



**HAL**  
open science

## Aspects particuliers concernant la disponibilité de N, P et K en irrigation localisée fertilisante sur arbres fruitiers

R. Guennelon, Robert Habib, A.M. de Cockborne

### ► To cite this version:

R. Guennelon, Robert Habib, A.M. de Cockborne. Aspects particuliers concernant la disponibilité de N, P et K en irrigation localisée fertilisante sur arbres fruitiers. Séminaire, Nov 1979, Bologne, Italie. hal-02784198

**HAL Id: hal-02784198**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02784198>**

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.

(03)  
C.E.E.

AGRIMED

SEMINAIRE SUR  
L'IRRIGATION LOCALISEE

I

Mouvement de l'eau et des sels  
en fonction des caractéristiques des sols  
soumis à l'irrigation localisée

II

Efficacité des apports d'eau par  
l'irrigation localisée en fonction des  
modalités d'application.

III

Influence de l'irrigation localisée  
sur la morphologie et la physiologie  
des racines.

SORRENTE - 15/17 Avril 1980  
BOLOGNE - 06/09 Novembre 1979

## ASPECTS PARTICULIERS CONCERNANT LA DISPONIBILITÉ DE N, P ET K EN IRRIGATION LOCALISÉE FERTILISANTE SUR ARBRES FRUITIERS

*R. Guennelon, R. Habib et A. M. de Cockborne \**

### *1. Introduction*

L'un des aspects à retenir concernant l'irrigation localisée est la possibilité d'introduire automatiquement les éléments fertilisants sous forme soluble dans le sol, et de moduler les apports en fonction des besoins; il devrait s'en suivre une meilleure utilisation économique des engrais.

Cependant, il faut être certain que les éléments intéressés parviennent bien au niveau d'une zone où l'activité absorbante des racines suffira à l'ensemble des fonctions de développement et de production de l'arbre, et cela au moment où s'expriment les besoins.

Il ne peut donc être question d'étudier les transferts de ces éléments en ne prenant en compte que leur transport dispersif dans un milieu poreux continu, mais il importe d'étudier les phénomènes physico-chimiques qui aboutissent soit à leur rétention dans des zones où la circulation des solutés est très lente (voire nulle) soit à leur adsorption sur le milieu lui-même par échange ou précipitation (RAUSCHKOLB et al., 1976).

Si l'on considère par exemple les possibilités de transfert de l'ion  $PO_4^{3-}$  dans un sol, on s'aperçoit que, la vitesse du flux vecteur diminue notablement, et en particulier, dès que le régime de circulation de l'eau est de type non saturé, la cinétique de précipitation sous forme apatitique est assez rapide pour que la migration de  $PO_4^{3-}$  soit nulle.

De même, en régime non saturé et pour des ions adsorbés comme  $NO_3^-$ , la diffusion de cet ion vers des zones d'eau immobile (dans des pores en cul-de-sac ou à l'intérieur d'agrégats) retarde considérablement la pénétration des nitrates en profondeur ou en extension latérale par rapport au point d'apport.

On peut donc penser que la circulation des ions sera la plus favorisée dans le volume de sol située à proximité immédiate et en dessous du goutteur (zone saturée), et il importe de savoir si ce cas de figure est compatible avec la faculté d'absorption des racines. Dans le cadre d'une expéri-

mentation sur l'irrigation localisée fertilisante, on présentera donc en premier lieu un essai concernant la disponibilité du phosphore en fonction de la distance au goutteur.

Comme cette zone de transferts rapides est limitée dans son extension, l'alimentation de l'arbre ne se ferait que par un nombre restreint de racines actives. La seconde partie de ce travail tend à montrer que la migration de N, P, K dépend beaucoup de l'existence de cheminements préférentiels et de flux hydriques induits par l'activité des racines et non pas seulement des lois de diffusion en milieu continu non saturé, et des cinétiques d'adsorption-insolubilisation de certains de ces ions.

## PREMIÈRE PARTIE

### 2. Disponibilité de l'ion $PO_4^{--}$ en irrigation localisée

La cinétique de fixation de  $PO_4^{--}$  en sols argilo-calcaires, sous forme de phosphates calciques apatitiques étant rapide, la diffusion de cet ion dépend du coefficient de diffusion apparent de l'ordre de  $10^{-7}$   $cm^2 sec^{-1}$  (HIRA & SING, 1977-1978; R. HABIB, 1979- ) qui limite à quelques millimètres-heures la progression de cet ion dans le milieu poreux, aboutit très vite à une localisation sous forme peu utilisable, à peu de distance du point d'apport.

