

Partie 2

Maîtrise des pratiques d'irrigation

- 1 Quand irriguer ? Combien apporter ?**
- 2 Appliquer la dose voulue**



La Maîtrise des pratiques d'irrigation

L'objectif est de pratiquer une irrigation au plus près des besoins en eau des plantes. Autrement dit, il s'agit d'apporter suffisamment d'eau pour garantir la performance de la culture (optimisation du rendement et de la qualité) tout en évitant les excès, potentiellement pénalisants à différents niveaux : effet dépréciatif sur la culture, coût de l'eau, incidence sur le milieu.

La démarche préconisée est celle d'une irrigation **raisonnée** et **maitrisée**, reposant sur :

- la détermination des besoins en irrigation de la culture concernée à un instant donné ;
- la capacité à appliquer la dose voulue ;
- la validation des pratiques grâce à des outils de pilotage.

1 Quand irriguer ? Combien apporter ?

Plusieurs questions liées se posent : à partir de quand arroser, quelle dose apporter, comment fractionner les irrigations, comment prendre en compte les pluies ?

Une réponse très générale consiste à dire qu'il faut irriguer lorsque les besoins en eau de la plante ne sont plus assurés ni par les réserves en eau du sol accessibles aux racines, ni par les pluies.

1.1 La base du raisonnement : le bilan hydrique

L'état de la réserve en eau du sol peut être apprécié au moyen d'un bilan hydrique, qui fait intervenir les "entrées" en eau (pluie et irrigation) et les "sorties" (consommation par les plantes, drainage au-delà des racines). Cette approche simplifiée ne tient pas compte de remontées capillaires ni d'apports ou pertes par ruissellement, qui peuvent être significatifs dans certaines situations et qu'il est alors nécessaire d'intégrer au raisonnement.

Le bilan hydrique simplifié peut être exprimé comme suit :

$$\begin{aligned} \text{RÉSERVE actuelle} &= \text{RÉSERVE précédente} \\ &+ \text{PLUIE} + \text{IRRIGATION} \\ &- \text{CONSOMMATION} - \text{DRAINAGE} \end{aligned}$$

1.1.1 Réserve et drainage

Réserve : on prend en considération la réserve en eau du sol exploitée par les racines. La profondeur d'enracinement varie selon les espèces, leur stade de développement et la nature du sol.

Drainage : on considère qu'une fois la réserve pleine au niveau de la zone racinaire, l'excédent apporté par les pluies ou l'irrigation est drainé en profondeur et n'est pas exploitable par la culture.

Pour une profondeur d'enracinement donnée, la réserve en eau varie selon :

- la charge en éléments grossiers (graviers, cailloux) ;
- la texture du sol (proportion sable / limon / argile) ;
- la teneur en matière organique.

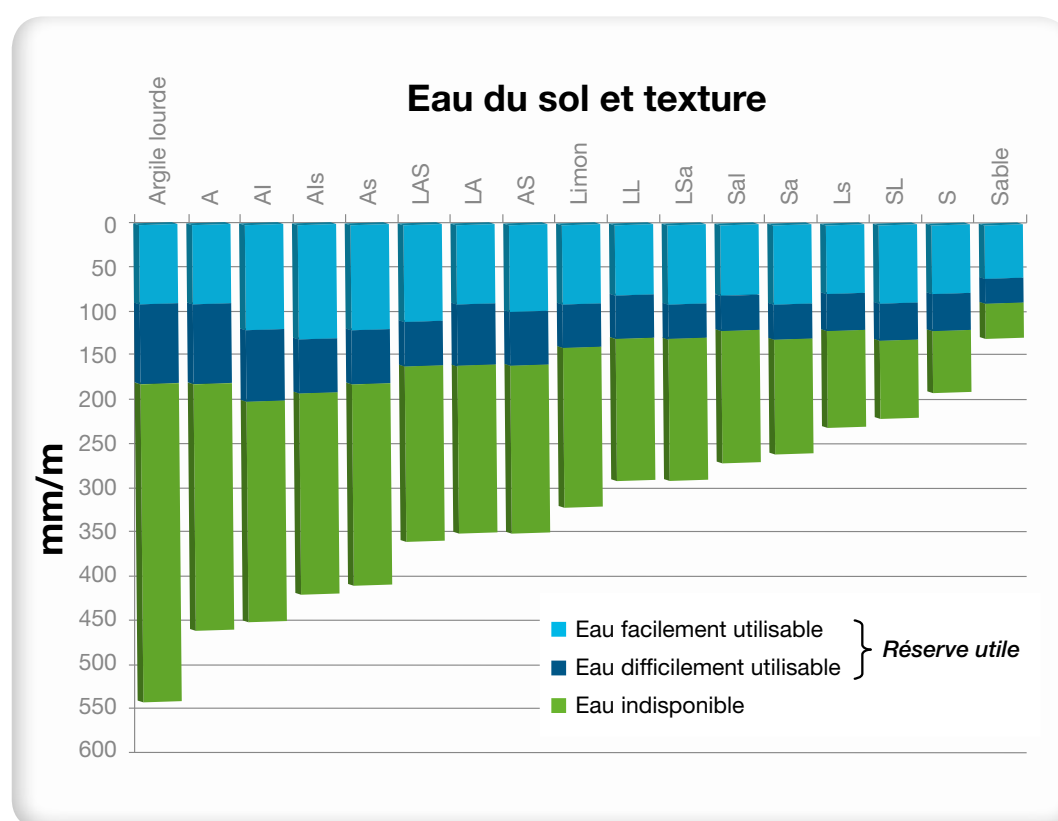
On ne prend en compte que l'eau réellement utilisable, c'est-à-dire celle que les plantes sont capables d'extraire. En effet, une partie de l'eau du sol reste fortement retenue et **indisponible**.

