



# **Fonctionnement hydraulique de parcelles drainées en liaison avec la dynamique structurale. Essai d'interprétation**

Jacques Concaret, Jacques de Crécy, Clet Perrey

## **► To cite this version:**

Jacques Concaret, Jacques de Crécy, Clet Perrey. Fonctionnement hydraulique de parcelles drainées en liaison avec la dynamique structurale. Essai d'interprétation. *Agronomie*, 1984, 4 (8), pp.749-761. <hal-00884693>

**HAL Id: hal-00884693**

**<https://hal.science/hal-00884693v1>**

Submitted on 11 May 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.



HAL Authorization

# Fonctionnement hydraulique de parcelles drainées en liaison avec la dynamique structurale. Essai d'interprétation

Jacques CONCARET, Jacques de CRÉCY & Clet PERREY

*I.N.R.A., Station de Science du Sol, BV 1540, F 21034 Dijon Cedex.*

**RÉSUMÉ** L'organisation des constituants du sol a fait l'objet de nombreux travaux tendant à définir le système poral susceptible d'être occupé par les phases gazeuses ou liquides. Des modèles ont été proposés représentant les associations de particules élémentaires en agrégats ou l'assemblage des agrégats eux-mêmes. Ils donnent en général une image statique et donc instantanée. Le problème devient plus complexe si l'on considère l'aspect dynamique induit inévitablement par la présence dans le sol de minéraux gonflants. Ce type d'analyse a été tenté ici en confrontant les résultats obtenus à diverses échelles : comportement de l'agrégat, variations d'états hydriques du profil, fonctionnement hydraulique de la parcelle.

**Mots clés additionnels :** *Eau et sol, drainage.*

**SUMMARY** *Hydraulic behaviour of drained plots in relation to the structural dynamics of soil.* Numerous studies have been carried out on the organization of soil constituents in order to define the porous system which can be filled by the gaseous or liquid phases. Models have been proposed that represent either the elementary particles associating into aggregates or the aggregates themselves associating. Models generally give a static and consequently an instantaneous picture. The problem becomes more complex if we consider the dynamic aspects inevitably arising from the presence of swelling minerals in the soil. A study of this kind has been attempted in this paper, by comparison between data obtained at different scales : aggregate behaviour, variation in the hydric state of the soil profile, hydraulic behaviour of the plot.

**Additional key words :** *Water and soil, drainage.*

## I. INTRODUCTION

Des données expérimentales ayant trait au fonctionnement hydrique des sols ont été acquises depuis dix ans en suivant différentes approches :

- Etude au laboratoire de l'incidence des variations hydriques sur la structure d'échantillons naturels aussi peu perturbés que possible ;
- Variations du profil hydrique sur petits dispositifs expérimentaux ponctuels de terrain ;
- Suivi d'expériences, à l'échelle de la parcelle, concernant le drainage, avec mesure de débit en continu. Différents traitements sont testés, écartements entre drains, sous-solage, filtres...

Il nous a paru intéressant de vérifier, sur quelques exemples, la cohérence entre ces données qui mettent en évidence le rôle important de la dynamique du système structural des sols.

## II. MÉTHODOLOGIE

### A. Modèle de dynamique structurale utilisé

Une première analyse globale peut être faite en considérant des milieux tels que les gonflements à l'humectation soient ou non volumiquement limités :

- un gonflement libre s'effectue avec augmentation du volume total du matériau terreux et donc des modifications de la porosité totale sans qu'il soit *a priori* possible de préciser les paramètres du nouvel état ;
- si le volume est limité à celui du prélèvement, la porosité totale d'origine ne peut varier. Le gonflement des colloïdes ne s'exprime alors qu'au prix d'une redistribution du « spectre de porosité », dont on peut penser qu'elle s'effectue aux dépens des classes les plus grossières. ALVAREZ-MARQUES *et al.* (1974),

employant des techniques de lyophilisation, ont effectivement vérifié un nouvel équilibre allant dans ce sens.

Dans ce dernier cas et si l'assemblage des éléments structuraux est ajusté, l'expansion de chacun d'entre eux est limité à l'espace laissé par les autres, eux-mêmes en cours de gonflement. Les vides interagrégats sont alors progressivement réduits jusqu'à ce que soit atteinte une humidité que nous désignerons sous le terme « d'humidité d'équilibre », définie par le volume disponible et la capacité de gonflement du matériau.

Une série d'expériences préliminaires a porté sur la cinétique de percolation à travers des échantillons constitués par des colonnes de sol aussi peu perturbées que possible par rapport à l'arrangement *in situ* (ALVAREZ-MARQUES *et al.*, 1974 ; COURTOUX, 1974 ; MARAVAL, 1975). Les conditions expérimentales ont été telles que les actions liées au développement de microorganismes ou à des phénomènes de dispersion au sommet des colonnes soient peu ou pas sensibles. Ces travaux concluent à une baisse générale des débits avec le temps. Toutefois, alors que les échantillons non contraints volumiquement conservent des écoulements non négligeables, ceux-ci deviennent rapidement très faibles, parfois nuls dans le cas de systèmes à expansion limitée. Ces expériences qualitatives concourent à mettre en cause la dynamique du système poral et à souligner l'influence de la fermeture ou de la réduction des espaces interagrégats (fissures) sur la circulation gravitaire de l'eau.

- *A l'échelle des mottes*, GUYOT *et al.* (1979), reprenant les expériences de HAINES (1923) ont tenté de quantifier le volume fissural en opérant à la

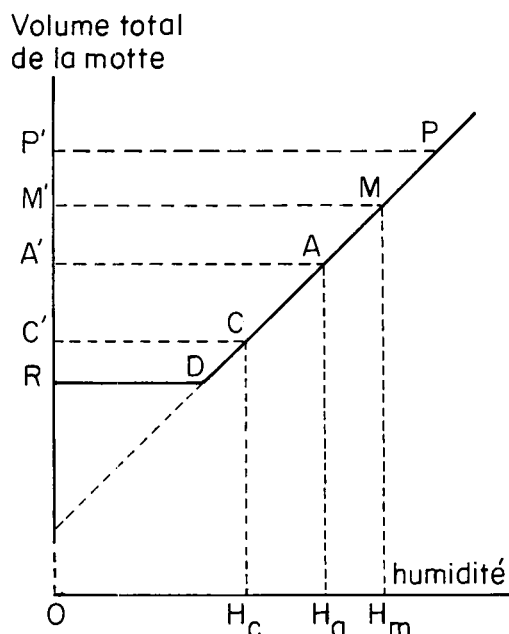


Figure 1  
Diagramme théorique de déformation volumique des mottes en fonction de l'humidité.

Theoretical diagram of the volume deformation of clods in relation to moisture.

Points caractéristiques ; characteristic points.

P porosité totale ; total porosity.

M humidité d'équilibre ; balance moisture.

C contrainte équivalente ; equivalent stress.

D entrée d'air ; air inlet.

désorption à partir d'échantillons prélevés à l'humidité d'équilibre (fig. 1, point M), telle qu'elle a été précédemment définie et donc applicable seulement aux horizons inférieurs. Ils enregistrent des variations de volume très proches des pertes en eau jusqu'à un seuil d'humidité (point D, entrée d'air) au-dessous duquel les agrégats deviennent quasi indéformables. Les points expérimentaux sont d'autant plus proches de la courbe de saturation que les mottes sont plus petites (ce qui laisserait penser que l'agrégat élémentaire indivisible par fissuration pourrait être celui suivant cette courbe). Ainsi, pour tout point (A) d'humidité connue ( $H_a$ ) il serait possible d'évaluer le volume du système interagrégats ( $A'M'$ ).

En réalité, la fermeture des fissures est rarement complète (irrégularités de revêtements sur les faces des agrégats, racines, comblements partiels par divers matériaux...). Si le point P représente la porosité totale du milieu, le volume fissural est alors quantifié par  $A'P'$ .

