

Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural

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 159-168

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

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI000398>

To cite this article / Pour citer cet article

Sigala F., Fies J.C., Guennelon R. **Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural**. In : Bouchet R. (ed.). *Reuse of low quality water for irrigation*. Bari : CIHEAM, 1989. p. 159-168 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 1)



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

Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural

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

Résumé

The influence of sodium on the textural and structural properties of soil

Using saline and non saline soils, experiments were conducted to evaluate the role of exchangeable Na^+ on physical and mechanical properties of aggregates and clumps. At the same potentials, soils having more than 12.5% ESP showed a higher moisture content than non saline or weakly Na-saturated soils.

In the same manner, the more Na-saturated the soil is, the lower the moisture content of the shrinkage limit. The pores of sizes between 50 and 1,000 nm. induce a volume of void space for Na-soils greater than for the control sample. The mechanical resistance of dried clumps is greater for sodic than for non-sodic soils. On the contrary, the difference between both materials is unimportant as regards this mechanical property.

La réussite de cultures en sols salés ou par irrigation par des eaux saumâtres dépend non seulement de facteurs physiologiques, tels que résistance des plantes au Chlorure de Sodium ou de la disponibilité de l'eau, mais aussi des propriétés physiques et mécaniques des sols, lorsqu'elles sont modifiées par le taux de salinité et peuvent influencer sur le développement des plantes.

La modification des propriétés physiques va jouer un rôle sur les propriétés hydrodynamiques et, partant, sur la dynamique de l'eau au cours de l'irrigation.

La modification des propriétés mécaniques, et l'évolution de la structure et de la porosité qui en découle, vont influencer la croissance de la plante, au moment de la levée, et le développement, plus ou moins aisé, du système racinaire. Il est donc important d'étudier l'évolution de ces propriétés et, en particulier, d'essayer de prévoir l'effet mécanique de l'eau (apportée par aspersion ou, accessoirement, par les pluies) qui peut aboutir à des détériorations de l'état structural du sol.

Le présent article vise à mettre en évidence la variation de certaines propriétés au niveau textural (agrégats) et structural (massifs d'agrégats ou mottes). Il s'agit d'un travail exploratoire, pour lequel des techniques ont été adaptées ou mises au point, pour multiplier ce type de travail sur des matériaux, et pour des conditions de salinité, différents.

I - Matériel et méthodes expérimentales

1. Matériaux utilisés

Deux types de matériaux (sols) ont été utilisés (Tableau 1) :

– sol dit "des Vignères" : il s'agit d'un sol calcaire à texture argileuse (smectites et illites). Trois échantillons ont été étudiés : un sol témoin (T) sans salinisation et deux sols (S_1 et S_2) ayant des taux de salinité différents ;

– sol dit "de l'Ouest" : c'est un matériau prélevé dans un sol naturellement sodique de la région des marais de l'Ouest de la France (W).

2. Méthodes expérimentales

2.1. Teneur en eau et potentiel des agrégats

Les échantillons ont été préparés sous forme d'agrégats secs de 2–3 mm. La relation avec la teneur en eau a été établie en dessiccation après resaturation des agrégats, soumis préalablement au vide pendant 48 heures. Les différents points de la courbe de succion ont été obtenus :

– sur table de succion pendant 48 h. (-2 à -100 hPa) ;

– sur presse Richards pendant 48 h. (de 100 hPa à 10^7 Pa) ;

– au-delà, par équilibre en phase vapeur pendant 3 semaines.

2.2. Courbes de retrait

Les matériaux sous forme d'agrégats sont réhumectés sous vide (à potentiel de -2 hPa) ; ils sont desséchés progressivement et, pour diverses teneurs en eau, on détermine leur volume massique apparent, $1/P_a$. La dessiccation est réalisée par évaporation contrôlée sous silica-gel ou par succion, en équilibre à différents potentiels ; la mesure du volume des agrégats est réalisé par la méthode au pétrole (Monnier *et al.*, 1973).

