



HAL
open science

Influence d'une circulation heterogene d'eau dans le sol sur l'etat hydrique de la plante

B. Cabibel, Jacques Horoyan

► **To cite this version:**

B. Cabibel, Jacques Horoyan. Influence d'une circulation heterogene d'eau dans le sol sur l'etat hydrique de la plante. 5. Colloque sur les Recherches Fruitières, Nov 1985, Bordeaux, France. hal-02781473

HAL Id: hal-02781473

<https://hal.inrae.fr/hal-02781473v1>

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Bernard CABIBEL, Jacques HOROYAN

*Institut National de la Recherche Agronomique, I.N.R.A.
Station de Science du Sol, Domaine Saint, B.P.91, 84140 MONTFAVET*

Influence d'une circulation hétérogène d'eau dans le sol sur l'état hydrique de la plante

RESUME

Le suivi micrométrique des variations de diamètre d'organes ligneux et de fruits montre que l'évolution de l'état hydrique des arbres résulte de l'équilibre entre la sollicitation climatique exercée sur la culture et les possibilités de fournitures en eau du sol qui dépendent du volant de ses réserves et de leur mobilité.

En sol fissuré, sous irrigation localisée, on montre que ce sont les modalités d'application de l'eau qui, simultanément, induisent un transfert d'eau rapide, dans la porosité structurale, de la surface aux sites d'extraction racinaire, et créent des réserves en eau importantes et mobilisables, qui conduisent tout au long du cycle étudié aux déficits hydriques, global et instantané, minimaux dans l'arbre et au rendement maximum.

INTRODUCTION

L'irrigation localisée présente par rapport aux autres techniques d'apport d'eau aux cultures, un ensemble d'avantages aujourd'hui reconnus. Les uns sont d'ordre technologique. Ils concernent les conditions de distribution de l'eau (réseau basse pression-adaptation à toute topographie). Les autres sont d'ordre agronomique. Minimisant les pertes par drainage profond et par évaporation, maintenant, dans le temps et dans l'espace sol où s'exerce l'activité racinaire maximale, une eau toujours très extractible, permettant de mieux adapter les apports aux besoins instantanés de la culture, l'irrigation localisée est susceptible d'une amélioration importante de l'efficacité de l'eau apportée. Ne s'exerçant que sur une fraction faible de la surface du sol et susceptible d'automatisation, elle s'intègre aisément à l'ensemble des techniques culturales définies pour la culture considérée, notamment en simplifiant la réalisation du calendrier cultural, en n'affectant pas les possibilités potentielles d'intervention sur la parcelle, en réduisant le développement possible des adventices et les risques d'origine parasitaire alors que sont maintenus au plus haut niveau d'efficacité les traitements phytosanitaires effectués.

Ces bénéfices potentiels ne deviendront néanmoins effectifs que si l'on dispose, pour mettre en œuvre l'apport d'eau (débit-dose-fréquence pour un sol et une culture donnés), d'une excellente connaissance des mouvements de l'eau dans le sol (caractérisation des paramètres hydrodynamiques), des quantités d'eau absorbées par les racines (caractérisation de la morphologie et de l'activité du système racinaire) et de leurs conséquences sur la culture et la production.

Cet ensemble de données n'est qu'exceptionnellement réuni pour un ensemble sol-plante-climat donné, expliquant en cela que les modalités de mise en œuvre de l'irrigation localisée demeurent aujourd'hui encore le plus souvent empiriques. C'est ce manque d'optimisation qui est à l'origine de répercussions négatives sur la production, répercussions qui peuvent être considérables, comme le montrent souvent les essais comparatifs. C'est notamment le cas dans les sols où la porosité structurale peut devenir déterminante pour le devenir de l'eau d'irrigation, les pores de grande dimension, essentiellement les fissures, constituant alors des voies préférentielles pour la circulation primaire de l'eau sous goutteur. Ne répondant plus généralement aux lois définies en milieu à structure continue, le type de circulation de l'eau induit conduit, notamment dans les phases initiales de l'humectation du sol, à une répartition très hétérogène de l'eau apportée, non sans effets sur l'absorption racinaire, l'état hydrique du végétal et la récolte.

Dans ce qui suit, on étudie, en verger et en sol gonflant, le comportement hydrique des arbres en fonction des modalités de mise en œuvre de l'irrigation localisée et des contraintes climatiques existantes.

