

INFLUENCE DE LA TAILLE DES AGREGATS SUR LE COMPORTEMENT PHYSIQUE ET HYDRIQUE D'UN VERTISOL DE LA MITIDJA (ALGERIE)

Reçu le 08/06/2008 – Accepté le 22/12/2010

Résumé

L'importance de la taille des agrégats sur la rétention en eau et sur la variation de leurs volumes aux faibles énergies est mise en évidence sur un vertisol de la plaine de la Mitidja. L'expérimentation a été réalisée sur deux types d'agrégats différents par la taille:

- les agrégats centimétriques, supposés renfermer un ensemble de micropores et de macropores,
- les agrégats millimétriques comportant essentiellement de la porosité texturale.

Le dispositif d'ultrafiltration de Tessier et Berrier (1979) et la méthode au pétrole sont techniques employées pour mener cette expérience. Les résultats obtenus ont montré que les agrégats millimétriques retiennent plus d'eau, l'écart entre les deux branches de la courbe d'hystérésis dessiccation-humectation y est moins prononcé. Ce comportement résulte d'une présence plus importante de la microporosité, dû à un arrangement serré des particules constitutives de ces échantillons. Cette disposition limite par ailleurs les variations volumiques (retrait textural) subséquentes aux changements des taux d'humidité. A l'inverse, les agrégats centimétriques comportent une porosité à dominance structurale, ils sont plus sensibles aux variations d'humidité aussi bien en ce qui concerne le cycle dessiccation-humectation que celui des variations du volume apparent.

Mots clés: rétention en eau, agrégat, porosité, indice des vides, indice d'eau, vertisol, hystérésis

Abstract

The importance of the size aggregate on water retention as well as their volume variations with weak energies is well shown on a Mitidja vertisol. The experimentation has been carried according to two types of size different aggregate:

- the centimetric aggregate which are supposed to include a wide range of microporosity and macroporosity,
- the millimetric aggregate which are mainly made of microporosity.

The Tessier and Berrier's (1979) ultrafiltration device and the petroleum method have been the techniques used in order to carry this research. The results obtained have shown that the mm aggregate have higher water capacity and the gap separating the two branches of the hysteresis curve is less pronounced. The behaviour is the result of a more importance microporosity presence and which is at the same time the consequence of a tight ordering of the samples particles. These ordering limits, in other respects, the volume variations subsequent to humidity rate changes. Contrary to that the aggregates cm include a structural dominance porosity and they are more sensitive to the humidity variations concerning the dessiccation-humectation cycles as well as that of variations of the apparent volume.

Keywords: water retention, aggregate, porosity, index of void, index of water, vertisol, hysteresis,

B. DRIDI¹
N. ALKAMA¹
Y. DAUD¹

¹Institut National
Agronomique Hacen Badi
16200 El Harrach Algérie.

ملخص

إن أهمية حجم الكتل على احتباس الماء و التغيرات الحجمية بطاقة ضعيفة أثبتت في التربة الطينية المنفخة (Vertisol) لساحل المتيجة.

التجربة أجريت على نوعين من الكتل بحجم مختلف على نوعين من الكتل بحجم مختلف: كتل سنتيمترية تحتوي على نوعين من المسام. مسام مجهرية و الثاني يرى بالعين المجردة. كتل ميليمترية تحتوي فقط على مسامية شكلية.

إن جهاز ما فوق الترشيح لـ BERRIER و TESSIER (1979) و طريقة البترول تقنيتين عملا على تطوير البحث في هذا المجال و النتائج المحصل عليها تظهر أن: الكتل الميليمترية تحتوي على سعة كبيرة للماء. الانفراج القليل على مستوى الهستيريس بين منحني التجفيف - الترطيب ناتج عن تواجد هائل للمسامية المجهرية التي وجدت نتيجة التماسك الجيد للجزئيات المكونة للعينة. هذا الوضع يحدد إذن التغيرات الحجمية (تقلص شكلي) نتيجة التغير في مستوى الرطوبة. بالعكس الكتل السنتيمترية تحتوي على مسامية أغلبها شكلية جد حساسة لتغيرات الرطوبة و هذا على مستوى الدورة تجفيف - ترطيب من جهة و تغيرات الشكل الخارجي من جهة أخرى.

الكلمات المفتاحية: احتباس الماء، تغيرات الحجم، التربة الطينية (vertisol)، كتل، الهستيريس (hysteresis)، إشارة الماء، إشارة الفراغ.

