



**HAL**  
open science

## Une methode d'evaluation de la taille des elements structuraux du sol

Gwendal Monnier, - Bui Huu Tri

► **To cite this version:**

Gwendal Monnier, - Bui Huu Tri. Une methode d'evaluation de la taille des elements structuraux du sol. Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Sol, 1971, 2, pp.17-27. hal-02730336

**HAL Id: hal-02730336**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02730336>**

Submitted on 2 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.

# Une méthode d'évaluation de la taille des éléments structuraux du sol

par G. MONNIER et BUI HUU TRI  
Station Centrale d'Agronomie, C.N.R.A. — 78-Versailles  
avec la collaboration technique de Cl. CLOAREC

## I. — INTRODUCTION.

La description de la structure d'un sol ou d'un horizon est couramment exprimée par référence avec une classification des différentes formes que prennent les éléments structuraux perceptibles à l'observation d'un profil sur le terrain.

De nombreuses classifications de ce genre ont été proposées (NIKIFOROFF, 1941 ; BRYSSINE, 1964 ; KOEPF, 1961...) ; elles comportent un nombre de catégories variable en fonction de la précision recherchée et donc de l'échelle à laquelle on travaille. Malgré cette diversité, on distingue en général trois types principaux de structure caractérisés par le degré et l'extension de l'agrégation des constituants du sol (S. HENIN et al., 1969).

— Dans les structures **monoparticulaires** les constituants élémentaires sont seulement juxtaposés : c'est le cas de certains horizons très sableux.

— Dans les structures **continues** au contraire, les particules élémentaires du squelette limonosableux sont cimentées par les colloïdes minéraux et (ou) organiques en un ensemble cohérent ne présentant aucune surface de moindre résistance extériorisée sous forme de fissures ou de fentes de retrait.

— Les structures **fragmentaires** enfin, sont caractérisées par la présence d'éléments structuraux de forme, de taille et de compacité variables individualisés par un réseau de fissures plus ou moins développé. Les éléments structuraux principaux apparaissent parfois comme subdivisés en éléments de plus petites dimensions ; on parle alors de « sous-structure » : par exemple éléments prismatiques à sous-structure polyédrique. Ou bien les éléments principaux sont par place regroupés en éléments plus grands dits de la « sur-structure » : ainsi on peut noter des éléments polyédriques à sur-structure prismatique. Dans tous ces cas, la description comporte à la fois la mention de la forme caractéristique (prismes, polyèdres, cubes, etc...) des éléments visibles et une appréciation de leur taille.

Ce dernier point soulève des difficultés de deux ordres :

— Tout d'abord si une telle appréciation peut être envisagée lorsque le profil est suffisamment sec, elle devient très incertaine lorsque le sol est trop humide et que les fissures et fentes sont plus ou moins refermées.

— En second lieu, il arrive fréquemment que la taille des éléments présents dans un horizon ou une couche de sol donnée soit très variable. L'observation visuelle est alors impuissante à donner une idée de la distribution dimensionnelle réelle et « a fortiori »

d'une éventuelle taille moyenne — surtout dans le cas des structures fines — ou de certaines « sous-structures ».

L'objet du travail présenté ici a été de rechercher une méthode permettant une évaluation quantitative de la distribution par taille des éléments structuraux présents dans le sol à un moment donné.

Nous examinerons d'abord comment le choix d'une méthode met en cause la notion même d'élément structural et nous proposerons une définition générale pour ce dernier. Ensuite, après avoir présenté une méthode d'évaluation et les modalités de sa mise en œuvre, nous confronterons les résultats qu'elle permet d'obtenir à des évaluations tirées de l'observation directe sur le terrain dans le cas des structures granulaires développées sous graminées qui se prêtent particulièrement bien à ce genre de comparaison.

## II. — CRITIQUE DE LA NOTION D' « ELEMENT STRUCTURAL ».

La structure d'un sol peut d'abord être envisagée en fonction de l'échelle à laquelle on s'intéresse à l'arrangement des particules élémentaires ou complexes. C'est ainsi que partant des constituants granulométriques, on peut envisager successivement l'assemblage élémentaire qui correspond à une sorte de maille de base de l'architecture interne du sol, puis des regroupements de tailles croissantes, agrégats, mottes ou éléments structuraux, enfin couches de sols morphologiquement différenciées.

Mais on peut aussi juger les assemblages ou regroupements observés à différentes échelles en fonction de leur cohérence propre, c'est-à-dire en comparant les liaisons entre les particules qui les constituent aux liaisons qui associent deux ou plusieurs regroupements contigus (TRI, 1969).

Dans le but de faire en quelque sorte la synthèse de ce double point de vue, on a longtemps admis l'existence d'agglomérats de taille et de résistance privilégiée dénommés « agrégats » dont on s'efforçait de faire l'analyse en soumettant le matériau structuré à l'action de l'eau et en recueillant par tamisage à l'issue de ce traitement les particules complexes ayant conservé une taille minima considérée comme caractéristique. Cette attitude conduisait en fait à admettre que la stabilité à l'eau était le critère déterminant d'existence de particules complexes. En d'autres termes, le choix d'un traitement unique (l'action directe de l'eau) pour la préparation à une telle analyse interdisait d'évaluer la distribution dimensionnelle de regroupements ou éléments structuraux caractérisés par des niveaux variables de cohésion à l'état sec ou humide. On aboutissait bien ainsi à une confusion totale entre la notion d'état structural à un moment donné et la notion de stabilité structurale schématisée par la résistance appréciée dans des conditions standard à un type bien déterminé d'action de l'eau.

