

Article

Effet du gypse sur la rétention en eau et la conductivité hydraulique (Ks) des sols des régions arides

Samia Souici ^{1,2,*}, Halima Mancer ² et Houria Rouahna ²

¹ Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger ; Souici_samia@yahoo.com

² Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, Biskra

* Correspondance : Souici_samia@yahoo.com

Résumé : Les sols gypseux sont largement répandus dans les régions arides et semi-arides là où les facteurs de leur formation sont réunis. En effet, il est nécessaire de déterminer les contraintes de l'agriculture dans ces sols car son développement est intimement lié à la mobilisation de l'eau dans le sol. L'objectif de cette recherche est d'étudier l'effet du gypse sur les capacités en eau et la conductivité hydraulique. Les mesures ont été portées sans traitement particulier puis après élimination du gypse de la région d'El Meghaier. Les échantillons du sol étudiés proviennent de deux profils : Un profil dans la palmeraie, et un autre profil en dehors de la palmeraie. Les résultats obtenus montrent que les sols sont perméables avec quelques variations dans les deux profils. Dans certains horizons, la conductivité hydraulique (Ks) augmente avec la diminution du gypse (les horizons du profil P1 et l'horizons h2 et h8 du profil P2), ces sols sont constitués de près de 50% de sable homogène et elle est moyenne dans les horizons h3 à h6 du profil P2, ce sont ceux formés de sable hétérogène. Dans le profil P2 sans gypse, la Ks est élevée par rapport à celle des horizons h3, h4, h5 et h6 dans le reste elle est comme celle du profil P1, elle est relativement rapide qu'avec le gypse elle est moyenne (2 à 6,35 cm/h) à rapide (6,35 à 12,7 cm/h) dans les horizons du profil P2. Les propriétés de rétention en eau ont été mesurées à 7 potentiels : -40; -80; -160; -320; -510; -1000; et -16000 kPa correspondant aux pF suivant: 1,6 ; 1,9 ; 2,2 ; 2,5 ; 2,7 ; 3 et 4,2 sur des échantillons préalablement saturés.

Mots clés : gypse ; horizon ; palmeraie ; conductivité hydraulique ; courbe pF

Received : 28 March 2022

Accepted : 09 January 2023

Citation : Souici, S. ; Mancer, H. ; Rouahna, H. Effet du gypse sur la rétention en eau et la conductivité hydraulique (Ks) des sols des régions arides. *Journal Algérien des Régions Arides* 2023, 15 (1): 119–129.

Publisher's Note : ASJP is an electronic publishing platform for Algerian scientific journals managed by CERIST, that is not responsible for the quality of content posted on ASJP.



Copyright: © 2022 by the CRSTRA. Algerian Journal of Arid Regions is licensed under a Creative Commons Attribution Non Commercial 4.0 (CC BY NC) license.

1. Introduction

Les plus grandes extensions des accumulations gypseuses sont localisées dans les zones présentant une moyenne des précipitations comprises entre 100 et 250 mm [1] là où les facteurs de leur formation sont réunis (présence de formation gypsifère, évaporation supérieure aux précipitations) et deviennent moins fréquentes dans les régions hyperarides où les précipitations sont inférieures à 100 mm [2]. Dans les régions humides, ces sols peuvent aussi être rencontrés localement là où le milieu n'est pas favorable au drainage [1].

Il est généralement admis qu'en petites quantités, le gypse a un effet favorable sur les propriétés fonctionnelles des sols et la croissance des plantes. Cependant, aux fortes teneurs, les sols gypseux sont considérés comme peu fertiles et ont des rendements relativement bas à cause, notamment, de leurs mauvaises propriétés physiques et du déséquilibre dans le prélèvement des éléments nutritifs par les racines des plantes [4]. En Algérie, ces sols bénéficient de peu d'intérêts [1,3], dans d'autres pays, les travaux effectués sont localisés et traitent de problèmes analytiques tels que la granulométrie, les capacités en eau [5–7]. En outre, les approches géochimiques minéralogiques ainsi que les caractérisations physiques sont très peu étudiées. Cependant, dans les palmeraies, en plus de la disponibilité de l'eau, on rencontre différents types texturaux de sols (sableux, limoneux et argileux) présentant des potentialités agricoles qui restent à évaluer en vue de leur mise

en valeur mais aussi de leur conservation notamment contre la salinité. De ce fait, Ce travail porte sur l'étude de la capacité de rétention en eau et la conductivité hydraulique (Ks) des sols cultivés et non cultivés d'une région aride à accumulations gypseuses ainsi que la détermination de l'influence du gypse sur leur fonctionnement. Pour mener à terme cette recherche, deux approches analytiques ont été retenues : mesures et analyses avec et sans gypse.