De CRÉCY (1981) a fourni une autre limite à la dynamique du système structural avec la notion de « contrainte équivalente » qui représente l'état énergétique, défini par le couple humidité/pF, atteint par l'agrégat au cours de son histoire. Reporté figure 1, le point C correspondant à cette contrainte serait donc une limite aux déformations supérieures et  $C'P'$  donnerait le volume fissural maximum susceptible d'être atteint dans l'état actuel du matériau. On disposerait alors d'une représentation de la dynamique structurale pour des milieux volumiquement limités c'est-à-dire applicable aux horizons inférieurs non perturbés.

Un tel modèle devrait permettre une approche de leur comportement hydrique.

- *A l'échelle du profil*, la superposition d'horizons possédant leur propre dynamique structurale ne peut que créer des différences instantanées de perméabilité et, par là, des stagnations plus ou moins prolongées au-dessus de couches moins aptes à la percolation. Dans bon nombre de sols, les horizons inférieurs présentent en effet une « architecture ajustée » (Drainage agricole, 1981) composée d'éléments structuraux anguleux assemblés face à face. Ces milieux ont tendance à se fermer plus ou moins dès gonflement des agrégats. Des assemblages texturaux très serrés et peu mobiles, liés à la composition granulométrique ou bien à des actions de tassement voire de compactage par les engins de travail, peuvent entraîner des effets analogues.

Plusieurs travaux (LAMOUILLE, 1973 ; COURTOUX, 1974 ; GRASSIN, 1974) font état de ces phénomènes.

- *A l'échelle de la parcelle*, ils se traduisent par l'établissement de « nappes de sub-surface » et, sur terrain en pente, de circulations latérales préférentielles (Drainage agricole, 1981). En sol drainé, ces eaux excédentaires sont interceptées par les tranchées de pose des drains qui, par leur milieu perturbé et donc structuralement plus ouvert, offrent des possibilités de passage vertical (ALESSANDRELLO *et al.*, 1976 ; TROUCHE, 1981 ; LESAFFRE & HERVÉ, 1982).

Ainsi, le comportement hydraulique du sol serait sous la dépendance de la dynamique structurale. Il devrait donc exister une compatibilité entre les résultats d'une étude effectuée au niveau de la structure et

ceux issus de l'analyse du fonctionnement d'une parcelle expérimentale, suffisamment homogène.

### B. Dispositif expérimental au champ

Nous disposons d'essais destinés à tester différentes techniques de drainage (écartements variables, pratique ou non de sous-solages...).

Pour les différents traitements étudiés, l'enregistrement des débits écoulés par les drains est effectué en continu. De plus, des profils hydriques ponctuels ont été réalisés en diverses saisons.

Nous avons retenu 2 sites en sols très différents :

— Virey-le-Grand. Il s'agit d'une expérimentation située sur une terrasse (27-32 m) de la Saône (CLAIR, 1974) près de Chalon-sur-Saône (71). La description et l'analyse sommaires du sol figurent au tableau 1. La pente moyenne est de l'ordre de 0,5 p. 100 ;

— Thianges. Cet essai se situe dans le département de la Nièvre sur marnes du trias. La semelle de travail différencie 2 horizons. La pente est de l'ordre de 3 à 4 p. 100 (voir tabl. 2).

## III. RÉSULTATS

Les résultats hydrauliques de terrain ont été étudiés en considérant :

— d'une part, l'ensemble d'une saison de drainage par dépouillement au pas de la journée ;

— d'autre part, la courbe de tarissement d'épisodes pluvieux isolés avec un pas de temps généralement inférieur à l'heure.

### A. La saison de drainage

L'ensemble d'une saison de drainage a été résumé figures 2, 3 et 4 sous forme de courbes représentant en cumulé :

- les précipitations (P),
- les restitutions par drainage (R) sur quelques parcelles,
- les différences ( $\Delta$ ) entre précipitations et restitutions rendant compte des volumes d'eau non captés

TABLEAU 1 : Virey-le-Grand  
Description sommaire du sol et données analytiques.  
Summary description of the soil and analytic data.

	Composition granulométrique					pH	Densité apparente
	Argile 0-2 $\mu$	L. fins 2-20 $\mu$	L. grossiers 20-50 $\mu$	S. fins 50 $\mu$ -0,2 mm	S. grossiers 0,2-2 mm		
0-30 cm Horizon travaillé	20,8	22,5	43	9,5	4,2	6,5	
30-40 cm Horizon tassé, massif	20,8	22,5	42,6	10,3	3,8	6,8	1,59
40-50 cm Structure peu nette, quelques racines - galeries de vers	25,7	17,5	47,1	6,9	2,8	4,9	1,47
50-90 cm St. polyédrique à prismatique très ajustée - racines dans fissures	25,8	7,5	52,7	10,4	3,6	5,1	1,59
90 — St. prismatique	33,2	30	26,4	6,6	3,8	5,6	1,62
Marnes sous jacentes	52,3	33,8	10,5	1,5	1,9	8	

Densité réelle (TROUCHE, 1981) = 2,53.

TABLEAU 2 : Thianges  
Description sommaire du sol et données analytiques.  
Summary description of the soil and analytic data.

Observation en période humide	Granulométrie (%)					Densité apparente sèche	Calcaire
	Argile < 2 $\mu$	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers		
0-20 Couche travaillée très humide plastique							
20-60 Polyédrique à prismatique compact ajusté	45,5	25,5	13	12,5	3,5	1,60	14,6
60-70 Lie de vin compact vertique	45	31	10	9,5	4,5	1,61	17,2

Densité réelle = 2,65.

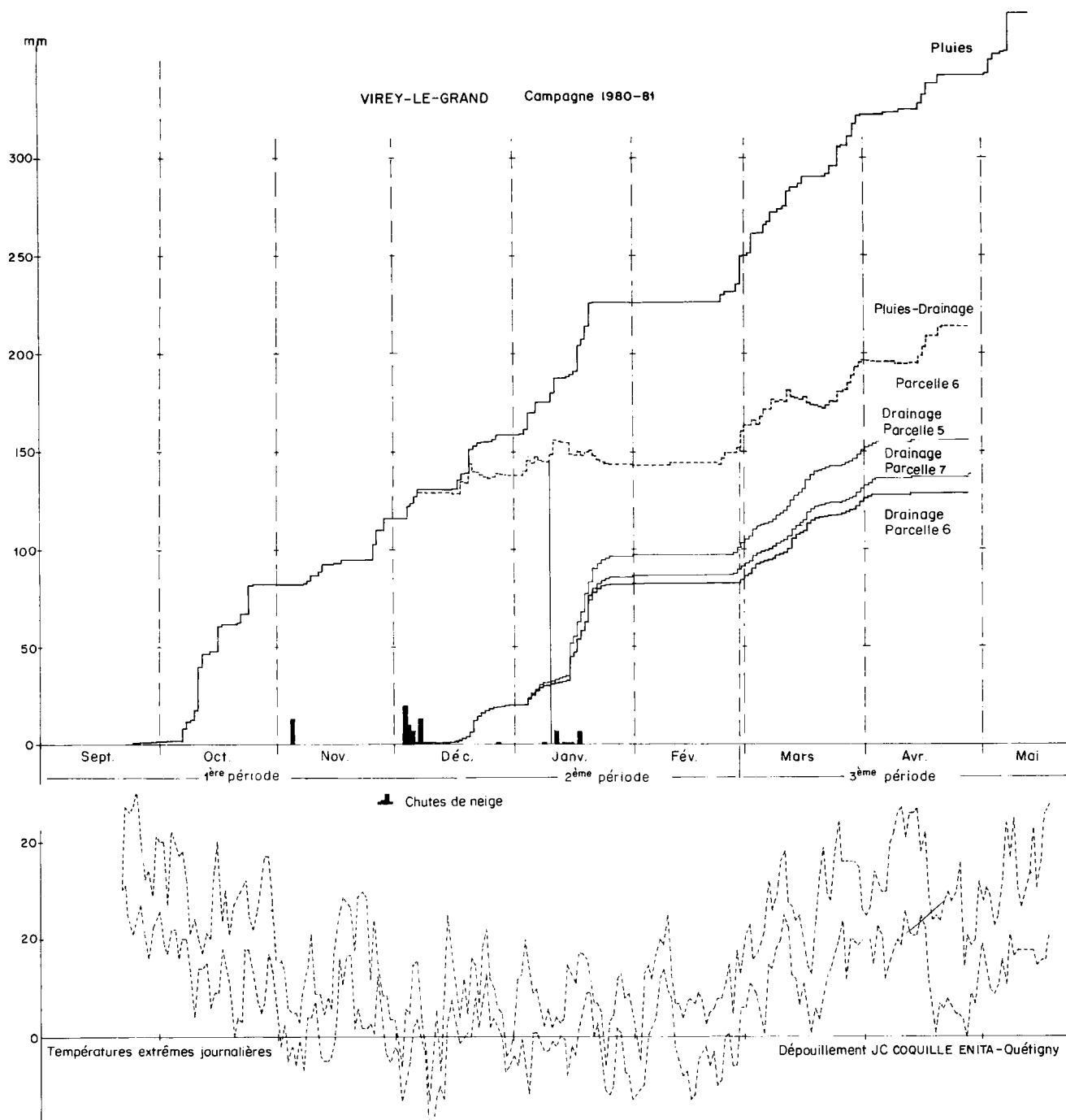


Figure 2  
Essai de drainage de Virey-le-Grand (Saône & Loire).  
Bilan hydraulique de la campagne 1980-1981.

