

MESURES DE TENSION, MESURES DE TENEUR EN EAU DANS LE SOL: UNE EXPÉRIMENTATION COMPARANT LES NOUVEAUX OUTILS POUR LE PILOTAGE DE L'IRRIGATION

# Measuring Soil Water Tension and Soil Moisture Content: an Experimental Comparison of the New Irrigation Scheduling Tools

BY I. BOYER – ARDEPI\*, DR. C. ISBÉRIE – IRSTEA\*\*, A.-M. MARTINEZ – CIRAME\*\*\*, M. BERUD – LYCÉE L. GIRAUD CARPENTRAS – A. DUFILS, SEA LA PUGÈRE\*\*\*\*

Au cours des 10 dernières années, de nouveaux appareils de mesure de l'état hydrique du sol et/ou dispositifs associés, pouvant être utilisés dans le pilotage de l'irrigation, sont apparus sur le marché.

*Over the last ten years, new devices for measuring the soil moisture content and/or other related appliances, which can be used for irrigation scheduling, have appeared on the market.*



Tarière pour pose de tube  
Soil auger for installing the tube

**E**N RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR, plusieurs organismes se sont associés (Station d'expérimentation La Pugère, Lycée L. Giraud, CIRAME, ARDEPI, GRCETA de Basse Durance) pour un essai comparatif des avantages ou inconvénients de quelques outils de mesure de l'eau dans le sol utilisés pour le pilotage de l'irrigation.

**I**N THE PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR REGION, a number of organisations have joined forces (La Pugère Experimental Station, L. Giraud High School, CIRAME, ARDEPI, GRCETA from Basse Durance) to carry out comparative tests on the advantages and disadvantages of some of the measuring devices used for irrigation scheduling.

Les mesures d'état hydrique du sol sont de deux types : mesures de teneur en eau, données ici par des sondes capacitatives, et mesures de tension (mesure de la disponibilité de l'eau du sol pour les plantes) données par des sondes tensiométriques.

### Rappel sur ces mesures :

**La mesure de teneur en eau** correspond à une notion facilement compréhensible, – sous les termes courants de « teneur en eau volumique » ou de « teneur en eau pondérale » –, mais ne délivre pas directement une appréciation de la disponibilité de l'eau pour les racines. En effet, selon le type de sol, une même teneur en eau peut correspondre à des disponibilités très différentes pour la culture ; en prenant des exemples extrêmes, un sol argileux, qui retient beaucoup l'eau, à 20 % de teneur en eau volumique peut apparaître et se comporter comme un sol quasiment « sec », ne pouvant pratiquement pas contribuer à l'alimentation hydrique de la culture. Or, avec ce même taux de 20 % de teneur en eau, un sable pourra apparaître comme engorgé... Il faudra donc, pour interpréter une mesure de teneur en eau, disposer d'un minimum de référentiel de mesures, sur une série temporelle assez étendue.

**Une mesure de « tension »**, faisant appel à des notions de rétention de l'eau par le sol, fournit directement des indications sur la disponibilité de l'eau. Cette notion de tension ne peut être reliée directement et simplement à des quantités d'eau. Son utilisation exige donc des développements de stratégies particulières et spécifiques.

On voit que les deux types de sonde n'ont pas forcément les mêmes modalités d'utilisation pratique pourtant elles sont toutes les deux utilisables pour le pilotage des irrigations. C'est pourquoi il a été jugé intéressant et utile de les tester dans un même essai.

Enfin, les développements technologiques de ces dernières années ont rendu plus aisés l'acquisition et le recueil des données, pour un ou plusieurs points de mesure : mise en mémoire, et/ou retransmission à distance. Notamment la possibilité de réaliser des mesures relativement rapprochées dans le temps apporte des éléments d'analyse et d'interprétation nouveaux. Ces éléments peuvent même parfois répondre en partie aux lacunes de chaque type d'appareil.

