

Analyse des processus de microfissuration des agrégats à l'humectation

Y. LE BISSONNAIS⁽¹⁾

RESUME

Les agrégats situés à la surface des sols cultivés peuvent se fragmenter en microagrégats à la suite d'alternances hydriques.

Nous avons cherché à étudier les mécanismes et le déterminisme de ce processus, en utilisant une procédure de réhumectation par capillarité. Les résultats montrent que cette microfissuration peut être obtenue, selon la texture et la structure des matériaux, par deux mécanismes différents : l'éclatement partiel, qui est prédominant pour les matériaux limoneux à porosité lacunaire, et dont l'intensité est liée au volume poral libre à l'air et à la cinétique de réhumectation, et le gonflement différentiel qui intervient essentiellement pour les matériaux les plus argileux. La distribution de la taille des microagrégats résultants est de même type pour les deux mécanismes et semble indépendante du calibre initial des agrégats. Elle peut cependant varier légèrement, dans chacun des deux cas, pour des petites différences de texture des matériaux. Ce processus joue probablement un rôle déterminant, bien que transitoire, dans l'évolution structurale et la formation des croûtes superficielles, et ceci pour toute la gamme de texture des sols, du fait de l'existence de deux mécanismes différents intervenant dans des domaines granulométriques complémentaires.

MOTS CLEFS : Humectation - Gonflement-retrait - Microagrégats - Mobilisation des particules - Eclatement.

AGGREGATES BREAKDOWN BY MICROCRACKING

The aggregates located at the surface of cultivated soils can be microcracked after wetting-drying cycles. We study the mechanisms and the determinism of this process using a capilarity wetting procedure.

Results show that microcracking can occurs with two different mechanisms according with the granulometry and the structure of the aggregate : (i) partial slaking is the main in silty soils with lacunary pores, and his intensity is related to the air-free pore volum and to the wetting kinetics ; (ii) differential swelling, affects the more clayey materials.

The size of the microaggregates is the same with the two mechanisms and is independant of the size of the initial aggregates. This size is related, for each mechanism, to small modifications of the granulometry of the materials.

This process play a determining part in crust formation, and this for all granulometry because of the existence of two mechanisms wich occur for complementary textural domains.

KEY WORDS : Wetting - Swelling-shrinkage - Microaggregates - Particles mobilization - Slaking.

(1) INRA, Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France, Ardon, 45160 Olivet, France.

INTRODUCTION

S'il est couramment admis que les phénomènes d'éclatement des agrégats (HENIN, 1938 ; MONNIER, 1965 ; CONCARET, 1967) et le choc des gouttes d'eau sur la surface (ELLISON, 1945 ; FARRES, 1980) sont largement responsables de la dégradation structurale superficielle, on a également observé (BOIFFIN, 1984), que lors d'alternances hydriques humectation-dessiccation, les mottes et agrégats de surface se fragmentaient sur leur périphérie, entraînant l'individualisation de microagrégats et l'affinement progressif de la surface. Une modification de la stabilité des agrégats, consécutive aux alternances hydriques a aussi été observée (UTOMO et DEXTER, 1982 ; MBAGWU et BAZZOFFI, 1988).

Ce processus de désagrégation est habituellement interprété comme étant la conséquence des phénomènes de gonflement-retrait liés aux alternances hydriques (MONNIER et BOIFFIN, 1986). En effet, on sait que, pour des matériaux argileux, les déformations par gonflement ou retrait, si elles sont localisées ou orientées, provoquent des contraintes pouvant aller jusqu'à entraîner la formation de plans de rupture (KHEYRABI et MONNIER, 1968 ; STENGEL, 1982 ; SHIEL et al., 1988). Il s'agit cependant dans le cas des agrégats de surface, d'un processus différent de celui de la fissuration des couches de sols argileux, qui intervient plutôt au retrait (HALLAIRE, 1988).

Cette individualisation d'agrégats millimétriques à partir d'éléments structuraux de plus grande taille, que nous appellerons microfissuration pour des raisons de morphologie, existe pour des sols limoneux, même très pauvres en argile et ayant un gonflement potentiel réduit (BOIFFIN, 1984). Et il s'agit certainement de l'un des processus majeurs de l'évolution structurale lors de la formation des croûtes de battance : il contribue en effet à une mobilisation importante de petits agrégats, particulièrement sensibles à l'action des gouttes de pluie.

Or, ni les différents tests de stabilité structurale, ni les suivis de terrain ne permettent d'étudier ce processus, à cause des procédures trop agressives généralement utilisées dans les premiers, et des intervalles d'observation trop longs, par rapport à sa fugacité, dans les seconds.

Notre objectif est donc d'analyser les mécanismes et le déterminisme de ce type de désagrégation.

Pour cela, nous avons utilisé un protocole expérimental simulant un apport d'eau progressif (réhumectation par capillarité), puis nous avons étudié la dimension des fragments résultants en testant l'influence de différents paramètres, relatifs aux conditions d'humectation et à l'état initial des agrégats.

I. MATÉRIAUX ET MÉTHODES

A) ÉCHANTILLONS

Ce travail a été mené sur des échantillons d'horizons de surface des sols limoneux. Leurs caractéristiques ont été présentées en détail dans un article précédent (LE BISSONNAIS, 1988b), et sont rappelées dans les tableaux I et II. Le principal facteur de variation de cet échantillonnage est la teneur en argile.