Les phénomènes de gonflement et de retrait des sols subséquents à un apport d'eau peuvent être plus ou moins importants. En effet, leur intensité est en relation directe avec la quantité d'eau initiale, avec celle ajoutée ainsi qu'avec le taux et la nature de la fraction argileuse. Bien qu'ayant un grand pouvoir hydrophile, la fraction organique influence fortement la rétention en eau des sols, cependant, ses effets sont relativement limités en raison de ses teneurs assez faibles sous nos latitudes.

Les modifications physiques observées résultent de la réorganisation structurale et porale du matériau, conséquence des variations de la teneur en humidité. Ainsi, certains sols argileux présentent, lorsqu'ils sont secs, des fissures de grandes dimensions, délimitant des éléments structuraux très grossiers; humides, ils sont compacts et développent une structure massive à fine porosité (Hallaire, 1988 I et II; Voltz et Cabidoche, 1995).

Les vertisols sont l'exemple type de ces sols, ils se distinguent des autres sols argileux par la présence de «slinkensides» ou « faces de glissements ».

A l'étranger, ces sols ont fait l'objet de nombreuses recherches (Dudal, 1967; Kovda et al, 1996). Celles-ci ont montré que les plus grandes contraintes à leur exploitation sont principalement d'ordre physique. L'importance de la fraction argileuse de nature smectitique, à fort pouvoir gonflant en est la cause. Ces sols sont très dynamiques, ils gonflent et se rétractent en présence ou en absence d'eau et sont en effet sensibles physiquement aux moindres variations d'humidité. Ce comportement les rend difficiles à travailler pendant une longue période de l'année, soit qu'ils sont gorgés d'eau en hiver, soit qu'ils sont secs et fortement durcis en été (Duchaufour, 1977).

Malgré leur richesse chimique et leur relative étendue, les vertisols ont été peu étudiés en Algérie (Ould Ferroukh, 1994). Dans la plaine de la Mitidja (sud d'Alger), ils sont essentiellement consacrés aux fourrages, à la céréaliculture et parfois au maraîchage.

Les observations des agriculteurs ont révélé qu'avec les mêmes caractéristiques climatiques, les rendements variaient en fonction du travail du sol, ce qui laisse supposer que la taille des agrégats a une importance dans le comportement hydrique et physique des vertisols. En effet, l'affinement du lit de semence permet un contact optimum avec les graines semées et assure un meilleur stockage de l'eau, cependant, il expose la surface du sol à des risques de formation d'une croûte de battance lorsque les travaux ont lieu en automne. Cette technique étant plutôt indiquée pour les cultures de printemps.

Les travaux de Tessier (1984) et Bruand (1985) ont montré qu'à un pF donné, la rétention en eau d'un échantillon de sol augmente avec la diminution de la taille des agrégats qui le constituent. De même, ils ont mis en évidence qu'à humidité égale, le gonflement ou le retrait

sont liés à la taille des agrégats et en conséquence au volume des vides inter-agrégats.

Cette expérience vise à montrer l'importance de la taille des agrégats d'un sol argileux gonflant sur les phénomènes d'hystérésis et sur l'évolution des trois phases lorsque le sol est soumis à des variations d'humidité. Dans le but de reproduire les situations de terrain résultant de techniques différentes de travail du sol (lit de semences plus ou moins affiné), les mesures ont été effectuées sur deux types d'agrégats différents par la taille (millimétriques et centimétriques).

MATERIEL ET METHODES

Le sol étudié provient de la localité de Meftah à l'Est de la plaine de la Mitidja (36° 38' 40'' de latitude Nord et 3° 12' 53'' de longitude Est ; 39 mètres d'altitude).

Le climat de la région est de type méditerranéen avec une température moyenne au mois d'Août de 24,4°C ; celle du mois de Janvier est de 10,5°C. La pluviométrie moyenne annuelle est de 673 mm, avec une concentration des précipitations en hiver; l'été étant chaud et sec.

Au moment du prélèvement, le sol était cultivé en pomme de terre. Ce vertisol est développé sur des dépôts d'alluvions récents du quaternaire. Il appartient à la sous classe des vertisols à drainage externe nul et à structure anguleuse sur au moins 15 cm (C.P.C.S. 1967).

Matériel

Les échantillons proviennent d'un horizon cultivé, de 45 cm de profondeur, ses principales caractéristiques sont portées au tableau 1. Ce sol est constitué de 54% d'argile, sa teneur en matière organique est de 2,70% alors que la capacité d'échange cationique est de 30,9 Cmoles/kg de sol. L'analyse minéralogique a déterminé la prépondérance d'interstratifiés de type Illite-smectite (50-55%) auxquels s'ajoute environ 30 à 35% d'Illite et 15 à 20% de Kaolinite (Ould Ferroukh, 1994).