A titre indicatif, la **réserve utile (RU)** pour un sol non caillouteux varie dans la gamme suivante :

- › de 0,9 à 1,2 mm/cm pour une texture grossière (sable),
- › de 1,3 à 1,6 mm/cm pour une texture moyenne,
- › de 1,8 à 2,0 mm/cm pour une texture fine (argile, argilo-limoneux, argilo-sableux).

La **réserve facilement utilisable (RFU)** par les plantes est estimée entre 1/2 et 2/3 de la RU.

Autrement dit, pour des sols non caillouteux et pour une profondeur de 1 m exploitée par les racines, la réserve utile se situe entre 90 et 200 mm, et la réserve facilement utilisable entre 60 et 120 mm, tel qu'illustré par le graphique ci-dessous :



1.1.2 Les pluies

Les pluies présentent une forte variabilité spatiale, en particulier lors d'épisodes à caractère orageux. Le seul moyen précis pour connaître la hauteur de pluie sur des parcelles est l'installation d'un pluviomètre à proximité.

À défaut, des données peuvent être obtenues à partir de réseaux de stations climatiques, au risque d'être un peu moins précises sur la situation locale. Certains fournisseurs de données météorologique proposent également des lames d'eau spatialisées, notamment à partir de mesures radar.

Selon l'intensité de l'épisode pluvieux, une partie de l'eau ne pénètre pas dans le sol et ruisselle. Il est alors nécessaire de tenir compte d'un coefficient d'efficacité des pluies. Celui-ci dépend notamment de l'état de surface de la parcelle, de la pente et s'avère souvent difficile à évaluer.

1.1.3 L'irrigation

Le compteur volumétrique constitue le seul équipement réellement efficace pour mesurer les quantités d'eau apportées par irrigation.

Elles peuvent aussi être approchées à partir des temps d'irrigation, sous réserve de connaître la pluviométrie de l'installation (voir le paragraphe "Connaître son installation" ci-après). Cette façon de procéder s'avère toutefois imprécise en de nombreuses circonstances.

1.1.4 La consommation en eau par les cultures

Cette consommation dépend tout d'abord de la demande climatique, que l'on caractérise par **l'évapotranspiration potentielle** (ETP).

Contrairement à la pluie, cette donnée ne peut pas s'obtenir simplement. Elle nécessite une station météorologique complète et installée selon des standards rigoureux. La station en question doit être dotée de capteurs performants et régulièrement maintenus.

Le plus souvent, cette donnée est donc acquise auprès de fournisseurs de données agro météorologiques. Elle est aussi généralement diffusée dans le cadre d'avertissements à l'irrigation.

Les données d'ETP sont relativement homogènes à l'échelle de petites régions, ce qui permet de se référer aux stations raisonnablement proches.

Le **Mémento Irrigation** fournit des valeurs d'ETP médianes sur 20 ans (fiche "Références climatiques") pour différentes stations METEO FRANCE et au pas de temps décadaire.

La consommation en eau d'une culture à un instant donné est proportionnelle à l'ETP, selon un **coefficient cultural** (KC), dépendant de la culture elle-même et de son stade végétatif.

$$\text{CONSUMMATION} = \text{KC} \times \text{ETP}$$

Le **Mémento Irrigation** donne, culture par culture, l'évolution du KC au cours du cycle végétatif.

1.1.5 L'utilisation du bilan hydrique

Le bilan hydrique permet de suivre l'évolution de la réserve en eau du sol au cours du temps. L'utilisation d'un pas de temps hebdomadaire est en général convenable.

- ▶ **Planification prévisionnelle** : à partir des données météo moyennes, le bilan hydrique permet de prévoir a priori les consommations des cultures et leur évolution au cours du temps.
- ▶ **Conduite des irrigations** : un bilan hydrique actualisé régulièrement constitue une base de raisonnement des irrigations et permet notamment de :
 - situer le démarrage (ou la reprise) des irrigations,
 - déterminer la dose d'irrigation adaptée à une culture et une période donnée,
 - des outils et des observations complémentaires permettent ensuite d'affiner les pratiques.