Sur le plan des propriétés structurales, les matériaux se classent, selon le test de HENIN-MONNIER (1956), dans les catégories stable à très instable. Ils correspondent donc à une large gamme de comportements structuraux.

Nous avons également été amenés à utiliser, pour certaines expérimentations, des matériaux plus argileux à titre de comparaison (tableau III).

Tableau I : Caractéristiques analytiques des matériaux.
Analysis of materials.

	Granulométrie (micromètres)							C	pH	Calc	CEC	10MO/	CEC/
	0-2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	> 100	%		%	méq/ 100 g	A	A
Montluel	11.5	4.3	6.1	15.4	44.6	15.0	3.2	0.84	6.1	0.0	4.7	1.2	41
Hesdin	13.3	3.4	5.3	14.3	46.6	16.7	0.3	1.10	7.0	0.3	7.7	1.4	58
Le Ménard	16.5	4.7	7.6	21.8	44.4	4.0	2.8	1.02	7.2	0.0	8.4	1.0	51
Grand Juday	19.0	4.7	8.3	21.0	42.0	3.4	2.0	0.79	6.6	0.0	8.7	0.7	47
Palaiseau	20.4	2.6	5.8	16.7	46.6	6.2	1.6	1.11	6.2	0.3	10.1	0.9	51
Chêne	22.4	4.1	5.9	17.9	44.2	5.3	0.3	1.02	8.0	0.9	10.6	0.8	51
Boigneville	31.4	4.1	7.0	17.2	33.9	6.1	0.3	1.06	6.8	0.3	15.9	0.6	51

Tableau II : Résultats du test de stabilité structurale réalisé sur la terre fine.
Results of structural standard stability test.

	AgE	AgA	AgB	(A + 1) max	S	K
Montluel	8,5	9,0	7,3	23,8	9,68	1,83
Hesdin	5,8	14,2	2,7	17,3	2,47	2,84
Le Ménard	4,9	8,0	5,2	31,4	10,59	1,49
Grand Juday	5,5	20,1	3,9	34,9	4,77	1,34
Palaiseau	3,3	8,5	2,7	29,6	9,93	2,32
Chêne	2,2	10,3	1,5	30,4	7,38	3,25
Boigneville	15,4	35,0	3,8	28,3	1,67	5,72

B) MÉTHODE

Nous avons mis au point un protocole destiné à favoriser la réalisation d'une microfissuration, sans faire intervenir d'autres processus de désagrégation : éclatement par immersion ou désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie.

En effet, les méthodes d'études classiques de la stabilité structurale et du « splash », sont le plus souvent trop agressives et masquent la microfissuration : qu'il s'agisse de l'immersion d'agrégats secs dans l'eau, qui provoque une désagrégation complète par éclatement, ou bien de l'utilisation de gouteur ou de simulateur de pluie avec des caractéristiques pluviométriques extrêmes privilégiant l'action mécanique des gouttes.

C'est pourquoi nous avons utilisé la réhumectation par capillarité à l'air des agrégats, qui permet de simuler l'effet de pluie de faible intensité, habituellement considérées comme non efficaces vis-à-vis de la dégradation structurale.

La procédure est la suivante :

— Les agrégats calibrés entre 3 et 4 mm, séchés à l'air, sont disposés sur une surface de tissus maintenue à un potentiel de -3 mbar ; au bout de 5 mn, ils sont transférés sur un tamis de $100 \mu\text{m}$ placé dans un cristalliseur rempli d'éthanol. Puis le refus est séché à l'air et tamisé à sec, selon la procédure décrite précédemment (LE BISSONNAIS, 1988b).

On obtient finalement une Distribution pondérale de la Taille des Particules Résultantes en 6 classes (DTPR), la classe supérieure (> 2 mm) correspondant aux particules résiduelles. Ainsi, il est possible de comparer l'effet de la réhumectation, aux autres modes de désagrégation, et de le décrire en terme de taille des particules mobilisées.

Pour les différents matériaux étudiés, on a fait varier l'état hydrique initial et le calibre des agrégats, ainsi que les conditions de la réhumectation (cinétique, conditions de pression), afin d'analyser le déterminisme de ce processus de désagrégation.

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

A) MISE EN ÉVIDENCE D'UN PROCESSUS DE DÉSAGRÉGATION
LIÉ A UNE RÉHUMECTATION PAR CAPILLARITÉ

1. Résultats

La figure 1 représente la distribution de taille des particules résultantes (DTPR), à la suite d'une réhumectation par capillarité d'agrégats de 3-4 mm initialement secs, réalisée selon la procédure décrite précédemment.

Les distributions obtenues présentent une allure commune pour tous les matériaux limoneux étudiés, de type unimodale, centrée sur les classes intermédiaires $200 \mu\text{m}$ à 1 mm, avec une tendance à s'étaler vers les classes supérieures, pour les plus argileux. Le matériau de BOIGNEVILLE se différencie des autres avec un mode à 2 mm.

