

Problèmes posés par l'alimentation hydrique et minérale des arbres fruitiers sous irrigation localisée.

G. MONNIER, B. CABIBEL, R. GUENNELON et R. HABIB*

PROBLEMES POSES PAR L'ALIMENTATION HYDRIQUE ET MINERALE DES ARBRES FRUITIERS SOUS IRRIGATION LOCALISEE

G. MONNIER, B. CABIBEL, R. GUENNELON et R. HABIB

Fruits, mars 1982, vol. 37, n° 3, p. 189-193.

RESUME - La répartition des racines de jeunes pommiers est très dépendante des modalités de leur irrigation. Les zones d'absorption de l'eau et de l'ion phosphorique paraissent moins généralement déterminées par la densité racinaire que par les conditions physiques dans le sol : disponibilité de l'eau et niveau d'aération.

INTRODUCTION

La maîtrise de l'irrigation localisée et celle de la fertilisation en solution qui peut lui être associée exige, notamment dans le cas des arbres fruitiers, une analyse des interactions sol-techniques de fertirrigation-système racinaire. Schématiquement, ces interactions peuvent être regroupées en deux volets :

- Influence d'une distribution hétérogène de l'eau et, éventuellement, des éléments fertilisants sur la structure du système racinaire et sur son fonctionnement.
- Influence en retour de la répartition et de l'activité racinaire sur la diffusion de l'eau et des sels dissous.

Dans les deux cas, les références doivent tenir compte à la fois des caractéristiques biologiques du matériel végétal et

des propriétés physiques et physicochimiques du sol considéré. De la satisfaction de cette double exigence dépendent, en effet, les possibilités de généralisation des résultats obtenus et donc leur application à la conduite pratique de la fertirrigation localisée des vergers.

La communication présentée ici a pour objectif d'exposer et de discuter quelques résultats concernant le premier type d'interactions.

Ils ont été obtenus sur un verger de pommiers (Golden delicious/EM II) implanté en espacement 4 x 4,5 m en février 1973 sur un terrain du domaine expérimental Saint-Paul du C.R.A. d'Avignon. Le sol est un limon argileux, calcaire, à profil textural peu différencié. Sa porosité structurale principalement constituée par des fissures est faible sur les 10 cm superficiels, puis reste élevée (≥ 10 p. 100) jusqu'à 50-55 cm, profondeur correspondant à la base d'un labour de défoncement réalisé en 1968. Au-delà, le sol est plus compact.

Trois situations techniques différentes depuis la planta-

* - Institut National de la Recherche agronomique
Station de Sciences du Sol - 84140 Montfavet (France).

Communication présentée au 1^{er} Colloque sur les Recherches fruitières, Bordeaux 1981.

tion sont représentées dans ce verger conduit dans son ensemble en sol nu désherbé chimiquement.

1. Irrigation de complément par aspersion et épandage des engrais sur toute la surface.

2. Irrigation localisée par goutteurs situés sur la ligne de plantation, à raison de 1 par arbre, à 50 cm puis 70 cm de l'axe du tronc. L'épandage des engrais est réalisé sur toute la surface.

3. Irrigation et fertilisation en solution, localisées.

Dans les trois techniques, l'irrigation est appliquée de mai à septembre sur la base de 50 p. 100 de l'ETP du lieu. Dans le cas de l'aspersion, les apports sont de 50 mm ; en irrigation localisée, ils correspondent quotidiennement à 50 p. 100 de l'ETP de la veille soit, pour des débits de 6 l.h^{-1} , des durées d'irrigation voisines le plus souvent de 10 heures par jour.

