



Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 2 juin 1969

RELATIONS ENTRE L'INFILTRATION ET LES MÉTHODES CULTURALES

PAR C. MAERTENS *
ET MARIELLE COURAU *

Introduction

L'infiltration de l'eau dans le sol revêt pour l'agriculture une importance capitale; les modalités de ressuyage du terrain conditionnent non seulement l'implantation et la croissance des cultures, principalement d'hiver, mais également les possibilités d'intervention : préparation du sol, traitements divers.

L'étude de ces problèmes dans le milieu naturel est rendue très complexe par la nature même du sol. La grandeur et la nature des différents critères de la circulation de l'eau y sont mal définies. De plus, on est très souvent en présence d'une succession verticale de milieux très différents. Dans de très nombreux cas, la nature même de la culture couvrant le sol provoque une répartition très inégale des précipitations.

A la Station d'Agronomie de Toulouse, nous avons entrepris l'étude de l'infiltration de l'eau sous deux aspects très différents : d'une part des études de laboratoire sur modèles plus ou moins complexes, et d'autre part des études sur le terrain.

Études de laboratoire sur l'infiltration et la filtration

Dans le cas de la filtration, la circulation de l'eau saturante à travers un milieu poreux est régie par la loi de Darcy :

$$V = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{\Delta H}{\Delta l} = \frac{K}{\eta} i$$

V : vitesse;

K : constante caractéristique du milieu poreux;

η : viscosité du fluide;

$\frac{\Delta H}{\Delta l}$: gradient hydraulique i .

Dans le cas de l'infiltration, où l'eau pénètre dans un milieu sec, à la limite de la zone humide et de la zone sèche, se développent, en plus du gradient de charge, des forces capillaires de succion.

Dans ces expériences, M. Courau [1, 2] a pu démontrer que, à la condition que le front d'humectation soit saturé, ces forces capillaires de succion s'ajoutent à la charge, et répondent à la loi de Darcy.

Dans ce cas, le gradient hydraulique devient :

$$\left(\frac{a+x}{x} \right) + \frac{S}{x}$$

a : hauteur d'eau au-dessus du milieu;

x : hauteur du milieu saturé;

S : forces capillaires.

* Station d'Agronomie, 67, Bd Deltour, 31-Toulouse.

On peut constater que le gradient hydraulique, dû à la charge $(a + x)/x$, tend vers 1, alors que celui dû à la succion tend vers 0.

Les différences de débits au cours de l'infiltration s'expliquent par l'action simultanée de la charge et de la succion. En effet, au début de l'infiltration, la succion représente la force la plus grande, jusqu'au moment où l'égalité suivante est atteinte $S = a + x$.

Dans le sol, les pores présentent une hétérogénéité dans leurs dimensions, et on en rencontre de tailles très variables. Ils sont relativement importants entre les mottes et les agrégats, très nettement plus petits à l'intérieur de ces derniers. C'est pourquoi l'étude a été poursuivie dans des milieux placés côte à côte, de même porosité, mais présentant des tailles de pores différentes.

L'eau, introduite à la surface du système, avance dans le milieu grossier selon les forces qui lui sont propres; la ligne du front d'humectation y est horizontale. Dans le milieu fin, par contre, elle est incurvée, le front étant plus avancé vers le milieu grossier, mettant ainsi en évidence une force de succion latérale. Cet effet de succion latérale du milieu fin est très important; en effet, suivant les coefficients K de deux milieux étudiés, les vitesses d'infiltration variaient du simple au double en milieu pur, pour des billes de verre respectivement de 60 μ et de 140 μ , alors que ces vitesses étaient les mêmes pour des milieux juxtaposés. Dans ce cas, en effet, la saturation du matériau fin se fait à tous les niveaux, à partir des pores du matériau plus grossier et déjà saturé.

L'effet des forces de succion latérale est démontré en alimentant un seul des matériaux juxtaposés. Si le milieu grossier est seul alimenté, le milieu fin se sature comme décrit précédemment, alors qu'à l'inverse, l'eau s'infiltré dans le matériau fin sans pénétrer dans le grossier.

Si on met côte à côte trois milieux possédant des pores de dimensions différentes, l'eau s'infiltré horizontalement dans le matériau grossier, elle suit, mais avec un front incurvé, dans le milieu fin, et présente les mêmes caractéristiques dans le milieu à pores moyens, mais avec un retard plus ou moins important.