### Les tests réalisés

Trois types d'appareils ou de dispositifs de mesure de teneur en eau ou de tension de l'eau dans le sol ont été mis en place sur une parcelle d'essai au Lycée Louis Giraud à Carpentras (tableau 1) :

- des sondes tensiométriques fixes, de type Watermark<sup>®</sup>, mesure « classique » mais disposant à présent d'un recueil de données automatisé, le Monitor<sup>®</sup>,
- le Diviner 2000<sup>®</sup>, une sonde capacitive mobile, qui fournit des informations se rattachant à la mesure de teneur en eau,
- une autre sonde capacitive, l'Enviroscan<sup>®</sup>, basée sur le même principe de mesure que la précédente, mais restant à demeure dans le sol et pouvant recueillir les données à une fréquence élevée.

*There are two methods of measuring the soil moisture status: by taking the readings of the soil water content given by capacitive sensors and by taking the soil tension readings (measuring the soil water available to the plant) given by tensiometric sensors.*

### *So let's go over these forms of measurements:*

*Measuring the soil water content is an easily understood concept - under the current terms of "volumetric water content" and "water content by weight" - but it does not indicate directly the amount of water available to the roots. In fact, depending on the soil type, the same water content can correspond to very different availability levels for the crop; taking two extreme examples: a clay soil, which holds much more water, with a volumetric water content of 20%, can appear and behave like a soil that is almost "dry", being unable to contribute towards the crop's water requirements. However, with this same water content of 20%, a sandy soil can appear to be almost abundant in water... Therefore, in order to interpret fully the water content, it will be necessary to have a minimum point of reference for the measurement over quite a wide range of variables.*

*Measuring the "tension" relates to the concept of soil water retention, providing a direct indication of the availability of the water. This notion of soil tension cannot be linked directly and simply to the quantities of water in the soil. The use of this system, therefore, requires the development of particular and specific strategies.*

*We can see that the two types of sensor do not necessarily have the same kind of practical use, and yet they are both used in the scheduling of irrigation. This is why it has been considered useful and worthwhile to test them as part of the same set of experiments.*

*Finally, the technological developments of the last few years have made data acquisition and collection far easier, for one or more points of measurement: e.g. writing to memory and/or remote transfer. In particular, the possibility of carrying out measurements relatively close together in time has resulted in the introduction of new analysis and interpretation criteria. These factors may sometimes help to make up for the gaps in the performance of the different kinds of devices.*

### *The test carried out*

*Three types of equipment or devices for measuring soil moisture content or soil water tension were installed on a trial plot at the Louis Giraud High School in Carpentras (table 1):*

- *fixed tensiometric sensors, of the Watermark<sup>®</sup> type, using "traditional" readings, but now also available with automated data collection, via the Monitor<sup>®</sup>,*
- *the Diviner 2000<sup>®</sup>, a portable capacitance sensor, which holds information on the soil moisture content readings,*
- *another capacitance probe system, the Enviroscan<sup>®</sup>, based on the same measuring principle as the previous one, but remaining permanently in the soil and able to collect data at a high frequency.*

Tableau 1: Principales caractéristiques des appareils testés

**Table 1: Main characteristics of the devices tested**

Nom de l'appareil Name of device	Monitor®	Diviner 2000®	Enviroscan®
Fabricant Manufacturer	Irrrometer	Sentek	Sentek
Variable mesurée Measured variable	Tension Soil water tension	Teneur en eau volumique Volumetric moisture content	Teneur en eau volumique Volumetric moisture content
Mise en œuvre Installation	Capteur Watermark® fixe dans le sol Watermark® sensor fixed in the soil	Capteur mobile déplacé dans un tube de mesure Portable sensor moved in a measuring tube	Capteurs positionnés sur un support fixe dans le sol Sensors placed in a fixed support in the soil
Nombre de points de mesure Number of measuring points	1 par capteur Watermark®, soit 6 par Monitor® 1 per Watermark® sensor, i.e. 6 per Monitor®	1 capteur par appareil, mais sa mobilité permet de nombreux sites de mesures avec des mesures tous les 10 cm. 1 sensor per device, but its mobility allows for a number of measuring sites with measurements taken every 10 cm.	Capteurs positionnés tous les 10 cm sur un profil de sol Sensors positioned every 10 cm on the soil profile
Recueil des données Data capture	Centrale « Monitor® » "Monitor®" central display unit	Boîtier d'enregistrement Data Logger display unit	Boîtier d'enregistrement Data Logger display unit

La prise de décision du pilotage des irrigations avec ces outils s'établit par la corrélation entre plusieurs paramètres: positionnement du système racinaire, texture et structure du sol, observation des végétaux.

