

EFFET DE LA BENTONITE SUR L'AZOTE ASSIMILABLE D'UN SOL SABLEUX CULTIVE EN CEREALE ET EN LEGUMINEUSE

Reçu le 12/05/2007 – Accepté le 20/06/2008

Résumé

Les sols sableux du plateau de Mostaganem présentent une texture légère, un très faible taux en argile, ce qui induit un fort lessivage en éléments minéraux et en fertilisants. Ils sont caractérisés par une fertilité très réduite et une capacité de rétention en eau faible. Cette faible fertilité des sols sableux est l'une des contraintes de la production agricole dans cette région. L'addition de la bentonite dans ces sols et la mise en culture du blé dur, variété locale Waha, en association avec le pois chiche, variété locale Ain Témouchent, constituent deux stratégies éco physiologiques intéressantes pour réhabiliter leur aptitude agricole. Les variations des teneurs en azote assimilable du sol enrichi à 10% ou non en bentonite au cours du développement de ces deux espèces sont analysées. Les résultats révèlent que la teneur en azote assimilable est nettement élevée dans le sol portant l'association blé pois chiche quel que soit le stade et le traitement à la bentonite. Ces teneurs augmentent davantage dans les substrats bentonisés à 10% au stade de tallage.

Mots clés: Sol sableux, Bentonite, Association pois chiche/blé dur, Azote assimilable du sol.

Summary

The sandy soils of Mostaganem table land have a light texture, a very low clay rate, which induce a strong leaching in mineral salts and fertilizing. Their fertility is very reduced and their retention capacity of water is low. The low fertility of these sandy soils is one of the constraints which limit the agricultural production in this area. The addition of bentonite in these soils and the culture of durum wheat, Waha variety, in association with chickpea, Ain Temouchent variety, constitute the two eco physiological strategies to rehabilitate this agricultural region. The study carried on the analysis of the available nitrogen in the soil added with bentonite at 10% or without during the development of the two species. Results show that the available nitrogen in the soil is high in durum wheat chickpea association culture in all development stage of plant and under bentonite traitement. However the amount of the available of nitrogen in the soil is higher in 10% of bentonized substrates at tillering stage.

Keywords: Sandy soil, Bentonite, Durum wheat/chickpea association culture, Available soil nitrogen.

H. REGUIEG YSSAAD¹
M. BELKHODJA²

¹ Laboratoire de Biologie
Faculté des Sciences
Université de Mostaganem,
route de Belhacel BP 923
27000 Mostaganem
Algérie.

² Laboratoire de Physiologie
Végétale Faculté des
Sciences Université d'Oran
Senia 31 000 Oran
Algérie.

ملخص

10

10

La faiblesse de la production céréalière en Algérie constitue une des principales contraintes pour répondre aux besoins de la consommation. En effet, la pression démographique a entraîné la raréfaction des sols cultivés sur les terres de la région de Mostaganem avec une diminution des jachères [1].

Le plateau de Mostaganem couvre 212.000 hectares de terres cultivables dont 60% sont des sols à texture sableuse [2] caractérisés à la fois par une fertilité très réduite induite par un fort lessivage en éléments minéraux et en fertilisants, une capacité de rétention en eau faible [3] et une activité microbienne fortement limitée créant un appauvrissement en matière organique [4,5].

Cette faible fertilité des sols sableux est l'une des contraintes dans cette région limitant la production agricole à dominance céréalière ce qui impose leur amélioration par des apports d'engrais industriels ou des engrais verts pour augmenter les rendements des cultures. Néanmoins, si les engrais minéraux sont généralement efficaces pendant les premières années de culture, ils modifient certaines propriétés physico-chimiques du sol; par exemple, les engrais minéraux azotés sont notamment acidifiants ce qui peut réduire la disponibilité en éléments nutritifs pour la plante provoquant une baisse des rendements. En effet les moyens techniques pour améliorer le bilan azoté de ces sols sont divers mais en pratique le choix est limité à cause de la texture sableuse dominante à faible présence d'argile, de mauvaise structure et à propriétés physico-chimiques défavorables à la nutrition minérale du blé notamment à l'azote [6,7].