2.3. Espace poral textural

La caractérisation de l'espace poral textural a été effectué sur des agrégats secs par porosimétrie au mercure (Diamond, 1970 ; Newman, 1979).

2.4. Résistance à la rupture

Les agrégats, ou les "massifs" d'agrégats, à divers taux d'humidité, sont soumis à une contrainte en compression et la force exercée au moment de la rupture est enregistrée graphiquement par un capteur (Guérif, 1989 ; Sigala, 1987). Les "massifs" d'agrégats sont préparés à partir d'agrégats à différents taux d'humidité initiale H_i . Ces agrégats sont compactés de façon à obtenir soit des cylindres ($L = 2,4$ cm, $\varnothing = 7$ cm), ayant tous un indice de vide de l'ordre de 0,4, soit des "mottes", qui sont des cylindres ($L = 7$ cm, $\varnothing = 7$ cm), coupés en deux selon un plan diamétral.

Un premier groupe de cylindres a été soumis à l'essai mécanique aussitôt après sa préparation

(massifs "humides"), un second groupe l'a été après dessiccation (massifs "secs").

II - Résultats expérimentaux

1. Propriétés physiques

Ces propriétés s'expriment au niveau textural (mesures réalisées sur les agrégats) et au niveau structural (influence de la microfissuration des agrégats par humectation brutale, ou mesures sur des massifs d'agrégats ou des "mottes").

1.1. Relations "Teneurs en eau / Potentiel"

La **Figure 1** donne les résultats obtenus sur les échantillons T, S₁, S₂ et W. La présence de Sodium n'affecte pas les résultats pour un Pourcentage de Sodium Echangeable (ESP) inférieur ou égal à 12,5%. Par contre, pour les succions inférieures à $2.10^5 P_a$, il semble bien qu'il existe un seuil pour ESP au-delà duquel les échantillons sodiques présentent une plus forte humidité pondérale.

1.2. Courbes de retrait

Les courbes de retrait (volume massique en fonction de l'humidité pondérale) permettent de définir deux points caractéristiques (**Figure 2**) :

- le point d'entrée d'air E_A , où les points figuratifs s'éloignent de la droite de saturation ;
- la limite de retrait L_R , au-delà de laquelle il n'y a plus variation du volume massique.

La **Figure 3** donne les courbes de retrait des échantillons T, S₁, S₂ et W. Le décalage par rapport à la droite de saturation théorique des points linéairement alignés aux fortes humidités, est dû à l'air piégé durant réhumectation des échantillons.

Les allures similaires des courbes correspondant aux échantillons T et S₂ (respectivement 0,5 et 12,5 de ESP) confirment la faible influence du Sodium échangeable à ce niveau. Par contre, pour S₁ (ESP = 22,5), si le point d'entrée d'air reste toujours aux environs de 20% de teneur en eau pondérale, la limite de retrait est plus marquée et passe de 10% à environ 5% de H_p . L'échantillon W se rapproche de S₂ avec cependant un volume à l'état sec plus élevé (de l'ordre de 0,58).

Si l'on se reporte à un paramètre plus significatif que H_p , on voit que le point E_A correspond à une succion de 3.10^5 à $5.10^5 P_a$, tandis que la limite de retrait correspond à 25-30 MP_a , pour T et S₂ et monte jusqu'à $2.10^5 P_a$ pour S₁.

1.3. Espace poral textural

Pour les agrégats secs des échantillons T et S₂, la différence de porosité texturale mise en évidence par l'intrusion du mercure (**Figure 4**) est très marquée pour les pores de diamètre équivalent supérieur à 50 nm, alors qu'il n'y a pas de variation notable pour les pores de la phase argileuse : c'est donc au niveau de pores lacunaires (Fies, 1984) que l'influence du Sodium va être la plus importante.

2. Propriétés mécaniques

Les résultats concernent donc d'une part le niveau textural, où l'on a mesuré la résistance à la contrainte en compression des agrégats, et le niveau structural, où les mesures ont porté sur des cylindres appelés "massifs" d'agrégats. Selon Frydman, 1964 et Dexter, 1975, cette force mesurée a été convertie en résistance à la traction (Guérif, 1989, Sigala, 1987).

