

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 80 (1982)

Heft: 8

Artikel: Utilisation des extracteurs à plaque poreuse pour déterminer les taux remarquables d'humidité

Autor: Jordan, J.-P. / Caloz, R. / Mermoud, A.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-231174>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Utilisation des extracteurs à plaque poreuse pour déterminer les taux remarquables d'humidité

J.-P. Jordan, R. Caloz, A. Mermoud*

L'utilisation des extracteurs à plaque poreuse pour établir la relation fonctionnelle entre la succion et la teneur en eau du sol et pour déterminer la valeur des taux remarquables de l'humidité du sol a connu une forte expansion ces dernières années. Cependant les résultats obtenus ne sont pas toujours satisfaisants, spécialement en ce qui concerne la mesure des taux remarquables. Un certain nombre de questions liées à la procédure d'essais n'ont toujours pas reçu de réponse; elles concernent notamment la valeur de la pression à appliquer, la taille et la structure des échantillons (remaniés ou non), la durée de mise sous pression, etc.

Le présent article relate les résultats d'essais systématiques effectués en vue d'apporter des éléments de réponse à ces questions. En outre il démontre que les concepts traditionnels de «capacité au champ» et de «point de flétrissement» sont de nature essentiellement dynamique et qu'ils sont très difficiles à appréhender de manière précise par des mesures de laboratoire.

Die Bestimmung der Zusammenhänge zwischen Saugkraft und Bodenwassergehalt sowie die Bestimmung der charakteristischen Werte des Bodenwassergehaltes mittels poröser Platten erfreute sich in den letzten Jahren vermehrter Beliebtheit. Die erhaltenen Resultate sind jedoch zum Teil noch unbefriedigend, speziell was die charakteristischen Werte des Bodenwassergehaltes betrifft. Eine Anzahl Fragen in bezug auf den Versuchshergang bleiben noch ungelöst; es sind dies insbesondere die Fragen des anzuwendenden Druckes, der Grösse sowie der Struktur der zu verwendenden Bodenproben (zerstörte oder nicht zerstörte Proben), der Dauer der Druckanwendung usw.

Die in diesem Artikel wiedergegebenen Resultate systematischer Versuche mögen einige Elemente zur Beantwortung der gestellten Fragen erbringen. Wir beweisen insbesondere, dass die traditionellen Konzepte von «Feldkapazität» und «Welkpunkt» ausgesprochen dynamischer Art sind und daher nur mit grossen Schwierigkeiten auf genaue Art und Weise mittels Labor-Messungen wiedergegeben werden können.

1. Rappel de quelques notions importantes

1.1 Courbe caractéristique d'humidité du sol

Cette courbe exprime la relation entre la succion et la teneur en eau du sol. Elle joue un rôle important pour l'étude des écoulements en milieu non saturé car elle exprime l'influence de la texture et de la structure du sol sur la rétention de l'eau du sol (Fig. 1).

En général elle est affectée par un phénomène d'hystérèse: elle diffère selon que le sol se trouve en période de dessèchement ou d'humidification (Fig. 2).

Dans l'étude qui suit nous étudierons uniquement des processus de dessèchement en commençant avec des échantillons préalablement saturés, puis en diminuant progressivement leur teneur en eau.

En général la courbe caractéristique se détermine en laboratoire au moyen de l'extracteur à plaques poreuses (cf. § 1.3).

* Ce texte est fondé sur un travail de diplôme réalisé à l'Institut de Génie rural EPFL par M. J.-P. Jordan.

1.2 Taux remarquables d'humidité

Ce sont des teneurs en eau caractéristiques du sol qui correspondent à des situations physiques assez floues, si bien qu'actuellement de nombreux physiciens du sol font preuve de scepticisme à leur égard. Néanmoins le concept de taux remarquables d'humidité

du sol est encore utilisé par la plupart des praticiens, si bien qu'il vaut la peine de chercher à mieux appréhender la façon de les mesurer. On distingue classiquement:

a) la *capacité au champ* (ou capacité de rétention) définie comme étant la quantité d'eau retenue par le sol après que toute l'eau de gravité ait été drainée. Cette définition suppose que le drainage gravitaire d'un sol préalable-