Experimental drainage network of Virey-le-Grand (Saône & Loire).  
Hydraulic balance in 1980-1981.

par les drains et donc, soit retenus par le sol, soit évapotranspirés, soit infiltrés.

Trois périodes, déjà identifiées lors de travaux antérieurs (Rapport EPR Bourgogne, 1982 ; FLORENTIN, 1982 ; LESAFFRE & HERVÉ, 1982) apparaissent nettement :

1) L'élévation rapide de ( $\Delta$ ) en automne correspond à une saturation progressive du terrain par les premières pluies (1<sup>re</sup> période) ;

2) La courbe ( $\Delta$ ) en croissance faible ou en palier montre une restitution importante, voire quasi-totale des précipitations, le sol demeurant saturé ou proche de la saturation (2<sup>e</sup> période) ;

3) La reprise de l'évapotranspiration au printemps et la désaturation du sol limitent de plus en plus les quantités d'eaux évacuées par les drains (3<sup>e</sup> période).

Nous avons tenté de vérifier si les volumes d'eaux non restitués à l'échelle de la parcelle au cours de la 1<sup>re</sup> période sont compatibles avec ceux utilisés pour le gonflement des mottes.

Pour cette analyse nous avons utilisé, d'une part, des moyennes de données ponctuelles de terrain exprimées en humidités pondérales ( $H_p$ ), obtenues par prélèvements en diverses saisons et, d'autre part, des résultats des expérimentations parcellaires (fig. 2, 3, 4).

En ce qui concerne les horizons inférieurs, nous

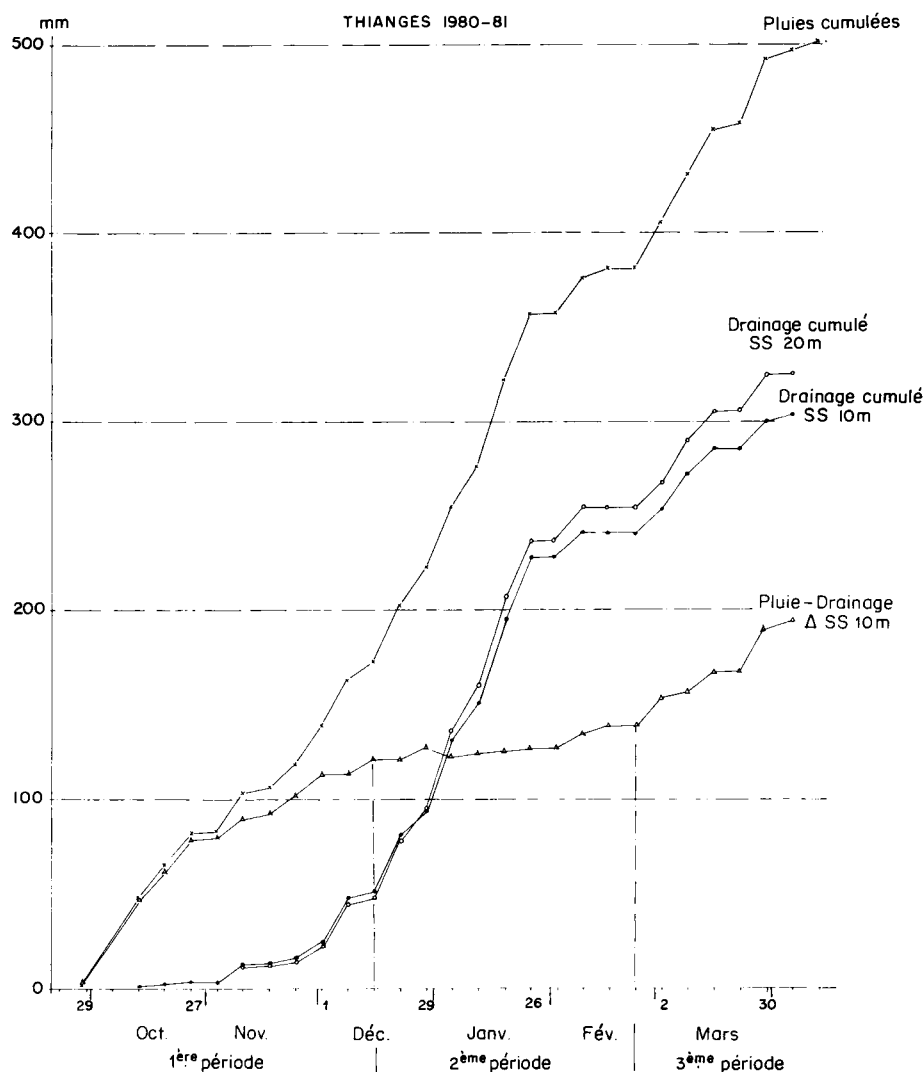


Figure 3  
Essai de drainage de Thianges (Nièvre).  
Bilan hydraulique de la campagne 1980-1981.

Experimental drainage network of Thianges (Nièvre).  
Hydraulic balance in 1980-1981.

avons considéré, en utilisant les travaux de GUYOT *et al.* (1979) que l'agrégat reste saturé pour des humidités supérieures à celles du point d'entrée d'air (D, fig. 1) et que, pour des humidités plus faibles, gains et pertes en eau s'effectuent sans variation de volume de la motte. Les calculs des humidités volumiques ont été effectués sur cette base :

$$H_v \% = \frac{H_p \%}{H_p \% + \frac{100}{dr}} \times 100$$

En ce qui concerne les horizons travaillés, les valeurs calculées de la même manière ne peuvent être que très approximatives. Elles ne sont prises en compte qu'à titre d'approche d'un ordre de grandeur et seront présentées entre parenthèses.

Nous avons utilisé les moyennes des humidités pondérales mesurées au cours de la saison la plus sèche ( $H_{pm}$ ) et, en période de restitution maximale, à l'arrêt des écoulements ( $H_{pM}$ ). A partir de ces données, les humidités volumiques correspondantes ( $H_{vm}$ ,  $H_{vM}$ ) ont été calculées et rassemblées tableau 3 pour Virey-

TABLEAU 3 : Virey-le-Grand  
Humidités limites.  
Bound moistures.