On peut donc penser que la disponibilité pour la plante n'est réelle qu'à très faible distance d'un goutteur d'irrigation localisée et cela pendant un temps très court après l'arrêt de l'apport. Pour que l'utilisation de phosphates solubles dans l'eau d'irrigation ait quelque efficacité, il faudrait donc que dans cette zone, il y ait des racines actives et qu'elles soient, physiologiquement, en mesure d'absorber l'ion phosphate.

Dans un verger de pommiers âgés de 6 ans, installé sur un sol argilo-calcaire, on a donc, par des implantations localisées de phosphates, cherché à obtenir l'existence ou non d'une absorption en utilisant du  $^{32}P$  que l'on recherche ensuite au niveau du feuillage, par prélèvements.

Des essais préliminaires ont permis de déterminer les conditions d'apport au sol du radioélément et montré que l'on pouvait faire l'échantillonnage des feuilles à analyser, deux heures après la mise en place du radioélément dans le sol.

### 3. Probabilité de rencontrer des racines actives lors de la localisation du radioélément

Avant de procéder aux essais en cours d'irrigation, il importait de vérifier si le dispositif de terrain utilisé, le développement du système racinaire des arbres et le mode d'apport du  $^{32}P$  aboutissaient à une bonne probabili-

té d'absorption par l'arbre, toutes les autres conditions étant par ailleurs supposées être à leur optimum (teneur en eau uniforme à la capacité au champ, date d'injection correspondant à une phase maximale d'absorption de P).

L'expérience a été menée sur une partie du verger, traitée depuis sa plantation (Février 1973) en irrigation par aspersion. On a testé (et utilisé par la suite dans les autres essais) la couche de sol de profondeur moyenne 35 cm, où des observations directes antérieures avaient montré que la densité racinaire y était la plus élevée. Vingt arbres ont été testés par injection localisée de  $^{32}\text{P}$  et, pour chaque arbre, une distance au tronc comprise entre 50 et 200 cm a été tirée au hasard. Les injections étaient effectuées dans un secteur circulaire de  $120^\circ$ , centré sur l'arbre, comprenant l'image d'un goutteur fictif (fig. 1). La probabilité qu'une réponse nulle de l'arbre (c'est-à-dire l'absence de radioactivité dans les feuilles) (1) soit due à l'absence de racines actives est alors inférieure à 0,17 pour un risque testé de 5%. Comme pour les essais ultérieurs, chaque distance d'implantation a donné lieu à 8 répétitions, ce risque tombe à  $10^{-6}$ .

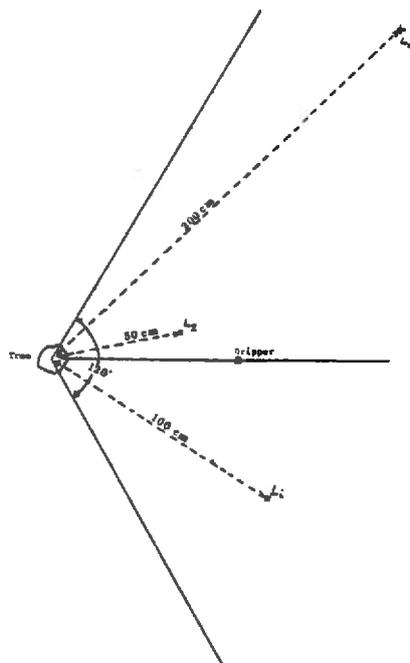


Fig. 1 - Localisation of  $^{32}\text{P}$  injections.

(1) On précise qu'on ne prend en compte le taux de comptage de l'échantillon de feuilles après contamination de l'arbre que pour déterminer la signification de ce comptage par rapport au bruit de fond mesuré sur un autre échantillon avant injection (seul inférieur logique de réponse).

Le même type de test a été réalisé sur la partie du verger traitée en irrigation localisée avant départ de l'irrigation et on a obtenu le même résultat: ceci confirme, au moins au niveau -35 cm, la non-différenciation morphologique du système racinaire sous l'influence d'un gouteur excentré par rapport à l'arbre (gouteur ne fonctionnant que durant 4 à 5 mois).

#### 4. Probabilité d'absorption en fonction de la distance au gouteur

L'expérimentation suivante, réalisée dans les mêmes conditions que la précédente, considère comme variable à l'explication de la réponse de l'arbre, la distance au gouteur. Cela signifie que cette variable n'est corrélée avec le taux de saturation que par l'utilisation d'un bulbe hydrique de référence étudié sur un arbre du dispositif (mais n'appartenant pas à l'ensemble des 6 × 8 arbres testés par injection au niveau du système racinaire).

