

*Effet de la bentonite sur les sols sableux  
de la région de Mostaganem, étude de  
comportement d'une association blé pois  
chiche*

Présentée par :

**Houcine Abdelhakim REGUIEG YSSAAD**

**Rapporteur : M. BELKHOJA** Professeur à l'Université d'Es-Sénia Oran

Soutenue le 28 Novembre 2007

devant le jury : **Président : K. DJILI** Professeur à l'Institut National Agronomique El Harrach ALGER  
**Examineurs : N. BENABADJI** : Professeur à l'Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen **L. BRINIS** :  
Professeur à l'Université d'Annaba **B.DRIDI** : Maître de conférence à l'Institut National Agronomique  
El Harrach ALGER



# Table des matières

RECONNAISSANCES . .	5
ص غ لم . .	9
RESUME . .	10
SUMMARY . .	12
INTRODUCTION GENERALE . .	14
CHAPITRE I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES . .	17
I - PRESENTATION DU SITE EXPERIMENTAL . .	17
A - Situation géographique du plateau de Mostaganem . .	17
B -Caractères topographiques et édaphiques . .	18
C - Caractères climatiques généraux . .	18
II – DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES . .	20
A - SUBSTRAT . .	20
B - PLANTE . .	31
C - ASPECTS MICROBIOLOGIQUES AU NIVEAU DU SOL . .	41
CHAPITRE II - MATERIELS ET METHODES . .	45
I – MATERIEL VEGETAL . .	45
II- METHODES . .	45
A - Expérimentation en laboratoire . .	45
B– EXPERIMENTATION A LA PARCELLE . .	47
III- METHODES D'ANALYSES ADOPTEES . .	50
A- AU NIVEAU DE LA PLANTE . .	50
B- AU NIVEAU DU SOL . .	50
CHAPITRE III - ETUDE DU SOL . .	53
I- ETUDE ANALYTIQUE DU SOL . .	53
1)Analyse granulométrique . .	53
2) Résultats des caractéristiques chimiques . .	53
II - ANALYSE MINERALE . .	54
A - AZOTE . .	54
B- BILAN DES CALCIUM ET MAGNESIUM SOLUBLES . .	62
CHAPITRE IV- ETUDE DE LA PLANTE . .	80
I- RESULTATS AU LABORATOIRE . .	80
A) Mesures biométriques de la plante . .	80
B) Analyse de l'azote total de la plante . .	88
II- Résultats parcelaires : Paramètres agronomiques mesurés . .	92
DISCUSSION . .	94
CHAPITRE V - ETUDE MICROBIOLOGIQUE . .	97
I- DENOMBREMENT DES BACTERIES (nombre de germes /1g sol sec) . .	97
1) Echantillons de sol analysés à partir des pots en laboratoire . .	97
2) Echantillons de sol à partir du terrain . .	100
II- IDENTIFICATION DES BACTERIES . .	100

<b>DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES . .</b>	<b>104</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . .</b>	<b>109</b>
<b>ANNEXES . .</b>	<b>120</b>
Annexe 1 . .	120
Annexe 2 . .	127
Annexe 3 . .	143

---

## RECONNAISSANCES

Un parcours doctoral !

Que d'embûches, que de contraintes, que de difficultés !

Mais que de satisfactions !

A n'en pas douter !

Tout à l'image de la vie !

On s'y lance, comme on se jetterait du haut d'une falaise, pourtant, ce sont les hauteurs lumineuses qu'on vise, non les profondeurs abyssales noyées dans leur éternelle obscurité.

De longues années ont présidé à ce travail dont je porterai la fierté le restant de mes jours. Non par vanité. Mais, plutôt, par humilité devant les efforts fournis par nombre de sommités, ces méritants devanciers, qui ont nourri mes recherches, et m'ont ouvert l'accès à une microscopique frange du savoir, ce savoir sans lequel l'intelligence humaine n'aurait droit qu'à être niée, n'aurait qu'à se renier.

Car, le répétons-nous jamais assez, la vie d'ici-bas, aurait-elle un sens sans la contribution de chacun à l'éclairer du mieux de ses possibilités ? Faire avancer la connaissance pour soulager et améliorer le quotidien de l'humanité est la suprême reconnaissance envers l'œuvre du créateur, porteuse de mystères, certes, mais d'autant plus attachants qu'ils se veulent récalcitrants à leur percement, et que la persévérance, le courage, la ténacité et la détermination finissent par en fendre le corps, et en cueillir le cœur.

Me voilà, enfin, au bout de mon aventure qui, par trois fois, frôla la mésaventure, ne fut le soutien matériel et moral, réel, indéfectible et inconditionnel, de gens, si chers à mon cœur et à ma raison, dont j'aurai, ici, tantôt, l'honneur et le plaisir, de louer le courage, la bonté, et la générosité, pour m'avoir tendu la main, au moment où j'en avais le plus besoin.

Car, et c'est une vérité, que l'être humain est faible avec sa seule volonté ! Mais que sa volonté est forte à sentir s'unir à elle, se mobiliser pour elle, se regrouper autour d'elle, les bonnes volontés !

Ces bonnes volontés envers lesquelles je me sens une dette de reconnaissance pour mon travail que je ne considère comme terminé que dans sa phase pour une soutenance, non achevé dans sa vérité scientifique, beaucoup s'en faudrait, et pour lesquelles aujourd'hui ma conscience m'interpelle, pour que je leur rende quelque justice de ce qu'ils ont été pour moi, et ce qu'ils m'ont fait ou fait pour moi.

Oui, je voudrais leur dire tant et tant de choses.

Et d'abord, que je me sens si petit, et si démuné, devant l'ampleur de mes sentiments envers eux, avec l'indigence de ce que les mots peuvent exprimer. Alors, sauront-ils, mais ils sauront --- car savoir par leur cœur est leur vocation --- au moins lire entre les lignes, toute l'affection et tout le respect que je leur voue, au-delà de ce que peuvent résonner les mots, si petits dans leur expression, que je voudrais tellement grands dans leur signification.

### **Ma femme !**

Elle a été si déterminante dans l'aboutissement de ce projet. Comment ? Par maints aspects qu'il serait long d'énumérer ici dans leur totalité. Je m'en tiendrai à celui qui m'a le plus accompagné alors que j'étais en plein dans la mélasse la plus dense, celle qui ne laisse aucune

visibilité. Je veux parler du feu qui l'habitait. Oui, le feu, ravageur, mais le feu nourricier. Qui la consumait. Alors que, moi, il me nourrissait. Me réchauffait. Me revitalisait. Pour moi elle brûlait. Et je m'en veux de l'avoir tellement épuisée à me ressourcer. Quand j'abandonnais. En même temps je me félicite de l'avoir fait. Pour l'avoir révélée à elle-même en tant qu'être de sacrifice et d'abnégation, d'amour et de renoncement, pour la bonne cause, et le mari que je suis, chanceux parce que béni de Dieu jusqu'à la douleur du bonheur, de l'avoir, et que mes enfants puissent en être fiers, plus que de raison.

Catalyseur et détonateur, sans flancher jamais, elle eut la persévérance et la persistance dans le souffle qui, sans faillir ni défaillir, me repêchait face à la désespérance, au renoncement, à l'abandon dont j'étais, souvent, l'objet. Lorsque la rudesse du combat me désorientait, m'affaiblissait, me démotivait, elle tenait, pour moi, le flambeau dont la flamme vacillait. Et de nouveau ma route s'éclairait. Alors je m'enhardissais face aux rédhitions, pour les vaincre, non plus seulement pour les contourner. Le résultat est là, pour témoigner que la vie de couple est inscrite dans une logique de fusion, dépassant largement celle de la simple union. Alors, atteindre au sublime dans la relation, devient une affaire de chaque instant. C'est cela notre présent. Merci à mon destin de me l'avoir prescrit si généreusement.

### **Ma mère !**

Ma mère, dont je suis le fruit et la chair, et que je ne puis, malheureusement, qu'aimer, adorer, au plus vénérer, quand j'aurais voulu plus, comme l'avoir incrustée en moi, dans chaque fibre de mon être profond, elle, qui a su, par ses regards et ses silences, autant que par ses mots doux et chaleureux, insuffler en moi, cette fièvre d'aller de l'avant, comme étant son phare avec lequel elle peut voir dans le noir.

Ma mère, qui ne cessait de me dire qu'elle ne savait ni lire ni écrire. Alors, je voudrais bien comprendre comment elle a réussi à si bien m'apprendre à reconnaître le bon du pire, à essayer, ma vie durant, à être dans les bonnes grâces des hommes pour être dans celles du Seigneur, et que la bonté, la charité, le respect des valeurs qui sont à la base de la consistance et de la pérennité des sociétés, sont la clé qui ouvre le chemin à sa propre paix et à sa propre sérénité, avant d'espérer celles des autres, et pour mieux les mériter.

La gageure de tout enfant n'est-elle pas de devenir homme bâti, affirmé et confirmé face aux vicissitudes de la vie ? Soit, et qui s'en plaindrait ? Pourquoi alors reste-t-il en nous ce relent de nostalgie de l'enfance par rapport à cette mère qui nous a portés, aimés, choyés ? Certainement sa tendresse à l'immensité de la terre et de l'univers à nous couvrir, à trembler pour notre intégrité. Sans se mettre entre nous et la vie. Seulement à nous insuffler l'énergie avec le souffle de son cœur inconditionnellement et indéfectiblement épris. Amour tellement irraisonné. Tellement impossible à raisonner. Qu'elle nous donne comme le soleil irradie la lumière, sans compter, ni marchander. Oui, rien que son immense bonheur de nous aimer.

### **Mon père !**

Les grandes âmes se pressentent rarement au commencement. Longues à se dévoiler, seul le temps parvient à amincir la carapace sous laquelle elles veulent bien rester à l'abri des louanges et des remerciements.

Mon père est l'une de ces âmes à la tendresse farouche, extérieurement, mais combien noble et généreuse, lorsqu'il s'agit de son amour pour ses enfants.

Nous réussîmes, comme par un trait de génie, juste parce qu'il nous aime au-delà du simple entendement, à atténuer la fougue de son bouillant tempérament, qui, riche et puissant, canalisa notre effervescence sans bouleversement. Juste par sa présence, qui nous en imposait, nous en impose toujours, notre âge et notre situation n'ayant que le bonheur de lui reconnaître le mérite du bon jugement, et de la bonne éducation.

Il nous apprit, entre autre, le respect, celui de nous-mêmes et celui des autres, sans que nous l'ayons jamais regretté. Les valeurs dans leur rigueur, mais le cœur sur la main, et la bonté plein le cœur. C'est cela notre père. De quoi être aimant et fier.

La piété et l'autorité, sont les deux plus grandes caractéristiques de sa haute personnalité. Qui commandait la crainte, en même temps qu'elle inspirait le respect. Et jusqu'à aujourd'hui, où je me fais un plaisir et un honneur de voir en lui cette stature de commandeur, quand, lui, n'aspire qu'à être un père soucieux, avant tout, d'être affectueux. Mais cela je le sais, père, depuis que j'étais enfant, et que je te voyais si puissant. Tout comme maintenant...

**Monsieur Oulhaci Noureddine**

La grandeur d'âme et la rage au cœur font honneur à l'écrivain et poète que vous êtes. Vous avez répondu; présent, lorsque j'ai fait appel à vous.

Je rends hommage à votre clairvoyance qui, nécessairement, émane d'une grande sensibilité, de patience et de foi dans vos convictions.

Merci à Dieu de vous avoir choisi comme beau -frère.

**Monsieur Kaddour DJILI, Président du Jury.**

Si vous êtes à envier, c'est d'être si particulier. A briser la faiblesse, à la dissoudre dans un chaudron où tout n'est que suprême bouillonnement. Ce qui se traduisait, avec vous, toujours, en action.

Déjà en acceptant de présider le jury, vous vous placez dans mon estime et mon respect avec quelle force, sans oublier, et comment oublierai-je, votre aide toujours présente, toujours diligente, à m'aplanir les difficultés administratives et universitaires, me soulageant au-delà du possible et du raisonnable, sans transgresser les lois, ni revendiquer le passe droit.

J'aime à reconnaître que vous me bousculiez, que vous me faisiez me retourner contre moi-même à la recherche de l'ultime ressource qui me ferait décoller, pour ne guère ramper sous la difficulté ou plier face à l'adversité. Et mon tour de force fut que je ne voulais pas démériter à vos yeux que je savais impitoyables face à la médiocrité... C'est la marque des grands meneurs d'hommes --- et vous en êtes ---, de ne se soumettre qu'à l'efficacité, de ne pas s'abstraire à l'exigence dont ils ont fait leur modèle et leur cap de vie.

**Monsieur le professeur Moulay BELKHODJA, mon Directeur de thèse.**

Je me souviendrai, parce que je le veux, non seulement parce que je le peux, de votre foi en mon étoile quand, moi, je démissionnais face à la lourdeur de la tâche, et sa pénibilité. Où trouviez-vous ces ressources qu'il vous importait tant à me communiquer à travers des mots que vous saviez si bien réchauffer d'un peu de votre âme bonne et généreuse, et de votre humanité, sans qu'il vous en coûtât autre chose que le plaisir de donner. Alors, je vous écoutais... Et j'ai bien fait. Et qu'aujourd'hui je peux m'enorgueillir de vos conseils autant que de votre proximité. Car vous êtes un grand cœur, cela est incontestable, et n'a jamais été contesté. Mais, et cela non plus ne peut être contesté, vous êtes, aussi, un grand esprit.

**Monsieur le professeur Youcef DAOUD ;**

Homme d'honneur et d'humanité, qui ne sait pas dire non à aider autrui. A plus forte raison lorsqu'il s'agit d'enrichir la science et de fouetter les indolences, ou de faire réagir dans le bon sens les prises de conscience. Vous me fîtes d'un grand secours lorsque j'avais besoin de quelque recours. L'homme de science et l'homme de cœur, bénis dans le souffle du bien, sans jamais se renier. C'est, j'en suis certain, un grand bout du billet pour le paradis. Mais...que vous le méritez !...

**Messieurs : Nory BENABADJI, LOUHICHI BRINIS ET DRIDI BACHIR**

Touché au-delà de toute mesure de votre acceptation à participer au jury qui sera appelé à apprécier la valeur de mon travail, je voudrais ici vous assurer de ma gratitude et de mon profond respect. Car je ne puis qu'être fier, en plus que je suis chanceux, qu'un jour, c'est-à-dire tous les jours, je puisse dire, sans rougir, que mon jury était à la hauteur de mes espérances, et elles sont à la mesure de mes ambitions nourries de sérieux et de vérité.

A vous tous, ainsi que d'autres, avec les miens et mes enfants, je dédie ce travail et en même temps que je vous remercie. Avec chaleur, avec reconnaissance, avec respect.

En ce qui me concerne, je ne trouve le chemin à la gratitude que je vous dois, ni contraignant, ni dévalorisant. Au contraire. J'y trouve justice, et y puise réconfort. Puisse la vie nous apporter paix et sérénité.

## ص خلم

تظهر التربة الرملية لهضاب مستتامة نسبة ضئيلة من الطول. تكون إضافة البتونات إلى زراعة القمح الصلب، بالجمع مع الحمص، في المخبر و في الحقل، لتطمين لأبحاثنا لإعادة الأهمية لتأثيرها الفلاحية. في هذا المنظور، تدمج تنمية هذه التربة بإدخال البتونات الخفيفة بالطول حتى تحسن خصائصها الفيزيوكيميائية. الكيفية المرتكبة لوضع نظام زراعي يضم بقوليه وحبوب في هذه التربة المسمدة بالبتونات يمكنها تكوين نموذج فلاحى لتحصين خصوبتها و رفع المتوَج الزراعي .

وبخاصة اعتبر التمييز الفيزيوكيميائي للتربة حسب مقدار البتونات كي يحفض المقدار الأمل للبتونات الضرورية لتكملة التجربة، نسبة الكالسيوم و المغنيزيوم لمدية وتطور الأ زوت لخلي و القابل للاستعمال في التربة، لموازنة البكتريولوجية في التربة، و كذا دراسة مورفو فيزيولوجية و تحليل لزوت النبتة، استعمال البتونات بمقدار تتراوح من 2.5 إلى 15% أحدث تغيير نسبة التربة، و بالفعل، ابتداء من 7% من البتونات، كتقلل التربة من النسبة الرملية إلى النسبة الرملية الخفيفة. إضافة البتونات في التربة بدون زراعة لن يغير عن أي تأثير أكبر على الكاس الكلي والنشط.

التربة بدون زراعات معالجة بالبتونات تظهر جدا من الأزوت . لكن القواعد المتبادلة، التي لها الكالسيوم و مغنيزيوم مبسط تظهر الجزء الأهم، لصونيوم لمقابل يرتفع مع الكمية البتونية المطبقة في حقل، بالنسبة، ينخفض البوتاسيوم المتبادل .

أثرت إضافة البتونات للتربة الرملية على تطوير الأزوت القابل للاستعمال. تبرز النتائج أن الأزوت مرتفع في التربة المزروعة مهما كانت المرحلة و المعالج بالبتونات . هذه النسب ترفع أكثر من التربة البتونية ب10% في مرحلة الإنشاء.

فيما يخص الكالسيوم و المغنيزيوم، ترتفع النسب مع غناء التربة بالبتونات. في حين تنخفض في الحقل المصروف الحسب نسبة الكمية البتونية في التربة المزروعة قمع أحاديا و بالجمع .

اضمهرت نتائج عملنا البحثي بأن النمو في ارتفاع الساق و المساحة الورقية مهم في حالة جمع قمع + حمص و هذا صحيح في كل المراحل و كذا في كل تربة إلا أن هذه النتائج هي على نحو بارز ارفع من التربة البتونية كلاحظ علاقة قوية في جميع المعالجات بين كمية البتونات، نوع الزراعة و اليوماس السطحية .

إلا أن قمل البتونات و الجمع يمثل في زيادة ملحوظة لساق النبتة في مختلف مراحل النمو .

و هذه الزيادة في الارتفاع لها علاقة بمساحة الورقة.

على مجموع لمعالج علاقة قوية مسجلة كذلك بين المعالج بالبتونات و عدد العنازل في الحقل .

ارتفاع عام في المرود يحدث عندما تبلغ كمية البتونات 10% و القمح الصلب مزروع بالجمع مع الحمص بدون إضافة البتونات، المرود ضعيف، و هو اضعف حتى عندما يزرع القمح الصلب بالزراعة الأحادية .

المقاسات لمنجزية في الجمازين تظهر أن الكمية الإجمالية للميكروبات هي نوعا ما مرتفعة في التربة الرملية المزروعة بالبتونات . وهذا راجع إلى تركيز قوي في التربة وطاقوي للميكروبات، الشيء الذي سبب تركيز أقوى للميكروبات . عدد الميكروبات يتطور حسب كمية البتونات المضمومة إلى التربة الرملية، و مع الدورة النبتية للزراعة .

عند نهاية هذا العمل التضح انه يمكن للبتونات تكوين مادة أولية واحدة لتحصين الخصوصيات الفيزيائية الكيميائية البيولوجية للتربة الرملية خاصة لهضاب مستتامة، الشيء الذي يساهم في تحصيل المرود و الإنتاج الفلاحى لهذه المنطقة. يمكن للحمص اخذ مكانة مهمة في لمنهج مع القمح في المناطق التي جافة الجز التربة، برهنت نتائج أعمالنا التجريبية عن زيادة في المرود تذهب إلى الضعف بالنسبة لزراعة القمح بالأحادية .