2. Matériels & Méthodes

2.1. Matériel

2.1.1. Région d'Etude

La région d'El Meghaier se trouve au Nord de la vallée de l'Oued Ghir, elle est caractérisée par un climat typiquement saharien. Cette dernière est située au Nord Est du Sahara, le long de l'Erg oriental et au sud des Aurès. Elle s'étend entre les latitudes Nord à $32^{\circ}54'$ et $34^{\circ}9'$. Le matériau parental des sols de l'Oued Ghir est d'origine mixte : alluvial et éolienne qui proviennent de l'érosion du niveau encroûté datant du quaternaire ancien ou mio-pliocène. Le relief est peu marqué, les pentes sont faibles de l'ordre de 1%.

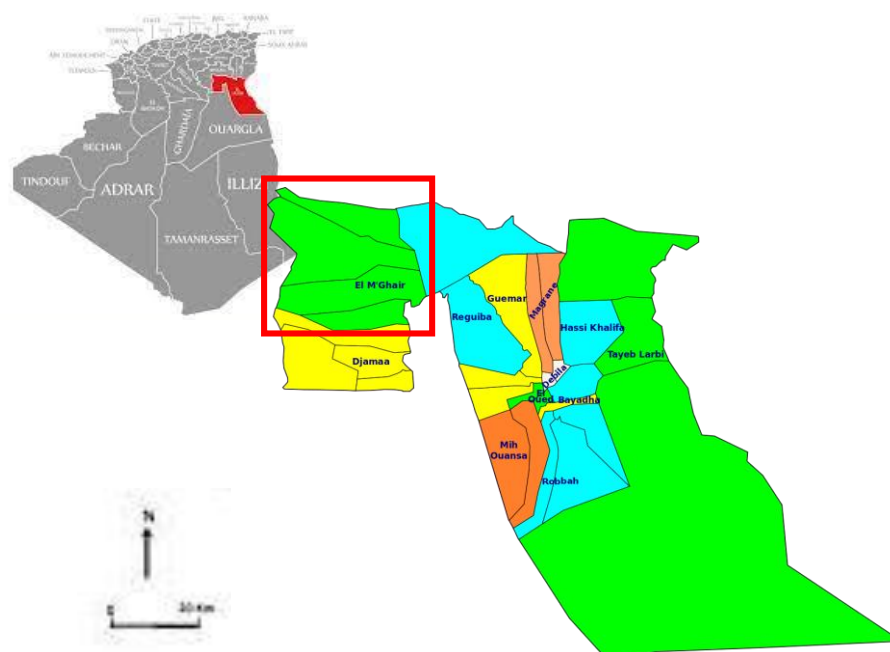


Figure 1 : Région d'Etude

2.1.2. Principales caractéristiques des sols étudiés

La prospection sur le terrain nous a permis de décrire des profils et de prélever des échantillons qui ont l'objet d'une caractérisation détaillée des sols des zones arides, de comprendre leur mode de formation et leur fonctionnement actuel.

Les échantillons du sol étudiés et analysés proviennent d'une toposéquence de sol se situant dans la palmeraie d'ELMeghaier; les prélèvements ont été effectués dans deux profils:

- Un profil dans la palmeraie, sur sol cultivé, situé en aval de la séquence, il comprend quatre horizons (h1, h2, h3, h4). Ces coordonnées sont $x : 5^{\circ}680'$. $Y : 34^{\circ}030'$. $Z : -20m$ avec une pente nulle
- L'autre profil se situe hors de la palmeraie, un sol non cultivé, situé en amont de la séquence, il se compose de huit horizons (h1, h2, h3, h4, h5, h6, h7, h8), ces coordonnées sont $x : 5^{\circ}685'$. $Y : 34^{\circ}030'$, $Z : -25 m$ et une pente de 50%

2.2. Méthodes

2.2.1. Analyses physiques

Emploi de méthodes conventionnelles, sans traitement particulier ont pour objectif de caractériser le sol naturel au plan physique. Puis après élimination du gypse pour déterminer l'influence de ce sel sur ses propriétés.

La destruction du gypse est réalisée par la méthode [5], celle-ci nécessite l'utilisation du NaCl, elle traite le gypse comme impureté. Par la suite, les Méthodes d'analyses et de mesures employées sont : i) l'humidité du sol à différents potentiels matriciels (pF) (table1) a été déterminée par Appareil de Richard (1954) sur des échantillons préalablement saturés ; ii) La conductivité hydraulique (Ks) a été mesurée par la méthode de Henin: colonne à charge constante (1966).