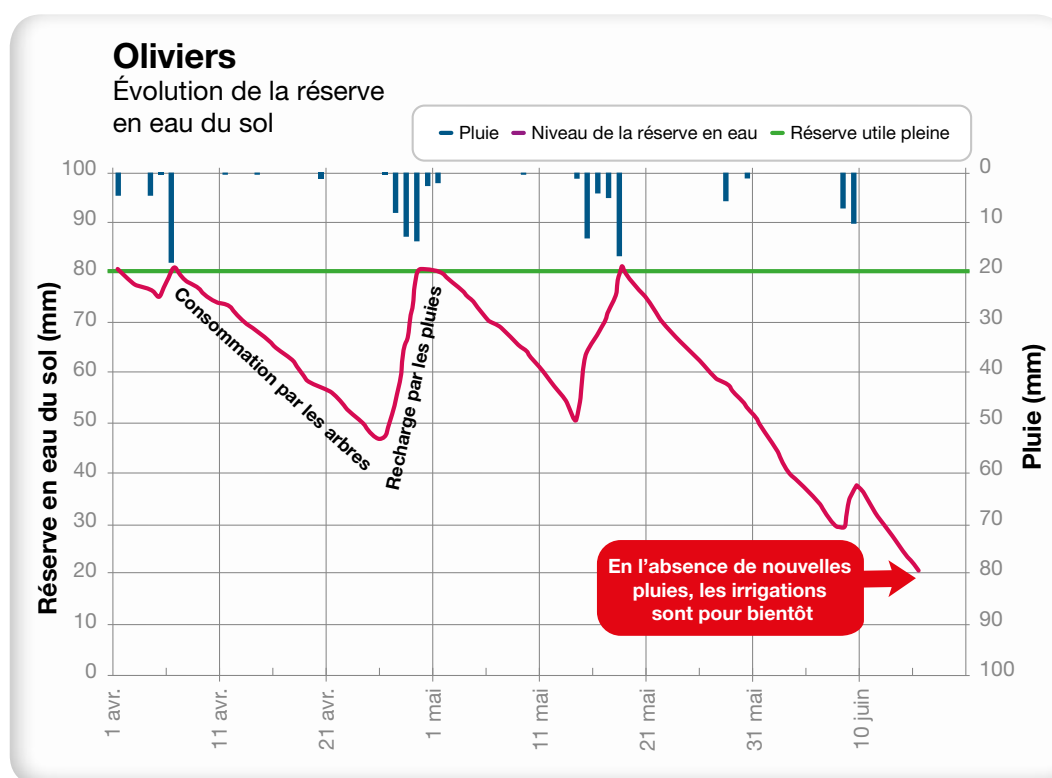
1.2 Quand déclencher la première irrigation ?

Les irrigations sont déclenchées lorsque les réserves en eau du sol et les pluies ne satisfont plus aux besoins de la culture. D'une façon générale et en situation de ressource en eau non limitante, il est recommandé de démarrer l'irrigation avant que la RFU ne soit épuisée.

Pour les cultures sensibles au stress hydrique, il est prudemment conseillé d'arroser lorsque 50 % de la RFU est consommée.

Inversement, certaines cultures adaptées au stress hydrique (ex. : olivier) sont en mesure d'exploiter l'eau du sol jusqu'à des niveaux de réserves plus faibles et l'irrigation peut attendre la consommation complète de la RFU, voire plus.

- **Le bilan hydrique** permet de suivre l'évolution de la réserve en eau du sol et de situer le démarrage des irrigations. L'illustration du bilan sous forme de graphique facilite la lecture des données.



- Une autre approche consiste à se baser sur des **outils de pilotages** de l'irrigation, permettant de suivre l'état de la réserve en eau du sol ou le niveau de stress hydrique de la plante. Un point particulier est consacré à ce sujet ci-après.
 - Le déclenchement de l'irrigation est envisagé lorsque les grandeurs mesurées sont proches de seuils préétablis (par exemple une tension en eau du sol supérieure à 40 cbar, mesurée à l'aide d'un tensiomètre).
- **Ces deux approches sont complémentaires** et idéalement il est préconisé de les combiner.
- En général, les avertissements à l'irrigation diffusés par différents organismes, sont basés sur cette double approche :
 - bilan hydrique ;
 - suivi de parcelles de référence, équipées d'outils de pilotage. Il en découle des préconisations sur les dates de démarrage des irrigations, à adapter ensuite par chacun en fonction des spécificités locales.

1.3 Combien apporter ?

A partir du moment où le besoin d'irriguer est avéré et en l'absence de pluie, l'irrigation doit couvrir la consommation en eau de la culture. Autrement dit :

$$\text{IRRIGATION} = \text{CONSOMMATION} = \text{KC} \times \text{ETP}$$

Ce calcul donne un besoin en eau exprimé en mm par jour, semaine ou décade, selon le pas de temps utilisé.

Une estimation des besoins d'irrigation moyens peut être faite à partir des données KC et ETP fournies dans le **Mémento Irrigation**, en se rattachant à l'une des stations météorologiques. Cette estimation mérite d'être affinée en se procurant des données d'ETP pour la saison en cours et si possible sur une station proche.

1.4 Comment déterminer le rythme d'irrigation et la dose unitaire ?

Pour un lieu et une culture donnés, la dose d'irrigation va sensiblement varier au cours de la saison, en fonction du stade de développement et de la demande climatique. Elle sera adaptée en combinant **le rythme d'irrigation** et **la dose unitaire (dose par arrosage)**. Par exemple :

- en arrosant à fréquence fixe (une fois par jour, une fois par semaine...) et en faisant varier la dose à chaque arrosage ;
- en arrosant à dose fixe et en faisant varier l'espacement entre deux arrosages.

Le choix entre ces deux types de stratégie s'effectue en fonction d'un certain nombre de critères et notamment :

- la culture et sa profondeur d'enracinement, qui évolue au cours de la saison pour les cultures annuelles ;
- le type de sol et sa réserve utile (dose unitaire plus faible et fréquence plus élevée sur des sols à faible réserve) ;
- la disponibilité en eau d'irrigation (tours d'eau éventuels) ;
- les possibilités et les contraintes liées aux équipements d'arrosage ;
- les moyens humains et techniques disponibles sur l'exploitation.

Quelques règles à retenir :

1. La dose maximum pour un apport est celle qui reconstitue la réserve facilement utilisable (RFU) en eau du sol, dans la zone exploitée par les racines.

Exemple :

Pêchers enracinés à 80 cm

Sols de texture moyenne contenant 30 de cailloux

RU d'environ 90 mm et RFU de 60 mm

Dose maximum pour un apport = 60 mm.