INFLUENCE DU MODE D'IRRIGATION SUR LA REPARTITION DU SYSTEME RACINAIRE (HENNION, 1976 ; CABIBEL, 1978)

Elle a été étudiée par comptage des racines réparties en trois classes de diamètre ($< 1\text{ mm}$; $1-3\text{ mm}$; $> 3\text{ mm}$). La surface d'échantillonnage est inspirée de la méthode propo-

sée par HUGUET (1973) après modification pour tenir compte d'une éventuelle asymétrie due au goutteur. Les racines sont repérées et comptées sur cette surface dans un maillage de 20 cm au carré. Compte tenu de la faiblesse des effectifs des classes de diamètre $> 1\text{ mm}$ (moins de 10 p. 100 du total) et de leur irrégularité, les résultats sont présentés dans la figure 1 pour l'ensemble des racines.

On constate que globalement la répartition du système racinaire est très sensiblement affectée par le mode d'irrigation. La différence est particulièrement marquée dans la couche 25-45 cm, la plus exploitée. Alors que le traitement «aspersion» induit une importante nappe de racinelles à l'extérieur de la couronne de l'arbre, le maximum de densité racinaire est observé sous irrigation localisée à proximité du tronc et plus précisément entre l'arbre et le goutteur. Ceci reste vrai quel que soit le mode d'apport des engrais. Il semble donc que, dans les deux cas, la plus forte intensité racinaire se situe dans des zones restant, plus ou moins constamment, humides au cours de la période estivale d'irrigation.

On ne note, par ailleurs, ni correspondance entre présence d'une structure fragmentaire et abondance de racinelles ni localisation particulière de ces dernières dans les fissures de l'espace poral structural.

L'ensemble de ces observations suggère que les propriétés mécaniques du sol déterminent dans une large mesure la