الكلمات الأساسية: بتونات، تربة رملية، جمع قمع حمص، خصائص فيزيائية كيميائية للتربة، عوامل مورفو

فيزيولوجية، عوامل بكتريولوجية، هضاب مستتامة.

## **RESUME**

Les sols sableux du plateau de Mostaganem présentent un faible taux en argile, l'addition de la bentonite et la culture du blé dur, en association avec le pois chiche, en laboratoire et en plein champ ont constitué les deux pôles de nos recherches pour réhabiliter leur aptitude agricole. 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. 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 améliorer leur fertilité et augmenter la production céréalière.

Plus spécialement, sont examinés la caractérisation physico chimique des sols selon la dose de bentonite afin de retenir la dose optimale de cette argile nécessaire pour la suite de notre expérimentation, la teneur en calcium et magnésium solubles et l'évolution de l'azote total et assimilable dans le sol, le bilan bactériologique dans le substrat sol, enfin une étude morpho physiologique et analyse de l'azote de la plante.

L'application de la bentonite aux doses fluctuant de 2.5% jusqu'à 15% a provoqué une modification de la texture du sol. En effet, à partir de 7% de bentonite, le substrat passe de la texture sableuse à la texture sablo limoneuse. L'adjonction de bentonite dans le substrat sans culture n'exprime aucune influence majeure sur les calcaires total et actif. Les substrats sans culture traités à la bentonite sont très pauvres en azote. En revanche, les bases échangeables, dont le calcium et le magnésium sont dominants, présentent la fraction la plus importante. Le sodium échangeable augmente avec la dose de bentonite appliquée bien au contraire le potassium échangeable diminue.

L'apport de la bentonite aux sols sableux a influencé l'évolution de l'azote assimilable. Les résultats révèlent que l'azote est élevé dans le sol portant l'association quel que soit le stade et le traitement à la bentonite. Ces teneurs augmentent davantage dans les substrats bentonisés à 10% au stade tallage. Pour le calcium et le magnésium, les teneurs augmentent avec la richesse du sol en bentonite. Par contre, ils diminuent dans la solution drainée inversement proportionnelle à la dose de bentonite dans ces mêmes substrats cultivés en monoculture blé dur et en association blé dur pois chiche.

Au niveau du végétal, les résultats montrent que la croissance en hauteur de la tige et la surface foliaire sont nettement importantes dans le cas de l'association blé pois chiche mesurées à tous les stades de la plante dans toutes les conditions de traitements du substrat. Néanmoins ces résultats sont remarquablement plus élevés dans les substrats bentonisés. Une forte corrélation est remarquée pour l'ensemble des traitements entre la dose de bentonite, le type de culture et la biomasse aérienne. Il convient toutefois de noter que les effets de la bentonite et de l'association se traduisent par une augmentation significative de la hauteur de la tige des plantes à tous les stades de la croissance. Cette augmentation de la hauteur est corrélée à celle de la surface foliaire. D'autre part, pour l'ensemble des traitements une forte corrélation est enregistrée également entre le traitement à la bentonite et le nombre d'épis en plein champ. Une augmentation générale des rendements se produit quand la dose de bentonite est de 10% et que le blé dur est cultivé en association avec le pois chiche. Sans apport de la bentonite, les rendements sont faibles, ils sont encore plus faibles quand le blé dur est cultivé en monoculture.

Les dénombrements effectués dans les deux dispositifs pour évaluer le bilan bactériologique montrent que la quantité totale des microorganismes est sensiblement élevée dans les sols sableux

amendés en bentonite. Ceci est dû à une forte concentration en substrat énergétique pour les microbes ce qui a entraîné une plus forte concentration en microorganismes. Le nombre de germes évolue avec la dose de bentonite incorporée au sol sableux et avec le cycle végétatif de la culture.

Au terme de ce travail, la bentonite pourrait constituer une ressource naturelle très prometteuse pour l'amélioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols sableux notamment ceux du plateau de Mostaganem ce qui contribuerait à l'amélioration des rendements de la production agricole de cette région. D'autre part l'intégration d'une légumineuse comme le pois chiche dans un système de culture en associée avec le blé pourrait avoir une place importante dans ce modèle agricole particulièrement dans les zones semi arides Algériennes. Les résultats acquis dans cette expérimentation ont conclu en effet à un gain de rendement passant du simple au double par rapport à la culture du blé en monoculture.

**Mots clés :** Bentonite, sol sableux, association blé dur pois chiche, caractérisation physico chimique du sol, paramètres morpho physiologiques, cations solubles, paramètres bactériologiques. Plateau de Mostaganem, Algérie.

## **SUMMARY**

The sandy soils of Mostaganem shallow consist of a small rate of clay, the addition of the bentonite and the hard wheat cultivation associating the chickpea at labs and on lands have constituted the two main poles of our researches to rehabilitate their agricultural aptitude. In this outlook, there joins also the increase of the value of these lands by introducing the bentonite rich in clay in order to ameliorate their physico-chemical characteristics. The viewed approach in setting up a cultivating system by associating a leguminous plant and a cereal in these bentonite-improved lands, can constitute an agrarian pattern to improve their fertility and increase the cereal production.

There were mainly examined the physico-chemical characterization of the soils according to the bentonite dose to retain the optimal dose of this clay necessary to the continuity of our experiment. The amount of soluble calcium and magnesium and the evolution of the total nitrogen and assimilable in the soil, the bacteriological balance-sheet in the substratum soil, as well as a morpho-physiological study, and the plant nitrogen analysis.

The applying of the bentonite at doses ;fluctuating from 2,5% to 15% has provoked an alteration of the soil texture. In fact, from 7% of the bentonite, the substratum then turns from the sandy texture to the sandy alluvial texture. The adjunction of bentonite in the non-cultivated substratum doesn't express any major influence on the total and active limestone. The non-cultivated substrata treated with bentonite are with very low nitrogen content. On the contrary, the exchangeable bases ;where the calcium and the magnesium are dominating, are the most important fraction. The exchangeable sodium increases with the applied bentonite dose, however, the exchangeable potassium decreases.

The addition of the bentonite to the sandy soils has influenced the evolution of the assimilable nitrogen. The results show that the nitrogen is high in the soil containing the association whatever is the level and the treatment with bentonite. These tenors are increasing in the bentonised substrata at 10% at the hort level.

The amounts of calcium and magnesium increase with the soil richness in bentonite. However, they decrease in the drained solution ; reversely, proportional to the bentonite dose in the same substrata cultivated in wheat monocultivation and in association wheat chickpea.

The results of our research have shown that the growth in height of the stalk and the foliar surface are so important in the case of associating wheat chickpea and this is valid for all the stages as well as the substrata, meanwhile, these results are more elevated in the bentonised substrata. We notice a strong correlation for the whole treatments between the bentonite dose, the cultivation type, and the aerial biomass.

So, the effect of the bentonite and the association is translated into a considerable increase of the plant stalk height across the different steps of the growth. This increase of height is correlated to that of the foliar surface. For the whole treatments, there is a strong correlation recorded between the treatment with the bentonite and the number of heads in open fields. A general increase in the yields happens when the bentonite dose reaches 10% and the hard wheat is cultivated in association with chickpea. Without the input of the bentonite, the yields are low, and they are lower when the hard wheat is cultivated in monocultivation. The measures exerted in both cases show that the total amount of micro-organisms is more elevated in bentonite-improved sandy soils. This is due to a strong concentration of enegetical substratum for microbes, which has led to a very strong concentration of micro-organisms.

The number of germs grows with the bentonite dose added to the sandy soil and with the vegetative cycle of the cultivation.

At the closure, the bentonite may constitute a very promising raw material to ameliorate the physical, the chemical, and the biological characteristics of the sandy soils ;mainly those of Mostaganem shallow which helps ameliorating the agricultural production yields of this region. the integration of a leguminous plant as chick-pea in the association system with wheat could particularly have an important place in this agrarian model in the Algerian semi-arid zones. The results of our experimental works have shown a yield gain varying from ordinary to double, in comparison with wheat cultivation in monocultivation.

**Key words:** Bentonite, sandy soils, association wheat chickpea, physico-chemical characterization of soil, morpho-physiological study, soluble cations, bacteriological parameters, Mostaganem shallow, Algeria.

## INTRODUCTION GENERALE

L'un des problèmes auxquels est confrontée l'Algérie est celui de l'accroissement de la production céréalière pour faire face à l'essor démographique. La pression démographique a entraîné la raréfaction des sols cultivés sur la terre de la région de Mostaganem avec une diminution des jachères (ANOYME, 1995). Le plateau de Mostaganem compte une superficie totale de 212.000 ha de terres cultivables dont 128.000 ha de terres sableuses (ANONYME, 1998). Ces dernières présentent une texture légère, un taux très faible en argile, ce qui induit un fort lessivage en éléments minéraux et en fertilisants. Leur fertilité est très réduite avec une capacité de rétention en eau faible, (GOA et *al.*, 1998) ainsi qu'une activité microbienne limitée ce qui explique le taux de matière organique très faible dans ces sols (ABISMAIL, 1999; MORSLI et *al.*, 2004). Cette faible fertilité des sols sableux est l'une des contraintes dans cette région limitant la production agricole ce qui impose leur amélioration soit par des apports d'engrais industriels soit par des engrais verts pour augmenter les rendements des cultures. Cependant si les engrais minéraux sont généralement efficaces pendant les premières années de culture, ils modifient certaines propriétés physico-chimiques du sol car les engrais minéraux azotés sont notamment acidifiants ce qui peut réduire la disponibilité en éléments nutritifs provoquant une baisse de rendements. En effet les moyens techniques et théoriques pour améliorer le bilan azoté sont divers mais en pratique le choix est limité car la majorité des sols de la région sont sableux contenant une faible teneur en argile. Ils sont mal structurés, présentant des propriétés physico-chimiques défavorables à la nutrition minérale du blé et particulièrement l'azote (LE HOUEROU, 1993; DJABER, 1999). Les contraintes de la croissance du blé dur sont aussi les conséquences du climat de cette région caractérisé par une longue période de sécheresse s'étalant sur une phase de neufs mois où les réserves hydriques sont faibles, associées à des pluies insuffisantes et irrégulières. De plus, les pratiques culturales irrationnelles influent également sur son développement (AMBOUTA et VALENTIN, 1996).

Pour une agriculture durable il sera plus avantageux donc d'opter pour une gestion rationnelle des terres cultivées basées sur une connaissance profonde des interactions biologiques et en utilisant les ressources locales disponibles.

C'est dans cette perspective que s'intègre l'action de la mise en valeur de ces sols en utilisant la bentonite riche en argile afin d'améliorer leurs caractéristiques physiques et chimiques. Cette action conduira à l'augmentation de la capacité d'échange cationique (PETR, 1985; DEJOU, 1987) et à l'amélioration de la structure du sol avec tout ce que cela implique comme bonne rétention d'eau et d'éléments nutritifs et une meilleure aération (LHOTSKY, 1970; ELSHERIF, 1987 ; RAIMUND et DIETMAR, 1996 ; BENKHALIFA, 1997). Ceci permettra de s'orienter vers 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 pour pouvoir faire bénéficier le blé de l'azote fixé par cette légumineuse dans le but d'améliorer la production céréalière.

Cette étude se propose donc d'évaluer les effets combinés de l'apport de la bentonite et du pois chiche sur les rendements d'une culture de blé dur. Selon LADD et AMATO (1986), les essais réalisés avec isotopes indiquent qu'une partie plus faible de l'azote que prévue est effectivement utilisée par les cultures suivantes. Ces derniers ont estimé que la

---

contribution réelle d'une culture de légumineuse à deux cultures de blé subséquentes en Australie était de 2% des besoins de la culture pour chaque 10 kg de matières végétales et 1 % pour la deuxième dans un sol limono sableux. Dans une rotation légumineuse/blé avec peu d'apport d'azote sous forme d'engrais, une étude néo-zélandaise menée par ADAMS et PATTINSON (1985) a démontré que la plus grande source de nitrates perdus par lessivage durant la rotation était l'enfouissement de cette légumineuse. FRANCIS et *al.* (1994) 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, CAMPBELL et *al.* (1994) 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. Mais une étude Américaine réalisée au Mississippi (SMITH et VARGO, 1987) a conclu que le potentiel de lessivage de l'azote provenant des résidus de légumineuses était quand même inférieur à celui des fertilisants azotés.

Dans la région de Mostaganem, l'azote assimilable des sols est l'un des principaux facteurs limitant la croissance des plantes. Des études ont conclu que l'azote est l'élément nutritif le plus limitant dans les sols sableux dans la région Nord de l'Algérie et que la réponse des cultures aux éléments nutritifs est souvent limitée par l'absence de l'azote dans le sol (REGUIEG, 1992).

Les légumineuses à travers la fixation de l'azote atmosphérique contribuent en diminuant le pH de la rhizosphère pour ensuite augmenter la biodisponibilité du phosphore (COMPAORE et *al.*, 1997). Selon ces mêmes auteurs, dans un système d'association légumineuse/céréale, la dissolution des phosphates par la légumineuse pourrait donc avoir un effet bénéfique pour la céréale. En effet la surutilisation des engrais azotés chimiques, nitrates en particulier, conduit à une pollution des sols et des nappes phréatiques, ce qui constitue aujourd'hui un problème réellement inquiétant (HILAIRE, 1980; BERNARD, 2000). Certaines pratiques comme la surfertilisation des champs associée à la texture grossière des sols sableux du plateau de Mostaganem peuvent être des sources de contaminations par les nitrates. Ainsi, l'utilisation des plantes fixatrices d'azote est un des atouts susceptibles d'atténuer les phénomènes de pollutions terrestres et leur introduction joue le rôle d'engrais azoté non polluant. A cet effet, les légumineuses peuvent répondre à deux préoccupations majeures, l'enrichissement des sols en azote et la dépollution azotée.

Dans le plateau de Mostaganem, les sols sont très pauvres en azote (DJABER, 1999). L'utilisation des engrais minéraux devient une charge élevée en raison de leur coût. Ainsi, la richesse des légumineuses en azote grâce à l'association symbiotique avec les bactéries fixatrices d'azote peut remplacer efficacement les engrais azotés industriels.

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.

Notre travail consiste à l'étude de l'effet des légumineuses sur le bilan azoté du blé dur cultivé en association avec cette légumineuse sous amendement des sols sableux en bentonite. L'objectif global de l'essai est de contribuer à l'amélioration du statut physico-chimique des sols et le rendement du blé dur dans ce système de culture et de ce fait minimiser le coût et l'effet des engrais minéraux dans les exploitations agricoles.

Dans les conditions de climat semi – aride à saisons très contrastées, la dynamique de l'azote dans le sol dépend étroitement des conditions pédoclimatiques très variables.

Les études peu nombreuses réalisées sur ces sols sableux ne permettent pas d'établir une stratégie de fertilisation adaptée à ces conditions, d'où l'objectif de cette étude.

Notre travail s'articule autour de quatre parties :

- Dans la première partie de ce travail, nous aborderons les effets des conditions liées à l'apport de la bentonite sur l'état du sol et ses disponibilités en eau et en éléments chimiques,
- La deuxième partie sera consacrée aux résultats obtenus au laboratoire sur la croissance et le développement du blé dur en monoculture et associé au pois chiche dans des sols soumis à des doses croissantes de bentonite, ainsi que dans les parcelles dans les conditions naturelles,
- Dans la troisième partie sera inclus le bilan cationique du calcium et du magnésium.
- Enfin, la quatrième partie s'achèvera par la dynamique de l'azote dans le sol et dans le blé dur d'une part, ainsi que par le bilan microbiologique du sol d'autre part.

# CHAPITRE I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE ET DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

## I - PRESENTATION DU SITE EXPERIMENTAL

### A - Situation géographique du plateau de Mostaganem

Notre site expérimental se localise dans le plateau de Mostaganem (fig. 1) (dans le Nord Ouest algérien), à l'intersection du parallèle 35° 55, de latitude Nord et le méridien 0° 6 de longitude Ouest, à une altitude de 26 à 30 mètres. L'étude expérimentale a été réalisée à la station agronomique de Mazagran (Mostaganem).

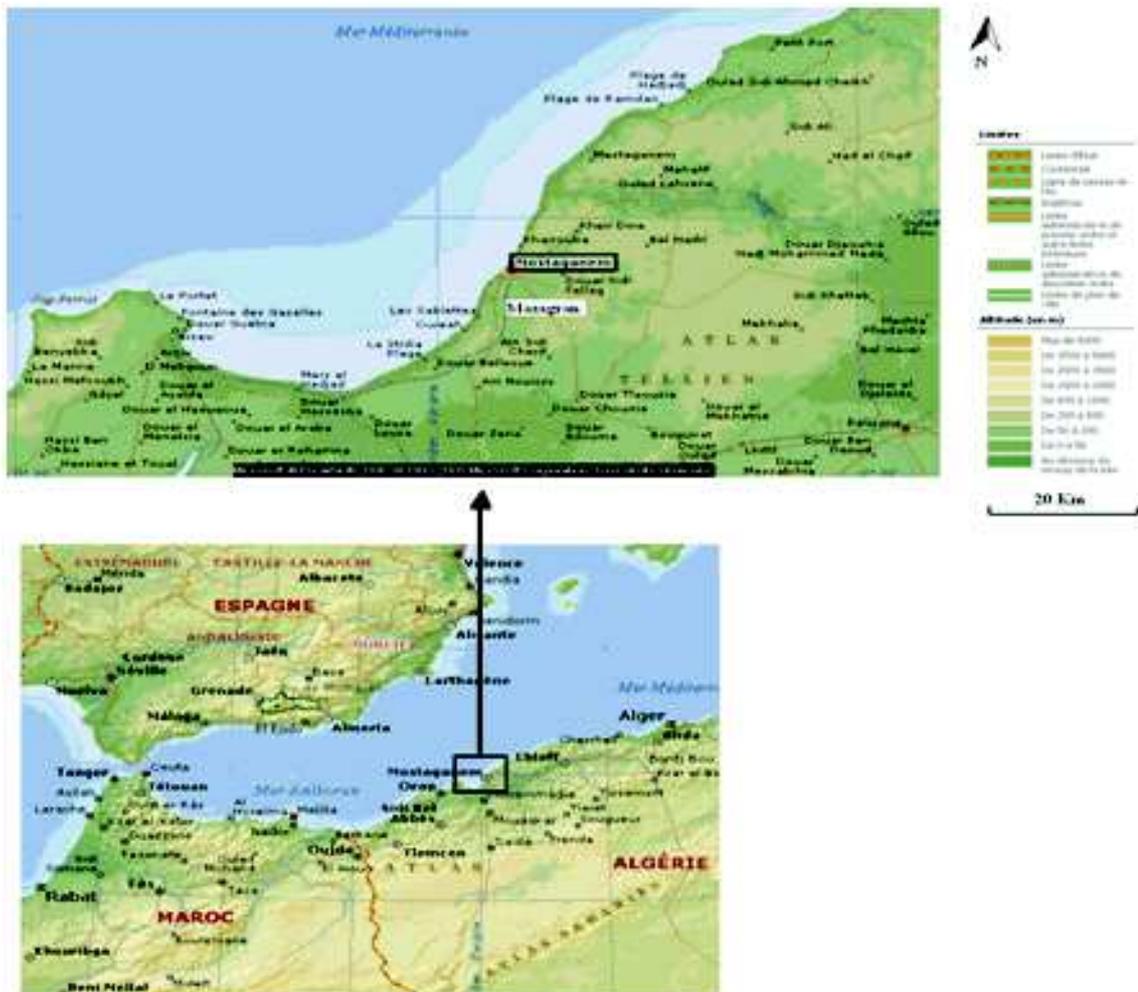


Fig.1 - Situation géographique du site expérimental.

