



HAL
open science

Données actuelles sur les propriétés physiques du sol

Gwendal Monnier

► **To cite this version:**

Gwendal Monnier. Données actuelles sur les propriétés physiques du sol. Séminaire, May 1977, Paris, France. hal-02784030

HAL Id: hal-02784030

<https://hal.inrae.fr/hal-02784030v1>

Submitted on 4 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DONNÉES ACTUELLES SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL

G. MONNIER

Directeur de la Station de Science du Sol
INRA - MONTFAVET (Vaucluse)

Présentation sommaire du département de Science du sol de l'INRA

Créé en 1974 en regroupant une partie des chercheurs de l'ancien département d'agronomie de l'INRA, le département de science du sol s'est donné comme objet d'étude : « le sol considéré comme un support et un milieu siège de phénomènes de transfert, d'échanges et de transformations ».

Les objectifs principaux peuvent être regroupés en trois grands chapitres :

- amélioration de la maîtrise de la production agricole en élaborant des modèles variés d'utilisation technique du sol.
- économie et gestion des ressources en eau ;
- gestion des ressources en sol.

Les moyens dont dispose ce département sont répartis entre les implantations énumérées ci-après et assorties de leurs thèmes scientifiques et de leurs objectifs appliqués les plus caractéristiques :

Arras	Laboratoire Central d'Analyse du Sol.
Antibes	Th. : physicochimie du sol ; hydrodynamique. Appl. : sols de serre et substrats, pesticides et sols.
Avignon	Th. : physique et mécanique du sol ; hydrodynamique. Appl. : irrigation, travail du sol, substrats.
Dijon 1	Th. : microbiologie du sol. Appl. : sols système épurateur ; évolution des pesticides.
Dijon 2	Th. : hydrodynamique ; cartographie. Appl. : technologie du drainage.
Châlons	Th. : pédologie. Appl. : sols calcaires.
Montpellier	Th. : pédologie ; cartographie. Appl. : cartes thématiques ; aménagement de l'espace rural.
Versailles	Pédologie expérimentale et de terrain hydrodynamique ; physicochimie. Appl. : cartographie thématique ; pesticides et sols système épurateur.

La distribution géographique de ces implantations et leur spécialisation laissent apparemment à découvert de nombreux problèmes concrets régionaux.

Les palliatifs à cette situation - imposée par la limitation de moyens et un souci d'efficacité imposant leur regroupement - reposent sur le rôle important et coordinateur accordé à la cartographie et sur les relations du département avec d'autres stations et les organismes les plus solides de recherche technique et de développement.

Dans cet ensemble la station d'Avignon concentre ses efforts sur le déterminisme de l'état physique, son évolution sous l'influence de facteurs physiques (l'eau et ses variations de teneur notamment) et mécaniques. Parallèlement, nous étudions les relations entre l'état physique (constitution et organisation) et le fonctionnement hydrique. Il s'agit là d'un ensemble de thèmes qui n'ont pas seulement une portée régionale. Aussi sommes-nous amenés à baser nos recherches (en particulier celles qui sont liées au travail du sol) sur des observations d'analyses de dispositifs expérimentaux répartis sur tout le territoire. Ce qui ne signifie pas, bien sûr, que nous en assurions une couverture exhaustive, mais du moins que tel est notre objectif général.

propriétés et fonctionnement physiques des sols

L'organigramme ci-contre présente les relations - qui constituent autant de voies ou de programmes de recherches - existant entre des caractéristiques intrinsèques des sols et le niveau des facteurs externes qui leur sont appliqués et les bases d'actions techniques plus ou moins globales énumérées en-dessous de la ligne en traits interrompus.

Nous nous attacherons ici principalement à l'explicitation des liaisons figurées dans la partie supérieure de l'organigramme en nous bornant à une série d'observations sur les exigences propres aux systèmes de la partie inférieure.

1. OBJECTIFS : CONTRÔLE DES FONCTIONS PHYSIQUES DU SOL

Nous les examinerons en premier lieu car ils déterminent l'orientation des recherches plus analytiques et permettent d'en contrôler l'efficacité.

