



**HAL**  
open science

# Méthodes de caractérisation de l'état physique du sol in situ adaptées à la mise en évidence et à la description des processus de dégradation physique des sols

Gwendal Monnier

► **To cite this version:**

Gwendal Monnier. Méthodes de caractérisation de l'état physique du sol in situ adaptées à la mise en évidence et à la description des processus de dégradation physique des sols. Rapport du groupe de travail Structure du sol, CEE, 1982. hal-02858322

**HAL Id: hal-02858322**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02858322>**

Submitted on 8 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.

# MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DE L'ÉTAT PHYSIQUE DU SOL "IN SITU" ADAPTÉES À LA MISE EN ÉVIDENCE ET À LA DESCRIPTION DES PROCESSUS DE DÉGRADATION PHYSIQUE DES SOLS.

Les observations, commentaires et propositions qui suivent, ont pour objet :

- de faire une présentation synthétique critique des différentes méthodes utilisables pour caractériser, à un moment donné, l'état physique d'un sol "in situ".
- d'examiner les bases sur lesquelles des progrès vers une standardisation pourraient être réalisés et les moyens d'établir des comparaisons entre les résultats auxquels les différentes méthodes utilisées conduisent.

Les méthodes de détermination des paramètres du fonctionnement hydrique sont rapportées par ailleurs ; nous nous limiterons donc ici aux moyens de comparer des états et, singulièrement, des états rencontrés au cours d'un processus éventuel de dégradation.

## EVALUATION QUALITATIVE DE L'ÉTAT STRUCTURAL

Remarque préliminaire : Dans la plupart des méthodes proposées, les observations et caractérisation concernant l'état structural sont placées dans le cadre d'une description générale du site : situation topographique, place du sol dans la classification pédologique en vigueur dans le pays considéré et, parfois, qualité générale du drainage, signes de phénomènes d'érosion, etc... Il n'est toutefois, généralement, pas explicité dans quelle mesure ce cadre général est utilisé pour l'interprétation des données morphologiques concernant la structure. (De LEENHEER et VAN RUYMBEKE, HENIN et al, Soil Survey in the United Kingdom ...).

Les méthodes les plus couramment proposées comportent généralement trois types de critères :

- Morphologie et, éventuellement, taille des éléments structuraux.
- Degré de développement de la structure.
- Caractères de consistance des éléments structuraux.

#### 1. CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE.

Malgré une certaine diversité des termes employés, les classifications proposées ont des traits importants communs, (De LEEHNEER, HENIN et al, Koepf, Soil Survey in the United Kingdom, Tinsley) :

- Distinction de trois grands types d'organisations (mono-particulaires, continues ou cohérentes, fragmentaires ou agrégées).
- Principaux types de morphologie : aplatie, anguleuse (prismatique, polyédrique.....), arrondie (en grumeaux ou granulaires).
- Un petit nombre de catégories (environ une dizaine), permettant une utilisation réaliste de la classification.

On note toutefois, quelques différences, suivant que l'on prend en compte ou non, la forme, l'orientation et l'origine (fissures, galerie de la faune du sol), des pores structuraux et, suivant que les auteurs privilégient l'approche pédologique (JONGERIUS), ou agronomique (De LEEHNEER, PEERLKAMP, HENIN).

#### 2. DEGRE DE DEVELOPPEMENT DE LA STRUCTURE.

Ce critère n'apparaît, à une exception près (United Kingdom Soil Survey), que comme un qualificatif du premier critère morphologique. Ceci dit, le schéma général de classement est analogue dans tous les cas.

#### 3. CONSISTANCE DES ELEMENTS STRUCTURAUX.

Evidemment très lié à l'humidité au moment de l'observation, ce critère, dont les modalités de détermination sont difficiles à expliciter, apparaît très dépendant de l'observateur. Il semble plus important à De LEEHNEER, PEERLKAMP par exemple, qu'à JONGERIUS ou HENIN.

#### 4. TAILLE DES ELEMENTS STRUCTURAUX.

Elle est considérée comme un qualificatif supplémentaire aux classes morphologiques. Les méthodes d'évaluation sont très peu explicitées.