2. Discussion

Il s'agit d'un résultat sensiblement différent, du point de vue de la taille des particules mobilisées, de ceux obtenus par immersion d'agrégats secs ou saturés, et reliés aux processus d'éclatement et de désagrégation mécanique (LE BISSONNAIS, 1988a).

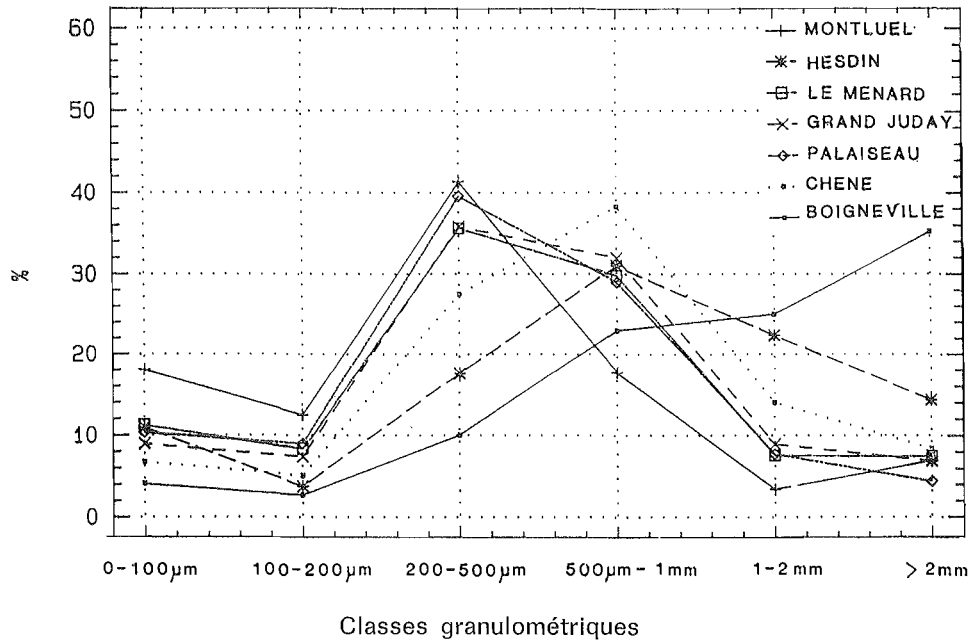


Figure 1 : D.T.P.R. après réhumectation par capillarité pour différents matériaux.
D.T.P.R. after wetting by capillarity for different materials.

On est en présence d'un phénomène particulier, vis-à-vis duquel les matériaux présentent des réponses nuancées. Le taux de particules inférieures à 2 mm est élevé, mais des différences existent, contrairement au cas de l'immersion d'agrégats secs, où ce taux était voisin pour tous les matériaux. Par rapport aux résultats obtenus par immersion, le calibre modal des particules produites est supérieur d'une à deux classes.

Sur cette même figure, on observe une tendance globale qui correspond à une diminution des classes les plus fines, au profit des classes supérieures, lorsque la teneur en argile augmente. Cependant la relation n'est pas très étroite, en particulier pour les classes intermédiaires, HESDIN (13 % d'argile) se comporte selon la tendance générale comme s'il était nettement plus riche en argile. La seule explication possible de cet écart à la tendance générale, est le taux élevé de matière organique de ce matériau (MONNIER, 1965).

Cette évolution en fonction de la teneur en argile des matériaux pose problème quant à l'interprétation de ce mécanisme : en effet, il est admis que l'intensité de la fissuration augmente avec le gonflement des matériaux et donc avec leur teneur en argile (STIRK, 1954 ; STENGEL, 1982). La tendance devrait donc être inverse à celle obtenue expérimentalement.

Nous avons donc cherché à expliquer l'origine de cette apparente contradiction en étudiant le déterminisme de ce type de désagrégation.

Pour cela, on a d'une part, fait varier les conditions de réhumectation des agrégats, et d'autre part, on a introduit pour cette série d'expérimentations deux autres matériaux plus argileux, afin d'en comparer le comportement à celui des échantillons limoneux (LES VIGNERES 55 %, et LIGNERE 95 % d'argile) (tab. 3).

Tableau III : Caractéristiques des matériaux argileux.
Characteristics of the clay materials.

	Granulométrie (μm)					C.E.C. meq/ 100 g	Carb. Org. %
	0-2	2-20	20-50	50-100	> 100		
Les Vignères	45,8	36,3	9,6	6,4	1,9	19,6	2,2
Lignères	92,9	3,7	0,8	1	1,6	29,6	0,2