I - MATERIEL ET METHODES

I-1. MATERIEL

I-1.1. Le sol. - Il est constitué par les alluvions modernes argilocalcaires de la Durance (Tableau I). La nature des argiles fait que ce sol est rendu très sensible aux phénomènes de retrait-gonflement lors des variations de sa teneur en eau. Dès que celle-ci devient égale ou inférieure à sa teneur en eau à la capacité au champ ($\theta \approx 0,33 \text{ cm}^3 \text{ d'eau/cm}^3 \text{ de sol}$), le sol est fissuré, les fissures ayant rapidement de grandes dimensions. Aux plus faibles teneurs en eau mesurées in-situ ($0,14 < \theta < 0,22 \text{ cm}^3 \text{ d'eau/cm}^3 \text{ de sol}$) correspondent des valeurs de porosité structurale de 20 à 25 %, soit 50 % de la porosité totale, les pores structuraux affectant 80 à 100 cm de profondeur de sol. Dans ces conditions, la maille de fissuration principale, mesurée en surface, est de l'ordre de 14 cm.

La conductivité hydraulique saturée mesurée in-situ est trouvée égale à $0,14 \text{ cm h}^{-1}$, l'infiltrabilité du sol ayant été trouvée égale à 74, 42 et 31 cm h^{-1} pour des teneurs en eau correspondantes de 0,27-0,30 et $0,32 \text{ cm}^3 \text{ d'eau/cm}^3 \text{ de sol}$. Le sol n'a pas été travaillé depuis la plantation.

I-1.2. Le verger. - Planté en 1979 et conduit en haie fruitière palissée, il est constitué de 4 rangs de 40 arbres, Reines des Reinettes greffées sur EM IX. Les arbres sont distants de 1 m, les rangs de 3,5 m.

L'irrigation localisée, installée dès la plantation, est conduite par goutteurs, posés au sol sur la raie de plantation, à raison de 1 goutteur par arbre sis à mi-distance de deux arbres consécutifs. L'apport d'eau est journalier. Il est déclenché à 8 heures TU. Les débits appliqués sont de 2 et 4 l^h⁻¹. La dose d'eau, égale pour tous les traitements irrigués, est fixée à 0,65 ETP du jour précédent. Aux traitements irrigués sont associés des témoins secs. Chaque placette expérimentale comporte 10 arbres.

I-2. METHODES DE MESURE

I.2.1. Climat du verger. - Les données climatologiques (températures humide et sèche - Rayonnement-Vitesse du vent - Précipitations) nécessaires au suivi horaire de la demande climatique (ETP) sont obtenues à l'aide d'une station météorologique automatique de type Cimel-Enerco 295-100 installée au sein du verger (PINGUET, 1983). Les données sont traitées par un logiciel, basé sur la formule de Penman, élaboré par le STEFCE de Montfavet (BACULAT, 1984).

I-2.2. Détermination spatio-temporelle des teneurs en eau et des potentiels. - Les mesures de teneurs en eau aux différentes cotes en fonction du temps, $\theta(z, t)$, sont obtenues par humidimétrie neutronique. Chaque dispositif de mesure comporte un réseau de tubes d'accès pour sonde à neutrons dont l'implantation permet une scrutation spatiale tridimensionnelle des teneurs en eau, centrée sur l'axe vertical passant par le goutteur réel (parcelle irriguée) ou fictif (parcelle sèche). Le pas vertical de mesure est de 10 cm (Figure 1). La sonde utilisée est un humidimètre-densimètre NEA (CABIBEL, 1977). Les étalonnages neutroniques ont porté sur les couches 0-15 cm, 15-55 cm, 65-165 cm, 165-205 cm, couches dont les limites ont été fixées après analyse du profil pédologique. La précision sur la teneur en eau est de $\pm 0,005 \text{ cm}^3 \text{ d'eau/cm}^3 \text{ de sol}$. Un réseau de tensiomètres permet de mesurer, en sol irrigué, l'évolution spatiotemporelle des potentiels de l'eau du sol. La précision des mesures est de $\pm 5 \text{ mbar}$.

I-2.3. Etat hydrique du végétal. - Il est appréhendé par analyse micrométrique des variations de diamètre des organes ligneux et des fruits. Les variations dans le temps sont en effet supposées corrélées au degré relatif de participation des réserves en eau du végétal à l'évapotranspiration, selon l'équilibre demande climatique-disponibilité de l'eau du sol. Elles sont donc corrélées à l'évolution correspondante de son état hydrique (HUGUET, 1982; KATERJI, 1984).

Des dendromètres mesurent simultanément, pour les trois traitements considérés, l'évolution des diamètres de trois types d'organes ligneux (tronc-charpentière-rameau de l'année), des carpomètres mesurant l'évolution des diamètres des fruits. Les fruits étudiés sont ceux dont le diamètre est égal au diamètre moyen des fruits du traitement considéré.