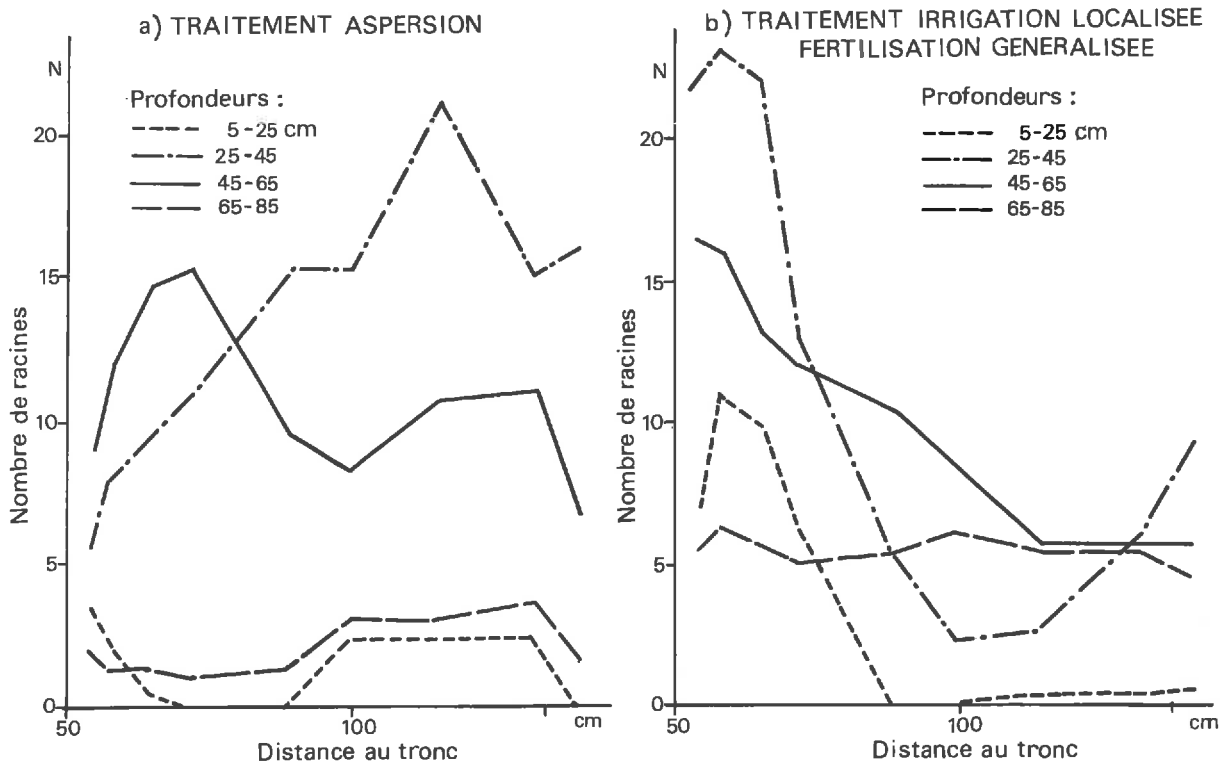


Figure 1 • REPARTITION DES RACINES EN FONCTION DE LA PROFONDEUR ET DE LA DISTANCE AU TRONC.

densité d'enracinement. Plus précisément, pour qu'une racine puisse pénétrer un matériau à structure continue, il faut que la déformabilité de celui-ci, à la pression de croissance racinaire, soit suffisante ; autrement dit, que les deux caractéristiques mécaniques qui commandent ce comportement (cohésion et angle de frottement interne) soient faibles. Pour une texture donnée, les valeurs de ces critères décroissent lorsque l'humidité augmente. On conçoit alors que l'humidité du sol pendant les périodes de croissance racinaire joue un rôle essentiel.

Toutefois, la quantification de telles relations, leur extension à des milieux discontinus et à des textures variées, leur insertion enfin dans des modèles prévisionnels d'exploitation du sol par les racines se heurtent à l'insuffisance des connaissances, tant dans le domaine de la micromécanique des sols que dans celui des aspects cinématiques et surtout dynamiques (pression de croissance axiale et radiale) de la croissance racinaire. Ces orientations sont à l'origine des deux volets d'un programme de recherche récemment engagé à la Station de Science du Sol d'Avignon, respectivement par A. FAURE et N. SOUTY.

INFLUENCE DU MODE D'IRRIGATION SUR L'ABSORPTION D'EAU ET DE SELS MINÉRAUX PAR LES RACINES

La description des fonctions puits racinaire pour l'eau et les éléments nutritifs minéraux correspond à deux principales motivations :

- sa connaissance est indispensable à la mise au point de modèles de transferts d'eau et de soluté dans les sols cultivés, transferts dont l'absorption racinaire constitue l'un des moteurs aux travers des gradients de concentration et donc des flux qu'elle impose.

- elle est, par ailleurs, nécessaire à l'établissement des diagnostics sur la nutrition minérale et hydrique des cultures. Les difficultés portent sur la détermination de la répartition spatiotemporelle et de l'intensité de l'activité racinaire.

Elles sont le plus souvent éludées en faisant dépendre la fonction puits d'une côte, d'une distance par rapport à la plante ou d'une densité - difficile par ailleurs à quantifier - de la biomasse racinaire dans le sol. D'autre part, on considère généralement des systèmes mono-dimensionnels quant à l'apport d'eau de solutés et de distribution racinaire ou au mieux des systèmes tri-dimensionnels ayant pour ces trois paramètres un même axe de symétrie.

De telles contraintes sont très mal adaptées à la structure d'un peuplement fruitier singulièrement lorsque ce dernier est alimenté en eau et en engrais par des apports localisés excentrés. Nous présenterons deux séries de recherches dont le but est de mieux tenir compte de ces particularités.

Localisation et intensité de l'absorption de l'eau en fonction du type d'irrigation.

(B. CABIBEL, 1978).

La méthode employée ici a consisté à établir par humidimètre neutronique, à raison d'une quinzaine de tubes par arbre, les cinétiques de prélèvement d'eau par les racines dans différentes parties du volume de sol exploité. Les mesures ont porté sur un arbre irrigué par aspersion et sur un arbre irrigué en localisation. Les variations de teneur en eau enregistrées au cours de ces cinétiques dans chaque volume élémentaire étudié ont été mises en relation avec

- le nombre de radicelles présentes comptées en fin d'expérience,
- l'humidité du sol en début de cinétique.