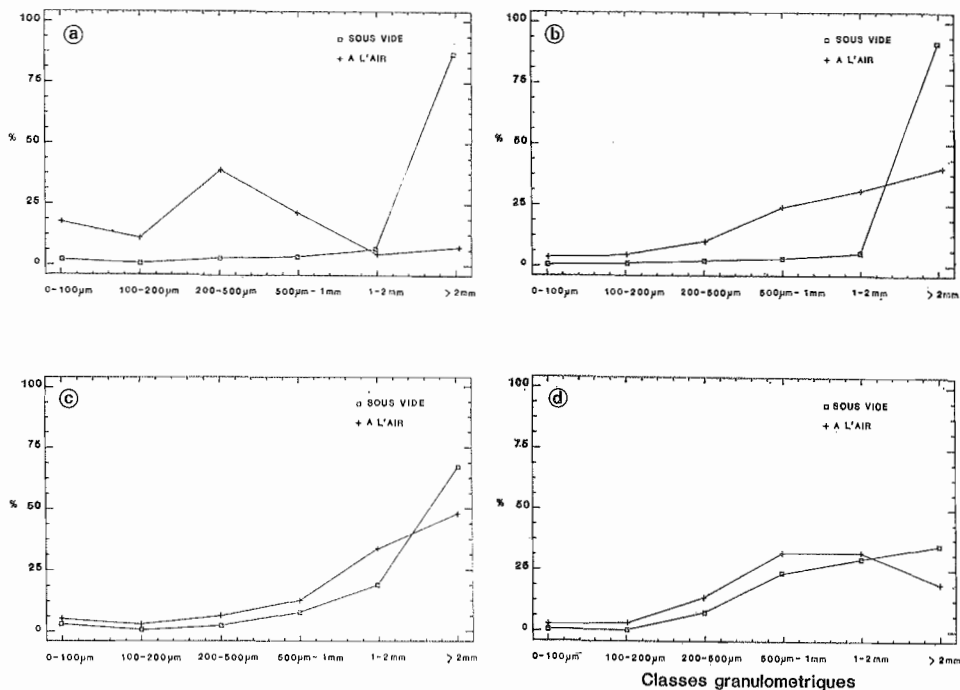


Figure 2 : Comparaison des D.T.P.R. après réhumectation à l'air et sous vide. a : Montluel ; b : Boigneville ; c : Vignères ; d : Lignère.
Comparison of D.T.P.R. after wetting at atmospheric pressure and under vacuum. a : Montluel ; b : Boigneville ; c : Vignères ; d : Lignère.

B) ANALYSE DU MÉCANISME A L'ORIGINE DE LA MICROFISSURATION

1. Rôle de la présence d'air

a) Résultats

Pour déterminer si la désagrégation obtenue était ou non liée à un éclatement des agrégats, on a réalisé les mêmes expériences que précédemment, mais sous vide. On a représenté les résultats concernant deux des matériaux limoneux et les 2 matériaux plus argileux, pour les réhumectations réalisées à l'air et sous vide (fig. 2).

On constate une différence très marquée entre les deux situations pour les matériaux les plus limoneux (fig. 2, a, b) : la désagrégation disparaît presque totalement sous vide, ce qui montre l'importance du rôle joué par l'air quand on est à la pression atmosphérique.

En revanche pour les matériaux plus argileux (fig. 2, c, d), la fragmentation se produit même sous vide, bien que de manière atténuée.

b) Discussion

Ce résultat fait bien ressortir l'existence de deux mécanismes différents à l'origine de la fragmentation observée : l'un lié au gonflement, qui est prédominant pour les matériaux les plus argileux, et l'autre lié directement à la phase d'humectation en présence d'air, vraisemblablement d'autant plus intense que la porosité est élevée.

KHEYRABI et MONNIER (1968) ont montré qu'une fragmentation à l'humectation sans éclatement (réalisée sous vide ou avec un prétraitement alcool), ne pouvait intervenir que pour des teneurs en argile dépassant 40 %. Ce taux critique correspond à la présence d'une phase continue d'argile quel que soit l'arrangement des constituants du squelette, c'est-à-dire à une porosité lacunaire nulle (FIES, 1984). On peut donc penser qu'en dessous de cette valeur, c'est la présence de pores lacunaires qui permet un certain effet d'éclatement, probablement fonction de la vitesse d'humectation (CONCARET, 1987), et ceci conjointement à une fragilité plus grande des assemblages, due au faible taux d'argile. On obtient ainsi une désagrégation analogue, du point de vue de la dimension des particules résultantes, à celle résultant du gonflement de matériaux dont la phase argileuse est continue. Mais contrairement à ce dernier cas, l'intensité de la désagrégation serait alors liée au calibre dominant de la porosité lacunaire et aux possibilités de piégeage d'air lors de l'humectation.

La phase d'humectation des corps poreux a été étudiée en particulier par GRAS (1974) et CONCARET (1967). Le premier s'est intéressé à l'emprisonnement d'air lors de l'humectation ; ce phénomène est lié à la différence de vitesse de pénétration des ménisques d'eau dans des pores de diamètres différents (loi de POISSEUILLE). Or, si le risque de piégeage d'air et donc l'éclatement est maximal lors de l'immersion d'un agrégat, il n'est peut-être pas négligeable lors d'une réhumectation par capillarité puisque l'eau peut pénétrer par plusieurs pores de calibres différents en même temps, d'autant plus que la porosité lacunaire est hétérogène. Cependant, on peut penser que ce risque diminue lorsque l'apport d'eau devient lent et la source ponctuelle.

CONCARET (1967) a en effet montré, en jouant sur la viscosité des solutions, que l'intensité de la désagrégation d'agrégats initialement secs était directement liée à la vitesse de réhumectation. Nous avons donc cherché à faire varier cette cinétique d'humectation en modifiant la nature de la surface sur laquelle reposent les agrégats, et le nombre de points de contact par lesquels l'entrée d'eau s'effectue : ceci a pu être réalisé en intercalant entre les agrégats et la table de réhumectation des supports poreux de rugosité et rigidité variables.