2. Pour les cultures annuelles, tenir compte de la progression de l'enracinement en profondeur en cours de cycle. Un fractionnement important s'impose en début de cycle lorsque l'enracinement est faible, pour limiter le risque de perte de l'eau en profondeur et de non satisfaction des besoins de la culture.
3. Des apports fréquents et à faible dose permettent de suspendre les irrigations de façon réactive en cas de pluie et de mieux valoriser ces dernières.

4. Attention : **en irrigation localisée**, le matériel n'assure pas une répartition de l'eau sur la totalité de la parcelle (par exemple en micro-jet, goutte-à-goutte). Les apports se trouvent concentrés à proximité des émetteurs, tandis que certaines zones restent sèches. **Il est dans ce cas indispensable d'augmenter le fractionnement des apports** pour éviter les pertes d'eau par drainage en profondeur à la verticale des émetteurs.

Exemple :

une parcelle de vigne, équipée en goutte-à-goutte avec une densité de 1 émetteur pour 2,5 m² (4 000 émetteurs par ha) et un rayon de diffusion de 40 cm autour de l'émetteur.

Lors d'une irrigation à raison de 100 m³/ha, soit 10 mm :

- 4/5 de la surface reste sèche ;
- 1/5 de la surface reçoit la totalité de l'eau, soit environ 50 mm sous les goutteurs qui vont recharger le sol sur 50 cm de profondeur.

1.5 Comment prendre en compte les pluies ?

En cas de pluie, il est important d'évaluer leur contribution et le cas échéant de suspendre les irrigations. Pour gérer ce type de situation il est nécessaire :

- de connaître la hauteur de pluie, idéalement à l'aide d'un pluviomètre implanté à proximité ;
- d'estimer son efficacité (part perdue par ruissellement ou drainage) : cet exercice est très difficile...

► Calcul théorique :

Jours sans irrigation = PLUIE EFFICACE (mm) ÷ CONSOMMATION (mm/j)

Exemple :

Un épisode de pluie de faible intensité réparti sur deux jours fin avril, avec un cumul de **30 mm** considéré comme **efficace à 100 %**.

Des abricotiers consommant 1,7 mm/j.

Les irrigations peuvent être suspendues une quinzaine de jours.

(30 mm ÷ 1,7 mm/j = 18 j).

Cette approche par le calcul reste théorique et mérite d'être confortée à l'aide d'outils de pilotage (voir le paragraphe "Outils de pilotage" ci-après). Les critères de reprise des irrigations sont les mêmes que pour leur démarrage en début de saison.



Pluviomètre
automatique

© BRLE

2 Appliquer la dose voulue

A partir du moment où la dose objectif est déterminée, il est nécessaire de se donner les moyens de l'apporter effectivement, ce qui passe par :

- la connaissance des caractéristiques techniques de l'installation ;
- le contrôle de l'installation à fréquence régulière, son entretien et sa maintenance ;
- l'application des consignes d'irrigation (volume ou temps) en cohérence avec la dose objectif ;
- la vérification a posteriori que les apports effectivement réalisés sont conformes à l'objectif.

2.1 Connaître son installation

Les enquêtes menées auprès des producteurs montrent assez fréquemment une connaissance insuffisante du matériel d'irrigation utilisé :

- Quel est le débit des émetteurs ?
- Quelle est la pluviométrie de l'installation ?
- Quelle est la dose d'irrigation apportée, exprimée en mm (et non pas en heures) ?

2.1.1 Connaître le dimensionnement (maille, débit, pluviométrie) de l'installation

Pour chacun des postes d'irrigation il est nécessaire de connaître les caractéristiques de base suivantes :

- **Le débit global du poste** : en litres par heure (l/h)
- **Débit théorique du poste** : il se calcule à partir des données de conception de l'installation.

Débit du poste (l/h) = Débit d'un émetteur (l/h) x Nombre d'émetteurs

Attention : le débit de l'émetteur est susceptible de varier en fonction de la pression de service. Ces données sont disponibles auprès du fournisseur et installateur du matériel.

- **Débit effectif du poste** : à la mise en service de l'installation, puis à fréquence régulière, il est utile de mesurer le débit du poste en complément du calcul théorique précédent. Cette mesure nécessite de disposer d'un compteur volumétrique. En fonctionnement stabilisé de l'installation, mesurer le volume passé pendant un temps donné et en déduire le débit.

Débit du poste (l/h) = (Index final - Index initial) ÷ Durée de la mesure

- Attention aux unités utilisées : ne pas oublier les conversions éventuellement nécessaires (volume en litres et durée en heures).

Il est très important de procéder à cette mesure :

- Le débit effectif peut s'écarter de façon significative du débit théorique du projet (pour un problème de pression par exemple). Dans l'ignorance du débit réel de l'installation, on s'expose à un risque de sur ou sous dosage.
- Un débit "anormal" peut être un symptôme de dysfonctionnement : fuite, colmatage, pression insuffisante... qui conduira à réaliser un diagnostic de l'installation et traiter le problème une fois identifié.

- **La surface** arrosée par le poste : en mètres carrés (m²).

- **La maille** : en mètres carrés (m²). Elle correspond à la surface de la parcelle affectée à un émetteur. Elle se calcule de 2 façons :
 - › En divisant la surface du poste par le nombre d'émetteurs.
 - › En multipliant la distance entre 2 émetteurs par l'écartement entre deux rampes.

Exemple 1 :

Couverture intégrale en culture légumière de plein champ.