Schématiquement les résultats obtenus sont les suivants :

- Au cours d'une première série de cinétiques réalisées avant déclenchement de l'irrigation, la teneur en eau du sol étant au départ proche en tous points de la capacité de rétention, on constate que le prélèvement d'eau en début de cinétique est corrélé de façon hautement significative au logarithme du nombre de racines. Cette corrélation disparaît, dans la suite de la cinétique, dès lors que l'hétérogénéité de prélèvement a induit une hétérogénéité suffisamment forte des teneurs en eau.

- Après le déclenchement de l'irrigation, il n'apparaît plus aucune corrélation entre le prélèvement d'eau et la densité de racine au même point. Dans le cas de l'aspersion, le prélèvement est d'autant plus élevé que la distance au tronc est plus faible. Sous irrigation localisée, on constate une localisation très marquée des prélèvements d'eau à la périphérie de la zone bulbaire. Ces prélèvements s'atténuent jusqu'à disparaître lorsqu'on atteint les zones quasi-saturées à proximité de l'axe du goutteur ; il en est de même lorsque l'on s'éloigne du bulbe vers des parties du sol de moins en moins humides.

Il apparaît donc que la densité racinaire n'est un indicateur efficace de l'absorption potentielle d'eau qu'en conditions hydriques homogènes. Dès lors que ces conditions ne sont plus remplies (déclenchement de l'irrigation ou emprunts à la réserve du sol non compensés par des transferts physiques), la disponibilité de l'eau commande ce niveau des prélèvements en l'absence de facteurs limitants. Ces derniers se manifestent au coeur du bulbe où les conditions hypoxiques interdisent l'absorption de l'eau bien que cette dernière soit, physiquement parlant, très disponible.

Conditions d'absorption du phosphore sous irrigation localisée.

R. GUENNELON et R. HABIB, 1979 ; R. HABIB, 1981).

L'existence de conditions biologiquement défavorables au fonctionnement racinaire conduit à se poser le problème des conditions d'absorption des ions minéraux et particulièrement

rement de ceux qui sont peu mobiles en irrigation localisée fertilisante.

Le phosphore a été choisi à la fois pour des raisons méthodologiques et techniques et en raison des risques d'insolubilisation élevés à proximité de son point d'apport au sol que présente l'ion phosphorique en milieu fortement calcaire.

La recherche a été conduite en plusieurs étapes sur des lots d'arbres du verger précédemment décrit, irrigués par aspersion jusqu'à l'année précédent l'expérimentation.

Après avoir vérifié que pour l'ensemble de ces arbres la probabilité d'avoir des racines actives en conditions, par hypothèse, optimales (humidité voisine de la CR) vis-à-vis de l'absorption du phosphore à la profondeur choisie (-35 cm) était suffisamment élevée pour que la répartition des racines potentiellement fonctionnelles n'interfèrent pas sur les résultats, deux expériences ont été réalisées.

Dans les deux le principe technique était le même : injection de ^{32}P (en solution chlorhydrique sans entraîneur) en un seul point par arbre, toujours situé à -35 cm de profondeur et dont la position par rapport au goutteur était tirée au hasard ; recherche de la présence du radioélément dans un échantillonnage du feuillage réalisé au temps $t + 2$ h.

- Dans la première expérience réalisée sur 8 arbres, les points d'injection (un par arbre tiré au hasard) étaient paramétrés par la seule distance à l'axe du goutteur. Le seul résultat acquis a porté sur la non-absorption du ^{32}P injecté à 35 cm sur l'axe du goutteur. Par rapport à l'hypothèse «non-absorption en milieu saturé ou quasi-saturé», il apparaît donc que seule la distance à l'axe du goutteur = zéro n'était pas équivoque vis-à-vis de la teneur en eau.

