

## Tests de comportement des sols salés ou non salés vis-à-vis de l'eau

Sigala F., Fies J.C., Guennelon R.

*in*

Bouchet R. (ed.).  
Reuse of low quality water for irrigation

Bari : CIHEAM  
Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 1

1989  
pages 169-181

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI000399>

To cite this article / Pour citer cet article

Sigala F., Fies J.C., Guennelon R. Tests de comportement des sols salés ou non salés vis-à-vis de l'eau. In : Bouchet R. (ed.). *Reuse of low quality water for irrigation*. Bari : CIHEAM, 1989. p. 169-181 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 1)



<http://www.ciheam.org/>  
<http://om.ciheam.org/>

# Tests de comportement des sols salés ou non salés vis-à-vis de l'eau

Frédéric SIGALA, Jean Claude FIES  
et Roger GUENNELON  
Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)  
Science du Sol - Avignon - France

## Résumé

### Stability tests for sodic and non-sodic soils subjected to water application

*In a previous paper (Sigala et al., this issue) the modifications of physical and mechanical properties of aggregates and clumps were studied with regard to sodic and non-sodic soils. We present here useful tests for studying the stability of aggregates, clumps and clump-clusters, related to dispersive water action. Sodic aggregates are not as strong as non-sodic ones, but for both materials the resistance against breaking depends directly on the moisture content. The actual dispersivity (water dispersed particles smaller than 20  $\mu\text{m}$ . compared to the effective sum "clay + silt") is quite the same for both kinds of soils ( $\text{ESP} = 0.5$  and  $\text{ESP} = 22.5$ ). The main differentiating disaggregation process is the shivering of aggregates.*

*For clumps the quantity of shifted material (after fragmentation and dispersion by drops of water) is linearly dependent on the volume of water falling down to the sample; it depends on the actual state of the sample, i.e. humid or dry, and on the level of structural porosity (void index = 0. or 0.4).*

*When little clumps are organized in rather thin beds, the impact of water drops leads to a compaction of the surface sheet, more important for sodic material, which results in pounding and a decrease in infiltration.*

Dans un précédent article (SIGALA et al., 1988), on a montré que certaines propriétés physiques et mécaniques de sols dont la CEC était ou non partiellement saturée en ions  $\text{Na}^+$  subissaient des modifications.

Il importe de voir comment ces modifications peuvent influencer sur la stabilité des arrangements structuraux tels qu'ils peuvent exister au champ, lorsqu'ils sont soumis à l'action physique et mécanique de l'eau, par humectation ou par chocs gravitaires (pluies ou aspersion).

Les techniques mises en oeuvre ne sont en fait que des tests, normalisés dans le cadre de l'étude, et qui ont pour résultat d'induire une fragmentation de matériaux lorsque le potentiel de l'eau est amené au voisinage de zéro (annulation de la cohésion inter- et intra-agrégats).

## I - Matériel et méthodes

### 1. Matériaux utilisés

On a utilisé pour cette étude des matériaux décrits dans l'article déjà cité, à savoir, un sol argileux calcaire à diverses teneurs en Sodium échangeable, réalisées artificiellement :

- Témoin 1 : ESP = 0,5% ;
- Témoin S1 : ESP = 22,5% ;
- Témoin S3 : ESP = 16,5%.

### 2. Méthodes expérimentales

#### A. Test de stabilité texturale

Ce test a pour but d'étudier, par méthode comparative, la fragmentation des agrégats, par action relativement ménagée de l'eau. Le matériel et la procédure expérimentale ont été mis au point et décrits par Hénin et Monnier, 1969. Les agrégats sont tamisés à sec entre 1 et 2 mm., réhumectés sous vide, à un potentiel de  $-2 \text{ hPa}$ , puis ramenés à diverses teneurs en eau, soit sur des plaques à succion en équilibre à différents potentiels, soit en présence de silicagel (pour les plus faibles teneurs en eau).

La résistance d'agrégats vis-à-vis de l'eau est testée au travers, successivement :

- d'un apport d'eau brutal (les agrégats sont plongés dans un récipient plein d'eau) ;

- d'une agitation mécanique standardisée et d'un tamisage.

Sous l'action de la réhumectation brutale, une première fragmentation des agrégats se produit ; puis, l'agitation mécanique érode encore les agrégats restants. In fine, l'échantillon étudié est partitionné en :

- éléments particuliers supérieurs à 200  $\mu\text{m}$ . (agrégats fragmentés stables) ;

- éléments inférieurs à 200  $\mu\text{m}$ ., dont on détermine par sédimentation, la fraction inférieure à 20  $\mu\text{m}$ .

#### B. Test de stabilité des mottes

On procède, comme dans l'article déjà cité (Sigala et al., 1988), en réalisant par compactage à partir d'agrégats humides (à diverses teneurs en eau) des massifs cylindriques dont la porosité structurale est nulle (indice des vides structuraux :  $e_s = 0$ ) ou voisine de 20% ( $e_s = 0,4$ ). Ces cylindres sont coupés en deux selon un plan diamétral et seront appelés "mottes reconstituées", ou, plus simplement, "mottes".