Il semble que l'on puisse étendre les résultats à un matériau hétérogène, constitué d'agrégats renfermant des pores de petite taille, laissant entre eux des pores de plus grande dimension. Au cours de l'infiltration, l'eau circulerait préférentiellement dans les pores de grande taille à partir desquels la porosité plus fine des agrégats pourrait se remplir. Ce schéma est en accord d'ailleurs avec celui proposé par Féodoroff [3].

Expérience sur l'infiltration et la filtration en plein champ

Nous avons tenté, à la Station d'Agronomie de Toulouse, d'examiner les conséquences de ces divers mécanismes sur la circulation de l'eau dans des sols naturels [4].

Nous avons pu observer que les vitesses d'infiltra-

tion pouvaient être très importantes dans des sols réputés très peu perméables.

Ces observations ont été précisées par des essais d'infiltration et de filtration sous charge d'eau constante et pour différents systèmes de culture. Ces essais ont été réalisés sur des sols de brousses pauvres en argile et très limoneux ($\pm 10\%$ argile, $\pm 70\%$ limon 2-50 μ) reposant sur un horizon plus argileux ($\pm 25\%$ argile). Cet essai a porté sur trois cultures :

- une vigne de vingt ans en sol nu;
- un blé après maïs;
- une fétuque dans sa troisième année.

La vitesse d'infiltration, toujours très grande, est cependant influencée par la nature de la culture. Elle variait en effet de 3 000 mm/h pour la fétuque, 220 mm/h pour le blé, à 120 mm/h sous vigne.

Les vitesses de filtration sont, pour leur part, beaucoup moins grandes, et respectivement de 50 mm/h sous fétuque, de 10 mm/h sous blé et de 6 mm/h sous vigne.

Ces résultats mettent bien en évidence le rôle des voies de circulation préférentielle dues principalement aux racines, tant pour l'infiltration que pour la filtration, ainsi que l'importance des forces de succion verticales et latérales lors de l'infiltration.

Cependant, le sol étant lui-même modifié par les variations d'humidité : retrait, gonflement, destruction de la structure, ... les phénomènes ne sont donc probablement pas aussi simples.

Des essais de filtration réalisés avec une solution de chlorure de calcium ont permis de constater que l'eau ne circulait que dans une portion relativement faible de la porosité globale. En effet, dans un sol où la teneur en eau exprimée en volume resterait constante, et où toute la porosité correspondant à cette teneur en eau participerait à l'écoulement, cette eau du sol aurait la même concentration en chlore que la solution introduite.

Dans le sol étudié, on a pu calculer grâce à la relation suivante :

$$\text{porosité globale remplie par l'eau} \times \frac{\text{concentration en Cl de l'eau du sol}}{\text{concentration en Cl de la saturation}}$$

que seulement 30 % de la porosité participaient à l'écoulement de l'eau.

Malgré les filtrations très différentes entre les trois types de culture, cette proportion était la même pour des porosités globales identiques, ce qui confirme encore l'importance des voies de circulation préférentielle, que nous avons pu observer lors de l'examen de profils culturaux [5].

Par contre, la proportion de la porosité participant à l'écoulement de l'eau est nettement plus faible dans l'horizon sous jacent (30-60 cm) où elle n'est que de 10 %, et seulement de 5 % dans l'horizon argileux (> à 60 cm), où la vitesse de filtration devient de 0,12 mm/h.

Cela met bien en évidence la complexité des phénomènes de filtration en milieu naturel. Il vient s'ajouter, en plus, des problèmes posés par la nature

même du milieu, la superposition d'horizons de propriétés très différentes.

Cette hétérogénéité verticale est souvent responsable d'ennoyages pouvant avoir des conséquences importantes sur les cultures.

Conséquences sur les cultures

Nous avons pu faire de très nombreuses observations, sur vergers [6] notamment, où les variations de perméabilité d'un profil avaient entraîné la mort de nombreux pêcheurs par asphyxie.

Ces accidents peuvent être provoqués par la présence d'horizons argileux en sous-sol, ou simplement d'horizons plus tassés, ou encore par la présence de cailloux enrobés d'un sol de même nature que l'horizon supérieur. En effet, ces cailloux réduisent la section efficace de circulation de l'eau, comme on a pu le vérifier en laboratoire.