2.1. Résistance mécanique des agrégats

Les valeurs de cette résistance ont été déterminées sur une cinquantaine d'agrégats (**Figure 5**). Si l'on se réfère à la courbe de retrait, on voit que toutes les mesures effectuées se situent au-dessous du point d'entrée d'air, en ce qui concerne l'humidité ; le contraire, bien évidemment, correspondrait à une résistance quasi nulle. Les fortes dispersions observées peuvent venir des erreurs d'évaluation de la surface de rupture, paramètre à connaître pour effectuer la transformation de la contrainte de compression en résistance à la traction ; de plus, l'hypothèse de sphéricité des agrégats, utilisée pour la même raison, est généralement mal vérifiée. Enfin, la microfissuration des agrégats, pas nécessairement homogène, peut également contribuer à cette variabilité. Quoiqu'il en soit, on peut constater que l'échantillon sodique S₂ présente, au moins pour les faibles humidités, une cohésion légèrement plus faible que le témoin. Donc au niveau textural, le taux de sodium échangeable a tendance à diminuer la cohésion intraparticulaire du système.

2.2. Résistance mécanique des massifs

Le comportement est différent pour les massifs d'agrégats, car son déterminisme ne fait pas appel aux mêmes niveaux d'organisation (Figure 6). Pour les massifs "humides", la teneur en sel ne modifie pas cette caractéristique mécanique, la résistance à la traction étant maximale aux environs de $H_p = 12\%$. Par contre, pour les massifs "secs", selon l'humidité pondérale à la fabrication du massif, les comportements du terrain et du sol sodique sont voisins, jusqu'à l'humidité initiale de 10-12% ; au-delà la résistance à la traction du témoin augmente jusqu'à 20% environ, puis décroît, alors que la résistance du sol sodique augmente davantage sans atteindre de maximum, au moins jusqu'à une humidité de 20%.

Si l'on compare les résultats obtenus sur agrégats, on voit que leur résistance est toujours supérieure d'un ordre de grandeur à celle des massifs. On peut donc considérer que cette dernière va dépendre des contacts entre agrégats, ce que l'on vérifie par l'examen de la surface de rupture. Le comportement différent des massifs "secs", témoin et sodique s'explique par une plus forte déformabilité des agrégats sodiques, et une augmentation des surfaces de contact inter-agrégats lors de l'élaboration des massifs, surtout lorsqu'ils sont préparés aux fortes humidités.

On vérifie bien l'augmentation de ces surfaces de contact si l'on admet qu'elles sont inversement proportionnelles à la porosité structurale qui, effectivement, diminue pour des massifs préparés avec des agrégats très humides (Tableau 2). L'"efficacité" des contacts peut également être mise en cause : cette efficacité s'acquiert au séchage. L'interprétation des courbes obtenues pour les massifs humides peut être la suivante : en partant des agrégats les plus secs, la déformabilité, donc l'importance des surfaces de contact, augmente avec les teneurs en eau (partie gauche de la courbe, Figure 6,A) ; par contre, la résistance du contact ("cisaillement" au niveau du contact entre les agrégats) diminue au fur et à mesure que les échantillons sont plus humides (partie droite de la courbe, Figure 6,A).

III - Conclusions

Les propriétés physiques affectées par la présence de sodium échangeable se traduisent par des

modifications notables sur les courbes de retrait-gonflement : le point d'entrée d'air n'est pas sensiblement modifié et se situe pour tous les échantillons étudiés aux environs de 20-22% d'humidité pondérale (soit une succion de 10^5 à 10^6 Pa). Par contre, le retrait résiduel, qui est faible pour le témoin non sodique, devient notable dès que ESP est supérieur à 12,5% : on a donc, compte tenu de la présence du cation Na^+ , des arrangements particuliers de la phase argileuse, qui maintiennent un certain gonflement durant la déshydratation, de 22 à 10% d'humidité pondérale. Cette possibilité de gonflement entre ces deux limites de teneurs en eau va se traduire, au niveau structural, par une cohésion plus forte des massifs d'agrégats (Figure 6,B), cohésion qui se révélera lors de l'essai sur la résistance en traction des massifs "secs".