## B -Caractères topographiques et édaphiques

Le plateau de Mostaganem est une région installée essentiellement sur un substrat grésocalcaire d'une épaisseur de 1 à 10 mètres (DALLONI, 1939). On distingue aussi les marnes bleues du Sahel constituant l'assise du bassin Miocène Nord tellien et les marnes grises qui constituent un mélange entre l'argile helvétique et les carbonates de chaux libérés lors de l'altération des roches et ciment calcaire (BELGAT, 1984). Ces marnes affleurent au niveau de Stidia, au Sud-Est d'Ain –Nouissy et vers le Nord de Mostaganem. Le plateau de Mostaganem est irrégulier et présente quelques saillies s'élevant à 389 m au Djebel Tarek. Son altitude moyenne est de 200 m mais s'abaissant progressivement vers l'Ouest. Il est vallonné dans le sens Nord-Sud et est caractérisé par des pentes très faibles (0-3%) représentant 64% de la surface totale du plateau. Cette classe est généralement occupée par les cultures céréalières (LARID, 1993).

Les sols de la station sont caractérisés par une texture sableuse. Ils sont considérés comme faisant partie des sols peu évolués à croûte calcaire, présentant un profil de type AC dont l'épaisseur est comprise entre 20 et 40 cm, c'est le sol le plus répandu dans le plateau de Mostaganem. L'horizon C est une dalle calcaire. L'analyse des caractères physico-chimiques montre au niveau de l'horizon de surface A des fractions granulométriques dominées par les sables donnant une texture sableuse, un pH alcalin (8.3) et un faible taux de matière organique jusqu'à 0.69 %. Les caractères hydriques exprimés par l'humidité relative et la capacité de rétention sont également faibles. Ils sont dus en partie à la sécheresse et à la texture sableuse des sols.

## C - Caractères climatiques généraux

Le climat de la région de Mostaganem est bien entendu comme, celui de l'ensemble des zones côtières algériennes de type méditerranéen contrasté avec une longue saison estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide. La valeur des précipitations est très faible et très variable d'une année à l'autre au point de vue quantité et répartition. Les régimes hydriques sont relativement homogènes et traduisent un climat de type méditerranéen, littoral d'après DEBRACH (1953).

### 1) Précipitations

Selon les données recueillies par BENABADJI et BOUAZZA (2000), les valeurs moyennes des précipitations saisonnières diffèrent peu entre l'automne et l'hiver. La valeur pluviométrique moyenne durant le printemps est d'environ la moitié

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pluviosités moyennes mensuelle (mm)	47	29	35	21	31	7	1	6	22	31	79	69	377
nombre de jours/année	9	7	7	6	5	3	1	1	4	6	9	10	68

**Tableau 1** - Pluviosités moyennes mensuelles et annuelles (en mm) et nombre de jours/année (Source : ONM1 de Mostaganem (1977-2003))

(87 mm) de celle des deux saisons précédentes. La tranche pluviométrique enregistrée durant l'été est la plus faible (14 mm) de celle des autres saisons. Le régime des pluies est de type HAPE (Hiver, Automne, Printemps, Eté).

La pluviométrie moyenne annuelle dans la zone d'étude est de 377 mm (tableau 1) mais la notion de moyenne ne reflète guère la réalité dans ces régions à cause de la très grande variabilité de la quantité de pluies. Les pluies tombent environ 68 jours dans l'année réparties sur une période de 19 jours au cours de l'automne, de 18 jours au printemps alors que durant l'été la période des pluies ne dépasse guère la semaine. Il est important de noter qu'il y a en moyenne un jour de pluie torrentielle par an, c'est-à-dire une tranche de 30mm au moins de pluie en 24 heures. Généralement, ce sont ces pluies agressives qui provoquent l'érosion et ont un rôle sur la migration assez importante des sels solubles (HALITIM, 1988).

## 2) Températures

Les températures constituent un facteur important régissant la croissance et le développement des végétaux. L'analyse des écarts thermiques dans la zone d'étude met en évidence des températures assez élevées caractérisant la saison d'été. La valeur de la température moyenne maximale du mois le plus chaud (M) est de 28.4° C en Août et Juillet (27.6 °C) montrant ainsi l'intensité de la saison estivale.

La saison hivernale connaît des valeurs relativement basses avec une température moyenne minimale du mois le plus froid (m) de l'ordre de 9°C. L'amplitude thermique saisonnière entre les températures moyennes de l'été et celles de l'hiver (tableau 2), montre l'importance de la chaleur estivale. La correspondance entre les fortes températures et la faible pluviométrie indique le caractère méditerranéen du climat.

<sup>1</sup> Office National de la météorologie.

	Maxima, minima et moyennes mensuelles												T° moy. annuelle
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
M(°C)	15.9	16.8	18.1	19.9	21.9	25.1	27.6	28.4	26.8	23.8	19.7	16.9	21.7
m(°C)	9	9.7	10.7	12.4	15.2	18.2	20.6	21.4	19.5	16.4	12.9	10	14.7
$\frac{(M+m)}{2}$	12.4	13.2	14.4	16.1	18.5	21.6	24.1	24.9	23.15	20.1	16.3	13.4	18.2

**Tableau 2** - Températures annuelles moyennes et moyennes mensuelles des maxima et de minima en °C (Source : ONM<sup>1</sup> de Mostaganem (1977-2003))

## 3) Vents

La zone d'étude est soumise aux vents du sud, secs et chauds (sirocco) surtout au printemps et en été. Ils font baisser le degré hygrométrique de 60 % (moyenne annuelle à 20 % (HALITIM, 1988). Ces vents augmentent l'évapotranspiration et déclenchent parfois des incendies. En hiver, les vents sont secs et froids. Dans les régions arides, les vents jouent un rôle important dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols. La direction, la fréquence et la vitesse des vents sont très variables au cours de l'année ; cependant les vents du nord-ouest et de l'ouest sont dominants, sauf en été. Ces vents sont relativement pluvieux puisqu'ils poussent les nuages provenant de l'Atlas tellien.

#### 4) Synthèse bioclimatique

Les diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1957) permettent de comparer l'évolution des valeurs des températures et des précipitations et montrent l'importance de la période sèche (fig. 2). Ces auteurs considèrent un mois sec lorsque le total mensuel des précipitations exprimés en mm est inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimée en degré Celsius ( $P = 2T$ ). Le diagramme établi confirme la longueur de la période sèche s'étalant sur une période de 6 mois, du début Mai jusqu'à la fin Septembre.

<sup>1</sup> Office National de la météorologie

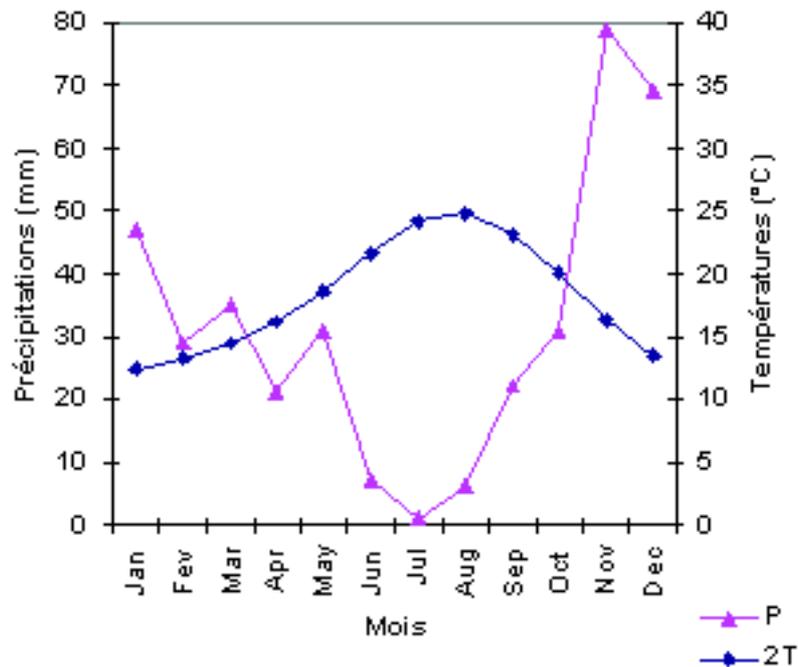


Fig.2 – Diagramme ombrothermique de la station de Mostaganem.

Le quotient pluviométrique  $Q_2$  (EMBERGER, 1955) établi ( $Q_2 = 50,5$ ) permet de positionner la région de Mostaganem dans l'étage bioclimatique à hiver doux dans le semi aride. De plus, l'indice annuel d'aridité de De Martonne établi (13.37) caractérise l'intensité de la sécheresse des étages bioclimatiques méditerranéens.

Tous ces indices calculés traduisent l'aridité de la région et les conditions difficiles auxquelles la végétation est soumise.

## II – DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

### A - SUBSTRAT

#### 1) Sols sableux

Les sols sableux se caractérisent par un faible pouvoir de cohésion entre les particules et sont mal structurés, ils possèdent généralement une structure fragmentaire, par conséquent sont peu concernés par les changements pouvant se produire en matière de teneur en humidité. De ce fait, ces sols possèdent une faible capacité de rétention en eau et présentent un ressuyage rapide à cause de leur texture légère.

La stabilité structurale de ces sols est généralement faible. N'DAYEGAMIYE et *al.* (1993) puis CHANTIGNY et *al.* (1999) pensent que la désagrégation est due à la dispersion des ciments argileux et humiques libérant les particules grossières de sables et limons. L'eau pénétrant dans les pores du sol exerce sur l'air emprisonné à l'intérieur une pression qui finit par éclater en fragments de terre. La faible cohésion des agrégats est due à la faible teneur en argile et celles des cations adsorbés ainsi que la matière organique et les électrolytes absents dans la solution du sol (VILAIN, 1987).

Chimiquement ces sols sont très pauvres et ne disposent pas de réserves remarquables en éléments nutritifs, vu leurs faibles capacités de stockage et d'échange cationique ce qui demande une application répétée des engrais chimiques et à petites doses pour éviter le lessivage. Ces sols présentent un faible potentiel agricole et font l'objet de plusieurs travaux scientifiques en vue de leur amélioration. Ces caractéristiques physiques et chimiques défavorables influencent directement les propriétés biologiques de ces sols, car les racines des plantes cultivées ne peuvent bénéficier facilement des facteurs de croissance telles que l'eau et la chaleur, des éléments chimiques et des composés organiques de ce point de vue.

### 2) Bentonite

La bentonite gonfle et retient de grandes quantités d'eau. A cet effet elle est utilisée dans l'agriculture comme amendement des sols sableux pour retenir l'humidité et réduire les infiltrations d'eau.

L'Algérie possède plusieurs gisements d'argile, les plus importants sont situés à l'Ouest du pays d'où est extraite une argile connue sous le nom commercial de bentonite.

Les réserves actuelles de cette argile sont évaluées par les experts du gouvernement Algérien à 14,3 millions de tonnes et le potentiel que recèle le pays est estimé à 27 millions de tonnes, réparties sur les deux gisements (source E.N.O.F, 2002<sup>2</sup>). Le premier situé à Mostaganem (M'zila) est destiné généralement aux travaux de forages pétroliers (source BENTAL<sup>3</sup>, 2001); le deuxième plus important est situé à l'extrême Ouest du pays dans la région de Maghnia.

La disponibilité du matériau argileux associé à son faible coût a conduit à développer des études de valorisation de cette ressource minérale locale. En général, l'utilisation de la bentonite a pour but l'amélioration des propriétés physico-chimiques des sols sableux en vue d'une éventuelle amélioration des rendements du blé dur et en particulier dans la région de Mostaganem.

<sup>2</sup> Entreprise Nationale des produits Miniers Non Ferreux et des substances utiles.

<sup>3</sup> La Société des Bentonites.

#### a) Généralités sur les argiles

Ce sont des particules minérales inférieures ou égales à 2 microns. Elles ont toutes en commun leur plasticité. Le coran révèle que l'argile est une substance suffisamment plastique à partir de laquelle Dieu créa l'homme(Sourate Elhadjr). Elles se caractérisent souvent par leur structure en feuillet et leur propriété à échanger des éléments chimiques avec le milieu environnant. Ce n'est qu'en 1746 que la première analyse chimique a été faite sur le kaolin. ATTERBERG (1913) a donné le sens granulométrique aux minéraux argileux, (CAILLERES et *al.*, 1982 ; LANSON et BOUCHET, 1995). Ces mêmes auteurs, ont établi les premiers modèles de structure des argiles : composition chimique et nature de la maille formée d'aluminium, de silicium et d'eau.

En général les argiles sont des aluminosilicates associés dans le réseau à l'oxygène, au sodium, au magnésium, au calcium, etc.... Le quartz, la calcite et certaines matières organiques peuvent exister comme impuretés. La définition la plus complète est celle donnée par RIVIERE et BELOY rapportée par CAILLERES et *al.* (1982) .

Les argiles sont des silicates à texture phylliteuse ou fibreuse de taille ne dépassant guère les deux microns.

### **b) Structure et classification**

La classification des argiles se fait en fonction de la composition du feuillet élémentaire (CAILLERES et *al.*,1982).

Deux éléments essentiels le silicium et l'aluminium entourés d'oxygènes et d'hydroxyles constituent le réseau cristallin fondamental. Le silicium occupe le centre d'un tétraèdre et l'aluminium celui d'un octaèdre, parfois l'aluminium occupe le centre d'un tétraèdre (CAILLERES et *al.*, 1982). L'accolement de plusieurs tétraèdres ou de plusieurs octaèdres constitue une couche correspondante. La juxtaposition de couches tétraédriques et octaédriques formera le feuillet (fig.3).

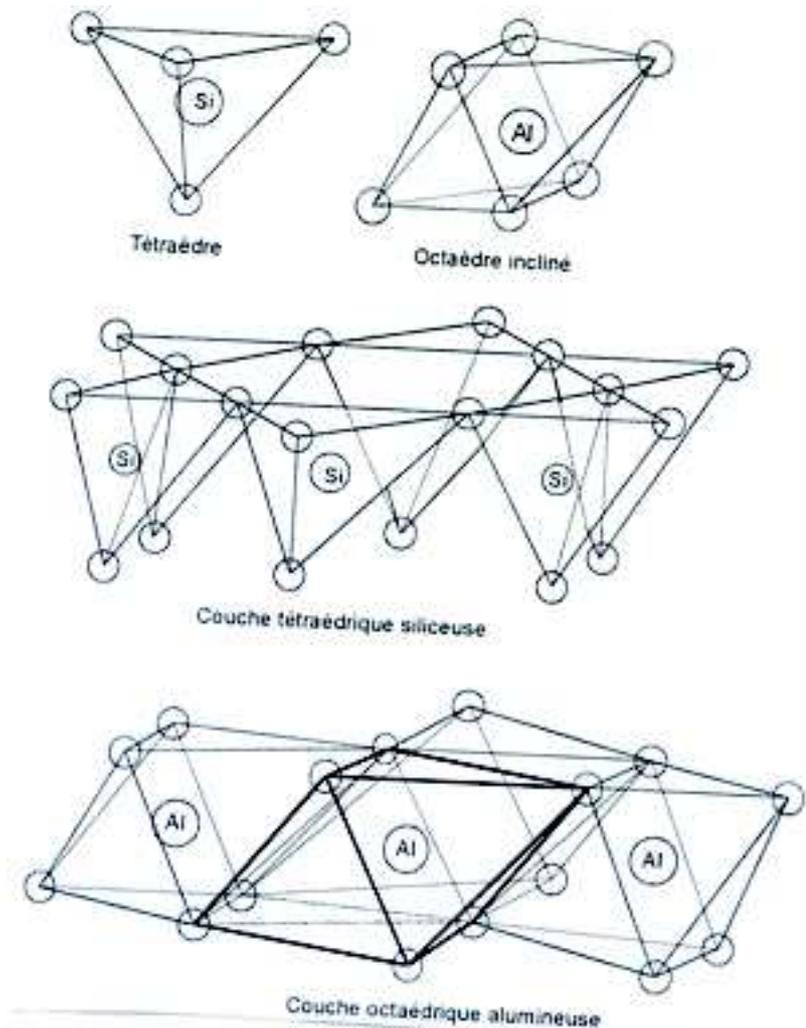


Fig.3 - Constituants élémentaires du feuillet d'argile.

Chaque feuillet élémentaire est séparé du suivant par un espace interfoliaire. Cet espace peut renfermer des cations; ces cations peuvent quitter assez facilement l'espace interfoliaire et être remplacés par d'autres. Ils sont échangeables (figure. 3)

### 1. Famille du Kaolin ou série 1/1 (Te/Oc)

Le feuillet élémentaire est constitué d'une couche tétraédrique (Te) et une couche octaédrique (Oc). Dans la couche octaédrique deux cavités octaédriques sur trois sont occupées par des cations  $Al_3^+$ , la couche tétraédrique est dépourvue en principe de substitution isomorphe. Le feuillet est électriquement neutre et sa capacité d'échange cationique est très faible (0,03 à 0,15 meq.g<sup>-1</sup>). Les feuilles adhèrent les unes aux autres par l'interaction des forces de Van Der Waals et des ponts hydrogène qui s'établissent entre les hydroxydes de la couche octaédrique et les atomes d'oxygène de la couche tétraédrique du feuillet adjacent.

### 2. Famille des smectites et des micas ou série 2/1 (Te, Oc, Te)

Une couche octaédrique (Oc) alumineuse est encadrée par deux couches tétraédriques (Te) siliceuses. Chaque couche tétraédrique contient trois cavités octaédriques par demi maille élémentaire. Des substitutions peuvent se produire en position tétraédrique (Si par Al) ou en position octaédrique (Al par Mg) (MOREL, 1989). Ces substitutions isomorphiques génèrent un déficit de charge négatif au niveau du feuillet.

### **3. Famille des chlorites ou série 2/1/1(Te. Oc.Te)**

Elle comprend en plus de la composition du feuillet de la série 2/1, une couche octaédrique insérée dans l'espace interfoliaire. Une autre classification distingue les argiles en fonction de l'épaisseur de leurs feuillets :

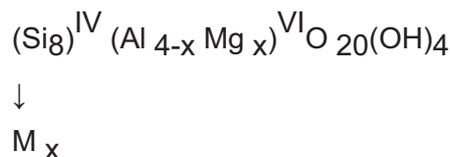
- Série 1/1 : appelés minéraux à 7 Å
- Série 2/1 : appelés minéraux à 10 Å
- Série 2/1/1 : appelés minéraux à 14 Å

Ces trois groupes caractérisent les phyllites vraies ; un quatrième groupe est représenté par la pseudophyllites (TRIAT, 1994a). 7, 10 et 14 Å sont les épaisseurs des différentes couches constituant le feuillet élémentaire de l'argile considérée. Cette classification est utilisée par CAILLERES et *a.*, 1982; TRIAT, 1994a).

### **4. Structure des smectites**

Les smectites sont des aluminosilicates phylliteux appartenant à la série 2/1. Elles se divisent en deux groupes : les dioctaédriques (deux cavités octaédriques sur trois sont occupées par un octaèdre d'aluminium (MERING, 1975) et les trioctaédriques (tous les sites octaédriques sont occupés par un octaèdre d'aluminium (CAILLERES et *al.*, 1982; MERING, 1975).