L'INTERPRETATION de ces observations concernant la structure - est peu précisée dans les descriptions de méthode. Elle semble toutefois très diverse.

Peut-être, ce fait tient-il à ce que, si l'ensemble des Chercheurs admettent l'importance de cet ensemble de critères morphologiques et comportementaux, les connaissances manquent pour relier un état structural à un processus d'évolution physique et mécanique. La structure n'apparaît que comme un signe.

Aussi, certains portent-ils des jugements de valeur qui apparaissent un peu "a priori", par exemple : une structure arrondie est meilleure qu'une structure angulaire. D'autres l'appuient sur les corrélations état structural - enracinement. D'autres enfin, tel PEERLKAMP, construisent un indice global chiffré de structure in situ (forme, taille, consistance) qu'ils ont pu corrélérer avec des mesures de laboratoire.

#### CONCLUSIONS :

S'il apparaît facile de standardiser les classes de morphologie et de taille des éléments structuraux, le problème apparaît beaucoup plus difficile pour les critères de développement de la structure et, surtout, de propriétés mécaniques des éléments structuraux qui dépendent l'un et l'autre, fortement, de l'histoire hydrique récente (et pas seulement de la teneur en eau au moment de l'observation) et de l'effet personnel de l'observateur.

Toutefois, le problème de la standardisation n'est pas le plus important. Si l'on peut admettre que la différenciation morphologique peut servir à établir le plan d'échantillonnage pour des mesures physiques, il reste que l'interprétation directe de ces observations reste subordonnée à une meilleure connaissance des processus de structuration et des facteurs qui les commandent.

### CARACTÉRISATION PAR DES MESURES DE L'ÉTAT PHYSIQUE IN SITU

Contrairement aux méthodes qualitatives d'évaluation de l'état structural, les méthodes de mesure ont considérablement évolué depuis la présentation de 1967.

Par ailleurs, une meilleure connaissance des composantes de l'état physique, conduit au fait que la caractérisation de l'état in situ, repose désormais le plus souvent sur un ensemble de mesures dont les unes sont directement

pratiquées sur le terrain, alors que les autres interviennent au laboratoire sur des échantillons plus ou moins remaniés. Nous envisagerons ici tous ces différents types de mesures.

Enfin, une meilleure prise en compte des phénomènes de retrait-gonflement conduit à rendre nécessaire une mesure de l'humidité lors de chaque caractérisation de l'état physique. Ceci implique non seulement des méthodes de mesure de la teneur en eau in situ (méthodes pondérales, humidimétrie neutronique, méthodes capacitives, thermistance) et de potentiel (tensiomètre et psychromètre), méthodes qui sont rapportées par ailleurs (cf. rapport Dr. BOUMA), mais aussi des moyens de fixation de la géométrie d'échantillons à différents états d'humidité que nous envisagerons brièvement.

## I - MESURES DE DENSITE SECHE "IN SITU".

La grandeur mesurée (densité sèche ou densité apparente ou "bulk density"), est le rapport du poids sec au volume à l'humidité de la mesure.

Les différentes méthodes décrites en 1967 reposaient toutes sur la méthode des anneaux.

On peut envisager aujourd'hui trois principaux types de méthodes conduisant à l'évaluation de la porosité totale.

### 1. Technique des anneaux.

Le volume est préfixé (forme et valeur). Les limites de cette technique sont liées :

- au risque de tassement ou au contraire de foisonnement, lors de l'enfoncement de l'anneau. On peut s'efforcer de le réduire sans l'éliminer, en augmentant le diamètre par rapport à la hauteur - ce qui a de plus l'avantage d'adapter le volume de mesure aux forts gradients de densité dans les couches de surface des sols cultivés.

- à l'impossibilité d'opérer lorsque le sol n'est pas suffisamment cohérent (sol fraîchement travaillé ou très fissuré), ou lorsqu'il l'est trop (sol compact et sec.

- au nombre élevé de répétitions nécessaires, en raison de la faible représentativité du volume limité de mesures (généralement compris entre 100 et 400 cm<sup>3</sup>).