Certaines sont soumises au test dans leur humidité initiale de fabrication ("mottes humides") ; d'autres sont soumises au test après séchage ("mottes sèches"). Ces mottes sont arrosées grâce au dispositif représenté à la Figure 1, la hauteur de chute des gouttes étant l'un des paramètres mis en jeu. La motte est placée sur un grillage à mailles carrées de 4 mm. et l'on récupère les produits de la désagrégation à deux niveaux :

- les particules les plus grossières (Ag) sont arrêtées par un tamis de maille de 200  $\mu\text{m}$  ;

- les particules les plus fines sont collectées dans un flacon sous le tamis.

Lorsque la hauteur d'arrosage est fixée à  $h = 3,5 \text{ m}$ ., les projections sont abondantes et sont récupérées sur une plaque rectangulaire de  $20 \times 40 \text{ cm}$ ., placée le long de l'un des côtés de la "motte".

Le test dure 80 minutes et six prélèvements sont effectués à 5, 10, 20, 60, 80 minutes. Les résultats sont exprimés en mg. de matière déplacée par unité de surface, celle prise en compte étant la surface projetée des "mottes", soit 40 à 50  $\text{cm}^2$ .

### C. Test d'arrosage de "lits de mottes"

Afin de se rapprocher des conditions existantes au champ, on a également testé la stabilité d'un système complexe dit "lit de mottes". Des mottes prélevées *in situ* sont tamisées entre 0,8 et 1 cm. (taille 1) ou entre 1,5 et 4 cm. (taille 2). Ces mottes sont placées sur un tamis à mailles de 2 mm., sous forme de lit de 2,5 cm. d'épaisseur (pour les mottes de taille 1), comme l'indique la Figure 2. La hauteur de chute des gouttes d'eau permutée est de 1,25 m. avec flux constant de 65 mm/h.

On récupère les matières entraînées et passant à travers le lit de mottes, et on mesure l'évolution du flux d'eau en sortie au cours du temps.

## II - Résultats expérimentaux

### 1. Stabilité des agrégats

Pour la première fraction isolée à partir de l'étude de la stabilité des agrégats (Ag : taille sup. à 200  $\mu\text{m}$ .), on obtient deux comportements bien distincts des échantillons non-sodiques T et sodique S (Figure 3). De façon générale, le taux d'agrégats ainsi fragmentés mais non dispersés, augmente avec l'humidité initiale  $H_{pi}$  ; par contre, l'échantillon présente une résistance beaucoup plus élevée à la fragmentation que l'échantillon sodique.

Pour la fraction inférieure à 20  $\mu\text{m}$ ., on observe, assez rationnellement, le phénomène inverse (Figure 4), en ce qui concerne l'influence du Sodium ; par contre, l'incidence de l'humidité initiale des échantillons est à peine marquée. La fraction intermédiaire (de 20 à 200  $\mu\text{m}$ .), obtenue par différence, rapportée au taux d'éléments peu fragmentés (Ag), représente un indice de fractionnement ; il est très élevé pour l'échantillon sodique aux faibles humidités (Figure 5), avec un maximum à  $H_{pi} = 11-12\%$ , cet indice étant pratiquement nul pour le sol témoin T.

Par ailleurs, si l'on compare la fraction inférieure à 20  $\mu\text{m}$ . à la somme "Argile + Limon Fin" de la fraction inférieure à 200  $\mu\text{m}$ . (après dispersion totale effective), on s'aperçoit que la dispersivité des deux échantillons est comparable (Figure 6), sauf, peut-être aux très faibles humidités. On peut donc en conclure qu'en définitive, le phénomène primordial commun est l'éclatement

des agrégats, mais que la résistance mécanique plus élevée de l'échantillon non-sodique, déjà signalée précédemment (Sigala, 1988), explique à elle seule les différences observées aux Figures 3 et 5).

### 2. Arrosages sur mottes

Les résultats de ce texte sur mottes reconstituées sont exprimés en quantité totale de matière déplacée en fonction de la quantité d'eau apportée (Figure 7 et 8, Tableau 1) ; au vu de ces résultats, on peut admettre qu'une relation linéaire représente bien le phénomène de "destruction" de la motte, les ajustements réalisés sur les résultats étant tous hautement significatifs. On peut donc prendre comme indice simplifié, la quantité recueillie pour une "pluviométrie" de 80 mm, soit le maximum de volume d'eau apporté dans chaque cas (Tableau 1).

Globalement, les mottes à indice de vide structural nul ( $e_s = 0$ ) sont moins sensibles (Figure 7) que celles à indice de vide 0,4 et, pour ces mottes, la hauteur de chute des gouttes ne semble pas un facteur déterminant sauf pour le sol témoin, séché avant la réalisation du test ( $TS_0$ ). L'utilisation de mottes à indice de vide structural égal à 0,4 (Figure 8) accroît les différences observées, c'est-à-dire, par exemple, que les mottes sodiques humides  $SH_4$  sont plus "sensibles" que les mottes témoins  $TH_4$  et la hauteur de chute  $h$  devient un facteur déterminant, surtout pour les mottes séchées non sodiques ( $TS_4$ ).

### 3. Arrosages sur lit de mottes

Ce type d'essai rend compte de façon globale, d'une part de l'évolution de la structure du matériau, de sa dispersivité, et, d'autre part du colmatage réalisé par le gonflement ou le transfert, dans l'épaisseur du "lit de mottes", d'éléments fins qui viennent boucher les pores du système ; cela se traduit par une évolution de la transmittivité de l'eau et par des phénomènes observés de "flaquage".

