

Utilisation des variations micrométriques des diamètres de tiges et de fruits de clémentiniers pour le pilotage des irrigations.

H. VANNIERE*

THE USE OF MICROMETRIC VARIATIONS IN CLEMENTINE STEM AND FRUIT GIRTHS FOR IRRIGATION MANAGEMENT.

H. VANNIERE.

Fruits, Numéro spécial Agrumes 1992, p. 219-227.

ABSTRACT - The continuous variation of stem or fruit diameter is recorded by means of non destructive measurement methods with an accuracy of 10^{-5} m. The reaction of the plant to environmental changes is correlated with the two parameters studied : daily diameter variation and contraction amplitude.

Proper monitoring of irrigations with the PEPISTA system is obtained by computing spatio-temporal heterogeneity of the measures and by a correct identification of the water stress signals.

UTILISATION DES VARIATIONS MICROMETRIQUES DES DIAMETRES DE TIGES ET DE FRUITS DE CLEMENTINIER POUR LE PILOTAGE DES IRRIGATIONS.

H. VANNIERE.

Fruits, Numéro spécial Agrumes 1992, p. 219-227.

RESUME - La mesure non destructive de l'évolution continue du diamètre de tige ou de fruit avec une résolution de 10^{-5} m traduit au travers de deux paramètres : évolution journalière du diamètre (ED) et amplitude de contraction (AC), le comportement de la plante face à toute modification de son environnement.

Pour piloter les irrigations avec le système PEPISTA, il est nécessaire de gérer les hétérogénéités spatio-temporelles des mesures et d'identifier correctement les signaux d'une contrainte hydrique.

INTRODUCTION

Dans la pratique agricole, la gestion des irrigations est souvent basée soit sur la demande climatique par la tenue d'un bilan hydrique soit en suivant la disponibilité en eau du sol par mesures tensiométriques. Ces deux approches simples à mettre en oeuvre, présentent des inconvénients :

- La méthode du bilan hydrique nécessite d'utiliser des coefficients correcteurs de l'ETP qui ont été déterminés empiriquement et dont la fiabilité n'est pas totale. Il est d'autre part nécessaire de connaître la réserve en eau du sol à la fin de la période pluvieuse et d'en estimer la fraction facilement utilisable par la plante. Ces deux derniers points sont souvent très mal estimés voire ignorés.

- La difficulté d'un suivi tensiométrique réside dans la faible représentativité de la mesure qui ne donne une information que pour les quelques centimètres proches de la bougie poreuse. L'hétérogénéité des sols ainsi que celle de la répartition de l'eau par le système d'irrigation nécessitent

un grand nombre de points de mesures pour obtenir une bonne image de la disponibilité hydrique. D'autre part, la gamme de lecture est faible : 0 à 0.8 bar ce qui correspond à une bonne disponibilité hydrique et ne permet pas de suivre un certain dessèchement du sol.

Il est préférable pour piloter l'irrigation d'utiliser des critères d'observations de la plante qui soient le reflet de son statut hydrique. Parmi les indicateurs physiologiques les plus utilisés citons :

- le potentiel hydrique foliaire et tout spécialement le potentiel de base mesuré avant le lever du jour à l'aide d'une chambre à pression ;

- la conductance stomatique mesurée à l'aide d'un poromètre.

Le potentiel de base est considéré comme un des indicateurs les plus fiables du statut hydrique d'une plante (JONES, 1984). Il présente le double défaut d'être destructeur et de ne pas être automatisable. La conductance stomatique est très influencée par l'environnement microclimatique (rayonnement, vent, hygrométrie), elle présente une grande

* - CIRAD-IRFA - SRA de San Giuliano - 20230 SAN NICOLA O Haute Corse.

variabilité instantanée au sein d'une plante. Cela rend son emploi délicat.

Depuis quelques années de nouveaux outils ont été développés ; ils permettent le suivi indirect du statut hydrique de la plante par l'observation en continu de critères physiologiques qui sont directement sous sa dépendance :

- mesures micrométriques de diamètres de tiges ou de fruits (GARNIER *et al.*, 1985 ; HUGUET, 1985) ;
- mesures de la température de la surface foliaire par radiothermométrie (HATFIELD, 1990) ;
- mesures de flux de sève (COHEN *et al.*, 1981 ; GRANIER, 1987 ; VALANCOGNE *et al.*, 1989) ;
- détection de l'intensité des phénomènes de cavitation par mesures ultrasoniques (TYREE *et al.*, 1986).

Nous allons présenter ici les résultats obtenus avec la micrométrie et examiner dans quelle mesure son emploi est possible pour le pilotage de l'irrigation de clémentiniers.

MATERIEL ET METHODES

Le système PEPISTA (brevet INRA).

Ce système ainsi que le logiciel de gestion de données «TAMARIS» ont été développés par le LAMA (Laboratoire d'Automatismes et de Microinformatique appliqués) et la station d'Agronomie de l'INRA d'Avignon.

Il est composé d'un ensemble de capteurs de déplacement à induction différentielle (LVTD) dont la bobine est fixée sur un porte-capteur réalisé en INVAR (alliage Fer Nickel à coefficient de dilatation pratiquement nul). Ce dernier est solidaire de l'organe mesuré, généralement un fruit ou une tige. Une aiguille de fer doux fixée par un point de colle à l'organe observé se déplace à l'intérieur de l'axe creux de la bobine lors de toute modification du diamètre du fruit ou de la tige (figure 1). Le signal électrique correspondant est stocké dans un module d'acquisition de données. La résolution de la mesure permet d'enregistrer toute variation de l'ordre de dix microns (HUGUET, 1985).