L'acquisition des données est dirigée par un logiciel implanté sur micro-ordinateurs Husky. Le pas de temps de mesure est variable selon le phénomène étudié. On dispose de 16 voies et de 470 cycles de mesures. Les capteurs inductifs de déplacement linéaire utilisés, étalonnés dans

profondeur	argile % 0-2 μ	limon %		sable %	
		2-20 μ	20-50 μ	50-200 μ	200-2000 μ
0 - 30	35,0	40,5	11,5	9,8	3,2
30-50	38,9	41,3	10,9	7,7	2,2
50-100	39,7	50,1	6,3	3,0	0,9
100-130	26,9	30,9	11,7	19,7	8,3

TABLEAU I - Caractéristiques physiques du sol.

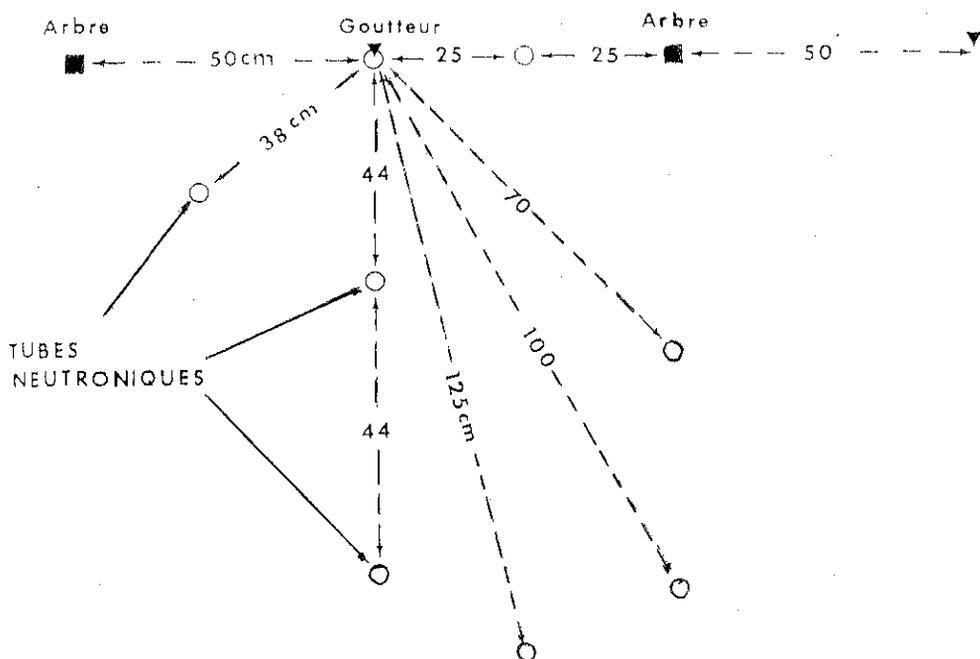


Fig. 1 - Dispositif de mesure neutronique.

les conditions de leur utilisation au champ, offrent une plage de mesure de $\pm 2,5$ mm pour une classe de linéarité de 0,5 %. La précision de la mesure est de l'ordre du micron.

II - RESULTATS ET INTERPRETATIONS

II-1. EXPRESSION DES RESULTATS

Les teneurs en eau volumique ou leurs accroissements sont exprimées en cm^3 d'eau par cm^3 de sol (Figure 2). Les variations de diamètre, mesurées en dendrométrie, sont exprimées soit en microns (Figure 3), soit en microns par micron d'épaisseur d'écorce (écorce + cambium) et par unité de temps (Figure 4), une relation statistique liant l'épaisseur de l'écorce au diamètre de l'organe ligneux considéré ayant été déterminée pour chaque traitement étudié. L'expression des variations de dimension des organes ligneux en fonction de l'épaisseur de l'écorce, à laquelle est attribuée essentiellement la libération des réserves en eau, permet une comparaison directe des comportements des organes appartenant soit à un même traitement, soit à des traitements différents et de tailles initiales différentes. Les variations de diamètre mesurées sur fruits sont exprimées en microns par unité de temps (Figure 4). Les données ETP sont exprimées en mm d'eau par unité de temps (Figure 4).

II-2. CIRCULATION DE L'EAU - BULBES HYDRIQUES RESULTANTS

L'analyse des distributions spatio-temporelles $\theta(z_n, t)$ et $h(z_n, t)$ montre que la morphologie des zones de sol mouillées, la répartition des teneurs en eau et de sa mobilité potentielle sont gouvernées :

- d'une part par l'amplitude, la localisation et le maillage des pores structuraux, d'origine fissurale, paramètres sous la dépendance du degré de dessaturation en eau du sol au déclenchement de l'irrigation,

- d'autre part, par l'extension relative, à la surface du sol, de la zone d'alimentation sous goutteur. Selon que cette zone saturée dépasse ou non en extension, celle d'une ou de plusieurs mailles de fissuration au déclenchement de l'irrigation, la forme et le volume du bulbe sont très différents. Cette extension relative de la zone d'alimentation dépendra de la valeur relative du débit par rapport à l'infiltrabilité du sol fissuré.