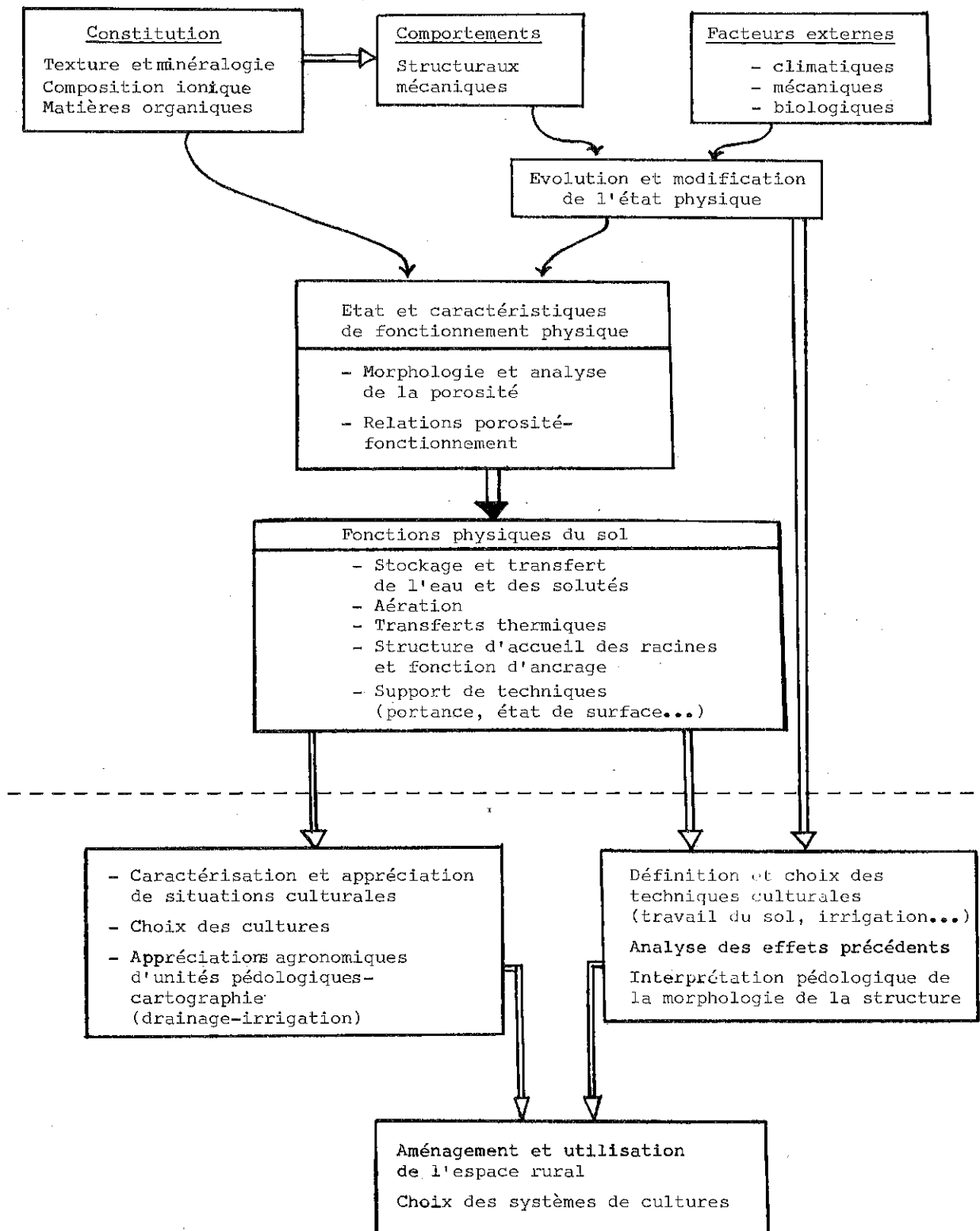
1.1 Stockage et transfert de l'eau

La fonction de stockage est liée à la présence dans les sols d'une porosité suffisamment fine pour conserver l'eau qu'elle contient en dépit des forces gravitaires et de la succion des couches sous-jacentes. Cette partie de la porosité correspond au concept opérationnel de «capacité du champ»; son importance dépend de la teneur en éléments fins (limons et surtout argile) et plus accessoirement du taux de matières organiques.