Table 1 : Différents niveaux de contraintes appliquées au sol de texture sableuse.

pF	Signification agronomique
0	Saturation
1,6	Drainage rapide
1,9	Drainage lent
2,2	Capacité de rétention
2,5	Rupture des liens capillaires
3	Humidité au point de flétrissement temporaire
4,2	Humidité au point de flétrissement permanent

Les résultats de l'analyse granulométrique, réalisée selon la méthode internationale à la pipette Robinson, ont permis de déterminer les textures de ces sols avec gypse la texture est sableuse à dominance de sables moyens et fins, selon leur origine. Après élimination du gypse, les résultats obtenus montrent que la texture est sableuse avec une baisse des sables grossiers et dominance des sables fins

Table2 : résultats des analyses des paramètres physiques, chimiques et biologiques des sols étudiés.

Paramètres		Granulometrie (%)							Gypse(%)	
Profiles	horizons	STG(1-2 mm)	SG(0.5- 1mm)	SM(0,2- 0,5mm)	SF(0.1- 0,2mm)	STF(0,05- 0.1 mm)	LG(0.002- 0.05mm)	LF(0,0002- 0.002mm)	A(<0.002 mm)	
P1	h1(avec gypse)	2,1	3,3	35,2	34,8	13,3	4	7,6		8.1
	h1(sans gypse)	1.2	24.8	6.9	24.6	26.3	9.5	4.6	4.6	
	h2(avec gypse)	1,1	5,1	34,2	36,2	11,2	1,8	11,1		14.2
	h2(sans gypse)	0.2	3.3	28.9	32.7	15	7.3	7.3	4.9	
	h3(avec gypse)	0,8	0,4	13,7	50,1	14,4	0,7	23		26.2
	h3(sans gypse)	0	0.4	15.3	56.7	15.3	4.9	4.9	4.9	
	h4(avec gypse)	5,7	5,1	15,6	46,5	5,5	0,8	21,3		43.2
	h4(sans gypse)	2.2	2.9	21	31.1	12.3	9.7	5	15.6	
P2	h1(avec gypse)	19.4	7.5	33.5	10.4	9.6	5.7	11.4		28.8
	h1(sans gypse)	2.6	4.9	36.4	28.6	8	12.2	4.9	2.4	
	h2(avec gypse)	1	1.9	49.9	32.8	5.1	1.5	8.8		16.7
	h2(sans gypse)	0.2	0.8	55.1	14.1	0.3	5	7.3	17.1	
	h3(avec gypse)	6.9	3.1	20.5	30.4	9.6	2.9	24.1		14.9
	h3(sans gypse)	0.2	0.3	9.9	17.1	23.5	18.4	11.1	20.8	

h4(avec gypse)	4.6	3.1	17.2	30.5	16	3.5	23.6		12.5
h4(sans gypse)	0.2	0.6	11	16.9	19.3	22.7	14.2	15.2	
h5(avec gypse)	4.7	2.1	14.6	26.7	15.5	7.3	24.3		14.3
h5(sans gypse)	0.2	1.9	14.8	22.8	11.6	17.4	15.5	16.3	
h6(avec gypse)	7.1	3	16.9	33.3	14.8	8.3	13.7		12.8
h6(sans gypse)	0.1	0.1	6.3	18.9	23	20.4	18.2	15.7	
h7(avec gypse)	1.7	1	28	26.5	16.6	9.6	16.6		6.5
h7(sans gypse)	0.1	0.1	6	24.6	34	16.7	2.3	16.7	
h8(avec gypse)	0.7	0.5	0.5	35.5	46	5	10.1		2.4
h8(sans gypse)	0	0	0.9	36	50.1	5.3	5.6	2.5	

3. Résultats

This section may be divided by subheadings. It should provide a concise and precise description of the experimental results, their interpretation, as well as the experimental conclusions that can be drawn.

3.1. La conductivité hydraulique(K_s)

3.1.1. Avec gypse

La conductivité hydraulique obtenue avec gypse dans le profil P1 est supérieure à celle obtenue après élimination du gypse, ces résultats ne sont pas en conformité avec la bibliographie. En effet, les mesures ont été réalisées sur des sols broyés et tamisés ; ils ne représentent plus le sol en place (Figure 2).

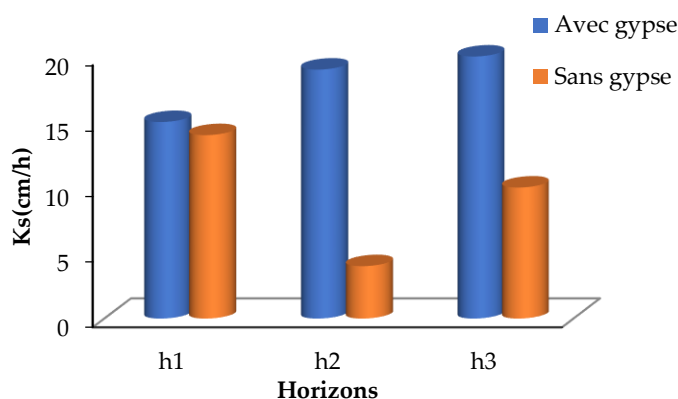


Figure 2. Conductivité hydraulique avec et sans gypse du profil P1.