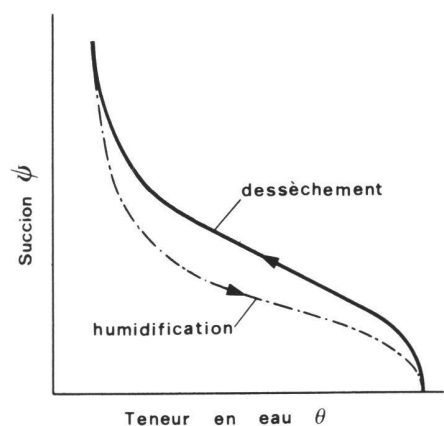


Fig. 2 Hystérèse de la relation $\Psi(\Theta)$

ment saturé cesse à un moment donné et qu'en l'absence de prélèvement d'eau par évaporation ou par les végétaux, l'humidité reste constante. La capacité au champ caractérise donc la teneur en eau résiduelle après drainage et la teneur en eau à ne pas dépasser lors d'une irrigation.

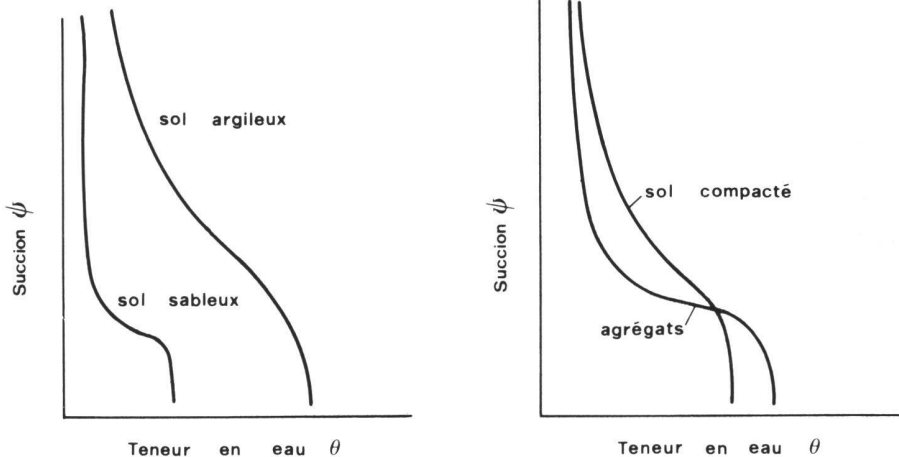


Fig. 1 Influence de la texture et de la structure sur les courbes caractéristiques d'humidité du sol