Des modifications locales de porosité, qui aggravent l'hétérogénéité de filtration, peuvent être provoquées par l'intervention de l'homme. Le travail du sol à des états d'humidité défavorables, conduit souvent à un gâchage du sol, ou simplement à une couche lissée qui réduit très fortement la perméabilité. Le mélange d'horizons de nature différente peut en outre provoquer la formation de zones où l'eau s'accumule ne pouvant filtrer normalement dans le sol environnant moins perméable.

En conclusion, nous pouvons dire que les très nombreuses observations réalisées à ce sujet, montrent bien l'intérêt des études de filtration et d'infiltration pour l'agriculture. Cependant, la complexité

du problème ne permet pas de les entreprendre uniquement sur des bases théoriques. En effet, il faut tenir compte des réactions du milieu sol aux variations d'humidité, à diverses contraintes mécaniques, à la nature des cultures, et aux effets de succession de milieux présentant des caractéristiques souvent très éloignées.

La compréhension de la filtration dans le sol doit s'appuyer non seulement sur les lois et les mécanismes mis en évidence en hydraulique, mais aussi sur la parfaite connaissance des caractéristiques hydriques et mécaniques du milieu, et les interactions avec les techniques culturales et le système de culture.

Références bibliographiques

- [1] COURAU (M.). — Modalités de l'infiltration de l'eau dans un milieu poreux : effet de la force de succion. *C.R. Acad. Sci.*, 265, série D, 862-865, 1967.
- [2] COURAU (M.). — Etude expérimentale de la circulation de l'eau dans des milieux poreux artificiels. *Ann. Agron.* 20 (1), 5-14, 1969.
- [3] FEODOROFF (A.). — Etude expérimentale de l'infiltration de l'eau non saturante. Thèse Ann. Agron. 16 (2), 127-175, 1965.
- [4] MARTY (J.-R.) et COURAU (M.). — Influence du système de culture sur l'écoulement de l'eau dans un sol mal structuré. *Ann. Agron.* (en cours d'impression), 1969.
- [5] HENIN (S.). — et collaborateurs. — Le profil cultural. *Société d'Édition des Ingénieurs agricoles*, Paris, 1960.
- [6] MAERTENS (C.) et COURAU (M.). — Quelques observations concernant les accidents attribués à l'asphyxie du pêcheur. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 52, 874-886, 1966.



Abstract

Relationships between infiltration and cropping methods

Studies of infiltration have shown that the suction forces developing at the edge of the moist zone are expressed by the conventional Darcy formula if the humectation front is saturated. The hydraulic gradient is then given by:

$$\frac{a+x}{x} + \frac{S}{x}$$

where : a is the depth of water,
 x is the depth of the saturated medium,
 S are capillary forces.

The importance of the lateral suction forces was shown up in experiments in which media of the same porosity with different-sized pores were placed side by side. The front was found to progress at the same rate in two adjacent media consisting of glass spheres 60 μ and 140 μ in diameter whereas the rate of progression varied in proportions of 1 to 2 in the fine materials. Saturation of the fine material occurred at all levels from saturated pores in the coarse material.

With three adjacent materials the water was found to infiltrate horizontally into the coarse medium and to progress in the form of a curved front in the fine and medium materials, though with a varying fairly considerable lag in the latter case.

This pattern also seems likely to apply to water infiltrating into soil made moist by water circulating preferentially in the largest pores.

Infiltration and filtration in a given soil of the same porosity were compared for the three following crops.

- (i) A 20-year old vine growing on bare ground.
- (ii) Wheat grown after maize.
- (iii) 3-year old fescue.

Infiltration rates were 120 mm/h for the vine, 220 mm/h for the wheat and 3,000 mm/h for the fescue. Filtration rates were 6 mm/h, 10 mm/h and 50 mm/h respectively.

These results clearly show the effect of preferential flow paths (probably associated with roots) for both filtration and infiltration, and also the importance of suction forces.

Filtration tests carried out with a calcium chloride solution showed only a small part of the porosity to be involved in the flow of water and that the part involved was unaffected by the crops but was closely dependent on the nature of the various soil horizons.

These variations in filtration properties have serious consequences for agriculture and cause local temporary water-logging having a considerable effect on plant behaviour.

Owing to their complex make-up the phenomena governing soil infiltration and filtration cannot be investigated solely from a theoretical angle, as it is necessary to also allow for the mechanical characteristics of the water in the medium.

