CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PROPRIETES HYDRIQUES DES SOLS DU MAROC

1. — A propos de la capacité de rétention des sols et, en particulier, celle des tirs.

G. BRYSSINE

SOMMAIRE

I. Introduction

II. Capacité au champ. Définition
1. Phénomène de capillarité
2. Valeur de la capacité au champ
3. Variations au cours de l'année

III. Observations au sujet de la technique de prélèvement

IV. Modalités de détermination de l'humidité des sols sur le terrain
1. Profondeur de l'humectation
2. Discontinuité de la masse du sol
3. Volume des prélèvements
4. Desséchement des échantillons

V. Méthodes de laboratoire
1. Méthodes proposées
2. Difficultés rencontrées au Maroc
3. Explications

VI. Méthodes à étudier
1. Mesures de la limité d'adhésivité
2. Méthode de ressuyage par le même sol sec

I. Introduction

Il serait superflu de trop insister sur l'importance de la détermination précise des constantes hydriques des sols aussi bien sur le

Al Awamia, 27, pp. 89-112. Avril 1968

plan théorique que sur le plan pratique. Leur connaissance permet en effet de caractériser le régime hydrique des sols et de le maintenir au niveau optimum pour la croissance des plantes dans les terres irriguées. Malheureusement, leur détermination n'est pas aisée, fait d'ailleurs signalé par plusieurs auteurs (1, 5, 6, 12). Nous avons pu nous-mêmes nous rendre compte de ces difficultés au cours de nos études sur les sols marocains et, en particulier, sur les tirs du Gharb.

Dans la présente note, qui peut être considérée comme une introduction à l'étude générale des propriétés hydriques des sols marocains entreprise au Laboratoire de Pédologie de la Direction de la Recherche Agronomique à Rabat, nous exposons les problèmes que soulève la définition de la capacité de rétention dans les conditions du Maroc.

Afin d'illustrer l'exposé, nous présentons des exemples observés dans ce pays, bien que la littérature pédologique traitant de ce sujet soit abondante.

II. Capacité au champ. Définition

Le terme capacité de rétention est mal défini. Il désigne en effet une certaine quantité d'eau retenue dans le sol après sa saturation et son ressuyage ultérieur en absence d'évaporation. Cette quantité d'eau retenue correspond à la capacité au champ lorsque la mesure de l'humidité est faite sur le terrain 48 heures après l'humectation du sol (par les pluies ou les irrigations). Toutefois, cette quantité maximum d'eau retenue dépend, comme l'ont signalé F.J. VEILMEYER et A.H. HENDRICKSON, de plusieurs facteurs (12).

Pour bien saisir le sens de ces notions, il faut se rappeler que l'eau du sol comprend, en première approximation, l'eau fortement retenue (eau de sorption), immobile et non utilisable par les plantes, et l'eau faiblement retenue sous l'effet des forces capillaires (eau capillaire), utilisable par les plantes. Par contre, l'eau libre (eau de gravité) est éliminée de la masse du sol sous l'effet du ressuyage. Le classement plus détaillé de l'eau du sol est donné dans les travaux de RODÉ (9, 10).

La rétention de l'eau sous l'effet des forces capillaires implique un certain nombre de conséquences trop souvent négligées, parmi lesquelles il faut signaler, en premier lieu, sa relation avec la nappe aquifère quand celle-ci se trouve relativement près de la surface du sol.

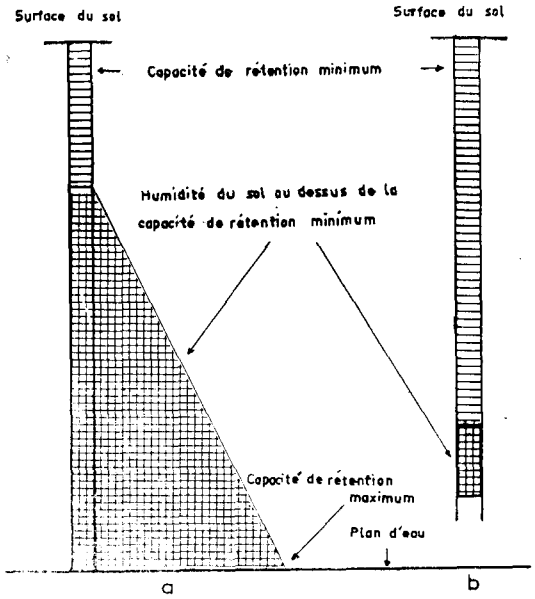
1. *Phénomène de capillarité*

En effet, si l'on plonge le bas d'une colonne de terre dans un récipient rempli d'eau (9), cette dernière remonte et remplit les pores sous l'effet des forces capillaires, phénomène analogue à celui de la remontée de l'eau dans des tubes de petit diamètre. La hauteur de remontée capillaire dépend du diamètre des pores : si les pores sont fins, la remontée capillaire est importante, s'ils sont grossiers, elle est très réduite. Au-dessus de la surface de la nappe libre, tous les pores fins et grossiers sont remplis d'eau : le sol est alors à sa capacité de rétention maximum. A la limite, dans les sols gorgés d'eau, cette capacité maximum se confond avec la porosité totale. Au fur et à mesure que la surface de la nappe s'éloigne de la surface du sol, le remplissage des pores baisse progressivement.

La zone du profil humectée par la remontée d'eau depuis la nappe constitue la *frange capillaire* (GRAPH. I-a).

GRAPHIQUE I

Différentes formes de capacité de rétention



Si l'on humecte une colonne de terre en absence de la nappe, l'eau s'infiltrera dans cette colonne et se répartira d'une manière assez

uniforme, sur une certaine épaisseur, en fonction de la quantité d'eau ajoutée en haut de la colonne. La teneur en eau à ce moment constituera la *capacité de rétention minimum des sols pour l'eau* (GRAPH. I-b).

Si l'on arrose maintenant une colonne de terre ayant à sa base une nappe d'eau libre assez éloignée de la surface pour que la frange capillaire s'arrête à une certaine profondeur, l'excès d'eau s'écoulera vers la nappe ; dans la partie supérieure de la colonne, l'humidité du sol correspondra plus ou moins à la capacité de rétention minimum *. En profondeur, plus près de la nappe, elle correspondra aux valeurs de la frange capillaire. La répartition de l'humidité du sol dans cette colonne de terre caractérisera alors le profil hydrique en équilibre avec la nappe.

On peut concevoir également des capillaires suspendus, sans nappe. Cette disposition pourrait se rencontrer dans les sols formés de deux dépôts superposés, dépôt fins sur dépôts grossiers, par exemple. Dans ce cas, la rupture de continuité de la masse du sol provoquera l'accumulation d'eau dans le dépôt fin, au-dessus du plan de rupture. Ce fait a été évoqué récemment par RYJOV (11). Nous avons pu le constater aussi lors d'une expérience réalisée au laboratoire au cours des années 1936/37 (2).

Dans cet essai, nous avons rempli des tubes en verre de 15 cm de haut avec l'horizon sableux d'un r'mel, dont la capacité au champ (déterminée dans les cases lysimétriques) était de l'ordre de 10 %. Ces tubes, placés, soit sur un tamis métallique, soit directement sur des vases à peser, remplis de la même terre, ont été arrosés au cours de l'expérience. Les conditions de l'essai et les résultats obtenus sont reproduits dans le tableau I.

Cette expérience nous montre que la rupture de continuité de la colonne de terre a provoqué l'accroissement de l'humidité du sol par rapport à la capacité de rétention du profil naturel, de 10 à 36 %. Dans les tubes mêmes, l'humidité du sol n'était pas uniforme : elle était plus élevée vers la base de la colonne.

