)
- unités de pression négatives

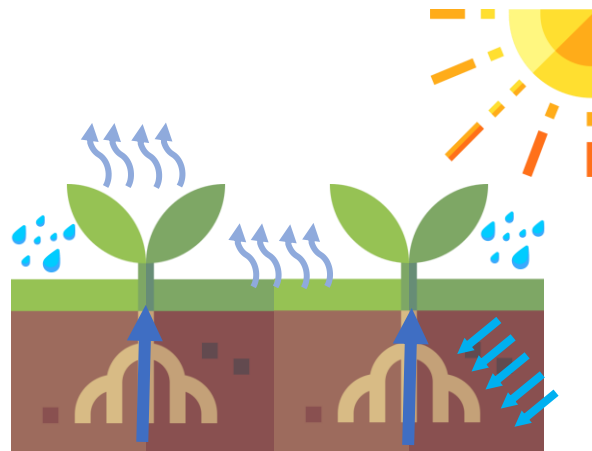
**SONDES DE
MESURE DE
L'EAU DU SOL**

Besoins en eau des cultures : ÉVAPOTRANSPIRATION

Facteurs climatiques

Et_0

- Rayonnement solaire
- Température
- Humidité relative
- Vent

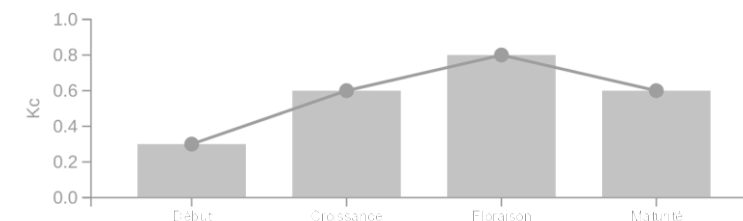


Stade et type de culture

K_c

- Stade phénologique
- Surface foliaire
- Structure du système racinaire

Exemple de variation du K_c au cours de la saison



$$ET_c = ET_0 \times K_c$$



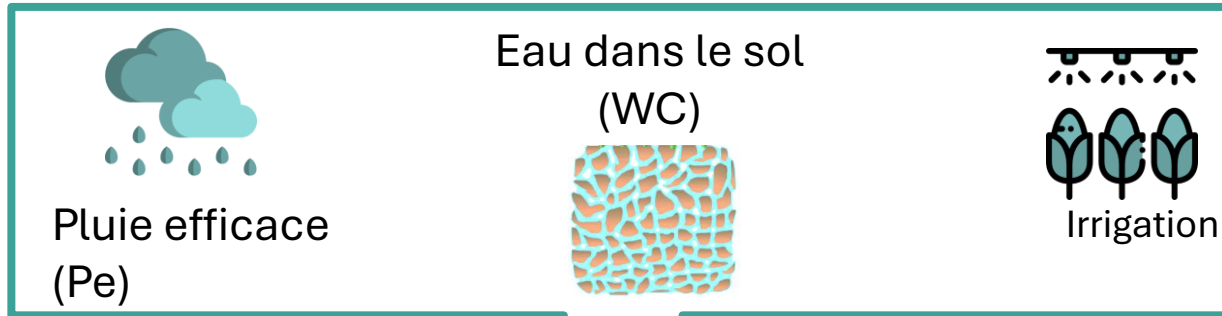
Diminution de la dose d'irrigation



Augmentation de la dose d'irrigation

Combien d'eau faut-il apporter par l'irrigation pour garder la culture en bonne santé ?

Sources d'eau pour la culture

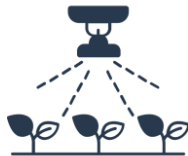


$$\text{Dose d'irrigation} = \frac{ETc - Pe}{Eff} \pm \Delta SWC$$

Eff = efficience du système d'irrigation



0,9



0,8



0,6

ΔSWC = excédent (-) ou déficit (+) de l'humectation précédente.