Profondeur	Non sous-solé				Sous-solé			
	Hm %		HM %		Hm %		HM %	
	H <sub>pm</sub>	H <sub>vm</sub>	H <sub>pM</sub>	H <sub>vM</sub>	H <sub>pm</sub>	H <sub>vm</sub>	H <sub>pM</sub>	H <sub>vM</sub>
30-40	9,8	(19,3)	20,5	34,2	12,8	24,5	23,4	37,2
40-50	10	(19,7)	21,8	35,5	15,2	27,8	25,1	38,8
50-90	17	(30,1)	22,7	36,5	19,4	32,9	26,5	40,1
90-100	19,5	(33,0)	21,5	35,2	19,3	32,8	21,5	35,2

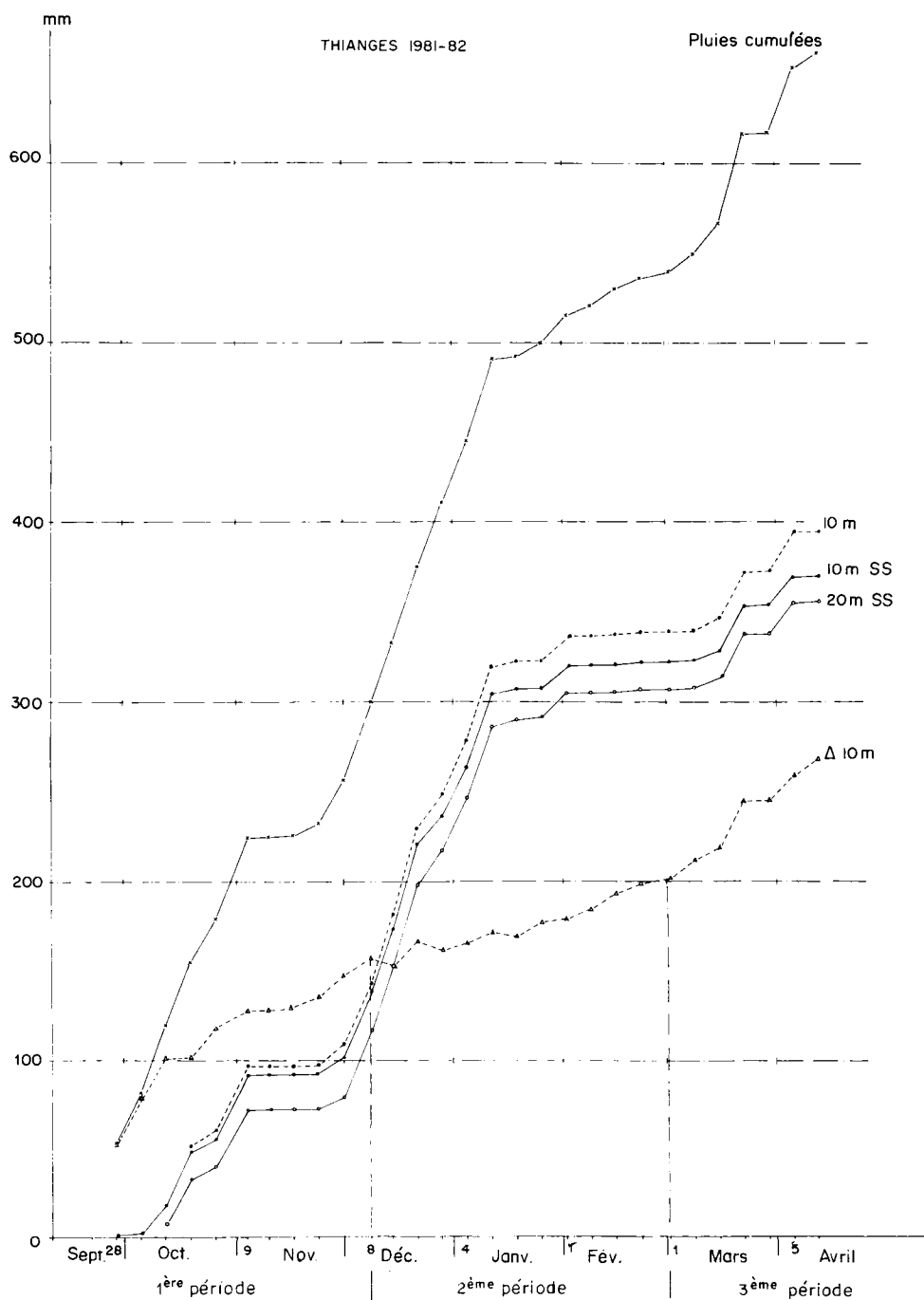


Figure 4

Essai de drainage de Thianges (Nièvre).

Bilan hydraulique de la campagne 1981-1982.

Experimental drainage network of Thianges (Nièvre).

Hydraulic balance in 1981-1982.

le-Grand. Les différents traitements ont été regroupés en parcelles sous-solées d'une part, non sous-solées d'autre part.

Notons que l'absence d'eau libre aux époques choisies pour les mesures et les précautions prises (prélèvement au cœur de la carotte) permettent de penser que les valeurs retenues correspondent à l'humidité des mottes. Il a d'ailleurs été vérifié que  $H_{pM}$  est très voisin de la teneur en eau mesurée sur mottes à pF 3.

Au tableau 4 figure, pour ce même site de Virey-le-Grand, le calcul, à l'hectare, des volumes d'eau utilisés par le sol pour passer de  $H_{Vm}$  à  $H_{VM}$  ( $V_{mot.}$ ) et l'évaluation (d'après la fig. 2) des volumes d'eau non restitués par les drains durant la phase de saturation ( $\Delta$ ).

Si l'on tient compte :

- des possibilités d'infiltration en profondeur par quelques fissures restant au moins en partie ouvertes,
- d'une certaine évaporation ou évapotranspiration en automne,

— de l'importance relative des volumes d'eaux seulement estimés pour les horizons supérieurs,

le bilan de saturation globale s'avère compatible avec l'approche faite à partir des mottes.

Dans l'optique de cette note, axée sur la dynamique structurale, un fait expérimental important est l'ordre de grandeur analogue des volumes d'eau utilisés pour la saturation des horizons inférieurs du sol avec ou sans la perturbation apportée par le sous-solage.

TABLEAU 4 : Virey-le-Grand  
Volumes d'eaux nécessaires à la saturation du sol.  
Water volumes necessary for soil saturation.

Profondeur	Non sous-solé				Sous-solé				$\Delta$ m <sup>3</sup> /ha (fig. 2)
	H <sub>Vm</sub>	H <sub>VM</sub>	H <sub>VM</sub> -H <sub>Vm</sub>	Vmot. m <sup>3</sup> /ha	H <sub>Vm</sub>	H <sub>VM</sub>	H <sub>VM</sub> -H <sub>Vm</sub>	Vmot. m <sup>3</sup> /ha	
30-40 cm	19,3	34,2	14,9	149	24,5	37,2	12,7	127	
40-50 cm	19,7	35,5	15,8	158	27,8	38,8	11	110	
50-90 cm	30,1	36,5	6,4	256	32,9	40,1	7,2	288	
90-100 cm	33,0	35,2	2,2	22	32,8	35,2	2,4	24	
Total horizons inférieurs				585 m <sup>3</sup>				549 m <sup>3</sup>	
(0-30)	(18)	(39,7)	(21,7)	(651 m <sup>3</sup> )	(17,3)	(38,6)	(21,3)	(639 m <sup>3</sup> )	
Total profil				(1 236 m <sup>3</sup> )				(1 188 m <sup>3</sup> )	1 400 m <sup>3</sup> environ

Ce phénomène trouve une explication dans la levée partielle des contraintes volumiques normalement imposées en sol non remanié. En effet, le déplacement du point d'humidité maximale conduit à l'établissement d'un autre type d'équilibre avec modification du point d'humidité minimale. La marge de gonflement entre l'état le plus sec et l'état le plus humide peut alors n'être que très peu modifiée (tabl. 5, colonnes a et b). Il s'agirait en quelque sorte d'un processus de « détente », qui peut être évalué (tabl. 5, colonne c) en calculant l'augmentation de volume des agrégats en leur état le plus sec en parcelle sous-solée par rapport au même état en parcelle non sous-solée.

Pour l'essai de Thianges, les résultats disponibles n'autorisent pas une analyse complète. Toutefois, le tableau 6 permet, pour l'horizon 40-60 (sous-solage à 60 cm de profondeur), des constatations analogues aux précédentes concernant, d'une part, le volume d'eau nécessaire pour passer de l'humidité minimale à l'humidité maximale et, d'autre part, le phénomène de détente après sous-solage celui-ci étant d'ailleurs très important pour ce site.

En utilisant un système de coordonnées Humidité = f(pF) tel que celui employé par De CRÉCY pour définir la contrainte équivalente (point de réunion des courbes correspondant respectivement à la pâte de sol et à la motte), il est possible de représenter les 2 types de comportement de la motte, avant et après détente. Nous avons construit (fig. 5) les graphiques pour l'horizon 50-90 de Virey-le-Grand et pour l'horizon 40-60 de Thianges à partir des données expérimentales.