Le matériel végétal.

Les observations ont été réalisées en 1990 et 1991, dans un verger de clémentiniers de la Station de Recherche Agronomique de San Giuliano en Corse. Les clémentiniers de la lignée SRA 63 sont indemnes de maladies de dégénérescence connues et, greffés sur citrange Carrizo. Ils ont été plantés en 1976 à un espacement de 6 x 4 m. L'irrigation est réalisée par un système d'aspersion sous frondaison. La parcelle est conduite de façon classique en désherbage total.

Dispositif expérimental.

En 1990, deux traitements hydriques ont été appliqués :

- irrigations par suivi d'un bilan hydrique à 0.7 ETP (A1),
- irrigations déclenchées par suivi micrométrique de char-

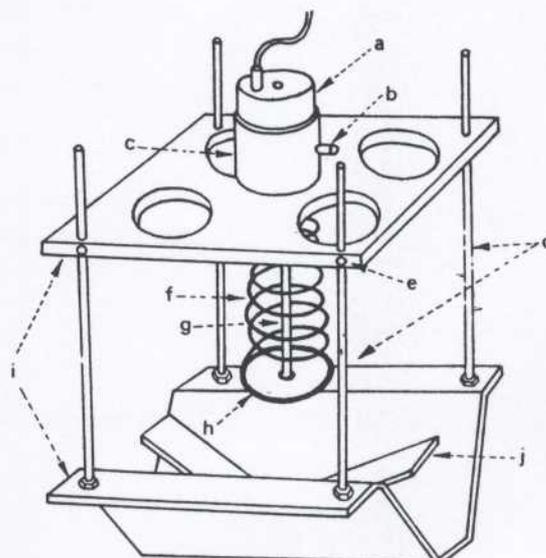


FIGURE 1 - Schéma d'un porte-capteur système PEPISTA.

- a - capteur de déplacement
- b - visserie pour la fixation du capteur
- c - cylindre guide pour le capteur
- d - tige INVAR
- e - visserie pour la fixation de la tige INVAR
- f - ressort de stabilisation
- g - tige sensible
- h - anneau plastique
- i - stabilisateurs
- j - stabilisateur supplémentaire en forme de V.

pentières (B1) ; le signal de forte contrainte hydrique est perçu par une diminution marquée de la croissance et une augmentation des amplitudes de contraction.

En 1991, quatre traitements hydriques ont été retenus :

- irrigations par suivi d'un bilan hydrique à 0.7 ETP (A1),
- irrigations par suivi d'un bilan hydrique à 0.46 ETP (A2),
- irrigations de 45 mm déclenchées par suivi micrométrique de charpentières (B1),
- irrigations de 30 mm déclenchées simultanément aux précédentes (B2).

Les parcelles élémentaires sont de 1000 m², les diverses observations sont réalisées uniquement sur un maximum de dix arbres de la partie centrale de celle-ci.

RESULTATS

Allure générale de l'évolution journalière des diamètres de tiges et de fruits.

Les variations de dimensions d'organes à parois souples (écorce du tronc ou d'une charpentière, fruits...) liées aux fluctuations du statut hydrique journalier de la plante ont été signalées depuis de nombreuses années (BARTHOLOMEW, 1923 ; HALMA, 1934). Le suivi micrométrique en temps réel de ces organes nous permet de mieux visualiser ces phénomènes. Sous l'effet du rayonnement solaire, les stomates s'ouvrent en début de matinée et la plante perd de

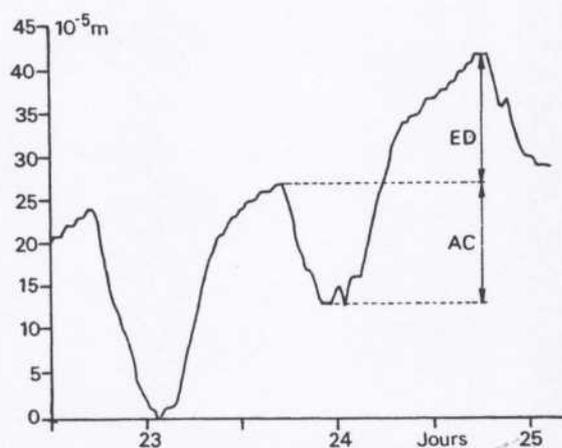


FIGURE 2 - Critères micrométriques journaliers .
Evolution de diamètre (ED)
Amplitude de contraction (AC).

l'eau par transpiration. Le flux hydrique est de nature non conservatif, la plante perd momentanément plus d'eau qu'elle n'en absorbe par son système racinaire, les organes à parois souples se contractent. Ce déséquilibre se maintient jusqu'en milieu d'après-midi lors d'une journée normalement ensoleillée. En fin d'après-midi et durant la nuit, la plante reconstitue ses réserves hydriques et peut exprimer son potentiel de croissance si la disponibilité en eau du sol est satisfaisante.

Deux critères seront retenus pour caractériser une journée (figure 2) :

- l'évolution nette de diamètre (ED) qui est la différence entre les deux mesures maximales du début de deux journées consécutives :

- l'amplitude de contraction journalière (AC) qui est la différence entre la mesure maximale de début de matinée et la mesure minimale de début d'après-midi du même jour.

Dans le cas d'une forte contrainte hydrique, l'amplitude de contraction augmente et l'évolution nette de diamètre diminue et peut même devenir négative.