Dans le profil P2, la conductivité hydraulique sans gypse est élevée par rapport à celle qui le contient dans les horizons h3, h4, h5 et h6 dans le reste elle est comme celle du profil P1 (figure 2). La conductivité hydraulique sans gypse est relativement rapide à rapide avec gypse elle est moyenne (2 à 6,35 cm/h) à rapide (6,35 à 12,7 cm/h) dans les horizons du profil P2.

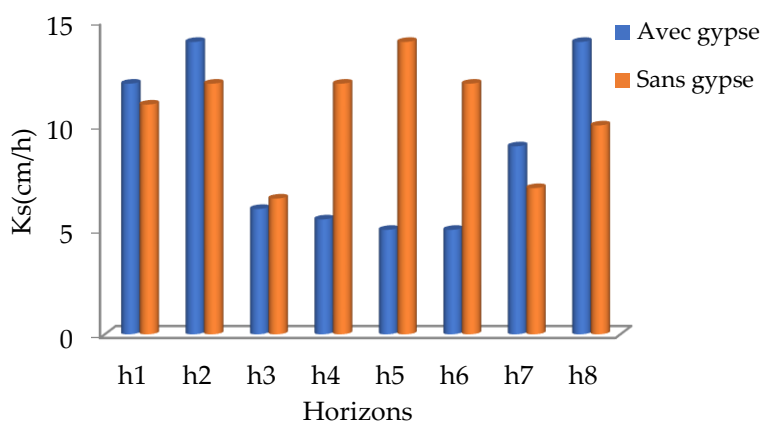


Figure 3. Conductivité hydraulique avec et sans gypse du profil P2.

Les valeurs enregistrées montrent que les sols sont perméables avec quelques variations dans les deux profils.

La conductivité hydraulique est élevée dans les trois horizons du profil P1, et dans les horizons P2h2 et P2h8 du profil P2, ces sols sont constitués de près de 50 % de sable homogène. Elle est moyenne dans les horizons h3 à h6 du profil P2, ce sont ceux formés de sable hétérogène.

3.1.1. Sans gypse

L'élimination du gypse a donné des résultats hétérogènes sans relation avec la profondeur.

3.2. Humidité du sol à différents pF

3.2.1. Avec gypse

Comptes tenus de leur texture sableuse, les valeurs obtenues à toutes les contraintes sont élevées notamment à pF3 et à 4,2 (Table3)

Table 3. Capacités de rétention en eau avec gypse et corrigées à différents pF (%).

Profils	Horizons	pF	0	1,6	1,9	2,2	2,5	3	4,2
P1	h1	Avec gypse	32,10	29,34	27,43	25,64	22,10	20,90	20,52
		Corrigée	24,47	21,71	19,8	18,01	14,47	13,27	12,89
	h2	Avec gypse	31,62	30,22	24,76	20,13	15,76	14,52	13,68
		Corrigée	27,5	25,1	19,64	15,01	10,64	9,4	8,56
	h3	Avec gypse	28,24	24,97	21,18	17,40	12,51	11,41	11,41
		Corrigée	24,07	20,8	17,01	13,23	8,34	7,24	7,24
P2	h1	Avec gypse	37,05	32,45	28,29	25,29	20,42	18,80	18,80
		Corrigée	22,96	18,36	14,2	11,2	6,33	4,71	4,71

La comparaison des horizons du profil 1 montre qu'il y a une baisse de l'humidité de la surface au dernier horizon. S'agissant de l'horizon 1 du profil 2, on constate qu'il a la capacité en eau la plus élevée de pF0 à pF 2,2.

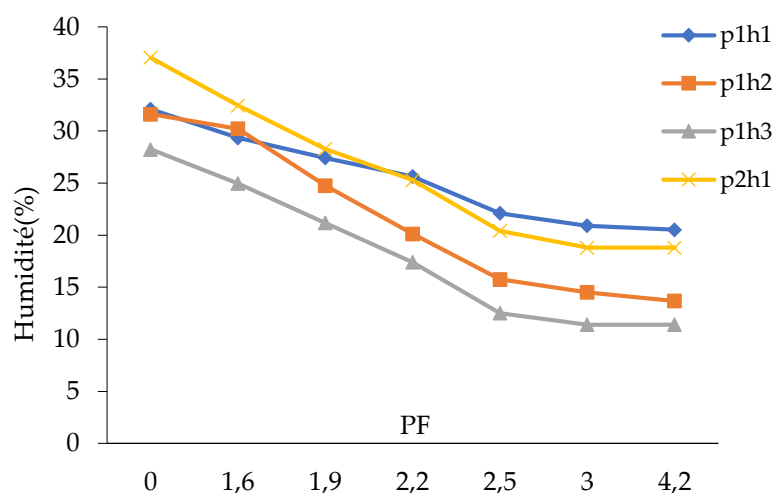


Figure 4. Courbes pF avec gypse.