Six distances ont été utilisées avec 8 répétitions pour chaque distance. Les conditions de saturation sont parfaitement déterminées pour deux d'entre elles:

- à 0 cm, à la verticale du gouteur, où l'hypothèse de non-absorption de  $^{32}\text{P}$  est vérifiée avec un niveau d'erreur inférieur à  $5 \cdot 10^{-4}$  (taux de saturation égal à 100%) (2).

- à plus de 100 cm, où le taux de saturation correspond à une zone qui n'est atteinte par l'eau que par le mécanisme de redistribution (période entre deux phases de fonctionnement du gouteur): dans ce cas, on conclut à l'absorption de  $^{32}\text{P}$  avec un niveau de signification de 0,025%.

Pour les autres distances (30, 50, 80 et 90 cm du gouteur), le risque d'accepter l'hypothèse de non-absorption diminue avec la distance au gouteur (ce qui est conforme à une probabilité d'absorption inversement proportionnelle au taux de saturation), mais la corrélation entre probabilité d'absorption et distance est faible: ceci traduit le fait qu'en dehors des cas extrêmes, (0 et 100 cm), la distance au gouteur n'est pas elle-même correctement reliée au taux de saturation. Le test statistique traduit, en fait, l'hétérogénéité de la structuration interne du bulbe hydrique, et la variabilité de chaque arbre traité par rapport au bulbe unique de référence.

#### 5. Conclusions

Cet essai semble donc mettre en évidence, qu'en zone saturée, l'absorption des racines vis-à-vis de l'ion  $\text{PO}_4^{3-}$  est nulle, et qu'elle est par contre maximale, lorsque le taux de saturation est faible, mais non limitant pour l'activité globale de la racine.

(2) Cette hypothèse est vérifiée lorsque l'implantation du  $^{32}\text{P}$  est faite soit au cours de fonctionnement du gouteur, soit une heure après l'arrêt de ce fonctionnement.

Si donc on admet une migration extrêmement faible du phosphore, on peut craindre qu'en irrigation localisée fertilisante l'alimentation phosphatée ne puisse être assurée dans de bonnes conditions. Il est donc important de voir quel est le comportement du P (et éventuellement d'autres ions) dans un système en fonctionnement réel, où les conditions de transferts sont différentes de celles généralement réalisées dans les modèles de laboratoire.

## DEUXIÈME PARTIE

### 6. Effets dus à divers types de cheminements préférentiels

Dans la réalité de la pratique de l'irrigation localisée fertilisante, divers phénomènes peuvent perturber le fonctionnement d'un bulbe hydrique et salin isolé; ces phénomènes sont les circulations préférentielles le long de pores, de fentes, de fissures à partir de la zone saturée sous goutteur et les accélérations du flux du fluide vecteur sous l'influence de l'évaporation et de l'absorption racinaire. On a donc étudié à cet égard la distribution de N, P, K apportés par l'eau d'irrigation pour diverses localisations par rapport au système goutteur-arbre.

Le dispositif et l'emplacement des prélèvements réalisés à la fin d'une saison d'irrigation (avant redistribution hivernale des éléments solubles) sont représentés sur la figure 2.

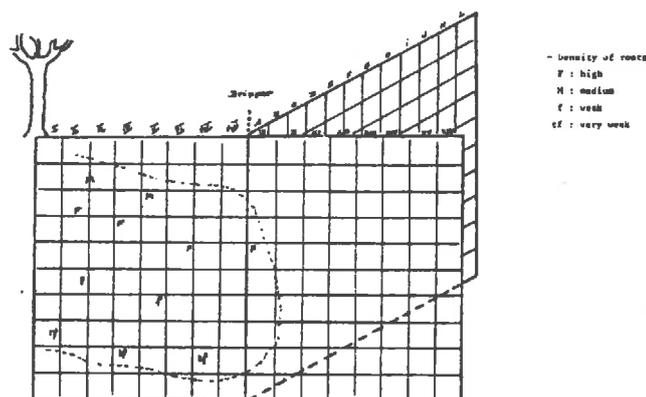


Fig. 2 - Pattern of soil samples collected for analysis.

On a dosé, sur des échantillons de sol répartis avec des pas d'espace de 10 cm:

- $\text{NO}_3^-$  par électrode spécifique,
- $\text{P}_2\text{O}_5$  par extraction à l'oxalate d'ammonium et colorimétrie,
- $\text{K}^+$  par extraction à l'acétate d'ammonium et photométrie de flamme.