Ce flaquage intervient quelle que soit la taille des petites mottes qui constituent le lit.

#### A. Observations visuelles de comportement

Le premier essai concerne les mottes de taille comprises entre 0,8 et 1 cm. Dès la chute des premiers millimètres d'eau, on observe la

dégradation en surface (aussi bien sur l'échantillon T que sur l'échantillon S<sub>3</sub>) des mottes qui présentaient au départ une structure ouverte, avec des micro-fissures (Type Γ (Gamma) de Manichon, 1982); après 4 minutes d'arrosage, ces mottes ont pratiquement disparu. Puis les mottes à structure continue du matériau témoin (type Δ de Manichon) se fissurent et la surface devient un lit d'agrégats. Après 6 minutes, les mottes Δ du matériau sodique se fissurent à leur tour, alors que celles du témoin non-sodique sont déjà totalement détruites. Au bout de 8 minutes, les mottes ont entièrement disparu de la surface, les agrégats du sol S<sub>3</sub> s'amenuisent et disparaissent également.

Pendant les 12 minutes suivantes, la surface du témoin est constituée d'agrégats de 0,5 à 3 mm., et est modifiée par l'apparition de petits cratères, saturés uniquement au moment de leur création par l'impact des gouttes. Par contre, la surface de S<sub>3</sub> devient luisante et se transforme en une flaque boueuse qui recouvre l'ensemble du lit.

Pour les mottes de 1,5 à 4 cm., les phénomènes sont identiques, mais la taille plus importante des éléments retarde aux alentours de 15-20 minutes la disparition des mottes Γ et la fissuration des mottes Δ.

### B. Transferts hydriques

Durant les 30 minutes d'arrosage, le lit de mottes du sol T s'imbibe (10 premières minutes), puis atteint ensuite une transmittivité constante égale au flux moyen imposé (Figure 9). Au contraire, le lit de mottes sodiques atteint bien cette perméabilité maximum entre 10 et 20 minutes, mais, après, celle-ci diminue fortement, provoquant le flaquage.

### C. Transfert de matière

En fin d'arrosage, les quantités de matière récupérées par passage au travers du lit de mottes sont plus élevées pour le témoin que pour le sol sodique (Figure 10). La forme des courbes "matière exportée en fonction du volume d'eau recueillie" est en parfait accord avec les observations visuelles et le comportement en transmittivité hydrique. L'exportation de matière est liée à l'éclatement des mottes Γ de l'échantillon S<sub>3</sub> et à la disparition des agrégats. La limitation du flux hydrique pour S<sub>3</sub> diminue le transfert de matière alors que ce transfert continue pour le témoin.

### D. Observation des mottes en fin d'arrosage

L'état du lit de mottes a été observé en fin d'arrosage, après séchage et imprégnation du système par une résine (Figures 11 et 12). On constate que seule la surface est perturbée sur 0,5-0,8 cm. de profondeur; au-dessous, les mottes conservent leur état structural.

La couche superficielle est perturbée différemment selon qu'il s'agit du témoin ou du sol sodique.

Pour le témoin T, la couche superficielle apparaît formée d'agrégats qui se répartissent en deux zones :

a) en surface, des agrégats de taille inférieure à 3 mm., bien individualisés et plus ou moins réguliers;

b) ils reposent sur une couche fine de 1 à 2 mm. d'épaisseur, très fragile, dont les éléments sont des matériaux dispersés, sables et limons faiblement agrégés. Cette "pellicule" repose sur des mottes à peine perturbées.

Pour S<sub>3</sub>, s'il demeure quelques agrégats en surface, on trouve au-dessous une couche perturbée, à structure continue, compacte, de 5-7 mm. d'épaisseur, qui enrobe quelques mottes non éclatées. Cette couche, examinée au MEB, se révèle formée de particules élémentaires, prises en masse lors de la dessiccation. Les couches sous-jacentes révèlent aussi en profondeur un entraînement de matériaux dispersés qui colmatent les pores situés entre les mottes non détruites.

---

## III - Discussion

---

Toutes ces mesures ou observations montrent donc les relations entre les propriétés physiques d'agrégats ou d'assemblages d'agrégats de matériaux sodiques ou non-sodiques, d'une part, et, d'autre part, le comportement de systèmes plus complexes que l'on peut assimiler à des horizons superficiels de sols.

D'une manière générale, les systèmes sodiques sont moins stables à l'éclatement et à l'impact mécanique que les systèmes non-sodiques, surtout lorsqu'ils ont déjà subi une micro-fissuration des agrégats.

Si l'on examine en détail le comportement des mottes, on voit que l'on peut distinguer un certain nombre de phases, la présence ou l'absence d'une porosité structurale étant déterminante pour le processus d'évolution.

**Phase de mobilisation :** elle conduit à l'individualisation des particules complexes ou élémentaires. Cette phase est essentiellement due à la micro-fissuration, que ce soit celle des agrégats soudés, pour les mottes à porosité structurale de 0,4 ou les mottes à structure continue ; liée au couple "potentiel de gonflement et cinétique d'humectation", elle diminue d'importance avec l'état hydrique initial.