La montmorillonite appartient au groupe des smectites dioctaédriques où l'aluminium octaédrique peut être remplacé par un atome de magnésium. L'argile utilisée est composée de montmorillonite appartenant à la famille des smectites dans le groupe des dioctaédriques. Cette montmorillonite a la structure suivante (MERING, 1975)



Les nombres IV et VI désignent les couches tétraédriques et octaédriques respectivement. M<sub>x</sub> désigne le cation échangeable logé dans l'espace interfoliaire.

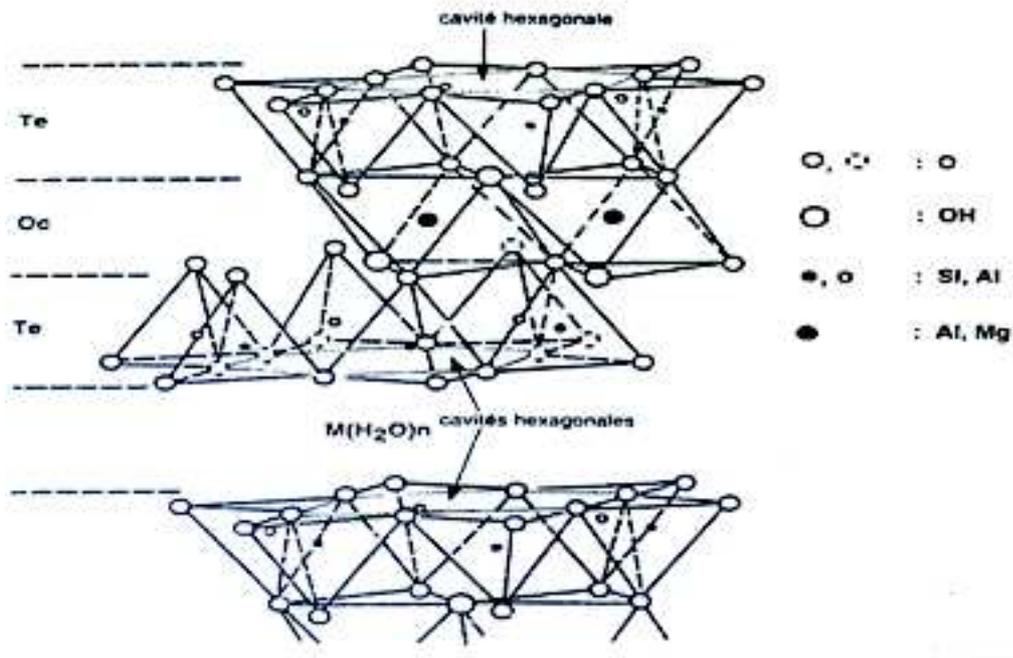
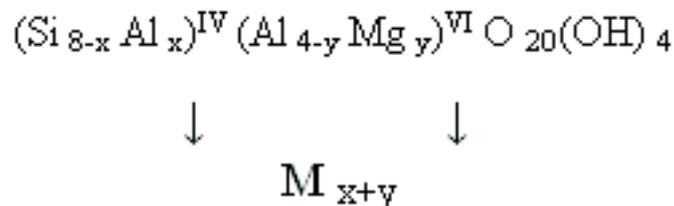


Fig.4 : Structure tridimensionnelle d'une smectite dioctaédrique.

On peut trouver également une substitution isomorphique en position tétraédrique c'est le cas notamment de la beidellite de formule chimique :



La valeur de  $x+y$  peut atteindre 1,2 environ (MERING, 1975).

Selon LANSON et BOUCHET (1995), en Algérie, il existe plusieurs gisements d'argile commercialisée sous le nom de bentonite notamment dans la région de Maghnia (Ouest Algérien). Les études faites sur la bentonite de Maghnia montrent sa composition essentiellement de montmorillonite. Elle résulte de l'altération de cendre volcanique de rhyolite (CAILLERES et al., 1982). La montmorillonite est une argile localisée à Montmorillon (Vienne, France) et décrite en 1847 par DAMOUR et SELVETAT rapporté par TRIAT (1994b). La bentonite a été étudiée par KNIGHT en 1898. Elle provient de gisement de

Fort Benton, dans la région de Rock Creek (Wyoming, USA), d'où est tirée la racine du nom bentonite (TRIAT, 1994b).

### c) Propriétés des argiles

Les minéraux argileux ont un comportement particulier vis-à-vis de l'eau. Une particule argileuse en suspension dans l'eau est colloïdale, se disperse gonfle et adsorbe des quantités d'eau logeant dans l'espace interfoliaire et pouvant atteindre plusieurs couches (MERING, 1975; VAN DAMME et al., 1987).

#### 1. Colloïdalité

Le terme colloïdal désigne des substances assez divisées pour que les particules ne soient visibles qu'au microscope électronique (MERING, 1975). La colloïdalité est liée à l'extrême finesse des particules. Les particules forment des suspensions stables. La colloïdalité provient de la présence des charges négatives présentes à la surface des particules

## **2. Dispersion**

Selon MERING (1975), les argiles se dispersent dans l'eau et forment des suspensions plus ou moins stables, dispersion due à la propriété colloïdale, la capacité d'échange et l'appartenance au groupe des silicates. L'édifice silicaté est un stabilisateur des propriétés relatives aux colloïdes échangeurs de cations.

## **3. Adsorption d'ions**

Les argiles gonflantes sont susceptibles d'insérer toute espèce cationique organique, inorganique ou organométallique. Plusieurs mécanismes d'insertion sont possibles (VAN DAMME et al., 1987) :

- échange cationique comme dans le cas du bleu de méthylène (HANG et BRINDLEY, 1970) et des cations métalliques (GONZALEZ-PRADAS et al., 1994),
- la formation des complexes : lorsque les cations échangeables sont des cations de transition (TOKARZ et SHABTAI, 1985).

## **4. Capacité d'échange**

Les atomes de valence « n » substitués dans les couches octaédriques ou tétraédriques par d'autres atomes de valence inférieure, créent dans le feuillet une charge globale négative. La compensation de cette charge est assurée par des cations échangeables, localisés dans l'espace interfoliaire. Ce sont généralement des cations  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ . Le nombre et la nature du cation échangeable caractérisent l'argile.

L'ensemble de ces charges mobiles peut être estimé et son calcul donne la capacité d'échange cationique (C.E.C.). La C.E.C. est exprimée en milliéquivalents grammes / 100 g d'argile. Il existe plusieurs méthodes d'analyse pour la mesure de la C.E.C. de la bentonite, : la méthode au cobalt (ROHDES et BROWN, 1995), la méthode conductimétrique (CHIU et al., 1990), et la méthode au bleu de méthylène (HANG et BRINDLEY, 1970; KAHR et MADSEN, 1995).

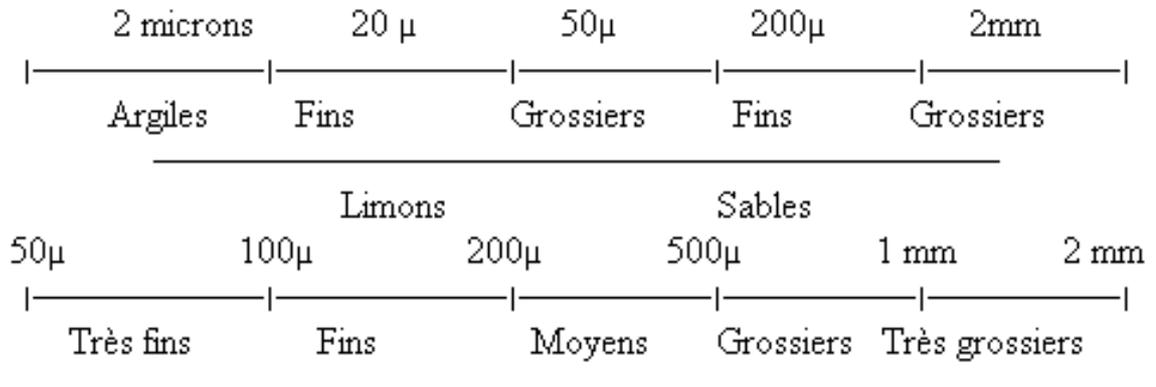
## **5. Surface spécifique**

C'est la surface des feuillets et de celle de leurs bordures, exprimée en  $\text{m}^2$  ou en  $\text{cm}^2$  par gramme d'argile. La mesure de la surface spécifique présente plusieurs difficultés : la disposition ou la superposition des feuillets n'est pas uniforme mais ordonnée pour estimer théoriquement la surface spécifique (CAILLERES et al, 1982) et l'eau adsorbée par l'argile n'est jamais désorbée en totalité. MERING (1975) Lors de ses expériences d'adsorption d'azote sur les minéraux argileux mesure une surface spécifique apparente inférieure à la surface réelle.

### **d) Caractérisation de l'argile de Mzila Mostaganem**

#### **1. Analyse granulométrique de la bentonite brute**

L'analyse granulométrique (Tableau 3) exprime les proportions des composants minéraux de la bentonite en sable, limon et argile. La classification granulométrique des particules minérales selon Atterberg (AUBERT, 1978) :



Constituants	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
Teneur en %	60	22.50	10.80	0.58	0.70

**Tableau 3-** Résultats de l'analyse granulométrique de la bentonite de Mzila Mostaganem selon DERDOUR (1985)

La bentonite fournie par l'ENOF est broyée puis tamisée à travers un tamis de maille 2 mm pour éliminer les cailloux et autres solides.

L'analyse de ce tableau montre que la bentonite de Mostaganem contient 60% de particules argileuses, 33.3 % de limons et 1.2 % de sables.

## 2. Caractérisation chimique et minéralogique de l'argile de Mzila Mostaganem

### a. Capacité d'échange cationique (C.E.C.)

Les données rapportées par ABDELOUAHAB et al (1988) ; BOUKHEROUI (2002) montrent que la concentration au test de bleu de méthylène donne 50.5 meq /100 g d'argile et au test au cobalt, elle se situe à 46 meq/100 g d'argile.

### b. Composition chimique de la bentonite naturelle de Mzila

Les résultats de la composition chimique sont consignés dans le tableau 4.

**Tableau 4-** Composition chimique de la bentonite brute de Mzila Mostaganem (source : ENOF, 1988<sup>2</sup>)

Composants de la bentonite	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	FeO <sub>3</sub>
Teneur en %	61.20	13.50	4.52	2.78	1.57	1.73	3.55

Les données rapportées dans le tableau 4 montrent que la teneur en SiO<sub>2</sub> est très importante, 61.20 %, suivi de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13.50 %).

### **c. Composition minéralogique de la bentonite de Mzila**

L'analyse de ce tableau montre que la bentonite de Mostaganem contient essentiellement de la montmorillonite 45 à 50 %.

Minéraux	Montmorillonite	Quartz	Feldspath	Carbonate	Biotite	Verre volcanique	Fragment de roche	Pyroxène
Teneur (%)	45 à 50	15 à 20	3 à 5	8 à 10	8 à 10	8 à 10	2 à 4	< 1

**Tableau 5-** Composition minéralogique de la bentonite brute de Mzila (source : ENOF, 1988<sup>\*</sup>)

### **d) Bentonite en agriculture**

La bentonite connaît beaucoup d'applications dans le domaine agricole parmi lesquelles:

- Elle permet de mettre en valeur les terres à texture légère, comme additif dans l'élevage car elle atténue la vitesse de décomposition de l'urée après l'ingestion,
- Pour la protection contre les insectes et dans la médecine vétérinaire,
- Comme couche imperméable permet de protéger les eaux souterraines contre toute contamination par les éléments chimiques dus à l'utilisation agricole (engrais) ou industrielles,
- Elle peut se mélanger avec le fumier, ou autres excréments d'animaux elle est utilisée comme un agent de déshydratation,

<sup>2</sup> Entreprise Nationale des produits Miniers Non-Ferreux et des substances utiles.

- Pour l'enrobage des engrais (la médecine vétérinaire).

### **e) Aspect économique d'application de la bentonite dans l'agriculture**

Du point de vue économique, l'application de la bentonite dans l'agriculture a permis d'améliorer la structure des sols sableux susceptibles d'augmenter la production et d'économiser l'eau et les éléments fertilisants. Ce sont les bentonites « non pures » de qualité médiocre avec des admixtions plus avantageuses pour l'agriculture, mais non pour l'industrie (à cause des carbonates par exemple). Cette économie dépend en grande partie de la distance entre le gisement et le lieu d'application de la bentonite.

### **f) Influence de la bentonite sur les rendements et propriétés chimiques des sols sableux**

Le rôle positif de la bentonite en agriculture est rapporté par un grand nombre d'auteurs ayant entrepris sur plusieurs années des expériences en plein champ et en laboratoire dans différents pays du monde. Dans cette partie seront exposés brièvement quelques résultats obtenus.

#### **1. Effets chimiques**

### **a. Influence des doses de bentonite sur la conductivité électrique et le pH des sols sableux**

Les résultats des analyses chimiques permettant d'expliquer l'effet des différentes doses de la bentonite sur les paramètres chimiques des sols sableux, établis par LAREDJ (1988), ROUIBA (1994) et BELBAHI (1994) révèlent une évolution rapide de la CE du sol traité par rapport au sol témoin (celle-ci atteint 125 % pour la dose de 15 %). Mais dans tous les cas on est loin de la limite de salinité fixée à 4 mmhos/cm, selon la classification Américaine des sols salés. Le pH des différents traitements est alcalin.

### **b. Influence des doses de bentonite sur la teneur en calcaire, la matière organique et l'azote des sols sableux**

L'incorporation de la bentonite aux sols sableux n'affecte pas des variations sur le taux de calcaire. Ce dernier semble rester sans grand changement quelle que soit la dose de bentonite appliquée. D'après BOUTALBI (1995), la matière organique présente des variations en évoluant d'une manière similaire à celle du carbone organique et enregistre un optimum pour la dose de 7,5 %. La teneur en azote est presque constante. Le phosphore augmente légèrement et varie de 0,17 à 0,33 % et de 0,10 à 0,36 %.

### **c. Influence des doses de bentonite sur les bases échangeables des sols sableux**

Selon les données de EL SHERIF (1987) et BOUTALBI (1995) le sodium et le magnésium échangeables augmentent avec la dose de bentonite appliquée, leurs teneurs sont faibles pour les deux premières doses (0 % et 2,5 %) puis deviennent élevées pour les doses suivantes. Ceci est dû à la richesse de la bentonite en sodium. Le calcium échangeable est en teneur faible, il varie d'une dose à une autre. Le chlore ( $\text{Cl}^-$ ) augmente avec les doses de bentonite, ceci explique que les argiles offrent des charges positives directement ou indirectement susceptibles de fixer le  $\text{Cl}^-$ . Plus la dose de bentonite progresse et plus la teneur en potassium diminue. Ceci peut être expliqué par le phénomène de rétrogradation du potassium entre les feuillets de cette argile (bentonite).

D'après les résultats établis par EL SHERIF (1987), l'addition de la bentonite aux sols sableux a permis de corriger leurs déficiences chimiques et la bentonite augmente les effets de la fertilisation et prolonge l'effet de l'application de l'engrais organique.

De nombreux éléments chimiques et en particulier des éléments nutritifs (macro et micro éléments) sont à l'état ionique, retenus par l'argile. Cette rétention constitue une réserve d'éléments importante, permanente libérable par voie d'échange dans la phase liquide du sol et susceptible d'être absorbée par les racines.

### **g) Influence de la bentonite sur le rendement des plantes cultivées dans d'autres pays**

En Egypte et pendant la période 1979/1987 des recherches effectuées dans les conditions désertiques par EL SHERIF (1987) montrent que l'addition de bentonite locale améliore les propriétés hydro-physiques et chimiques des sols sableux. Par ailleurs, le rendement et l'effectivité de l'irrigation ont augmenté considérablement.

Les études phytotechniques réalisées sur le blé, le maïs et certaines légumineuses ont permis à EL SHERIF (1987) 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 (ENGELTHALER et LOSTAK, 1983) (Tableau 6).

**Tableau 6 - Accroissement du rendement par l'application de la bentonite**

Doses de bentonite (T/ha)	Type de cultures	Augmentation du rendement (%)	Pays
20	Pomme de terre	18,6	Tchécoslovaquie
20	Seigle	16,7	Tchécoslovaquie
20	légumineuse	39,0	Tchécoslovaquie
20	Maïs	39,2	Tchécoslovaquie
20	Orge	11,5	Tchécoslovaquie
20	Seigle/Orge	22,2	Tchécoslovaquie
20	Maïs	80 à 90	Hongrie

### **3) Aspects analytiques : azote dans le sol**

#### **a. Estimation de la richesse du sol en azote**

Les horizons de surface des sols cultivés contiennent entre 0,02 et 0,4 % d'azote total (BLACK, 1968). En Algérie sur un éventail de 80 profils de sols de types différents, la teneur en azote total de l'horizon de surface varie entre 0,04 et 0,4 %. Les valeurs les plus fréquentes varient de 0,09 à 0,12 % (NKUNDIKIJE, 1974), ce qui permet de distinguer les sols peu fertiles à 0,04 % d'azote total ; la teneur des sols moyennement fertiles reste comprise entre 0,04 et 0,075 % par contre le taux d'azote des sols fertiles est supérieur à 0,075 %.

L'azote est un élément très mobile et se trouve essentiellement sous forme organique. Selon GUROP (1971) rapporté par MEKLIČE (1983), les formes inorganiques représentent moins de 2 % de l'azote total, alors que d'après REMY et HEBERT (1977) l'azote réorganisé est de 8 %. RAJU et NUKHOPADAY (1973) trouvent que l'azote diminue avec la profondeur du sol car les teneurs élevées sont concentrées dans les horizons de surface.

#### **b. Dynamique de l'azote dans le sol**

Pour être assimilable, l'azote organique doit subir sous l'influence des microorganismes une série de transformations le transférant de la forme protéique à la forme acides aminés; ceux-ci sont transformés à leur tour en azote ammoniacal, puis en azote nitrique (BARBER, 1972). Son assimilabilité est largement influencée par l'humidité, car un déficit hydrique inhibe l'ammonification et la nitrification et donc la production des nitrates. Par contre, les horizons profonds à taux élevés en eau, généralement pauvres en azote, peuvent présenter une teneur élevée en azote en prélevant sur les horizons superficiels plus riches en azote (BELAID, 1987).

La perte d'azote ammoniacal dans le sol dépend de la teneur du sol en argile et en matière organique au niveau desquelles l'ammonium est susceptible d'être retenu (RECOUS et *al.*, 1999). REMY et VIAUX (1980) ont montré que ce phénomène affecte entre 5 et 15 % des apports, d'autant plus important que le pH et la température sont élevés (milieu alcalin, l'ion NO<sub>3</sub> n'étant pas fixé par le complexe absorbant du sol, est entraîné en profondeur par les eaux de drainage (DEMOLON, 1951). Il constitue la perte la plus habituelle de l'azote non consommé par la végétation et l'azote nitrifié après la récolte, ce lessivage dépend en grande partie des pluies, des variations de températures et d'humidité du sol. En raison de leurs solubilités les nitrates ont tendance à se perdre par lessivage surtout en sols légers. Cette forme d'azote est directement assimilable, son absorption est quatre fois plus rapide à 24° C qu'à 5° C (BELAID, 1987). L'azote apporté au sol n'est pas utilisé en totalité car il se produit des pertes par lessivage (de 20 cm pour 100 mm de pluie en sol argileux), par dénitrification et volatilisation (LANGELET, 1975). Ces pertes selon REMY et HEBERT (1977) varient de 15 à 45 kg / ha dans les cultures intensives du blé.