Sur le plan des conséquences, cette cohésion qui peut être acquise, par exemple, après une irrigation et un dessèchement ultérieur, peut provoquer l'existence de massifs indurés, pouvant s'opposer en profondeur à la pénétration des racines ou, en surface, à l'émergence des semis.

Si par contre, on maintient une humidité voisine de 10-15%, sans séchage notable, la résistance reste inférieure à $0,5-0,6 \cdot 10^2$ kPa et les conditions mécaniques sont plus satisfaisantes. Il y a donc une recherche de compromis à trouver entre des apports d'eau salée plus ou moins permanents, accroissant le stock de sodium échangeable, et le risque d'une dessiccation provoquant une détérioration des propriétés mécaniques, durant la période d'installation du peuplement végétal.

Références bibliographiques

- DEXTER (A.R.), 1975.- Uniaxial Compression of Weal Buttle Tilths.- *Journal of Terramechanics*, 12, n° 1, pp.3-14.
- DIAMOND (S.), 1970.- Pore Size Distributions in Clays.- *Clays and Clay Minerals*, n° 18, pp. 7-23.
- FIES (J.C.), 1984.- Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelette.- *Agronomie*, 4, n° 9, pp. 891-899.
- FRYDMAN (S.), 1964.- The Applicability of the Brasilian (indirect Tension) Test to Soils. *Austr. Journal of Applied Sci.*, n° 15, pp. 335-343.
- GUERIF (J.), 1989.- Factors influencing compaction-induced increases in soil strength. *Soil tillage R.*, 14.

MONNIER (G.), STENGEL (P.), FIES (J.C.), 1973.- Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux. Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol.- *Ann. Agron.*, 23, n° 4, pp. 533-545.

NEWMAN (A.C.D.) THOMASSON (A.J.), 1979.- Rothamsted Studies of Soil Structure. III. Pore Size

Distribution and Shrinkage Processes.- *J. Soil Sci.*, n° 30, pp. 415-439.

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.

Tableau 1: Caractéristiques des matériaux étudiés.
Analytical properties of studied soils.

| Identification | T | S ₁ | S ₂ | W |
|-------------------------------------|------|----------------|----------------|-------|
| Taux de sodium échangeable | 0,5 | 22,5 | 12,5 | 46,4 |
| Granulométrie p. 100 | | | | |
| 0 - 2 µm | 47,0 | 45,5 | 46,3 | 57,4 |
| 2 - 20 µm | 31,2 | 31,7 | 33,8 | 37,2 |
| 20-50 µm | 8,2 | 8,2 | 6,4 | 4,5 |
| 50 - 200 µm | 9,7 | 10,7 | 10,1 | 0,5 |
| 0,2 - 2 mm | 3,9 | 3,9 | 3,2 | 0,4 |
| Densité de solide g/cm ³ | 2,73 | 2,75 | 2,74 | 2,78 |
| C. org. p. mille | 9,3 | 9,6 | 11,7 | 7,1 |
| C.E.C. meq./100 g. | 21,8 | 20,8 | 20,7 | 20,2 |
| Calcaire total p. mille | 254 | 268 | n. d. | 132 |
| Mg. échang. meq./100 g. | 3,34 | 3,19 | n. d. | 10,00 |
| Na -id- | 0,11 | 4,65 | 2,56 | 9,37 |
| Conductivité mSi/cm. | 0,11 | 0,24 | 0,22 | 0,62 |
| pH | 8,30 | 9 | | 9,20 |

Tableau 2: Porosité structurale des massifs à diverses humidités
Clump structural porosity at various moisture contents

| H_p | $1/P_d$ | e_s | n_s |
|-------|---------|-------|-------|
| 23,70 | 0,620 | 0,44 | 20,5 |
| 20,25 | 0,591 | 0,41 | 20,1 |
| 14,21 | 0,540 | 0,41 | 21,6 |
| 12,27 | 0,522 | 0,41 | 22,2 |
| 9,63 | 0,501 | 0,41 | 22,9 |
| 7,25 | 0,500 | 0,44 | 24,2 |