### 7. Comportement de l'ion nitrate

On a représenté la distribution de cet ion mobile en fonction de la profondeur et de la distance au goutteur sur les figures 3a, b, c. On peut y

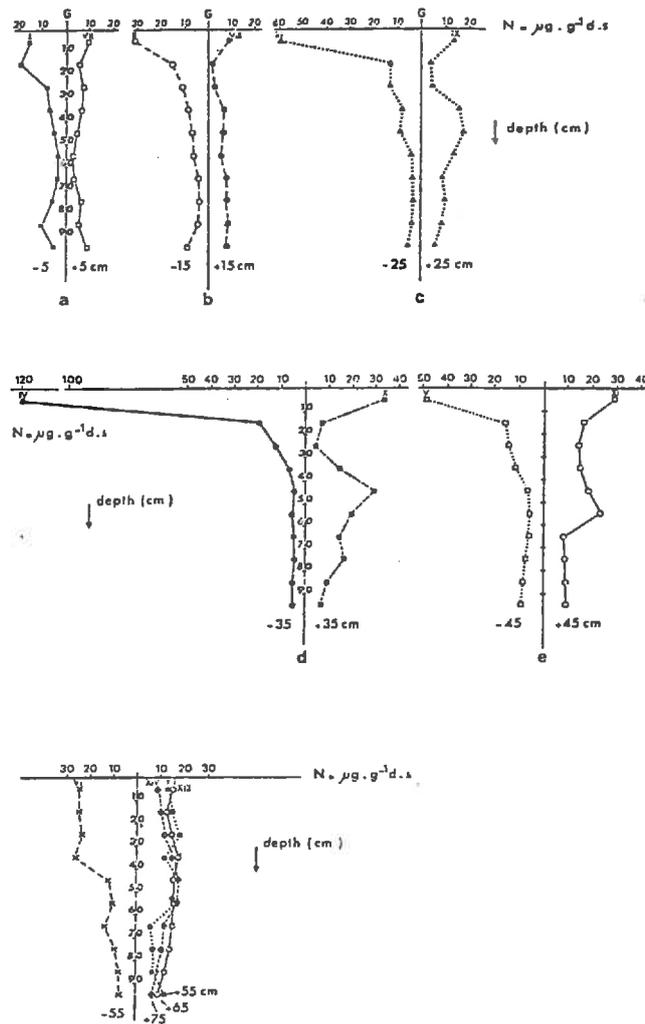


Fig. 3 - N contents on both sides of dripper (trickle irrigation with fertilizers).

trouver les profils «nitrate» pour les verticales I-VII, II-VIII, III-IV, ...etc qui représentent les teneurs mesurées de part et d'autre du goutteur.

A droite du goutteur (c'est-à-dire du côté opposé à l'arbre: profils VII à XIV), on observe le développement progressif d'un bulbe salin à 40-50 cm de profondeur dont l'extension latérale s'atténue à 55 cm du goutteur. Les faibles teneurs constatées au profil le plus proche du bulbe, peuvent s'expliquer par le lessivage vertical en dessous de la zone saturée, par une migration latérale en direction de l'arbre, ou par prélèvement des racines, d'autant plus abondantes que l'on se rapproche de l'arbre. La forme de ce bulbe nitrate est en accord avec les profils hydriques en irrigation localisée relevés en ce type de sol (CABIBEL, 1978). Entre l'arbre et le goutteur, on observe des profils totalement différents:

a) Près de la surface, on observe une diffusion latérale à partir du goutteur (existant également, mais moins nettement sur les profils précédents). Cette accumulation peut résulter d'un flux préférentiel d'eau par suite du phénomène de flaque en surface due à la faible conductivité hydraulique du matériau. On peut penser aussi à une reprise évaporative des flux entraînés obliquement vers l'arbre à partir du goutteur.

b) Au lieu d'une accumulation de nitrates entre 25 et 60 cm de profondeur, on observe au contraire une diminution notable de la teneur en nitrate. Ce phénomène coïncide avec la zone de densité racinaire la plus importante. C'est dans cette zone que l'on a mis également antérieurement en évidence les prélèvements hydriques les plus importants (HENION, 1976).

c) Au profil le plus proche de l'arbre, la teneur en nitrates augmente à nouveau. Il s'agit de la bordure du bulbe hydrique, dans une zone où la densité racinaire diminue à nouveau, à la verticale du tronc.

L'examen des profils «nitrate» permet donc de dire que la distribution de cet ion est dépendante de la direction et de l'intensité des flux d'alimentation hydrique et de l'activité absorbante des racines.

La figure 4 offre un autre mode de représentation de ces résultats.

## 8. Comportement de l'ion $PO_4^{3-}$

Les dosages de phosphate ayant porté sur les échantillons des profils I à IX (ligne de plantation) ont été représentés sur la figure 5; on a séparé dans la représentation les échantillons situés entre l'arbre et le goutteur, et ceux situés au delà du goutteur par rapport à l'arbre.