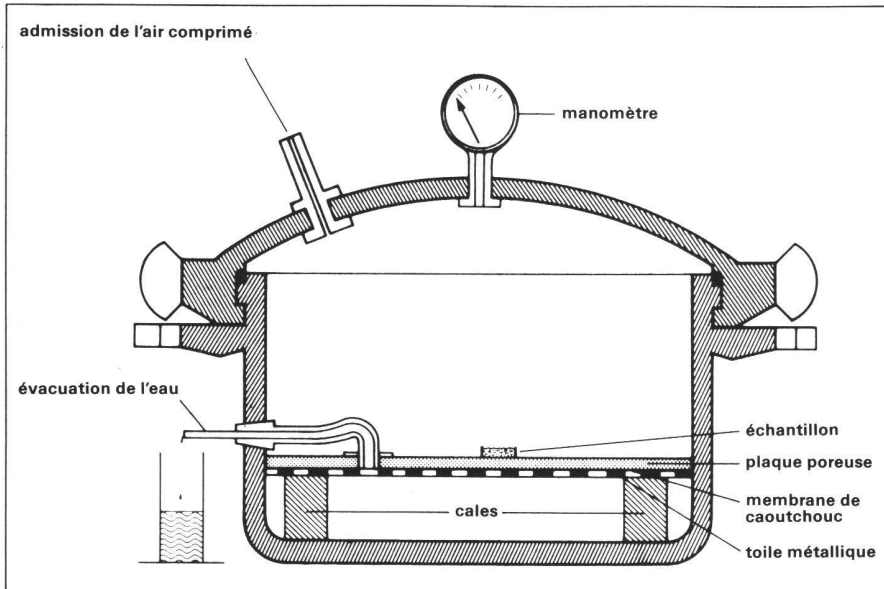


Fig. 3 Schéma d'un extracteur à plaque poreuse

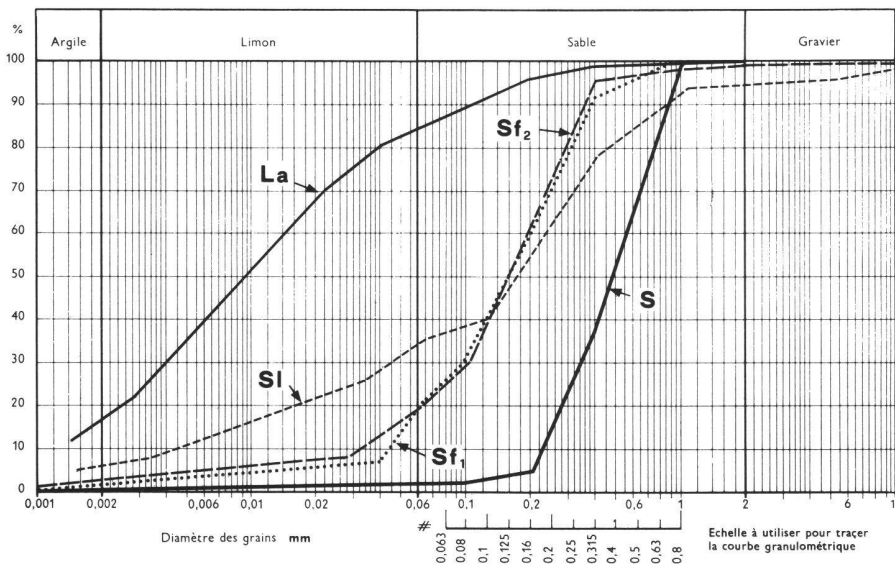


Fig. 4 Courbes granulométriques des sols utilisés

b) le point de flétrissement défini comme étant l'humidité du sol au moment où la force de succion des plantes égale la force de rétention capillaire de l'eau sur les particules solides.

1.3 Extracteur à plaque poreuse

L'appareil est constitué par une enceinte à l'intérieur de laquelle est créée une pression par injection d'air comprimé. L'échantillon de sol préalablement saturé est placé sur une plaque poreuse surmontant une membrane en caoutchouc reliée à l'extérieur par un dispositif d'évacuation d'eau. Dès que la pression dans l'appareil dépasse la pression atmosphérique, l'eau retenue par le sol est entraînée à travers les pores microscopiques de la plaque poreuse et s'écoule vers l'exté-

rieur. La plaque joue le rôle d'un filtre semi-perméable car le diamètre des pores est tel que, une fois remplis d'eau, ils sont imperméables à l'air. Pour une pression donnée l'écoulement se poursuit jusqu'à l'obtention d'un équilibre entre la pression dans l'appareil et les forces de succion du sol (Fig. 3).

La plaque poreuse constitue la partie la plus délicate du système car elle doit concilier deux exigences: être imperméable à l'air et permettre à l'eau de s'écouler. Chaque type de plaque est caractérisé par une pression maximum au delà de laquelle l'air passe à travers: la pression d'entrée d'air.

2. Matériaux utilisés

Cinq types de sol ont été testés:

- un sable pratiquement pur: S
- deux sables fins avec limon: Sf₁ et Sf₂
- un sable limoneux: SI
- un limon avec argile: La

Les courbes granulométriques de ces sols sont données à la fig. 4. On observe que Sf₁ et Sf₂ présentent une granulométrie très similaire. La teneur en matières organiques est négligeable.

Les essais concernaient soit des échantillons de sol remaniés placés dans des anneaux en matière synthétique de 1 cm de haut et de 5 cm de diamètre, soit des échantillons non remaniés prélevés dans des cylindres en métal de 100 cm³. Entre le sol et la plaque poreuse était disposé un papier filtre pour assurer un bon contact hydraulique. Au préalable le sol était amené à saturation par immersion prolongée dans de l'eau.

3. Analyse des résultats expérimentaux

3.1 Homogénéité des résultats

L'étude de la dispersion des résultats se base sur les résultats obtenus sur trois échantillons de chaque sol à la même pression de 0,33 atm. Les résultats figurent dans le tableau 1.