Des études ont conclu que l'azote est l'élément nutritif le plus limitant dans les sols sableux dans le Nord de l'Algérie et que la réponse des cultures aux éléments nutritifs est souvent limitée par l'absence de cet élément dans le sol [8]. A ce constat, l'action du climat de cette région n'est pas à exclure, caractérisé par une longue période de sécheresse où les réserves hydriques sont faibles dues à une pluviométrie annuelle insuffisante et irrégulière. A ces deux contraintes du milieu s'associent les pratiques culturales irrationnelles influant manifestement sur la croissance et le développement des plantes [9].

Pour une agriculture durable, il sera plus judicieux d'opter pour une gestion rationnelle des terres cultivées basées sur une connaissance profonde des interactions biologiques et en utilisant les ressources naturelles disponibles. Dans cette perspective s'intègre la mise en valeur de ces sols en introduisant la bentonite riche en argile afin d'améliorer leurs caractéristiques physico-chimiques. Cette action conduira à augmenter la capacité d'échange cationique [10,11] et à améliorer la structure du sol impliquant une bonne rétention d'eau et d'éléments nutritifs et une meilleure aération [12, 13, 14,15].

La plupart des systèmes de culture rencontrés en agriculture dans la région sont basés sur une rotation incluant les légumineuses. La pratique habituelle est de faire suivre une culture riche en azote par une culture exigeante tel que le blé.

Dans une rotation légumineuse/blé avec peu d'apport d'azote sous forme d'engrais, une étude néo-zélandaise menée par [16] a démontré que la plus grande source de

nitrate perdus par lessivage durant la rotation était l'enfouissement de cette légumineuse. [17] ont démontré que les risques de lessivage des nitrates en provenance des résidus des légumineuses annuelles étaient en général plus grands que pour les autres espèces végétales. Ces mêmes chercheurs suggèrent l'utilisation d'un engrais vert après la récolte d'une légumineuse pour limiter les pertes par lessivage.

Par ailleurs, [18] ont rapporté que les engrais verts de légumineuses peuvent conduire à plus de lessivage si ces engrais verts ne sont pas utilisés par d'autres plantes peu après. L'approche envisagée pour la mise en place d'un système de cultures associant une légumineuse et une céréale dans ces sols amendés en bentonite peut constituer un modèle agraire pour redresser leur stabilité structurale, améliorer leur fertilité et augmenter la production céréalière dans cette région. La mise en place d'une stratégie d'association de la culture du blé dur avec le pois chiche au lieu d'une rotation blé/ pois chiche peut faire bénéficier le blé de l'azote fixé par cette légumineuse dans le but d'améliorer la production céréalière.

Les sols du plateau de Mostaganem sont manifestement très pauvres en azote [7], principal facteur limitant de la croissance des plantes. Toutefois, la surutilisation des engrais azotés industriels, notamment nitrates, reste non seulement une charge élevée à cause de leur coût conjuguée à la texture grossière des sols sableux dans cette région mais provoque une pollution des sols et des nappes phréatiques, ce qui constitue aujourd'hui une contrainte [19]. L'introduction des légumineuses fixatrices d'azote en association avec une céréale, grâce à l'association symbiotique avec les bactéries fixatrices d'azote, peut remplacer efficacement les engrais azotés industriels et constitue un des moyens d'atténuer les pollutions terrestres.

Cette étude se propose d'évaluer l'effet d'un amendement en bentonite sur le bilan de l'azote assimilable d'un sol sableux cultivé en association légumineuse pois chiche et une céréale blé dur.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

Deux espèces sont expérimentées: une céréale, le blé dur variété locale (Waha) ayant un pouvoir germinatif de 93% et une légumineuse, le pois-chiche variété locale Ain-Témouchent de bonne résistance à la maladie du collet.

Méthode

Le substrat est préparé à partir de la bentonite, préalablement broyée à l'aide d'un broyeur électrique et tamisée au tamis à mailles de 2 mm pour obtenir une poudre fine afin de faciliter son enfouissement et son mélange. Une dose de bentonite à 10 % est retenue, par rapport au poids sec du sol, soit 500 g de bentonite par pot, correspondant à 277.77 qx de bentonite/ha; le pot témoin contient seulement du sol sableux.