La présence du sol sec sous la colonne de terre a abaissé ce dernier taux d'humidité jusqu'à 23 % par absorbtion d'une partie de l'eau de la colonne **. L'humectation de la terre des vases à peser où l'arrosage des tubes avec des volumes d'eau élevés (60 cc contre 35 cc correspondant à la rétention capillaire maximum) ont maintenu l'humidité des tubes au niveau de 36 %.

---

* Les valeurs de la capacité de retention minimum pour l'eau ne sont pas rigoureusement les mêmes dans les deux cas, avec ou sans nappe.

** Les valeurs élevées de l'humidité du tube placé sur la terre sèche (23 %) par rapport à la capacité au champ peuvent être expliquées par le fait que la hauteur des tubes (15 cm) correspondrait, au moins en partie, à la hauteur de la frange capillaire de ces sols.

TABLEAU I

Influence de divers facteurs sur l'humidité des sols et sur le volume d'eau percolée

ESSAI	EAU			HUMIDITÉ DU SOL DES			
	ajoutée	percolée		VASES	TUBES		
	en cc	en cc	en %		moyenne	haut	bas
I	35	2,9	8,3		36,3	35,1	37,6
II	»	12,5	36,7	14,1	25,3	24,0	28,5
III	»	13,9	39,7	12,4	23,3		
IV	»	6,1	17,4	32,5	38,4		
V	60	29,3	48,8	43,0	36,3		
VI	»	27,9	49,8	53,5	36,6		

Observations : Poids de terre des vases à peser : II = 91 g ; III = 115 g ; IV = 58 g (+ 12,5 cc d'eau) ; V = 68 g ; VI = 58 g.

TABLEAU II

Influence du diamètre de l'ouverture des tubes sur l'humidité des sols et le volume d'eau percolée

Diamètre de l'ouverture	Début de la percolation	Fin de la percolation	Quantité deau percolée en cc	Humidite du sol
d=1	1'10"	2'30"	130	37
d=1/2	1'10"	4'00"	140	36
d=1/10	1'05"	6'00"	150	35

Observations : Poids de terre = 1 000 g ; quantité d'eau ajoutée = 500 cc. Diamètre de l'ouverture : d=1 : tubes sans fond ; d=1/2 : l'ouverture du trou du fond est égale à la moitié du diamètre du tube ; d=1/10 : l'ouverture est égale au dixième du diamètre.

L'influence de la discontinuité de la colonne de terre est soulignée aussi par l'étude de la relation entre le taux d'humidité du sol et le diamètre de l'ouverture de la base de la colonne. Les résultats (TABLEAU II) nous montrent que l'humidité de la colonne baisse et que la quantité d'eau percolée augmente en fonction de la diminution du diamètre de l'ouverture.

2. *Valeur de la capacité au champ*

On peut donc se rendre compte que pour les sols ayant les mêmes caractéristiques structurales et, en particulier, une porosité

de même importance * et de même nature **, la valeur de la capacité au champ dépendra, en premier lieu, de la présence ou de l'absence de la nappe aquifère à une certaine profondeur. Elle sera élevée si le plan d'eau libre reste près de la surface du sol et correspondra dans ce cas à la valeur de la frange capillaire ou à sa capacité de rétention maximum. Elle sera plus basse si le plan d'eau est absent. Dans ce dernier cas, elle correspondra à la capacité de rétention minimum.

La valeur de la capacité au champ sera aussi en relation avec l'homogénéité des profils. L'existence d'une couche imperméable, ou moins perméable que les horizons supérieurs, peut provoquer l'apparition d'un plan d'eau libre (nappe perchée) lors de la saison pluvieuse ou de l'irrigation, même en absence d'une nappe phréatique proprement dite ***. La superposition des dépôts, fins sur grossiers, contribuera à la formation de capillaires suspendus et, de ce fait, augmentera les valeurs de la capacité au champ des dépôts fins.

On peut donc conclure que le même dépôt à texture fine contenant des lentilles à texture grossière, peut avoir deux ou trois valeurs de capacité au champ :

— celle correspondant aux profils des sols drainés sans nappe en profondeur,

— celle correspondant aux profils à nappe phréatique ou à nappe perchée,

— celle correspondant à la présence en profondeur de lentilles à texture grossière ****.

Ce phénomène prendrait une moindre importance si cette nappe, phréatique ou perchée, restait pérenne : la capacité au champ caractériserait alors bien le sol donné. Or, la nappe peut subir des fluctuations ou même disparaître pendant la saison sèche (chaude) pour se reformer pendant la saison humide (froide). Parfois elle n'apparaît que pendant les années pluvieuses.

---

* Valeurs semblables de la porosité totale.

** Répartition analogue des pores fins et des pores grossiers

*** Ainsi, la capacité au champ des horizons sableux du r'mel, de 60 cm d'épaisseur et reposant sur un horizon argileux, est égale en hiver à 10 %, tandis que l'humidité équivalente de ces mêmes horizons varie autour de 1 % (4).

**** C'est le cas, par exemple, des sols hydromorphes reposant sur les cailloutis villafranchiens du pourtour du Gharb.

TABLEAU III

Mode d'irrigation et humidité des sols à la Station expérimentale de SIDI SLIMANE

Etude statistique (moyennes de plusieurs parcelles)

Irrigations précédentes	Prélèvements	Horizons	Moyenne	Ecart à la moyenne	Ecart type	CV
	Parcelles A : irriguées tous les 10 jours					
			20.6.1955			
	av	0-20	25,2	1,4	2,8	12
		20-40	24,5	1,4	3,6	15
		40-60	23,4	0,8	1,7	7
10.5.55	ap	0-20	26,4	1,4	2,8	12
		20-40	25,1	1,0	2,0	8
		40-60	24,8	1,0	2,0	8
			10.7.55			
	av	0-20	25,7	1,6	3,2	13
		20-40	25,1	1,6	3,2	13
		40-60	23,0	0,8	1,4	6
30.6.55	ap	0-20	28,3	1,3	2,6	9
		20-40	27,8	1,6	3,3	12
		40-60	24,8	1,2	2,3	9
			20.7.55			
	av	0-20	26,2	1,6	3,1	12
		20-40	25,4	1,8	3,8	15
		40-60	23,0	1,2	2,7	12
10.7.55	ap	0-20	31,1	0,8	1,4	5
		20-40	31,3	0,8	1,8	6
		40-60	25,0	1,6	3,3	13
	Parcelles B : irriguées tous les 20 jours					
			20.6.55			
	av	0-20	21,0	1,2	3,1	11
		20-40	20,9	1,2	2,6	13
		40-60	20,5	1,0	1,9	9
30.3.55	ap	0-20	26,4	2,7	5,1	21
		20-40	23,9	1,0	2,2	9
		40-60	22,6	0,6	1,3	6
			10.7.55			
	av	0-20	21,0	1,0	2,3	11
		20-40	20,7	0,8	1,7	8
		40-60	21,5	0,6	1,1	6
20.6.55	ap	0-20	26,8	1,6	3,4	13
		20-40	25,7	1,0	3,7	14
		40-60	24,9	1,6	3,0	12
	Parcelles C : irriguées tous les 30 jours					
			10.7.55			
	av	0-20	19,4	1,4	2,8	14
		20-40	18,9	1,0	2,0	11
		40-60	20,2	0,8	1,2	6
10.6.55	ap	0-20	26,0	1,4	1,8	11
		20-40	24,0	1,8	3,4	14
		40-60	22,1	2,4	4,1	19

Observations : av - prélèvement faits avant l'irrigation
ap - » » après »
20.6.1955 - date de l'irrigation.