Méthodes

Les dimensions des agrégats: les mesures ont porté sur deux classes d'agrégats obtenues par tamisage ménagé à sec au moyen de tamis à mailles carrées.

- les agrégats centimétriques renferment une porosité à dominance de macropores. Ils sont obtenus en superposant deux tamis : les passants à travers le premier tamis de 2 cm de côté de maille sont retenus par le deuxième de 1,5 cm de côté de maille (refus).
- les agrégats millimétriques sont constitués essentiellement de micropores. Ils sont obtenus par tamisage à sec en superposant deux tamis : le tamis de 6 mm de côté de maille pour les passants et celui de 5mm de côté de maille retient les agrégats destinés à l'expérience.

Une gamme de contraintes croissantes variant de 10 à 800 hPa avec un pas de 100 à partir de 100 hPa est appliquée aux deux types d'échantillons (cm et mm) au moyen d'un dispositif d'ultrafiltration (Tessier et Berrier, 1979). Ces faibles contraintes permettent d'étudier le comportement du sol à des taux d'humidité élevés donc à un stade de plasticité et de gonflement élevés.

Les mesures ont été effectuées en drainage et en humectation afin de représenter graphiquement les résultats par la courbe d'hystérésis. A chaque contrainte, la variation du volume apparent a été mesurée par la méthode au pétrole (Monnier *et al.*, 1973). Les résultats sont exprimés par les indices d'eau (ew) et l'indice des vides (e), l'indice d'air étant obtenu par différence. L'emploi de cette technique a rendu nécessaire le renouvellement des échantillons pour chaque niveau d'énergie.

RESULTATS ET INTERPRETATION

Principales caractéristiques du sol de l'expérimentation

C'est un sol très argileux, constitué essentiellement d'illite-smectite, moyennement pourvu en matière organique. La C.E.C est élevée (30.90 Cmoles/kg de terre), ce qui traduit sa richesse chimique.

Tableau 1: Caractéristiques physiques et chimiques du sol

Paramètres	Méthodes	Résultats
Calcaire total (%)	Volumétrique au calcimètre de Bernard	1.31
pH	Potentiométrique (pHmètre)	7.6
Matière organique (%)	Anne	2.70
Azote total (%)	Kjeldhal	0.42
Granulométrie	Internationale à la pipette de Robinson	Argile 54
		Limon fin 25.4
		Limon grossier 7.1
		Sable fin 5.6
		Sable grossier 4.9
Capacité d'échange cationique (Cmoles/kg de terre)	Acétate d'ammonium à pH7	30.90
Taux de saturation (%)		92.4
Minéralogie des argiles en % (Ould Ferroukh, 1994)	A.T.D (à l'O.R.G.M Boumerdès)	50-55
Illite Smectite		
Illite		30-35
Kaolinite		15-20

Les courbes d'hystérésis

La représentation graphique des indices d'eau confirme l'existence du phénomène d'hystérésis illustré par les deux principales branches correspondant aux cycles drainage et humectation.

Les figures 1 et 2 mettent en évidence trois comportements différents:

- les agrégats millimétriques ont une rétention en eau plus forte que les agrégats centimétriques.
- les écarts entre les deux branches sont plus élevés dans les agrégats centimétriques, ce qui traduit une présence relativement plus importante de macropores dans ces derniers, car drainant plus rapidement l'eau retenue initialement. En effet, la porosité à dominante structurale résultant de la dimension plus importante de ces agrégats explique la présence des macropores ou pores inter-agrégats. De ce fait, on observe qu'à contrainte égale, la teneur en eau est plus élevée dans les agrégats millimétriques car constitués essentiellement de micropores fixant énergiquement l'eau.
- Contrairement aux agrégats millimétriques, la courbe humectation des agrégats centimétriques présente une évolution irrégulière, ce qui laisse supposer une succession de réarrangements structuraux irréguliers subséquents aux humidités croissantes.