La comparaison des résultats obtenus en fonction des débits appliqués montre que le débit le plus élevé induit la formation d'une zone d'alimentation en surface dont l'extension est supérieure à celle de la maille de fissuration et qu'il en résulte :

- une augmentation importante du volume humecté et particulièrement du volume non saturé périfulbaire favorable à l'activité racinaire,
- une répartition plus homogène de l'eau apportée.

Ces phénomènes peuvent être attribués simultanément à plusieurs facteurs :

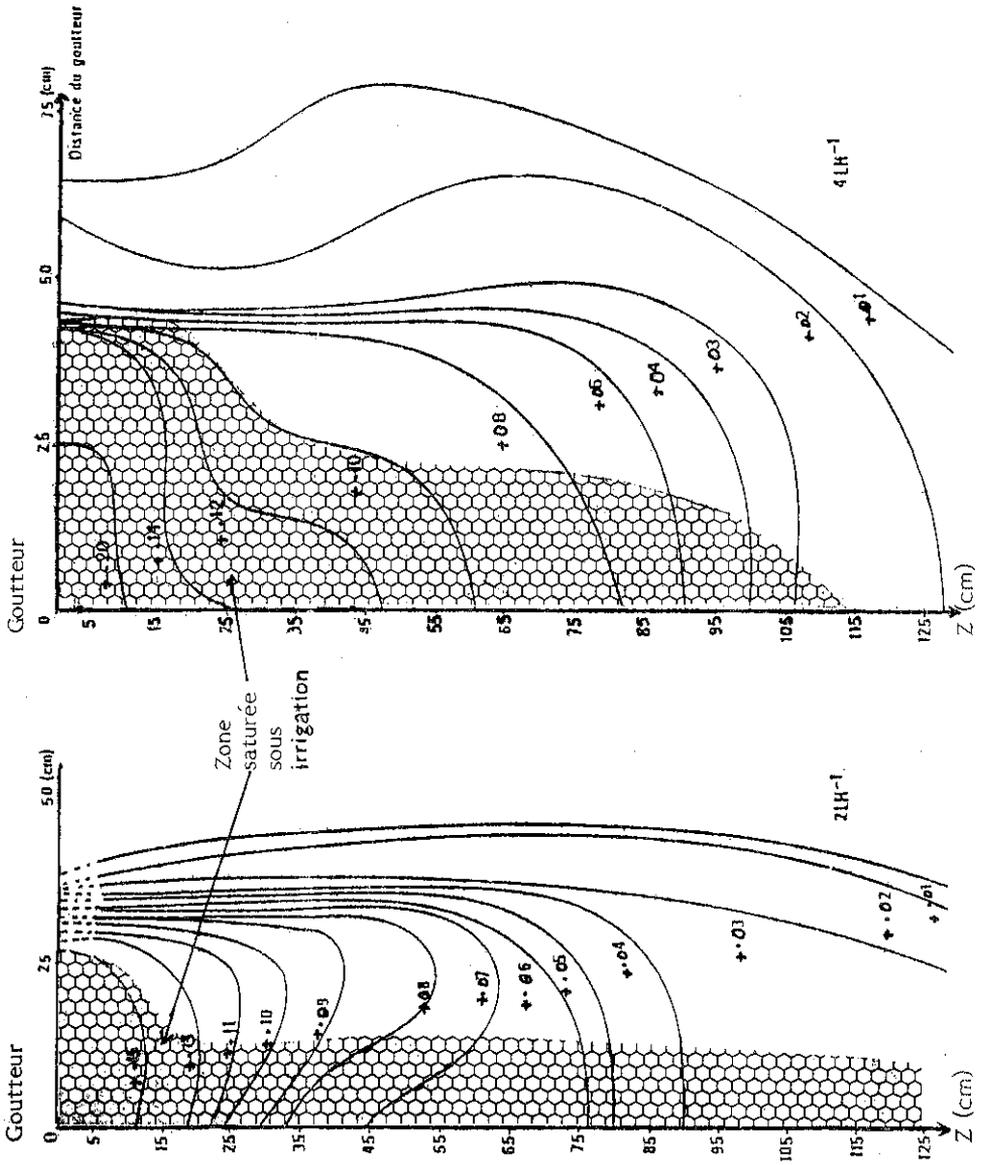


Fig. 2 - Installation du bulbe : Distribution des écarts à la teneur en eau moyenne (cm³/cm³).