Il apparaît donc clairement que cette notion d'élément structural que l'on peut qualifier de **qualitative** (TRI, 1969) conduit à des méthodes fondamentalement inadaptées au travail que nous poursuivons ici et qui, rappelons-le, vise à suppléer l'insuffisance de l'observation directe sur le terrain lorsqu'on cherche à évaluer de façon suffisamment précise la distribution par taille d'éléments structuraux indépendamment de leur résistance à l'action de l'eau puisque nous les considérons à un moment bien déterminé.

D'autre part, il est évident et aisément vérifiable que la taille des particules recueillies à l'issue d'un traitement dépend essentiellement de l'agressivité de ce dernier. On peut donc envisager de soumettre un échantillon de terre à toute une série de traitements, du plus agressif représenté par la préparation à l'analyse granulométrique au plus ménagé pouvant être, par exemple, un tamisage à sec effectué avec beaucoup de précaution de façon à éviter toute usure au cours de l'opération. Le tableau 1 donne un exemple de cette influence du traitement sur le résultat du tamisage. On est ainsi conduit à une notion **quantitative** des éléments structuraux que nous considérons comme des agglomérats formés à un moment donné, séparables les uns des autres par les faces de moindre résistance et qui ne peuvent être définis que par rapport au traitement qui permet de les obtenir. Le choix de la méthode dépendra alors du but précisément poursuivi : si l'on cherche à évaluer une stabilité structurale on choisira un ou plusieurs traitements dans lesquels l'eau intervient de façon plus ou moins nuancée (HENIN et MONNIER, 1956) ; si au contraire on se propose une appréciation quantitative de la taille des éléments existant à un moment donné dans le sol, on recherchera un traitement excluant l'action directe ou indirecte de l'eau. Dans la gamme des possibilités restantes

on choisira un traitement dont l'action soit suffisamment connue pour servir de référence aux éléments structuraux qu'elle permet d'obtenir, ceux-ci devant de plus correspondre à la description issue de l'observation en place.

TABLEAU 1. — *Effet de divers traitements sur la distribution dimensionnelle des éléments structuraux d'un sol (Horizon B de Versailles) en jachère*

: Taille des : : éléments : : structuraux : : (mm) :	: Traitements et % d'éléments structuraux obtenus :					
	: A :	: B :	: C :	: D :	: E :	: F :
: > 5 :	: - :	: - :	: - :	: - :	: 55,2 :	: - :
: > 2 :	: 1,0 :	: 10,3 :	: 20,2 :	: 43,8 :	: - :	: 65,5 :
: 2 - 0,2 :	: 15,6 :	: 53,0 :	: 48,7 :	: 31,5 :	: - :	: 26,4 :
: < 0,2 :	: 83,3 :	: 36,6 :	: 31,0 :	: 24,6 :	: - :	: 8,0 :

A. — Humectation et tamisage dans l'eau.

B. — Humectation sous vide et tamisage dans l'eau.

C. — Humectation dans 60 % alcool éthylique et tamisage dans l'eau.

D. — Humectation dans 95 % alcool éthylique et tamisage dans l'eau.

E. — Tamisage à sec.

F. — Humectation et tamisage dans 95 % alcool éthylique.

### III. — CHOIX DE LA METHODE.

De ce qui précède, il ressort que la méthode retenue doit satisfaire aux trois exigences suivantes. En premier lieu, elle doit fournir des résultats concordants avec les faits observés et qui soient suffisamment reproductibles. Ensuite, elle doit éviter toute interaction accidentelle ou systématique avec la stabilité structurale. Enfin, elle doit permettre de préciser la nature des éléments structuraux qu'elle conduit à mettre en évidence.

A partir de ces prémisses et comme nous ne disposons pas au départ de données d'observations précises et nombreuses pouvant servir de référence pour les résultats obtenus par les méthodes essayées, notre choix a été essentiellement orienté par des considérations qualitatives. Comme la structure granulaire telle qu'elle se développe fréquemment dans la couche superficielle des sols sous graminées fourragères est caractérisée par des éléments structuraux appartenant à une gamme de taille assez étroite et perceptibles à l'œil nu, nous avons testé différentes méthodes possibles par leur aptitude à distinguer cet état structural de celui d'un témoin non granulaire constitué par le même matériau.