Pour les matériaux non-sodiques, à cette phase, les effets de l'éclatement sont négligeables, même pour une porosité structurale élevée.

Pour les échantillons sodiques, cette micro-fissuration est plus poussée et les particules individualisées, plus petites.

**Phase d'arrachement :** elle a lieu quand les particules se détachent sous l'effet d'une force extérieure suffisante, en fonction du niveau de cohésion inter agrégats ou de cohésion texturale ; elle se manifeste selon l'histoire subie par ce matériau : si le matériau n'a pas subi de dessiccation préalable au test, on différencie peu le sol sodique du sol témoin ; si, par contre, il y a eu dessiccation, la sensibilité à l'arrachement est plus forte, consécutivement à la micro-fissuration, pour les échantillons sodiques à indice de vide nul ; mais pour les mottes structurées sodiques (indice de vide = 0,4), la cohésion inter-agrégats plus élevée limite l'intensité de cette phase d'arrachement.

La présence ou non de sodium échangeable va jouer également sur la quantité de matière déplacée et le taux de dispersion : dans tous les cas, ces effets sont plus forts pour les échantillons  $\text{Na}^+$  que pour les témoins, mais ils diminuent si les échantillons ne sont pas desséchés.

Les effets étant plus marqués sur les échantillons secs, il était donc plus intéressant d'en rechercher les conséquences sur les "lits de mottes". Au cours de ces dernières expériences, le phénomène le plus important apparu est la production de flaques sur les sols sodiques : une très faible épaisseur de matériau concerné par la dégradation (moins de 1 cm) est alors responsable d'une limitation drastique de la pénétration de l'eau.

Tout au long des arrosages des lits de mottes, il ne faut pas oublier que l'énergie dissipée lors de la chute des gouttes d'eau et l'agitation que ces gouttes entretiennent en surface, accroissent la compacité de l'arrangement des particules au cours du remplissage des mesopores, la dispersion du matériau sodique et la mise en suspension de la phase argileuse.

Il est à noter enfin que la fissuration plus tardive, au cours des arrosages, des mottes sodiques  $\Delta$ , indique un certain retard à l'humectation de ces dernières. Cette observation est en accord avec l'interprétation des phénomènes décrits sur mottes isolées (paragraphe 2) où le sodium peut apparaître comme responsable d'une diminution de la vitesse d'humectation.

Il faut donc qu'il y ait sur de tels matériaux la résultante d'un état physico-chimique (présence de Sodium échangeable) et action mécanique (impact des gouttes) pour que se manifestent les effets pernicieux sur l'infiltrabilité ; mais la limitation très superficielle de ces effets (en l'absence évidemment de compactage réalisé par des engins) montre qu'une très faible intervention culturale peut remédier à cet état de fait : cette croûte de "battance sodique" peut être facilement détruite. Vus sous un autre angle, les résultats de ces tests montrent que, au moins en sols argileux, les systèmes d'arrosage qui limitent d'une part la phase d'arrachement, d'autre part l'importance de la surface du sol affectée par l'apport d'eau, seront à préférer aux modes d'apports plus perturbants, tels que l'aspersion.

---

## IV - Conclusions

---

Ces expériences, menées en laboratoire, ont été complétées, pour les mêmes matériaux, par des essais au champ sur des parcelles témoins et des parcelles rendues sodiques par arrosage. On peut globalement comparer le comportement de ces deux types de parcelles.

La parcelle témoin n'a subi, à la fin de l'hiver, qu'une faible évolution structurale, allant même plutôt dans le sens d'une amélioration : formation d'agrégats stables par les alternances de dessiccation-humectation, à partir d'un sol préparé finement.

Au contraire, les parcelles sodiques ont vu leur état structural rapidement dégradé par les pluies,

par fermeture des pores de la surface, prise en masse de zones continues très peu perméables et diminution de l'infiltrabilité et flaquage dans les zones de dépression. L'importance du contraste entre l'évolution des deux types de parcelles dans des conditions relativement peu défavorables pourtant (saturation initiale de la CEC en cations  $\text{Ca}^{++}$ , avec une seule campagne d'arrosage en eau salée), montre toute l'attention à porter, pour l'irrigation des sols salés ou par des eaux saumâtres, à l'évolution de leurs propriétés physiques et hydrodynamiques.

### Références bibliographiques

HENIN, S. ; GRAS, R.; MONNIER, G., 1969.- *Le profil cultural*.- Paris : Ed. Masson.- 320 p.

MANICHON, H., 1983.- *Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique*. Thèse, Paris.- 214 p.

SIGALA, F., 1987.- *Etude de l'influence du sodium apporté par une irrigation estivale sur l'évolution de la couche superficielle d'un sol argileux sous l'effet de la pluie*. Thèse, Avignon.- 78 p. + annexes.

SIGALA, F. ; FIES, J.C. ; GUENNELON, R., 1988.- Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural (*Options Méditerranéennes*, ce volume).