Observation de la variabilité des mesures micrométriques.

• Variabilité temporelle.

L'enregistrement sur une longue période des variations micrométriques du diamètre d'une branche charpentière de clémentinier fait apparaître une variabilité des deux critères ED et AC en fonction du temps.

La croissance a une tendance rectiligne pendant la première phase de croissance, puis elle s'infléchit en fin d'été pour atteindre un plateau en automne et début d'hiver.

Les amplitudes de contraction connaissent également une variabilité liée à la contrainte hydrique résultant de la demande climatique (ETP) et à la disponibilité en eau du sol, elles atteignent des valeurs moyennes maximales en juillet et août (figure 3).

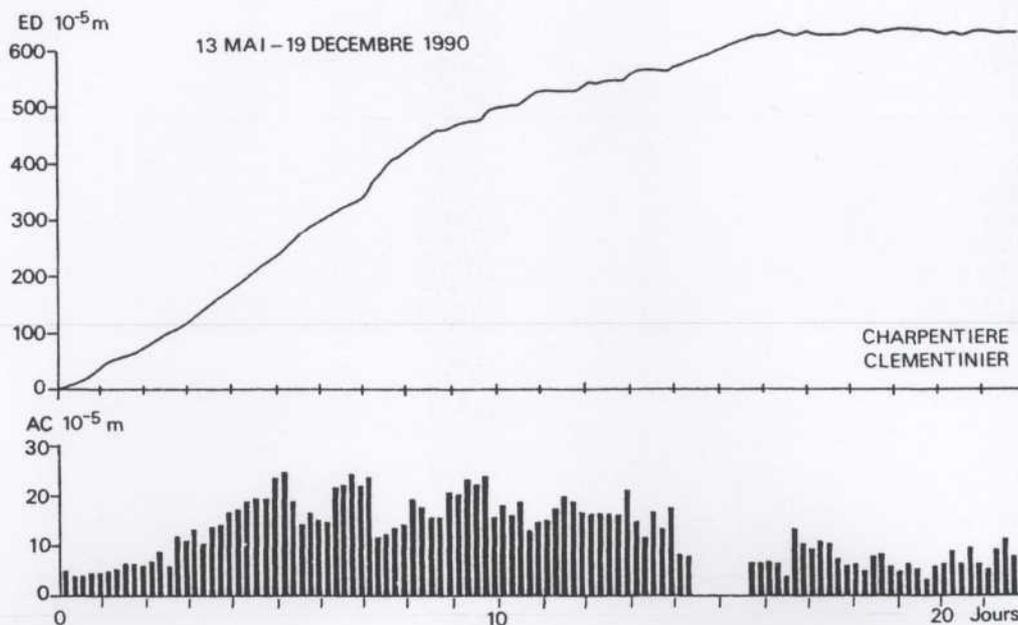


FIGURE 3 - Variabilité temporelle des évolutions du diamètre et des amplitudes de contraction d'une branche charpentière d'un clémentinier au cours d'une saison.
(en raison d'un violent orage, les données n'ont pas été enregistrées du 4 au 15 octobre 1990).

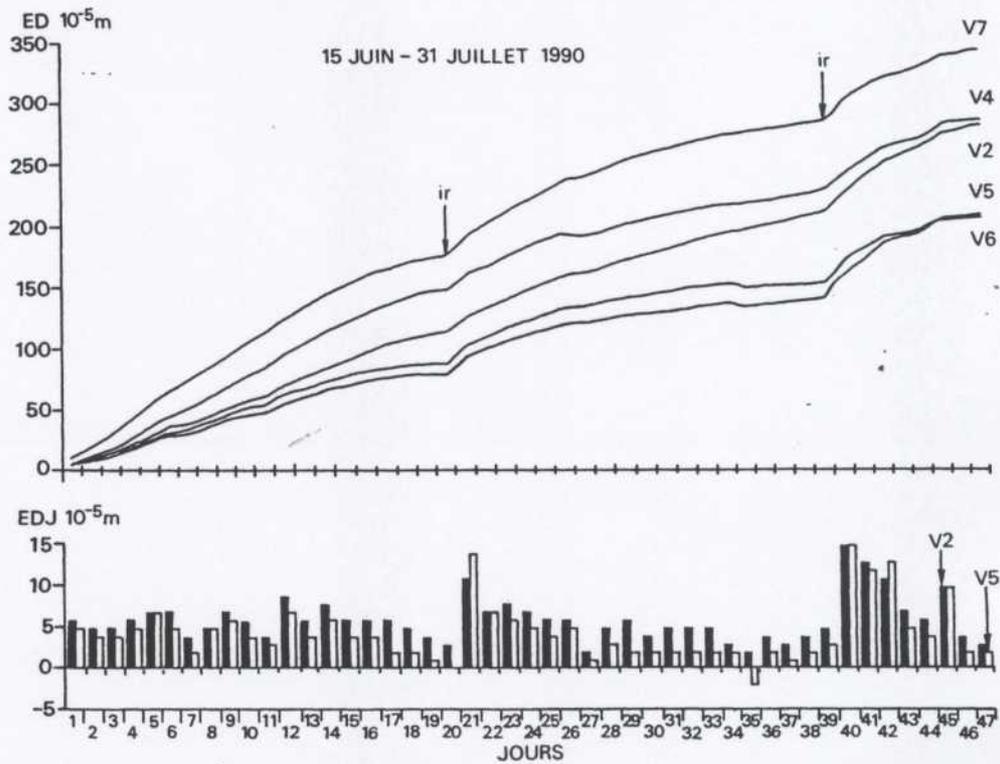


FIGURE 4 - Variabilité spatiale des évolutions de diamètres de branches charpentières de différents clémentiniers.