Témoin: T

| H_p | $1/P_d$ | e_s | n_s |
|-------|---------|-------|-------|
| 18,65 | 0,582 | 0,37 | 18,8 |
| 15,68 | 0,557 | 0,40 | 20,7 |
| 10,86 | 0,523 | 0,43 | 23,0 |
| 9,53 | 0,516 | 0,44 | 23,7 |
| 6,60 | 0,510 | 0,43 | 22,2 |
| 4,30 | 0,506 | 0,41 | 22,8 |

Sol sodique: S₂

Figure 1: Relations teneur en eau/potential en dessiccation
Soil moisture content versus potential (drying phase)

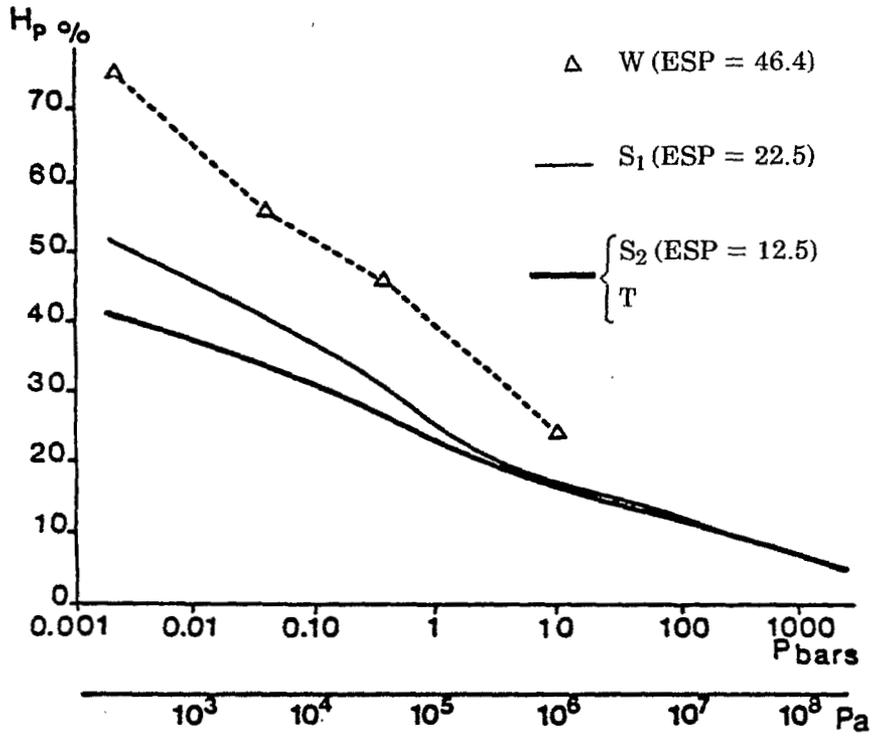


Figure 2: Points caractéristiques d'une courbe de retrait

Shrinkage curve:

- EA Air Entry Point
- LR Shrinkage

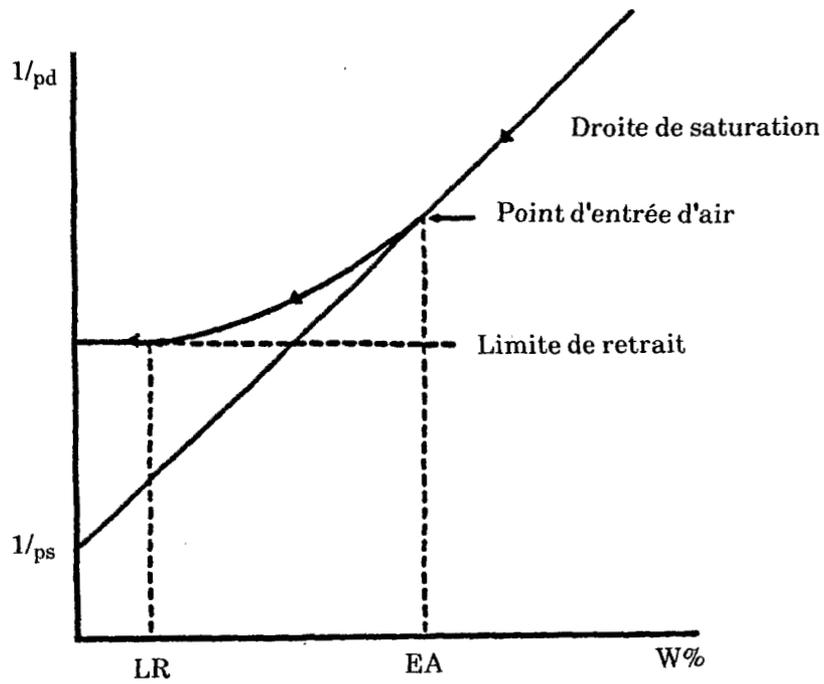


Figure 3: Courbes de retrait d'agrégats de 2-3 mm
 Shrinkage curves of aggregates (2-3 mm)

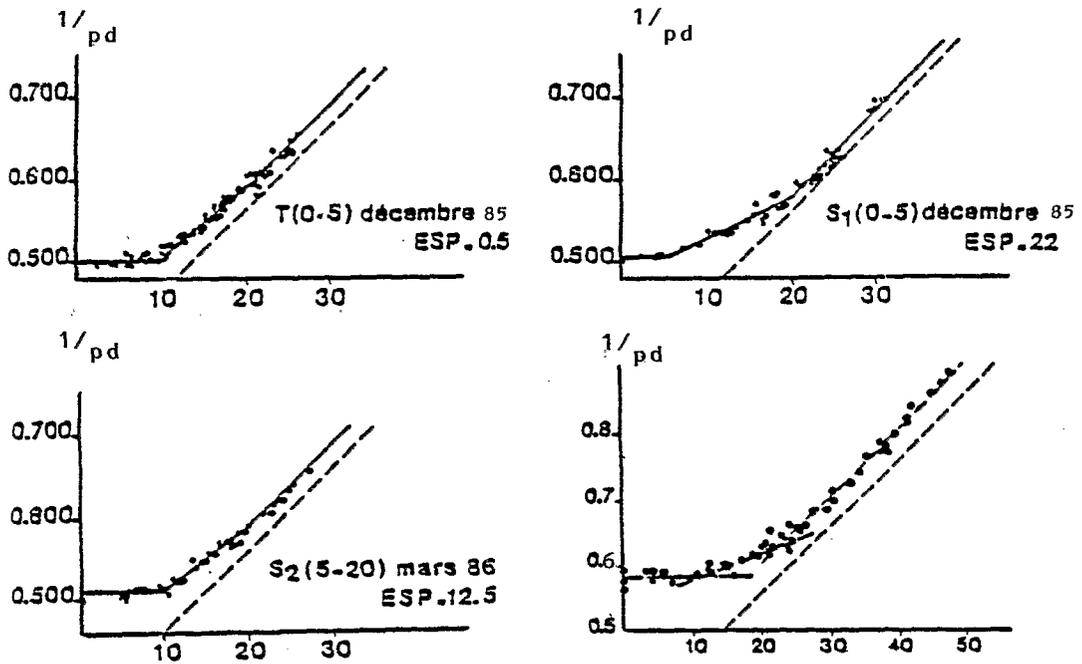


Figure 4: Volume de mercure intrudé dans le matériau
 en fonction du diamètre des pores d'accès.
 Intruded mercury volume in the soil material versus diameter of pore accesses