Le tableau 1 démontre clairement que la dispersion reste limitée puisque l'erreur relative maximale sur la valeur moyenne est de l'ordre de 4%.

3.2 Durée de mise sous pression

L'interruption de l'écoulement indique que l'équilibre entre la pression dans la marmite et les forces de succion est atteint. Cependant la fin de l'écoulement n'est pas facile à déceler car les quantités d'eau s'échappant en fines gouttelettes sont très faibles à l'approche de l'équilibre. Les essais de durée de mise sous pression répon-daient à un double objectif:

No Echantillon	Humidité pondérale (g/g)			
	S	Sf ₁	SI	La
1	.033	.044	.204	.517
2	.030	.045	.195	.535
3	.030	.046	.195	.495

Tableau 1 Valeurs de l'humidité obtenue par application d'une pression de 0,33 atm

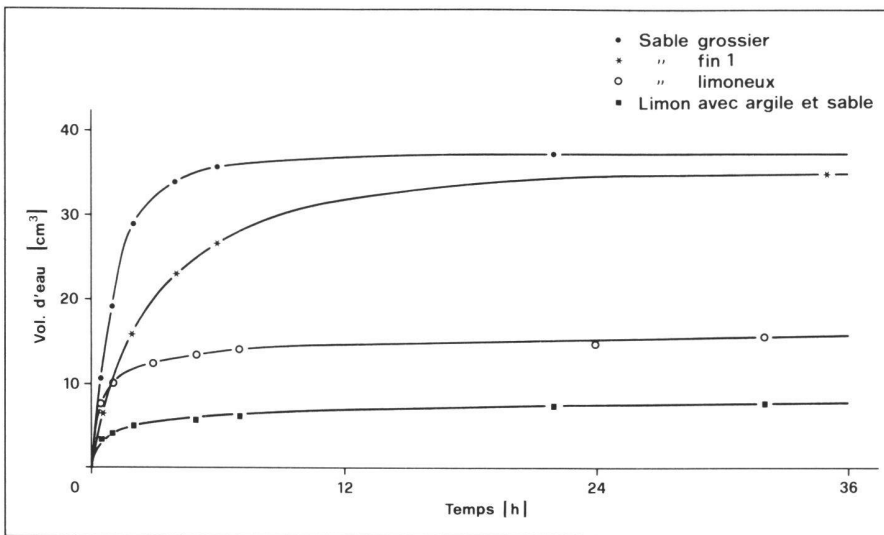


Fig. 5 Variations temporelles des volumes d'eau écoulés

- déterminer après combien de temps l'expérience peut être interrompue
- estimer l'erreur commise si l'on retire l'échantillon avant la fin de l'écoulement.

Les essais furent conduits avec des échantillons non remaniés soumis à une pression de 0,33 atm. L'eau évacuée était récupérée dans un récipient fermé et pesé régulièrement.

La figure 5 présente l'évolution temporelle des volumes d'eau écoulés pour les différents échantillons et la figure 6 le pourcentage d'eau écoulé par rapport au volume total récolté à l'équilibre.

L'examen de ces courbes révèle que:

- le volume d'eau expulsé varie en rapport inverse avec la finesse du matériel
- à l'exception du sable fin, plus du 50% de l'écoulement total se produit dans la première demi-heure. Le sable fin par contre cède son eau très progressivement
- l'équilibre est atteint après 12 h pour le sable, 24 h pour le sable limoneux, 36 h pour le sable fin et le limon avec argile.

D'autres essais ont été tentés avec des pressions supérieures à 0,33 atm. On constate que la durée de l'écoulement croît avec l'augmentation de pression; dans tous les cas cependant, l'écoulement cesse pratiquement après 48 h. D'une façon générale on conseillera donc une mise sous pression de 48 h quels que soient la pression ou le type de sol considérés.

3.3 Influence de la structure des échantillons

L'influence de la structure a été déterminée en soumettant à des pressions variables un certain nombre d'échantillons remaniés et non remaniés, puis en comparant les résultats.