TABLEAU 5 : Virey-le-Grand  
Mesure du gonflement.  
Measurement of swelling.

	Gonflement (1)		Détente c)
	Non sous-solé a)	sous-solé b)	
30-40 cm	+ 14,3 % (2)	+ 20,2 %	0
40-50 cm	+ 16,7 % (2)	+ 18 %	+ 4,2 %
50-90 cm	+ 10,1	+ 12 %	+ 4,2 %
90-100 cm	+ 3,4 %	+ 3,7 %	0

(1) gonflement =

$$\frac{\text{Volume après humectation} - \text{Volume à l'état le plus sec}}{\text{Volume à l'état le plus sec}}$$

$$\text{swelling} = \frac{\text{volume after wetting} - \text{volume at driest state}}{\text{volume at driest state}}$$

(2) Pour ces points, le gonflement est calculé à partir du volume occupé au seuil de retrait (D, fig. 1).

For these points, the swelling is calculated from the volume at the retraction limit (D, fig. 1).

On voit que, pour un pF déterminé, l'humidité des mottes est supérieure dans le cas du sol perturbé. En prenant comme seuil inférieur d'alimentation hydrique des végétaux le pF conventionnel = 4,2, la quantité d'eau possible apparaît plus importante. Ce fait explique les effets parfois spectaculaires du sous-solage sur les résultats culturaux en année particulièrement sèche.

TABLEAU 6 : Thianges  
Mesure du gonflement.  
Measurement of swelling.

	H <sub>VM</sub>	H <sub>Vm</sub>	H <sub>VM</sub> -H <sub>Vm</sub>	Gonflement	Détente
Non sous-solé	38,9	29,8	9,1	14,8 %	
Sous-solé	45,3	37,8	7,5	13,3 %	13,2 %



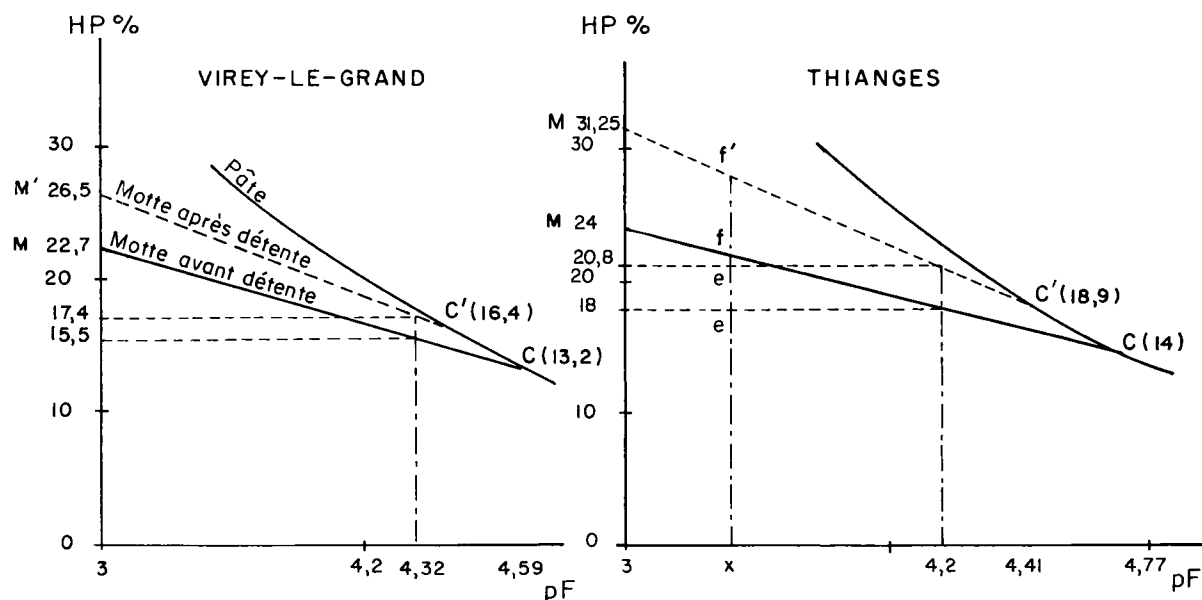


Figure 5

Evaluation graphique de la disponibilité en eau avant et après détente par sous-solage. Marge d'humidité disponible pour les plantes au pF x : avant détente (ef) et après détente (e'f').

Graphical estimate of water availability before and after slackening due to subsoiling. Moisture content available for the plants at pF x : before slackening (ef) ; after slackening (e'f').

## B. Comportement au cours d'un épisode pluvieux

Les essais de drainage en vraie grandeur permettent de disposer de données concernant les écoulements. Il convient cependant de noter que la masse de renseignements n'est qu'en partie utilisable directement. En effet, seuls des tarissements non influencés, c'est-à-dire non perturbés par des pluies parasites, sont suffisamment indépendants de tout autre paramètre pour pouvoir rendre compte du comportement du sol.

A travers plusieurs années d'essai, nous avons donc retenu pour cette analyse les quelques périodes remplissant cette condition.

La dynamique du système poral sous l'effet des humectations et des dessiccations ne peut se traduire que par des cinétiques d'écoulement variables avec l'état de gonflement des mottes au moment de l'épisode pluvieux. Or cette dynamique concerne non seulement l'ensemble du profil, mais aussi chaque horizon en particulier.

ALESSANDRELLO *et al.* (1976), puis TROUCHE (1981), analysant le tarissement au cours d'un épisode pluvieux en période saturée, ont montré qu'une seule loi ne peut rendre compte de l'ensemble de l'écoulement. Ainsi, sur une parcelle de Virey-le-Grand, TROUCHE a tenté d'appliquer les modèles classiques utilisés en hydraulique souterraine :

(1)  $Q = Q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$ , calage mathématique s'appliquant à un réservoir se vidangeant à travers un bouchon poreux ;

(2)  $Q = Q_0 \frac{1}{[1 + \beta\sqrt{Q_0(t-t_0)}]^2}$  qui représente cor-

rectement la vidange d'un bac de sable de largeur non limitée à travers une paroi perforée

avec  $Q$  = débit  $Q_0$  débit à l'origine

$t$  = temps  $t_0$  temps à l'origine

$\alpha$  et  $\beta$  coefficients liés au milieu

Quelle que soit la forme mathématique retenue, il a dû, pour obtenir une bonne concordance avec les données expérimentales, recourir à un découpage en périodes successives pour lesquelles, les modèles sont affectés de coefficients ( $\alpha$  et  $\beta$ ) différents.

Nous avons tenté une analyse analogue des hydrogrammes pour les épisodes exploitables. Deux situations ressortent nettement de cette étude en fonction de la place de l'épisode dans la saison de drainage (3 périodes précédemment définies) :

1. *En période de saturation* du sol (1<sup>re</sup> période) ou de *desaturation* (3<sup>e</sup> période), il est généralement possible de caler les résultats expérimentaux sur un seul modèle avec un très bon coefficient de corrélation. Ceci s'explique par le fait que les agrégats laissent entre eux des vides qui peuvent être importants dans tous les horizons du sol, aucun de ces derniers n'entraînant de limitation particulière au transit vertical des eaux.

Pour les cas traités, cet ajustement se fait bien sur la loi en  $\beta$  (voir annexe 1). Cependant, au cours de ces périodes, l'état d'humectation et donc de fissuration peut être fort différent, entraînant des coefficients très variables (tabl. 7 et 8).

2. *En période saturée*, il n'est pas possible de modéliser le tarissement suivant un épisode pluvieux par une seule loi. Un découpage est effectivement nécessaire. Nous avons pu considérer 2 fractions d'hydrogramme calées sur 2 lois différentes (tabl. 7 et 8, annexes 2 et 3).

— Le début du tarissement est, en général, mieux représenté par une forme mathématique exponentielle (loi 1). Le coefficient  $\alpha$  est variable avec l'épisode pluvieux. Cette phase est toujours de courte durée mais correspond à des écoulements importants.

Dans les exemples de traitement informatique figurant en annexes 2 et 3, la loi exponentielle en  $\alpha$  est

traduite par une droite en représentation semi-logarithmique

$$\text{Log } Q = -\alpha t + \text{Log } Q_0$$

et la pente de la droite donne le coefficient  $\alpha$  (base e) (tabl. 7 et 8).