3 années consécutives de mesures et d'étude (2007 à 2009) ont permis de préciser l'utilisation de ces outils en climat méditerranéen sur un sol limono-sablo-argileux et de comparer leurs aptitudes pour l'aide au pilotage de l'irrigation sur un verger de pommiers (variété Pink lady®).

### Mise en œuvre et observations pratiques:

**Le Monitor®** équipé de sondes Watermark mesure la force avec laquelle l'eau est retenue par le sol, soit la disponibilité de l'eau pour les plantes. Le référentiel des seuils de pilotage existe et est largement utilisé. L'installation se fait facilement avec une tarière ou à la barre à mine. Il existe une lecture instantanée au champ. Le coût d'un Monitor® (1 sonde de température et 6 sondes Watermark® avec boîtier enregistreur automatique et logiciel) est de 800 euros environ.

Cependant le transfert sur ordinateur est obligatoire pour avoir une bonne lecture des résultats à l'aide du logiciel spécifique Monitor.

La durée de vie des sondes est donnée pour 5 ans.

**Interprétation.** Chaque fois que les courbes montent, la force avec laquelle le sol retient l'eau augmente, il y a une baisse de la disponibilité de l'eau pour la plante.

Chaque fois que les courbes baissent, la force avec laquelle le sol retient l'eau diminue, il y a eu un apport d'eau.



*The irrigation scheduling decision made with these tools is based on the correlation between a number of parameters: positioning of the rooting system, soil texture and structure, observation of the plants.*

*3 consecutive years of measurement and study (2007 to 2009) have enabled us to be able to specify the use of these tools in a Mediterranean-type climate on a sandy clay loam type soil and compare their aptitude for assisting in the irrigation scheduling of an apple orchard (Pink lady® variety).*

### Implementation and practical observations:

**The Monitor®** equipped with Watermark sensors measures the force required to retain the water in the soil, i.e. the availability of water for the plants. A reference system for the scheduling thresholds exists and is widely used. Installation is carried out with a soil auger or crowbar. There is an instantaneous reading in the field. The cost of a Monitor (1 temperature sensor and 6 Watermark sensors with display monitor and software) is about 800 euros.

Nevertheless, the data has to be transferred to a computer so that the results can be read properly with the special Monitor software.