2. Influence de la vitesse de réhumectation

a) Résultats

La figure 3 montre les distributions de taille des particules mobilisées, pour des réhumectations plus ou moins rapides réalisées avec le matériau de BOIGNEVILLE. On constate une diminution importante de l'intensité de la désagrégation lorsque le temps moyen de réhumectation augmente, et on tend vers une évolution analogue en chassant au préalable l'air des agrégats (réhumectation sous vide) (fig. 2), et en limitant la vitesse de pénétration de l'eau : dans les deux cas on a diminué le risque d'emprisonnement d'air.

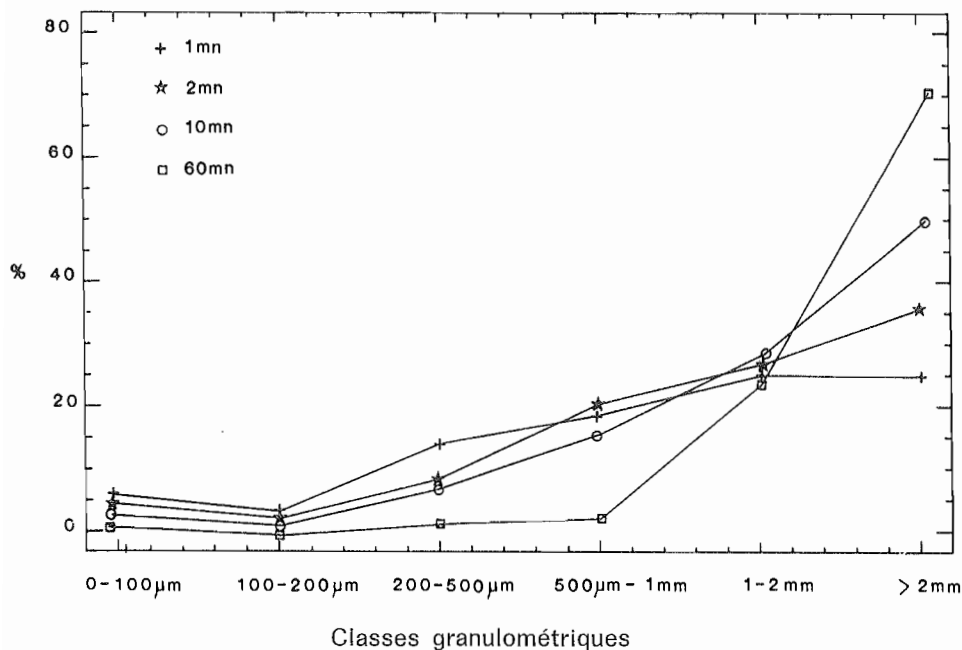


Figure 3 : Influence de la cinétique de réhumectation sur la D.T.P.R. (Boigneville).
Influence of wetting kinetics on D.T.P.R. (Boigneville).

Par ailleurs, des échantillons d'agrégats à la périphérie desquels on a pulvérisé une solution d'acides humiques, ont des temps de réhumectation beaucoup plus élevés que les témoins, et les DTPR évoluent dans le même sens que précédemment, en fonction du temps de réhumectation (fig. 4) Dans le cas de la dose la plus forte, la DTPR est proche de celle correspondant à une réhumectation sous vide (MONTLUEL, fig. 2)

b) Discussion

Ce résultat confirme l'influence des matières organiques localisées à la périphérie des agrégats, sur la mouillabilité et la cinétique de réhumectation. Celle-ci est réduite indépendamment de la nature de la surface de réhumectation, et el résultat est analogue à celui obtenu en réduisant les points de contact entre les agrégats et le support, ce qui a eu pour effet de diminuer la cinétique de réhumectation.

L'ensemble des résultats précédents nous permet de préciser les modalités du processus de microfissuration (caractérisée par la dimension des particules résultantes), pour des matériaux limoneux à porosité lacunaire :

— ce ne sont pas les propriétés de gonflement qui déterminent l'intensité de la microfissuration, mais celle-ci est une conséquence directe de la phase de réhumectation (aucune fragmentation n'est observée lors du retrait, même rapide des agrégats) ;

— il est nécessaire, pour que se réalise ce mécanisme, qu'il y ait une possibilité de piégeage d'air au sein des agrégats ;

— la qualité de particules produites et la DTPR dépendent de la cinétique de réhumectation, et donc sur le terrain, de l'intensité initiale des pluies. Elles dépendent vraisemblablement également de l'état hydrique et structural initial des agrégats.