Des études phytotechniques réalisées sur le blé, le maïs et certaines légumineuses ont permis à El Sherif [13] de confirmer que les rendements enregistrés sont en

progression au fur et à mesure que la dose de bentonite incorporée au sol augmente, en atteignant un optimum avec le traitement (10 %), puis ils diminuent pour la dose finale de 15 % tout en gardant des seuils supérieurs au témoin.

En Tchécoslovaquie et en Hongrie, les expériences sur une longue durée ont prouvé que la courbe de production avait un maximum pour le taux de 25 T/ha à la dose de 9 % de bentonite. Tandis que l'optimum économique est situé entre 10 et 20 T/ha ; l'effet de l'application de la bentonite a été vérifié durant une période de 7 années [20].

Ce substrat est vigoureusement mélangé afin d'obtenir un milieu homogène. Les pots remplis chacun de 5 kg de substrat sont disposés selon la méthode des blocs aléatoires complets à trois répétitions.

Pour la conduite des cultures, dans une première phase, la germination des semences du blé dur est réalisée dans des boîtes Pétri en verre de diamètre 20 cm, en plaçant deux couches de papier filtre stérile imbibé à l'eau distillée. 20 graines de blé sont déposées dans chaque boîte de Pétri. Le tout est déposé dans une chambre à germination réglée à 25°C durant 3 jours. La même méthode est utilisée pour le pois-chiche où la phase de la germination s'est allongée jusqu'à 5 jours.

Après germination, 4 à 5 plantules pour le blé sont repiquées soigneusement à une profondeur de 1 cm dans les pots. Pour l'association blé dur et pois chiche, le repiquage est effectué à raison de 6 plantules /pot soit 3 plantules de blé dur et 3 plantules de pois chiche. Les plantes sont arrosées à la solution nutritive de Hoagland [21] tous les trois jours sur la base de la capacité de rétention du substrat. Les volumes d'irrigation sont déterminés par différence entre les quantités d'eau apportées avant l'arrosage et celles récupérées après 24 heures de décantation (Tableau 1).

Tableau 1: Doses d'irrigations appliquées

	HCC (ml)	RFU (ml)	Doses en % de la RFU	
			30% (stade végétatif)	60% (floraison)
Témoin	633	189.9	57	114
7%	699	209.7	63	126
10%	711	213.3	64	128

Les échantillons de sols à analyser sont prélevés, à partir de chaque pot, au niveau de la rhizosphère aux stades levée, 3 feuilles et début tallage. Les analyses de l'azote assimilable du sol sont réalisées selon la méthode de Kjeldahl. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse de la variance à l'aide du test de Fisher à p=5%.

La réserve facilement utilisable (RFU) représente 30 % des volumes ainsi trouvés. Les doses d'irrigation correspondant à 30 % et 60 % de la RFU sont apportées respectivement pour les stades végétatifs et le début floraison et montaison.

RESULTATS

Teneur en azote assimilable des substrats de cultures à chaque stade de développement selon le traitement à la bentonite

Au stade levée

La figure 1 montre que dans le substrat témoin, la teneur en azote assimilable est assez importante dans l'association pois chiche blé où elle atteint une valeur de 0.014‰; par contre elle s'atténue fortement dans le même substrat portant la monoculture blé dur (0.008‰). L'adjonction de la bentonite à 10% au substrat sableux crée une richesse en azote assimilable dans le milieu; les teneurs évoluent de 0.01‰ dans le substrat cultivé en blé dur à 0.018‰ dans le substrat portant l'association pois chiche blé dur. D'une manière générale le taux d'augmentation en azote assimilable est largement élevé dans les substrats bentonisés (de 0.002‰ pour la monoculture blé dur et de 0.004‰ pour l'association que dans le substrat témoin).

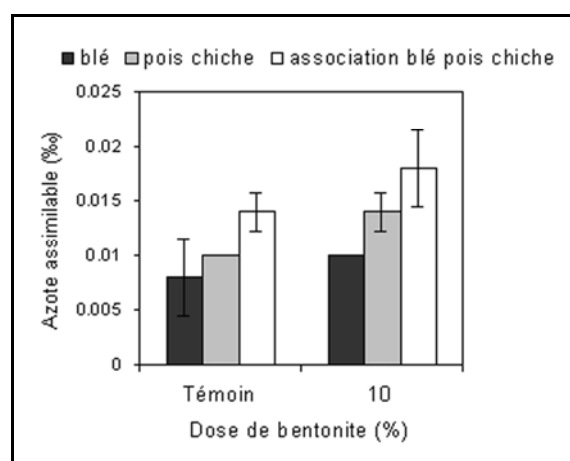


Figure 1 : Azote assimilable (‰) analysé dans les substrats sableux, amendés en bentonite (10%) ou non (témoin), cultivés en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur au stade levée.