La rétention en eau est l'une des premières conséquences de la texture des sols, c'est un facteur fondamental de fertilité physique, particulièrement sous climats arides comme c'est le cas de l'Algérie. Cette propriété est généralement représentée par la courbe de rétention en eau, appelée également « courbe pF ». Cette forme de présentation permet une analyse plus aisée de la relation potentielle de l'eau et humidité du sol que les valeurs chiffrées

Les courbes pF (figure3) montrent la présence de trois paliers :

De pF0 à 1,6 : Les capacités en eau sont très élevées par rapport à leur texture sableuse. Celles-ci sont d'autant plus élevées que le taux de gypse est important (P2h1). Les écarts entre les 3 courbes du profil P1 sont faibles.

De 1,6 à 2,5 : Les teneurs en eau des 2 horizons de surface sont sensiblement identiques sous cette contrainte tandis que les horizons h2 et h3 du P1 s'écartent des deux précédents mais avec des marges plus faibles.

De 2,5 à 4,2 : Le même comportement que le précédent est observé avec cependant une légère accentuation. Globalement, les humidités restent élevées particulièrement pour les horizons de surface.

Le tableau 1 montre que les courbes pF avec gypse et corrigées sont parallèles et l'écart entre ces deux courbes varie selon le taux de gypse, car il est élevé dans l'horizon de surface du profil P2 contenant un taux du gypse de 56,38 %, il diminue dans le profil de la palmeraie de l'horizon h1 à h3 avec un taux de gypse (16,69 %).

3.2.2. Sans gypse

Le tableau 2 a indiqué que les capacités en eau sont très élevées de pF0 à 1,6. Elles dépassent de beaucoup les sols contenant du gypse sous les mêmes contraintes.

Table 4. Capacités de rétention en eau du sol sans gypse à différents pF (%).

Profils	Horizons	0	1,6	1,9	2,2	2,5	3	4,2
P1	h1	43,85	34,07	25,37	19,17	13,37	10,87	9,8
	h2	40,1	31,4	21	16,25	10,9	7,75	6,55
	h3	44,7	33,95	23,7	16,35	10	9,5	8,25
P2	h1	43,95	33	28,25	18,85	15,3	12,9	11,05

De pF 1,9 à 2,2 les valeurs sont moyennes par rapport à la texture de ces sols et correspondent globalement à celle des sols contenant le gypse. Cependant aux dernières contraintes (pF 3 et 4,2), les capacités en eau de ces sols s'avèrent être très faibles.

L'explication de ce comportement hydrique traduit la dominance de la macroporosité induite par la nature sableuse du matériau ainsi que par les traitements subis au laboratoire (tamisage, broyage, ...).

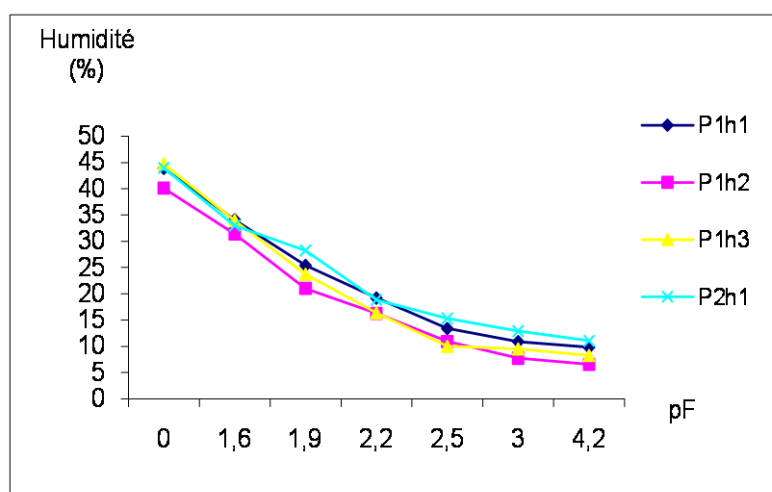


Figure 5. Courbes pF sans gypse.

Après élimination du gypse, les courbes pF (figure 4) présentent la même allure que celles contenant du gypse mais ces courbes sont plus rapprochées entre elles, les valeurs d'humidité sont inférieures à celles contenant le sulfate de calcium notamment à partir de pF 2,2.

3.3. Porosité en classes :

3.3.1. Avec gypse :

La porosité totale des sols varie inversement à la densité apparente. Elle est un peu plus élevée dans p1h2 et dans p2h1, ceux ayant une faible densité apparente (table4).

Table 4 : Distribution de la porosité en catégories de pores (%).