Ecartement entre deux rampes : 12 m

Ecartement entre deux asperseurs : 12 m

Maille = $12 \times 12 = 144 \text{ m}^2$

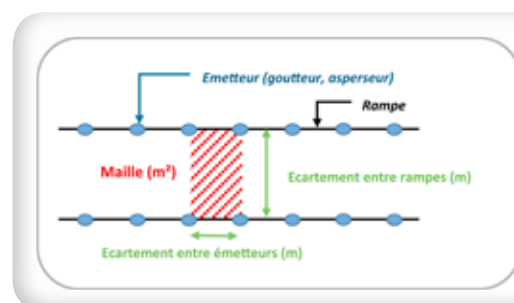
Exemple 2 :

Goutte-à-goutte sur vigne.

Ecartement entre deux rampes : 2,25 m

Ecartement entre deux goutteurs : 1 m

Maille = $2,25 \times 1 = 2,25 \text{ m}^2$



► La pluviométrie

La pluviométrie horaire correspond à "l'intensité" de l'irrigation.

Elle se calcule de deux façons possibles :

Pluviométrie (mm/h) = Débit du poste (l/h) ÷ Surface du poste (m²)

ou Pluviométrie (mm/h) = Débit d'un émetteur (l/h) ÷ maille (m²)

Remarque : Le débit d'une installation et sa pluviométrie sont dépendants de la pression dans le réseau d'irrigation (sauf en cas d'émetteur autorégulant). Des variations de doses significatives peuvent donc être occasionnées par :

- › Des fluctuations de pression ignorées ou non contrôlées par un régulateur.
 - › Se prémunir à l'aide d'un régulateur de pression, contrôler avec une prise de pression manométrique.
- › L'utilisation de postes déséquilibrés ou à géométrie variable dans le temps.
 - › Accorder toute l'importance nécessaire à la bonne conception de l'installation.

2.1.2 Cas des enrouleurs, pivots, rampes

Ces matériels d'irrigation ont la particularité d'être dotés d'un ou plusieurs émetteurs mobiles, ce qui conduit à une approche différente, non détaillée dans le présent document.

2.1.3 Connaître les équipements qui constituent son installation

- Disposer d'un plan descriptif de l'installation : emplacement des différents équipements (depuis l'alimentation en eau jusqu'à l'émetteur), écartement entre rampes, écartement entre émetteurs.
- Noter les caractéristiques techniques des différents équipements. L'objectif est d'être en mesure de remplacer les matériels défectueux par des équipements identiques. Remarque : l'hétérogénéité de la pluviométrie en aspersion s'explique le plus souvent par le remplacement des asperseurs par d'autres modèles au débit différent.
- Il est utile de rassembler ces éléments ainsi que les données de dimensionnement (pression nominale de fonctionnement, débit du poste, pluviométrie) sur une fiche de synthèse.

2.2 Contrôle et maintenance

Le bon fonctionnement d'une installation d'irrigation passe par un contrôle et une maintenance réalisés à fréquence régulière.

2.2.1 Les opérations de routine

► Avant la mise en eau :

- Procéder à une inspection visuelle pour localiser les fuites éventuelles et le mauvais fonctionnement de certains émetteurs.
- Contrôler l'état des filtres et le bon fonctionnement des programmeurs.
- Purger les rampes.
- Contrôler la conformité de la pression (prises de pression en différents points du réseau + manomètre) et du débit global du poste (compteur) par rapport aux caractéristiques initiales.

► **En période d'irrigation** : les contrôles préconisés avant la mise en eau méritent d'être répétés, la fréquence étant adaptée selon le type de matériel, la qualité de l'eau... Les contrôles visuels du matériel et de l'état de la végétation sont primordiaux.

► En fin de campagne d'irrigation :

- Renouveler les purges des rampes.
- Pour le goutte-à-goutte : injecter de l'acide (contre le calcaire) et du chlore (contre la matière organique). Il peut être parfois nécessaire de répéter ces opérations en cours de saison.
- Protéger l'installation contre le gel.

2.2.2 Vérification de l'uniformité de distribution

La vérification de l'uniformité des débits des émetteurs peut être nécessaire suite à certains constats (par exemple une culture qui souffre par endroits) ou simplement parce que le matériel vieillit. Ce contrôle permet de mettre en évidence d'éventuels problèmes de colmatage et autres dysfonctionnements.

► S'équiper :

- d'une montre permettant de compter une minute ;
- d'un récipient pour récupérer l'eau (à adapter selon le type d'émetteur : seau, tube PE, coupelle...) ;
- d'un récipient gradué pour mesurer le volume.

► Ouvrir le poste et attendre que le débit et la pression s'équilibrent.

► Mesurer le débit sur 16 émetteurs, répartis comme suit :

- sur 4 rampes différentes : la 1^{ère}, une rampe située au 1/3, une rampe située au 2/3 et la dernière ;
- sur 4 émetteurs par rampe : le 1^{er}, un situé au 1/3, un situé au 2/3 et le dernier.

- Classer les débits par ordre croissant et calculer :

- > La moyenne de l'ensemble des mesures :

$$Q_{\text{moy}} = \text{Somme des 16 débits} \div 16$$

- > La moyenne des 4 mesures les plus faibles :

$$Q_{\text{min}} = \text{Somme des 4 débits les plus faibles} \div 4$$

- > Le coefficient d'uniformité :

$$CU (\%) = Q_{\text{min}} \div Q_{\text{moy}} \times 100$$

CU > 90 % : uniformité satisfaisante, rien à signaler.

90 % > CU > 70 % : uniformité insuffisante.

Prévoir un nettoyage du réseau.

CU < 70 % : problème important

Diagnostic et intervention rapide nécessaires.