En admettant (et les conclusions du paragraphe le permettent) que l'ion nitrate reflète bien et les vecteurs de flux hydrique et l'intensité de l'absorption racinaire, on a porté ces valeurs de P en fonction de N. On notera donc que mise à part la forme mathématique de la relation de corrélation, l'ion  $PO_4^{3-}$  se distribue qualitativement comme l'ion  $NO_3^-$  dans la zone où existent des flux préférentiels; par contre, il n'y a aucune corrélation

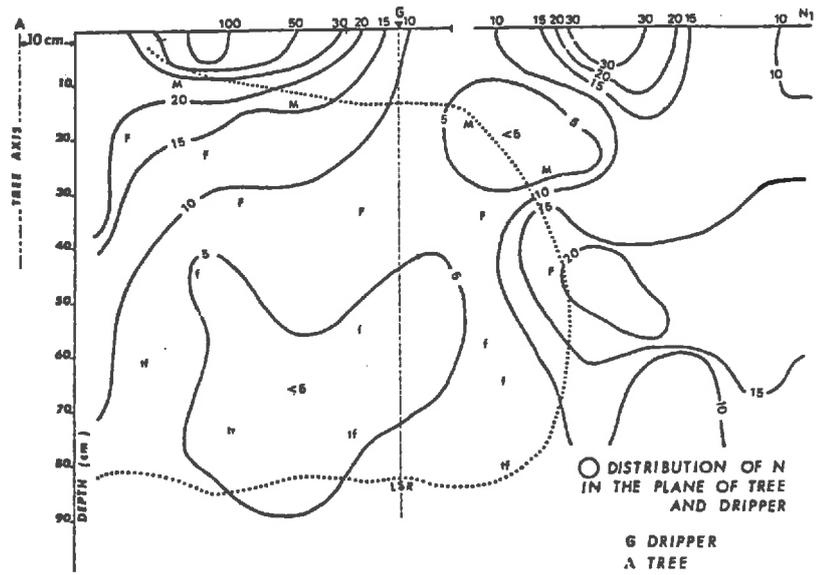


Fig. 4 - Distribution of N in the plane of tree and dripper.

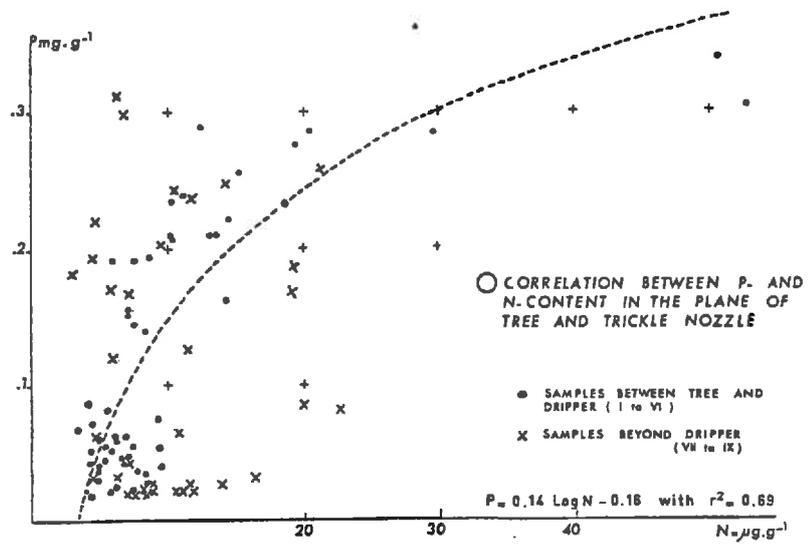


Fig. 5 - P contents of soil in the plane of tree and dripper.

entre P et N dans la zone (VII à IX) où la circulation et la redistribution en régime non saturé aboutissent à des transferts lents. Dans ce cas, le retard dû à l'adsorption-précipitation des phosphates dans le sol le différencie totalement d'un ion soluble, comme le nitrate.

La forme de la relation,  $P = 0,14 \log N - 0,16$  indique (puisque  $\frac{dP}{dN} = \frac{0,14}{N}$ ) que pour les fortes teneurs en azote, P varie peu par rapport à N alors que pour les faibles teneurs (grands parcours ou forte absorption racinaire), les teneurs en P diminuent rapidement.

On a donc un comportement différent des deux ensembles d'échantillons qui traduit une mobilité plus grande et un comportement d'ion relativement peu absorbé, lorsque certaines influences perturbent la distribution axisymétrique, dominée par l'adsorption, qui est généralement le schéma proposé pour la migration du phosphore.