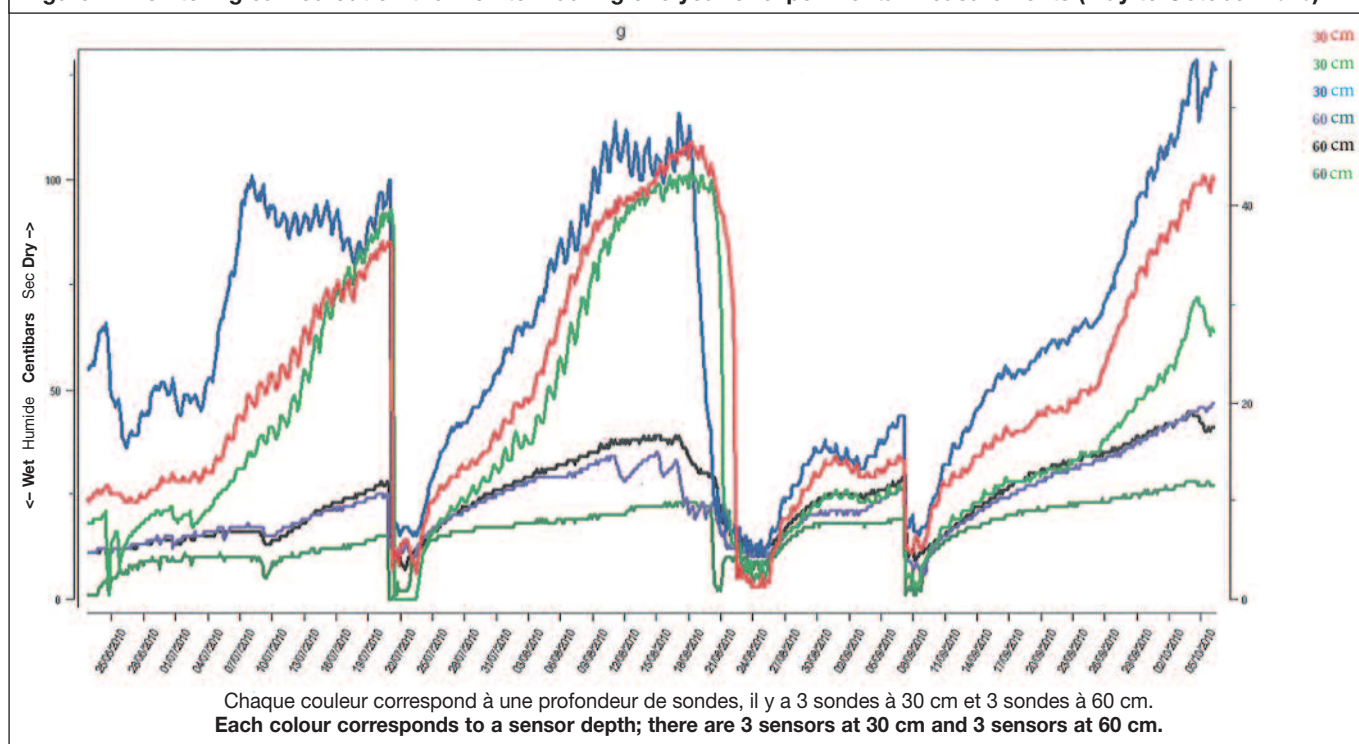
*The life span of the sensors is given as 5 years.*

**Interpretation.** The upward sloping curves represent an increase in the tension or force exerted by the soil to retain the moisture, and thus there is a decrease in the soil water availability for the plant.

The downward sloping curves represent a decrease in the tension or force exerted by the soil to retain the moisture, and thus there has been an application of water.

Figure 1 : Suivi réalisé sur Monitor® au cours d'une année de mesures (mai à octobre 2010)

Figure 1: Monitoring carried out on the Monitor® during one year of experimental measurements (May to October 2010)



En arboriculture, sur ce type de sol, des seuils avaient été estimés : de 0 à 20 cbar l'eau est très disponible voir en excès, de 20 à 80 cbar l'eau est disponible, au-delà de 80 cbar l'eau devient peu disponible pour les racines.

Les mesures des sondes équipées de capteurs capacitifs sont fonction de la teneur en eau volumique du sol, donc n'indique pas la disponibilité de l'eau pour la plante. Il s'agit d'un matériel récemment distribué sur notre région. Les seuils de pilotage sont, avant tout, à établir en fonction de chaque type de sol. L'installation des tubes supports des sondes capacitives nécessite une tarière spécifique, cette installation en milieu caillouteux n'est pas aisée.

Les sondes capacitives sont manuelles et mobiles, telles le Diviner 2000® ou fixes et à enregistrement automatique, tel l'Enviroscan®. Le coût d'une sonde fixe Enviroscan® solo avec 4 capteurs est de 2000 euros auxquels il faut ajouter environ 500 euros pour la licence du logiciel Irrimax.

Mais il n'y a pas de lecture disponible directement au champ, seul un transfert des données sur ordinateur à l'aide du logiciel spécifique Irrimax peut donner accès aux mesures. Une année de mesure est nécessaire pour caler les seuils de pilotage d'une parcelle : il est nécessaire de définir les seuils maxi (Full Point) et mini (bas RFU) de la réserve utilisable (RU) par les plantes. Le référentiel des seuils de pilotage selon les types de sol n'est pas encore disponible.