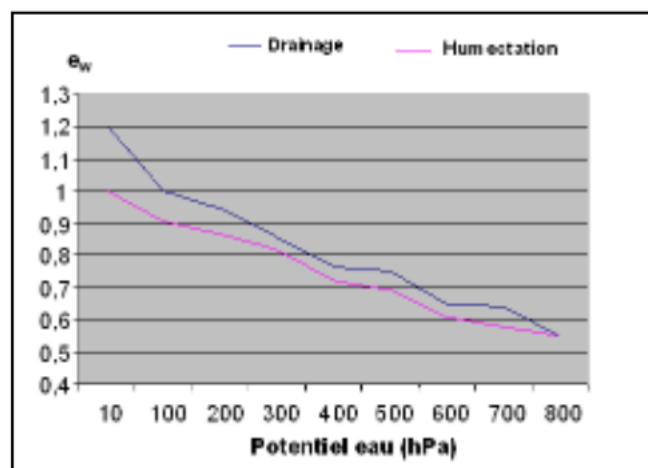


Figure 1 : Courbes d'hystérésis des agrégats millimétriques

Ce comportement peut être assimilé à des variations volumiques par seuil car elles ne sont pas proportionnelles aux différentes contraintes appliquées alors que la courbe millimétrique montre une évolution progressive traduisant un étagement régulier de la porosité.

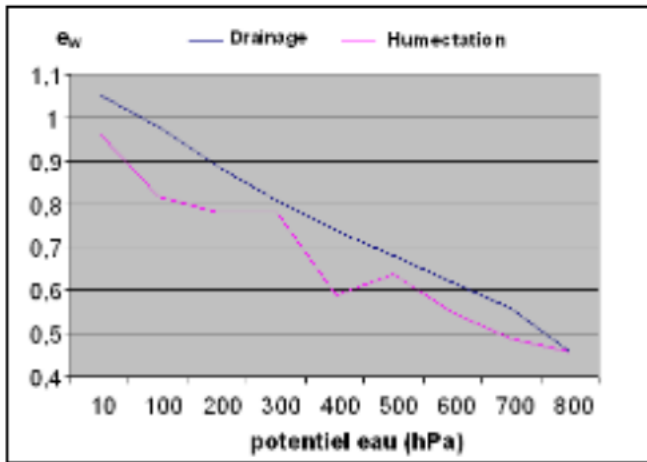


Figure 2: Courbes d'hystérésis des agrégats centimétriques.

Tableau 2: Comparaison des moyennes de l'indice d'eau en humectation des agrégats mm et cm.

Agrégats	Moyenne	Variance	N
mm	0,775	0,0222	8
cm	0,70125	0,0253	8
	t= 0,95712	P= 0,35474	

Malgré cette analyse visuelle, la comparaison des moyennes par le *t de Student* n'a pas montré de différences significatives au seuil de 5 % entre les deux types d'agrégats.

Evolution des indices des vides

La porosité des agrégats millimétriques étant d'origine texturale constitue donc la porosité intra-agrégats. Elle est le résultat d'un arrangement maximum des particules constitutives du sol. Contrairement à celle des agrégats centimétriques, cette porosité ne permet pas d'importantes variations volumiques lorsqu'elle subit des changements d'humidité.

Ainsi, l'indice des vides des agrégats centimétriques est légèrement plus élevé (1,08) que celui des agrégats millimétriques (1,02). De 0 à 100 hPa, la réduction est brutale, elle est progressive jusqu'à 500 hPa pour chuter à 600 hPa et reprendre enfin à 700 hPa. Ce comportement exprime une réduction brutale du volume, celle-ci devient plus ou moins proportionnelle aux contraintes appliquées.

L'évolution des agrégats millimétriques dont le volume est plus réduit, se caractérise par trois paliers : de 0 à 300 hPa, la pente est forte, traduisant un premier stade de retrait ; de 300 à 600 hPa, la réduction du volume est très faible car la pente est presque nulle, puis enfin de 600 à 700 hPa, on observe un dernier retrait (fig. 3).

Les variations volumiques des agrégats centimétriques sont « absorbée » par la porosité structurale ; à l'inverse, celles des agrégats millimétriques sont limitées en raison de leur taille.

Soumis au test du *t de Student*, les résultats n'ont pas montré de différences significatives en rapport avec la taille des agrégats au seuil de 5 %.