- élévation du nombre de voies de circulation préférentielle participant au transfert convectif de l'eau apportée et diminution corrélative du trajet moyen diffusif.

- puis diminution de l'épaisseur des fissures par gonflement, induisant une diminution du flux convectif dont l'une des conséquences importantes est probablement la réduction des risques de perte en profondeur de l'eau d'irrigation.

La répartition des accroissements d'humidité mesurés pour les deux traitements après 10 jours d'irrigation est présentée en Figure 2. Dans les deux cas, l'irrigation initiale a été déclenchée sur un sol dont l'humidité volumique était de $0,25 \text{ cm}^3 \text{ d'eau/cm}^3$ de sol et qui présentait une fissuration développée. Les teneurs en eau sont mesurées 16 heures après la dernière irrigation :

- Sous le débit, de 2 lh^{-1} , la zone mouillée est assimilable à un cylindre vertical dont les mesures n'ont pas atteint la limite inférieure et dont le rayon latéral était toujours inférieur à 30 cm. Saturée en eau dans le plus grande partie de son développement (partie grisée du schéma), la zone mouillée est le siège, pendant l'apport d'eau, de drainages profonds importants et ne présente donc que peu d'espace pour une activité racinaire potentiellement importante et pour un stockage par transfert diffusif de l'eau d'irrigation.

- Sous un débit de 4 lh^{-1} , la zone mouillée est latéralement plus développée, son rayon atteignant le double de celui obtenu sous le débit précédent. Son extension en profondeur paraît limitée. Le volume de la zone non saturée est considérablement accrue. Il en résulte un accroissement important de la probabilité d'interception de la zone mouillée et particulièrement de la zone mouillée non saturée par les racines et donc un accroissement du volume des réserves en eau disponibles puisque l'adsorption racinaire semble limitée aux volumes de sols non saturés (CABIBEL, 1980 ; HABIB, 1983).

II-3. EVOLUTION DE L'ETAT HYDRIQUE DES ARBRES

II-3.1. Description du cycle nyctéméral. - L'analyse des variations de diamètre des organes ligneux et des fruits montre que quel que soit le traitement considéré, les cinétiques de périodicité 24 heures (Figures 3 et 4) sont constituées de deux phases :

- une phase de décroissance des diamètres que traduit la participation des réserves en eau des arbres à l'évapotranspiration, phase qui se développe du lever du jour (ouverture stomatique) jusqu'aux heures de plus forte demande climatique comprises,

- une phase de croissance des diamètres qui traduit une reconstitution des réserves perdues par le végétal par absorption racinaire de l'eau du sol.

L'ensemble des résultats montrent que les cinétiques sont par ailleurs caractéristiques de l'organe végétal étudié. Les réserves en eau des fruits, lorsqu'elles sont sollicitées, le sont, quel que soit le traitement, avec