#### a) CARACTERE DISCRIMINANT DE LA METHODE.

Compte tenu des travaux déjà réalisés dans ce domaine (MANGELSDORFF, 1929, et VOLKOV, 1933, cités par RUSSELL, 1938 ; KOEPF, 1961), nous avons choisi de comparer le tamisage à sec, le tamisage dans l'alcool éthylique à 95 % et le tamisage dans l'eau pris comme exemple d'une méthode faisant intervenir la stabilité. Pour une même terre, un limon argileux tiré de l'horizon B textural d'un sol de Versailles qui, mis en culture, présente sous prairie une structure nettement plus granulaire que le témoin, on voit sur le tableau 2 que ni le tamisage à sec ni celui dans l'eau ne rendent compte de cette différence, alors qu'elle est nettement mise en évidence par le tamisage dans l'alcool.

Il apparaît en outre que cette différence est manifeste lorsqu'on considère les taux d'éléments structuraux issus du test supérieurs à 5 mm dans un cas et supérieurs à 3 mm dans un autre. Le caractère non discriminant du tamisage à sec est vraisemblablement lié au fait que les éléments granulaires du matériau sous prairie se sont, malgré les précautions prises, plus ou moins resoudés entre eux au cours des manipulations lors de prélèvement de l'échantillon et de sa préparation. Quant au tamisage sous l'eau, il

apparaît qu'appliqué à un matériau peu ou pas stabilisé, il a conduit à des taux d'éléments d'une taille > 3 mm insignifiants et cela dans les deux cas (témoin et prairie).

En définitive, seul le traitement consistant en un tamisage dans l'alcool éthylique à 95° s'est avéré discriminant pour les deux couples témoins — prairie étudiés.

TABLEAU 2. — Comparaison de diverses méthodes de tamisage concernant leur efficacité dans la mise en évidence des états structuraux provenant d'un sol (Horizon B de Versailles) en jachère ou sous prairies

Taille des éléments structuraux (mm)	Traitements et % d'éléments structuraux obtenus							
	Tamisage à sec		1°alcool éthylique 95°		Tamisage dans l'eau		1°alcool éthylique 95°	
	Témoin	prairie	Témoin	prairie	Témoin	prairie	Témoin	prairie
> 5	55,2	56,2	17,5	41,0				
> 3					0,7	2,0	60,5	94,5
Note	Echantillons prélevés à partir des pots restant 7 mois en jachère ou sous ray grass d'Italie				Echantillons provenant des cases lysimétriques restant 4 ans en jachère ou sous fétuque élevée			

b) REPRODUCTIBILITE DES RESULTATS.

Le tableau 3 fournit à titre d'exemple le résultat de deux tamisages effectués à partir d'un même prélèvement représentant la couche superficielle d'un sol à structure granulaire sous prairie.

TABLEAU 3. — Reproductibilité des résultats du traitement à l'alcool

Taille des éléments structuraux (mm)	Echantillons provenant de l'Horizon B de Versailles (0-5 cm) sous Ray Grass d'Italie et % d'éléments structuraux obtenus		Ecart relatif entre deux mesures (%)
> 3	53,2	54,0	1,5
3 - 2	2,9	2,8	3,4
2 - 0,5	11,6	12,1	4,3
0,5 - 0,2	13,0	12,7	2,3
< 0,2	19,3	18,4	4,6

c) SIGNIFICATION DU TRAITEMENT A L'ALCOOL ETHYLIQUE.

De nombreux travaux, entre autres ceux de HENIN (1938) et de CONCARET (1965) permettent de proposer un mécanisme pour l'action de l'alcool éthylique sur une terre. Comparée à l'action de l'eau, on constate deux différences essentielles : une diminution de la pression interne de l'agglomérat au cours de l'humectation en raison d'un meilleur dégazage et un gonflement beaucoup plus limité des colloïdes argileux ayant pour conséquence le maintien de la cohésion des assemblages à un niveau plus élevé. Il s'ensuit que le résultat d'un tamisage dans l'alcool doit être relativement indépendant de la stabilité structurale du matériau puisque les deux phénomènes qui sont à l'origine de la désagrégation (augmentation de la pression interne et diminution de la cohésion) ne se manifestent que d'une façon très atténuée. Cette conclusion est confirmée si l'on compare le résultat d'un tamisage sous alcool à un traitement conçu précisément pour limiter l'influence des deux phénomènes en cause (TRI, 1968) : le matériau est d'abord traité avec du chlorure de cétyle pyridinium (100 mmole/100 g d'argile) de façon à interdire l'hydratation de l'argile et donc la diminution de cohésion qui en découlerait.

Il est ensuite humecté par de l'eau sous vide pour supprimer la compression de l'atmosphère interne puis tamisé sous l'eau. Le tableau 4 montre que la distribution des éléments obtenus à l'issue de ce traitement est, aux écarts de reproductibilité près, la même que celle qui est issue d'un tamisage direct dans l'alcool éthylique à 95°.

TABLEAU 4. — *Similitude des résultats du traitement à l'alcool et de ceux d'un test dans lequel les phénomènes de compression et de gonflement au sein du matériau (Horizon B de Versailles) ont été fortement réduits*

Taille des éléments structuraux (mm)	Traitements et % d'éléments structuraux obtenus	
	Cétyl pyridinium	Tamisage dans l'alcool 95°
> 2	62,8	65,5
2 - 0,2	26,4	26,4
< 0,2	9,0	8,0

Les éléments recueillis à l'issue du test à l'alcool le sont donc indépendamment de leur stabilité vis-à-vis de l'action de l'eau. Leur distribution dimensionnelle semble plutôt devoir être mise en relation avec l'existence d'un réseau de surface de moindre résistance correspondant à un niveau de **cohésion maxima entre agrégats** bien déterminé, puisque le même résultat peut être obtenu à partir de deux traitements formellement très différents, mais représentant deux modalités d'une même action.