In the cultivation of fruit trees, thresholds have been estimated for this type of soil: from 0 to 20 cbar the water is very available, and there may even be excess, from 20 to 80 cbar water is fairly available, but above 80 cbar the water becomes unavailable to roots. The readings taken from devices equipped with capacitance sensors show the volumetric soil moisture content, without there being any indication of its availability to the plant. This is the equipment that has recently been distributed in our region. Above all, the operating thresholds need to be established for each type of soil. Installing the tubes that support the capacitive probes requires a special auger; and this installation in a stony location is not easy.

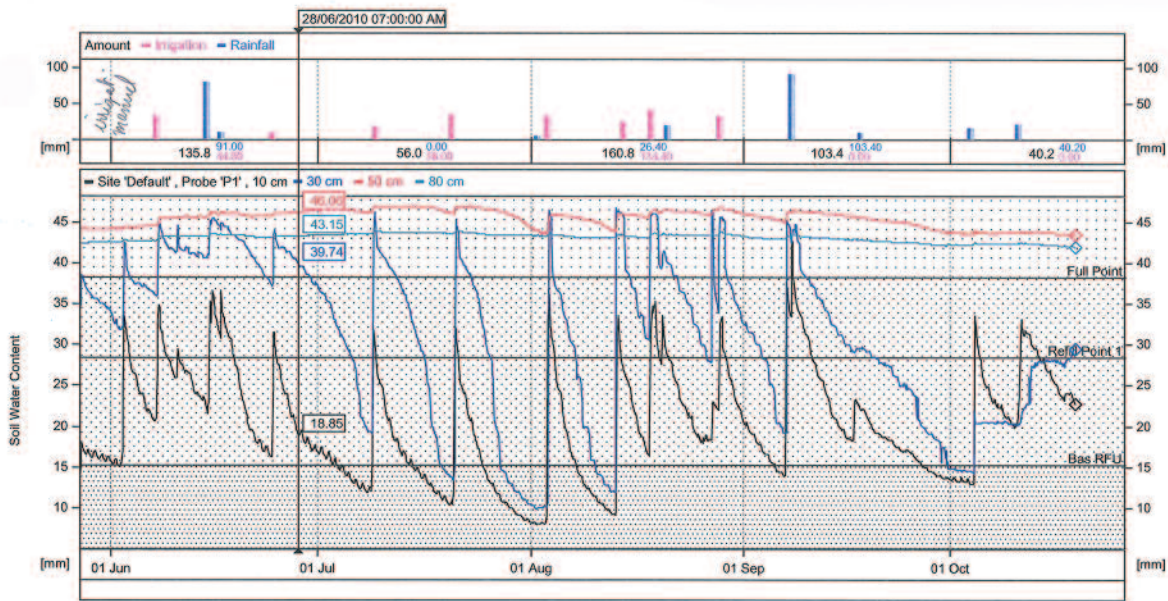
The capacitance sensors are either hand-held and portable, such as the Diviner 2000®, or fixed, with automatic data logging, such as the Enviroscan®.

The cost of a solid-set Enviroscan® solo probe with 4 sensors is 2,000 euros, with an additional 500 euros for the Irrimax software licence.

However, readings cannot be taken directly in the field, the data having to be transferred to a computer via the special Irrimax software in order for the information to be accessed. One year's measurements are required to obtain the irrigation scheduling threshold values for a plot: the maximum and minimum threshold values need to be defined for the water readily available to the plants (RAW). The frame of reference is not yet available for the irrigation scheduling threshold values of the different types of soil.

Figure 2 : Exemple de suivi de teneur en eau du sol avec une sonde capacitive fixe, type Enviroscan® pendant l'expérimentation (juin à octobre).

**Figure 2: Example of monitoring soil moisture content with an Enviroscan® type solid set capacitance probe during the experimentation (June to October).**



Chaque couleur correspond à une profondeur de sol mesurée.  
Each coloured curve corresponds to a given depth of soil measured

**Interprétation.** Lorsque les courbes montent cela correspond à un apport d'eau de pluie ou d'irrigation.

Lorsque les courbes baissent cela correspond à une diminution de l'eau dans le sol, soit due à la consommation d'eau par les racines des plantes présentes, soit à l'évaporation de l'eau par le sol, soit due à l'infiltration de l'eau vers des horizons plus profonds.