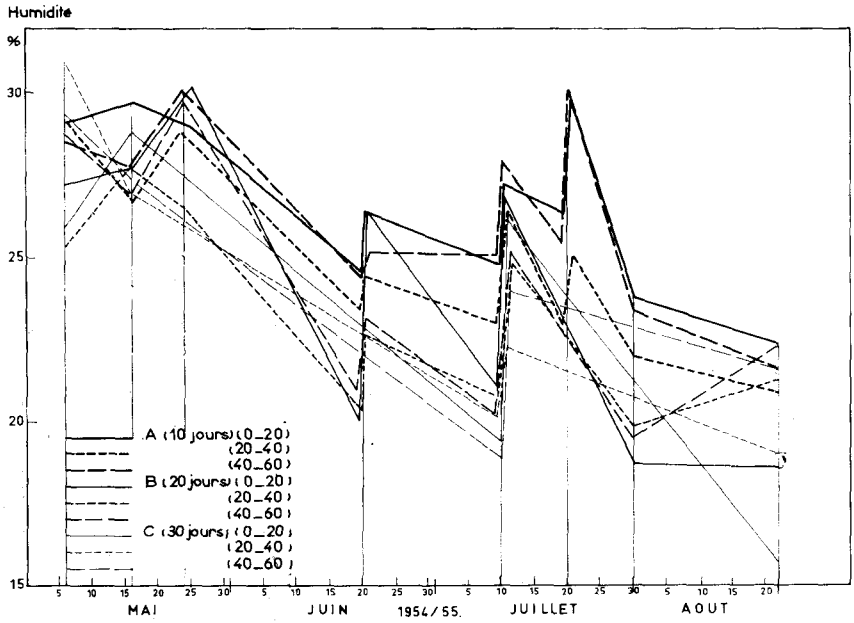
Il serait donc difficile de choisir la valeur réelle de cette constante hydrique.

3. Variations au cours de l'année

Un autre fait qui renforce l'imprécision de la définition de la capacité au champ est la variation éventuelle des valeurs de cette « constante » au cours de l'année. Nous sommes arrivés à ces constations en étudiant le régime hydrique des tirs irrigués de Sidi Slimane pendant les années 1955, 1956 et 1957. A titre d'exemple nous reproduisons dans le texte les données de l'année 1955 (TABL. III et GRAPH. II).

GRAPHIQUE II

Variations de l'humidité des sols sous l'effet des irrigations au cours de l'été 1955 à la Station expérimentale de Sidi Slimane



Au début de la saison d'irrigation, qui coïncide dans cette région avec le mois de mai, l'humidité des sols se maintenait au niveau de 30 %, (valeur correspondant sensiblement à la limite d'adhésivité : 31 %) malgré des irrigations effectuées pendant ce mois. Au cours du mois suivant, l'humidité a baissé sensiblement et ne dépassait plus 25-26 %, même après les irrigations (prélèvement fait le jour même). Les volumes d'irrigations (700-900 m³/ha) qui, théoriquement, ont été suffisants pour accroître l'humidité des sols de 10 %, ne l'augmentaient en réalité que de 5 % au maximum, même dans les parcelles irriguées tous les 10 jours (essai A). L'abaissement de l'humidité était inversement proportionnel à la fré-

quence des irrigations : plus celle-ci était élevée, plus profond a été l'assèchement du sol. Seules les irrigations répétées du mois de juillet ont pu élever l'humidité au niveau de 30 %. Cependant, dès la fin de ce mois, l'humidité des sols a baissé de nouveau rapidement dans toutes les parcelles.

Ces changements ont affecté surtout les deux premiers horizons (0-20 et 20-40 cm). Au-dessous de 40 cm (40-60), les taux d'humidité restaient sensiblement constants au cours de la saison, avec des variations de faible amplitude. Les irrigations plus espacées (B-20 jour et C-30 jour) ne permettaient pas de maintenir l'humidité au taux de 25 %. Si au début de la saison, les trois essais se comportaient de la même façon (les taux d'humidité des horizons supérieurs n'étant pas significativement différents les uns des autres), les différences entre les traitements devenaient plus sensibles aux mois de juin et de juillet.

Au début de la saison d'irrigation (mois de mai), les variations du taux d'humidité ont été relativement faibles et l'assèchement des profils se faisait progressivement. Par contre, à partir de fin juin, les amplitudes des variations devenaient plus importantes et la dessiccation des sols plus rapide.

Les changements du régime hydrique de ces terres (tirs du Gharb) au cours de l'année peuvent être expliqués par la modification de leur structure (3). Au printemps, la structure des terres, humidifiées au cours de l'hiver, reste encore fondue, massive, avec peu de fentes. Les irrigations humectent uniformément la masse du sol dont l'assèchement se fait lentement. Le sol se comporte donc comme un sol argileux classique. La dessiccation profonde et rapide du sol au début de l'été provoque le changement de son état structural : le sol passe de l'état fondu massif à l'état motteux fragmentaire avec l'ouverture des fentes aérant bien le sol. Dans ces conditions, la masse terreuse des mottes très compactes et peu perméables résultant du retrait resterait relativement sèche pendant tout l'été tandis que l'eau d'irrigation ne serait retenue en majeure partie que dans les fissures. Ce fait expliquerait alors les changements rapides de l'état hydrique au cours de l'été. Signalons à ce propos que W.E. Fox, pense que le concept de capacité au champ n'est pas applicable aux sols « gonflants » (ou sols foisonnants de notre terminologie) (7).

III. Observations au sujet de la technique de prélèvement

Après avoir évoqué brièvement le rôle des différents facteurs, tels la constitution des profils, leur état structural, la présence ou l'absence de la nappe, phréatique ou perchée, qui influent sur la valeur de la capacité au champ, faisons quelques remarques sur la technique de l'étude de cette caractéristique du sol au point de vue pratique. Là aussi, les difficultés surgissent surtout dans les conditions du Maroc.

En effet, la capacité au champ étant la quantité d'eau retenue dans le sol en place après son ressuyage, sa détermination consiste

dans les mesures de l'humidité des sols ressuyés après les pluies ou les irrigations.

Or le climat du Maroc est caractérisé par la succession de deux saisons, l'une chaude et sèche, l'autre fraîche et humide. Il en résulte des difficultés pratiques, différentes suivant l'époque de prélèvement.

En ce qui concerne la période pluvieuse, la prise d'échantillons ne peut être commencée qu'assez tard dans la saison. Il faut en effet que la terre s'humidifie assez profondément après la dessiccation d'été pour que la répartition de l'eau dans le sol corresponde à la capacité au champ. Les prélèvements devant être effectués 2 jours après la cessation des pluies, le temps doit rester beau pendant cette période. Il est donc difficile d'organiser une étude systématique sur le terrain. Pratiquement, seuls les champs ou les cases lysimétriques se trouvant à proximité du laboratoire peuvent être visités durant cette période.

Dans ces conditions, on pourrait imaginer de procéder à l'irrigation préalable des terres en vue de déterminer la capacité au champ. Malgré sa simplicité apparente (irriguer les terrains et prélever les échantillons), cette pratique présente aussi des difficultés, dont la plus grande est le transport de réserves d'eau également importantes.

D'après DOLGOV (4) la surface minimum à irriguer pour la détermination de la capacité au champ serait de l'ordre de 6,25 m^2 (2,5 × 2,5 m). Pour humecter une telle surface jusqu'à 50 cm de profondeur il faudrait 7,5/1 d'eau par m^2 pour augmenter l'humidité du sol (densité apparente égale à 1,5) de 1 %, soit 47 l pour la surface de 6,25 m^2. Ce volume d'eau monte à 235 l si l'accroissement de l'humidité doit correspondre à 5 % et à 470 l pour une augmentation de 10 %.

Les surfaces irriguées doivent être protégées contre l'évaporation ce qui exclut les déterminations de la capacité au champ dans les parcelles cultivées.

La prise d'échantillons de terre s'avère très délicate à exécuter dans les terres irriguées pendant la période chaude, du moins dans certains types de sol. Cette question sera discutée dans le paragraphe suivant.