Le caractère relativement bien défini des éléments structuraux ainsi mis en évidence est confirmé par les résultats présentés dans le tableau 5. On constate en effet que les éléments d'une classe de taille déterminée recueillis à l'issue d'un tamisage sous alcool ne sont pas sensiblement modifiés par l'application d'un deuxième traitement identique.

TABLEAU 5

	Horizon B en jachère		Horizon B sous prairie	
	% de la prise initiale et indice relatif des éléments > 3 mm obtenus			
1er tamisage	60,5 %	100	94,5 %	100
2ème tamisage	55,2 %	91,3	90,4 %	95,7

En conclusion, le traitement par l'alcool éthylique remplit de façon satisfaisante les conditions requises et nous l'avons retenu comme méthode de base. Il reste que malgré le caractère assez bien défini de son action, il ne peut s'agir que d'un test et non d'une méthode d'analyse en raison de ce qu'il subsiste de conventionnel dans le choix du niveau de discrimination.

#### IV. — MODALITES DE REALISATION DU TEST A L'ALCOOL.

##### a) PRELEVEMENT ET CONDITIONNEMENT DES ECHANTILLONS.

Pour que les résultats obtenus rendent compte le plus fidèlement possible de l'état structural « in situ », les échantillons doivent être prélevés dans le profil en évitant toute compression ou lissage susceptible de modifier les liaisons entre éléments structuraux au niveau des faces de moindre résistance. L'échantillon doit ensuite être séché tel qu'il a été prélevé, à la température ordinaire.

La prise d'essai est constituée à partir de l'échantillon sec. Le poids retenu varie de 60 g environ pour les terres très divisées à 100 g dans le cas de structures continues ou grossières. Ces poids ont été choisis pour éviter de colmater le tamis inférieur lors-

qu'on a affaire à des structures pulvérulentes tout en conservant une représentativité suffisante de la prise, principalement dans le cas des structures fragmentaires grossières.

#### b) TRAITEMENT DE LA PRISE D'ESSAI.

**Cas général.** — Elle est placée dans un bécber de 600 cc (forme basse) dans lequel on ajoute une quantité suffisante d'alcool éthylique à 95° pour la recouvrir. Au bout d'une heure, le contenu du bécber est versé avec ménagement à l'aide d'un jet d'alcool sur le tamis supérieur d'une batterie de 6 tamis placés l'un sur l'autre (de haut en bas) dans l'ordre décroissant suivant : 10, 5, 3, 2, 1, 0,5 mm. Ces ouvertures de maille ont été déterminées empiriquement et d'après les résultats rapportés dans la littérature par divers auteurs (TARASENKO, 1960 ; RUSSELL, 1961). L'ouverture de maille du tamis supérieur de la colonne a été limitée à 10 mm d'une part pour pouvoir utiliser une prise d'essai d'un volume raisonnable, d'autre part parce que l'intérêt de la méthode est surtout évident pour les structures fines.

Nous avons constaté par exemple que la taille des éléments structuraux granulaires sous prairie se situe dans une gamme de 2 à 6 mm. Les limites inférieure et supérieure de 0,5 et 10 mm ont été finalement retenues comme base, quitte à n'utiliser par la suite qu'un intervalle plus restreint s'il s'avère suffisant pour rendre compte d'un type d'état structural donné.

Le tamisage (TRI, 1968) est réalisé à l'aide de l'appareil de FEODOROFF dans l'alcool éthylique à 95° dont le niveau est fixé de telle sorte que le liquide affleure la toile du tamis supérieur au point mort haut du mouvement. L'opération comporte 30 va-et-vient en 30 secondes. La durée et la vitesse de tamisage ont une certaine influence sur la distribution dimensionnelle obtenue — au moins au niveau des éléments les plus grossiers — aussi, les conditions de réalisation du test doivent-elles être standardisées.

A l'issue du tamisage les éléments structuraux retenus par chacun des tamis sont séparément recueillis, séchés et pesés ; les résultats sont exprimés en % du poids de la prise d'essai.

**Cas particulier des sols riches en racines.** — Lorsqu'on a affaire à des terres provenant par exemple de prairie, nous avons constaté qu'à l'issue du traitement à l'alcool il peut exister une quantité importante d'éléments structuraux individualisés au contact de l'alcool qui sont retenus les uns aux autres par les racines présentes dans la prise d'essai et qui de ce fait ne sont pas séparés lors du tamisage. Ce problème ne peut être résolu en séparant à la main ces éléments structuraux car l'on risque de les perturber ou de les fragmenter. Nous avons essayé une autre solution consistant en un brûlage rapide de la prise d'essai au bout d'une heure sous alcool.