L'analyse de la variance (tableau 2) révèle un effet significatif du facteur traitement à la bentonite et un effet significatif du facteur système de culture sur la teneur en azote assimilable. Les résultats montrent que les substrats cultivés en association pois chiche céréale sont plus riches en cet élément quel que soit le milieu de culture comparativement au système de monoculture.

Tableau 2 : Fisher (p= 5%) des teneurs en azote assimilable analysé dans les substrats sableux amendés ou non en bentonite à différents stades végétatifs en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur.

	Types de cultures	Dose de bentonite (%)		
		Témoin	10	m ± σ
Stade levée	Blé dur	0,008± 0,003	0,01± 0,008 a*	0,009 ± 0,002
	Pois chiche	0,01± 0,008	0,014 ± 0,001 a*	0,012 ± 0,002
	Pois chiche + Blé dur	0,014±0,001 c*	0,018± 0,003 a* c*	0,016± 0,003
	m ± σ	0,01± 0,003	0,014 ± 0,003	
Stade trois feuilles	Blé	0,015 ± ,008	0,02 ± 0,003 b**	0,017± 0,006
	Pois chiche	0,035 ± ,008	0,045±0,008 b**	0,04 ± 0,009
	Pois chiche + Blé dur	0,04 ± 0,01 d**	0,05 ± 0,003 a* c*	0,045 ± 0,008
	m ± σ	0,03± 0,013	0,038± 0,01	
Stade début de tallage	Blé	0,01± 0,0087	0,03 ± 0,01 a*	0,02± 0,012
	Pois chiche	0,05 ± 0,01	0,07± 0,01 a*	0,06± 0,014
	Pois chiche + Blé dur	0,06± 0,005 d**	0,09± 0,01 a* c*	0,07± 0,017
	m ± σ	0,04 ± 0,02	0,06 ± 0,03	

a* (effet substrat sableux bentonisé significatif sur la teneur du sol en azote assimilable par rapport au substrat non bentonisé quel que soit le système de culture), b** (effet substrat sableux bentonisé hautement significatif sur la teneur du sol en azote assimilable par rapport au substrat non bentonisé quel que soit le système de culture), c* (effet système de culture significatif), d** (effet système de culture hautement significatif).

Au stade trois feuilles

A ce stade (figure 2), une augmentation des teneurs en azote s'exprime soit dans les substrats sableux ou les substrats bentonisés dans le sens monoculture blé dur, pois chiche, association pois chiche blé dur.

Dans les substrats non traités, les teneurs en azote passent du simple en monoculture blé dur au double sous la monoculture pois chiche (0.015 ‰ contre 0.035 ‰); en revanche sous le système de cultures en associées, l'azote analysé dans le substrat présente une teneur environ trois fois plus élevée comparativement à la monoculture blé dur (0.04 ‰ contre 0.015 ‰ d'azote).

Lorsque les substrats sableux sont additionnés à la bentonite à 10%, les teneurs en azote doublent en monoculture pois chiche et atteignent 2.5 fois la valeur enregistrée dans le substrat cultivé en pois chiche blé dur (0.04 et 0.05 ‰ contre 0.02 ‰ d'azote).

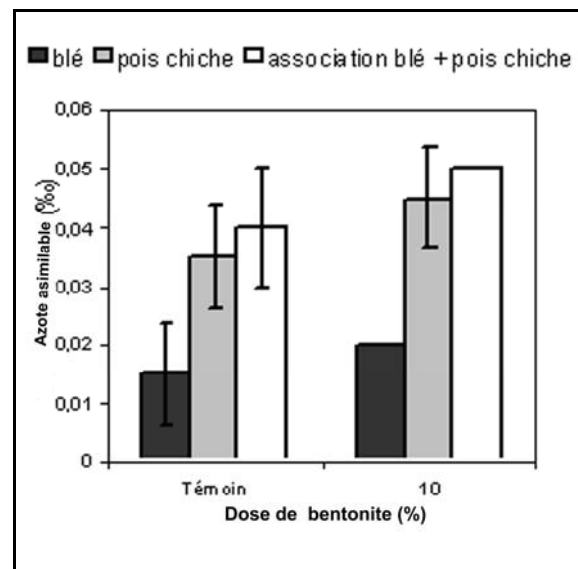


Figure 2: Azote assimilable(‰) analysé dans les substrats sableux, amendés en bentonite ou non, cultivés en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur au stade trois feuilles.