## B - PLANTE

---

### 1) Céréales: Blé dur

#### a) Aspect économique

Alors que les prix augmentent sur le marché international, l'Algérie reste un gros importateur de céréales, avec 1.12 milliards de dollars de céréales pour l'année 2003. Cette somme représente 43 % de la valeur des importations contre 47 % en 2002. Avec 4.900.000 tonnes de blé dur et de blé tendre importé en 2002-2003, l'Algérie occupe la 5<sup>ème</sup> place dans le classement des pays les plus gros consommateurs de céréales, derrière le Brésil, l'Union Européenne, l'Egypte et le Japon (source CIC, 2004 <sup>4</sup>) avec une consommation d'une moyenne annuelle de 220 kg par habitant, soit plus que la Tunisie avec 205 kg par habitant et moins que le Maroc avec 240 kg par habitant. L'importance des flux à l'importation découle de l'incapacité de l'agriculture algérienne à satisfaire la demande des marchés en produits céréaliers.

L'Algérie couvre environ 238 millions hectares dont seulement 3% représentent des terres arables. Environ 8 % (0.6 Mha) des superficies arables totales sont sous irrigation.

<sup>4</sup> Le Conseil International des Céréales.

L'érosion au sol est due au pâturage excessif et aux mauvaises pratiques culturales limite encore plus la capacité de l'Algérie de nourrir ses plus de 31 millions d'habitants. .

La population de l'Algérie n'est que légèrement plus élevée à celle du Maroc, mais la consommation est nettement supérieure en ce qui concerne le blé dur. Au cours des dix dernières années, l'Algérie a importé plus de 65 % du blé dur destiné à l'Afrique du Nord avec une production moyenne nationale d'environ 1.1 million de tonnes pour les dix dernières années, alors que la consommation moyenne est de 2.7 millions de tonnes pour la même période.

#### b) Classification systématique botanique

Embranchement	Spermaphytes
S/ embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Série	Monocotylédones super
Ordre	Glumales
Famille	Graminées
S/famille	Poacées
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Durum</i> Desf.

Les différentes variétés de blé dur cultivées en Algérie sont Oued- Zenati 368, Zibans (ex.B X FG), Bidi 17, Sebaou (ex. INRAT 69), Aribis (ex. Capeiti), Righa (ex. Cocorit 71), Chougrane(ex. Polonicum), Rahouia 80 (Gloire de Montgolfier), Guemgoum R'khem, , Sahel 77, Hoggar (ex. Vitron), Mohamed Ben- Bachir, Bibans (ex. Montpellier 37.856), Tassili (ex. Mexicali 75), Hedba 3

### **c) Aspects phénologiques et physiologiques**

#### **1. Stades de développement du blé**

Les stades de développement du blé ont été décrits depuis longtemps par de nombreux auteurs à différentes périodes (HAUN, 1973 ; WALDREN et FLOWERDAY, 1979; MEYNARD et *al.*, 1987). L'échelle de FEEKS modifié par LARGE (1954) et basée sur la distinction des stades phénologiques est la plus utilisée. Nous proposerons les principaux stades: la germination, le tallage, la montaison, l'épiaison, la floraison et la maturation.

##### **a. Germination –Levée**

La germination du blé correspond à la reprise d'une activité physiologique importante du germe et se traduit par une croissance rapide des méristèmes présents dans un embryon. Elle nécessite l'eau (absorption par la graine de 25 % de son poids en eau), une température entre 5 et 22 °C et une aération. Ce stade dure de 73 à 75 jours en fonction des températures pour une somme des températures variant entre 121 à 122 °C. La germination est assez importante et dépend de la profondeur de semis et de la variété. La levée est marquée par l'apparition du coléorhize puis du coléoptile.

##### **b. Tallage**

Durant le tallage, il y a apparition et développement des talles au niveau du sol. L'importance du tallage dépend de plusieurs facteurs :

- Pour la variété à utiliser, cela dépend de la longueur de la phase de formation des ébauches d'épillets, plus courte pour une même variété quand le semis est retardé,
- Les conditions du milieu et précisément les températures, selon JONARD (1964), agissent directement sur la longueur de la phase tallage,
- L'alimentation de la plante en azote car une forte densité de semis réduira le tallage du blé (BENJAMAA, 1977),
- La profondeur du semis : un semis profond diminue le tallage. Un tallage excessif est cependant peu intéressant car il augmente les besoins en eau de la plante et la plu part des talles restent stériles (BELAID, 1987),

### **c. Montaison**

Elle débute à la fin du tallage avec l'élévation de la température. Le jeune épi monte en même temps que les tiges s'allongent. Les talles épis entrent en concurrence avec celles qui n'ont pu monter à cause des facteurs du milieu qui demeurent insuffisants (azote, eau, lumière) ; ces dernières régressent et meurent (MASLE, 1982). Ce phénomène se manifeste chez les jeunes talles par une diminution de la croissance puis par un arrêt de celle-ci (MASLE-MEYNARD, 1981b). Cette phase peut durer de 30 à 40 jours.

### **d. Epiaison**

Elle est définie par MEYNARD et *al.* (1997) comme étant la période qui commence dès que l'épi apparaît hors de sa gaine foliaire et se termine quand l'épi est complètement libéré. L'épiaison dure de 7 à 10 jours selon les variétés et les conditions du milieu.

### **e. Floraison**

Elle est marquée par la sortie des étamines hors des épillets. Elle prend fin dès que les étamines des fleurs normales de l'épi sont apparues. Le début de la floraison correspond à la sortie des étamines des fleurs les plus développées, dont les anthères sont vidées de leur pollen. Ce stade marque la fin de la période critique essentielle de nutrition.

### **f. Maturation**

Durant cette période il y a migration des substances de réserves dans l'albumen . Cette phase comporte trois étapes selon (MEYNARD et *al.*, 1997) :

- Première étape : le grain accroît rapidement son volume et son poids en eau et en matière sèche. A la fin de cette étape, de 12 à 15 jours, le grain atteint sa forme définitive.
- Deuxième étape : Le poids d'eau dans le grain demeure constant si aucune restriction hydrique ou de fortes températures ne se manifestent (PAQUET, 1968) : c'est le pallier hydrique. Cette étape est très importante dans la réalisation du rendement final (LELIEVRE et NOLOT, 1977 ; MEYNARD et *al.*, 1987) .
- Troisième étape : C'est la phase de la dessiccation où le grain perd l'eau en excès. Il devient dur et c'est le moment favorable au battage.

## **2. Physiologie du blé**

### **a. Germination**

Elle nécessite eau, température moyenne et aération du sol. Le grain absorbe 20 à 25 % de son poids en eau, les températures doivent être comprises entre 5 et 22 °C. Cette phase est assez critique car la plantule n'ayant pas des racines très courtes, le moindre dessèchement des horizons superficiels peut entraîner la dessiccation des plantules. Cette phase dure 73 et 75 jours en fonction des températures. La somme des températures est de 125 °C pour une profondeur de semis de 2 cm. Après la levée marquée par l'apparition du coléoptile, la plantule émet 3 ou 4 feuilles préformées dans l'embryon. Durant cette phase l'eau est le facteur qui détermine le résultat final.

### **b. Tallage**

Durant le tallage, la plante émet plusieurs apex susceptibles de donner plusieurs tiges : les talles. Le tallage est fonction de plusieurs facteurs :

- La variété, cela provient de la longueur de la phase qui raccourcit pour une même variété quand le semi est retardé,
- Les conditions climatiques et notamment les températures qui agissent directement sur la longueur de la phase tallage (JONARD, 1964),
- La nutrition, il s'agit de l'eau et de la fumure azotée. Une forte densité de semis ou une importante densité des adventices diminuent le nombre de talles formées (BENDJAMA, 1977),
- La profondeur de semis ou le niveau du plateau de tallage, plus celle-ci est importante, plus le nombre de talles est faible.

Un tallage excessif est cependant peu intéressant car il augmente les besoins en eau de la plante et la plupart des talles restent stériles (BELAID, 1987).

### **c. Montaison**

Elle est marquée par l'apparition des ébauches des glumes sur l'apex. La longueur entre la base du plateau du tallage et le sommet de l'épi atteint alors 1 cm. La culture a reçu alors, depuis la levée, une somme de températures égales à 600 °C. La température et la photopériode influencent beaucoup le déroulement de ce stade. La durée de cette phase varie entre 29 et 30 jours.

### **d. Epiaison - floraison**

A ce stade la plante a formé 70 % de sa matière sèche totale. Durant cette période se détermine le nombre de grains par épi. Chaque épillet possède en général 2 à 3 graines. Les facteurs tels l'azote, la température, la lumière ont une grande influence sur le nombre final de grains par épi.

### **e. Maturation**

C'est durant cette phase que le rendement final est déterminé. Le grain passe par trois étapes différentes (MEYNARD et *al.*, 1996).

- première étape : cette étape commence à la fécondation. Les enveloppes et la taille du grain sont définitivement fixées à la fin de cette étape,
- deuxième étape : L'eau contenue dans le grain reste constante si aucune restriction hydrique ou de fortes températures ne se manifestent (CHEVALIER, 1963 ; PAQUET, 1968) : c'est le pallier hydrique,
- troisième étape: Le grain perd de l'eau suite à l'arrêt du fonctionnement des parties végétales: c'est la dessiccation du grain.

Dans ce processus la deuxième étape apparaît comme critique. L'étape de formation des enveloppes est aussi très importante dans la réalisation du rendement final (LELIEVRE et NOLOT, 1977; MEYNARD et *al.*, 1996). Dans des conditions normales de cultures, l'assimilation nette post- floraison contribue à plus de 70% du remplissage du grain (MASLE et *al.*, 1981). Selon GACHON (1973) le remplissage du grain est fonction de la création du potentiel du poids de 1000 grains (l'ovaire), et la réalisation de ce potentiel (migration des assimilats vers le grain). Cette phase est liée à l'efficacité du fonctionnement de parties vertes pendant la croissance du grain. Mais cette vitesse de remplissage semble être liée à la réserve d'assimilats disponibles à la floraison et au nombre de grains produits au

mètre carré (BELAID, 1987)). Selon ces mêmes auteurs une concurrence existe entre le poids de 1000 grains et le nombre de grains produits par mètre carré. Lorsque ce dernier est peu élevé, la vitesse de remplissage du grain augmente mais cela ne compense pas la baisse de rendement liée au nombre de grains produits par mètre carré. La durée de remplissage devient trop courte. Un nombre de grains élevé augmente donc le rendement mais entraîne une durée de remplissage de nouveau limitante, ce qui gêne le métabolisme azoté. Selon MEYNARD et *al.* (1987) le poids de 1000 grains en milieu méditerranéen est l'une des composantes les plus importantes du rendement car il est très influencé par les températures élevées, cela se traduit par des phénomènes d'échaudage. L'amélioration de l'alimentation hydrique est la condition indispensable afin de minimiser ces phénomènes négatifs.

### **d) Nutritionnel : Azote dans la plante**

L'azote est un facteur limitant dans la production végétale en exerçant une influence déterminante sur le rendement et la croissance des plantes. La biosphère en contient environ 41015 tonnes non directement utilisé par les végétaux et les animaux (BERNARD, 2000). L'azote organique de notre planète est estimé autour de 4013 tonnes provenant de l'atmosphère grâce à la fixation symbiotique de l'azote par les bactéries (ELMRICH, 1993). De nombreux chercheurs ont déjà montré l'importance de la nutrition azotée (MEYNARD et *al.*, 1998) dans la production du blé dur d'hiver ; cependant, ce composé peut ne pas être toujours à son optimum dans certaines conditions pédoclimatiques et édaphiques et par la même être la cause de la baisse des rendements (SOUBIES et *al.*, 1961). C'est l'azote disponible qui règle le rythme de la végétation car il permet un démarrage rapide provoquant un tallage important chez le blé et une végétation abondante (HEICHEL et *al.*, 1984).

### **1. Dynamique de l'azote dans la plante**

L'azote, avec les autres éléments, est indispensable à la formation des protéines et donc à la croissance du blé JUSSIAUX (1980). Pour la plupart des plantes, l'azote vient du sol sous forme minérale en solution de nitrates (MEYNARD et *al.*, 1998). Les deux formes d'azotes assimilables par la plante sont la forme nitrique ( $\text{NO}_3^-$ ) et la forme ammoniacale ( $\text{NH}_4^+$ ). L'azote nitrique est la forme la plus mobile et directement assimilable par la plante, ces variations sont saisonnières et importantes (SANAA et *al.*, 1997). Quand le sol contient à la fois ( $\text{NO}_3^-$ ) et ( $\text{NH}_4^+$ ) la plante absorbe préférentiellement la forme nitrique. Une fois absorbée, les nitrates sont réduits, ils cèdent leur oxygène et leur azote se lie à l'hydrogène pour finalement aboutir à la forme ammoniacale. A l'état réduit, l'azote est ensuite incorporé dans les molécules carbonées pour constituer la forme organique de l'azote. Lorsque les besoins en azote de la plante sont peu importants, l'étape de réduction n'a pas lieu, l'azote est alors stocké dans les vacuoles sous sa forme nitrique pour constituer un pool de réserve. Autrement dit, lorsque l'azote ne limite pas la croissance, une absorption nouvelle se traduit par une mise en réserves des nitrates; cette dernière s'effectue de manière privilégiée à la base de la tige (JUSTES et *al.*, 1994). Les étapes de réduction et d'organisation de l'azote chez les céréales ont surtout lieu dans les feuilles, notamment dans les feuilles en croissance car la disponibilité de l'énergie y est élevée. Le transport de l'azote vers les feuilles s'effectue par le transit vertical de la sève brute dans les vaisseaux du xylème. La vitesse du transit vertical dépend en premier lieu de l'intensité de la transpiration (MEYNARD et *al.*, 1997). La réduction des nitrates demande de l'énergie fournie par la photosynthèse ou par la respiration sous forme de pouvoir réducteur. A la lumière, la réduction est surtout

connectée à la photosynthèse tandis qu'à l'obscurité, elle est branchée sur la respiration (HELLER, 1981). Chez les céréales 80% de l'azote minéral sont réduits puis assimilés au niveau des organes aériens (essentiellement dans les feuilles) contre 20 % dans les racines (MEYNARD et *al.*, 1987).

## **2. Assimilation de l'azote par la plante**

La plante absorbe l'azote assimilable à l'état ammoniacal et nitrique. L'azote nitrique est la forme la plus directement assimilable et l'étude de son métabolisme a permis de préciser qu'il subit à l'intérieur du végétal une série de transformations :

Nitrate → Nitrite → Hyponitrite → Hydroxylamine → Ammonium.

Les travaux de EVANS et NAON cités par BLANC (1971) ont rapporté de nouvelles données sur les enzymes responsables de ces réductions. En effet l'enzyme nitrate réductase assure la réduction des nitrates en nitrites. Sous l'action de la nitrite réductase, ces nitrites se transforment en hyponitrites. Une hydroxylamine réductase transforme l'hydroxylamine en ammonium. De plus, les basses températures ont une action défavorable sur l'assimilation de l'azote par la plante. Cette réaction n'est toutefois pas irréversible. Il est important de signaler que les racines n'ont pas le monopole, les feuilles peuvent aussi absorber l'azote à travers leurs tissus superficiels (COTTIGNIES, 1977).

## **3. Nutrition azotée de la plante**

La teneur en azote des plantes rapportée au poids sec est de l'ordre de 2 à 4 % (MENGEL et KERKBY, 1982). Selon BLANC (1971) le maximum de production de chacun des organes du végétal ne correspond pas à une même concentration en azote dans le milieu. L'action de l'azote sur la plante varie selon l'organe considéré; c'est ainsi que la production des parties aériennes est étroitement liée à la teneur en nitrates du milieu sol alors que le développement racinaire y est peu sensible.

Une plante bien approvisionnée en azote se développe rapidement et donne beaucoup de feuilles et de tiges, alors qu'un excès d'azote prolonge le développement végétatif et retarde la maturité, ce qui provoque l'échaudage et une plus grande sensibilité aux maladies et à la verse.

## **4. Influence de la nutrition azotée sur les phases de croissance et le rendement du blé**

Pendant la phase semis-levée, la plantule se développe tout d'abord aux dépens des réserves de la graine; elle est contrainte ensuite d'absorber une faible quantité d'azote. Pendant la période de tallage herbacé, les besoins en azote sont faibles (50 unités en moyenne) (MEYNARD et *al.*, 1987), car cet élément n'accélère pas la vitesse d'émission des talles et des feuilles; cette vitesse dépend essentiellement de facteurs d'origine strictement climatique (température, durée du jour, rayonnement). De même, pendant cette période, la nutrition azotée a très peu d'effet sur l'élaboration du nombre d'épillets totaux dont le déterminisme est avant tout climatique (MEYNARD et *al.*, 1997). Selon les mêmes auteurs, par contre la nutrition azotée intervient dès le tallage herbacé avec des effets dominants à partir du stade épi à 1 cm jusqu'à la floraison sur les composantes, nombre d'épis/m<sup>2</sup> et nombre de grain par épi. Une déficience nutritionnelle aura une incidence très pénalisante sur le rendement. Pendant la période de tallage herbacé, une carence en azote peut provoquer des sauts de talles si elle est momentanée ou un arrêt anticipé du tallage si elle

persiste. Ce sont les talles les plus jeunes car les plus sensibles à la pénurie qui sont les plus affectées.

L'action de l'azote sur les céréales dépend surtout de l'époque de son apport. En effet tous les chercheurs dont REMY et VIAUX (1980) qui se sont préoccupés des apports azotés admettent que pour avoir de bons résultats, il est nécessaire que l'azote soit disponible en quantité suffisante sous forme assimilable en début de montaison. Les besoins en azote du blé augmentent fortement entre le tallage et la montaison pour être à leur maximum à la formation du grain (REMY, 1976), où une carence en cet élément peut provoquer une diminution du nombre d'épillets fertiles.

L'azote a un effet majeur sur la montée à épi à 1 cm et jusqu'à la mi- montaison, l'élongation des entre-nœuds et la croissance des feuilles exigeant des fortes quantités 2,5 Kg d'azote/ha/ jour en moyenne (MEYNARD et al., 1987). Lors du gonflement – floraison, la matière végétale augmente rapidement et par conséquent les besoins en azote du blé deviennent importants (GRIGNAC, 1984). Une déficience en azote à cette période se traduit par une floraison précoce et peut provoquer l'avortement des fleurs pouvant se répercuter sur les rendements (LEMEE, 1978). Pendant la maturation, l'azote minéral du sol en quantité insuffisante ne peut pas couvrir les besoins du blé (MASLE et MEYNARD, 1981a). Les travaux de JEUFFROY et al. (1996) révèlent qu'une carence temporaire en azote de 20 jours environ altère le nombre de grains par épi.

Globalement l'absorption d'azote suit le développement du blé durant les quatre phases :

- Herbacée jusqu'à la montaison avec une absorption de l'ordre de 4,5 kg d'azote/ quintal,
- Elongation avec une activité intense de croissance, cette phase se termine à la floraison,
- Fructification ou l'absorption se ralentit et où les phénomènes de translocation deviennent importants,
- Maturation avec la sénescence des tissus suivie d'une perte d'eau de matière sèche et même d'azote.

A partir du stade fructification, l'absorption d'azote par le végétal ralentit pour devenir presque nulle à la maturation.