Enfin, la détermination de l'humidité pose aussi des problèmes. Elle doit être effectuée soit sur place, soit au laboratoire du service central. Dans le premier cas il faut avoir l'équipement adéquat pour effectuer ces déterminations, dans le second il faut transporter les échantillons au Centre de Recherches. Ils doivent être protégés contre l'évaporation et, dans le cas d'une erreur d'analyse ou d'échantillonnage, il sera impossible de recommencer l'opération sans retourner sur place pour procéder à de nouveaux prélèvements dans les sols nouvellement irrigués.

IV. Modalités de détermination de l'humidité des sols sur le terrain

La précision de la détermination de la capacité au champ dépend aussi de la précision de la détermination de l'humidité des profils étudiés. Plusieurs facteurs semblent intervenir lors des prélèvements.

1. *Profondeur de l'humectation*

La capacité de rétention peut être affectée par l'état hydrique du profil avant l'arrosage. Ainsi, si l'on n'humecte qu'une certaine couche d'un profil sec avec la quantité d'eau correspondant à sa capacité de rétention théorique, les couches inférieures sous-jacentes sèches peuvent provoquer la succion de l'eau des couches supérieures, même ramenées à leur capacité de rétention.

Ainsi dans les expériences citées (2), l'humidité du sol, correspondant à la frange capillaire, des essais I (capillaires suspendus), IV, V et VI (tubes placés sur la terre humide), s'élevait à 36 %. Par contre, dans les tubes placés sur la terre sèche (esssais II et III) elle s'est abaissée à 23,-25 %.

De son côté, FEODOROFF (6) signale l'abaissement des valeurs de l'humidité de la colonne de terre par rapport à cette « constante » hydrique déterminée sur le terrain, en raison de la succion énergique des couches sous-jacentes sèches.

2. *Discontinuité de la masse du sol*

L'inégale répartition de l'eau dans la masse du sol conduit à l'hétérogénéité des résultats de la détermination de l'humidité. Cette hétérogénéité peut être due soit à l'état structural du sol, soit à la dessiccation inégale de sa masse avec le dessèchement préférentiel le long des fentes et des fissures.

Pour illustrer ces conclusions nous allons comparer quelques résultats du dosage de l'humidité des sols effectués à la Station Expérimentale de Sidi Slimane au cours de l'été 1955, avant et après les irrigations des parcelles (TABL. III). Ces résultats sont assez significatifs.

On constate d'abord que le coefficient de variabilité est généralement supérieur à 10 % et que l'écart-type peut atteindre 3 %. Dans la plupart des cas l'écart par rapport à la moyenne oscille entre 1 et 2 % pour des valeurs de celle-ci comprises entre 20 et 26 %.

L'homogénéité des résultats du dosage de l'humidité dans ces sols paraît dépendre à la fois de l'époque de prélèvement et du régime des irrigations (pratiquées avec des volumes variant de 700 à 900 m^3/ha).

Ainsi, dans les parcelles A, irriguées tous les 10 jours, les résultats concernant les horizons profonds sont plus homogènes que ceux des horizons supérieurs. Les prélèvements faits avant les irrigations sont plus variables que ceux effectués après l'arrosage, du moins au début de la saison chaude. Par contre, dans les parcelles irriguées le 20 juillet, les valeurs du coefficient de

variabilité concernant l'horizon de 40 à 60 cm des sols irrigués ou non encore irrigués restent les mêmes. Cependant, dans les parcelles arrosées 20 jours plus tard, l'hétérogénéité de la répartition de l'humidité dans le sol paraît augmenter après les irrigations.

Dans les parcelles B, irriguées tous les 20 jours, l'effet des irrigations du 20 juin (début de la saison) sur les caractères de la répartition de l'humidité dans le sol reste analogue à celui observé dans les parcelles A.

Enfin, dans les parcelles C, irriguées tous les 30 jours, l'hétérogénéité reste la même aussi bien avant qu'après les irrigations.

Ces résultats semblent confirmer l'opinion présentée au début de ce paragraphe : l'hétérogénéité des résultats de l'analyse est en relation avec la discontinuité de la répartition de l'humidité dans la masse du sol, cette discontinuité étant due à l'état structural. En effet, dans ces sols, l'assèchement du profil conduit au changement de la structure au cours de la dessiccation : de fondue massive (continue) à l'état humide, elle passe à l'état motteux discontinu par suite de la rupture de la masse du sol sous l'effet du retrait, avec formation de mottes plus compactes de formes plus ou moins prismatiques.

Il en résulte que dans les sols en voie d'asséchement, la surface des mottes le long des fentes de retrait peut devenir plus sèche que la masse terreuse de ces mottes. Inversement, dans les sols en voie d'humidification, l'eau d'irrigation peut s'accumuler dans les fentes sans pénétrer pour autant dans la masse terreuse des mottes fortement compactes.

Suivant le hasard, le prélèvement peut être effectué soit dans la masse terreuse des mottes, soit à leur surface, d'où la disparité des résultats du dosage.

3. *Volume des prélèvements*

Cette hétérogénéité des résultats de la détermination de l'humidité trouvée dans ces terres pose le problème du volume du prélèvement.

Ainsi nous avons été surpris de constater que l'observation visuelle des profils des merja centrales du Gharb conduisait à les qualifier de mouillées, tandis que les échantillons prélevés à ce moment dans les mêmes profils se présentaient comme humides-frais.

Pour vérifier ces constatations, nous avons effectué deux séries de prélèvements. Dans la première série, nous avons échantillonné suivant la technique habituelle de faible volume (20 g environ). La prise d'essai était placée aussitôt dans des petits récipients en aluminium. Dans la deuxième série, les déterminations de l'humidité ont été effectuées d'abord par pesée directe de la terre prélevée à l'aide de sondes à densité (500 cc environ) et par dosage ultérieur de l'humidité de ces prélèvements séchés à l'air.