● Variabilité spatiale.

Le suivi pendant une même période de plusieurs arbres du même verger soumis à des contraintes hydriques semblables fait apparaître des comportements propres à chaque plante, similaires mais non identiques (figure 4).

Au sein d'un même arbre, il est également possible d'observer une variabilité qui ne peut s'expliquer que par la spécificité de l'organe mesuré (figures 5 et 6) :

- orientation et importance de la surface foliaire relative à la branche charpentièr (V2 nord, V5 ouest, V6 est) ;

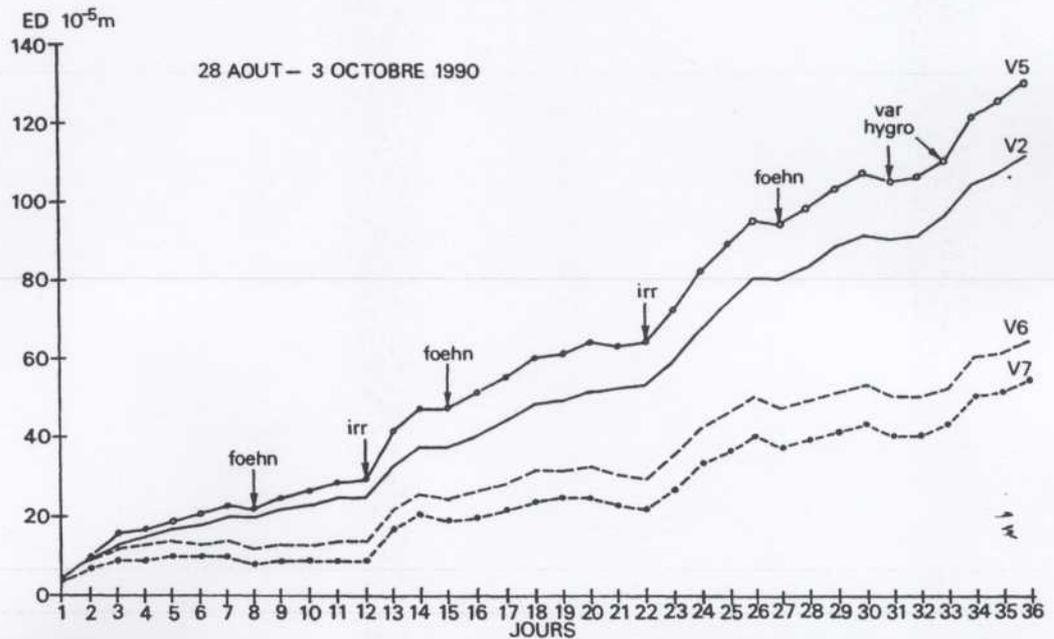


FIGURE 5 - Variabilité spatiale des évolutions de diamètres et des amplitudes de contraction des différentes branches charpentières d'un clémentinier.

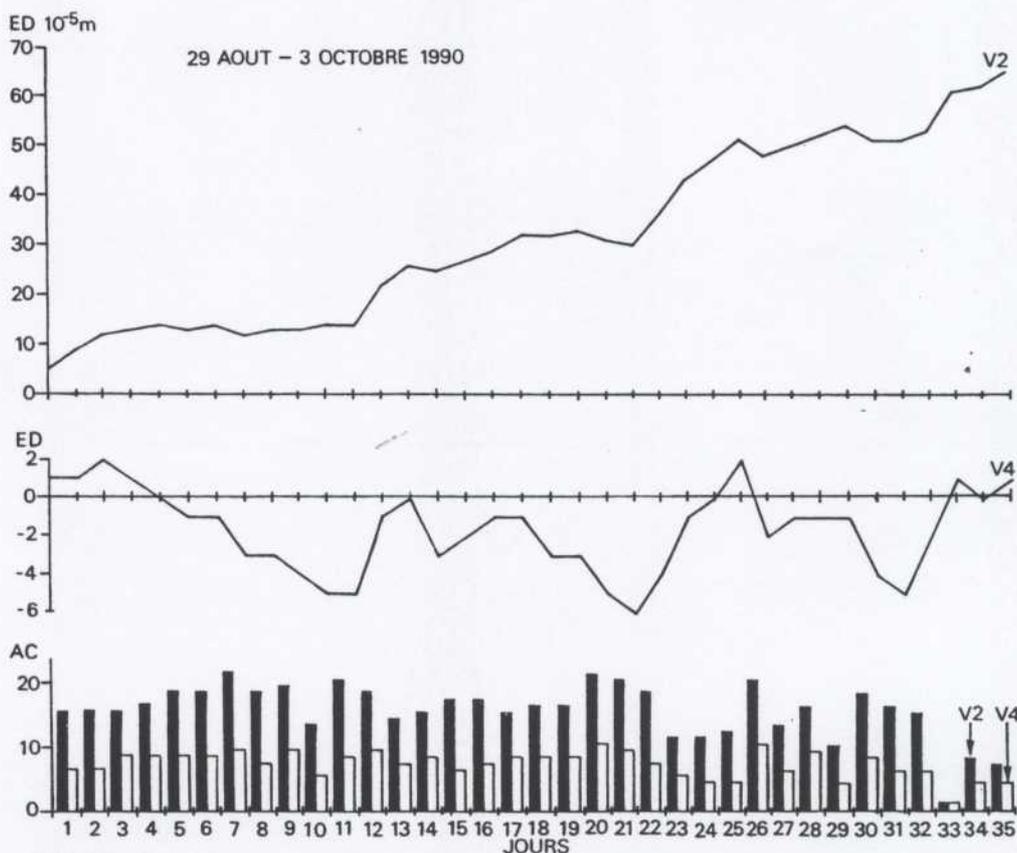


FIGURE 6 - Variabilité spatiale des évolutions de diamètres et des amplitudes de contraction d'une branche charpentière (V2) et de sa branche latérale (V4).