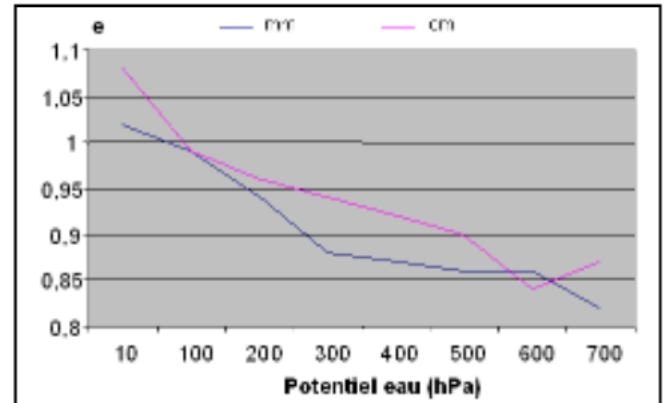


Figure 3: Indices des vides en humectation des deux types d'agrégats.

Tableau 3: Comparaison des moyennes de l'indice des vides des agrégats mm et cm.

Agrégats	Moyenne	Variance	N
mm	0,905	0,00497	8
cm	0,9375	0,00562	8
	t= 0,89314	P= 0,38688	

Evolution des indices d'air

Les écarts relativement importants entre les deux courbes indiquent des porosités totales différentes, évidemment plus élevées dans les agrégats centimétriques. En effet, les deux courbes ont des points de départ différents.

Dans l'agrégat centimétrique, à 0 hPa, une faible proportion de la porosité est encore occupée par l'air (0.12) alors que l'agrégat millimétrique est presque saturé d'eau sous cette même contrainte (0.02).

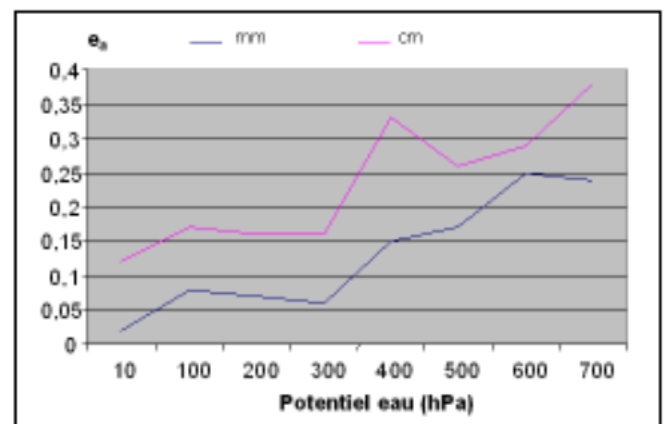


Figure 4: Indice d'air en humectation des deux types d'agrégats.

Si on se réfère à la loi de Jurin, ces pores ont un diamètre équivalent supérieur à 306 μm . Par ailleurs, observe que l'évolution de la courbe centimétrique est ascendante au-delà de la contrainte 700 hPa avec un pic à 400 hPa correspondant à la baisse brutale d'humidité constatée sur « ew » au même niveau de potentiel. La courbe représentant les agrégats millimétriques (ea) est plus régulière, son évolution s'arrête à partir de 600 hPa, traduisant ainsi le maximum de réarrangement de la texture. Au seuil de 5%, les différences entre les deux types d'agrégats sont significatives.

Tableau 4: Comparaison des moyennes de l'indice d'air des agrégats mm et cm.

Agrégats	Moyenne	Variance	N
mm	0,13	0,00737	8
cm	0,23375	0,00891	8
	t= 2,29961	P= 0,03738	

CONCLUSION

Les résultats montrent que les teneurs en eau les plus élevées sont obtenues avec les agrégats millimétriques alors que les plus grandes variations volumiques sont observées avec les échantillons centimétriques (retrait principalement structural). Ce comportement est illustré par les courbes d'hystérésis ainsi que par la mesure des indices des vides, d'eau et d'air. Au plan de la fertilité, ces résultats expliquent les différences de fertilité constatées par les agriculteurs lorsque l'itinéraire technique était différent d'une parcelle à l'autre. En effet, durant la période estivale, les sols finement émiétés (agrégats millimétriques) maintiennent un stock d'eau plus élevé, de ce fait, les cultures sont moins sujettes au stress hydrique, ce qui habituellement se traduit par un rendement plus élevé, toutes choses étant par ailleurs égales.

Enfin, ces données pourraient être confortées par l'application d'une gamme de contraintes plus élevées ainsi que par l'étude de ces sols sur lames minces et faces polies afin de mieux comprendre leur comportement interne.