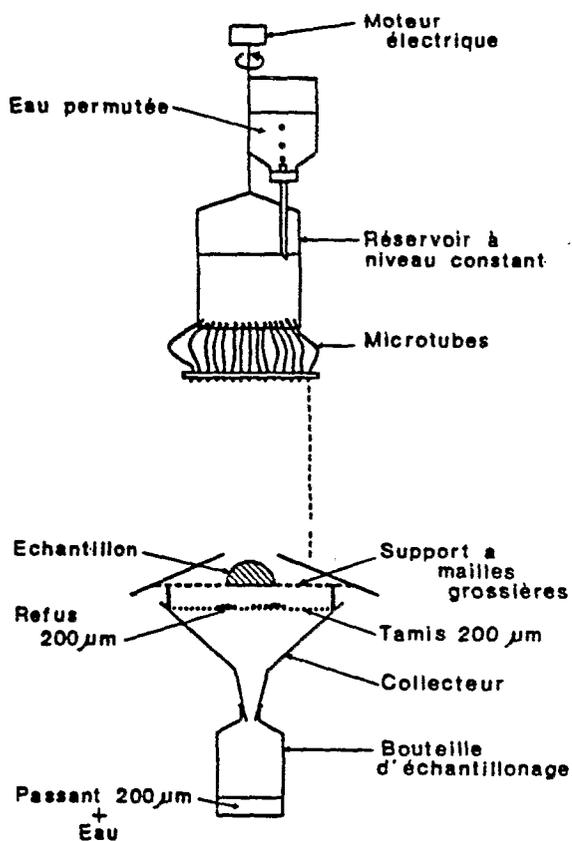
Table 1

- 1) Quantité totale de matière déplacée par un arrosage de 80 mm  
 2) Particules déplacées supérieures à 20 µm en pour cent du total  
 3) Quantité de matière déplacée, comprise entre 20 µm et 200 µm en pour cent du total déplacé

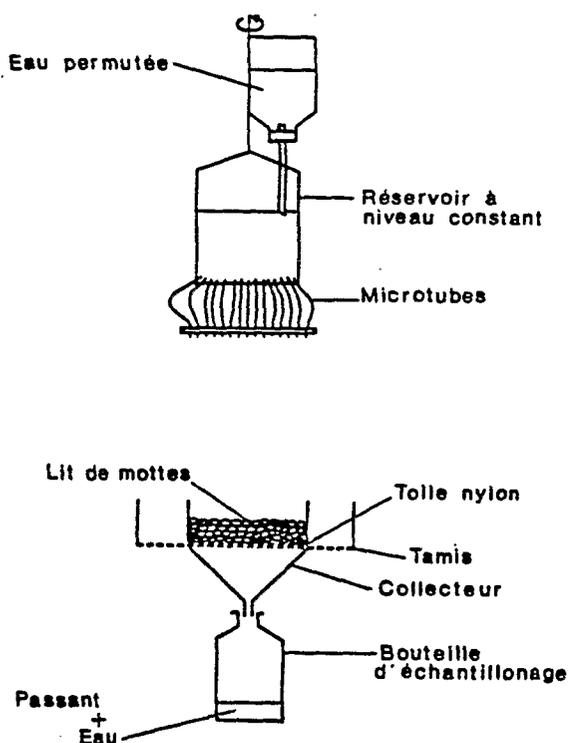
- 1) Total shifted material by 80 mm. sprinkling water  
 2) Shifted particles greater than 20 µm (per cent of the total)  
 3) Amount of shifted material, size between 20 µm and 200 µm, in per cent of the total

Dropping height (m.)		TH0	TH4	SH0	SH4	TS0	TS4	SS0	SS4	WH0	WS0
1) Total material in mg/cm.2	0,05	50	50	230	100	350	135	675	170	260	107
	1,00	40	150	540	500	930	870	935	408	731	341
	3,50	50	560	530	1050	1450	2000	1030	1380	654	485
2) Sup. to 20 µm %	0,05	94	93	77	58	98	97	94	92	32	79
	1,00	85	78	47	45	96	95	91	87	21	65
	3,50	46	78	33	45	91	92	86	87	32	34
3) 20 to 200 µm %	0,05	6	22	6	14	12	8	8	10	4	21
	1,00	1	0	7	15	6	3	8	6	6	10
	3,50	7	5	16	8	10	6	11	4	4	10

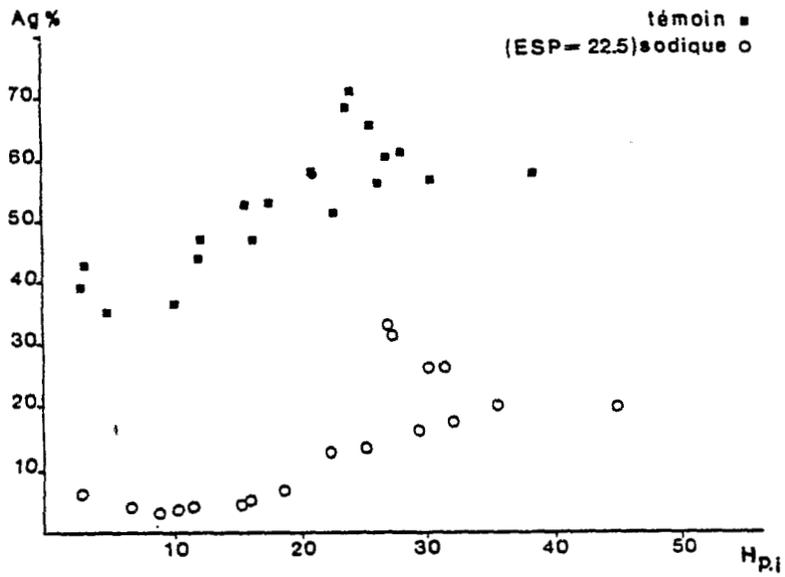
**Figure 1: Dispositif utilisé pour tester la stabilité des mottes**  
*Device used for testing clump stability*