- nature de la branche (V7 gourmand, V4 petite branche horizontale, mauvais capteur solaire en raison de sa position nord très ombragée).

Ces quelques observations montrent qu'il est impossible de définir avec précision des valeurs seuils uniques caractéristiques d'une forte contrainte hydrique. Dans ce cas, les réactions sont similaires mais spécifiques de l'organe observé et de la période considérée.

Effets des modifications brutales des caractéristiques climatiques.

- Effets de fortes précipitations.

La réaction d'une branche charpentière d'un clémentinier non stressé à une forte pluie (104 mm le 6/6/1990 de 0 à 11 heures) se traduit par une forte croissance et une absence de contraction le jour même, suivi d'un arrêt de croissance et d'une augmentation des amplitudes de contraction les jours suivants. Ces réactions sont typiques d'une contrainte hydrique qui peut s'expliquer par des phénomènes temporaires d'anoxie du système racinaire (figure 7).

- Effets d'une chute du rayonnement.

La diminution brutale et prolongée du rayonnement solaire se traduit par une diminution instantanée de la transpiration et de l'activité photosynthétique. On observe une diminution immédiate des amplitudes de contraction et un blocage des croissances le jour suivant par manque d'assimilats (figure 8).

- Effets de basses températures nocturnes.

L'existence de basses températures nocturnes dont les valeurs sont proches de celles correspondant au seuil de végétation, se traduit par un blocage des croissances. Ces phénomènes ont lieu généralement en fin de printemps ou au tout début de l'été (figure 9).

- Effets de variations importantes de l'hygrométrie.

Lorsqu'un fort vent sec (effet de foehn en Corse) provoque une augmentation subite de la demande climatique, la plante réagit par une augmentation de ses amplitudes de contraction et les phénomènes de croissance sont tout particulièrement affectés même si la disponibilité en eau du sol est satisfaisante.

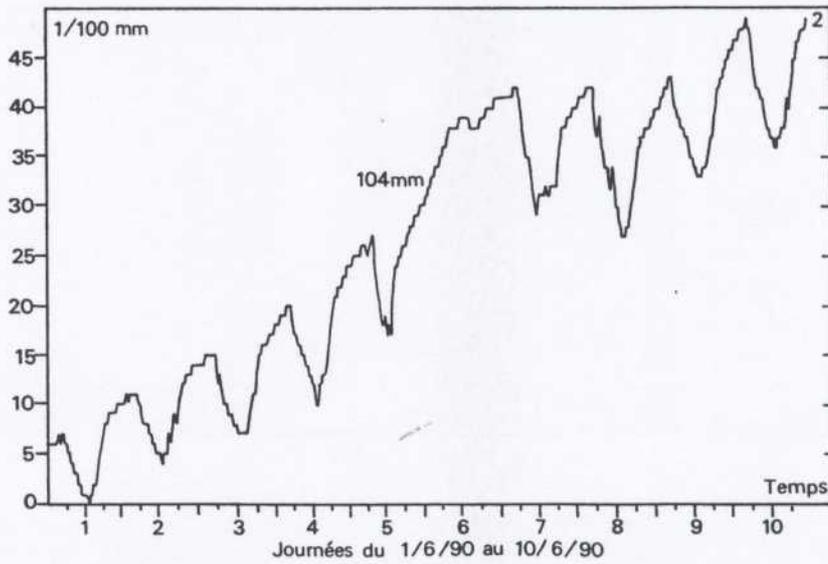


FIGURE 7 - Effets immédiats et conséquences d'une forte précipitation sur la croissance et l'amplitude de contraction d'une branche charpentière d'un clémentinier bien irrigué.

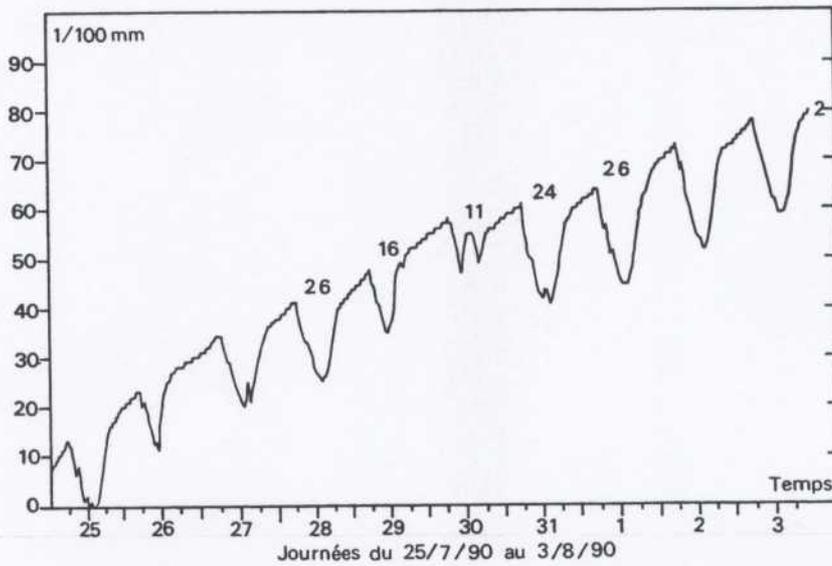


FIGURE 8 - Effets immédiats d'une chute de rayonnement sur l'amplitude de contraction et conséquences sur la croissance du jour suivant (les chiffres en indice représentent le rayonnement journalier en MJ m⁻²).