## 2. Densitométrie à membrane.

Le volume, plus important, (500 à 1.000 cm<sup>3</sup>), est ici déterminé "a posteriori". Mieux adaptée aux terres moyennement caillouteuses, cette technique connaît toutefois de sérieuses limitations :

- Elle n'est pas praticable dans les sols facilement déformables (fraîchement travaillés ou très humides), la pression exercée par la membrane risquant alors de conduire à une sous estimation de la densité.

- La membrane peut s'insinuer dans des pores grossiers (larges fissures) qui ne faisaient pas partie du volume de terre enlevé : mêmes conséquences que ci-dessus.

Rapprochons enfin de cette technique, la méthode au sable qui, bien que peu commode, permet d'opérer sur des volumes de plusieurs décimètres cubes, et est adaptée aux sols très riches en cailloux de grande taille.

## 3. Technique radiométrique.

Elle est basée sur la mesure de l'atténuation d'un rayonnement  $\gamma$  (le plus souvent <sup>137</sup>Cs), soit par diffusion (sonde de profondeur), soit par transmission (sonde de surface). La différence porte essentiellement sur la géométrie de mesure.

Les méthodes par transmission sont très adaptées aux mesures sur les 40 premiers centimètres (couches travaillées et proche sous-sols) et, en raison de leur bonne résolution en épaisseur, très adaptées à la mesure dans des sols à forts gradients et à discontinuité de densité. Elles sont peu perturbatrices, commodes, rapides et permettent de réaliser un grand nombre de mesures et de prendre en compte la variabilité aléatoire ou systématique du terrain.

Ces méthodes radiométriques donnent des résultats aisément comparables d'un laboratoire à un autre, en raison de la facilité de confrontation des courbes d'étalonnage :  $\gamma_w = f \left( \frac{I}{I_0} \right)$ . Enfin, dès lors qu'on dispose de capteurs d'humidité à géométrie de mesures comparables, ces méthodes sont très adaptées au suivi semi-continu de l'évolution de l'état physique.

## II - MESURES DE DENSITE AU LABORATOIRE SUR ELEMENTS STRUCTURAUX NON REMANIES. (Mottes, agrégats).

Ces mesures sont pratiquées aux fins d'analyse de la porosité totale des sols et de ses variations. Elles permettent en effet, assez aisément, par confrontation avec les mesures de densité globale in situ (cf. I ci-dessus), d'évaluer séparément les pores intra-éléments structuraux (principalement liés à



l'organisation texturale, à l'humidité de la mesure), et les pores intra-éléments structuraux (fissures notamment). La mesure directe de ces derniers est en effet beaucoup plus délicate.

Les techniques pratiquées dépendent de la dimension des volumes de mesure qui varient de quelques mm<sup>3</sup> (agrégats) à plusieurs dizaines de cm<sup>3</sup>, voire davantage, mottes et éléments structuraux. Elles dépendent ainsi de l'humidité de mesure par rapport à la limite de retrait des éléments structuraux et de la présence éventuelle des pores de grande dimension (souvent d'origine biologique).

1. Les techniques de volumétrie à mercure, ne sont adaptées qu'aux petites mottes de quelques centimètres cubes, sèches et ne comportant que des pores très fins (risques d'intrusion gravimétrique du mercure à l'intérieur de la motte).

2. Les techniques par enrobage, permettent de travailler sur des mottes de dimensions supérieures à quelques centimètres cubes dans une large gamme d'humidité.

3. Enfin, les méthodes de mesure de volume, par poussée d'Archimède, après saturation de la porosité accessible en air par du pétrole sont adaptées aux mesures de densité sur des agrégats à toutes humidités inférieures à la limite de liquidité, sous réserve que la texture soit suffisamment fine.

### III - MESURES DE DENSITE DE SOLIDE. (particle density).

Indispensable pour l'expression des mesures concernant l'état physique en terme de porosité ou d'indice des vides, ces mesures sont réalisées par pycnométrie à l'eau ou à l'air.

La pycnométrie à eau, pratiquée sur de petits échantillons, est assez délicate. Toutefois, elle ne semble poser de problèmes réels que dans le cas de terre très difficile à dégazer sous l'eau (matériaux très humifères et certaines tourbes par exemple). On substitue parfois, alors, le pétrole à l'eau.