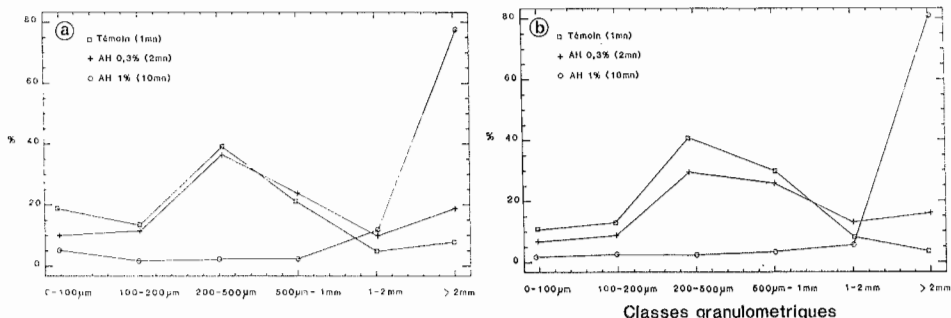


Figure 4 : Effet de l'application d'une solution d'acides humiques à la périphérie des agrégats sur la D.T.P.R. a : Montluel ; b : Palaiseau.

Effect of humic acid solution around the aggregates on D.T.P.R. a : Montluel ; b : Palaiseau.

C) ANALYSE DE L'INFLUENCE DE L'ÉTAT INITIAL DES AGRÉGATS

1. Résultats

a) Influence de l'état hydrique initial

La figure 5 représente l'évolution des distributions de la taille des particules mobilisées (DTPR exprimées sous forme d'un histogramme pour chaque valeur d'humidité) en fonction de l'humidité initiale des agrégats (préalablement amenés à saturation sous vide).

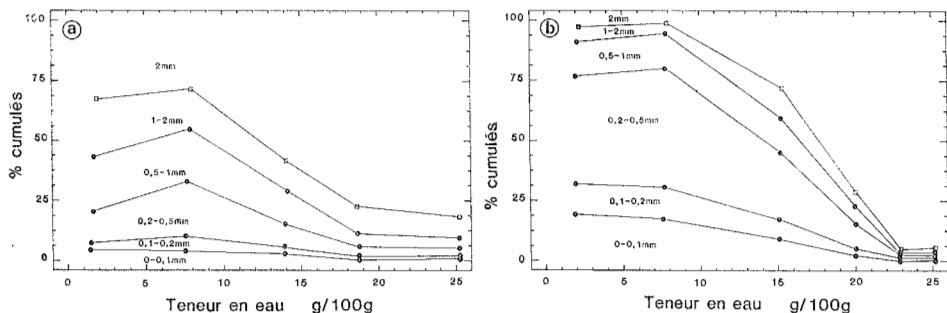


Figure 5 : Relation entre l'état hydrique initial et la D.T.P.R. après réhumectation. a : Boigneville ; b : Palaiseau.

Relation between initial moisture content and D.T.P.R. after wetting. a : Boigneville ; b : Palaiseau.

Pour le sol de BOIGNEVILLE (fig. 5a), la microfissuration est minimale dans le domaine de saturation du matériau : la DTPR est la même pour des humidités initiales de 25 % et 18 %, alors qu'entre ces valeurs et le potentiel auquel sont amenés les agrégats au cours de la réhumectation, un important gonflement a lieu. Entre les points correspondant aux humidités initiales de 18 et 8 %, la microfissuration augmente très nettement, et on retrouve un résultat analogue à celui obtenu pour des agrégats initialement secs.

Le même type d'évolution est observé avec PALAISEAU (fig. 5b).

Ce résultat fournit un argument supplémentaire pour montrer que le moteur principal de la désagrégation n'est pas le gonflement, mais la compression de l'air piégé lors de la réhumectation. Il s'agit bien d'un éclatement partiel. Cependant la comparaison des résultats obtenus pour des deux matériaux dans le domaine des teneurs en eau élevées met en évidence une légère différence qui pourrait indiquer qu'il existe une certaine microfissuration résiduelle à saturation pour le matériau le plus argileux (BOIGNEVILLE) (près de 20 % de particules < 2 mm). Cette microfissuration serait alors liée au gonflement des agrégats lors de la réhumectation.

b) Influence du calibre initial

La figure 6 montre que pour des agrégats dont le diamètre varie entre 3 et 20 mm, la microfissuration a tendance à augmenter légèrement. Cependant le type de distribution est le même sauf dans le cas du calibre le plus élevé pour lequel la proportion de particules > à 2 mm diminue.

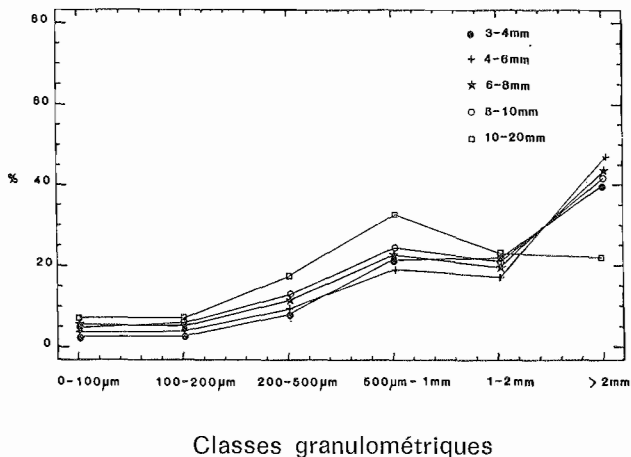


Figure 6 : Relation entre le calibre initial des agrégats et la D.T.P.R. après réhumectation (Boigneville).

Relation between size of initial aggregates and D.T.P.R. (Boigneville).