L'analyse de la variance (tableau 2) indique que l'effet amendement à la bentonite du substrat sableux sur la teneur en azote assimilable reste hautement significatif par rapport au substrat sableux non bentonisé notamment en

monoculture blé dur et en monoculture pois chiche. Il faut remarquer dans le système en cultures associées que les teneurs en azote enregistrées sont pratiquement voisines dans le substrat témoin et celui additionné en bentonite (0.04 pour 0.05 ‰ d'azote), néanmoins, l'analyse statistique révèle que la teneur en azote dans le substrat bentonisé reste significativement élevée par rapport au substrat sans bentonite.

Par ailleurs, le système de cultures pois chiche blé dur exprime l'existence d'une influence significative sur la teneur en azote du substrat sableux et celui additionné en bentonite.

Au stade début tallage

Les analyses des différents substrats de culture montrent que l'azote assimilable à ce stade (figure 3) varie en augmentant remarquablement dans les milieux cultivés en monoculture blé et en association pois chiche blé dur. Dans les substrats sableux la teneur en azote passe de 0.01‰ en monoculture blé dur, quintuple en monoculture pois chiche pour atteindre une valeur six fois plus élevée en association pois chiche blé dur. L'adjonction de la bentonite au substrat sableux crée un enrichissement en azote assimilable deux fois plus important en monoculture pois chiche et triple sous le système en cultures associées comparé au substrat sableux (0.07 et 0.09 contre 0.03‰).

Le traitement du substrat sableux à la bentonite modifie significativement les teneurs en azote assimilable quel que soit le système de culture. En revanche, le facteur système de culture sur l'azote assimilable s'exprime de manière hautement significative dans le substrat sableux et significativement dans le substrat bentonisé sous la conduite des cultures en associées (tableau 2).

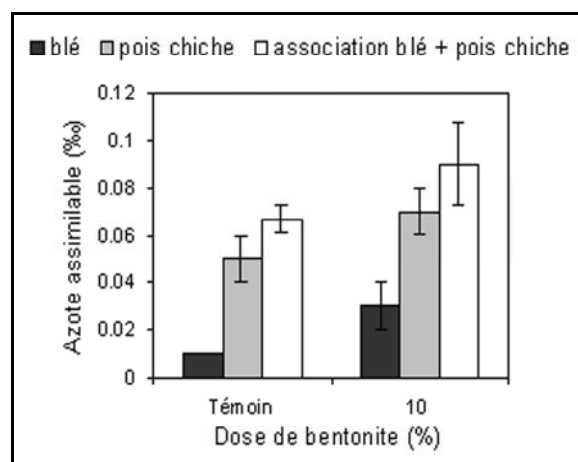


Figure 3: Azote assimilable (‰) analysé dans les substrats sableux, amendés ou non en bentonite, cultivés en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur au stade début tallage.

Teneurs en azote assimilable des substrats enrichis en bentonite au cours du développement des plantes.

Les teneurs en azote assimilable enregistrées dans les substrats sableux additionnés de bentonite suivent une évolution croissante au cours du développement des

plantes. Il convient de noter que dans le substrat cultivé en monoculture blé dur, la teneur en azote fluctue très lentement. Lorsque le substrat est cultivé en monoculture pois chiche et en association blé dur-pois chiche les taux d'enrichissement en azote est assez important au stade 3 feuilles et au début tallage.