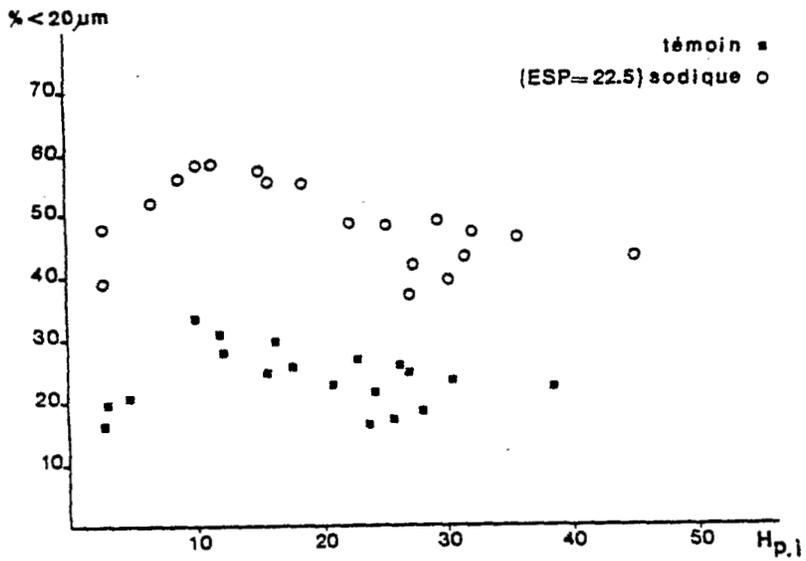
**Figure 2: Dispositif utilisé pour tester la stabilité et l'infiltration d'un lit de mottes**  
*Device used for testing "Clump bed" stability and infiltration*



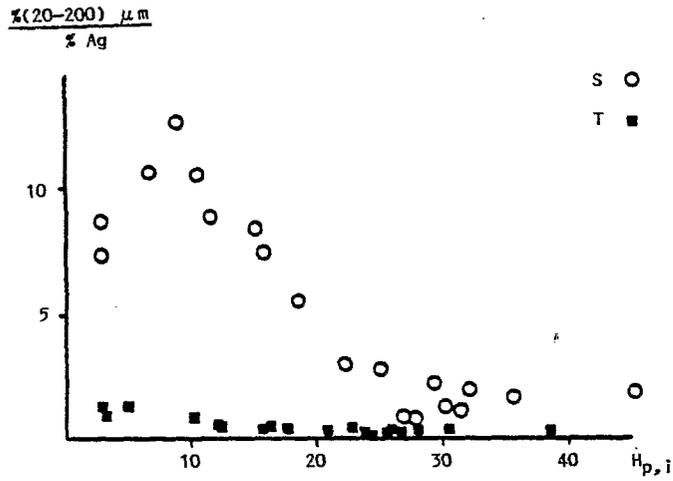
**Figure 3: Pourcentage d'agrégats stables supérieures à 200  $\mu\text{m}$**   
*Stable aggregates (size greater than 200  $\mu\text{m}$ ) in per cent*



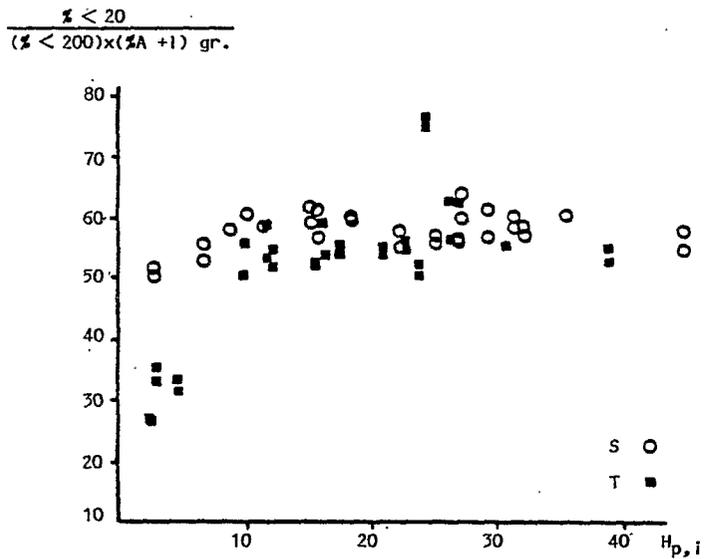
**Figure 4: Fraction déplacée, inférieure à 20  $\mu\text{m}$**   
*Leached material (smaller than  $\mu\text{m}$ )*