Il faut noter que ce résultat est en partie déterminé par le protocole utilisé, qui permet un apport d'eau illimité et réparti sur toute la base de l'agrégat. Il est clair qu'en cas d'apport ponctuel et limité (gouttes de pluie), les petites mottes seraient les plus vulnérables car le rapport entre le volume d'eau apporté à chaque instant et le volume poral de chaque motte serait plus élevé (risque de piégeage d'air plus important).

De plus, si le volume total d'eau apportée était limité et inférieur au volume poral de l'agrégat, la désagrégation n'affecterait qu'une partie de l'agrégat.

Des études sous pluie simulée devraient permettre de préciser cette interprétation.

2. Discussion

Cet ensemble de résultats, concernant l'influence de quelques paramètres de l'état initial des agrégats vis-à-vis de la fragmentation à la réhumectation, permet de préciser plusieurs aspects de ce processus :

— l'influence de l'état hydrique est la même dans le cas de la réhumectation par capillarité et dans celui de l'immersion, bien que les DTFR soient différentes dans les deux cas. Ceci pourrait indiquer que le déterminisme de la désagrégation est, au moins en partie, le même ;

— le gonflement seul ne suffit pas, pour ces matériaux limoneux à entraîner une microfissuration. On a pu constater, lors d'expérimentations complémentaires, qu'aucune désagrégation n'intervenait à la suite d'une réhumectation sous vide, même pour des agrégats de plus gros calibres (20 mm) ;

— le calibre initial des agrégats a peu d'influence sur la distribution dimensionnelle des particules produites.

Si l'on tente de transférer ces résultats au comportement de la surface du sol en conditions naturelles, on est amené à penser que les paramètres étudiés sont interdépendants : les petits agrégats sèchent plus vite que les gros et sont donc plus rapidement vulnérables, et ce d'autant plus, que l'apport d'eau est limité. Mais il est probable que la périphérie des plus grosses mottes subit une évolution comparable, et cette microfissuration périphérique doit être favorisée par l'existence d'une porosité structurale importante, génératrice de points de fragilité des agrégats.

Or, la structure des agrégats est liée aux antécédents cultureux (MANICHON, 1982 ; PAPY, 1984 ; STUTTARD, 1984 ; BULLOCK et al., 1988) ; la sensibilité à la microfissuration d'un matériau donné doit donc probablement varier, indépendamment de ses caractéristiques intrinsèques, en fonction de l'histoire de la parcelle (MONNIER et al., 1982 ; KEMPER et ROSENAU, 1984).

CONCLUSIONS

Nous avons donc montré qu'une évolution structurale correspondant à l'individualisation d'agrégats millimétriques à partir d'éléments structuraux de plus grande taille pouvait intervenir lors d'une réhumectation, même sans apport d'énergie cinétique.

Il apparaît que ce type de désagrégation, appelé microfissuration, peut être obtenu, suivant la texture et la structure des matériaux, par deux mécanismes différents :

- l'éclatement partiel pour les matériaux à porosité lacunaire (sols limoneux) ;
- le gonflement différentiel pour les matériaux plus argileux.

Dans le cas des matériaux à porosité lacunaire et à faible gonflement potentiel (c'est-à-dire pour des teneurs en argile inférieure à 40 %), le premier mécanisme semble prédominant. Dans le cas contraire, le rôle du gonflement est très net. Mais les risques de microfissuration des agrégats sont dans les deux cas liés au nombre et à l'amplitude des alternances hydriques, ainsi qu'à la cinétique de réhumectation : ce sont les mêmes facteurs qui ont une influence (CONCARET, 1967 ; MBAGWU et BAZZOFFI, 1988).

En revanche, les paramètres de constitution des matériaux jouent en sens inverse pour les deux mécanismes :

- la fissuration par éclatement partiel augmente lorsque la teneur en argile diminue, à cause de l'augmentation du volume des lacunes et de la diminution de résistance mécanique des agrégats (FIES et STENGEL, 1984) ;
- la fissuration par gonflement augmente lorsque la teneur en argile augmente, du fait de l'augmentation du gonflement potentiel.

Il est cependant probable que dans la gamme des textures intermédiaires (30 à 50 % d'argile), les deux mécanismes puissent intervenir conjointement.

En ce qui concerne le rôle des matières organiques, les résultats montrent qu'elles ont une influence sur l'intensité de la microfissuration en limitant la vitesse de réhumectation par diminution de la mouillabilité.

Par rapport à l'éclatement total intervenant lors d'une immersion, le protocole utilisé pour cette expérimentation place les agrégats dans une situation d'éclatement modéré, et ce, d'autant plus que l'humectation est lente et que les possibilités d'échappement d'air sont élevées. Il existe certainement une continuité entre les deux types de processus, en fonction de l'intensité du mécanisme d'éclatement.

La microfissuration a une action très importante vis-à-vis de l'évolution structurale, qui est indépendante de l'énergie cinétique de la pluie, mais qui est fortement liée à l'état hydrique initial et à la vitesse d'apport de l'eau (LE BISSONNAIS et al., 1989). La taille des particules mobilisées est intermédiaire (0,2 à 1 mm), quelle que soit la dimension initiale des mottes, et la quantité résultante de particules de ce calibre est fonction de la quantité totale d'eau apportée. Il est clair que, étant donné leur dimension, ces particules sont très vulnérables à une désagrégation mécanique et à un déplacement par rejaillissement sous l'action des gouttes de pluie.