DISCUSSION

Les variations enregistrées dans les teneurs en azote assimilable analysé à partir des substrats bentonisés ou non dans les différents systèmes de cultures n'excluent pas l'influence d'autres facteurs. Il a été montré que l'adjonction de la bentonite aux sols sableux conduit au maintien de leur stabilité structurale [15,22] et à l'amélioration de leurs propriétés chimiques [11,23]. Nos résultats indiquent qu'en monoculture blé dur, les substrats sableux sont plus pauvres en azote assimilable; ceci résulte de la faible cohésion des agrégats due à la faible teneur en argile associée à l'absence de la matière organique [24] conduisant à un lessivage des éléments nutritifs [25]. Selon Labdi [26], l'apport de la matière organique riche en azote par les cultures de légumineuses devrait contribuer à l'amélioration de la structure des sols dégradés et soumis à l'érosion tels que les sols sableux.

Le type de culture proposé dans notre expérimentation, soit en monoculture pois chiche ou en cultures associées pois chiche blé dur dans les substrats sableux bentonisés, conclut à une intense augmentation de l'azote assimilable.

Dans ces conditions, l'action combinée de la légumineuse et de la bentonite traduit un effet bénéfique sur le comportement du blé dur à cause d'une meilleure disponibilité de l'azote dans le substrat [27]. Cette disponibilité de l'azote s'exprime nettement au stade début tallage avec des teneurs en cet élément fortement élevées dans les substrats où le pois chiche est présent. Ces variations de l'azote dans les différents substrats de culture impliquent vraisemblablement le rôle attribué à la légumineuse dans la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique grâce aux bactéries [28, 29, 30].

La trilogie bentonite légumineuse activité bactérienne dans un système de culture en associé pois chiche blé dur apportera des éléments supplémentaires dans l'évaluation du bilan azoté de sols sableux ; c'est l'objet de notre prochaine recherche.

CONCLUSION

Les résultats acquis au cours de cette expérimentation permettent de retenir les points essentiels :

- les teneurs en azote assimilable varient avec la nature du substrat, le système de culture et le stade végétatif des plantes,
- l'azote assimilable augmente dans les substrats sableux additionnés ou non de bentonite en passant du système à monoculture blé dur, à monoculture pois chiche vers le système de cultures associées pois chiche blé dur,
- dès le stade 3 feuilles, les substrats sableux ou bentonisés s'appauvrissent en azote assimilable singulièrement pour la monoculture blé dur,

- l'enrichissement en azote assimilable du substrat bentonisé se manifeste remarquablement au stade début tallage notamment sous la culture en associé pois chiche blé dur.