La zone haute du graphique identifiée « Full Point » correspond à une zone de saturation en eau du sol à 30 cm. Cette zone peut être caractérisée en période hivernale pluvieuse, ou en créant artificiellement un apport d'eau excédentaire.

La zone basse du graphique identifiée « Bas RFU » peut être définie durant une période de faible apport d'eau et de grande demande en eau des plantes et d'évaporation du sol.

La zone intermédiaire correspond à une zone de disponibilité en eau « acceptable » pour les plantes. L'eau sera très disponible lorsque les courbes mesurées se situeront vers le haut de cette zone, l'eau sera moins disponible lorsque les courbes se situeront vers le bas de cette zone.

Utilisation pour le pilotage de l'irrigation en verger lors de l'expérimentation : Deux modalités ont été installées, l'une équipée d'un Monitor®, l'autre des sondes capacitatives. Les doses d'irrigation ont été déterminées indépendamment sur chacune des modalités selon les critères suivants :

- Le pilotage tensiométrique a été conduit de façon à maintenir des

**Interpretation.** An upward sloping curve corresponds to a period of rainfall or an application of irrigation water.

A downward sloping curve corresponds to a reduction in soil water, either due to consumption by the plants' roots, or evaporation of the water into the atmosphere or infiltration of the water down to lower layers.

The upper zone of the graph, identified as the "Full Point" corresponds to a saturated soil zone at 30 cm. This kind of zone can occur during a rainy winter period or it can be created artificially by applying too much water.

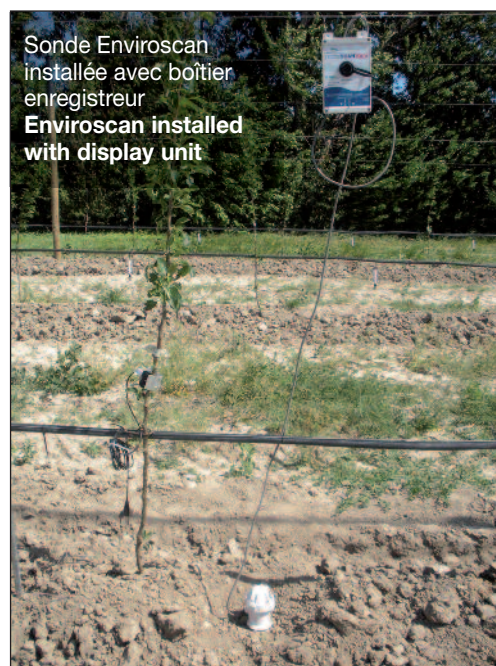
The lower zone of the graph, identified as the "Depleted Level of Readily Available Soil Water", can occur during a period when low amounts of water are applied and there is a high demand for water from the plants and through soil evaporation.

The intermediate zone corresponds to a zone with an "acceptable" level of available water for the plants. The water will be available when the measured and plotted points on the graph are situated towards the top end of this zone, and water will be less available when the plotted points of the graph are situated towards the lower end of this zone.

**Their use for scheduling the irrigation of fruit-tree orchards during the experiments:**

Two types (methods) were installed, one fitted with a Monitor®, the other having capacitance sensors. The irrigation amounts applied were determined independently for each method, in accordance with the following criteria:

- Tensiometric irrigation scheduling has been carried out in such a way that the average soil water tension values are maintained at 60 cbar,



Sonde Enviroscan installée avec boîtier enregistreur  
Enviroscan installed with display unit

tensions moyennes pour ce type de sol à 30 cm de profondeur à 60 cbar depuis le déclenchement des irrigations et jusqu'à la fin du grossissement des petits fruits; après ce stade, le seuil a été relevé à 80 cbar jusqu'à la récolte.

- Le pilotage à partir des teneurs en eau a été mené et affiné au fil des années afin de garder une réserve hydrique minimale de 20 mm à 30 cm de profondeur.