Si la capacité de rétention définit le niveau supérieur du réservoir utile, le point de fléchissement permanent en fixe le fond. La notion **synthétique** de réserve facilement utilisable (RFU) vise à définir **pour un sol**, une culture et des **conditions climatiques** déterminés, le seuil au-dessous duquel l'eau bien qu'utilisable pour les plantes n'est plus que trop imparfaitement disponible pour assurer une alimentation optimale **des cultures**

La fonction de transfert est double :

- En milieu saturé, elle est régie par la loi de Darcy qui exprime la proportionnalité entre débit d'une part, charge hydrostatique et conductivité constante d'autre part. Cette fonction essentielle dans la maîtrise du drainage, du lessivage des sols, etc... est essentiellement dépendante de la présence de pores d'une dimension suffisante et d'une tortuosité faible.
- En milieu non saturé (pénétration des fronts d'infiltration, dessiccation par évaporation ou prélèvement racinaire) les transferts sont régis par la loi de Darcy généralisée où les gradients de potentiels jouent le rôle assuré en milieu saturé par les gradients de charge hydrostatique. Ils sont principalement dépendant de la distribution dimensionnelle de la partie la plus fine de la porosité et de la teneur en eau. Leur prévision et leur maîtrise sont beaucoup plus complexes et font depuis peu l'objet de nombreux travaux rendus possible par les performances actuelles des moyens de calculs.
- Dans le sol, saturé ou non, les écoulements concernent des solutions et non de l'eau. Les phénomènes de diffusion moléculaire d'absorption réversible de certains ions, de dispersion hydro-dynamique doivent être maîtrisés si l'on veut optimiser l'utilisation des fertilisants minéraux (limitation des pertes d'N - NO₃, irrigation fertilisante). Les caractéristiques quantitatives (taux, dimensions) et qualitatives de la porosité (morphologie de l'espace poral) ainsi que la vitesse des écoulements déterminent l'ampleur et la nature des décalages entre les transferts de l'eau d'une part, des corps dissous de l'autre.



1.2 Aération

Elle ne peut être définie que par rapport aux exigences physiologiques des plantes, notamment des organes souterrains (base de tiges, racines). Caractérisée en un point par la teneur volumique en gaz et la composition de ces derniers, elle dépend de trois groupes de facteurs :

- la teneur en eau (voir ci-dessus);
- les échanges avec l'atmosphère, eux-mêmes très dépendants de la teneur en eau : les coefficients de diffusion des gaz sont de plusieurs ordres de grandeur plus faibles en milieu liquides qu'en milieu gazeux;

- les réactions biochimiques dans le sol (respiration racinaire et surtout transformation des matières organiques présentes ou incorporées) qui consomment de l'oxygène et produisent de l'anhydride carbonique ou des gaz réducteurs.

La maîtrise de l'aération commande de façon déterminante la dynamique biochimique des éléments fertilisants (azote notamment, et le fonctionnement (absorption d'eau et de sels, métabolisme des réserves) du système racinaire. Elle est assurée par le drainage et le travail du sol qui modifient la morphologie de l'espace poral et l'écoulement de l'eau « en excès ».

1.3 Transferts thermiques

Leur bilan, à l'interface sol - atmosphère détermine la température du sol.

Ce bilan est affecté par les conditions atmosphériques mais aussi par les caractéristiques de diffusivité thermique du sol (rapport conductivité/capacité calorifique) elles-mêmes très dépendantes de la teneur en eau, (voir alors plus haut).

1.4 Le sol comme structure d'accueil des racines

La croissance des racines peut se réaliser dans deux conditions non exclusives :

- 1 - présence de pores d'une dimension suffisante pour être pénétrés sans déformation ;
- 2 - milieu déformable en raison d'une combinaison satisfaisante de trois paramètres : pression exercée par les racines × humidité × constitution physique.

En sol sec, la condition ① est indispensable. Elle est rarement remplie de façon satisfaisante. L'enracinement dépend alors de la condition ② (voir propriétés mécaniques).

1.5 Le sol comme support de technique

Un terrain cultivé doit être non seulement en état ou bon support pour la plante, mais aussi pour les machines de culture, d'où l'importance, accrue avec la multiplication des interventions mécanisées, de l'amélioration de la portance (cf propriétés mécaniques) et de la prise en compte de cet objectif dans les techniques de drainage et de travail du sol.