TABLEAU IV

Humidité des sols des merja centrales (près de Dar Gueddari)
Avril 1962

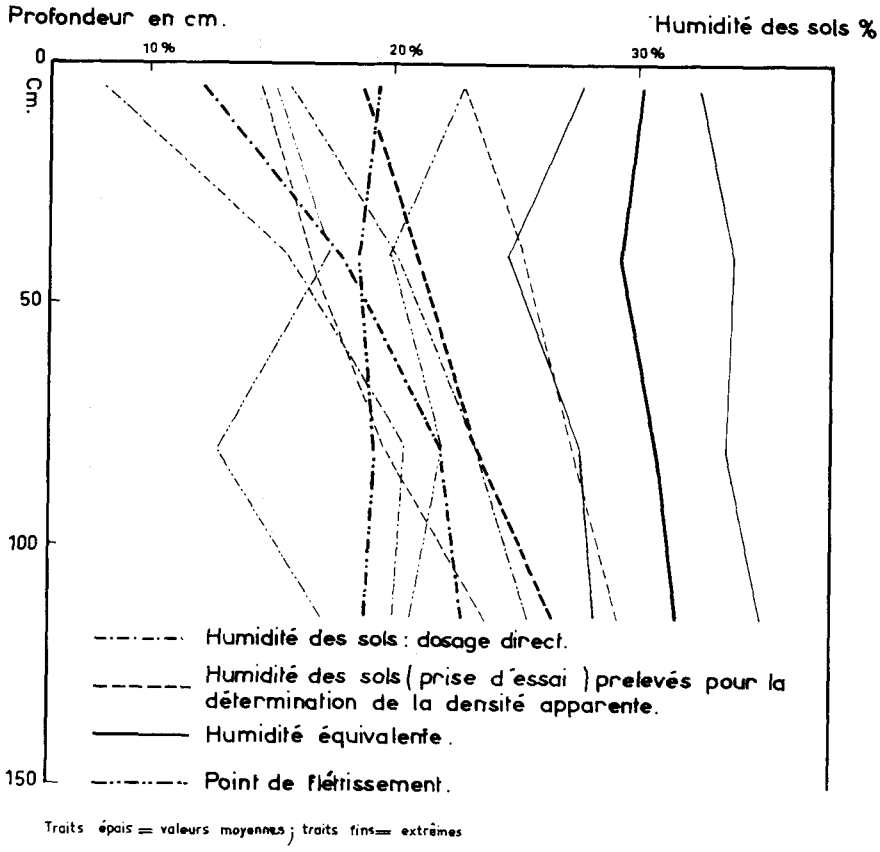
N°	Horizons cm	HUMIDITÉ		
		gV	pV	Diff.
B-289	0-10	18,6	18,2	0,4
	30-40	21,6	21,4	0,2
	60-70	25,3	23,5	1,8
	100-110	29,0	25,8	3,2
B-291	0-10	17,2	9,0	8,2
	30-40	18,9	19,8	0,9
	80-90	26,6	19,8	6,8
	120-130	23,9	19.8	5,0
B-296	0-10	16,0	8,5	7,5
	30-50	22,4	20,6	1,8
	80-90	24,5	22,0	2,5
	120-130	24,8	19,8	5,0
B-299	0-10	15,4	11,1	4,3
	40-50	21,4	15,8	5,6
	80-90	22,6	21,3	1,3
	120-130	24,0	20,2	3,8
B-302	0-10	13,8	6,0	7,8
	40-50	22,1	15,9	6,2
	70-80	23,7	20,2	3,5
	100-110	27,5	21,7	5,8
B-303	0-10	26,5	11,8	14,7
B-305	0-10	18,2	10,1	8,1
	50-60	15,4	15,2	0,2
	70-80	23,9	20,5	3,4
	110-120	29,9	18,2	11,7
B-306	0-20	17,6	14,7	2,9
	30-40	22,6	17,2	5,4
	90-100	23,7	21,6	2,1
	120-130	26,8	26,5	0,3
B-308	0-10	17,1	17,8	0,7
	30-40	19,3	19,4	0,1
	60-70	23,4	23,1	0,3
	100-110	27,0	25,5	1,5
B-309	0-10	26,9	13,7	13,2
	30-40	27,1	18,1	9,3
	60-70	26,8	24,6	2,2
	100-110	24,6	22,0	2,6
B-312	0-10	20,8	12,8	8,0
	30-40	16,2	17,4	1,2
	70-80	24,5	22,9	1,6
	100-110	26,5	24,3	2,0
B-313	0-10	26,7	13,1	13,6
	30-40	22,2	17,0	5,2
	60-70	26,1	22,0	4,1
	100-110	29,1	24,1	4,0

Observations : pV = petits prélèvements
gV = grands prélèvements.

Les résultats de ces déterminations sont donnés dans le TABLEAU IV et le GRAPHIQUE III. D'une manière générale, l'humidité des sols provenant des prélèvements volumineux par la sonde à densité s'est révélée plus élevée que celle des terres provenant des petits échantillons, prélevés spécialement pour les dosages de l'humidité.

GRAPHIQUE III

Profil hydrique des sols des merja centrales (près de Dar Gueddari) au mois d'avril 1962



Dessin V. SIMONOFF et A. KHOBIZA

Dans le TABLEAU V nous présentons les valeurs moyennes de ces déterminations par horizon. On constate en premier lieu que l'hétérogénéité des résultats, d'après les valeurs du coefficient de variabilité, est plus élevée dans les horizons supérieurs que dans les horizons sous-jacents.

Ainsi par exemp'e, le coefficient de variabilité atteint les valeurs de 21-31 % dans l'horizon supérieur de 0 à 10 cm et de 8-11 % seulement dans l'horizon profond de 50/60 à 90/100 cm.

TABLEAU V

Valeurs moyennes des constantes hydriques et de l'humidité des sols des merja centrales (près de Dar Gueddari) - Avril 1962

Horizons cm	Nature du prélèvement	Moyenne	Ecart à la moyenne	Ecart type	CV	Diff. gV - pV	t	S
			Point de flétrissement					
0-100 +		19,3	0,5	2,3	12			
			Humidité équivalente					
0-100 +		29,3	0,7	3,3	11			
			Humidité des sols					
0-10	gV	21,1	2,6	4,6	21	9,1	5,20	HS
	pV	12,2	2,2	3,7	31			
10-50-60	gV	20,8	1,2	3,2	15	2,8	4,83	HS
	pV	18,0	0,8	2,1	12			
50-60 90-100	gV	24,6	0,4	1,2	11	2,5	7,81	HS
	pV	22,1	0,6	1,8	8			
100 +	gV	24,4	1,0	3,0	12	1,3	2,23	S
	pV	23,0	1,0	2,3	12			

Observations : pV = petits prélèvements
gV = grands prélèvements.

Elle est ainsi plus élevée dans les petits échantillons (11-31 %) que les grands (8-21 %). On constate en même temps que les différences entre les valeurs obtenues par les deux techniques de prélèvement sont plus élevées dans les horizons supérieurs, où ils oscillent autour de 9 %, que dans les horizons sous-jacents (2,5 % - 1,3 %).

On peut expliquer ces différences par « l'expulsion » de l'eau retenue entre les grains argileux au cours du prélèvement de terre de faible volume. Par contre, cette eau a été conservée dans les interstices lors des prélèvements volumineux.

4. *Desséchement des échantillons*

La différence entre la détermination de l'humidité des sols des petits échantillons et celle des prises d'essais plus importantes peut s'expliquer aussi, du moins en partie, par le desséchement des échantillons au cours des prélèvements.

Dans nos essais sur la détermination du point de flétrissement, nous avons constaté que la perte d'eau des échantillons humides de 200 g et offrant une

surface évaporante de 60 cm^2 seulement, peut atteindre, pendant 24 heures, 1 à 2 % de la masse totale de l'échantillon pour des températures voisines de 15-17°C et de 2 à 3 % pour des températures oscillant autour de 22°C. L'humidité de l'air restait voisine de 90-96 %.

Il ne serait donc pas invraisemblable de supposer une perte importante d'eau au cours de l'échantillonnage, principalement pour les petits prélèvements où la surface externe est plus importante que pour les grands échantillons *, lorsque la température de l'air atteint 40°C et que l'humidité relative ambiante descend jusqu'à 30 % ainsi qu'il est couramment observé au Maroc.

V. Méthodes de laboratoire

1. *Méthodes proposées*

Les difficultés rencontrées pour mesurer la capacité de rétention sur le terrain ont incité les agronomes et les pédologues à rechercher des méthodes d'estimation au laboratoire, méthodes rapides et facilement reproductibles. Il s'agit de déterminer dans ce cas la capacité de rétention minimum. Les résultats de ces déterminations peuvent être différents des valeurs de la capacité au champ, ce qui est parfaitement normal, si l'on tient compte du rôle joué par le phénomène de capillarité dans les sols. Ils peuvent se rapprocher de la valeur de la capacité au champ dans les profils uniformes et bien drainés. Par contre, ils seront inférieurs à celle trouvée sur place dans les sols à nappe d'eau libre proche de la surface (nappe phréatique ou nappe perchée, capillaires suspendus). Dans ce dernier cas, la capacité au champ correspondra à la frange capillaire dont les valeurs dépendront de la profondeur du plan d'eau, comme nous l'avons déjà vu dans les pages précédentes. Elles variera entre les valeurs de la capacité capillaire maximum et de la capacité de rétention minimum.

Toutefois, la détermination au laboratoire de la capacité de rétention minimum présente beaucoup d'intérêt, même pour les sols à plan d'eau proche de la surface. Comme l'indique Dolgov (5), la connaissance de la différence entre la capacité au champ et la capacité de rétention minimum permet de déterminer dans les sols la quantité maximale d'eau capillaire mobile correspondant à la frange capillaire. La présence de cette dernière change brusquement le régime hydrique des sols et conduit au caractère particulier de la pédogénèse par l'alimentation accrue des plantes en eau et l'accroissement de l'évaporation des eaux souterraines par la surface du sol.