Compteur et électrovanne télégérés

2.3 Gestion de la dose d'arrosage

$$\text{Dose par arrosage (mm)} = \text{Besoin quotidien (mm/j)} \times \text{Écart entre 2 arrosages (j)}$$

Rappel : 1 mm = 1 litre par m² = 10 m³/ha

Pour appliquer correctement la consigne d'arrosage ainsi calculée, il est nécessaire de traduire cette dose en un temps d'irrigation ou un volume.

2.3.1 Dose et Temps d'irrigation

$$\text{Temps (h)} = \text{Dose (mm)} \div \text{Pluviométrie (mm/h)}$$

Ce calcul donne le temps d'ouverture du poste d'irrigation, géré soit manuellement, soit à l'aide d'un programmeur horaire.

Attention aux conversions heures / minutes. Exemple : 1,20 h = 1h12 mn.

2.3.2 Dose et Volume

$$\text{Volume (l)} = \text{Dose (mm)} \times \text{Surface (m}^2\text{)}$$

Ce calcul donne le volume passé pendant l'ouverture du poste d'irrigation.

Les vannes volumétriques qui intègrent un compteur, permettent de déclencher manuellement l'irrigation, tandis que la fermeture est automatique une fois la consigne atteinte.

Dans tous les cas, il est recommandé d'enregistrer les volumes apportés à l'aide d'un **compteur volumétrique** et ce à fréquence régulière. Cet équipement est précieux :

- Pour contrôler que les apports effectifs correspondent bien à l'objectif. Un écart significatif met en évidence un souci sur l'installation (survenue d'une fuite, d'un colmatage, erreur de programmation...).
- La connaissance précise des quantités d'eau apportées est nécessaire à une interprétation correcte des données fournies par les outils de pilotage des irrigations.

3 Ajuster sa pratique avec des outils de pilotage

Différents outils de pilotage sont disponibles, reposant sur des principes variés : suivi de l'eau dans la plante, suivi de l'eau dans le sol.

Les techniques concernées sont plus ou moins sophistiquées sur le plan de la mesure proprement dite, ainsi que sur le plan de l'enregistrement et du traitement des données.

De l'observation de l'humidité d'un sol par sondage à la tarière... À la mesure de flux de sève dans un rameau.

D'une valeur de tensiomètre à eau lue sur un manomètre à aiguille et notée sur un carnet...

À une valeur de tensiomètre électrique enregistrée en continue, transmise à distance et consultable depuis son téléphone portable sur un serveur internet.

3.1 L'apport des outils de pilotage

Les outils de pilotage permettent d'évaluer soit le niveau de la réserve en eau du sol, soit le niveau de stress de la culture. Les indications fournies constituent une aide à la décision :

- Pour **déclencher** la première irrigation, ajuster le rythme des suivantes, les suspendre à bon escient en cas de pluie.

Exemple : Tensiomètres - Déclencher les irrigations sur pêchers lorsque les capteurs installés à 30 cm de profondeur atteignent des valeurs de 30-40 cbar.

- Pour **valider ou corriger** les apports pratiqués.

- Les capteurs implantés dans la zone d'enracinement permettent d'évaluer le niveau d'alimentation en eau : satisfaisant, insuffisant (stress de la culture) ou excessif (risques d'asphyxie).
- Les capteurs implantés plus en profondeur au-delà de la zone d'enracinement permettent de mettre en évidence la bonne exploitation des réserves d'eau en profondeur lorsque la saison avance, et l'absence de pertes en eau par drainage.

Exemple 1 : Sonde capacitive - Les irrigations ne suffisent pas à maintenir l'humidité volumique du sol à un niveau satisfaisant dans la zone d'enracinement → Augmenter les apports.

Exemple 2 : Tensiomètre - Les capteurs installés en profondeur (au-delà du système racinaire) indiquent des valeurs proches de 0 cbar, signes de pertes d'eau par drainage → Diminuer la dose d'apport ou fractionner plus les irrigations.

3.2 Les outils les plus couramment utilisés

Avant de citer des outils de suivi des sols ou des plantes, il paraît bon de rappeler tout l'intérêt d'utiliser :

- **Un compteur volumétrique** : il s'agit d'un **outil peu coûteux, indispensable et préalable** pour maîtriser correctement ses apports.

Le compteur doit faire l'objet de relevés à fréquence régulière avec enregistrement et suivi des apports pratiqués.

Comme pour la plupart des outils de pilotage des irrigations, la possibilité d'enregistrer automatiquement et de transmettre à distance les données de consommation en eau facilite grandement ce suivi (moyennant un coût).

Le bilan hydrique : son intérêt a été largement présenté précédemment (point 1.1.). Il constitue la base des conseils diffusés dans le cadre des avertissements à l'irrigation.

Cet outil reste assez facile à s'approprier et à utiliser sur une exploitation agricole, à l'aide d'un simple tableur informatique.

Un certain nombre de logiciels de calcul du bilan hydrique ont été développés par les instituts de recherche, mais peu ont fait l'objet d'une application pour les irrigants.

On peut signaler le développement d'un service disponible via internet et proposant un conseil à l'irrigation de la vigne selon le principe du bilan hydrique.

- Sans oublier la simple **observation de l'état du végétal et du sol** (sondage à la tarière à main, à la bêche).

3.2.1 Les tensiomètres

Les sondes tensiométriques permettent de mesurer non pas la teneur en eau du sol, mais sa **disponibilité**. La tension mesurée, exprimée en centibar, traduit l'effort que doit exercer la plante pour extraire l'eau du sol.

Les sondes s'implantent dans le sol et y demeurent pendant la durée du cycle de la culture.