Les pluies et irrigations, ainsi que les mesures de grossissement des fruits ont été enregistrées hebdomadairement.

### Résultats de 3 années d'études :

Au bout de 3 années, chaque matériel a prouvé son bon fonctionnement et sa capacité à piloter l'irrigation avec la même précision grâce aux stratégies adoptées.

En 2009, dernière année de l'essai, le bilan des irrigations est le suivant :

Sur la modalité Monitor<sup>®</sup>, l'irrigation a débuté le 30 mai 2009 avec 13 apports et l'arrêt des irrigations le 10 septembre.

Sur la modalité sondes capacitatives, les irrigations ont débuté le 5 juin avec 12 irrigations et un arrêt le 11 septembre.

Les quantités d'eau apportées en fonction des outils de pilotage sur chacune des modalités ont été comparables, soit environ 270 mm d'irrigation (soit un total pluies + irrigations de 650 mm).

Les rendements obtenus après deux passages de cueille ont été sur les deux modalités similaires soit environ 80 t/ha.

La fiabilité des données recueillies est fonction du choix du site dans la parcelle et du positionnement de la sonde de mesure par rapport aux aspersion.

Quel que soit le système de mesures utilisé, il est primordial de réaliser :

- un suivi régulier des courbes,
- un suivi de l'état du sol à la tarière sur la parcelle.

Les mesures obtenues par les outils de pilotage doivent être mises en corrélation avec les indicateurs plantes de la culture, pour permettre une prise de décision d'irriguer pertinente.

Le compte rendu de l'essai est disponible sur les sites de La station la Pugère, de l'ARDEPI sous le titre : Gestion économe de l'eau en verger de pommier.

Pour en savoir plus : [www.ardepi.fr](http://www.ardepi.fr) - [www.lapugere.com](http://www.lapugere.com)

at a depth of 30 cm, from the start of the irrigation cycle until the fruit set stage; after this stage, the threshold was increased to 80 cbar up until the harvest.

- The scheduling method based on soil water content has been carried out and refined over the years to maintain a minimum soil water reserve between a depth of 20 mm and 30 cm from the surface. The rainfall and irrigation applications, as well as readings for the size of the fruits, have been recorded on a weekly basis.

### Results of 3 years of studies:

At the end of the 3-year period, we are able to confirm that each device operated correctly and that they all had the same capacity to assist in the irrigation scheduling with the same accuracy.

In 2009, the final year of experiment, the irrigation applications can be summarised as follows:

With the Monitor<sup>®</sup> method, irrigation began on 30th May 2009 with 13 applications and irrigation ended on 10th September.

With the capacitance sensor system, irrigation began on 5th June with 12 applications and ended on 11th September.

The quantities of water applied in accordance with the scheduling tools used on each system are comparable, i.e. around 270 mm of irrigation water (the total for rainfall plus irrigations being 650 mm).

The yields obtained after two harvests had been gathered have been similar, i.e. about 80 t/ha.

The reliability of the data collected depends on the choice of site within the plot and the positioning of the measuring probe vis-à-vis the sprinklers.

Whatever the measuring system used, it is essential to carry out:

- regular monitoring of the graph,
- monitoring of the soil status via the test hole made in plot.

The readings obtained by the scheduling tools must be correlated with the agronomic indicators of the crop, in order to be able to make the correct irrigation scheduling decisions.

The full test report can be read on the Web Sites of the La Pugère Station and ARDEPI under the heading: Optimised Water management of Fruit-tree orchards.

For more information visit: [www.ardepi.fr](http://www.ardepi.fr) - [www.lapugere.com](http://www.lapugere.com)

**WATERMARK<sup>®</sup>**

Soil Moisture Sensors that tell you  
**WHEN and HOW MUCH to irrigate**

Measure Manually or Automatically

**IRROMETER<sup>®</sup>**  
RIVERSIDE, CALIFORNIA • U.S.A.  
+1-951-689-1701  
[www.IRROMETER.com](http://www.IRROMETER.com)

Optimizing Irrigation... Maximizing Conservation... Worldwide Since 1951