- Il apparaissait alors nécessaire de réaliser une deuxième expérience qui a porté sur 36 couples arbres-point d'injection de ^{32}P , mais dans laquelle 11 variables caractéristiques du matériel végétal du milieu physique au point d'injection et des conditions opératoires ont été directement mesurées le jour même de l'expérience.

Il en est ressorti deux séries de données :

- l'ensemble des réponses (de type oui-non) des arbres à l'injection de ^{32}P dans le sol,

- l'ensemble des variables caractérisant chaque couple arbre-point d'injection.

La méthode de traitement utilisée a consisté à mettre en relation ces deux ensembles pour rechercher lesquelles des variables choisies permettaient d'expliquer l'absorption ou la non-absorption de P.

Ce tri a été réalisé en deux étapes : une analyse en composante principale (ACP) et une recherche de régression linéaire sur données qualitatives.

L'ACP a permis de choisir parmi les 11 variables initiales 3 d'entre elles qui semblent jouer un rôle important sur la fonction «absorption du phosphore par les racines». Ces

variables caractérisent toutes les 3 le point d'injection :

- Le taux de saturation du sol en eau θ_s indicateur simultané de l'humidité du sol et de sa teneur en air,
- La densité sèche du sol ν_d qui, pour un même sol, est un indicateur de compacité,
- La distance au tronc (d) du point d'injection dont l'interprétation possible est a priori plus complexe.

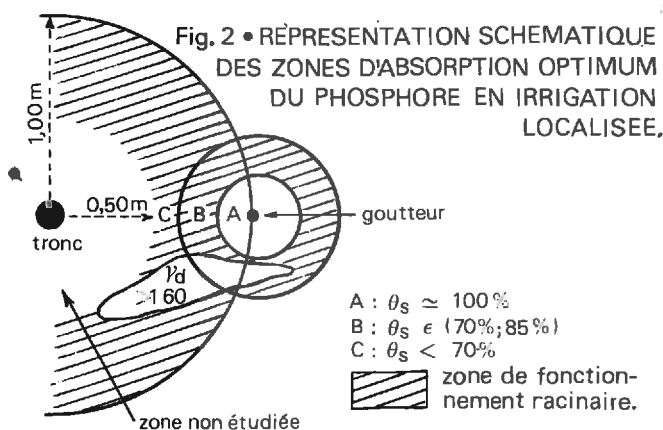
La seconde étape nous a permis de préciser les seuils d'action et d'interaction des 3 variables qui viennent d'être sélectionnées (θ_s , ν_d , d). A partir de l'élaboration de nouvelles variables interactives, rendant compte de la réalisation simultanée d'une modalité de 2 ou 3 des variables d'origine, nous avons recherché lesquelles parmi ces interactions ou plus exactement quelle (s) modalité (s) de l'une ou l'autre de ces variables interactives permettaient d'expliquer par leur réalisation aux différents points d'injection le plus grand nombre de cas d'absorption du phosphore.

L'essentiel des résultats est reporté figure 2.

- Lorsque le taux de saturation est peu différent de 100 p. 100 on n'observe aucune absorption de P. Le caractère limitant absolu d'une teneur en air du sol très faible à nulle sur l'absorption de P, dont la réalisation est ici limitée à la proximité immédiate de l'axe du goutteur, est confirmé, en accord avec le seul résultat positif de l'expérience précédente.

- Lorsque le taux de saturation est compris entre 70 et 85 p. 100, les conditions d'absorption de P apparaissent réalisées sauf si, simultanément, la densité sèche du sol au point d'injection est supérieure à 1.60. Dans le limon argileux considéré ce seuil correspond à la disparition de toute porosité de fissure. Cette condition met en lumière les aspects dynamiques de l'aération du sol et de l'eau : la porosité de fissure est en effet à la fois un espace de diffusion rapide en phase gazeuse et un espace de circulation rapide de l'eau riche en oxygène apportée en surface par le goutteur.