2. ANALYSE ET DÉTERMINATION DE LA POROSITÉ

Rappel : la porosité totale est la fraction d'un volume de sol en place qui n'est pas occupée par la phase solide.

Elle est calculée à l'aide de la mesure du poids volumique sec γ_d de l'échantillon par la relation :

$$n_t \% = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} \right) \times 100$$

dans laquelle γ_s est le poids volumique de la phase solide.

La connaissance de la porosité totale d'un sol en place, si elle est indispensable, est insuffisante à la caractériser de façon efficace du point de vue physique.

On doit l'analyser et alors deux voies complémentaires peuvent être suivies :

a) on peut d'abord distinguer une microporosité (expression volumique de la capacité de rétention) et une macroporosité (ou porosité minimum pour l'air) complément de la précédente à la porosité totale. Cette analyse, apparemment très opérationnelle est toutefois le résultat d'une constatation non expliquée : elle permet de décrire de façon efficace mais n'autorise directement ni prévision ni surtout technique de modification ;

b) on peut aussi distinguer dans la porosité deux systèmes poraux en fonction de leur déterminisme principal :

- la porosité texturale liée principalement à la constitution du matériau ;
- la porosité structurale liée surtout à l'histoire (hydrrique, mécanique...) de ce matériau.

Le premier système de pores, texturaux, correspond aux vides existant inéluctablement dans un assemblage de particules constitutives de sol (sables, limons, argiles, composés organiques). La porosité texturale est ainsi liée à la constitution du matériau, c'est-à-dire à la taille et à la forme des particules élémentaires, à leur nature minéralogique, à leurs caractéristiques physicochimiques.

Cependant, la porosité texturale varie également en fonction des contraintes auxquelles est soumis le matériau. Celles-ci permettent un arrangement plus ou moins serré des particules. Citons notamment les contraintes engendrées par les variations de teneur en eau pour les sols contenant une phase argileuse. La porosité texturale tend à diminuer quand le niveau des contraintes augmente.

En l'absence d'interventions humaines, culturelles notamment, on peut admettre que la porosité texturale est en équilibre avec l'ensemble des contraintes mises en place par les facteurs naturels qui, pour un milieu donné, sont statistiquement stables. Pour une teneur en eau déterminée, cette porosité ne dépend plus que de la constitution du matériau.

Le système de porosité structurale correspond aux fissures qui délimitent des mottes, agrégats de «terre-fine», éléments structuraux. Il comprend également les galeries, cavernes,... d'origine biologique.

Cette porosité structurale résulte de l'action des facteurs externes sur le sol : le climat (alternances de gel et de dégel, d'humectation et de dessiccation), l'activité biologique et structurante de certains systèmes racinaires, le travail du sol dans les couches de surface.

Cependant certains mécanismes de structuration des sols dépendent à la fois de ces facteurs naturels et du comportement des minéraux face à leur action. En particulier la fissuration par humectation et dessiccation dépend des propriétés de gonflement et de retrait d'origine texturale (voir plus loin).

En règle générale une augmentation de l'humidité entraîne une diminution de porosité structurale et un accroissement de porosité texturale ; c'est l'inverse qui se produit au cours d'un processus de dessiccation.

Par ailleurs, un compactage mécanique (roulage d'engin par exemple) entraîne plus facilement un tassement structural qu'un tassement textural. Lorsque ce dernier intervient, il est beaucoup plus grave parce que moins rapidement et aisément réversible.

Vis-à-vis du fonctionnement du sol, la porosité texturale joue un rôle essentiel dans les transferts d'eau en milieu non saturé, dans la capacité de stockage de l'eau et de sa mise à disposition de racines.

La porosité structurale détermine plutôt, **lorsqu'elle se maintient à l'état humide**, les transferts d'eau en milieu saturé (infiltration et drainage rapide).

En conclusion on est peu maître de la porosité texturale, caractéristique intrinsèque d'un sol que l'on doit surtout s'attacher à prévoir.

Par contre le travail du sol, l'action des cultures et de divers agents biologiques (vers de terre) permettent de modifier la porosité structurale.