Il apparaît que l'effet de la structure varie selon l'intensité de la pression appliquée:

- aux faibles pressions (0-100 cbars) la structure joue un rôle appréciable
- aux pressions moyennes (0,1-3 bars) les valeurs obtenues sur échantillons remaniés ou non remaniés sont très similaires. On peut en déduire que dans ce cas la structure agit faiblement sur la rétention de l'eau par le sol
- aux fortes pressions (>3 bars) les valeurs obtenues avec des échantillons remaniés sont cohérentes et les ordres de grandeurs correspondent aux valeurs habituelles. Avec les échantillons non remaniés par contre les résultats sont peu crédibles. L'écoulement cesse bien avant que l'état d'équilibre ne soit atteint. Ces anomalies peuvent résulter d'un mauvais contact entre le sol et la plaque poreuse. Aux fortes pressions la baisse d'humidité se traduit par des phénomènes de retrait dans l'échantillon. Le sol adhère aux parois du

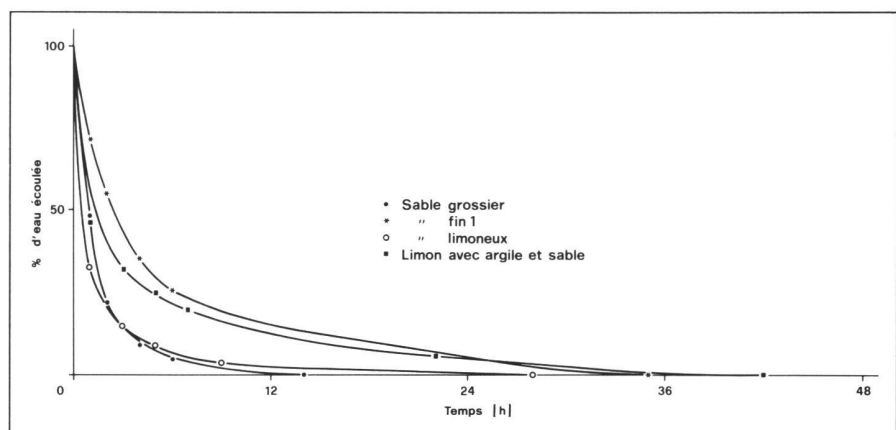


Fig. 6 Variations temporelles du pourcentage d'eau écoulé par rapport au volume total récolté à l'équilibre

cylindre d'acier ce qui laisse pénétrer l'air à la base de l'échantillon et crée ainsi une discontinuité hydraulique entre le sol et la plaque poreuse. Avec les petits anneaux synthétiques les effets de paroi sont très réduits et l'échantillon est plaqué par la pression sur la plaque poreuse.

Il ressort de ces essais que le type d'échantillon à utiliser dépend du but visé par la mesure. Pour les faibles pressions on donnera la préférence aux échantillons non perturbés. Pour les pressions élevées on utilisera des échantillons remaniés.

3.4 Détermination des courbes caractéristiques

L'extracteur à plaque poreuse permet de tracer la courbe caractéristique d'humidité d'un sol. A cet effet, on applique à l'échantillon des pressions croissantes et on mesure à chaque palier de pression l'humidité à l'équilibre.

Une question se pose: faut-il resaturer l'échantillon après chaque palier de pression ou poursuivre l'expérience sans autre? Les essais démontrent que le choix de l'une ou l'autre de ces procédures influence les résultats d'une manière significative, spécialement en ce qui concerne les sols à texture fine. On observe systématiquement une humidité trop élevée avec les échantillons resaturés.

La figure 7 présente les courbes caractéristiques d'humidité relatives aux différents sols testés. Remarquons qu'en ordonnée est reportée non pas la valeur de la pression appliquée, mais le pF qui correspond au logarithme décimal de la pression.

On constate que dans l'ensemble la forme théorique des courbes est respectée. L'influence de la nature du sol apparaît nettement pour une succion donnée; plus la teneur en éléments fins est forte, plus le taux d'humidité est élevé.