Pour nous assurer que ce brûlage ne modifie pas de façon sensible, les éléments structuraux révélés par le traitement à l'alcool, nous avons fait un essai de comparaison de comportement sur deux échantillons semblables issus d'un sol sans racines. Nous avons pratiqué sur l'un d'eux le traitement à l'alcool standard et sur l'autre le même traitement après brûlage. Les résultats après tamisage dans l'alcool sont rapportés dans le tableau 6.

TABLEAU 6. — Résultats du test à l'alcool avec ou sans brûlage

Taille des éléments structuraux (mm)	Terre utilisée et % d'éléments obtenus			
	Terre à structure continue		Terre à structure fragmentaire	
	Témoin	Brûlage	Témoin	Brûlage
> 10	93,2	88,4	38,0	38,8
10 - 5	2,6	3,6	21,1	17,4
5 - 3	0,5	0,8	8,8	8,8
3 - 2	0,2	0,3	5,1	6,1
2 - 1	0,2	0,3	8,4	10,1
1 - 0,5	0,2	0,2	6,3	7,5
< 0,5	3,1	6,4	12,1	11,1

Il apparaît que le brûlage est sans incidence notable sur la distribution des éléments structuraux. De ce fait, il peut être introduit dans le mode opératoire lorsqu'il est nécessaire de détruire les liens racinaires. L'opération consiste à transférer après le traitement d'une heure dans l'alcool la prise d'essai sur une toile circulaire de cuivre déposée dans une coupelle en terre réfractaire. On verse ensuite 20 ml d'alcool au fond de la coupelle et on fait flamber les éléments structuraux retenus sur la toile en ajoutant si c'est nécessaire de petites quantités d'alcool jusqu'à la disparition des racines. On attend la fin de la combustion et on laisse refroidir l'ensemble qui est maintenant prêt pour le tamisage suivant le mode opératoire décrit plus haut.

### c) REPRESENTATION DES RESULTATS.

Il existe évidemment diverses méthodes de présentations, mais nous avons choisi celle des pourcentages cumulés d'éléments plus petits qu'une taille donnée : on obtient ainsi des courbes continues dont il est facile d'étudier l'allure générale et de les comparer les unes aux autres. Le tableau 7 fournit un exemple de résultats de calculs qui nous ont permis de tracer par la suite les courbes représentant les pourcentages cumulés en fonction des tailles d'éléments structuraux.

TABLEAU 7. — Calcul de pourcentages cumulés

Taille des éléments structuraux (mm)	% par rapport à la prise d'essai	% cumulé d'élément plus petit que la taille indiquée
> 10	10,7	
10 - 5	14,1	89,3
5 - 3	13,2	75,2
3 - 2	12,7	62,0
2 - 1	20,0	49,3
1 - 0,5	14,1	29,3
< 0,5	15,2	15,2

A partir de ces pourcentages cumulés, il convient alors de caractériser de façon aussi complète que possible les distributions dimensionnelles d'éléments structuraux. Pour cela, nous avons utilisé la méthode d'Henry (CETAMA, 1969) qui a l'avantage d'être basée sur une représentation graphique directement issue des résultats expérimentaux. Elle consiste à tester la normalité d'une distribution en portant sur un papier spécial dit gaussio-arithmétique les pourcentages cumulés en ordonnée (échelle gaussienne) et les tailles correspondantes en abscisse (échelle arithmétique). Si les points obtenus s'alignent sur une droite la distribution est normale. Dans ce cas, elle est définie complètement par la taille moyenne (arithmétique) des éléments structuraux et son écart type. Ces deux paramètres s'obtiennent directement sur le graphique.

Quand les points ne s'alignent pas sur une droite on peut procéder à un ajustement en utilisant un papier dit gaussio-logarithmique sur lequel l'axe des abscisses est en échelle logarithmique. Si cette nouvelle représentation est linéaire la distribution est dite log-normale. GARDNER (1956) a rapporté que les distributions résultant des divers tests de stabilité structurale sont de ce type. Elles sont entièrement définies par le log de la moyenne des tailles, donc de leur moyenne géométrique, et son écart type qui peuvent être également déterminés à partir du graphique.

En appliquant ces deux modes de représentation sur les distributions dimensionnelles des éléments structuraux obtenus par le test à l'alcool, pratiqué sur 80 échantillons de terre, nous avons trouvé que celles provenant des terres à structure continue et à

tendance granulaire sont normales (fig. I, courbes B et C) et que celles provenant de la couche superficielle des terres à structures granulaires sont plutôt log-normales (fig. II, courbe A, 0-6 cm).

D'autre part, nous avons constaté que celles qui se trouvent au-delà de 6 cm de profondeur dans les terres à structure granulaire ne sont ni normales ni log-normales (courbes A, 6-12 cm, fig. I et II). Dans ce cas, la moyenne et l'écart type ne peuvent pas être définies avec précision. Toutefois, la représentation graphique reste utile car elle nous permet d'obtenir une approximation de la taille moyenne de la distribution à partir de la courbe.