## 2) Légumineuses : Pois chiche

### a) Aspect économique

Le pois chiche est très cultivé dans le monde, puisqu'il occupe 6 % de la superficie des terres arables estimée à 10 millions d'hectares. Il occupe la deuxième place dans l'ensemble des légumineuses avec 14.8 % derrière les haricots et juste devant le pois (BOUCHEZ, 1985; BOYELDIEU, 1991).

La production mondiale a connu beaucoup de fluctuations au cours des dix dernières années, les extrêmes étant de 6,65 millions de tonnes en 1992/1993 et de 8,94 en 1999/2000. En 2000/2001, la production de l'Inde représentait 69 % de la production mondiale et 23 %, pour le Pakistan, la Turquie, le Canada, le Mexique, l'Iran et l'Australie. Plus de 90% des pois chiches sont consommés dans les pays producteurs. Selon les données de la FAO (1999) au cours des années 1990, les échanges mondiaux fluctuent

entre 313 000 et 878 000 tonnes par an. En 1999, les exportations étaient de 503 000 tonnes et les importations de 407 000 tonnes.

En Algérie, les légumineuses étaient cultivées depuis bien longtemps surtout dans les régions du Nord où les conditions agro climatiques sont favorables. Malgré l'extension sensible de la culture de légumes secs au cours de cette décennie (de 100.000 ha à 150.000 ha) les superficies emblavées représentent 2.3 % de la superficie utilisée (LABDI, 1991).

La culture de pois chiche occupe les zones littorales (46.3%) et les plaines intérieures (41.6%) de la superficie totale cultivée en Algérie (MAATOUGUI et LADDADA, 1993). Selon ces mêmes auteurs, deux zones en Algérie sont les plus importantes: Skikda, Guelma et Mila à l'Est, à l'Ouest Tlemcen, Relizane, Mascara, Ain Temouchent, Sidi Bel Abbes, Chlef et Mostaganem. La superficie réservée à la culture du pois chiche en Algérie est variable, elle a atteint son maximum en 1987 avec 69.620 ha et a diminué à 39.945 ha en 1991 (SAXENA et al., 1996).

Dans la région de Mostaganem, la structure sableuse, la perte d'eau par infiltration et la pluviométrie irrégulière ont une influence directe sur le rendement de cette culture (TAZI, 1988).

### **b) Importance des légumineuses**

Selon LERY (1982) dans le monde, les légumineuses essentielles cultivées sont le pois chiche, la fève et la lentille. Elles occupent une surface très importante par rapport à la surface totale. Les tableaux 7 et 8 indiquent respectivement la répartition de ces espèces dans le bassin méditerranéen et leur composition chimique.

	Légumes secs	
	Superficie %	Rendement /ha (qx)
Algérie	2.3	4.3
Syrie	5.52	10.1
Maroc	6.12	9.2
Tunisie	2.72	5.6
Turquie	8.18	11.2
Italie	1.78	13.1
Espagne	2.48	8.1

**Tableau 7-** Superficies et rendements des légumes secs dans les pays méditerranéens

Source : LABDI (1991)

	Composition pour 100g de poids sec en %						
	protéine	Matières grasses	Glucide	Cendres	Cellulose	Eau	
Pois chiche	19.2	6.8	56.1	3.0	3.4	11.5	376
Fève	25	1.8	49.7	3.0	9.9	10.6	354
Lentille	23.7	1.3	57.4	2.2	3.2	12.2	351

**Tableau 8-** composition physico-chimique moyenne en %

Source: HAMIDOUCHE (1982)

### c) Caractéristiques agronomiques

Le pois chiche se développe bien dans des conditions d'humidité adéquate et à des températures variant entre 21 et 29 °C le jour et proches de 20 °C la nuit. La durée de la maturation dépend de la chaleur et de l'humidité disponibles, mais varie entre 95 et 105 jours. Le pois chiche est adapté de façon optimale aux zones de sols bruns et bruns foncés. Le pois chiche résiste bien à la sécheresse en raison de sa longue racine pivotante. Il n'est pas bien adapté aux zones de grande humidité, aux sols salins et aux sols gorgés d'eau. Il tolère des pH allant de 6 à 9. Le taux de semis optimal varie entre 90 et 105 kg /ha.

Les effets bénéfiques des légumineuses dans les rotations culturales sont connus depuis longtemps entre autre, la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pouvant servir aux cultures suivantes et l'amélioration de la structure du sol.

### d) Classification Systématique Botanique

Les légumineuses avec quelques 13500 espèces réparties en 650 genres environ, sont une des plus grande famille des angiospermes (ERROUX, 1975).

Les légumineuses appartiennent à l'ordre des rosales dont elles représentent la famille la plus évoluée, elles se situent dans le prolongement des Rosacées. Elles se ressemblent par les conformations du réceptacle, les graines ex-albuminées et les feuilles stipulées, mais dont elles diffèrent par leurs caractères plus spécialisés, en particulier la zygomorphie des fleurs, la réduction du nombre des carpelles , la prédominance des feuilles composées et la présence des nodosités racinaires (JOHNSTON, 1999).

### 1. Systématique du pois chiche

Embranchement	Spermaphytes
S/ embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Série	Dialypétales
Ordre	Rosales
Famille	Légumineuses
S/famille	Papilionacées
Genre	<i>Cicer</i>
Espèce	<i>Arientinum.L</i>

### 2. Cycle biologique du pois chiche

Il comprend cinq phases selon VAN DER MAESEN (1972)

- Germination-levée : c'est le passage de la graine de la vie ralentie à la vie active affectant ainsi la sortie des racines séminales et la coléoptile qui pousse vers la surface,
- Croissance et ramification : les pieds commencent à se ramifier et les bourgeons qui vont en même temps que la tige principale se développent et donnent naissance à des pédoncules floraux,
- Floraison : cette phase est marquée par l'apparition et le développement des ébauches florales. L'augmentation du rendement est liée à l'effectif en gousses et en fleurs,
- Fécondation : quand les étamines arrivent à maturité, le pollen est libéré et pollinisé sur le stigmate. Les fleurs sont visitées par les insectes qui en facilitent cette fécondation,
- Maturation : se caractérisant par un jaunissement des gousses, par la chute des folioles et par un durcissement des graines.

### **e) Aspects phénologiques et physiologiques**

Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) est connu dans le bassin méditerranéen, le sud de l'Asie et l'Inde, depuis les hautes antiquités (ERROUX, 1975). Selon VAN DER MAESEN (1972), l'espèce *Cicer arietinum* L. est divisée en quatre sous espèces: Orientale, Asiaticum, Méditerranéen et Eurasiaticum. Trois grands groupes morphologiquement bien distincts sont importants: Kabuli, Desi et Gulabi intermédiaire (AYADI, 1986). Les racines peuvent atteindre 2 mètres de profondeur, mais la plupart se trouvent dans les 60 cm (DUKE, 1981). La tige anguleuse a une hauteur de 20 cm à 1 m (AYADI, 1986). Les feuilles sont imparipennées, à foliole terminale, en vrilles chacune d'elle compte 7 à 17 folioles ovales et dentées. Les fleurs sont blanches, bleues ou violettes, axillaires solitaires et avec un pédoncule. Les gousses sont rhomboïdes ou ovales renflées et contiennent 1 à 2 graines presque rondes. Le nombre d'ovules varie selon des variétés, les parties aériennes secrètent une solution acide, composée de 94.2 % d'acide oxalique et 0.2 % d'acide acétique (VAN DER MAESEN, 1972).

### **f) Nutritionnel : Azote dans la plante**

Les légumineuses sont connues principalement pour leur capacité à fixer l'azote atmosphérique grâce à leurs nodosités et leur association avec les bactéries du sol, elles sont hautement reconnues pour leur intérêt agricole et écologique (TRUCHET et al., 1993).

En effet, cette capacité à utiliser de l'azote leur permet de réduire les coûts de production, d'une part, et de limiter la pollution des nappes phréatiques par les nitrates des engrais, d'autre part. Dans les zones semi-arides, 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 soumis à l'érosion c'est le cas notamment des sols sableux (LABDI, 1991). Selon SPRENT et SPRENT (1990) plus de 40 % d'azote des légumineuses est cédé au sol, mais vu l'insuffisance des données, l'estimation globale de la fixation biologique d'azote annuelle est difficile à obtenir et pour cela l'étendue est entre  $100 \times 10^6$  à  $180 \times 10^6$  tonnes par an (BURRIS et ROBERTS, 1993).

Les engrais azotés ne sont généralement pas nécessaires puisque le pois chiche a la capacité de fixer l'azote de l'air dans des nodules situés sur ses racines et de l'utiliser pour sa croissance.

Il peut satisfaire ses besoins en azote selon l'alimentation hydrique. L'aptitude de la plante à fixer une grande partie de son azote permet d'éviter les apports d'azote. Il est préférable de ne pas cultiver le pois chiche dans des sols à forte teneur en matières organiques.

### C - ASPECTS MICROBIOLOGIQUES AU NIVEAU DU SOL

---

#### 1) Bactéries du sol

Améliorer la qualité d'un sol sableux est un souci important pour les agriculteurs de la région de Mostaganem. Ces sols sont caractérisés par un contenu très faible de la matière organique, la susceptibilité à l'érosion éolienne, l'infiltration rapide de l'eau et une réserve nutritive faible. Le niveau bas de matière organique peut également réduire le potentiel et la productivité des rendements des cultures, même lorsque les éléments nutritifs sont fournis suffisamment par des engrais inorganiques (BAUER et BLACK, 1992; BAUER et BLACK, 1994; AREF et WANDER, 1997; FOLEY et COOPERBAND, 2002).

La disponibilité des substrats de carbone indispensable aux bactéries soutient l'activité microbienne et stimule sa croissance (CHEN et *al.*, 1988; HU et *al.*, 1997; HOITINK et BOEHM, 1999).

L'humidité, la température, le pH, la teneur en oxygène et la matière organique déterminent aussi la nature et l'importance de la population microbienne (BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

Beaucoup de micro-organismes comprenant des espèces du genre *Pseudomonas* et *Bacillus* peuvent dégrader des pesticides comme 2,4-dichlorophenoxyacetic (KA et TIEDJI, 1994; KA et *al.*, 1994). Ces bactéries peuvent résister au niveau du sol à la toxicité en transformant des métaux en formes moins toxiques, par fixation sur la surface de leurs cellules ou en polymères intracellulaires et par méthylation (SILVER, 1996). Des isolats de *Pseudomonas* et de *Bacillus* isolés, purifiés et examinés 'in vitro' dans des essais d'antagonisme ont inhibé la croissance de *Risoctonia solani*, *phaseolina* de *Monilia moniliforme*, *Fusarium Graminearum* et, de *Fusarium solani* (EMMERT et HANDELSMAN, 1999). Les résultats ont indiqué aussi que des espèces appartenant au deux genres suscités pourraient être impliqués « in situ » dans la suppression biologique des maladies de racine de maïs, qui réduisent sensiblement le rendement de récolte (PAL et *al.*, 2000).

Les *Pseudomonas* sont des bactéries aérobies non fermentatives, gram -. Ce genre a été isolé dans les sols étudiés de la région.

Les espèces de ce genre peuvent survivre dans un environnement pauvre en éléments nutritifs et peuvent employer une variété de composés toxiques comme sources de carbone et d'énergie, d'où la dominance dans les sols pauvres et dans la biodégradation des composés toxiques trouvés dans les sols. Ces bactéries peuvent dégrader les composés radioactifs et les composés organiques comme les pesticides tels que des chlorophénols, des herbicides comme l'acide 2,4-dichlorophenoxyacetic (2,4-D) et des hydrocarbures aromatiques (ANDERSON et *al.*, 1985; BYRNE et *al.*, 1995).

Les espèces de *Bacillus* produisent également des acides organiques et le phosphate tricalcique solubilisé, des antibiotiques, des enzymes et d'autres substances utiles. Elles suppriment les maladies provoquées par les *Fusarium* et les *Macrophomina*. Les résultats ont indiqué que les bacilles réduisent de manière significative les putréfactions du maïs de 56,04 %. Toutes ces bactéries ont été trouvées très efficaces en colonisant les zones de la

rhizosphère du maïs et du blé. En employant un marqueur antibiotique résistant les résultats ont indiqué que ces bactéries pourraient proliférer avec succès dans la rhizosphère, le rhizoplane et l'endorhizosphère du maïs, après 30 à 60 jours de l'ensemencement (CAVALCA et al., 2002 ; ANGLE, 1996).

D'une manière générale les microorganismes du sol jouent un rôle important dans la nutrition des plantes en mettant à leur disposition des éléments nutritifs et en contribuant dans leur protection contre des organismes nuisibles ainsi contre la toxicité des métaux lourds (DONG et al., 1996; LIU et al., 1999; LUO et WANG, 1983; ZHANG et al., 1999).

## **2) Rhizobium**

Au cours des dernières décennies, il a été possible d'augmenter considérablement le rendement agricole par l'utilisation des engrais azotés. HARDY et HAVELKA (1975) rapportent que les dépenses sont très lourdes pour les pays en voie de développement, sachant qu'une tonne d'engrais azoté nécessite pour sa synthèse une masse équivalente de pétrole (SCHUBERT, 1982). L'intérêt de disposer de sources azotées à faible prix explique le développement considérable des recherches sur la fixation biologique de l'azote. Ce sont surtout les légumineuses qui ont été étudiées en raison de leur forte capacité de fixation estimée à 69 % des  $175 \times 10^6$  tonnes fixées annuellement à la surface de la terre (BEKKI, 1986).

### **a) Famille des Rhizobiaceae**

Les bactéries qui appartiennent à la famille des rhizobiaceae sont les seuls qui peuvent fixer l'azote en symbiose avec les légumineuses (ELKAN, 1992). Elles sont classées en deux genres en fonction de leur vitesse de croissance dans le milieu Yem : *Rhizobium* à croissance rapide et le *Bradyrhizobium* à croissance lente. Généralement les cellules de la famille Rhizobiaceae sont des bâtonnets mobiles avec différents arrangements de flagelles, dans le sol sous des conditions naturelles leur mobilité est limitée (PASCHKE et DANSON, 1993).

La classification actuelle est basée sur l'habitat et d'autres caractéristiques comme l'homologie de l'ADN (JARVIS et al., 1980), les relations sérologiques (VINCENT, 1977), les profils électrophoriques des protéines solubles (ROBERT et al., 1980) et la présence des polysaccharides, des phagotypes, stéréotypes, utilisation des sucres et des acides aminés (JORDAN, 1984, CHEN et al., 1988).

### **b) Fixation symbiotique de l'azote**

La fixation Symbiotique de l'azote est l'étape qui permet de passer de l'azote gazeux ( $N_2$ ) à l'azote minéral  $NH_3^+$ . Les racines réussissent à puiser l'azote du sol sous forme de nitrate ou ammoniacal. Seul le rhizobium dans le sol forme une symbiose avec la légumineuse en modifiant les racines par la formation des nodules. Les bactéries libres peuvent aussi fixer l'azote mais le rendement de *Rhizobium* en nodulation est beaucoup plus important (GRESSHOFF, 1990). La relation de symbiose avec le pois chiche qui conduit à l'apparition des nodosités sur le système racinaire rend le blé dur capable de croître dans des sols déficients en azote (O'BRAIN et MAIRE, 1989). Selon BOISSONNET et al. (1987) la bactérie emprunte à la plante les glucides synthétisés grâce à la photosynthèse et fournit à son hôte de l'azote organique (glutamine et acide glutamique) provenant de la réduction de  $N_2$  en

$\text{NH}_4$  fixé ultérieurement sur l'acide  $\alpha$ -cétoglutarique ou l'acide glutamique. Le Rhizobium est aussi capable de se développer en milieu libre sur substrats organiques mais sans assimiler  $\text{N}_2$ ; cette propriété ne se déclare que lorsque les bactéries sont dans les nodules (BODDEY, 1983) car le Rhizobium pour fixer l'azote a besoin d'une source d'azote ammoniacal ou aminé. L'assimilation de  $\text{N}_2$  est une propriété qu'elles n'acquièrent qu'à l'état de symbiotes (RHIJN et VANDERLEYSEN, 1995).

### c) Propriétés physiologiques et biochimiques des bactéries

Selon BLONDEAU (1980), leurs propriétés physiologiques et biochimiques sont en relation avec la vitesse de croissance, c'est ainsi que les souches à croissance rapide produisent souvent d'importantes quantités de substances gommeuses et s'accommodent de nombreux sucres en utilisant les voies glycolytiques des pentoses phosphatés d'Entner-Doudoroff et d'Enbden Meyerhof; par contre les souches à croissance lente sont plus exigeantes et préfèrent les pentoses, elles ne possèdent que les séquences d'Entner-Doudoroff. Les besoins en vitamines et facteurs de croissance sont différents selon les souches de rhizobium (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). Ils peuvent être nuls ou portent sur plusieurs vitamines tels que la thiamine, la riboflavine, l'acide pantothénique et surtout la biotine (GOUDFREY, 1972).

### d) Symbiose

La symbiose fixatrice d'azote fait intervenir trois facteurs bactériens: l'infectivité, la spécificité d'hôte et l'efficacité. L'infectivité permet au rhizobium de pénétrer dans la plante et de former un cordon infectieux qui induira la nodulation; l'efficacité caractérise son aptitude à fixer l'azote atmosphérique à l'intérieur du nodule dont la structure a été définie par la plante (BLONDEAU, 1980). La spécificité d'hôte permet au rhizobium de se fixer et de pénétrer dans le poil racinaire de la légumineuse qu'il peut reconnaître (GENEVES, 1990).

Dans la symbiose des légumineuses, les résultats les plus intéressants concernant la nature des déterminants possibles de la spécificité d'hôte portent sur les lectines: ce sont des glycoprotéines qui ont la propriété de se fixer spécifiquement aux sucres présents à la surface des cellules, formant des réactions de type antigène-anticorps. Les légumineuses sont particulièrement riches en lectines responsables de l'ancrage des rhizobiums aux racines, la source principale est constituée par les cotylédons, mais tous les organes de la plante en possèdent (BLONDEAU, 1980; DAZZO et al., 1991). Ces derniers ont démontré que les lectines de la surface des racines pourraient présenter un site de reconnaissance spécifique capable de se combiner avec un polysaccharide particulier de la surface de rhizobium compatible. Selon DAZZO et al. (1991), les rhizobiums infectifs, ainsi que les poils racinaires de la plante hôte, présentent à leur surface des polysaccharides à spécificité antigénique croisée qui peuvent tous deux être reconnus par une lectine de la plante, celle-ci assure alors une liaison en formant un complexe antigène-lectine-antigène qui permet l'adhésion spécifique des bactéries à la paroi des poils racinaires.

Les bactéries pénètrent au niveau des poils absorbants dans leur zone de croissance et y provoquent une déformation caractéristique appelée « Curling ». La plante réagit aussi en formant autour des bactéries une gaine cellulosique dont l'allongement vers l'intérieur va former le cordon d'infection. Le rhizobium libère dans le milieu environnant de petites quantités de lipopolysaccharides (LPS) émanés de sa membrane externe. Ces LPS pénètrent dans le poil absorbant et contribuent à diriger la formation du canal infectieux (DAZZO et al., 1991). La nitrogénase effectuée dans les conditions ordinaires la réduction

de l'azote en ammoniac, cet enzyme fonctionne habituellement en présence de quantités assez importantes de substrat (PELMONT, 1995). L'ATP exigé est considérable dans le processus et peut atteindre plus que 40 % de l'ATP cellulaire total synthétisé (GEORGIODIS et *al.*, 1992).