— Au-dessous d'un débit seuil, un modèle en  $\beta$  (loi 2) rend compte de la queue d'écoulement. Le débit seuil et le coefficient  $\beta$  sont expérimentalement très peu variables et propres à chaque parcelle (tabl. 7 et 8).

La loi en  $\beta$  peut s'écrire sous forme linéaire (exemple en annexe),  $\frac{1}{\sqrt{Q}} = \frac{1}{\sqrt{Q_0}} + \beta t$ ,

et la pente de la droite donne  $\beta$  au coefficient près (selon l'unité d'expression des débits).

Il n'entre pas dans le propos de cette note de traiter le problème du drainage mais de tenter de donner une

interprétation de ces phénomènes liée au système poral du sol.

Sous cet angle, la division en 2 lois pourrait s'expliquer par les vidanges successives de 2 séries de classes de pores très différentes (SCHUCH, 1979). Mais, dans ce cas, le coefficient  $\beta$  serait au moins en partie sous la dépendance de la charge hydraulique et donc, indirectement, du débit de pointe.

L'invariabilité de la loi en  $\beta$  pourrait en fait correspondre à des écoulements dans un milieu pour lequel le système poral est stable. Une telle situation se rencontre dans les niveaux inférieurs du sol non touchés par les travaux culturaux, dès lors que les mottes ont atteint leur humidité d'équilibre. Il subsiste alors une certaine porosité susceptible de laisser transiter des écoulements gravitaires et correspondant à des fissures incomplètement fermées, à des passages racinaires, etc... Le modèle en  $\beta$  rendrait compte de la vidange de

TABLEAU 7 : Virey-le-Grand

Coefficients  $\alpha$  et  $\beta^*$ . $\alpha$  and  $\beta^*$  coefficients.

Période	Date	Non sous-solé				Sous-solé							
		P.5 (E = 12 m)		P.2 (E = 18 m)		P.6 (E = 12 m)		P.7 (E = 18 m)		P.3 (E = 24 m)		P.9 (E = 30 m)	
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Non saturée	22/9/81		0,030	0,034		0,018		0,022		0,015		0,015	
	8/11/82		0,018				0,024		0,014		0,011		0,011
Saturée	20/3/79	0,125	0,013	0,084	0,010	0,119	0,016	0,093	0,011	0,052	0,010	0,068	0,010
	20/1/81	0,190	0,013	0,111	0,0105	0,125	0,015	0,129	0,012	0,097	0,009	0,084	0,008
	31/10/81		0,012		0,010		0,015		0,012		0,010		0,010
	28/11/82	0,055	0,010	0,043	0,010		0,012	0,039	0,011	0,043	0,013	0,041	0,01
	7/12/82	0,092		0,085		0,075		0,072		0,057		0,067	
	8/12/82	0,135		0,119		0,102		0,092		0,076		0,092	

\* Le coefficient  $\beta$  est calculé pour des débits exprimés en  $\text{m}^3/\text{h}/\text{ha}$ .

$\beta$  coefficient calculated with run-off expressed in  $\text{m}^3/\text{h}/\text{ha}$ .

TABLEAU 8 : Thianges

Coefficients  $\alpha$  et  $\beta^*$ . $\alpha$  and  $\beta^*$  coefficients.

Période	Date	Non sous-solé		Sous-solé			
		E = 10 m		E = 10 m		E = 20 m	
		$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$
Non saturée	26/3/79		0,076				
	29/3/79		0,070				
	mai 79		0,110				
	17/11/79		0,050				0,050
	4/12/80		0,080				0,090
Saturée	8/12/77	0,35	0,056	0,35	0,064	0,32	0,043
	12/12/77	0,23	0,056	0,28	0,057	0,21	0,040
	23/12/77	0,29	0,059	0,31	0,068	0,29	0,042
	17/2/78			0,31	0,068	0,32	0,047
	20/3/78	0,56	0,070			0,39	0,050
	12/12/79		0,056			0,30	0,050
	21/3/80	0,35	0,070			0,28	0,043
	27/3/80	0,29	0,056	0,24	0,054	0,25	0,037

\* Le coefficient  $\beta$  est calculé pour le débit exprimé en  $\text{m}^3/\text{h}/\text{ha}$ .

$\beta$  coefficient is calculated with run-off expressed in  $\text{m}^3/\text{h}/\text{ha}$ .

ces espaces. Précédant celle-ci, la 1<sup>re</sup> loi (en  $\alpha$ ) concernerait des écoulements relativement complexes dominés par le transit d'eaux excédentaires plus superficielles s'effectuant en particulier au-dessus des semelles de travail vers les tranchées de pose des drains. Le coefficient  $\alpha$  de cette loi ne peut être que variable en fonction du régime des pluies et de l'état de la couche travaillée.

S'il en est ainsi, à l'échelle de la parcelle, les volumes d'eau évacués au cours des queues de tarissement suivant le modèle en  $\beta(V_\beta)$  devraient être compatibles avec la porosité résiduelle du massif de sol entre le fond du travail et le drain ( $V_p$ ), lorsque les mottes ont atteint leur gonflement maximum.

Ce calcul a été réalisé (tabl. 9) en parcelle non sous-solée sur les sites de Virey-le-Grand et de Thianges.

La porosité totale, par horizon, a été évaluée à partir de mesures de densité apparente sèche ( $d_a$ ) et de densité réelle ( $d_r$ ) :

$$P \% = \frac{d_r - d_a}{d_r} \times 100.$$

Le volume  $V_\beta$  a été calculé à partir des données expérimentales. Il suffit en effet d'intégrer le modèle mathématique entre le départ de la loi en ( $t_1 = 0, Q_1$ ) et  $t_2 = \infty$

$$\text{soit } V_\beta = \frac{Q_1}{\sqrt{Q_1} (1 + \beta \sqrt{Q_1 t_1})} - \frac{Q_1}{(\beta \sqrt{Q_1} (1 + \beta \sqrt{Q_1 t_2}))}$$

Le 2<sup>e</sup> terme de cette expression tend vers 0 lorsque  $t$  tend vers l'infini. Il reste donc :

$$V_\beta (m^3) = \frac{\sqrt{Q_1}}{\beta}$$

avec  $Q_1$  exprimé en  $m^3/\text{heure}$ ,  
et  $\beta$  coefficient du modèle, lorsque le débit est calculé dans cette unité.

Une telle comparaison ne peut évidemment conduire qu'à l'appréciation d'ordres de grandeur, ne serait-ce que par suite des différences d'échelles. En effet, les porosités sont issues de moyennes de mesures ponctuelles, alors que la loi d'écoulement représente un comportement parcellaire global gommant partiellement les hétérogénéités locales. Le tableau 9 montre cependant, pour les exemples traités, une bonne compatibilité entre les termes de cette comparaison.

Notons que la faible porosité résiduelle calculée à Virey-le-Grand au-dessous de 0,50 m de profondeur laisse penser que l'essentiel de l'écoulement considéré se fait au-dessus de ce niveau.

La même comparaison n'a pu être tentée en parcelle sous-solée, l'appréciation d'une moyenne de porosité en milieu perturbé étant rendue difficile par la dispersion importante des mesures liée à l'hétérogénéité du milieu. On peut cependant remarquer (tabl. 10) que le calcul des quantités d'eaux écoulées selon le modèle en  $\beta$  donne des valeurs relativement stables, analogues ou faiblement supérieures à celles obtenues en non sous-solée pour les différentes parcelles. Ceci confirmerait que l'effet du sous-solage, important sur le plan agronomique (réserve en eau), est relativement faible du point de vue strictement hydraulique.

#### IV. CONCLUSIONS

Cette analyse de résultats expérimentaux au niveau du profil et à celui de la parcelle contribue à mettre en évidence le rôle prédominant de la dynamique structurale sur le fonctionnement hydraulique des sols tel qu'il apparaît à travers les mesures effectuées sur parcelles drainées.