Catégorie	Horizons	Macropores	Mésopores	Micropores
		(>76,5µm)	(19,12µm -76,5µm)	(<19,12µm)
Avec gypse	P1h1	8,62	11,62	79,76
	P1h2	12,72	29,12	57,16
	P1h3	11,64	26,78	61,58
	P2h1	12,4	19,3	69,3
Sans gypse	P1h1	22,75	33,78	43,47
	P1h2	21,69	37,77	40,54
	P1h3	24,00	39,00	37,00
	P2h1	24,94	32,18	42,88

La limite de la microporosité est fonction de la texture du sol ; ce sont les pores qui retiennent l'eau à la capacité de rétention. Dans le cas des sols sableux, la capacité de rétention est déterminée par l'application d'une contrainte égale à 160 cm d'eau correspondant à pF2,2. L'application numérique de la loi de Jurin a donné dans ce cadre un diamètre équivalent égal à 19,12µm (Figure 6)

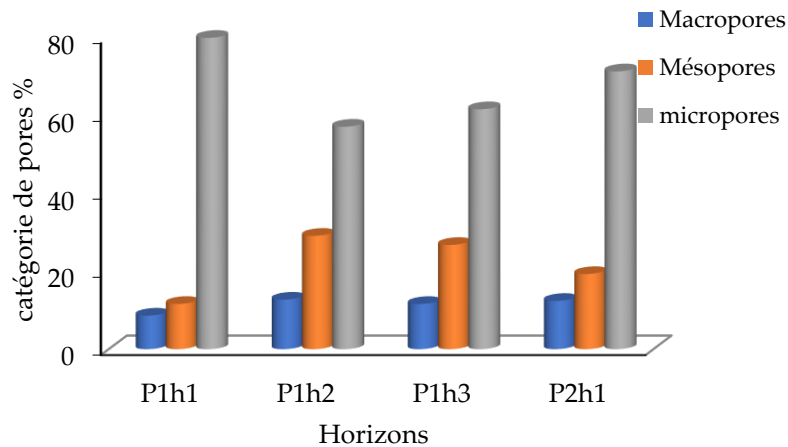


Figure 6: Distribution de la porosité avec gypse

La porosité du sol est constituée essentiellement par de la microporosité dont le diamètre est inférieur à $19,12\mu\text{m}$. Selon la porosité des sols gypseux est formée par des pores d'entassement résultant du colmatage des particules de gypse, leur diamètre est inférieur à $20\mu\text{m}$.

3.3.1. Sans gypse

Dans ce cas, la porosité est élevée par rapport aux normes et au sol qui contiennent du gypse en raison de la reconstitution des échantillons au laboratoire mais aussi à l'élimination du gypse, sa distribution en classes est plus ou moins homogène, de même, les variations dans les horizons du p 1 sont faibles (Figure 7).

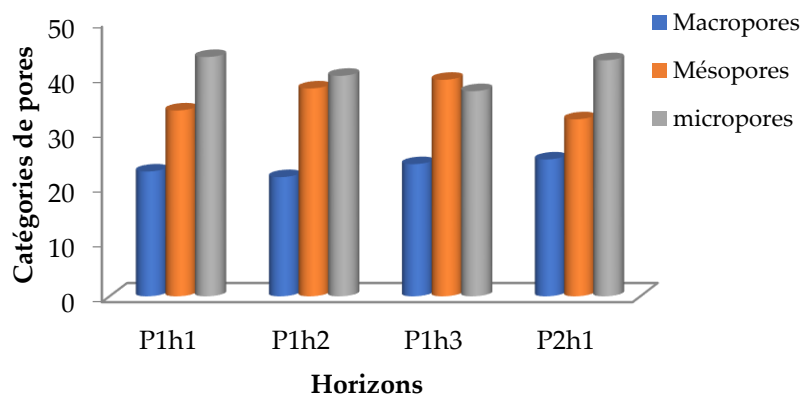


Figure 7: Distribution de la porosité dans le traitement sans gypse

3.4 Spectre porale

3.4.1. Avec gypse

La figure 8 montre que la fine porosité inférieure à $0,20\mu\text{m}$ est fortement représentée ($63,92\%$) dans l'horizon h1 P1 ; elle reste importante même si elle a baissé à $38,48\%$ et $40,39\%$ dans les horizons h2, h3 du même profil, néanmoins elle représente la moitié de la porosité. La classe comprise entre $0,19\mu\text{m}$ et $3,06\mu\text{m}$ est totalement absente de p1h3 et dans p2h1 ; elle est très peu représentée dans P1h1. Les classes comprises entre $9,67\mu\text{m}$ et $38,25\mu\text{m}$ sont représentées avec des pourcentages légèrement supérieurs à 10%