- Texture du sol
- Type de culture
- Système d'irrigation
- Densité de plantation

**SONDES MESURE
DE L'EAU DANS LE
SOL**

ARCHITECTURE D'UNE INSTALLATION

Interreg
Sudoe



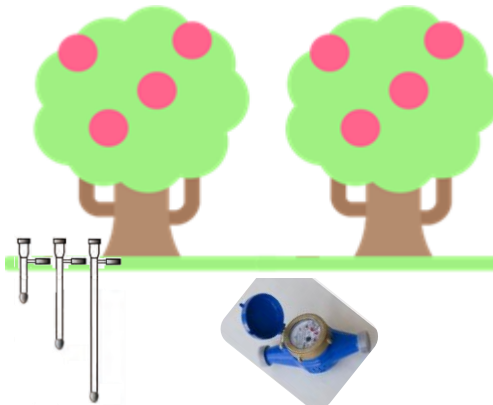
Co-funded by
the European Union

SMART GREEN
WATER

Technologie	Vitesse	Portée	Batterie	Usage idéal
NB-IoT	⚡ ⚡	🟢 10km	🟢 Années	Capteurs fixes
LTE-M	⚡ ⚡ ⚡	🟢 10km	🟡 Mois	Appareils mobiles
LoRa	⚡	🟢 15km	🟢 Années	Grandes fermes
WiFi	⚡ ⚡ ⚡ ⚡	🔴 100m	🔴 Jours	Caméras/vidéo
BLE	⚡	🔴 10m	🟢 Années	Serres



IoT

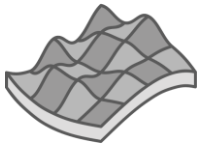


TYPES DE SONDES

Technologie	Principe de fonctionnement	Avantages	Inconvénients
FDR (<i>Frequency Domain Reflectometry</i>)	Mesure la constante diélectrique du sol au moyen de signaux haute fréquence	Rapide et précise Bonne sensibilité Faible consommation d'énergie	Nécessite un étalonnage spécifique au type de sol Peut être affectée par la salinité
TDR (<i>Time Domain Reflectometry</i>)	Mesure le temps que met une impulsion électromagnétique à se réfléchir dans le sol	Haute précision Indépendante de la salinité Très stable	Coûteuse Équipements plus complexes et fragiles
Capacitives	Proches des FDR, elles mesurent la capacitance, qui varie avec la teneur en eau	Économiques Installation facile Faible consommation d'énergie	Moins précises que les TDR Sensibles au type de sol et à la salinité



CHOIX DE L'EMPLACEMENT



Variabilité du terrain :

- Sols homogènes → peu de sondes.
- Sols hétérogènes → plus de sondes par exploitation/secteur.



Connaissance de l'agriculteur

Elle est essentielle pour choisir les meilleurs points.



Analyse du sol

- Échantillons pour déterminer la texture et le comportement hydraulique.
- Ajustement des paramètres : CC, PFP, courbes caractéristiques



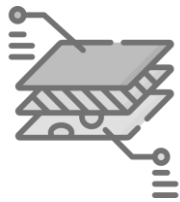
Choix du point représentatif

- Utilisation d'images satellites pour identifier les zones clés.
- Relief de l'exploitation.
- Point avec une culture homogène et vigoureuse.
- Vérifier l'uniformité de l'irrigation pour éviter les erreurs.

CLÉS DE L'INSTALLATION



SONDES DANS LE PROFIL DU SOL



Profondeur d'installation :

- Selon la culture (racines superficielles (maraîchage) ou profondes (arboriculture))
- Texture du sol

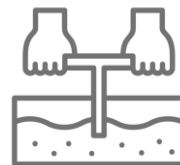


Positionnement (goutte-à-goutte et aspersion)