### V. — VALIDITE DU TEST A L'ALCOOL.

Nous avons indiqué que le choix initial et la première mise à l'épreuve de la méthode avaient été effectués sur un petit nombre de couples permettant ainsi de se faire une idée du pouvoir discriminant du traitement à l'alcool entre deux états structuraux que l'observation permettait de distinguer. Il nous reste maintenant à étudier et à interpréter les résultats obtenus à partir d'un nombre beaucoup plus important d'échantillons pour lesquels nous avons comparé systématiquement les résultats du test à l'observation directe de la structure *in situ*.

Pour les mêmes raisons que celles présentées plus haut, nous avons choisi de comparer des structures continues à des structures granulaires et pour cela l'enquête a porté sur des sols cultivés en graminées fourragères depuis moins de 20 mois. Nous avons retenu ces prairies relativement jeunes pour limiter l'intervention des phénomènes

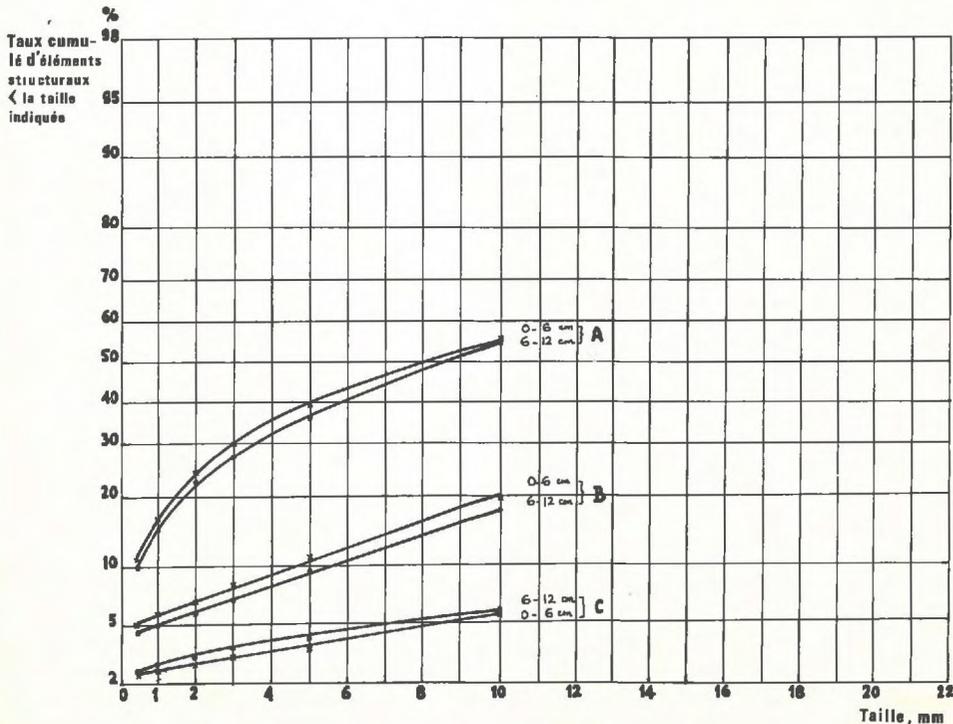


FIGURE I. — Représentation gaussio-arithmétique des distributions dimensionnelles d'éléments structuraux provenant des terres granulaires (A), continues (C) et à tendance granulaire (B)

de stabilisation par les matières organiques qui interviennent surtout à partir de la troisième année d'implantation de la prairie (MONNIER, 1965).

a) COLLECTE DES ECHANTILLONS.

Les 80 parcelles retenues pour la comparaison ont été choisies de telle sorte que les facteurs susceptibles d'influer sur le phénomène de granulation se situent à des niveaux aussi variés que possible. Rappelons que ces facteurs peuvent être des caractéristiques de constitution du matériau (texture, teneur en matières organiques ou en carbonate de calcium), mais aussi les conditions climatiques et le système de culture dans la mesure où ils modifient le régime hydrique et en particulier l'amplitude et la fréquence des alternances d'humectation et de dessiccation (TRI, 1969). Dans chacune des parcelles un monolithe de 13 x 18 cm de côté et représentant les 12 premiers centimètres du sol en place a été prélevé avec les précautions précisées plus haut et séché à l'air.

b) OBSERVATIONS VISUELLES.

Sur les monolithes secs nous avons cherché à observer leur état structural (continu, cohérent, grumelleux, tendance granulaire ou granulaire), le degré de granulation (% de la surface ou du volume considéré) de ce dernier et son degré de développement (net ou faible) ainsi que la taille moyenne des éléments structuraux et l'ampleur de l'enracinement (faible, moyen ou abondant). Ces observations ont été faites sur deux profondeurs différentes : 0-6 cm et à partir de 6 cm et ont été enregistrées pour être comparées avec les résultats obtenus par le test à l'alcool également pratiqué séparément sur des échantillons représentatifs des couches 0-6 cm et 6-12 cm.