---

* Quand le volume (et le poids) d'un échantillon croît 8 fois, sa surface externe n'augmente que de 4 fois.

Pour définir cette capacité de rétention minimum, les premiers chercheurs ont employé la méthode des grandes colonnes qui consiste à humecter la colonne de terre sans la saturer sur toute sa hauteur. Le dosage de l'humidité permet de trouver les valeurs de la capacité de rétention minimum (GRAPH. I-b). L'application de cette méthode présente toutefois de grandes difficultés opératoires, en particulier, le maniement de grands volumes de terre.

Plus tard, plusieurs chercheurs ont proposé différentes méthodes, toutes basées sur l'élimination de l'eau mobile (de gravité) par application d'une pression. Les plus répandues sont les suivantes :

— méthode de centrifugation à 1000 g (BRIGGS, MC LEAN et SHANTZ)
— » succion d'une atmosphère (BOUYOUCOS)
— » pression de 1/3 d'atmosphère (RICHARDS)

Nous ne nous arrêtons pas sur le principe et le fonctionnement de ces techniques ; ils sont exposés dans le travail de F.J. VEIHMEYER et A.H. HENDRICKSON (12).

2. Difficultés rencontrées au Maroc

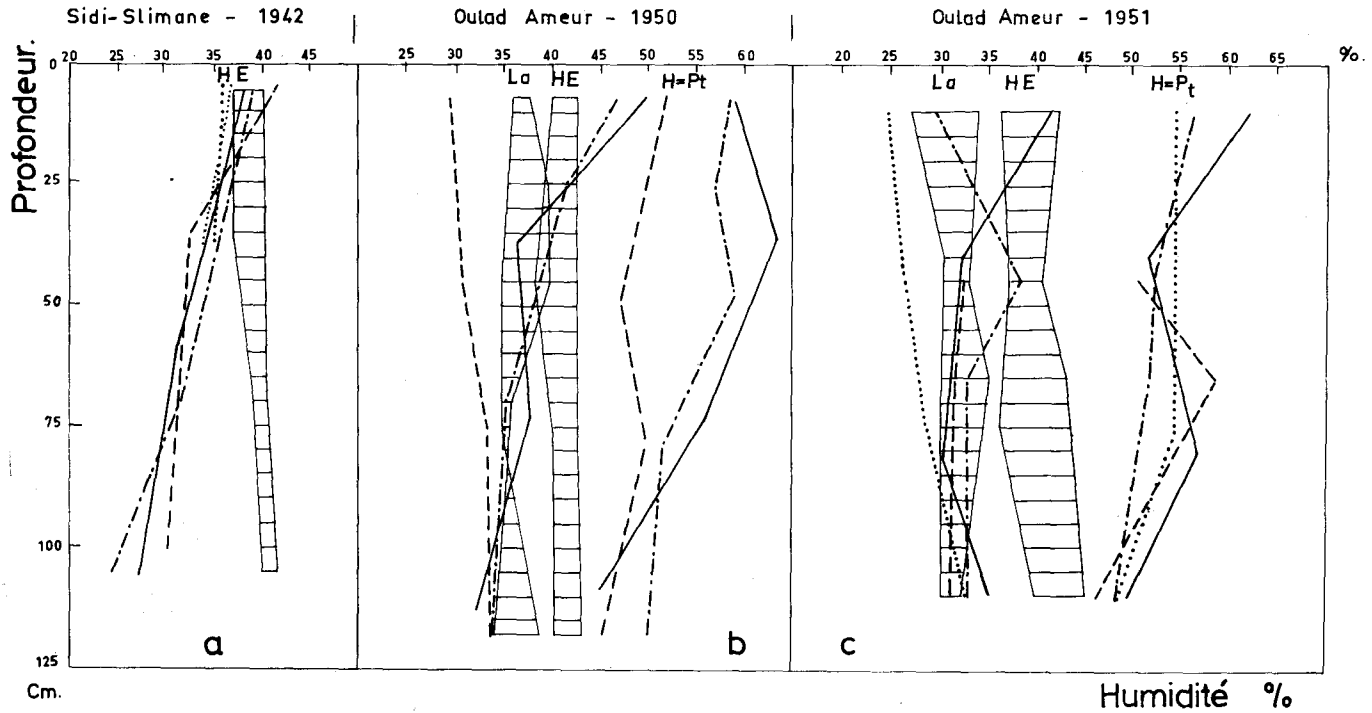
La comparaison entre les résultats obtenus au laboratoire et ceux des déterminations sur le terrain conduit souvent à des divergences, tantôt positives, tantôt négatives, même dans les sols homogènes sans plan d'eau proche de la surface (sols bien drainés).

En ce qui concerne nos recherches au Maroc, nous n'avons pas utilisé la méthode par centrifugation. Les deux autres méthodes, celle de BOUYOUCOS (succion) et celle de RICHARDS (extracteur à membrane) donnent généralement dans ce pays des résultats supérieurs à ceux obtenus directement sur le terrain, surtout dans les sols fortement argileux du type « tirs ». Nous avons signalé ces différences dans notre note commune avec G. GRILLOT concernant l'humidité des sols du Maroc (8). D'autres recherches ont confirmé ces constatations.

Ainsi, nous avons eu l'occasion d'étudier à Sidi Slimane en avril 1942 l'humidité des sols inondés par le débordement des puits de cette région. Au moment des prélèvements, les horizons supérieurs de ces terres étaient bien mouillés et l'eau coulait dans les tranchées de prélèvement. Or la comparaison des résultats du dosage de l'humidité et de la détermination de l'humidité équivalente (suivant la méthode de BOUYOUCOS) montre, comme l'on peut s'en rendre compte d'après l'étude du GRAPHIQUE IV, que dans les horizons supérieurs mouillés, les valeurs de l'humidité étaient proches de celles de l'humidité équivalente, tandis qu'en profondeur, dans les horizons humides, elles étaient inférieures

GRAPHIQUE IV

Profils hydriques des tirs humides



Dessin V. SIMONOFF et A. KHOBIZA

à cette dernière constante. Il faut se rappeler à ce propos qu'en théorie, l'eau du sol correspondant à l'humidité équivalente doit se trouver à l'état capillaire et non pas à l'état libre mobile, comme nous l'avons observé dans les horizons supérieurs des tirs de Sidi Slimane. Apparemment donc, l'humidité de ces sols correspondant aux valeurs de l'humidité équivalente dépassait l'état capillaire.

Si l'on peut mettre en doute ces résultats, obtenus avec de petits échantillons (prélèvements ordinaires pour les dosages de l'humidité), ceux obtenus après les prélèvements à la sonde dans les terres des rizières des Ouled Ameur (Gharb), les confirment pleinement. Les prélèvements ont été effectués en 1950-1951 dans les tirs gris, après l'exondation des rizières. L'allure de la répartition de l'humidité dans les profils (voir GRAPHIQUE IV-b et IV-c) est similaire à celle observée à Sidi Slimane: dans les horizons supérieurs, l'humidité des sols était égale ou supérieure à l'humidité équivalente (se rapprochant de la porosité totale) ; dans les horizons profonds, elle restait inférieure à cette « constante » et se rapprochait des valeurs de la limite d'adhésivité.

On arrive à des résultats analogues quand on étudie les profils hydriques des terres des merja centrales du Gharb (GRAPH. III) : à la fin de la période pluvieuse (avril 1963), l'humidité des horizons profonds a été systématiquement inférieure aux valeurs de l'humidité équivalente.

3. *Explications*

L'explication de ce comportement, apparemment particulier aux tirs du Gharb où nous avons fait nos observations, doit être recherchée dans l'état structural de ces sols (3).