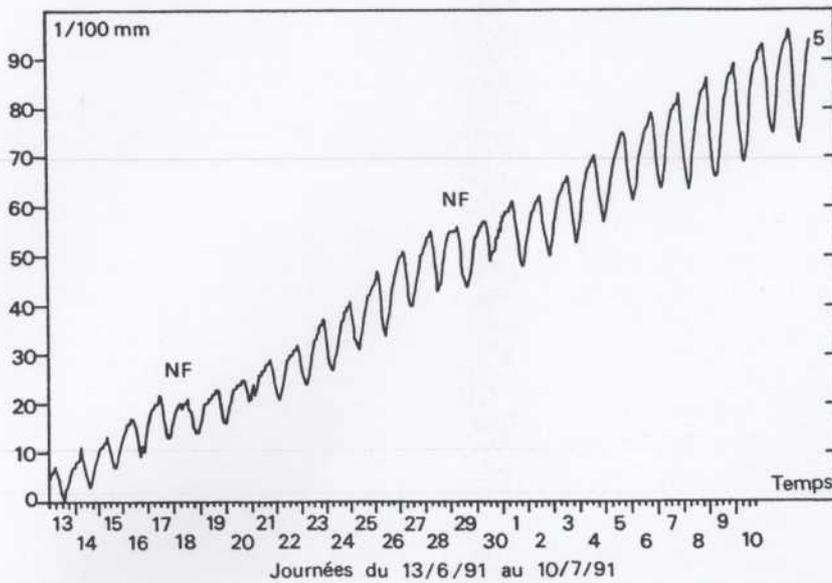


FIGURE 9 - Effets de basses températures nocturnes sur la croissance (NF = nuit froide).

FIGURE 10 - Effets de modifications brutales de l'hygrométrie sur la croissance et l'amplitude de contraction d'une charpentière de clémentinier (les chiffres en indice indiquent l'hygrométrie moyenne en p. 100).

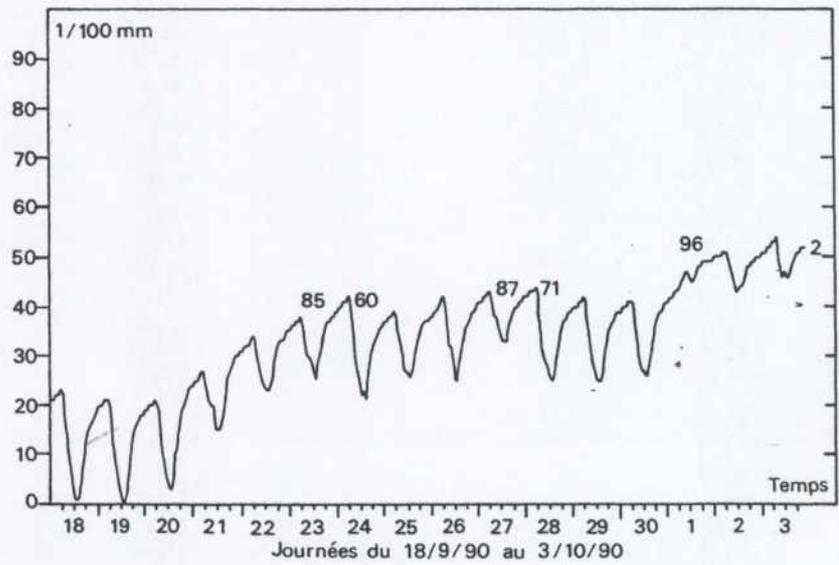


FIGURE 11 - Effets d'une irrigation de 45 mm apportée le 24 juillet, sur les croissances et amplitudes de contraction d'une charpentière de clémentinier.