La pycnométrie à air, (type pycnomètre différentiel "Beckmann"), pratiquée sur des volumes plus importants d'échantillons, est peu adaptée aux matériaux très hygroscopiques, terres argileuses ou argiles minéralogiques, en raison des perturbations entraînées par la baisse de pression partielle de vapeur d'eau à leur contact, qui conduit à une surestimation parfois importante de la densité de solide en pareil cas et sauf à travailler en atmosphère très sèche.

#### IV - METHODES D'ANALYSE DIMENSIONNELLE ET MORPHOLOGIQUE DE L'ESPACE PORAL.

Nous laisserons de côté ici, l'établissement (et l'analyse) des fonctions potentiel-teneur en eau qui sont traitées par ailleurs (cf. rapport du Dr. BOUMA) et qui sont davantage destinées à fournir un opérateur dans les modèles de transfert d'eau qu'à caractériser, sauf dans le cas des sols non gonflants, un état physique puisque la distribution dimensionnelle des pores que l'on peut en tirer n'est pas rapportée à un seul et constant volume.

Nous traiterons ici :

1. Pour mémoire, l'analyse sommaire de la porosité, basée sur la confrontation de la porosité totale mesurée au champ sur volumes importants (§ I ci-dessus) et de la porosité mesurée sur agrégats pris à la même humidité, considérée comme une évaluation de la porosité d'origine texturale. En s'exprimant en grandeurs additives, on peut alors écrire :

Indice des vides structural (fissures, galeries) = indice des vides total - indice des vides textural.

Une telle analyse, pratiquée dans plusieurs Laboratoires de Physique et Mécanique du Sol Français, permet des comparaisons beaucoup plus pertinentes que celles que l'on peut tirer de la seule porosité totale, entre sols de constitutions différentes, ou entre différents états hydriques du même sol. Elle permet également une meilleure analyse de l'action des contraintes mécaniques (travail du sol et tassement notamment).

#### 2. Les méthodes de mesure de la distribution dimensionnelle des pores.

Rappelons les raisons pour lesquelles nous n'envisageons pas ici l'analyse, en terme de distribution dimensionnelle des pores, des fonctions expérimentales potentiel - teneur en eau.

Nous nous limiterons à une technique mettant en oeuvre un liquide d'intrusion n'entraînant pas de phénomènes de gonflement.

La porosimétrie à intrusion de mercure est le plus souvent pratiquée sur des échantillons séchés à l'air, c'est-à-dire à une géométrie correspondant au seul ensemble d'états situés en deçà de la limite de retrait.

Deux principaux groupes de problèmes se posent désormais concernant la mise en oeuvre et l'exploitation des résultats fournis par cette méthode.



- La mise au point de méthodes de fixation de la géométrie de l'espace poral. Plusieurs techniques (échanges eau-acétone ; lyophilisation ...) sont étudiées. Aucune n'apparaît actuellement la mieux adaptée à tous les cas de figure. Il apparaît souhaitable qu'un effort communautaire d'échange d'information et de synthèse soit entrepris sur ce préalable.

- L'expression des données expérimentales : volume de mercure intrudé fonction de la pression en terme de distribution dimensionnelle des pores. L'application pure et simple de la loi de Jurin implique l'assimilation du milieu poreux étudié à un faisceau de capillaires de diamètre équivalent constant non interconnectés.

Il serait là encore souhaitable que des modèles d'interprétation plus réalistes soient mis au point, notamment par l'utilisation de l'observation et du traitement statistique d'images de l'espace poral réel.

### 3. Les méthodes d'analyse morphométrique de l'espace poral.

Elles sont basées sur l'analyse à l'aide d'algorithme, de géométrie statistique, d'images, convenablement "seuillées" de l'espace poral.

Si elles permettent des mesures directes de nombre, de surface, ou de volume des pores, leur principal intérêt est d'autoriser l'évaluation de caractéristiques proprement morphologiques telles que degré d'anisotropie ou d'interconnexion, classement morphologique des pores, etc...