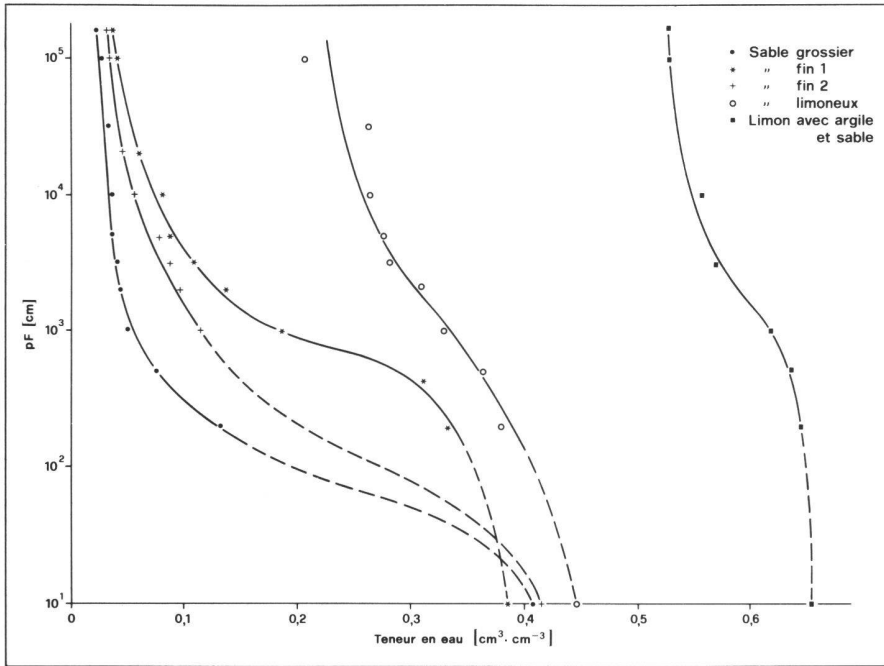


Fig. 7 Courbes caractéristiques pour les différents sols

La figure 7 révèle que les courbes caractéristiques relatives aux deux sables fins (Sf_1 et Sf_2) diffèrent alors même que ces sols présentent des granulométries quasiment identiques. Ce phénomène doit sans doute être imputé aux différences de structure attestées par la figure 8 qui présente les courbes de distribution des pores, compris entre 0,012 et 100 microns, des deux sols établies au porosimètre à intrusion de mercure.

4. Procédure conseillée

Au vu de ce qui précède on peut conseiller la procédure suivante d'utilisation des extracteurs à plaque poreuse:

- Préparation des échantillons remaniés, placés dans des anneaux de 5 cm de diamètre environ et d'une hauteur de 2 cm. Pour les suctions inférieures à 0,1 bar, la structure influençant la rétention, on préférera des échantillons non remaniés; les essais avec ces échantillons pourront se faire jusqu'à 3 bars.
- Saturation des échantillons sur la plaque poreuse. La durée de saturation variera suivant la texture entre 24 et 48 heures. Les plaques utilisées ultérieurement pour les pressions plus élevées feront également l'objet d'une saturation préalable.
- Durée de mise sous pression de 48 heures.