Le modèle de dynamique structurale retenu paraît en effet donner des éléments de prévision concernant

TABLEAU 9

*Porosité résiduelle et écoulement selon la loi en  $\beta$   
(parcelles non sous-solées).*

*Residual porosity and run-off according to  $\beta$  law.*

a) Virey-le-Grand

Horizons	$H_{VM}$	P	P- $H_{VM}$	$V_p \text{ m}^3/\text{ha}$	$V_\beta \text{ m}^3/\text{ha}$	
					Parcelle 5 (E = 12 m) $\beta = 0,013$ $Q_1 = 1,98 \text{ m/h}$	Parcelle 2 (E = 18 m) $\beta = 0,0098$ $Q_1 = 1,8 \text{ m/h}$
30-40	34,2	37,2	3	30		
40-50	35,5	41,9	6,4	64		
50-90	36,5	37,1	0,6	24		
90-100	35,2	36	0,7	7		
Total				125	108	137

b) Thianges

30-90	38,9	39,6	0,7	42	E = 10 m $\beta = 0,056$ $Q_1 = 2,95$	
				42	32	

TABLEAU 10

*Volume écoulé selon la loi en  $\beta$  (parcelles sous-solées).**Run-off volume according to  $\beta$  law (sub-soiled plots).*

## a) Virey-le-Grand

N° parcelle	6	7	8	9
Ecartement des drains (m)	12	18	24	30
$Q_1$ (m <sup>3</sup> /heure)	2,52	2,2	2,5	2,45
$\beta$	0,015	0,012	0,01	0,0095
$V_\beta$ (m <sup>3</sup> /ha)	106	124	158	165

## b) Thianges

N° parcelle	1	3
Ecartement des drains (m)	10	20
$Q_1$ (m <sup>3</sup> /h)	2,9	2,9
$\beta$	0,062	0,043
$V_\beta$ (m <sup>3</sup> /ha)	27,5	40

la circulation des eaux excédentaires. Il faut cependant noter que, si une certaine précision peut être atteinte pour les horizons profonds, le caractère variable des propriétés de la couche travaillée (selon la nature des travaux effectués, le type de culture, les variations saisonnières liées au climat, ...) limite la portée de ce modèle.

Plusieurs phénomènes ressortent toutefois nettement, au moins pour les cas traités :

Les eaux excédentaires sont évacuées selon 2 types de vidange successifs en relation directe avec la dynamique structurale propre à chaque horizon : l'un concerne essentiellement les horizons superficiels travaillés, l'autre les couches sous-jacentes ;

Des opérations de sous-solage entraînent une « détente » des mottes par libération partielle des contraintes volumiques. Ce phénomène de détente a pour conséquence une augmentation des réserves en eau, sans incidence notable sur le fonctionnement hydraulique.

Quelques remarques peuvent alors être faites sur le plan du comportement agronomique et du drainage :

1) Pour un sol ayant un fonctionnement de ce type et non perturbé en profondeur par sous-solage, l'essentiel de l'enracinement se situe dans la couche travaillée (constaté à Virey-le-Grand et à Thianges). Les eaux excédentaires asphyxiantes sont donc surtout celles concernant cette couche. Celles-ci, dès l'amorce du tarissement, sont évacuées en moins de 10 h à Virey-le-Grand et en moins de 5 h à Thianges pour des écartements de drains de 10-12 m (influence probable de la pente sur cet écoulement de « sub-surface »). Cette durée est évidemment augmentée par des accroissements de distance entre drains mais reste toujours faible pour les exemples traités (13-14 h à Virey-le-Grand pour  $E = 30$  m). Ceci expliquerait pourquoi aucune expérience ne montre de différences de résultats culturaux avec les écartements habituellement pratiqués (10-40 m en France ; 10-80 m en Allemagne). L'incidence quantitative de la pente du terrain reste à préciser.

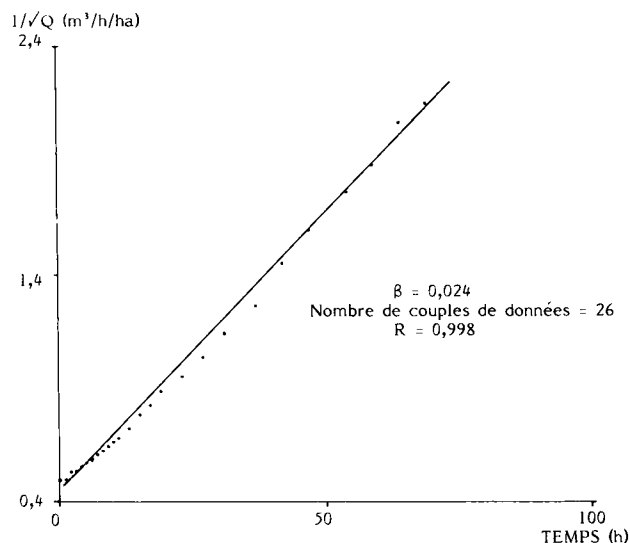
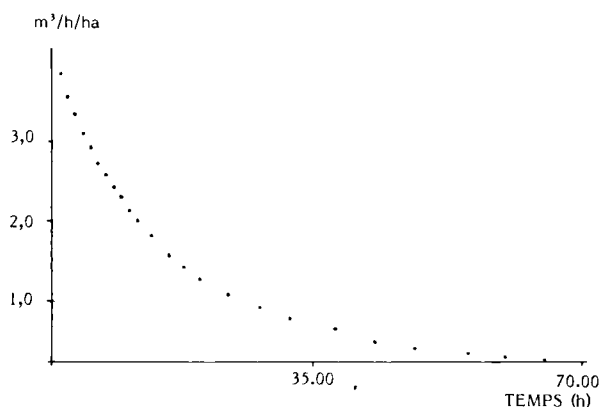
2) A l'arrêt des écoulements gravitaires par drainage, l'humidité des mottes est proche de la capacité au champ. Ceci n'entraîne pas la possibilité d'interventions mécaniques. En effet, si l'évacuation des eaux excédentaires est une condition nécessaire, elle n'est pas obligatoirement suffisante pour assurer une cohésion des mottes compatible avec le travail du sol. Le drainage des horizons supérieurs doit être suivi d'une phase de dessiccation des mottes dont la durée, influencée par les conditions météorologiques, risque d'être considérablement plus longue que celle du drainage lui-même.

3) Si, dans les horizons profonds, la détente provoquée par le sous-solage accroît la réserve en eau disponible pour les plantes, elle entraîne parallèlement une baisse de la cohésion des mottes. Ce mécanisme représente une limitation à la technique. Bénéfique pour des sols conservant malgré cette détente une cohésion suffisante, elle doit être déconseillée dans le cas contraire.

Reçu le 18 avril 1983.  
Accepté le 12 avril 1984.