Si maintenant on s'intéresse aux profils A à F (perpendiculaires au goutteur, et, dans ce plan, les plus proches de l'arbre), on obtient la relation:

$$P = 0,227 \text{ Log } N - 0,432 \quad (r^2 = 0,85) \quad (\text{figure 6})$$

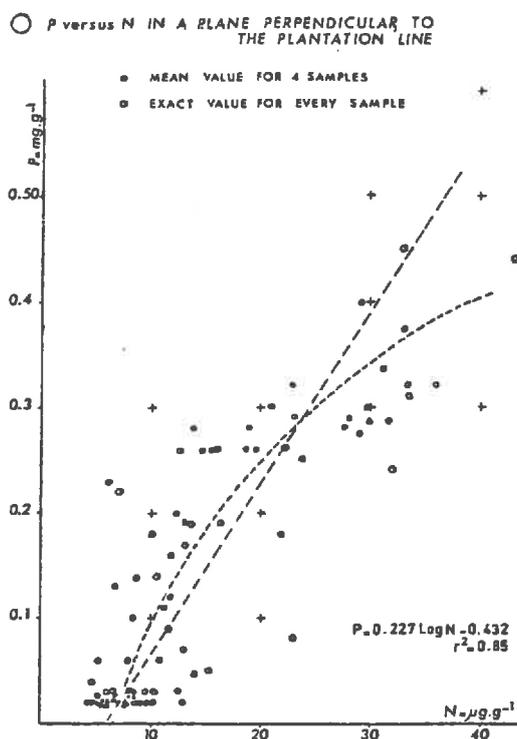


Fig. 6 - P contents in a plane perpendicular to plantation line.

On peut même obtenir avec les valeurs exactes, une regression linéaire:

$$P = 0,016 N - 0,096 \quad (r^2 = 0,60)$$

Lorsqu'on représente les courbes d'iso-concentrations en N et P (figure 7), dans ce plan, on peut noter une similitude marquée entre le comportement des deux ions qui peuvent traduire leur déplacement simultané, sous l'action de cheminements hydriques préférentiels. On s'aperçoit en particulier que, avec des teneurs de l'ordre de 10-20 ppm, la pénétration de  $\text{NO}_3^-$  présente deux directions privilégiées de transferts, indiquées par deux flèches sur la figure. Parallèlement,  $\text{PO}_4^{3-}$  semble suivre les mêmes directions (et nous verrons plus loin qu'il en est de même pour  $\text{K}^+$ ). On peut noter que l'on pourrait également expliquer cette configuration des courbes par l'existence, entre les deux flèches, d'une zone d'activité raci-

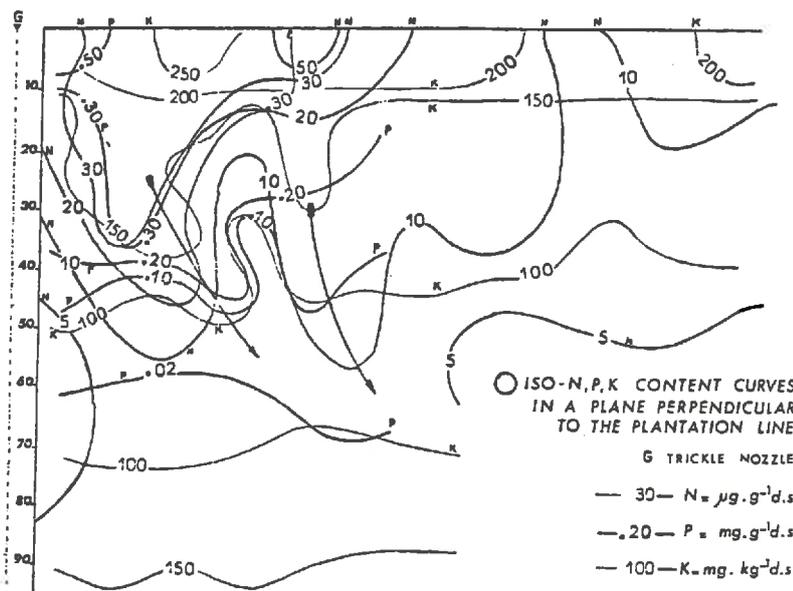


Fig. 7 - Iso-content curves for N, P and K.

naire intense, appauvrissant le sol à son niveau. Quoiqu'il en soit, le schéma diffusif bidimensionnel avec retard important du transport de  $\text{PO}_4^{3-}$  est donc fortement perturbé par des cheminements préférentiels ou des localisations spatiales de fonctions puits racinaires.