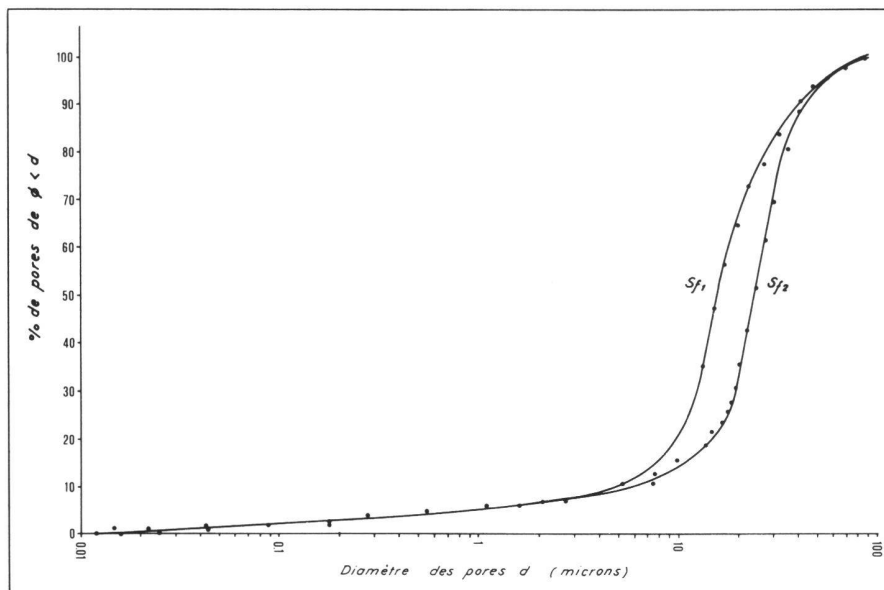


Fig. 8 Courbe de distribution des diamètres des pores

- Ne pas resaturer les échantillons à chaque palier de pression, mais les plonger dans l'eau quelques minutes pour recréer le contact hydraulique entre l'échantillon et la plaque en céramique.
- Boucher l'orifice d'évacuation de l'eau lors du retrait de pression pour éviter des reflux vers la plaque poreuse. Périodiquement il est indispensable de vérifier la pression d'entrée d'air des plaques poreuses et l'hermétisme de l'extracteur. On peut s'assurer du bon déroulement de l'essai en joignant aux autres échantillons un prélèvement d'un sol type dont la courbe caractéristique d'humidité a été déterminée précisément.

5. Détermination des taux remarquables

Le recours aux extracteurs à plaque poreuse pour déterminer les taux remarquables d'humidité est devenu courant. L'usage de ces appareils suppose que l'on connaisse la pression à appliquer pour aboutir au taux remarquable cherché. S'il est admis que 16 atm fournissent une valeur réaliste du point de flétrissement, l'unanimité est loin de se faire en ce qui concerne la capacité au champ, même si la tendance générale se porte vers une pression de 0,33 atm.

Précisons que la notion même de taux remarquable d'humidité est considérée actuellement avec scepticisme par de nombreux physiciens du sol. En particulier, il apparaît que la capacité au champ n'est pas une propriété physique caractéristique d'un milieu donné. Le drainage de l'eau gravitaire d'un sol préalablement saturé ne cesse pas à un moment précis - qui correspondrait à l'instant où la capacité au champ est atteinte - mais il se poursuit pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines. En réalité la capacité au champ est liée au régime de redistribution de l'eau du sol qui est un concept de nature essentiellement dynamique influencé par les propriétés conductrices du sol et les gradients de charge hydraulique. Elle dépend notamment:

- de la proximité d'une nappe phréatique qui contribue à accroître la valeur de la capacité au champ
- de la teneur en eau du sol avant l'infiltration; plus le profil initial est humide, plus les gradients de succion sont faibles et plus le régime de ressuyage est lent. Dans ces conditions, la seule façon d'appréhender précisément les mécanismes effectifs de ressuyage d'un sol consiste à suivre sur le terrain les variations d'humidité et de succion de l'eau.

Cela étant, il faut pourtant considérer que, même si elle est difficile à appréhender, la notion de capacité au champ

demeure un outil privilégié pour les praticiens qui l'utilisent couramment pour le dimensionnement des ouvrages de génie rural. Le procédé le plus simple de détermination demeure l'extracteur à plaque poreuse qui fournit des valeurs présentant surtout un intérêt comparatif. Il nous paraît important de conserver aux mesures ce caractère comparatif et donc de faire appel, pour les essais courants, à une pression de 0,33 atm.

En ce qui concerne les mesures plus fines et la recherche de valeurs plus exactes de la capacité au champ, nous avons tenté de déterminer les pressions à appliquer en recherchant sur les courbes caractéristiques d'humidité les pressions correspondant aux valeurs de la capacité au champ obtenues par le recouplement de deux sources:

- l'humidité des échantillons lors du prélèvement, quelques jours après d'abondantes précipitations
- des essais de laboratoire qui consistent à reproduire le ressuyage gravitaire sur des colonnes de sol.

Les résultats sont consignés dans le tableau 2.

Sols	Cap. au champ (cm ³ · cm ⁻³)	Pression (atm)
S	0,05	0,1–0,2
Sf ₁ et Sf ₂	0,12	0,33
SI	0,28	0,33–0,5
La	0,44	0,5–1,0

Tableau 2

Le tableau 2 montre que la pression à exercer augmente avec la finesse de la texture. Elle oscille entre 0,1 et 1 atmosphère.