Annexe 1: Diamètres équivalents des pores du sol et indices d'eau à différentes contraintes

Potentiel eau (hPa)	10	100	200	300	400	500	600	700	800
Diamètre(μm)	306	30.6	15.3	10.2	7.65	6.12	5.1	4.37	3.82
H% ag.cm									
Drainage	1.05	0.98	0.89	0.80	0.69	0.78	0.65	0.56	0.46
Humectation	0.96	0.82	0.78	0.78	0.59	0.64	0.55	0.49	0.46
H% ag.mm									
Drainage	1.2	1	0.95	0.86	0.76	0.75	0.65	0.64	0.55
Humectation	1	0.91	0.87	0.82	0.72	0.69	0.61	0.58	0.55

Annexe 2: Evolution des indices des vides (e) en fonction des contraintes

Potentiel eau (hPa)	10	100	200	300	400	500	600	700
Agrégats cm	1.08	0.99	0.96	0.94	0.92	0.90	0.84	0.87
C.V	0.05	0.08	0.03	0.09	0.14	0.02	0.04	0.04
Agrégats mm	1.02	0.99	0.94	0.88	0.87	0.86	0.86	0.82
C.V	0.04	0.10	0.01	0.08	0.08	0.08	0.10	0.20

Annexe 3: Evolution des indices d'eau (e_w) en fonction des contraintes

Potentiel eau (hPa)	10	100	200	300	400	500	600	700
Agrégats cm	0.96	0.82	0.78	0.78	0.59	0.64	0.55	0.49
C.V	0.09	0.02	0.08	0.10	0.03	0.01	0.21	0.06
Agrégats mm	1.00	0.91	0.87	0.82	0.72	0.69	0.61	0.58
C.V	0.05	0.09	0.04	0.05	0.09	0.10	0.03	0.07

Annexe 4: Evolution des indices d'air (e_a) en fonction des contraintes

Potentiel eau (hPa)	10	100	200	300	400	500	600	700
Agrégats cm	0.12	0.17	0.18	0.16	0.33	0.26	0.29	0.38
Agrégats mm	0.02	0.08	0.07	0.06	0.15	0.17	0.25	0.24

REFERENCES

- [1]- **Bouma J. et Loveday J. (1988)**- Characterising soil water regimes in swelling clay soils. In wielling L.P. and Puentes R.(eds) Vertisols: properties, classification and management. Texas A. et M. University Press: pp.83-96.
- [2]- **Bruand A. (1985)** - Contribution à l'étude de la dynamique de l'organisation de matériaux gonflants. Application à un matériau provenant d'un sol argilo-limoneux de l'Auxerois. Thèse Doc. d'Etat, Géologie appliquée. Paris VII. 219 p.
- [3]- **C.P.C.S. (1967)** – Commission de la pédologie et de la classification des sols. Association Française d'Etude des Sols. 70p.
- [4]- **Duchaufour Ph. et Souchier B.-** Pédologie I Constituants et propriétés des sols. Masson Paris. 236p.
- [5]- **Dudal R. (1967)** - Sols argileux foncés des régions tropicales et subtropicales. Collection F.A.O.: Progrès et mise en valeur. Agriculture, 83, 172p.
- [6]- **Hallaire V. (1988)** - La fissuration d'un sol argileux au cours du dessèchement. I. Mesures de l'affaissement et conséquences structurales. Agronomie, 7(8), pp.631-637.
- [7]- **Hallaire V. (1988)** - La fissuration des sols argileux au cours du dessèchement. II. Modélisation morphologique. Agronomie, 8(3), 273-280.
- [8]- **Kovda I., Morgun E. et Tessier D. (1996)** - Etude des vertisols à gilgai du nord Caucase: mécanisme de différenciation et aspects pédogéochimiques. Etude et gestion des sols. 3(1). pp.41-52.
- [9]- **Manichon H., (1982)** – Influence des systèmes de culture sur le profil cultural : élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse Doc. Ing. I.N.A. PG, 217p.
- [10]- **Monnier G., Stengel P., Fiès 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., 24 (5), pp.533-545.
- [11]- **Ould Ferroukh M.E.H. (1994)** - Etude du comportement physique des vertisols de la Mitidja. Mémoire de Magister. I.N.A. 127p.
- [12]- **Tessier D. et Berrier J. (1979)** – Utilisation de la microscopie à balayage dans l'étude des sols. Observation des sols humides soumis à différentes pF. Sci., 1 , 77-82.
- [13]- **Tessier D. (1984)** - Etude expérimentale des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. Thèse Doc. d'Etat Université Paris XII. 361p.
- [14]- **Voltz M. et Cabidoche Y. M. (1995)** - Non uniform volume and water content changes in swelling clay soil: II. A field study on a vertisol. European Journal of Soil sci., 46, pp.345-355.