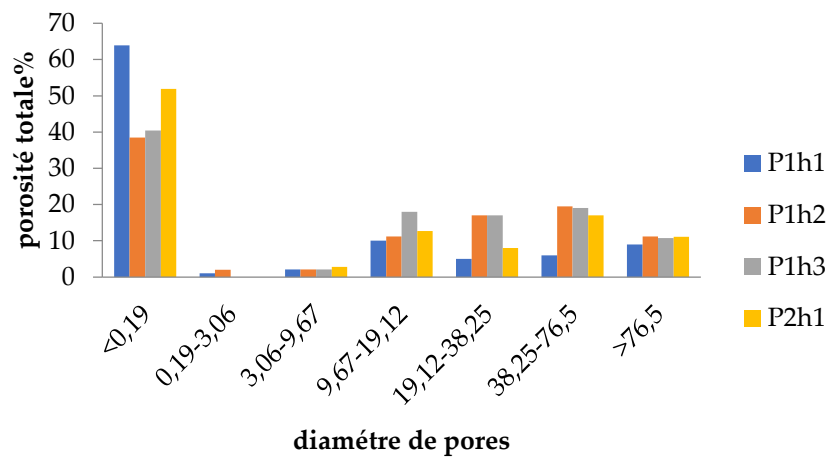


Figure 8 : Spectre poral du sol avec gypse.

Dans les horizons h2 et h3 du profil P1, la porosité est répartie d'une manière relativement homogène. Dans le profil 2, la moitié de la porosité a une dimension inférieure à $0,20 \mu\text{m}$.

3.4.2. Sans gypse :

Dans p1h1, les macropores et les pores fins sont les mieux représentés avec respectivement 22,71 % et 22,26 % tandis que dans p1 h2 et p1 h3 se sont les pores compris entre $76,50 \mu\text{m}$ et $9,67 \mu\text{m}$ qui sont dominants.

Enfin, les classes comprises entre $9,12 \mu\text{m}$ et $0,19 \mu\text{m}$ sont les moins représentées dans p2h1. L'élimination du gypse a homogénéisé la distribution de toutes les classes avec cependant une légère dominance des pores supérieurs à $76,50 \mu\text{m}$ et des pores fins inférieurs à $0,19 \mu\text{m}$. (Figure 8).

Globalement on constate que la présence du gypse colmate la porosité, ce qui se traduit par la formation de pores très fins.

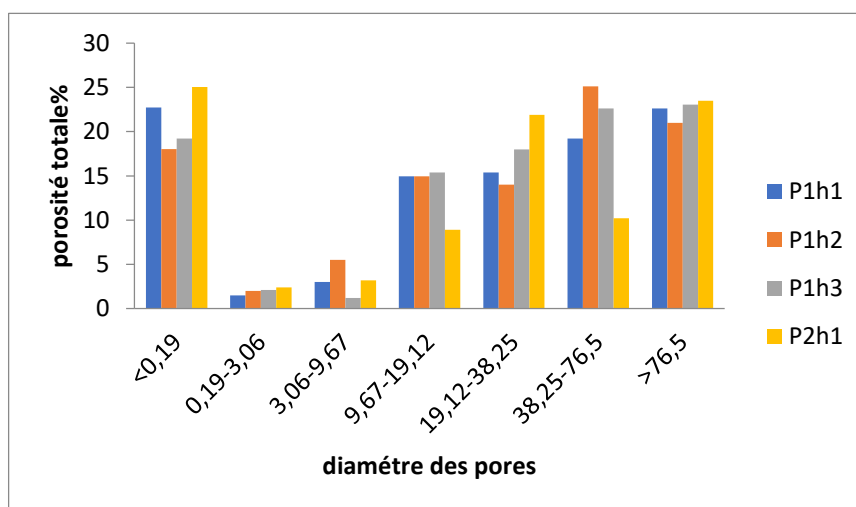


Figure 9 : Spectre poral du sol sans gypse.

4. Discussion

Les résultats des analyses obtenus avec gypse montrent que la texture de ces sols est sableuse à dominance de sables moyens et fins, selon leur origine

La perméabilité avec gypse est rapide et sans gypse varie de moyenne à relativement rapide.

Selon [9], plus un sol est formé d'éléments arrondis de même taille, plus il est perméable ; à l'inverse plus il est formé d'éléments de tailles différentes, ceux-ci étant imbriqués les uns dans les autres, plus il est imperméable.

Dans certains horizons, la perméabilité augmente avec la diminution du gypse (les horizons du profil P1 et P2h3 à P2 h6, en effet d'après [10], la conductivité hydraulique diminue en présence du gypse fin ($< 44 \mu\text{m}$) ceci est dû au colmatage des pores par les particules fines, alors qu'elle n'est pas influencée par les particules de diamètre compris entre 0,25 et 1mm.