### 9. Comportement de l'ion $\text{K}^+$

Dans un sol argileux à forte capacité d'échange, où l'analyse par Rayons X met en évidence la présence de Vermiculite et de Montmorillonite,

la fixation irréversible de  $K^+$  et la diminution corrélative du potassium échangeable est un phénomène qui gouvernera la mobilité de cet ion. Les travaux de CHAUSSIDON, MAMY et GAULTIER (1963, 1980) ont montré toute l'importance des phases de dessiccation et d'humectation sur cette « rétrogradation du potassium ». L'influence des températures relativement élevées (supérieures à  $40^\circ\text{C}$ ) qui favorise ce phénomène, peut être même prise en compte dans le cas de l'irrigation localisée où l'eau circule très lentement dans des tuyaux de plastique noir et peut sortir au goutte à goutte à près de  $60^\circ\text{C}$ .

On ne développera pas le comportement du potassium dans le détail: il suffit de dire que toutes les remarques faites au sujet de  $\text{PO}_4^{3-}$  s'applique également à  $K^+$ . La figure 8 relative au plan de la ligne de plantation montre que pour les échantillons situés au delà du goutteur, par rapport à l'arbre, il n'y a aucune corrélation entre les teneurs en azote et les teneurs en potassium; c'est-à-dire que le schéma de distribution de  $K^+$  sera différent de la morphologie du bulbe hydrique. Pour les autres échantillons, on a:

— Entre arbre et goutteur:  $K = 60,70 \text{ Log } N + 12,05 \quad (r^2 = 0,74)$

— Perpendiculairement à la ligne de plantation (figure 9)

Profils A à F:  $K = 76,4 \text{ Log } N - 50,2 \quad (r^2 = 0,72)$

Profils F à L:  $K = 65,6 \text{ Log } N - 44,1 \quad (r^2 = 0,87)$

On peut rappeler également (figure 7) que le  $K^+$ , tout comme  $\text{PO}_4^{3-}$  présente des anomalies de répartition par rapport à la distribution axisymétrique qui révèlent des cheminements préférentiels ou(et) des fonctions puits localisées.

## 10. Conclusions

Ce travail met donc en évidence deux phénomènes liés à la pratique de l'irrigation localisée fertilisante:

— d'une part, l'absorption quasi-nulle du phosphore dans et au voisinage de la zone saturée, même si des racines fonctionnelles y existent.

— d'autre part, les perturbations, par rapport à un bulbe salin axisymétrique, apportées par l'existence d'une porosité de grande dimension (porosité structurale) induisant des cheminements préférentiels et par la fonction d'absorption des racines.

Le premier phénomène (défavorable par rapport à la pratique de l'irrigation envisagée) est expliqué par l'hypoxie racinaire due à un taux de saturation élevé. Récemment, A. GUR et al. (1979) ont mis en évidence l'influence de taux élevés de saturation sur le fonctionnement du système racinaire, lors de fréquences trop grandes d'irrigation par aspersion. Ils ne

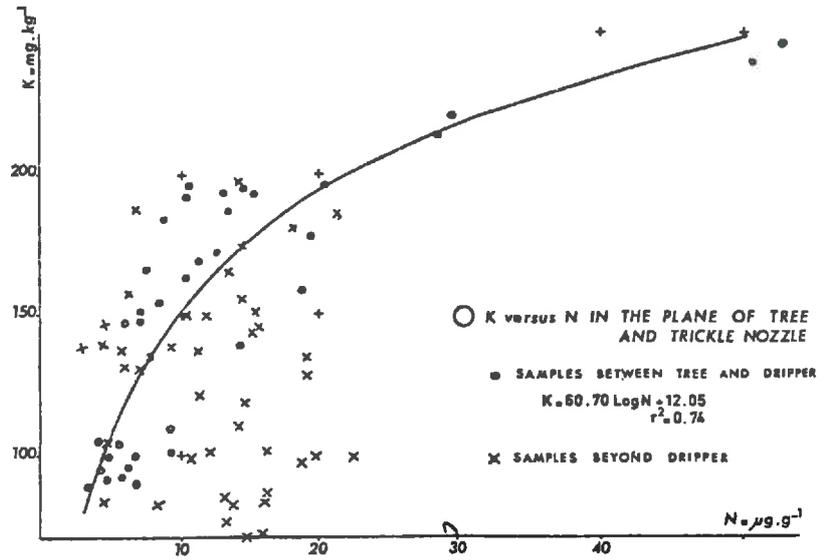


Fig. 8 - K contents in the plane of tree and dripper.