# CHAPITRE II - MATERIELS ET METHODES

L'expérimentation s'est déroulée en trois étapes :

1. Au cours de la première étape les analyses des caractéristiques physiques et chimiques des substrats étudiés sont réalisées en laboratoire,
2. Une deuxième étape concerne l'étude agronomique en laboratoire sur le blé dur en monoculture et en association avec une légumineuse (le pois chiche) sur substrat bentonite à la dose de 7 et 10 %,
3. Une troisième en plein champ dans les conditions naturelles de la région pour étudier le comportement du blé dur en association avec une légumineuse dans les sols traités à la bentonite à 10 %.

## I – MATERIEL VEGETAL

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 de Ain-Témouchent de bonne résistance à la maladie du collet.

Les semences du blé dur sont remises par la station de l'IDGC de Sabaine (Wilaya de Tiaret) et celles du pois chiche de l'IDGC de Sidi Bel Abbès.

Dans une première phase, la germination des semences du blé dur a été réalisée dans des boîtes Pétri en verre de diamètre 20 cm, en plaçant deux couches de papier filtre stérile bien imbibée 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, les plantules de blé dur et de pois chiche sont repiquées dans des pots de culture.

## II- METHODES

### A - Expérimentation en laboratoire

---

#### 1) Substrat de culture

Il s'agit de la bentonite additionnée au sol sableux prélevé de la station expérimentale de Mazagran. Cette bentonite, sous sa forme naturelle granulée a été 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. Deux doses de bentonite sont retenues à 7 %, soit 350 g de bentonite par pot correspondant à 2310 qx de bentonite/ha et à 10 %, soit 500 g de bentonite par pot correspondant à 3300 qx de bentonite/ha, puis séparément au sol sableux. La quantité de bentonite ajoutée au sol traité correspond à des doses exprimées en pourcentage du poids sec du sol. Ce substrat a été vigoureusement mélangé manuellement afin d'obtenir un substrat homogène. Les pots utilisés sont en plastique possédant un diamètre de 24.6 cm et une hauteur de 21 cm. Le fond de chaque pot a été garni d'une couche de gravier pour assurer un bon drainage. Les pots remplis chacun de 5 kg de substrat mélangé sont disposés selon la méthode des blocs aléatoires complets avec trois répétitions (Tableau10).

Doses de bentonite (en%)	Nombre de pots	cultures
Témoin (sol sableux)	9 pots	3 pots : pois chiche 3 pots : blé 3 pots : blé+pois- chiche
7	9 pots	3 pots : pois chiche 3 pots : blé 3 pots : blé+pois chiche
10	9 pots	3 pots : pois chiche 3 pots : blé 3 pots : blé+pois chiche
Total=27 pots		

*Tableau 9 – Dispositif expérimental adopté en laboratoire*

## 2) Paramètres mesurés

Les stades végétatifs étudiés du blé dur concernent le stade levée, stade 2 feuilles, stade 4 feuilles, stade tallage, stade montaison.

- Des mesures de hauteur de la tige et de la surface foliaire des parties aériennes sont réalisées afin de connaître l'incidence du traitement de la bentonite et de l'association légumineuse (pois chiche) blé dur dans ces sols sableux,
- Pour chaque stade végétatif, la teneur en azote de la plante et la quantité d'azote absorbée du sol sont quantifiées,
- Des mesures du bilan ionique ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ) sont réalisées,
- Une étude microbiologique dans laquelle sont analysés le dénombrement et l'identification bactérienne.

Les prélèvements des échantillons de sols, à partir des pots, nécessaires aux analyses minérales sont effectués au niveau de la rhizosphère dès l'apparition des trois premiers stades de croissance de la culture (levée- stade végétatif, tallage, montaison).

## 3) Repiquage de plantules en pots

Après germination, 3 à 4 plantules pour le pois chiche et 4 à 5 plantules pour le blé. Les plantules sont transférées soigneusement dans les pots à une profondeur, respectivement de 2 à 3 cm et 1 cm. Par contre pour l'association blé dur et pois chiche le transfert a été

effectué à raison de 6 plantules /pot soit 3 plantules de blé dur et 3 plantules de pois chiche. Les nutriments hydrique et minérale du blé sont apportées en utilisant la solution nutritive de Hoagland (1938) diluée au 1/1000<sup>ème</sup>. L'arrosage à la solution nutritive est apporté dès le stade levée à une fréquence de trois jours de 10 ml.100 ml<sup>-1</sup> d'eau.

**4) L'irrigation des cultures au laboratoire**

L'eau d'irrigation utilisée durant l'expérimentation provient d'un puit de la station agronomique de l'Université dont les analyses faites par nos soins. Elles sont indiquées au tableau 1 en annexe 1. Les résultats montrent que les teneurs en Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup> sont faibles et ne posent pas de risques d'antagonisme. La concentration en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> est moyenne et dénote une présence de bicarbonates. La teneur en Cl<sup>-</sup> est moyenne. Les teneurs en CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> et OH<sup>-</sup> sont négligeables. Le pH, la C.E et le S.A.R indiquent que notre eau d'irrigation ne semble pas influencer par la salinité ; ces caractéristiques font parties de la classe C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> d'après l'échelle du diagramme de classification de l'USDA, 1993 (Figure 1 annexe 1). Selon cette classification, cette eau présente une bonne aptitude à l'irrigation.

**5) Doses d'irrigations appliquées**

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 10).

Traitements	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

Tableau 10 - Doses d'irrigations appliquées

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.

**B- EXPERIMENTATION A LA PARCELLE**

Le dispositif expérimental a été mis en place à la station d'agronomie de l'Université de Mostaganem au cours de l'année 2001/2002 lors des périodes hivernale et printanière à pluviométrie proche de la moyenne annuelle (355 mm), suivies par d'une période de sécheresse exceptionnelle.

Avant le semis, le sol a été préparé selon les pratiques culturales adoptées dans la région. Le dispositif expérimental retenu est la méthode des blocs aléatoires à 3 répétitions. Chaque parcelle élémentaire couvre une surface de 1250 m<sup>2</sup> soit 25m x 50m avec un

espace de 6 mètres entre chaque parcelle pour éviter l'effet concurrence racinaire. Le sol est mélangé à la bentonite à 10 %.

Le semis est réalisé mécaniquement en début février 2001 à l'aide d'un semoir en ligne à une profondeur de 3 cm, pour assurer une bonne répartition des semences et une levée régulière de la plante sans apport d'engrais. La densité de semis est de 150 kg /ha pour les parcelles de blé dur, par contre pour les parcelles de l'association blé dur/pois chiche, seulement 50 Kg/ha de pois-chiche et de 75 Kg de blé dur sont utilisés.



*Fig. 5 – Photos représentant la parcelle expérimentale.*

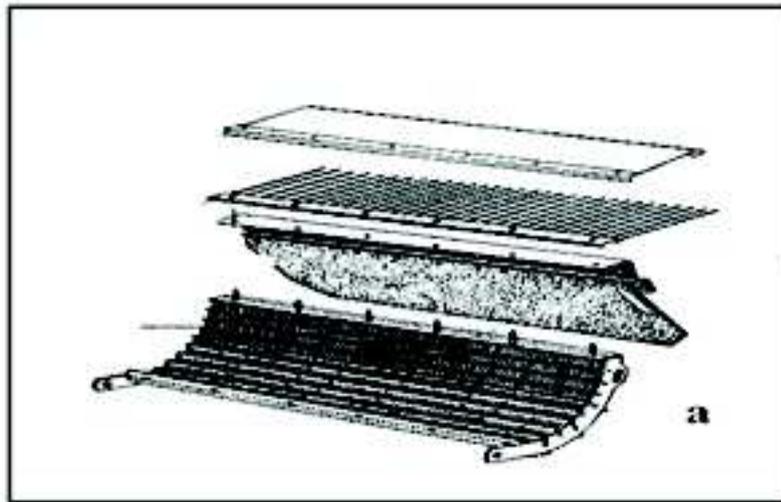
Nous avons étudié le comportement d'une part d'un blé dur semé sur des parcelles bien différenciées en association avec le pois chiche et d'autre part le blé dur en monoculture sous un traitement à la bentonite à la dose de 10 % dans ce cas.

De chaque parcelle, des mesures des paramètres agronomiques sur les parties aériennes sont menées comme suit :

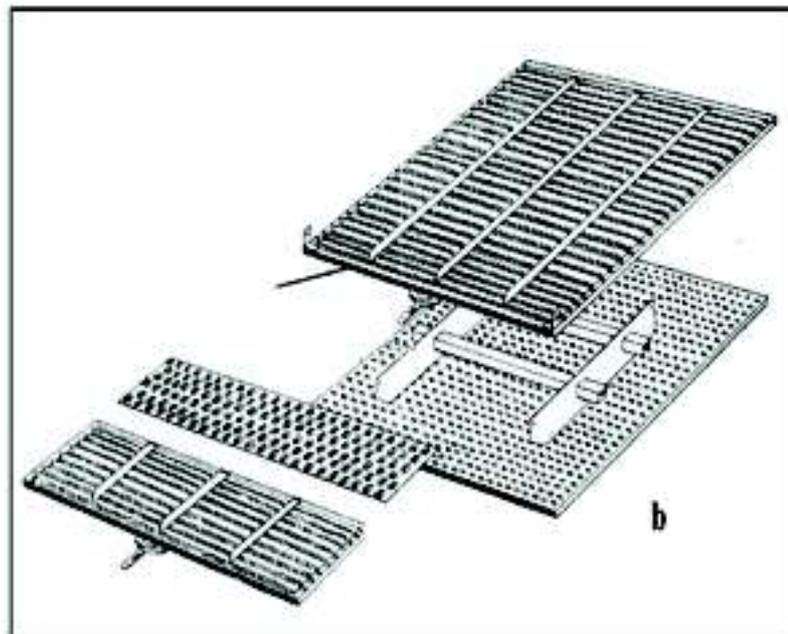
- Croissance de la tige en hauteur (cm),
- Nombre de pieds/m<sup>2</sup>,
- Nombre d'épis/ m<sup>2</sup>,
- Nombre de grains/épis,
- Nombre de grains/ m<sup>2</sup>,
- Poids de 1000 grains,
- Rendement en grains en Qx/ ha à la moissonneuse.

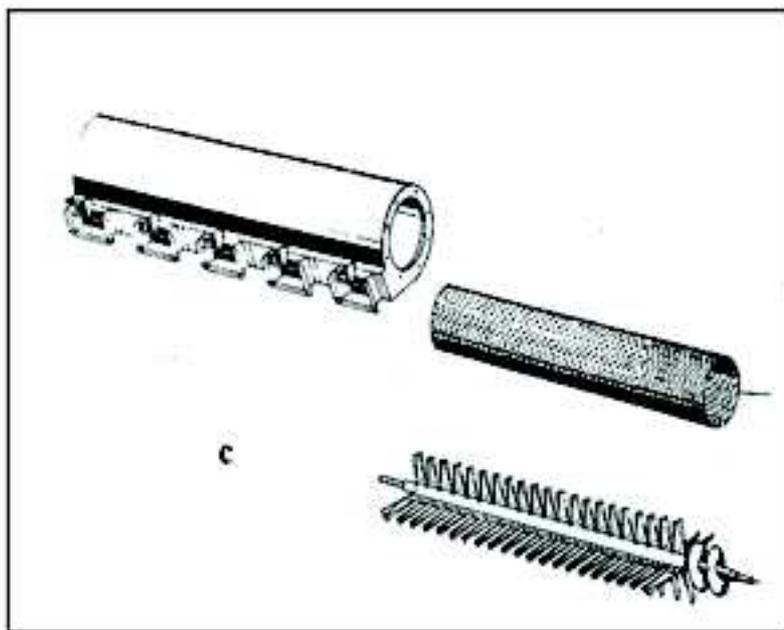
D'autres mesures sont menées comme les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques des graines de blé dur de la monoculture et de l'association blé dur + pois chiche. A la fin du cycle de la plante, nous avons procédé à la récolte en prenant le soin de régler la moissonneuse selon les étapes suivantes :

- Réglage du contre batteur : donner un certain espace entre le batteur et le contre batteur afin d'éviter le concassage des graines de pois chiche, donc laisser un espace supérieur à celui du blé dur de monoculture (fig.6a).
- Réglage de grille : il faut que les grilles à lamelles soient en position rehaussée pour permettre une meilleure récupération du blé (fig.6b).
- Réglage du cylindre trieur : dans le cas de la récolte mixte, est utilisé une grille cylindrique pour le blé, ce qui permet de canaliser le refus du pois chiche; une sortie bien définie celle qui se situe à l'extrémité de la grille cylindrique est destinée à la récupération du pois chiche (fig. 6c).



*Fig. 6 - Photos représentant le réglage des tamis a, et b et c.*





### III- METHODES D'ANALYSES ADOPTÉES

#### A- AU NIVEAU DE LA PLANTE

---

Les échantillons de plantes sont prélevés à chaque stade de croissance (levée- tallage- montaison). Ils sont lavés à l'eau distillée, séchés dans une étuve à une température de 60 °C. Après un broyage très fin, les analyses de l'azote total de la matière sèche d'environ 0.2 g passent par une minéralisation puis un dosage selon la méthode de Kjeldahl .

#### B- AU NIVEAU DU SOL

---

##### 1) Analyses physiques

Elles concernent une analyse granulométrique faite selon la méthode internationale de sédimentation en utilisant la pipette de Robinson.

##### 2) Analyses chimiques

- La méthode du pH: mesuré par un pH-mètre, sur une suspension de terre diluée au(2/5). Deux types de pH sont réalisés, le pH eau et le pH KCl,
- La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductivimètre,
- Le calcaire total est déterminé par la méthode au calcimètre de Bernard et le calcaire actif par la méthode Drouineau Galet,
- Le carbone organique est mesuré par la méthode ANNE. Le carbone organique est oxydé par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. Le bichromate doit être en excès, la quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de

Mohr , en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. Après la détermination de la teneur en carbone organique, la teneur en matière organique est estimée suivant l'équation suivante : M.O. %= % de C x 1.72,

- Dosage de l'azote total: La méthode utilisée est celle de Kjeldahl,
- Phosphore assimilable ( $P_2O_5$ ): La méthode utilisée est celle de (Aubert. G),
- Dosage de ( $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Co_3^{-2}$ ) à la méthode de dosage volumétrique,
- Les bicarbonates ( $Hco_3^-$ ) : le dosage a été fait par la méthode volumétrique,
- La capacité d'échange et les cations échangeables du sol : méthode à l'acétate d'ammonium d'une solution normale et neutre,

Dosage des cations :

- $Na^+$  et  $K^+$  au spectrophotomètre à émission (Eppendorf),
- $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  : dosage à l'absorption atomique.

**3) Analyses microbiologiques**

Les échantillons des sols destinés à l'analyse bactériologique sont prélevés de chaque type de sol à une profondeur de 30 cm. Ces échantillons proviennent de sols de différents traitements :

**a) Echantillons de sol analysé à partir des pots en laboratoire**

Les prélèvements des échantillons de sol ont eu lieu à partir des trois pots de chaque traitement (dispositif décrit précédemment au tableau 10) aux stades levée ( blé dur, pois chiche, association blé dur pois chiche), végétation-tallage (blé dur, pois chiche et association blé dur pois chiche) et début floraison-montaison (blé dur, pois chiche et association blé dur pois chiche).

**1. Dénombrement de bactéries**

Cette analyse bactériologique a nécessité la préparation du milieu nutritif Média, milieu Agar Agar dans lesquels les bactéries ont été cultivées. Par la suite, nous avons procédé au dénombrement des colonies à l'aide d'un compteur de colonies. Le détail de l'analyse est inséré dans la partie annexe.

**2. Identification des bactéries : genres et quelques espèces**

Le choix des souches est basé sur la dominance et la représentation des souches existantes dans le sol sableux et le sol bentonisé à 10 %. Ce choix est réalisé sur les boîtes utilisées dans le dénombrement à partir de la forme et la couleur de la colonie. La purification des souches choisies est réalisée sur le milieu gélosé nutritif à 30 °C. Pour l'étude des colonies, le travail est basé sur l'observation à l'œil nu de la couleur, la forme et la production des pigments dans le milieu. Les tests de la production des pigments, de mobilité et l'étude microscopique sont ensuite effectués. Nous avons procédé enfin à l'étude physiologique dont le but est de déterminer les genres bactériens.

**b) Echantillons de sol à partir du terrain**

Les échantillons ont été prélevés de trois endroits différents d'une même parcelle à 30 cm de profondeur. Les méthodes de numération ont été mises au point et améliorées par divers microbiologistes. Elles décèlent une extraordinaire prolifération de leurs germes avec de très larges variations de leur densité selon les conditions de lieux, la saison et la profondeur. Divers facteurs comme l'humidité, la température, le pH et la teneur en oxygène et en matière organique déterminent la nature et l'importance de la population microbienne (BONNEAU.M et SOUCHIER, 1979).

---

# CHAPITRE III - ETUDE DU SOL

## I- ETUDE ANALYTIQUE DU SOL

Dans le but de retenir la dose optimale de bentonite nécessaire pour la suite de notre expérimentation, nous avons procédé dans une première étape à une analyse du sol sous les conditions de traitements à la bentonite.

### 1)Analyse granulométrique

---

Les résultats des analyses comparées aux données du triangle des textures concluent qu'à la dose de 5 % de bentonite dans le substrat, la texture est sableuse. Par contre lorsque les doses augmentent jusqu'à 15 %, la texture devient sablo limoneuse; cette adjonction de bentonite au delà de 5 % crée une texture sensiblement fine au sol sableux traité par rapport à son état initial, ce qui pourrait améliorer ses caractéristiques physico-chimiques et hydriques (Tableau 11).

### 2) Résultats des caractéristiques chimiques

---

Le tableau 12 rapporte les données des différentes caractéristiques chimiques analysées des sols selon le traitement à la bentonite.

La conductivité électrique augmente avec la dose de bentonite appliquée; elle varie de 0,37 mmhos/cm pour le témoin à 1,07 mmhos/cm sous le traitement à 15 % de bentonite. Ceci peut s'expliquer par l'accroissement de la concentration du NaCl dans le sol traité, car le  $\text{Na}^+$  échangeable et le  $\text{Cl}^-$  croissent avec la dose de bentonite. Selon l'échelle de salinité, ces valeurs de la C.E ne semblent pas poser de contrainte saline.

Ces sols sont modérément alcalins et enregistrent une sensible stabilité. Cette alcalinité peut être due aux bases échangeables trouvées dans le sol; il semble aussi que le sodium soit la principale source de cette alcalinité qui augmente avec l'accroissement de la dose de bentonite

Les calcaires total et actif oscillent autour de la valeur moyenne pour l'ensemble des traitements. En revanche, le calcaire actif ne représente qu'une proportion moyenne par rapport au calcaire total, il est facilement dissous dans la solution du sol et directement disponible à la plante.

Le taux de matière organique varie à la hausse avec la dose de bentonite jusqu'à un optimum de 1,03 % à la dose de 10 % à partir duquel est enregistrée une légère diminution.

La teneur en azote est presque constante sur tous les sols ; les valeurs obtenues varient entre 0,38 et 0,6 ‰. Comparativement aux normes établies, ces teneurs en azote sont faibles ce qui rend ces sols plus pauvres, ceci peut être dû à la faible teneur des sols sableux en matière organique.