Ces sols foisonnants sont composés à l'état humide de petits granules stables dans l'eau, probablement très compacts, si l'on en juge d'après la constitution des mottes des sols secs. Ces grains argileux sont probablement entourés d'un film qui constitue un obstacle à la pénétration de l'eau à l'intérieur des granules, d'autant plus que dans les pores fins, celle-ci pénètre difficilement.

Il faut remarquer aussi que les pores grossiers ne forment pas de tubes continus mais se présentent comme une succession d'espaces lacunaires de différentes dimensions : les pores grossiers non capillaires peuvent donc se trouver séparés les uns des autres par des pores plus fins. L'existence de ces pores fins, séparant les pores plus grossiers, peut empêcher l'humidification totale de la masse terreuse, à cause de la présence éventuelle de l'air emprisonné dans ces capillaires, et abaisser de cette façon la valeur de la capacité de rétention.

Or, les déterminations au laboratoire perturbent profondément la structure du sol en rendant, en premier lieu, la répartition des pores plus homogène dans les préparations. Comme résultat de cette perturbation, le nombre de pores fins de la préparation peut augmen-

ter par rapport au sol naturel. Les échantillons humidifiés subissent ensuite une forte pression, soit directe (méthode de RICHARDS), soit indirecte par succion (méthode de BOUYOUCOS), dans un laps de temps assez court. L'eau sous pression peut, soit chasser l'air des interstices très fins, soit l'entraîner au cours de l'opération, de sorte qu'elle peut remplir tous les pores fins. Le nombre de ces pores « inondés » serait donc plus élevé dans la préparation tassée que dans le sol naturel.

Il en résulte que dans ces sols en place, l'eau ne remplirait pas tous les pores, du moins au début de l'humidification des profils. Au début de l'hiver, elle se logerait surtout dans les fissures fines au niveau des grains argileux à pores trop fins qui s'entourent d'une pellicule mouillée. Ces grains s'humidifient toutefois, du moins partiellement et progressivement, au cours de la saison humide. L'eau de ces terres foisonnantes se maintiendrait donc de préférence dans les fissures fines, ce qui donne à l'ensemble du profil un aspect mouillé, tandis que la masse du sol paraît simplement humide.

En été, dans les sols irrigués, l'eau d'arrosage paraît se cantonner surtout dans les fissures.

Pour expliquer ce comportement particulier, il faut se rappeler que dans les tirs, la porosité grossière des terres humides, qui représente déjà 30 % de la porosité totale du sol, augmente dans les terres sèches, suite à la fissuration et au retrait, jusqu'à 50 %, au détriment de la porosité capillaire qui diminue alors de moitié. De ce fait, les mottes sèches deviennent très compactes. Le desséchement rapide et périodique des profils irrigués au cours de l'été ne permet probablement pas l'humectation profonde de la masse du sol au cours des arrosages de manière à la ramener à la capacité de rétention minimum. L'eau ne remplit que les pores grossiers, d'où elle peut s'évaporer assez rapidement.

Ces sols se comportent donc de préférence comme des sols argileux au cours de l'hiver et comme des sols « sableux à grains argileux » au cours de l'été, d'où la difficulté de fixer des valeurs de leur capacité de rétention valables pour toute l'année.

On peut remarquer à ce propos que les résultats de la détermination de la capacité de rétention au laboratoire par les méthodes citées (BOUYOUCOS, RICHARDS) exprimeraient la quantité totale d'eau qu'on peut fixer dans les pores fins au pF donné et non pas le taux d'humidité retenue dans le sol à la capacité au champ. On doit donc chercher d'autres solutions pour déterminer au laboratoire cette « constante » hydrique.

VI. Méthodes à étudier

1. *Mesures de la limite d'adhésivité*

Ainsi, nous avons vu que dans les tirs, la capacité de rétention serait très voisine des valeurs de la limite d'adhésivité. On pourrait prendre cette valeur pour caractériser la « constante » hydrique en question.

Sur le plan théorique, une telle conception serait très plausible. En effet, on peut considérer la limite d'adhésivité comme correspondant à un état hydrique caractérisé par la disparition de l'eau « libre » ; toute l'eau contenue dans le sol à cette limite serait à l'état capillaire : l'eau capillaire ne mouille pas la surface des instruments et de ce fait la terre ne peut plus adhérer à eux. Or, la capacité de rétention a été considérée comme une « limite de séparation » entre l'eau libre de gravité et l'eau capillaire fixée dans le sol sans nappe.

2. *Méthode de ressuyage par le même sol sec*

Une autre méthode fort intéressante a été utilisée par DOLGOV (5). Dans cette méthode, le ressuyage de l'échantillon humidifié par capillarité est assuré par le même sol sec, placé sous ce dernier. Cet auteur a pu constater que le ressuyage est un phénomène continu se poursuivant très longtemps. Toutefois, la vitesse de ressuyage se ralentit aux taux d'humidité correspondant à la capacité au champ. Cette technique a été appliquée récemment par FÉODOROFF aux sols de la région parisienne (6).

DOLGOV estime que les « données présentées (dans son travail) montrent que les valeurs de la capacité de rétention minimum pour l'eau obtenues, aussi bien au champ qu'au laboratoire, par la méthode de succion sont très voisines pour les sols naturels non perturbés. Pour les horizons de labour les différences sont assez sensibles, dues probablement à la destruction de la structure du sol et à l'accroissement consécutif de la compacité » (5).

Pour FÉODOROFF la concordance entre les résultats obtenus au laboratoire et au champ justifie l'emploi de cette « méthode de détermination de la capacité de rétention à condition que l'accord constaté entre les valeurs au champ et au laboratoire se vérifie sur un plus grand nombre de sols » (6).

Pour nous, cette méthode présente beaucoup d'intérêt pour plusieurs raisons :

— la technique de cette méthode se rapproche le plus des conditions naturelles avec l'humidification par capillarité de la colonne de terre obtenue soit par le remplissage sans pression du tube de l'appareil, soit par le prélèvement direct sans perturbation de la structure ;

— la succion d'eau est provoquée par la même terre sèche, donc possédant les propriétés physiques de l'échantillon étudié sans application de forte pression ;

— le mode opératoire est simple et ne demande pas de matériel compliqué ; il permet des analyses en série ;

— cette méthode est rapide ; dans les travaux de DOLGOV la capacité de rétention a été obtenue au bout de 3 à 4 heures, dans ceux de FÉODOROFF au bout de 8 à 18 heures.

« Si son inconvénient majeur est de requérir une quantité de terre assez importante, elle a l'avantage de donner une valeur de la rétention qui rejoint la capacité au champ sans faire d'hypothèse sur la nature et la grandeur des forces physiques en cause » (6).

Toutefois DOLGOV signale les difficultés qu'il a rencontrées pour mesurer la capacité de rétention des sols foisonnants.

L'étude de ces questions figure dans le programme de la Station de base de Pédologie.

ملخص

الخواص المائية للتربة المغربية

أ — حول قدرة ادخار التربة للماء وخصوصا تربة الترس

يستعرض المؤلف فى الموضوع الحاضر المشاكل التى يثيرها تحديد قدرة الادخار للتربة المغربية وبالخصوص تربة الترس. ان قيم الرطوبة المعادلة تختلف عن قيم القدرة فى الحقل .

بخلاف ذلك تكون هذه الاخيرة مجاورة لنهاية «درجة الالتحام» .

ويفكر المؤلف بأنه من الاحسن دراسة هذه الطرئيقة الاخيرة وكذلك طريقة Dolgoff - Feodoroff فى الحالات المغربية .