Deux types de sondes existent sur le marché :

- des tensiomètres à eau, avec lecture directe sur un manomètre. Ces sondes ne fonctionnent plus de manière satisfaisante au-delà de 80 cbar et sont à réserver aux cultures conduites en situation de confort hydrique (cultures légumières) ;
- des tensiomètres électriques. La mesure se fait à l'aide d'un boîtier déplacé de sonde en sonde.



Tensiomètres

Pour la mise en œuvre pratique de ces outils, se référer à des documents de référence qui fournissent des conseils pour leur pose et leur utilisation : Guide pratique Irrigation (IRSTEA Editions) ou Fiches "L'eau fertile" de l'ARDEPI.

La tensiométrie est un des modes de pilotage le plus abordable et adapté à la majorité des cultures :

- l'investissement est modéré dans la configuration simple tensiomètre + boîtier de mesure ;
- son installation est aisée ;
- les règles d'interprétation sont simples.

Pour autant, elle présente des limites qui peuvent en restreindre l'usage et notamment :

- la mesure manuelle à fréquence régulière, la saisie des résultats, la mise en graphique peuvent être jugées contraignantes (c'est la contrepartie du côté économique de l'outil) ; des moyens d'enregistrement et transmission automatique permettent de s'affranchir de cette contrainte.
- les tensiomètres ne fonctionnent plus au-delà d'un certain niveau d'assèchement du sol, et de ce fait ne conviennent pas bien pour les cultures conduites en situation de rationnement en eau (vigne principalement).

3.2.2 Les sondes capacitatives

Les sondes capacitatives donnent une mesure de la **teneur en eau** du sol à partir de mesures de type électromagnétique. Les capteurs utilisés sont soit fixes dans le sol, soit déplaçables pour faire une mesure au niveau de tubes préalablement installés dans le sol.

Les sondes fixes constituent une alternative aux tensiomètres. Comme pour ces derniers, le coût relativement élevé du matériel n'est pas tant lié au capteur lui-même, qu'aux équipements connexes d'enregistrement automatique, transmission à distance et de traitement des données. Toutefois, ces coûts associés à la télégestion des données baissent sensiblement en cette période de rapide évolution technologique.

L'interprétation des teneurs mesurées nécessitent en général une phase préalable de "calage".

3.2.3 Le cas particulier de la vigne

La conduite de l'irrigation de la vigne présente des spécificités qui font que les outils cités ci-dessus ne sont pas les plus adaptés.

Les tensiomètres et les sondes capacitatives permettent de suivre l'évolution de la réserve en eau du sol, mais difficilement au-delà de 80 cm de profondeur. Les tensiomètres ne fonctionnent plus à partir d'un certain niveau d'épuisement de la réserve en eau, alors que la vigne s'alimente encore correctement.

Dans ces conditions, les outils recommandés pour le suivi de la vigne sont les suivants :

- Le bilan hydrique et les avertissements à l'irrigation.
- Le suivi des croissances de rameau (croissances d'apex).
- Les mesures de potentiel foliaire de base.

Il s'agit incontestablement de la mesure de référence pour mesurer l'état hydrique de la vigne. Elle se réalise à l'aide d'une chambre à pression dite de Scholander. Il s'agit d'estimer, à l'aide de la pression d'un gaz neutre appliqué sur une feuille, la capacité des cellules à retenir l'eau. Moins il y aura d'eau libre dans la plante, plus la pression nécessaire pour la faire sortir sera forte. Le résultat, la pression nécessaire pour extraire la sève de la feuille, est exprimé en Bar ou en Mpa, toujours en valeur négative. Ce potentiel représente l'état hydrique de l'organe à un instant donné et peut être mesuré sur toute feuille et à toute heure selon ses objectifs. Il peut permettre notamment de suivre l'évolution de la contrainte au cours de la journée. Il existe une forte variabilité entre feuilles et son interprétation peut s'avérer problématique. On préférera plutôt le potentiel hydrique foliaire de base

Ce potentiel (phfb) représente un équilibre entre l'état hydrique de la vigne et l'état hydrique du sol. La mesure se réalise en fin de nuit, avant le lever du soleil. Il s'agit d'un indicateur robuste qui a permis d'obtenir de solides seuils de référence de l'état hydrique de la vigne, validés à l'échelle internationale. Ces seuils peuvent varier suivant les cépages. Il existe une faible variabilité entre feuilles. Il s'agit d'une méthode adaptée aux vignobles à forte contrainte hydrique de type méditerranéen (source IFV).

Malgré l'intérêt de chacun de ces outils, aucune des mesures qu'ils fournissent ne se suffit à elle seule.

Ainsi, pour une conduite "de base" de l'irrigation de la vigne, les viticulteurs se fieront aux avertissements irrigation diffusés par certains organismes de la région et les compléteront utilement par des mesures de croissance d'apex sur leurs parcelles.

Pour les viticulteurs qui souhaiteraient tendre vers une conduite de précision, le complément "modèle" et "potentiel hydrique foliaire de base" est intéressant et se développe actuellement via des plateformes internet proposant des conseils à l'irrigation de la vigne basés sur le principe du bilan hydrique.

3.3 Les grands principes communs à tous les outils

Quels que soient les outils utilisés, un certain nombre de précautions sont à respecter au risque de fausser la validité des mesures effectuées :

- S'assurer du **bon état du capteur**.

Exemple : tester les tensiomètres électriques avant de les poser, selon la procédure recommandée par le fournisseur.

- Réaliser les mesures dans une **situation représentative**.