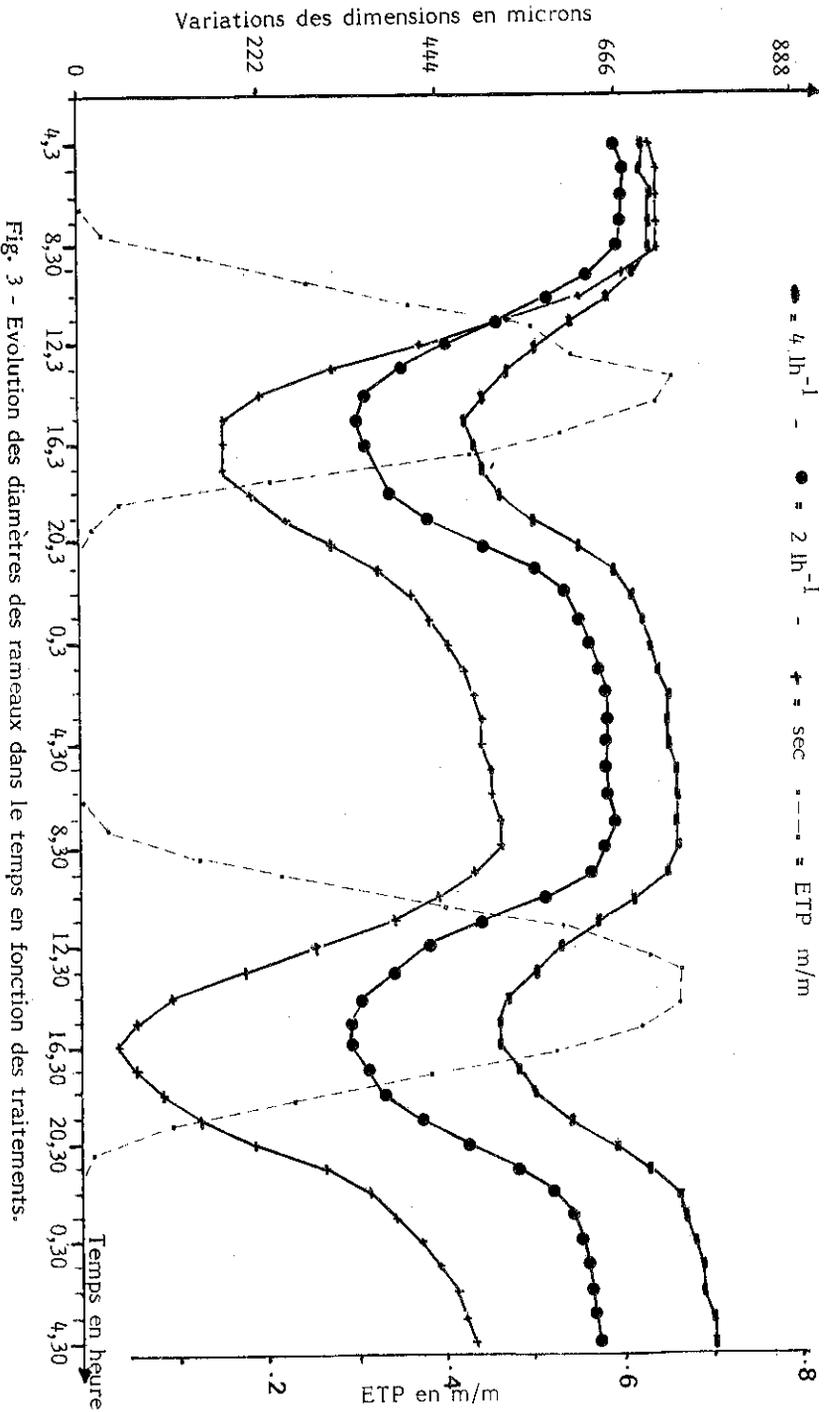


Fig. 3 - Evolution des diamètres des rameaux dans le temps en fonction des traitements.

un retard toujours important par rapport à la mobilisation des réserves en eau des parties ligneuses correspondantes ; ce retard dans le temps affecte toutes les phases du cycle-fruit par rapport à celles du cycle-ligneux.

II-3.2. Principaux facteurs de variation

II-3.2.1. Mobilité des réserves en eau du sol. - Pour les différentes teneurs en eau mesurées, la conductivité hydraulique du sol étudié est toujours très faible. Elle limite probablement la possibilité d'assurer l'extraction racinaire correspondante à une demande climatique instantanée, en limitant les transferts diffusifs vers la rhizosphère. C'est ainsi que pourrait notamment s'expliquer, au moins partiellement, le synchronisme observé, quel que soit le traitement, entre l'ouverture stomatique et la mobilisation des réserves en eau de l'arbre alors même que la demande climatique est faible et qu'est mesuré un gradient de potentiel important entre le végétal et le sol.

II-3.2.2. Volume de réserves en eau disponibles dans le sol. - Le volume des réserves exploitables par les racines détermine l'amplitude de la participation des réserves en eau de l'arbre, tant au niveau des organes ligneux que des fruits pour une demande climatique donnée. La participation des réserves de l'arbre à l'évapotranspiration et son évolution dans le temps sont maximales pour les arbres non irrigués et sont plus élevés pour le débit d'irrigation le plus faible.

Dans le verger étudié, les réserves en eau des fruits du traitement irrigué à 4 lh^{-1} n'ont pas participé de manière significative à l'évapotranspiration alors même que les réserves des organes ligneux ont été mobilisées de façon croissante avec l'ETP jusqu'à l'heure de déclenchement de l'irrigation. Le niveau de participation des organes ligneux mesuré sur ce traitement, juste avant irrigation, pourrait donc être considéré comme un seuil pour le déclenchement de l'irrigation qui permettrait d'éviter la mobilisation des réserves en eau des fruits.

En l'absence d'irrigation ou sous des modalités d'irrigation peu optimisées, l'appauvrissement des réserves en eau du sol conduit inéluctablement à la non reconstitution nocturne des réserves du végétal et à une participation accrue des réserves hydriques des fruits à l'évapotranspiration. Le rendement et la qualité de la récolte en sont diversement affectés.