RÉSUMÉ

Dans le présent travail l'auteur passe en revue les problèmes soulevés par la détermination de la capacité de rétention des sols marocains et, en particulier, celle des tirs. Les valeurs de l'humidité équivalente diffèrent de celles de la capacité au champ. Par contre ces dernières sont voisines de la limite d'adhésivité. L'auteur pense qu'il serait intéressant d'étudier cette dernière méthode, ainsi que celle de Dolgov-Féodoroff dans les conditions marocaines.

RESUMEN

Las propiedades hídricas de los suelos marroquíes

I — Sobre la capacidad de retención de los suelos, en particular de los tirs

En el presente trabajo el autor examina los problemas provocados por la determinación de la capacidad de retención de los suelos marroquíes y en particular de los tirs. Los valores de la humedad equivalente difieren de los de la capacidad en el campo. En cambio, estos últimos están cercanos del limite de adhesividad. El autor piensa que sería interesante estudiar este último método así como el de DOLGOFF-FEODOROFF en las condiciones marroquíes.

SUMMARY

Moisture characteristics of the soils of Morocco

I — On the field capacity of soils and in particular of tirs

In the present note the problems connected with the determination of the field capacity of moroccan soils are reviewed, particularly in the case of tirs. The values for equivalent moisture differ from those for field capacity. On the other hand the latter are near to the limit of adhesivity. It is thought that it might be interesting to investigate this latter method, as well as that of DOLGOFF-FEORОROFF, in the conditions presented in Morocco.

BIBLIOGRAPHIE

1. BONNEAU, M. — 1951. Evaluation au laboratoire de la capacité au champ en fonction de la texture. — Bull. de l'As. fr. pour l'Et. du Sol, n° spécial (mars), pp. 16-26.

2. BRYSSINE, G. — 1936. Etude sur la capacité de rétention des sols pour l'eau. Essais préliminaire. — Manuscrit, 33 p. dact.

3. — 1966. Propriétés physiques des tirs du Gharb. — Cahier de la Rech. Agron., **20**, pp. 87-279.

4. BRYSSINE, I. — 1966. Etude sur la dynamique de la microflore de trois types de sols marocains. — Les Cahiers de la Recherche Agronomique, **23**, 189 p., Rabat.

5. DOLGOV, S.I. — 1948. Recherches sur les mouvements de l'eau du sol et son accessibilité aux plantes (en russe). — Ed. Acad. Sc., URSS, 206 p., Moscou.

6. FÉODOROFF, A. — 1952. Ressuyage du sol et capacité de rétention pour l'eau. — Ann. Agron., pp. 523-47, Paris 13.

7. FOX, W.E. — 1954. A study of bulk density and water in a swelling soil. — Soil Sc. Baltimore USA, Vol. 78 n° 4, pp. 307-316.

8. GRILLOT, G. & G. BRYSSINE — 1947. Contribution à l'étude de l'humidité des sols du Maroc. — C.R. des Travaux de la Conf. de Péd. Méd., Montpellier-Alger, pp. 420-433.

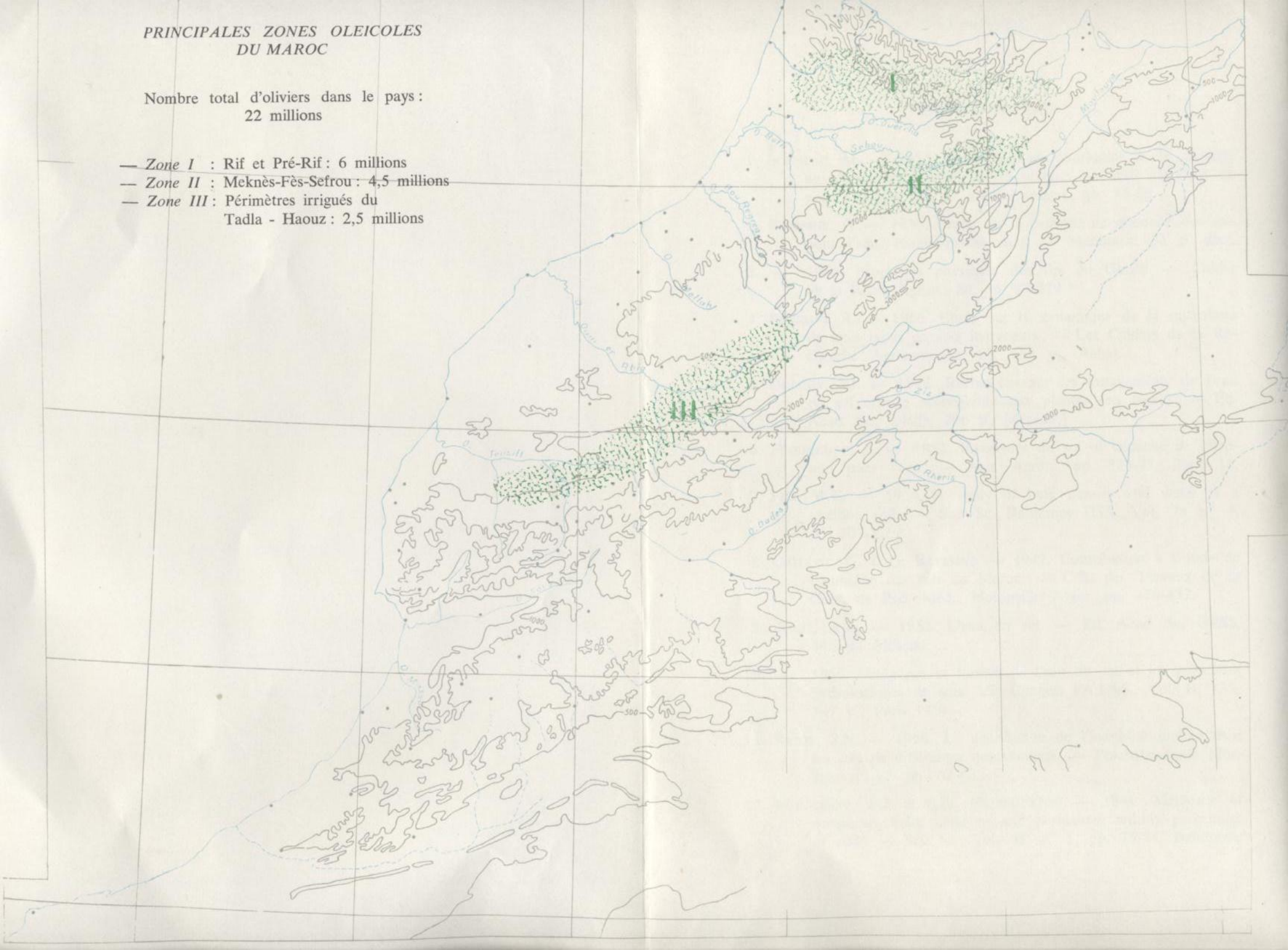
9. RODE, A.A. — 1952. L'eau du sol. — Ed. Acad. Sc. URSS, 445 p., Moscou.

10. — 1956. Catégories et formes de l'eau du sol et les propriétés hydrologiques de sols. VIe Congrès l'A.I.S.S., Vol. B, 135-147 p., Paris 1-20.

11. RYJOV, S.N. — 1960. La distribution de l'humidité mobile dans les sols de différentes constitutions. — Potchvovedenie Moscou, n° 11, pp. 62-80.

12. VEIHMEYER, F.J. & A.H. HENDRICKSON — 1949. Méthodes of measuring fields capacity and permanent wilting percentage of soils. — Soil Sc., Vol. 68, n° 1, pp. 75-94, Baltimore.

PRINCIPALES ZONES OLEICOLES DU MAROC

Nombre total d'oliviers dans le pays : 22 millions

— *Zone I* : Rif et Pré-Rif : 6 millions
— *Zone II* : Meknès-Fès-Sefrou : 4,5 millions
— *Zone III* : Périmètres irrigués du Tadla - Haouz : 2,5 millions