( ) K versus N IN A PLANE PERPENDICULAR TO THE PLANTATION LINE

△ SAMPLES A to F  $K = 65.8 \text{ Log } N - 44.1$   
 $r^2 = 0.87$

● SAMPLES F to L  $K = 76.4 \text{ Log } N - 50.2$   
 $r^2 = 0.72$

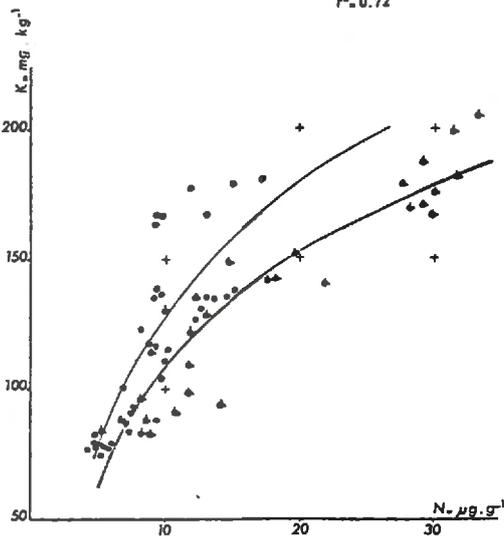


Fig. 9 - K contents in a plane perpendicular to plantation line.

notent pas d'influences défavorables dans le cas de l'irrigation localisée lorsque cette fréquence est au moins de 7 jours: ils font cependant l'hypothèse que ces conditions défavorables et leurs conséquences peuvent exister pour des intervalles plus courts (ce qui est effectivement le cas dans le présent travail: irrigation journalière à 6 litres/heure chaque jour).

Le second phénomène apporte, dans une certaine mesure, un correctif au précédent dans la mesure où, contrairement aux travaux réalisés sur des milieux isotropes, diverses influences assurent un transfert des éléments nutritifs qui les amènent dans une zone du bulbe hydrique où les phénomènes d'absorption sont, au contraire, favorisés par une aération suffisante.

SUMMARY. — Trickle Irrigation practice, joint with use of fertilizers can induce water saturated zones.  $^{32}\text{P}$  solutions reveals phosphate ion to be non absorbed by roots in there unfavorable conditions. On the other hand effective absorption occurs at the borders of the bulb where soil aeration is more adequate.

But adsorption kinetics of  $\text{PO}_4^{---}$  on soil reduce greatly the migration of that ion far enough from the point of water introduction by dripper.

Nevertheless in indurated soils, relatively high structural porosity and flux induced by root activity can give rise to preferential pathways. In such a case distribution patterns of  $\text{PO}_4^{---}$  also  $\text{K}^+$  are similar to there of an soluble soil-unadsorbed ion like  $\text{NO}_3^-$ .

So the efficiency of phosphate fertilizers is not so unreliable as previous laboratory experiments carried out with isotopic materials could foreshadow it in relation with predominant adsorption phenomena.

#### BIBLIOGRAPHIE

- CABIBEL B. (1978), *Influence du mode d'irrigation sur la structure et le fonctionnement du système racinaire de jeunes pommiers*. C.R. Ac. Agric. Fr., pp. 616-624.
- CHAUSSIDON J. (1963), *Evolution des caractéristiques chimiques et cristallographiques des montmorillonites bi-ioniques K-Ca au cours d'alternances répétées d'humectations et de dessiccations*. Proc. Int. Clay Conf., I, pp. 195-201.
- GUR A., DASBERG S., SCHKOLNIK I., SAPIR E., and PELED M. (1979), *The Influence of Method and frequency of Irrigation on Soil Aeration and Some Biochemical Response of Apple Trees*. Irrigation Science, Vol. 1, nr. 2, pp. 125-134.
- HENION B. (1976), *Comparaison de méthodes d'études du système racinaire de végétaux pérennes. Application à des arbres fruitiers soumis à trois modes d'apport d'eau et de sels*. E.N.I.T.A. de Dijon - Mémoire de fin d'études - Montfavet.
- HIRA G. S. and SING N. T. (1978), *Prediction of Phosphorus Diffusion from Fertilizers Source*. S.S.S. Am. Journ., Vol. 42, pp. 561-565.
- HIRA G. S. and SING N. T. (1977), *Observed and predicted rates of Phosphorus Diffusion in Soils of varying Bulk Density and Water Content*. S. S. S. Am. Journ., Vol. 41, pp. 537-540.
- MAMY J., 1980, *Etude de la fixation du potassium dans les montmorillonites Bioniques K-Ca*. Ann. Agron. (à paraître).
- RAUSCHKOLB R. S., ROLSTEIN D. E., MILLER R. J., CARLTON A. B. and BURAN R. G. (1976), *Phosphorus fertilization with drip irrigation*. S. S. S. Am. Journ., 40 (1), pp. 68-78.