3. LES COMPORTEMENTS STRUCTURAUX ET MÉCANIQUES

3.1 La stabilité structurale

Elle traduit l'aptitude des assemblages terreux à résister à la **désagrégation** sous l'influence de l'eau. Celle-ci intervient d'une façon **active** en comprimant l'atmosphère interne du sol au cours de l'humectation et d'une façon **passive** en diminuant la cohésion des ciments assurant les assemblages.

Les facteurs qui commandent la **cohésion de terre humide** (facteur passif de stabilité) sont essentiellement :

- la texture et, notamment, la teneur en argile ;
- la garniture ionique des argiles. L'ion Na^+ diminue cette cohésion tandis que les ions Ca^{++} et H^+ l'augmentent.

La pression interne liée à la pénétration de l'eau dépend de la **mouillabilité** des parois des pores.

Les matières organiques - et principalement les substances transitoires à vie courte qui se forment au cours de la décomposition dans le sol des restitutions ou amendements organiques - diminuent fortement cette mouillabilité et sont donc un facteur déterminant de stabilité.

Il existe des tests éprouvés d'appréciation de la stabilité structurale, mis en œuvre dans les laboratoires de grande séries et assorties de normes d'interprétation en terme de réserve de battance, de prise en masse à l'humectation, d'érosion hydrique, etc...

3.2 L'activité structurale

Il s'agit ici de l'aptitude d'un matériau terreux à la fissuration sous l'influence d'alternances d'humectation et de dessiccation. L'amplitude des cycles de gonflement et de retrait dépend largement de la teneur en argile et de sa nature. Elle est limitée par la présence de matières organiques.

En conditions moyennes (sol calcique, argile moyenne à 50 - 60 meq/100 g), l'activité structurale n'est suffisante, pour pallier par exemple l'accroissement de compacité en non travail du sol, qu'au delà de 20 % d'argile. A partir de ce seuil, le niveau de porosité fissurale est sensiblement une fonction linéaire du taux d'argile. Le coefficient de proportionnalité dépend des autres constituants et bien entendu du climat qui ne doit être ni longuement sec ni toujours humide.

3.3 Les comportements mécaniques

Ils traduisent l'aptitude d'un matériau à se déformer ou à se rompre sous l'influence de contraintes mécaniques.

Deux types de comportements très importants en agriculture commencent à être suffisamment connus.

- La portance : elle dépend de la constitution du sol et de son humidité. Les matériaux peu argileux : sables, sables limoneux, limons sableux, sont « portants » à toutes humidités inférieures ou égales à la capacité de rétention.

Les sols plus argileux « portants » à l'état sec perdent cette qualité lorsqu'ils sont humides.

Une des motivations essentielles du drainage est d'accroître la portance des terrains agricoles.

- La résistance à la pénétration des racines varie en première approximation en raison inverse de la portance.
- La sensibilité au tassement : très faible aux faibles humidités, elle croît fortement à partir d'une teneur en eau proportionnelle à la teneur en argile du matériau.

L'accroissement de compacité constaté alors dépend de l'énergie appliquée mais aussi de la constitution du sol. Il est maximum entre 10 et 20 % d'argile.

Les terres argileuses se déforment sans se tasser à proprement parler lorsqu'elles sont humides. Les sols légers, sauf lorsqu'ils s'agit de sables purs, sont très sensibles au tassement.

A travers ces comportements mécaniques et structuraux, l'état physique du sol évolue spontanément sous l'influence des facteurs climatiques et (ou) biologiques, ou est susceptible d'être modifié par la mise en œuvre de techniques, travail du sol notamment.

Le problème essentiel consiste à regrouper des comportements de sols différents susceptibles d'apparaître comme autant de cas particuliers. Le rôle des cartes pédologiques et de leurs applications thématiques devient ici déterminant.

C'est à travers elles qu'il est possible de généraliser des résultats ponctuels. Par ailleurs, une unité de sol représente non pas un système homogène mais le plus souvent un ensemble de situations appartenant à une même population statistiquement « normale » à l'intérieur desquelles il est possible de dégager des relations efficaces entre des paramètres d'accès facile (texture par exemple) et des comportements complexes.

L'étape cartographique devrait donc précéder puis suivre l'étape des recherches plus approfondies concernant les mécanismes du fonctionnement physique des sols.

MISE en EVIDENCE du SEUIL de SENSIBILITE
au COMPACTAGE