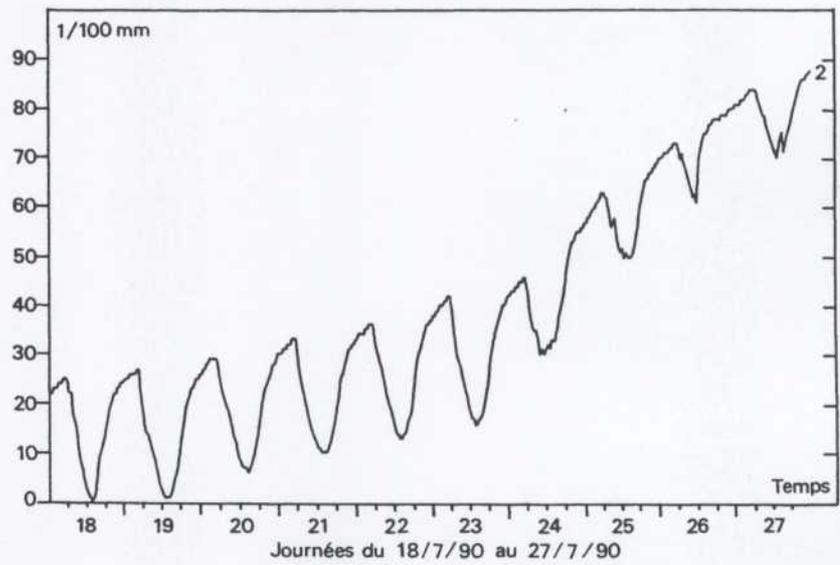
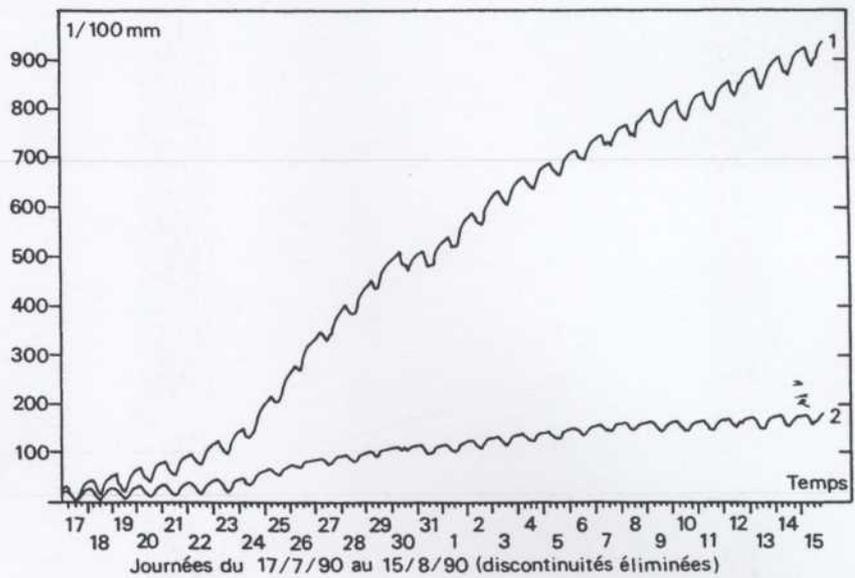


FIGURE 12 - Courbes micrométriques d'une charpentière d'un clémentinier (2) et d'un fruit porté par celle-ci (1).



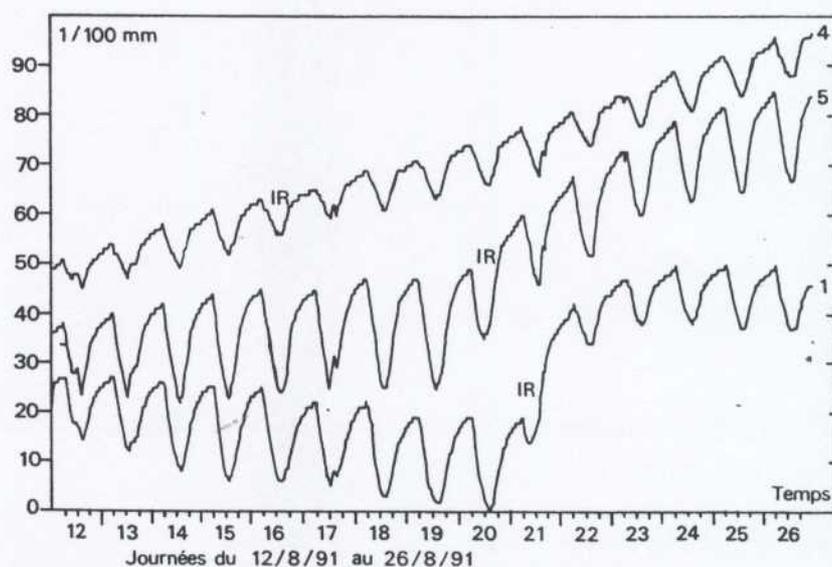


FIGURE 13 - Différences de comportement micrométrique de charpentières de clémentinier :

- sans contrainte hydrique (4)
- avec une contrainte hydrique modérée (5)
- avec une forte contrainte hydrique (1).

Lorsque la disponibilité en eau du sol est moindre sans être extrêmement limitante, toute variation de l'hygrométrie va se répercuter sur les phénomènes de croissance, de façon positive ou négative suivant que l'on sera en présence d'une atmosphère humide ou sèche (figure 10).

Effets de régimes hydriques différenciés.

- Effet d'une irrigation sur un clémentinier en contrainte hydrique.

La plante réagit immédiatement à une meilleure disponibilité hydrique, les phénomènes de croissance qui étaient bloqués reprennent et les amplitudes de contraction sont plus faibles (figure 11).

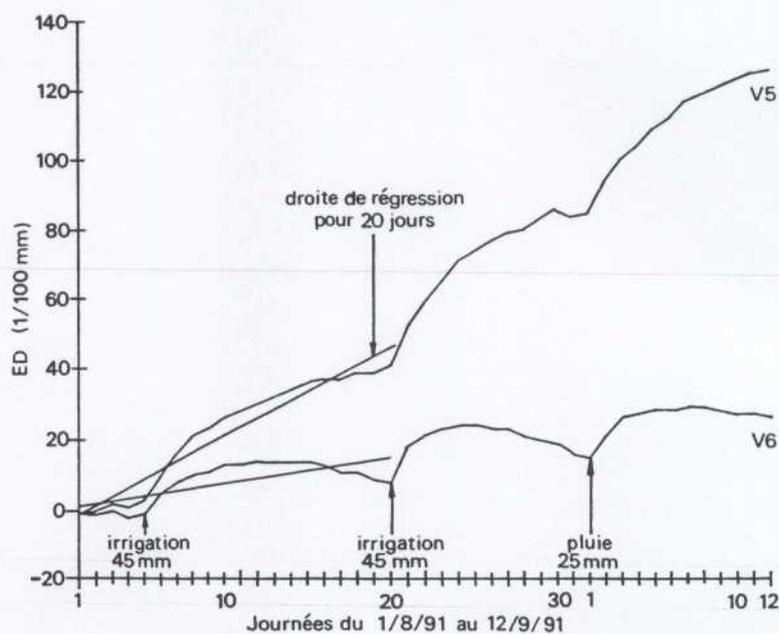


FIGURE 14 - Illustration d'une proposition de pilotage des irrigations par comparaison sur 20 jours de la croissance et de sa tendance (régression linéaire).