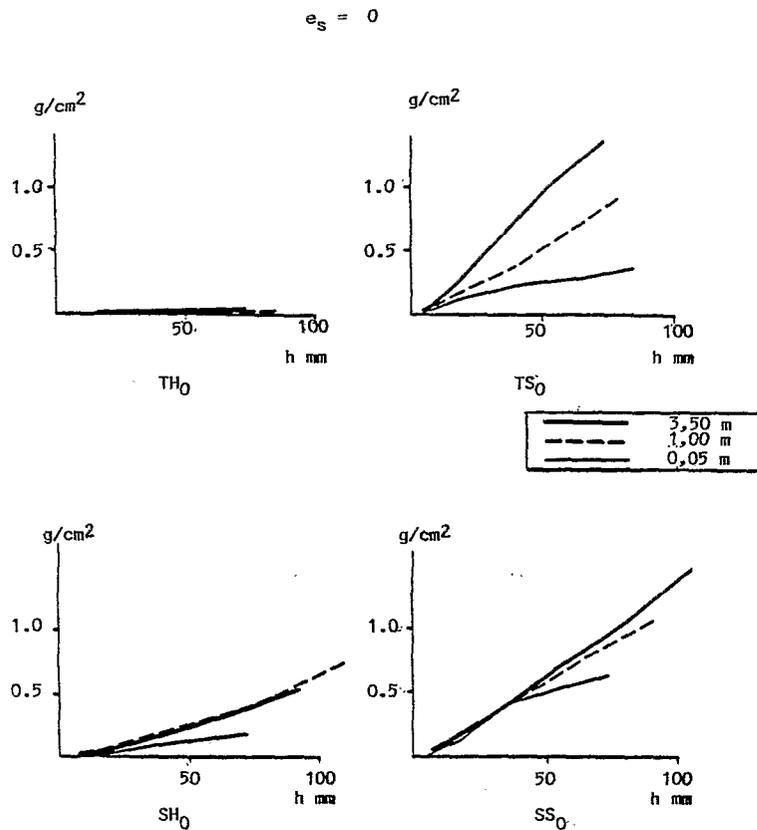
**Figure 5 : Indice de fractionnement des agrégats**  
*Breaking index of the aggregates*



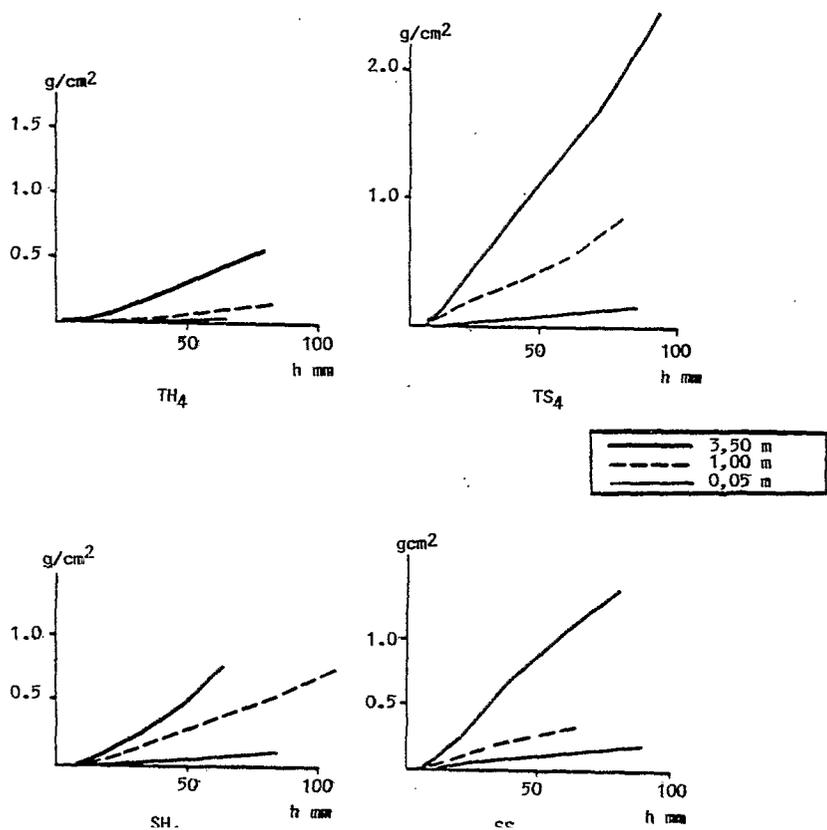
**Figure 6 : Dispersivité de la fraction inférieure à 20 μm, déplacée**  
*Dispersivity of the smaller than 20 μm shifted material*