II-3.2.3. Effet direct de l'apport d'eau. - Le déclenchement de l'irrigation, pour les deux débits appliqués, conduit à une stabilisation suivie rapidement d'une diminution de la participation des réserves en eau des arbres à l'évapotranspiration bien que continuent à croître l'ETP instantanée et la transpiration. Inversement, en conditions non irriguées, la participation des réserves de l'arbre croît avec l'ETP instantanée jusqu'à la valeur maximale de cette dernière. Au-delà, la régulation stomatique tamponne le phénomène, la mobilisation des réserves en eau des arbres décroissant.

L'effet rapide de l'eau apportée implique qu'elle est en un temps court, inférieur à 30 minutes (pas des mesures adoptés), mise à disposition des racines et qu'elle peut être absorbée par l'arbre sans que le débit soit limitant. Ceci conduit à supposer que le transfert a lieu sous forme

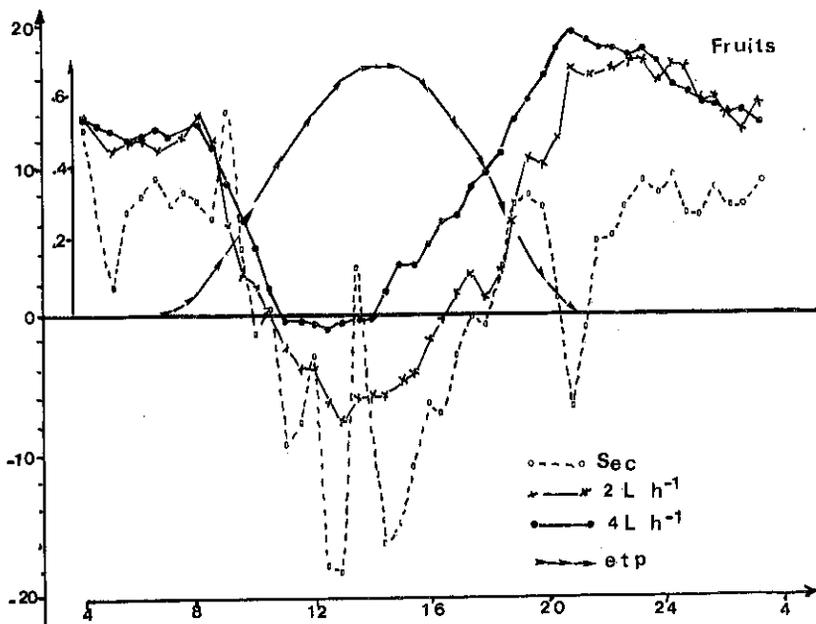
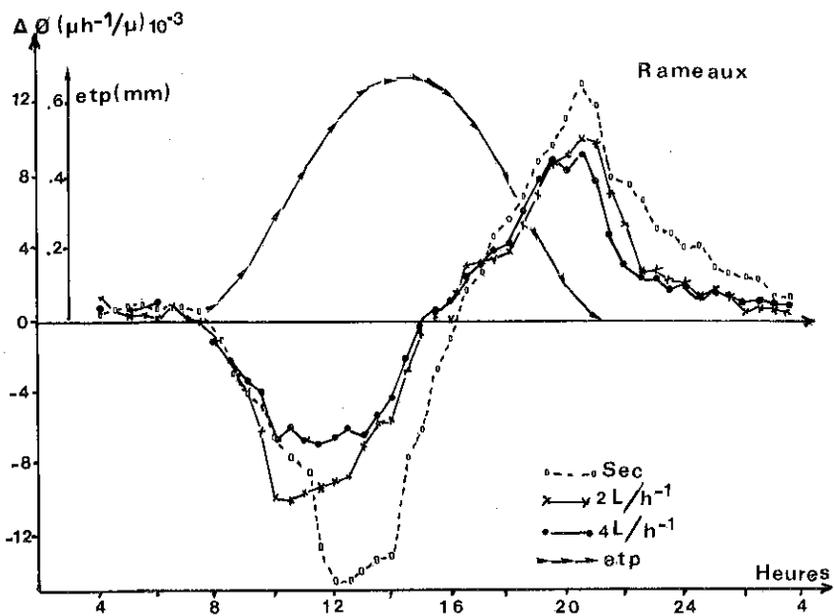


Fig. 4 - Vitesse de déformation relative des rameaux et des fruits en fonction des traitements.

convective dans les voies préférentielles de circulation que sont les fissures et que l'eau arrive directement sous forme libre à proximité immédiate des sites d'extraction racinaire. En effet, l'observation montrant que dans ce sol les fissures sont ouvertes au moment du déclenchement de l'irrigation journalière, conforte le bien fondé de l'hypothèse précédente.