Elles sont théoriquement applicables à des images d'origine très diverse et à des grossissements très variés (photographies, lames minces ou polies....).

Les problèmes qui restent à résoudre sont nombreux et difficiles :

- Le problème de la représentativité des images et, notamment, celle de plans bidimensionnels par rapport à un espace poral tridimensionnel fréquemment anisotrope.

- Le problème technique de l'obtention d'images "seuillables".

- Les problèmes fondamentaux posés par la formalisation de modèles descriptifs adaptés à telle ou telle utilisation de l'information : étude des mécanismes de mise en place de l'espace poral et de son évolution sous l'influence de contraintes hydriques ou mécaniques ; relation entre les caractéristiques morphologiques et les paramètres de transfert d'eau (coefficient de forme ou conductivité), ou de soluté (coefficient de dispersion apparent).

## C O N C L U S I O N S

Si nous revenons aux objectifs fixés en introduction, considérés dans le contexte des méthodes adaptées à l'étude de la dégradation physique des sols, nous pouvons tirer de la présentation qui précède les principaux enseignements suivants.

- Dans la mesure où la plupart des déterminations considérées ici portent sur des grandeurs physiques, dont sa signification universelle est sans ambiguïté, les problèmes posés par la standardisation des mesures proprement dites sont, si nécessaire, aisément solubles. En fait, on peut même dire que ce ne sont pas les vrais problèmes. Ceux-ci portent plutôt sur :

◦ L'analyse systématique de la variabilité des résultats en fonction de la dimension des volumes de mesure - et donc de la maille des différents niveaux d'organisation des sols.

◦ Une meilleure connaissance de la structure des erreurs expérimentales, correspondant aux différents types de mesure.

◦ L'expression des résultats : nous pouvons proposer à ce sujet que, dans l'optique de la dégradation des sols, soient privilégiés les paramètres à propriétés additives, tels que l'indice des vides  $\left\{ \frac{\text{Volume des vides}}{\text{Volume des solides}} \right\}$  au détriment des expressions de référence variable telle que la porosité.

- Il apparaît primordial de paramétrer les éléments de caractérisation de l'état physique par l'humidité réelle à laquelle ils ont été obtenus. Dans le même ordre d'idée, un effort de collaboration pourrait être entrepris sur les techniques de fixation de la géométrie des éléments de volume à différents états de gonflement.

- Il apparaît également que les aspects aisément quantifiables de l'état physique, s'ils sont nécessaires, sont encore très insuffisants, si l'on veut apprécier avec précision et efficacité la dégradation des sols et, surtout, ses conséquences sur leur fonctionnement, hydrique notamment.

Les classifications basées sur l'évaluation qualitative de la morphologie des éléments structuraux peuvent et, à notre avis, devraient être standardisées sur la base d'une grille commune simple, utilisable de façon générale et en limitant les ambiguïtés de classement.

Toutefois, ces classifications synthétiques souffrent du manque de connaissances qui permettraient de faire correspondre à chaque type morphologique, des éléments d'interprétation en terme de mise en place et de processus d'évolution intra ou interannuels.

Par ailleurs, les "signes" que de telles classifications fournissent restent imprécis en raison notamment, des incertitudes d'évaluation du "degré de développement de la structure", mais aussi des distributions dimensionnelles d'éléments structuraux.

- Cette situation implique que soient de plus en plus développées (on n'en n'est pas encore à la standardisation), les méthodes de géométrie statistique appliquées à l'analyse morphologique de l'espace poral des sols. Ce thème pourrait constituer une orientation de collaboration privilégiée.



En définitive, il apparaît que les progrès conceptuels et métrologiques réalisés depuis 1967 (date d'édition du recueil méthodologique Ouest Européen), rendent possible :

- Un certain effort de standardisation.
- La mise au point d'un ensemble cohérent minimum de déterminations et d'interprétations, permettant d'apprécier et de comparer les résultats de recherches des Laboratoires de la C.E.E. participant à la description de l'évolution de l'état physique des sols (dégradation éventuelle).
- La définition d'un certain nombre d'axes privilégiés de collaboration méthodologique Européenne en physique du sol.

Avignon, Juillet 1982

G. MONNIER