Avec gypse la baisse d'humidité en fonction des contraintes progressives a donné une lente régression des humidités ce qui traduit une libération progressive de l'eau, ceci n'est pas dû à l'étagement de l'espace poral comme dans un sol équilibré mais plutôt en raison de la présence du gypse qui fixe énergiquement l'eau. La distribution de la porosité est dominée par la microporosité dont le diamètre équivalent est égal $19,12 \mu\text{m}$, elle varie de 57,10 % à 79,85 C'est dans ce sens que [11] a proposé de réduire l'équivalent en humidité correspondant au quart du taux du gypse déterminé dans chaque échantillon. Ainsi les résultats obtenus par cette méthode semblent plus conformes à la nature de ces sols.

5. Conclusions

Les sols de la région d'étude « El Meghaier » contiennent du gypse qui provient de la nappe phréatique, sa répartition dans les profils est régie par les fortes évaporations. De ce fait, dans le profil se situant hors de la palmeraie les valeurs les plus élevées en gypse sont relevés dans l'horizon de surface (56,38 %) et diminuent en profondeur pour atteindre un taux de 2% dans P2 h8 ; les formes de ce sel y sont plus individualisées. Par contre, dans le sol de la palmeraie, cette répartition est perturbée par le travail du sol et l'irrigation, le taux le plus élevé (33,27 %) se trouve dans l'horizon de profondeur.

Les résultats des analyses obtenus avec gypse montrent que La conductivité hydraulique n'est pas affectée pas le taux du gypse mais plutôt par la taille des cristaux, en effet, elle baisse en présence du gypse fin $< 44 \mu\text{m}$. Les capacités en eau sont plus élevées par rapport à celles des sols sableux, mais cette eau n'est pas disponible pour l'alimentation des plantes, elle est retenue par le gypse. La distribution de la porosité est plus ou moins homogène en absence de gypse.

Après élimination du gypse, les résultats obtenus montrent que Les capacités en eau sont relativement élevées aux faibles contraintes, elles correspondent à celles des sols sableux mais aux fortes pressions elles sont faibles. Dans le sol cultivé de la palmeraie, l'influence du gypse sur les propriétés physiques est plus difficile à cerner car la mise en culture, le travail du sol et l'irrigation affectent le fonctionnement du sol. Les résultats obtenus ont montré à ce stade d'étude que ces sols, de texture sableuse (sables moyens et fins) présentent des contraintes sévères pour leur mise en valeur agricole. En effet, le taux de gypse (moyen) constitue une limite au plan chimique. Quant aux aspects physiques, ce sont des sols à structure particulière, qui lorsqu'ils sont cultivés se tassent facilement en absence d'un taux de matière organique suffisant. Par ailleurs, la forte rétention en eau mesurée ayant pour origine le gypse (hydrophile) n'exprime pas sa disponibilité vis à vis des cultures ; donc les plantes cultivées peuvent subir des stress physiologiques. En plus du gypse dans le sol, la faible pluviométrie (qui en est la cause), constitue la plus forte contrainte (pas de lessivage des sels, ETP très élevée) ; par ailleurs, si l'irrigation est absolument nécessaire, il faudrait également déterminer la qualité de l'eau pour prévoir ses conséquences sur les cultures, le sol et les équipements.

References

1. Djili, K. Contribution à la connaissance des sols du nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatisée et utilisation d'un système d'informations géographiques pour la spatialisation et la valorisation des données pédagogiques, doctorat, Institut National Agronomique, El-Harrach, 2000.

2. Hamdi-Aissa, B. 2001. Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla). Thèse de Doctorat, INA, Grignon, 194 p.
3. Halitim A. (1988) : Les sols des régions arides d'Algérie, Ed. O.P.U., 373p.
4. Abdesselem, S. Contribution à l'étude des sols gypseux au nord-est du Sahara Algérien, caractérisation et genèse, magister, Institut National Agronomique, El-harrach, 1999.
5. Coutinet, S. Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. *Agronomie tropicale* 1965, 12, 1242-1254.
6. Pouget, M. *Mesure d'humidité sur des échantillons gypseux*, Cahiers O.R.S.T.O.M., série pédologie, 1965 ; 139-148.
7. Vieiffon, J. *Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux*, Cahiers O.R.S.T.O.M., série pédologie, vol, n 3, 1979 ;195-223.
8. Poch R.M., De Coster W. et Stoops G.(1998). Pore space characteristics as indicators of soil behaviour in gypsiferous soils, *Géoderma* 87, pp 87-107.
9. Soltner, D. *Les bases de la production végétale : tome 1 : le sol*, 19ème ed.; Col. Sciences et techniques agricoles : Paris, France, 1992 ; 467p.
10. Keren, R.; Kreit, J.F. and Shainberg, I. Influence of gypsum particles on hydraulic conductivity of soils. *Sol science* 1980, 130, 113-117.
11. Pouget M. (1965). *Mesure d'humidité sur des échantillons gypseux*, cahiers O.R.S.T.O.M., série pédologie, pp 139-148.