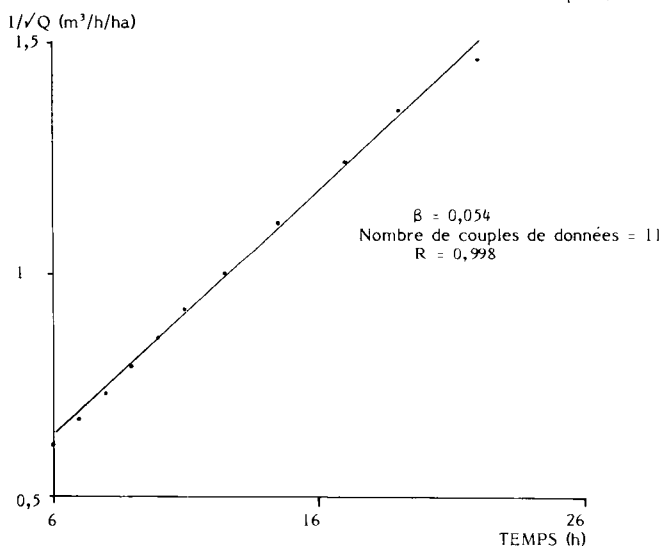
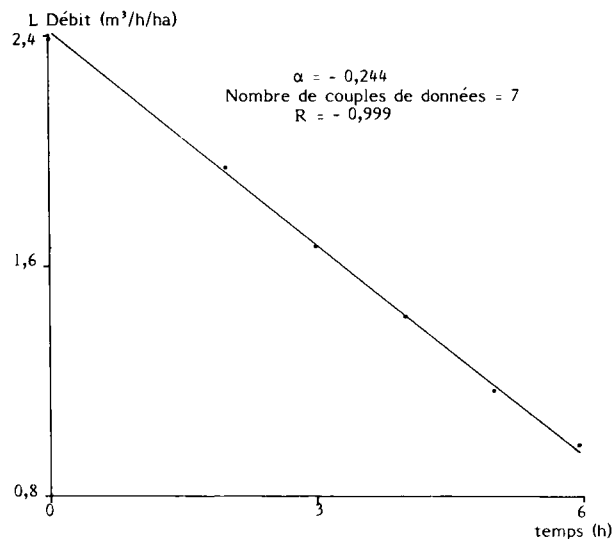
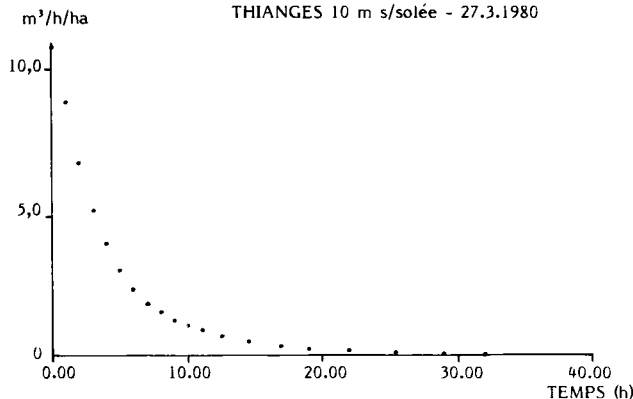
ANNEXE 1 : Exemple d'hydrogramme en période non saturée

VIREY 8.11.1982

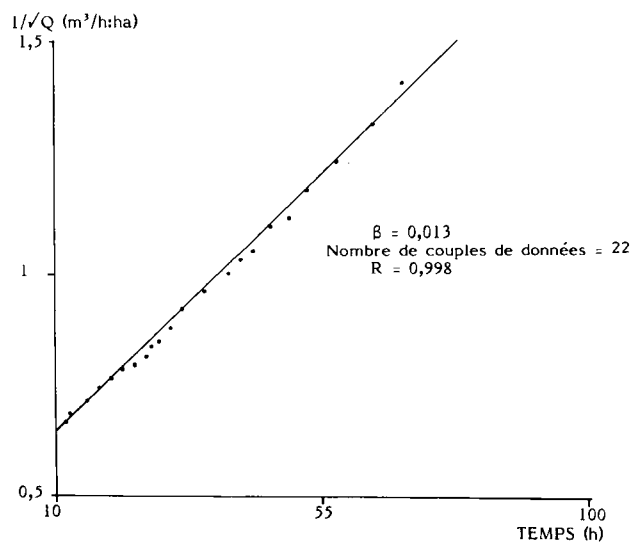
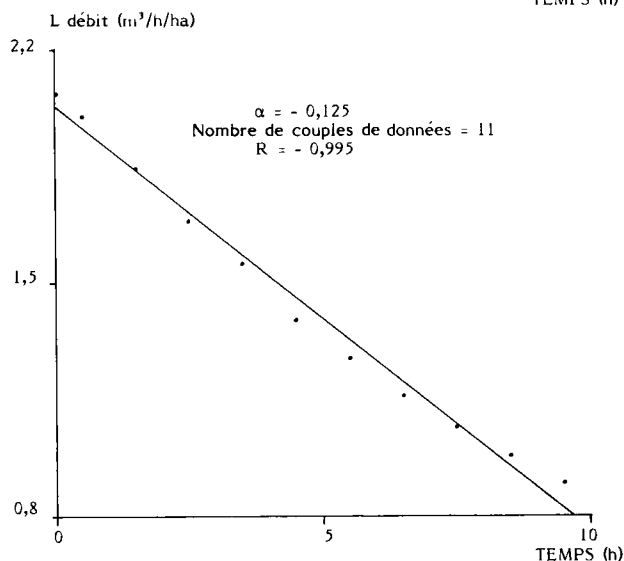
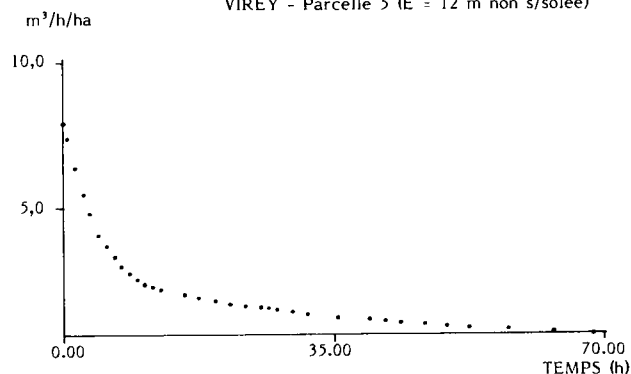
Parcelle 6 ( $E = 12$  m s/solée)

ANNEXE 2 : Exemple d'hydrogramme  
en période saturée

THIANGES 10 m s/solée - 27.3.1980

ANNEXE 3 : Exemple d'hydrogramme  
en période saturée

VIREY - Parcelle 5 (E = 12 m non s/solée)



## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Alessandrello E., Concaret J., Guyot J., Perrey C., 1976. Circulation de l'eau en sols limoneux lessivés hydromorphes drainés. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 5, 364-373.

Alvarez-Marques J. L., Concaret J., Guyot J., Jacquin M., 1974. Etude en laboratoire de la percolation de l'eau à travers des sols soumis à diverses contraintes. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 9, 693-704.

Chambre régionale de Bourgogne, 1981. *Drainage agricole. Théorie et pratique*, 509 p.

Station de Science du Sol - INRA Dijon, 1982. *Maîtrise de l'eau. Adaptation des systèmes de drainage*. Rapport EPR. Bourgogne, 25 p.

Clair A., 1974. *Etude géopédologique de la région de Virey-le-Grand, Fontaines, Demigny (Saône & Loire)*. Rapport contrat d'étude. D.D.A. Saône & Loire, 10 p.

Courtoux J. L., 1974. *Influence de l'humidité sur la percolation de l'eau dans les sols soumis à diverses contraintes*. Mémoire de fin d'études ENITA, Dijon-Quétigny, 23 p.

**de Crécy J.**, 1981. Structural behaviour of heavy soils and drainage systems. *Land Drainage Seminar Cambridge*, 73-84.

**de Crécy J., Concaret J., Munier Odile, Lavielle G.**, 1979. Assemblage structural des sols et histoire des matériaux. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 17, 1448-1451.

**Florentin L.**, 1982. *Contribution à la connaissance des sols hydro-morphes et apparentés de Lorraine et de leurs réponses au drainage*. Thèse Doct 3<sup>e</sup> cycle. Univ. Nancy, 157 p.

**Grassin R.**, 1974. *Contribution à l'étude de la dynamique de l'eau en sol limono-argileux drainé*. Mémoire de fin d'études. Institut National de Promotion Supérieure Agricole. Dijon, 21 p.

**Guyot J., Concaret J., De Crécy J., Jacquin M.**, 1979. Aptitude des sols à l'éclatement mécanique. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 16, 1370-1376.

**Haines W. B.**, 1923. The volume changes associated with variation of water content in soil. *J. Agric. Sci.*, 13, 296-310.

**Lamouille A.**, 1973. *Contribution à la dynamique de l'eau en sol limoneux drainé*. Mémoire de fin d'études ENITA, Dijon-Quétigny, 29 p.

**Lesaffre B., Herve J. J.**, 1982. Le drainage agricole, principes de fonctionnement. CEMAGREF, BI n° 293, 59-84.

**Maraval A.**, 1975. *La percolation de l'eau dans les sols. Etude de quelques paramètres*. Mémoire de fin d'études ENITA, Dijon-Quétigny, 21 p.

**Schuch M.**, 1979. Wasser und Bodenwirtschaftung-umweltent-bzw.-belastend. *Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 20, 344-361.

**Trouche G.**, 1981. *Aspects agronomiques et hydrodynamiques du drainage des sols à profil différencié du Val de Saône*. Thèse Doct. Ing. Univ. Dijon, 201 p.