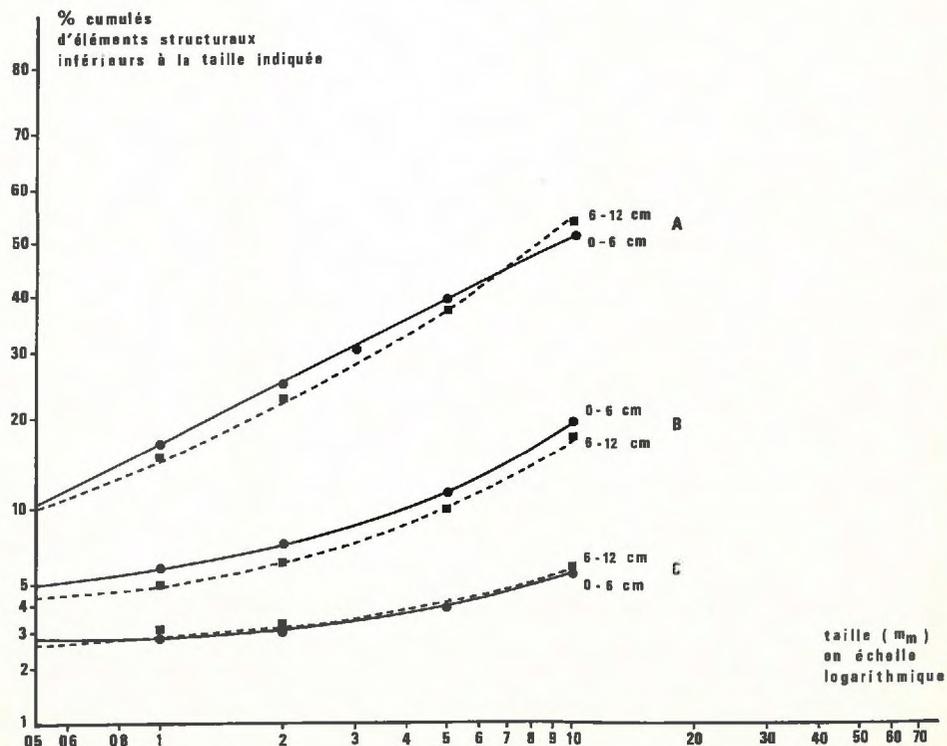


FIGURE II. — Représentation gaussio-logarithmique des distributions dimensionnelles d'éléments structuraux provenant des terres à structure granulaire (A), à tendance granulaire (B) et continue (C)

Dans la pratique, les seules observations acquises avec suffisamment de certitude pour pouvoir être utilisées sont celles qui ont porté sur l'appréciation globale et qui ont conduit à un classement des échantillons en trois catégories : structures continues, structures granulaires nettement développées et une catégorie intermédiaire regroupant des structures à tendance granulaires. Par contre, ni le degré de granulation ni la taille moyenne des éléments structuraux n'ont pu être évalués de façon suffisamment précise et surtout fidèle pour qu'il puisse en être tenu compte dans la comparaison avec le test à l'alcool.

### c) COMPARAISON DES RESULTATS.

Etant donné le caractère limité des informations fournies par l'observation visuelle, nous avons exprimé les résultats du test à l'alcool en terme de pourcentage cumulés d'éléments structuraux de taille inférieure à 10 mm, cette dimension correspondant à l'ouverture de maille du tamis supérieur de la colonne de tamis utilisés. De ce fait, la taille moyenne des distributions susceptible d'être obtenue par les procédés graphiques décrits en haut, n'intervient pas dans la comparaison.

TABLEAU 8.

Taux cumulé d'éléments < 10 mm	< 10 %		10 à 30 %		≥ 30 %		≥ 40 %		≥ 50 %	
Profondeur de l'échantillon (cm)	0-6	6-12	0-6	6-12	0-6	6-12	0-6	6-12	0-6	6-12
Nombre d'échantillons par classe	21	24	21	25	37	30	27	23	20	19
Notation visuelle la plus fréquente dans la classe	Structure continue		Structure continue		Structure granulaire		Structure granulaire		Structure granulaire	
% correspondant dans la classe	91	75	57 (1)	64 (2)	78	77	78	87	80	89

Dans le tableau 8, nous avons rassemblé les éléments de la comparaison pour les profondeurs 0-6 cm et 6-12 cm. On constate en premier lieu, que deux pourcentages cumulés d'éléments inférieurs à 10 mm soit 10 % et 30 % représentent des seuils de discrimination assez satisfaisants respectivement pour les structures continues et granulaires nettes. Plus précisément dans le cas des échantillons qui présentent un taux cumulé d'éléments inférieurs à 10 mm qui soit inférieur ou égal à 10 %, on note que surtout dans le cas des couches superficielles, mais aussi au niveau 6-12 cm, l'observation avait conduit essentiellement à une notation de structures continues. A l'opposé, lorsque ce pourcentage d'éléments inférieurs à 10 mm devient supérieur ou égal à 30 % plus de 3/4 des échantillons aux deux profondeurs ont été visuellement notés comme présentant une structure granulaire.

Il existe dans la zone où les pourcentages cumulés sont compris entre 10 et 30 % une incertitude d'ailleurs moins marquée dans le cas des couches profondes qui sont en majorité notées continues.