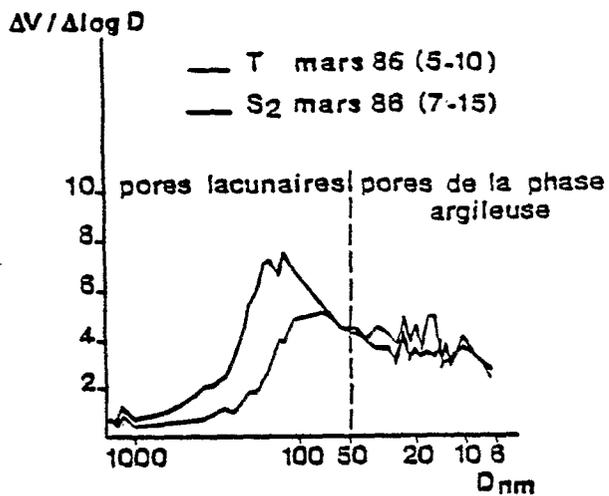


Figure 5: Résistance à la rupture en traction d'agrégats naturels de 2-3 mm
Tensile strength of natural aggregates (2-3 mm)

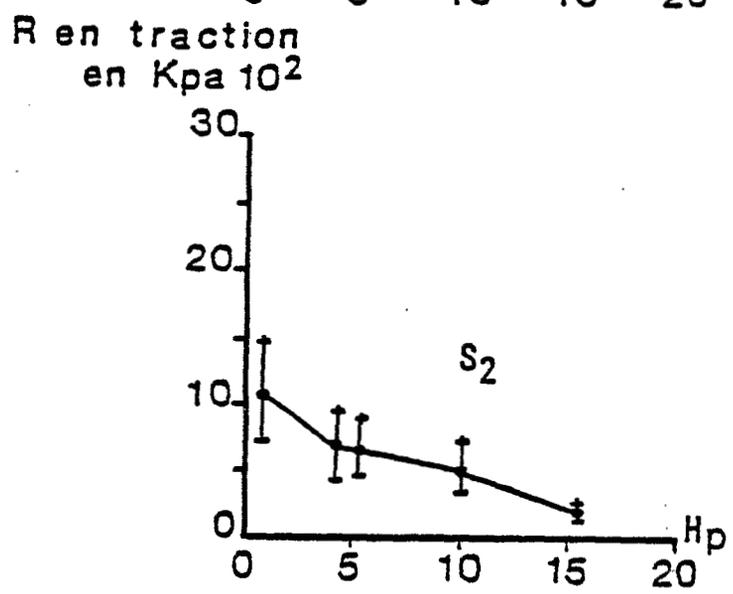
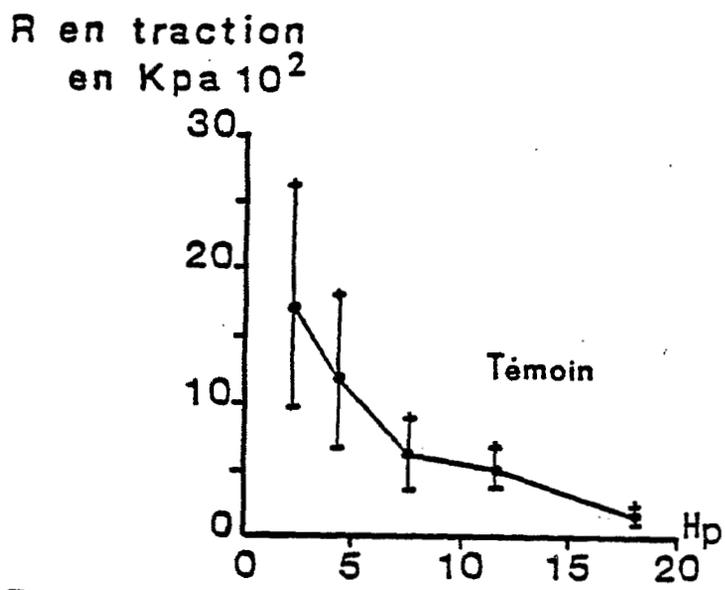


Figure 6: Résistance à la rupture en traction de massifs d'agrégats, d'indice de vide structural de 0,4.

Tensile strength of aggregate clumps with a structural porosity index 0.4