Il est probable que ce processus, souvent passé inaperçu, du fait de sa place transitoire dans l'évolution structurale de la surface, joue un rôle déterminant, aussi bien sur la dynamique de ce phénomène, que sur la structure des croûtes résultantes, et donc sur les risques de ruissellement et d'érosion. Ceci suggère que la sensibilité des matériaux vis-à-vis de ce processus soit prise en compte dans l'évaluation de la stabilité structurale et de l'érodibilité des sols, ainsi que dans les modèles de formation des croûtes.

Reçu pour publication : Février 1989

Accepté pour publication : Mai 1989

BIBLIOGRAPHIE

- BOIFFIN J.**, 1984. — La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de docteur-ingénieur. INA-PG, 320 p + Annexes.
- BULLOCK M.S., KEMPER W.D., NELSON S.D.**, 1988. — Soil cohesion as affected by freezing, water content time and tillage Soil Sci. Soc. Am. J. 52, 770-776.
- CONCARET J.**, 1967. — Etude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre au contact des solutions aqueuses. Ann. Agron., 18 (1), 65-90.
- ELLISON W.D.**, 1945. — Some effects of raindrops and surface flow on soil erosion and infiltration. Trans. Am. Geophys. Union, 26, 415-429.
- FARRES P.J.**, 1980. — Some observations on the stability of soil aggregates to raindrop impact. Catena, 7, 223-231.
- FIES J.C.**, 1984. — Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelettes : comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie au mercure. Agronomie, 4 (9), 891-899.
- FIES J.C., STENGEL P.**, 1984. — Relations entre la constitution granulométrique et minéralogique et les caractéristiques de l'espace poral des sols. Livre jubilaire du cinquantenaire de l'AFES, 235-240.
- GRAS R.**, 1974. — L'emprisonnement d'air lors de l'humectation des corps poreux. Science du sol, 1, 49-60.

- HALLAIRE V.**, 1988. — La fissuration d'un sol argileux au cours du dessèchement. I. Description in situ. *Agronomie*, 8 (2), 139-145. z
- HENIN S.**, 1938. — Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. Thèse Paris, 70 p.
- KEMPER W.D.** et **ROSENEAU R.C.**, 1984. — Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 1001-1006.
- KEYRABI D.**, **MONNIER G.**, 1968. — Etude expérimentale de l'influence de la composition granulométrique des terres sur leur stabilité structurale. *Ann. Agron.*, 19 (2), 129-152.
- LE BISSONNAIS Y.**, 1988a. — Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse Doct. Univ. Orléans, 225 p.
- LE BISSONNAIS Y.**, 1988b. — Comportement d'agrégats terreux soumis à l'action de l'eau : analyse des mécanismes de désagrégation. *Agronomie*, 8 (10), 87-93
- LE BISSONNAIS Y.**, **BRUAND A.**, **JAMAGNE M.**, 1989. — Laboratory experimental study of soil crusting : relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure. *Catena*, vol. 16.
- MANICHON H.**, 1982. — Influence des systèmes de culture sur le profil cultural. Elaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse doc. ing. INA PG, 232 p.
- MBAGWU J.S.C.**, **BAZZOFFI P.**, 1988. — Stability of microaggregates as influenced by antecedent moisture content, organic waste amendment and wetting and drying cycles. *Catena*, vol. 15, 565-576.
- MONNIER G.**, 1965. — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse Paris, 140 p.
- MONNIER G.**, **STENGEL P.**, **GUERIF J.**, 1982. — Recherche de critères de la fertilité des sols et de son évolution en fonction du système de culture. C.R. Coll. CEE « Fertilité des sols et système de culture ». Bari, 35-57.
- MONNIER G.** et **BOIFFIN J.**, 1986. — Influence des conditions d'utilisation agricole des sols sur l'érosion par l'eau ; cas des systèmes de culture de l'Europe de l'Ouest.
In : Soil erosion in the European Community. Impact of changing Agriculture. Chisci et Morgan (eds).
- PAPY F.**, 1984. — Comportement du sol sous l'action des façons de reprise d'un labour au printemps. Effet des conditions climatiques et de l'état structural. Thèse doc. ing. INA PG, 232 p.
- SHIEL R.S.**, **ADEY M.A.**, **LODDER M.**, 1988. — The effect of successive wet/dry cycles on aggregate size distribution in a clay texture soil. *J. of Soil Sc.* 39, 71-80.
- STENGEL P.**, 1982. — Swelling potential of soil as a criterium of permanent direct-drilling suitability. 9^e conf. ISTRO (Yugoslavia), 131-136.
- STIRK G.B.**, 1954. — Some aspects of soil shrinkage and the effect of cracking upon water entry into the soil. *Aust. J. Agr. Res.*, 5, 279-290.
- STUTTARD M.J.**, 1984 — Effect of tillage on clod stability to rainfall : Laboratory simulation. doc. multigr, 17 p.
- UTOMO W.H.**, **DEXTER A.R.**, 1982. — Change in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non saturated soil. *J. Soil Science* - 33, 623-637.

r l'Etude c