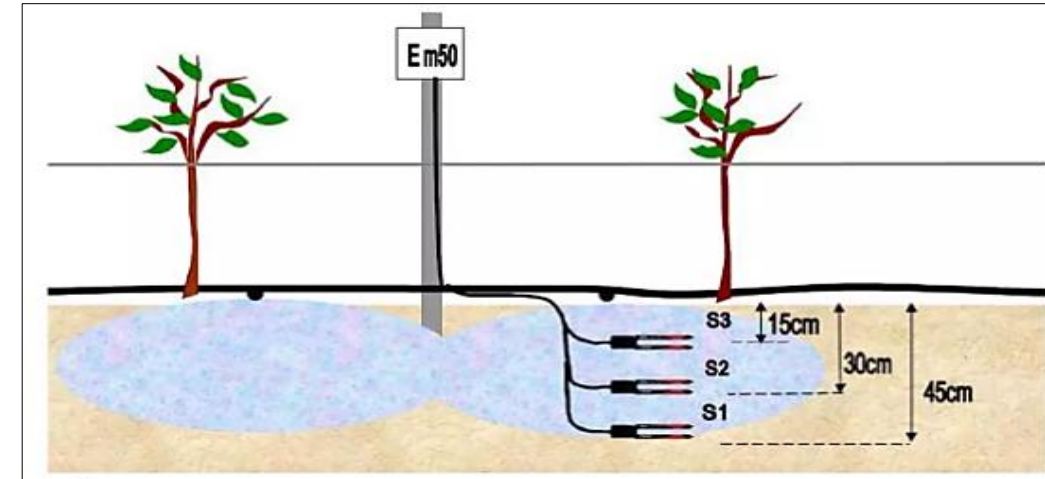
- À mi-distance entre la verticale d'un goutteur et la limite de la zone humide en surface
- Bulbe humide

Recommandations

- Installation en sol humide, hors culture en place
- Bon contact avec le sol, sans en altérer la structure



- Éviter les zones caillouteuses et les poches d'air
- Protéger le câblage
- Maintenir la verticalité



MISE EN SERVICE DES POINTS DE CONTRÔLE

Interreg
Sudoe



Co-funded by
the European Union

SMART GREEN
WATER



- Vérification du fonctionnement
- Test initial de communication

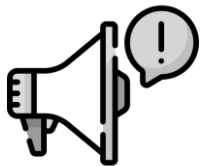
Irrigation initiale abondante ou épisode de pluie