- Des types de sols présents sur la parcelle.
- De l'état général de la culture.
- Pour les capteurs installés dans le sol, leur positionnement doit tenir compte :
 - De la distribution en eau, qui sera très différente entre une couverture intégrale par aspersion et une irrigation localisée en goutte-à-goutte.
 - De la localisation du système racinaire. Il est intéressant de disposer des capteurs dans la zone d'enracinement pour s'assurer d'une alimentation en eau suffisante, mais également en-dessous pour vérifier l'absence de pertes en eau en profondeur.

Cela suppose une bonne connaissance de sa parcelle, de la culture et de son enracinement, du système d'irrigation et de la diffusion de l'eau dans le sol (des sondages préalables à la tarière à main peuvent fournir des indications précieuses).

Une parcelle étant rarement homogène, il est intéressant de **reproduire la mesure en différents points** pour une meilleure appréciation de la situation. Ceci est plus ou moins faisable selon le coût du capteur, la difficulté de son installation et le temps nécessaire à la réalisation de la mesure.

Exemple 1 : Comptage de la croissance des rameaux sur vigne : une simple observation ne nécessitant aucun matériel, que l'on peut multiplier sur la parcelle en peu de temps.

Exemple 2 : Mesure en continu de l'humidité volumique du sol à l'aide de capteurs capacitifs fixes installés à différentes profondeurs dans un tube. Le coût de l'outil et la difficulté à l'installer sur certains types de sols conduisent à limiter le nombre de points de mesure.

- Apporter beaucoup de soin lors de **l'installation du capteur**.

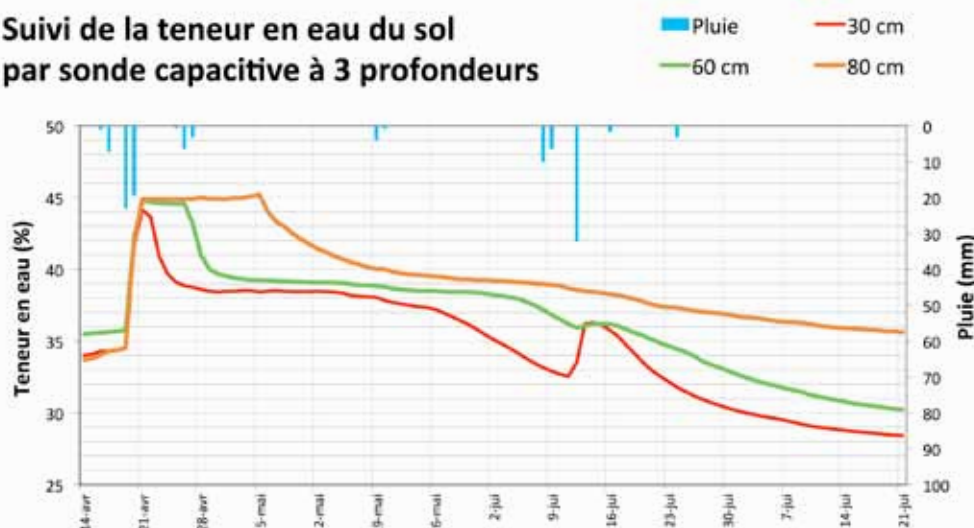
Exemple : assurer un excellent contact capteur / sol lors de l'installation d'une sonde capacitive.

- Respecter le **protocole de mesure** indiqué par le fournisseur du matériel.

Exemple 1 : Tensiomètre - Calibrer systématiquement la température de sol sur le boîtier de mesure.

Exemple 2 : Mesure de potentiel foliaire de base - Respecter les plages horaires pour la réalisation de la mesure.

Suivi de la teneur en eau du sol par sonde capacitive à 3 profondeurs



Quel que soit l'outil utilisé, la simple lecture instantanée de la mesure fournie n'est généralement pas suffisante pour une prise de décision. Les mesures nécessitent d'être traitées et interprétées :

- **Enregistrer** les mesures et les **illustrer sous forme graphique** pour interpréter les valeurs plus facilement. Il faut s'intéresser à la situation à un instant donné mais surtout à son évolution au cours du temps. Aujourd'hui, la majorité des capteurs peuvent être fournis avec des dispositifs d'enregistrement automatiques, une transmission à distance et une interface informatique archivant et mettant en forme les résultats.
- **Faire figurer les pluies et les irrigations** (date, hauteurs d'eau) sur les graphiques.
- **Interpréter** les mesures à partir de grilles d'interprétation adaptées à la culture concernée.

Exemple 1 : Tensiomètre - Sur salade, maintenir les tensions entre 20 et 50 cbar à 20 cm de profondeur.

Exemple 2 : Microvariations de diamètre d'organe – Pour des branches de pêchers de 30 à 40 mm de diamètre, la variation de diamètre au cours de la journée (Amplitude de Contraction Diurne) "normale" est de 0 à 150 μ m, et le seuil de stress se situe autour de 200 à 400 μ m.

3.4 D'autres outils...

Au-delà des outils cités aux points précédents, des techniques complémentaires existent.

Celles-ci ne sont pas abordées plus en détail dans le présent document car elles sont considérées comme difficilement appropriables par le plus grand nombre des irrigants (pour des raisons de complexité de mise en œuvre, de coût, d'aboutissement des outils d'interprétation...).

Elles présentent chacune leur intérêt spécifique et à ce titre méritent d'être citées :

- Mesure de la teneur en eau du sol : sonde à neutrons.
- Mesure de l'état hydrique des plantes :
 - > potentiel hydrique foliaire et potentiel de tige ;
 - > température de surface ;
 - > microvariations de diamètre d'organe ;
 - > flux de sève.