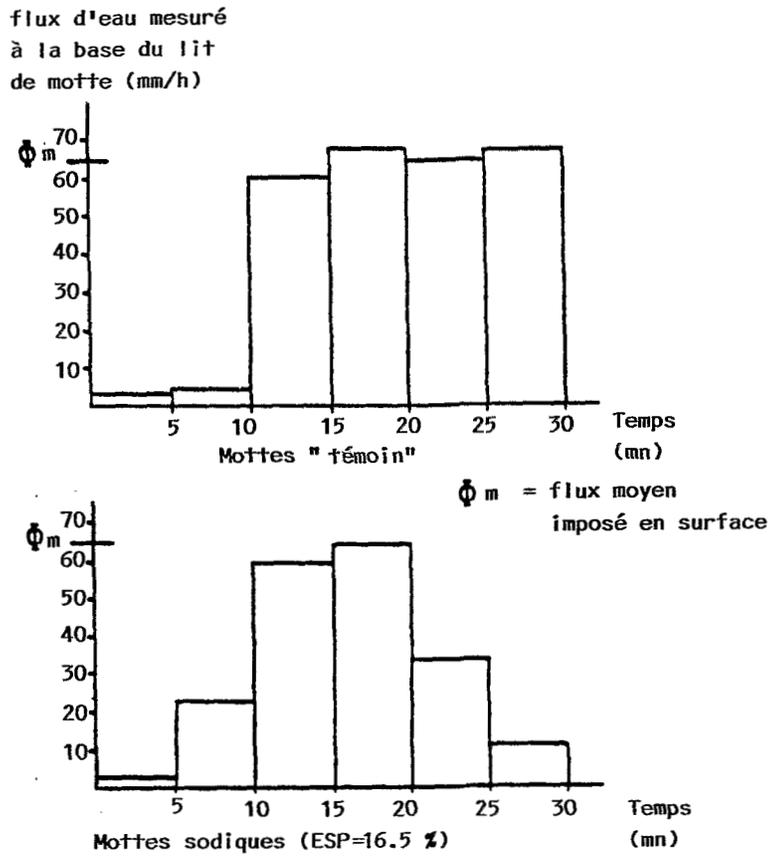
**Figure 7 : Dégradation de mottes : Quantité déplacées en fonction du volume d'eau d'arrosage et de la hauteur de chute des gouttes (mottes à structure continue)**  
*Disaggregation of clumps : Mass per unit surface related to sprinkling water volume and dropping height (continuous structured clumps)*



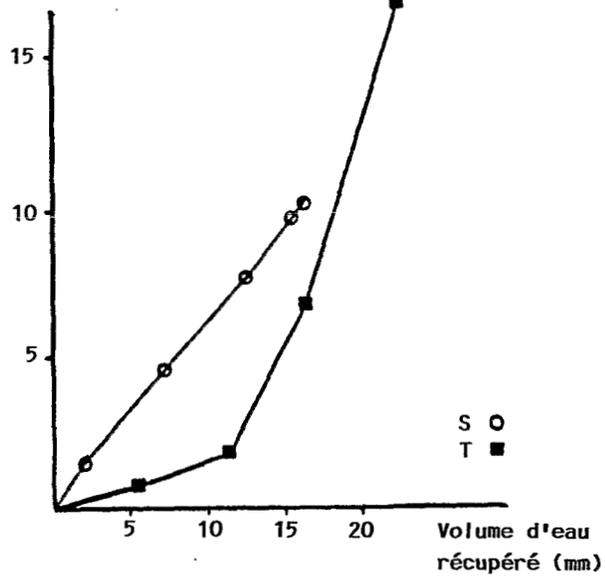
**Figure 8 : Dégradation de mottes : Quantité déplacée en fonction du volume d'eau d'arrosage et de la hauteur de chute des gouttes (Mottes structurées à indice de vide : 0,4)**  
*Disaggregation of clumps : Mass per unit surface related to sprinkling water volume and dropping height (Clumps with structural void index : 0.4)*



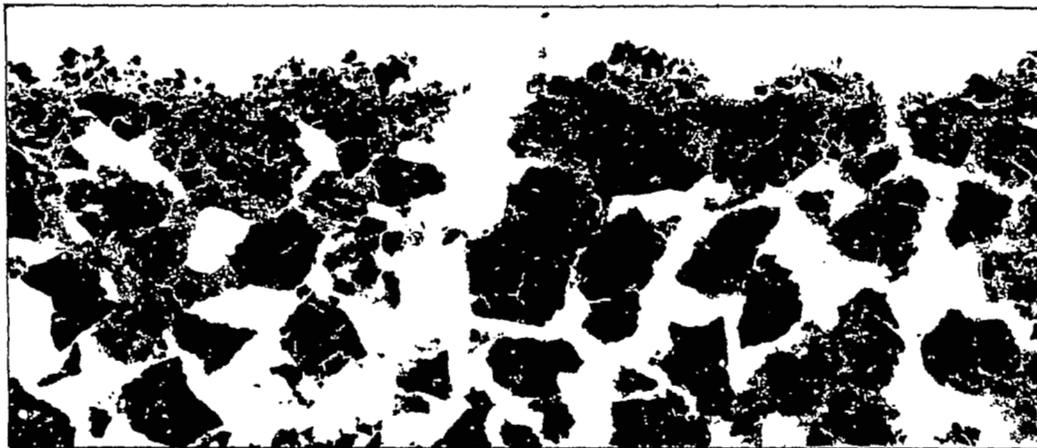
**Figure 9: Evolution de l'infiltrabilité d'un lit de mottes**  
*Evolution of clump beds during infiltration*



**Figure 10 : Dégradation de mottes : Quantité déplacée en fonction du volume d'eau apportée**  
*Disaggregation of clump beds : Transported material versus recovered water volume*



**Figure 11: Etat de surface du lit de mottes témoin**  
 (Hauteur d'eau apportée : 32 mm - hauteur de chute : 1,25m)  
*Superficial structure of non saline clump bed*  
 (Water height : 32 mm - Dropping height : 1.25 m)



2 cm

**Figure 12: Etat de surface du lit de mottes sodiques**  
 (Mêmes conditions opératoires que figure 11)  
*Superficial structure of saline clump bed*  
 (Same operating conditions as for figure 11)



2 cm