Détermination des valeurs de CC et de PFP



**ÉTALONNAGE
DES SONDES**



Chaque sonde doit être étalonnée avec
sa valeur de référence

ACCÈS AUX DONNÉES ET VISUALISATION

Interreg
Sudoe

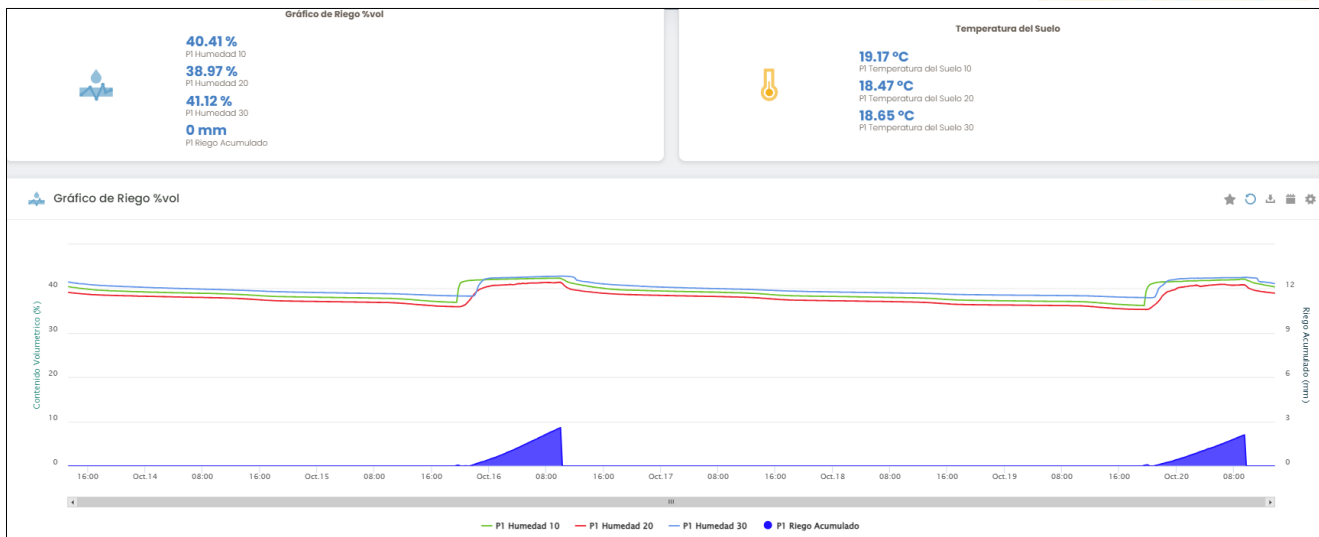


Co-funded by
the European Union

SMART GREEN
WATER

Abonnement annuel à une plateforme de visualisation et de stockage des données

Carte avec l'emplacement des sondes



Visualisation des données en temps réel et graphiques de la teneur volumique en eau du sol

ENTRETIEN ET PRÉCAUTIONS



Alimentation et
batteries



Étalonnage périodique des
sondes



Mises à jour
logicielles



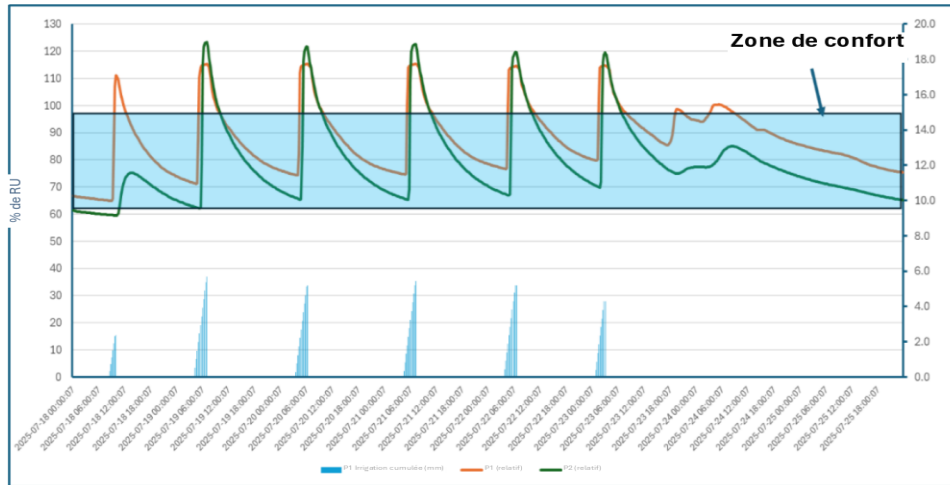
Vérifications de
fonctionnement



Protection et
signalisation de
l'installation



INTERPRÉTATION DES DONNÉES



Objectif de l'irrigation pilotée par sondes :

- **Maintenir** la sonde représentative de la zone racinaire dans la zone de confort hydrique.
- **Éviter :**
 - Saturation : percolation profonde
 - Stress hydrique : valeurs sous la zone de confort

Sonde superficielle = détecte les pluies ou les irrigations

Sonde intermédiaire = zone racinaire → clé pour décider quand irriguer

Sonde profonde = détecte les pertes par drainage ou percolation profonde



Autres objectifs :

Salinité : provoquer un drainage profond pour lessiver les sels

Application d'irrigations déficitaires contrôlées

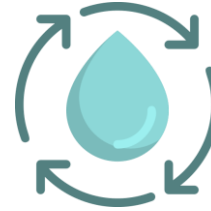
AVANTAGES DE L'IRRIGATION PILOTÉE PAR SONDES

Interreg
Sudoe



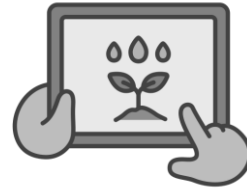
Co-funded by
the European Union

SMART GREEN
WATER



Durabilité et résilience

Connaissance précise et en
temps réel de l'état hydrique
du sol



Alertes précoces en cas de
problème dans le système

Meilleure santé et meilleur
rendement de la culture



Efficience de l'utilisation de l'eau



Programmation et confort.