La reconstitution des réserves de l'arbre dans les traitements irrigués qui débute immédiatement après passage au maximum ETP est toujours plus précoce qu'en l'absence d'irrigation. Il n'est cependant pas possible dans le cadre de cette étude de différencier l'effet spécifique du transfert convectif et du transfert diffusif dans la reconstitution de ces réserves. L'effet global de l'irrigation se traduit par une reconstitution complète des réserves en eau perdues par l'arbre et par une croissance des fruits, les écarts par rapport au traitement non irrigué étant d'autant plus grands que l'ETP du jour précédent a été élevée.

L'analyse des cinétiques nycthémerales des variations de diamètre des organes de l'arbre montre donc que la durée et l'amplitude des différentes phases constituant ces cinétiques sont fonction, pour une demande climatique donnée, de la capacité de l'arbre à satisfaire cette demande par extraction racinaire, cette dernière dépendant à la fois du volume des réserves en eau du sol, de leur disponibilité et de leur mobilité et tout autre facteur pouvant modifier ces paramètres, notamment les différentes modalités de l'apport d'eau au sol.

CONCLUSION

Le suivi micrométrique des variations de dimension des rameaux et des fruits d'arbres non irrigués ou irrigués ponctuellement selon des débits variables, montre que le déficit hydrique des arbres, tout au long des cinétiques, sera minimal lorsque, en sol fissuré, les modalités de l'apport d'eau induiront simultanément :

- un transfert rapide de l'eau d'irrigation, au travers de la porosité structurale, vers les sites d'extraction racinaire,
- un volant de réserves en eau mobilisables important, en milieu continu, associé à un espace non saturé devant permettre une activité racinaire, elle-même potentiellement importante,
- l'absence de risque de drainage profond.

Les résultats obtenus montrent, en effet, que le niveau des réserves en eau du sol gouverne à la fois le taux de reconstitution au jour n des réserves en eau de l'arbre perdues au jour $n-1$ et le taux de participation de ces mêmes réserves à l'évapotranspiration en l'absence d'irrigation active, cette dernière assurant durant son déroulement la fraction la plus importante de l'évapotranspiration, notamment dans la période de temps précédent le passage au maximum horaire de l'ETP.

En conséquence, l'efficacité de l'eau apportée dépendra de l'adéquation entre le débit d'irrigation appliqué et la maille de fissuration du sol et de la localisation dans le temps de l'apport d'eau. L'irrigation sera d'autant plus efficace que son déclenchement sera synchrone de

l'apparition de la contrainte climatique. En effet, tout déficit hydrique temporaire important et précoce au niveau des organes ligneux sollicite, au-delà d'un seuil caractéristique du végétal pour un ensemble sol-climat donné, la participation des réserves propres aux fruits, participation non sans effets négatifs sur les rendements en fruits.

ABSTRACT

DEFICIT OF WATER BALANCE IN TREES IN RELATION TO WATER CIRCULATION IN SOIL PREFERENTIAL PATHWAYS

Measurements of micrometric contractions and expansions of several twigs, stems and fruits of irrigated and non irrigated trees have been performed. The results have assumed related to water status of plants. This water status depends on equilibrium between unstantaneous or total climatic sollicitation and soil water availability.

In cracked soil and under drip irrigation, the water application practices on soil creating simultaneously :

- a rapid transport of irrigation water, in cracks, towards root extraction sites and*
- an important available water storage in soil*

do lead to minimal deficit of water balance in trees and to maximal fruit yields.

BIBLIOGRAPHIE

BACULAT B., 1984. Communication personnelle.

CABIBEL B., 1977. Détermination des teneurs en eau du sol à l'aide de deux types d'humidimètres. Bulletin du GFHN, n° 1, 13-22.

CABIBEL B., 1980. Structure et fonctionnement du système racinaire de jeunes pommiers en irrigation localisée. Séminaire sur l'Irrigation Localisée, Tome III, Sorrente Avril 1980, 79-88 (publication Agrimed-CEE).

HABIB R., 1983. Etude, pour des végétaux pérennes (Pommiers) soumis à une irrigation localisée, des conditions d'absorption racinaire du phosphore. Thèse Doctorat 3ème Cycle, Janvier 1981, Montpellier, 125p.

HUGUET J.G. and JAUSSELY B., 1984. Mesures micrométriques des variations de dimensions de différents organes d'un arbre fruitier (tronc-tige-fruit) comme révélateur de son bilan hydrique. Conférence aux Journées du GFHN, Nov. 1984, Montpellier.

KATERJI N.B., 1982. Etude et modélisation des transferts hydriques dans le système sol-plante-atmosphère. Thèse Doctorat Etat, Juin 1982, Paris III, 197p.

PINGUET A., 1983. Notice d'utilisation de la Station automatique CIMEL à cinq capteurs et à visualisation des résultats. Notre interne INRA.