Dans la catégorie des terres classées continues par le test à l'alcool, c'est-à-dire possédant moins de 10 % d'éléments inférieurs à 10 mm, l'explication de 10 à 25 % des échantillons pour lesquels il existe une discordance avec les observations visuelles semble devoir être liée aux difficultés d'échantillonnage préalable au test à partir des monolithes d'apparence extérieure continue, mais pouvant présenter quelques zones localisées à tendance granulaire.

Lorsque le taux d'éléments inférieurs à 10 mm devient supérieur à 30 %, il subsiste de 10 à 25 % d'échantillons notés continus ; il s'agit vraisemblablement là d'une extériorisation incomplète de la fissuration alors que le test à l'alcool anticipe quelque peu sur une évolution qu'un petit nombre de cycles d'humectation et de dessiccation supplémentaires aurait rendu accessible à l'observation (TRI, 1969). On doit noter de plus

dans cette gamme, que la validité de la prévision autorisée par le test à l'alcool n'est pas sensiblement améliorée lorsqu'on élève le seuil de discrimination de 30 % à 40 ou à 50 % d'éléments inférieurs à 10 mm.

Quant à la classe intermédiaire (10 à 30 %), elle comporte assez classiquement des proportions beaucoup plus voisines de structures notées continues et de structures notées granulaires ou à tendances granulaires, ces dernières n'étant représentées significativement que dans cette gamme de taux cumulés. On peut par ailleurs constater que cette classe de transition est étroite et n'intéresse que moins de 30 % des échantillons observés.

## VI. — CONCLUSION.

En définitive, nous pouvons conclure à une concordance générale entre les notations issues de l'observation directe et les résultats du test à l'alcool, suffisante pour que ce dernier voit sa signification confirmée. Il apparaît donc possible de mettre en évidence des moyens d'interprétation du test à différents niveaux.

— Dans le cas des structures de sols sous prairie traité à titre d'exemple, le seul taux cumulé d'éléments inférieurs à une taille donnée (ici 10 mm) est une donnée suffisante lorsqu'on se borne à rechercher une discrimination entre deux types de structure.

— Par ailleurs, les quelques exemples de distributions (fig. I et II) obtenues à l'aide du test à l'alcool appliquées à une série de structures granulaires montrent que l'intérêt de la méthode dépasse celui de la simple confirmation d'une observation visuelle. Lorsqu'elle est possible, la détermination des paramètres définissant ces distributions (moyenne et écart type) fournit des données dont nous avons vu qu'elles étaient inaccessibles à l'observation directe. Nous montrerons par ailleurs l'intérêt que présentent de telles informations chiffrées lorsqu'on s'intéresse aux mécanismes de formation de tel ou tel état structural.

## Bibliographie

- BRYSSINE G. (1954). — Contribution à l'étude des propriétés physiques du sol. Note sur l'appréciation de la structure du sol. *Société des Sciences Naturelles et Physiques du Maroc*, 8 et 9.
- BUI HUU TRI (1968). — Dynamique de la granulation du sol sous prairie. *Ann. Agron.*, 19 (4) 415-439.
- BUI HUU TRI (1969). — Dynamique de la granulation du sol sous prairie. *Thèse Doct. ès Sci., Faculté des Sciences, Paris*.
- C.E.T.A.M.A. (1969). — Méthodes statistiques en chimie analytique. Vol. II : Distribution observée. *Commissariat à l'Energie Atomique*. Dunod, Paris.
- CONCARET J. (1965). — Etude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre au contact de solutions aqueuses. *Thèse, Univ. de Strasbourg*.
- GARDNER W.R. (1956). — Représentation of soil aggregate - size distribution by a logarithmic - normal distribution. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 20, 151-153.
- HENIN S. (1938). — Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. *Thèse Univ. de Paris*.
- HENIN S. et MONNIER G. (1956). — Evaluation de la stabilité de la structure du sol. *6th. Int. Soil Sci. Cong. Proc.*, Vol. B, 49-52.
- HENIN S. et al. (1969). — Le profil cultural. 2<sup>e</sup> éd., Masson & C<sup>ie</sup>, Paris.
- KOEPF H. (1961). — Beitrag zur Strukturbildung bei verschiedenen Bodentypen. *Landw. Forsch.*, 14, 1-9.
- MONNIER G. (1965). — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Thèse, Univ. de Paris*.
- NIKIFGOROFF (1941). — Morphological classification of soil structure. *Soil Sci.*, Vol. 52, n° 3.
- RUSSELL E.W. (1938). — Soil structure. Imp. Bur. of soil sci. *Techn. Comm.*, n° 37.
- RUSSELL E.W. (1961). — Soil conditions and plant growth. 9th ed. Longmans, London.
- TARASENKO B.I. (1960). — Mechanical stability of aggregates in western cis-caucasian chernozems. *Soviet Soil Sci.*, 10, 1101-1103.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont bien voulu nous apporter leur concours pour le choix et la description des situations, ainsi que pour le prélèvement des échantillons : notamment la Direction Agronomique et les Ingénieurs Régionaux de l'I.T.C.F., les Services Agronomiques de différentes Sociétés d'Economie mixte et diverses Stations de l'I.N.R.A.