6. Conclusions

Les notions classiques de taux remarquables d'humidité, considérées en tant que propriétés physiques caractéristiques d'un sol, sont remises en question par de nombreux chercheurs. C'est particulièrement le cas de la capacité au champ. Les moyens de prospection modernes démontrent en effet que le ressuyage gravitaire est influencé non seulement par la texture et les propriétés hydrodynamiques du sol, mais

également par les conditions ambiantes. Seules les mesures de terrain sont susceptibles de fournir des résultats précis.

Les méthodes de laboratoire, en particulier le recours à l'extracteur à plaque poreuse, fournissent des résultats présentant essentiellement un intérêt comparatif. A cet égard il paraît souhaitable de s'en tenir à une procédure standard et d'appliquer des pressions constantes (0,33 atm pour la capacité au champ et 16 atm pour le point de flétrissement).

Des résultats plus réalistes peuvent être obtenus si l'on ajuste les pressions en fonction de la texture du sol. La granulométrie n'est cependant pas le seul facteur qui influence le ressuyage; aussi est-il indispensable pour obtenir des valeurs précises, d'établir dans chaque cas des corrélations avec des mesures de terrain.

Adresse des auteurs:
Institut de Génie rural EPFL
En Bassenges
CH-1024 Ecublens

Landschaftsverträglichkeit und Meliorationen

W. A. Schmid

Ausgehend von der Tatsache, dass Meliorationen, insbesondere Güterzusammenlegungen, heute mitten im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie stehen, wird der Frage nachgegangen, wie lassen sich die ökologischen Leistungen des Raumes im Rahmen von Meliorationsverfahren sichern, ohne vor allem den ökonomischen Nutzen der Meliorationen (Güterzusammenlegungen) in Frage zu stellen. Der Artikel soll aufzeigen, dass dabei Normen, Reglemente und Vorschriften zumindest allein kaum zielführend sein können, sondern dass dazu vielmehr ein systematisiertes methodisches Vorgehen zu entwickeln ist. Ein solches methodisches Instrumentarium stellt die Landschaftsverträglichkeitsprüfung, die in ihren Grundzügen hier erläutert wird, dar.

Partant du fait que les améliorations foncières et en particulier les remaniements parcellaires se trouvent dans le cadre des conflits entre l'économie et l'écologie, on se pose la question de savoir dans quelle mesure les potentialités écologiques de l'espace peuvent être assurées sans mettre en question avant tout l'utilité économique des améliorations (remaniements parcellaires). L'article doit montrer que les normes, règlements et prescriptions ne peuvent seuls qu'avec peine conduire au but, qu'il y a plutôt lieu de développer une démarche méthodologique systématique. L'examen de la compatibilité du paysage (Landschaftsverträglichkeitsprüfung), que représente un tel instrument méthodologique, est expliqué ici dans ses principes.

Das Thema Landschaftsverträglichkeit und Meliorationen steht mitten im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie (1). In bezug auf die Strukturverbesserungsmassnahmen, insbesondere die Güterzusammenlegung, be-

deutet dies, dass die beiden Ziele der Güterzusammenlegung, die ökonomische Komponente: die Verbesserung der Produktionsbedingungen in der Landwirtschaft und die ökologische Komponente: die Erhaltung und Gestal-

tung der Kulturlandschaft, sich konkurrieren (2). Die Zielformulierung «Erhaltung und Gestaltung der Kulturlandschaft» ist dabei gleichbedeutend mit der eher ökologischen Formulierung «der Sicherung der ökologischen Leistung des Naturraumes» (3).

Langfristig gesehen kann aber der Zielkonflikt zwischen Ökologie und Ökonomie kein absoluter, sondern muss ein struktureller Konflikt sein; sind doch die ökologischen Leistungen unseres Lebensraumes zugleich auch die Voraussetzung für unsere Wirtschaft. Die Ökonomen versuchen diesen strukturellen Konflikt über die Ansätze der Umweltökonomie anzugehen, während die Ökologen eher von der Belastbarkeit von Ökosystemen ausgehen.

Die Erkenntnis, dass letztlich der ökologisch-ökonomische Zielkonflikt einen strukturellen Konflikt darstellt, ist der tiefere Grund dafür, dass es durchaus möglich sein muss, mittels des Einsatzes des Instruments der Güterzusammenlegung einerseits die ökonomischen Interessen der Landwirtschaft zu wahren und zugleich die ökologischen Leistungen des Raumes zu sichern.