- Pour les taux de saturation inférieurs à 70 p. 100 une triple



interaction se manifeste : comme précédemment, il est nécessaire, pour qu'il y ait absorption, qu'existe un minimum de porosité de fissure ; mais aussi, il faut simultanément que le point d'injection soit situé entre l'arbre et le goutteur. Cette dernière condition peut être rapprochée de la probabilité élevée qu'il existe une forte densité de racines dans cette zone. Or aux humidités relativement faibles considérées, la conductivité hydraulique d'un limon argileux devient plusieurs puissances de 10 inférieures à celle qu'elle est dans la gamme de taux de saturation précédente (70 p. cent $< \theta_s < 85$ p. 100). Il est dès lors évident que la densité racinaire qui détermine les trajets moyens que doit parcourir l'eau jusqu'à la surface d'absorption doit participer aux conditions d'absorption des ions PO_4 en solution.

CONCLUSION

Ces quelques résultats soulignent la complexité du fonctionnement probable du système sol-racine des arbres fruitiers surtout lorsqu'ils sont irrigués et éventuellement fertilisés en localisation ; mais en même temps, ils suggèrent les moyens par lesquels on devrait pouvoir améliorer nos connaissances en ce domaine.

Au plan méthodologique, il se confirme que l'arbre fruitier et, de façon plus générale, le peuplement que constitue un verger, peut être un bon modèle pour l'étude des interac-

tions qui commandent la croissance et le fonctionnement des systèmes racinaires, à condition d'exploiter la variabilité du système sol-technique pour tester la validité d'hypothèses fortes (ici le rôle des conditions hypoxiques sur le fonctionnement racinaire) formulées à partir des connaissances disponibles.

Sur le fond du problème posé, il apparaît clairement que si la connaissance de la répartition dans le sol du système racinaire et de son déterminisme est nécessaire, elle est cependant tout à fait insuffisante à la prévision des zones de fonctionnement privilégié racinaire.

Dans le cas de l'irrigation, chaque fois que les conditions de sol (texture et structure) et les modalités de distribution de l'eau (débit des goutteurs, doses quotidiennes) entraînent la quasi-saturation de la partie centrale du bulbe, la zone de fonctionnement racinaire risque de se localiser à la périphérie du bulbe. Les conséquences de cette exploitation très limitée du sol devront être prises en considération lors de la conception des modalités de fertilisation minérale : la logique de l'irrigation localisée est d'être aussi fertilisante, ce qui implique l'étude des conditions dans lesquelles les ions fertilisants à forte interaction physicochimique avec le milieu tels que l'ion PO_4 seront capables de diffuser jusqu'aux zones éloignées du point d'apport où le fonctionnement racinaire est assuré. Ceci renforce l'intérêt des recherches accrues depuis quelques années sur les phénomènes de transferts de solutés dans les sols.

BIBLIOGRAPHIE

- CABIBEL (B.). 1978.
Influence du mode d'irrigation sur la structure et le fonctionnement du système racinaire de jeunes pommiers.
C.R. Acad. Agric. Fr., p. 616-624.
- GUENNELON (R.) et HABIB (R.). 1979.
Conditions d'absorption du phosphore en irrigation localisée.
C.R. Acad. Agric. Fr., 65, p. 1453-1459.
- HABIB (R.). 1981.
Étude pour des végétaux pérennes (pommiers) soumis à une irrigation localisée des conditions d'absorption racinaire du phosphore.
Thèse de 3^e Cycle U.S.T.L.-E.N.S.A.M. Montpellier.
- HUGUET (J.G.). 1973.
Nouvelle méthode d'étude de l'enracinement des végétaux pérennes à partir d'une tranchée spirale.
Ann. Agron., 24 (6), p. 707-731.