Des organes différents comme un fruit et une branche charpentière réagissent de façon similaire (figure 12).

Le choix de la branche charpentière par rapport au fruit pour le suivi micrométrique et éventuellement le pilotage des irrigations est d'ordre pratique. La fixation d'un portecapteur sur un jeune fruit n'est possible qu'après la fin de la chute physiologique (fin juillet généralement) : le réglage des capteurs sur un organe en forte croissance comme le fruit est très fréquent et donc plus contraignant.

● Effet de différents niveaux de contrainte hydrique.

La comparaison des réactions micrométriques de trois plants soumis à trois niveaux de contrainte hydrique permet d'observer outre les différences classiques de comportement de croissance et d'amplitude de contraction, des phénomènes de récupération d'autant plus importants que la contrainte avant irrigation était élevée (figure 13).

CONCLUSION

Les mesures micrométriques en continu d'organes : tiges ou fruits, révèlent que la disponibilité hydrique du sol

n'est pas le seul facteur explicatif des paramètres ED et AC. D'autres facteurs limitants interviennent, leur manifestation est le plus souvent passagère.

Il est possible d'envisager un pilotage automatique des irrigations à condition d'intégrer la notion de durée des phénomènes de baisse de croissance et d'augmentation des amplitudes de contraction ainsi que la notion de spécificité des valeurs seuils des organes mesurés. Ceci peut être facilement obtenu en comparant sur une période de 15 à 20 jours le cumul des évolutions nettes de diamètre et sa régression linéaire (figure 14).

Les phénomènes de récupération de croissance observés sur des plants légèrement stressés permettent de recommander d'attendre que la manifestation des signaux de contrainte hydrique s'expriment pendant trois à quatre jours avant de prendre la décision d'irriguer. Le handicap passager de croissance sera rapidement récupéré.

Pour un système de gestion automatique, la confusion la plus délicate peut intervenir lors de phénomène d'anoxie qui présentent toutes les caractéristiques d'une contrainte hydrique prolongée sans que la disponibilité en eau du sol soit en cause, au contraire. L'utilisation d'une sonde tensiométrique reliée au boîtier de gestion des données permettrait l'interdiction d'irrigation d'un sol saturé.

BIBLIOGRAPHIE

BARTHOLOMEW (E.T.). 1929.
Internal decline of lemons. III. Water deficits in lemon fruit caused by excessive leaf evaporation.
Ann. J. Bot., 13, 102-117.

COHEN (Y.), FUCHS (M.) and GREEN (G.C.). 1981.
Improvement of heat pulse method for determining sap flow in trees.
Plant, Cell and Environment, 4, 391-397.

GARNIER (E.) and BERGER (A.). 1985.
Testing water potential in peach trees as an indicator of water stress.
J. Hort. Sci., 60, 47-56.

GRANIER (A.). 1987.
Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements.
Tree Physiol., 3, 309-320.

HALMA (F.F.). 1934.
Some phases in water relation in citrus.
Proc. Am. Soc. Hortic. Sci., 31, 108-109.

HATFIELD (J.L.). 1990.
Measuring plant stress with an infrared thermometer.
Hortscience, 25 (12), 1535-1538.

HUGUET (J.G.). 1985.
Appréciation de l'état hydrique d'une plante à partir des variations micrométriques de la dimension des fruits ou des tiges au cours de la journée.
Agronomie, 5 (8), 733-741.

JONES (H.G.). 1985.
Physiological and environmental control of evaporation from plants and implications for plant water status.
Les besoins en eau des cultures. Crop water requirements. Paris, 11-14 septembre 1984, INRA, Paris, 23-33.

TYREE (M.T.) and DIXON (M.). 1986.
Water stress induced cavitation and embolism in some woody plants.
Physiol. Plant., 66, 397-405.

VALANCOGNE (C.) et NASR (Z.). 1989.
Une méthode de mesure du débit de sève brute de petits arbres par bilan de chaleur.
Agronomie, 9, 609-617.

UTILIZACION DE LAS VARIACIONES MICROMETRICAS DE LOS DIAMETROS DE TALLOS Y FRUTOS DE CLEMENTINOS PARA EL PILOTAJE DE LAS IRRIGACIONES.

H. VANNIERE.

Fruits, Numéro spécial Agrumes 1992, p.219-227.

RESUMEN - La medida no destructiva de la evolución continua del diámetro de tallo o de fruta con una resolución de 10^{-5} m traduce, a través de dos parámetros : la evolución diaria del diámetro (ED) y la amplitud de contracción (AC), un comportamiento de la planta frente a toda modificación de su medio ambiente.

Para dirigir las irrigaciones con el sistema PEPISTA, es necesario administrar las heterogeneidades espacio-temporales de las medidas y identificar correctamente las señales de estrés hídrico.