REFERENCES

- [1]- Direction Services Agricoles. Département des statistiques. Mostaganem. Algérie, 1995: 85p.
- [2]- Direction Services Agricoles. Département des statistiques. Mostaganem. Algérie, 1998: 73p.
- [3]- Goa S, Pan WL, Koeining RT. Integrated root system age in relation to plant nutrient uptake activity. *Agron.J* 1998; 90 (4), 505-510.
- [4]- Abismail DJ. Effet de la bentonite sur les caractéristiques chimiques des sols sableux de la région de Mostaganem, étude du comportement d'une variété de tomate industrielle. *Mém. Ingéniorat d'Etat Agronomie* Université de Mostaganem Algérie 1999 : 32-52.
- [5]- Morsli B, Mazour M, Medjedel N, Hamoudi A. Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi arides du Nord Ouest Algérien. *Revue Sécheresse* 2004 ; 15 (1) : 96-104.
- [6]- Le Houerou HN. Changements climatiques et désertification. *Revue Sécheresse* 1993 ; 2 : 95-111.
- [7]- Djaber Y. Evolution du bilan bactériologique dans un sol sableux bentonisé et cultivé en association blé pois chiche. *Mém. Ingéniorat d'Etat Agronomie* Université de Mostaganem Algérie 1999 : 39-53.
- [8]- Reguieg YHA. Contribution à la connaissance de la dynamique des éléments fertilisants NPK dans les grands types sols céréaliers de la région de Tiaret. *Mém. Magister INA* Alger 1992:117p.
- [9]- Ambouta JM, Valentin C. Jachères et croûtes d'érosion au Sahel. *Sécheresse* 1996;7 : 269-275.
- [10]- Petr J. Non metallic sorbents in agriculture. Editions ONUDI, Tchécoslovaquie, 1985 : 39 p.
- [11]- Dejou J. La surface spécifique des argiles , sa mesure, relation avec la CEC et son importance agronomique .In: Amyet Y Ed. *La capacité d'échange cationique et la fertilisation des sols*, 1987 : 72-83.
- [12]- Lhotsky J. Influence de la bentonite sur le changement des dimensions des pores dans un sol sableux. *Scientia Agri. Bohemoslovaca*, Praha 6, Tchécoslovaquie 1970:26 p.
- [13]- El Sherif AF. Projet de recherche sur l'amélioration des sols sableux. Méthodes et aspects économiques. *Rapport final ARST*, Caire Egypte 1987 : 182 p.
- [14]- Raimund S, Dietmar S. Properties of soils under different types of management developed in a sandy substrate covering boulder clay at Mecklenburg (north eastern Germany). *Sciences of Soils* 1996; Rel.1, Art1.
- [15]- Benkhalifa M. Influence de la bentonite sur les caractéristiques physiques , hydriques et mécaniques d'un sol sableux du plateau de Mostaganem. *Mém. Magister INA* Alger 1997:114 p.
- [16]- Adams J.A. et Pattinson M., 1985 - Nitrate leaching losses under a legume-based crop rotation in central Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, (28), 101-107.
- [17]- Francis G.S., Haynes R.J. et Williams P.H., 1994 - Nitrogen mineralization, nitrate leaching and crop growth after ploughing-in leguminous and non-leguminous grain crop residues. *Journal of Agricultural Science. Ed. Mass. Cie Paris*, (123), 81-87.
- [18]- Campbell C.A., Lafond G.P., Zentner R .P. et Jame Y.M., 1994 -Nitrate leaching in a Udic Haploboroll as influenced by fertilization and legumes ». *Journal of Environmental Quality*, (23), 195-201.
- [19]- Bernard D. Des légumineuses fixatrices d'azote. *Dossier le jardin planétaire, IRD France* 2000 : 5-7.
- [20]- Engelthaler Z.A. et Lostak A., 1983 - Utilisation des bentonites pour l'amélioration des sols .Onudi ,Pilsen, Tchécoslovaquie, 184 p.
- [21]- Hoagland D.R. and Arnon D.I., 1938 - The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Stn. Bull.* 347, 36-39.
- [22]- Reguieg YH, Belkhodja M. The effects of bentonite on the physico chemical characteristics of sandy soils in Algeria. *Egypt.J.of Appl.Sci.* 2006, 21, (3) : 376-385.
- [23]- Boutalbi D. -Mise au point bibliographique des recherches sur l'amélioration des sols sableux par la bentonite. *Mém. Ingéniorat d'Etat en Agronomie*. Univ. Mostaganem (Algérie), 1995 :59 p.
- [24]- Bendella A. Etude de la fixation du baryum par la bentonite pontée. *Mém. Inst.Chim*. Univ. Mostaganem Algérie 1994 : 60 p.
- [25]- Cherbury B. Les sols salés et leur réhabilitation. *Etude bibliographique*, ENSA Rennes, 1991 : 124 p.
- [26]- Labdi M . Perspective de développement des légumineuses dans les systèmes céréaliers des zones semi-arides . *Céréaliculture* 1991,n°25 : 12-13.
- [27]- Bouhali M. Effet de la bentonite sur le blé dur soumis en association avec une légumineuse (pois chiche) :étude du bilan azoté dans le sol, au niveau de la rhizosphère. *Mém. Ingéniorat d'Etat en Agronomie*, Université. Mostaganem, 2002 : 47-60.
- [28]- Sanchez-Diaz M, Aguirreola J, Goicochea M.C, Antolin M.C. Limitations de la fixation symbiotique d'azote et autres aspects physiologique des légumineuses des zones méditerranéennes, *Les colloques – INRA Editions* 1995; 77 : 11-29.
- [29]- Gavito M.E., Curtis P.S., Mikkelsen T.N., Jakobsen I. Atmospheric CO₂ and mycorrhiza effects on biomass allocation and nutrient uptake of nodulated pea (*Pisum sativum* L.) plants, *J. Exp. Bot.* 2000; 51: 1931-1938.
- [30]- Ben Khaled L, Morte Gómez A , Ouarraqi M, Oihabi A. Réponses physiologiques et biochimiques du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) à la double association Mycorrhizes-*Rhizobium* sous une contrainte saline, *Agronomie* 2003 ; 23 : 571-580.