Dose de bentonite en %	Témoin	2,5	5	7	10	12,5	15
CE (mmhos/cm)	0,37	0,55	0,70	0,81	0,90	0,99	1,07
pH eau (2/5)	8,13	8,17	8,21	8,21	8,23	8,25	8,28
pH KCl (2/5)	7,99	8,00	7,99	8,00	7,99	8,00	7,99
CaCO <sub>3</sub> total (%)	30,47	32,00	32,14	32,98	33,81	32,91	32,91
CaCO <sub>3</sub> actif (%)	10,33	10,49	9,87	10,47	10,68	11,06	10,83
MO (%)	0,69	0,82	0,86	0,95	1,03	0,84	0,79
CO (%)	0,4	0,47	0,50	0,55	0,6	0,49	0,46
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (‰)	2,08	2,20	3,87	4,05	2,47	2,79	2,78
N total (%)	0,06	0,05	0,048	0,038	0,045	0,042	0,045
C/N	6,66	9,4	10,41	14,47	13,33	11,66	10,22
Ca <sup>++</sup> meq/100g de terre	4,1	4,73	6,13	8,4	10,2	11,86	13,8
Mg <sup>++</sup> meq/100g de terre	1,6	3,3	5,0	5,8	6,6	7,5	8,3
K <sup>+</sup> meq/100g de terre	4,76	4,27	3,55	3,11	2,7	2,11	1,64
Na <sup>+</sup> meq/100g de terre	0,43	1,79	2,6	3,3	3,59	4,92	5,56
S meq/100g de terre	10,89	14,09	17,28	20,61	23,09	26,39	29,3

**Tableau 12-** Analyses chimiques des sols traités à la bentonite

Le rapport C/N est bas pour le sol témoin (6,66). Par contre, il augmente de 9,4 jusqu'à 14,47 sous les traitements de 2,5 %, 5 % et 7 % de bentonite; il diminue ensuite à 13,33 sous la dose de 10% pour atteindre son minimum de 10,22 à la dose de 15 % de bentonite.

Le taux du phosphore est de 2,08 ‰ pour le sol témoin, il évolue jusqu'à 4,05 ‰ pour le sol recevant à 7 % de bentonite, il chute ensuite 2.47 ‰ lorsque la bentonite est ajoutée à 10 %. Au delà de cette dose, cet élément réaugmente sensiblement. Ces teneurs généralement élevées en phosphore peuvent résulter d'une forte rétention de cet élément par les sols bentonisés comparativement aux sols témoins; cette rétention peut conduire à une disponibilité en cet élément et son assimilation par la plante.

Le calcium et le magnésium échangeables présentent la fraction la plus importante largement dominante parmi les bases échangeables analysées. Le sodium échangeable augmente avec la dose de bentonite appliquée bien au contraire le potassium échangeable diminue.

## II - ANALYSE MINERALE

### A - AZOTE

#### 1) Teneur en azote total du sol

##### a) Au stade levée

Les résultats obtenus sur les teneurs en azote total pendant le stade levée varient entre 0.20 ‰ et 0.58 ‰, avec une différence assez importante des teneurs entre les trois substrats étudiés. En effet, la teneur en azote total est presque constante dans les sols cultivés soit en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur ou en association sans apport de

bentonite. Les valeurs obtenues restent faibles et varient entre 0.20 ‰ et 0.22 ‰. (Tableau 13 et fig. 7). Ceci est dû à la faible teneur des sols sableux en matière organique.

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			m ± σ
		Témoin	7	10	
Levée	Blé	0,2±0,02	0,46±0,02	0,54±0,02	0,4±0,16
	Pois chiche	0,22±0,0	0,48±0,02	0,58±0,02	0,42±0,16
	Blé+pois chiche	0,2±2,58	0,48±4,63	0,56±0	0,41±0,16
	m ± σ	0,206±0,01	0,473±0,011	0,56±0,02	
Tallage	Blé	0,18±1,13	0,48±4,63	0,58±6,80	0,41±0,18
	Pois chiche	0,24±0,02	0,52±0,02	0,64±0,02	0,46±0,18
	Blé+pois chiche	0,2±0,02	0,5±0,02	0,62±0,02	0,44±0,19
	m ± σ	0,206±0,03	0,5±0,02	0,61±0,03	
Début floraison-montaison	Blé	0,14±0,002	0,44±0,02	0,54±0,02	0,37±0,18
	Pois chiche	0,2±0,02	0,48±0,02	0,62±7,06	0,43±0,19
	Blé+pois chiche	0,14±0	0,46±0,02	0,58±0,02	0,39±0,20
	m ± σ	0,16±0,034	0,46±0,02	0,58±0,04	

**Tableau 13** - Azote total analysé dans le sol à différents stades végétatifs en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association (pois chiche+blé dur) en fonction de la dose de bentonite

Dans les substrats traités par la bentonite (7 % et 10 %), les teneurs obtenues deviennent plus élevées comparativement au sol témoin. En effet, les sols cultivés en pois chiche et enrichis à 7 % de bentonite enregistrent une teneur de 0.48 ‰, teneur retrouvée dans les sols cultivés en association. Par contre pour le blé il faut remarquer une sensible baisse de cet élément allant jusqu'à 0.46 ‰ dès que les sols reçoivent la bentonite à 10 %, une nette augmentation de l'azote apparaît. Dans les sols portant la culture en associé, l'azote devient encore plus important. Cette différence des teneurs en azote total enregistrée entre les sols témoins et ceux enrichis en bentonite peut s'expliquer par la dimension fine des particules argileuses dont l'organisation en feuillets espacés conduit à une grande surface et ainsi à une forte rétention de l'eau et des ions minéraux.

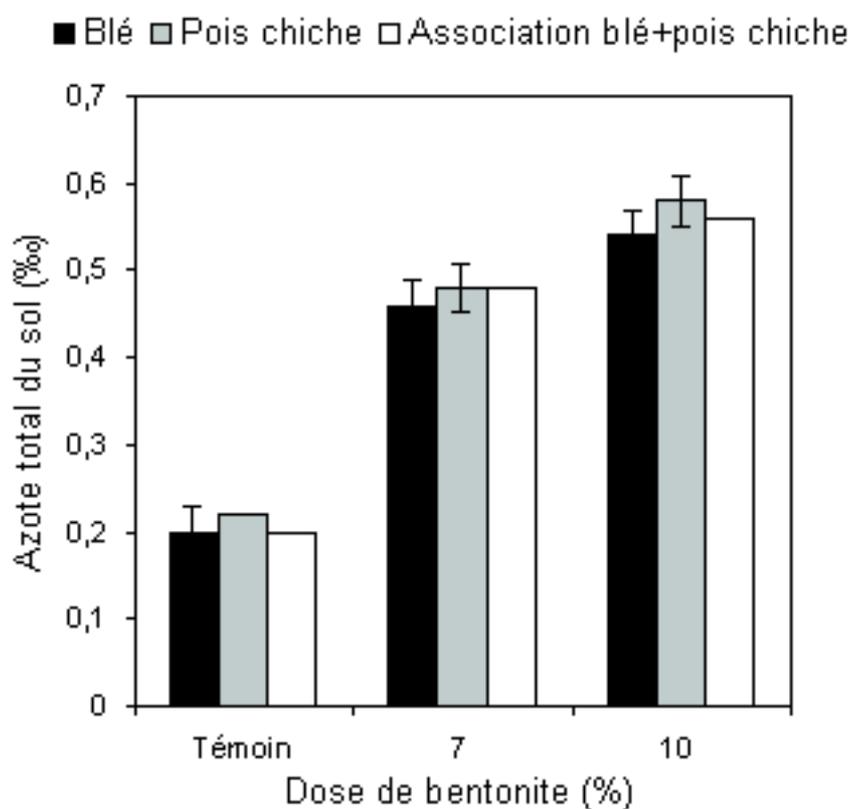


Fig.7 – Variations de l'azote total analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur **au stade levée** en fonction de la dose de bentonite.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif du facteur traitement à la bentonite et un effet significatif du facteur type de culture sur la teneur en azote total (Tableau 39, annexe 3).

### b) Au stade tallage

D'après les résultats (Tableau 13 et fig. 8) et comparativement au stade levée, une augmentation conséquente a été remarquée pour les teneurs en azote total dans les substrats associés à la bentonite et cultivés en pois chiche, soit 0.52 ‰ à la dose 7 % de bentonite et 0.64 ‰ à la dose 10 %. Cet enrichissement en azote s'expliquerait par l'intervention de la plante légumineuse grâce à une activité bactérienne fixant l'azote atmosphérique. Dans le sol témoin cultivé en pois chiche, la teneur en azote varie légèrement par rapport au stade levée (0.22 ‰ et 0.24 ‰), par contre cette teneur ne varie pas pour l'association entre les deux stades (0.2 ‰).

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif des deux facteurs étudiés (traitement à la bentonite et le type de culture) sur la teneur en azote total au seuil de risque 5 % (Tableau 40, annexe 3).

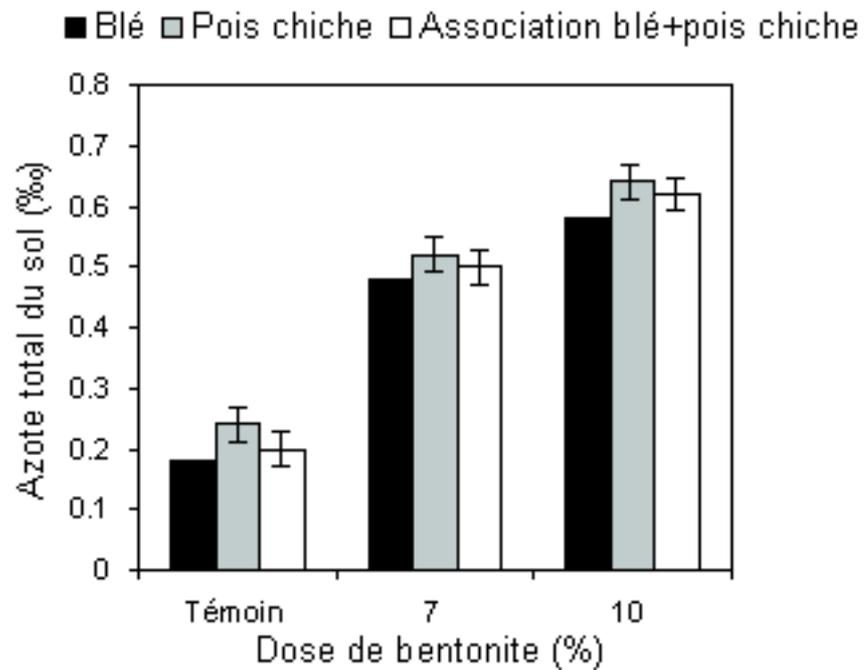
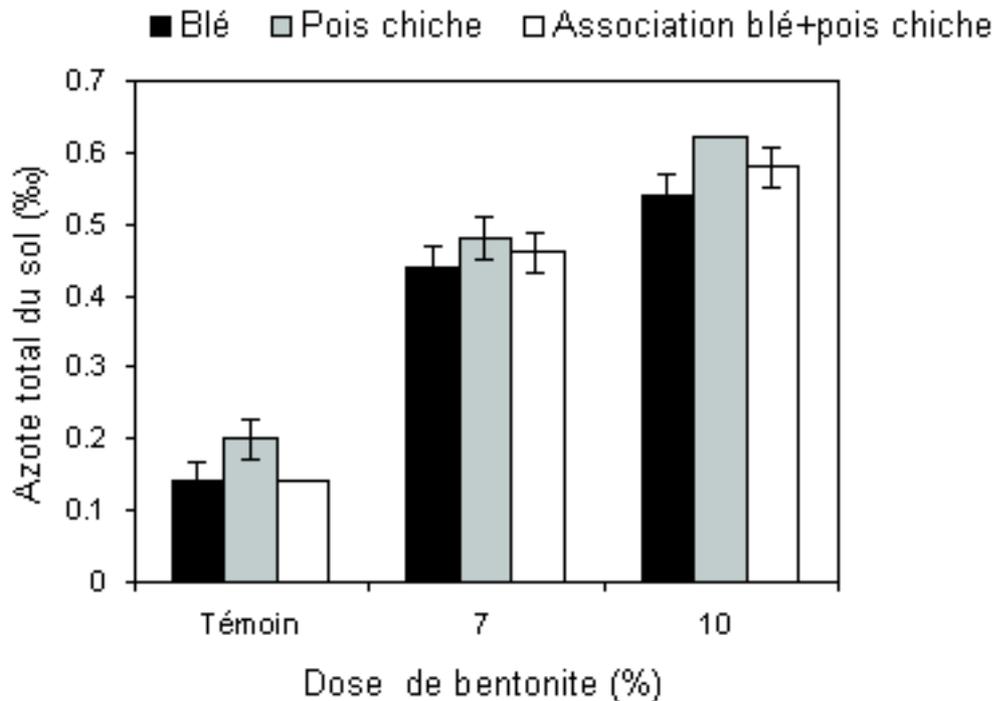


Fig. 8 – Variations de l'**azote total** analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé **au stade tallage** en fonction de la dose de bentonite.

### c) Aux stades début floraison et montaison

D'après les résultats obtenus (fig. 9) au cours du stade de début floraison (pour l'espèce pois chiche) et de la montaison (pour l'espèce blé dur),



*Fig. 9 – Variations de l'azote total analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé au stade montaison en fonction de la dose de bentonite.*

nous remarquons que les teneurs en azote total sont légèrement décroissantes par rapport au stade tallage (Tableau 13). Dans le sol témoin cultivé en pois chiche et en association ; cette réduction varie respectivement de 0.04 ‰ et 0.06 ‰.

Dans les substrats bentonisés à 7 % et 10 %, une légère baisse de la teneur en azote apparaît passant de 0.04 ‰ sous le premier traitement à 0.02 ‰ sous le second pour le pois-chiche. Cette teneur reste autour de 0.04 ‰ sous les deux traitements de bentonite cultivées par l'association.

Cette décroissance s'explique par la forte absorption de l'azote qui se produit dans cette phase, car il est prélevé en grandes quantités. En effet, cet élément sert à constituer l'appareil végétatif dans lequel les protides occupent une grande place, puis il participe à l'élaboration des matières de réserve durant ce stade.

Pour le blé, la diminution est de l'ordre de 0.04 ‰ dans tous les substrats. Ceci s'explique par la croissance rapide des tiges et la production énorme de la matière sèche. D'après Taureau (1987), l'apport de l'azote au cours de ce stade favorise la croissance et la montée des talles à épis. Le blé absorbe environ 40 % de ces besoins en azote au cours de cette période (CIPRIANO, 1984).

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif du facteur étudié (traitement bentonique) et un effet significatif de l'autre facteur (type de culture) sur la teneur en azote total au seuil de risque 5 % (Tableau 41, annexe 3).

## **2) Teneurs en azote assimilable**

### **a) Au stade une feuille**

Dans le sol témoin, la teneur en azote assimilable est assez importante dans l'association où elle atteint 0.014 ‰ ; par contre elle est faible dans la monoculture blé dur où cette teneur ne représente que 0.008 ‰ soit une différence de 0.006 ‰. Les teneurs en azote assimilable sont plus élevées dans les sols traités à la bentonite où les valeurs varient entre 0.010 et 0.018 ‰ où il faut noter des teneurs plus conséquentes dans l'association que dans la monoculture blé dur (fig. 10).

D'une manière générale le taux d'azote assimilable est largement élevé dans les sols bentonisés que dans le sol témoin, l'augmentation est de 0.002 ‰ pour la monoculture et de 0.004 ‰ pour l'association (Tableau 14).

L'analyse de la variance révèle un effet significatif du facteur étudié (traitement de la bentonite) et un effet non significatif du facteur type de culture sur la teneur en azote assimilable (Tableau 35, annexe 3).

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)		
		Témoin	10	m ± σ
Stade une feuille	Blé	0,008±0,003	0,01±8,784	0,009±0,002
	Pois chiche	0,01±8,784	0,014±0,001	0,012±0,002
	Blé+pois chiche	0,014±0,001	0,018±0,003	0,016±0,003
	m ± σ	0,01±0,003	0,01±1,64	
Stade deux feuilles	Blé	0,01±1,646	0,016 ±0,001	0,013 ±0,004
	Pois chiche	0,012±0,003	0,018 ±0,003	0,015±0,004
	Blé+pois chiche	0,02±3,29	0,028±0,015	0,024±0,005
	m ± σ	0,014±0,005	0,02±0,0064	
Stade trois feuilles	Blé	0,015±0,008	0,02 ±3,29	0,0175±0,006
	Pois chiche	0,035±0,008	0,045±0,008	0,04±0,009
	Blé+pois chiche	0,04±0,01	0,05±0	0,045±0,008
	m ± σ	0,03±0,0132	0,038±0,016	
Stade début de tallage	Blé	0,01±8,784	0,03±0,01	0,02±0,012
	Pois chiche	0,05±0,01	0,07±0,01	0,06±0,014
	Blé+pois chiche	0,06±0,005	0,09±0,017	0,07±0,017
	m ± σ	0,04±0,026	0,06±0,03	

Tableau 14 - Azote assimilable analysé dans le sol à différents stades végétatifs en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de la dose de bentonite

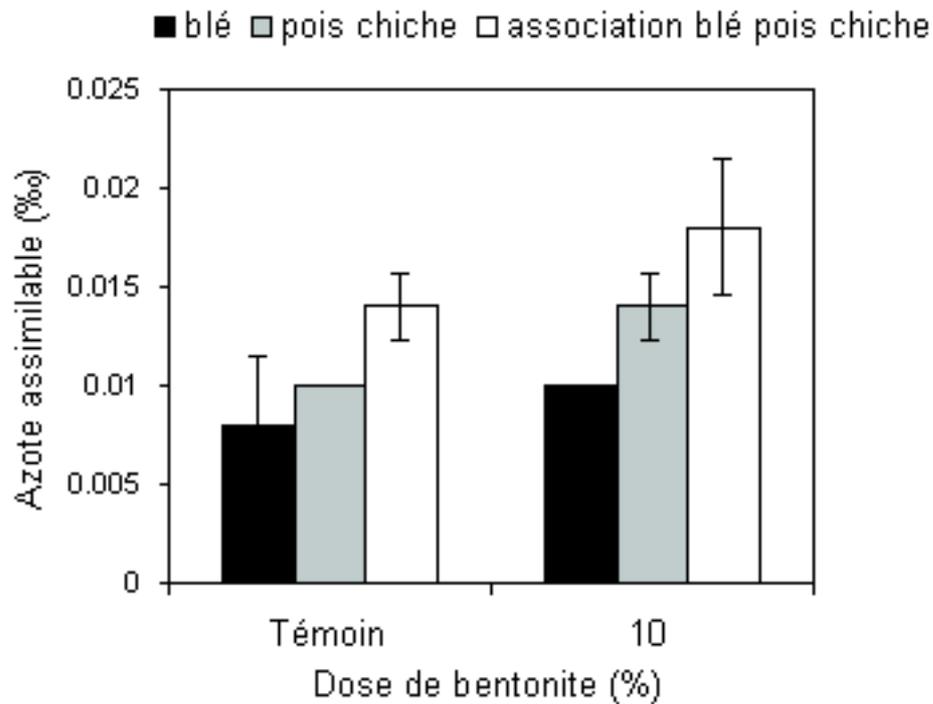


Fig. 10 – Variations de l'azote assimilable analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé **au stade une feuille** en fonction de la dose de bentonite.

### b) Au stade deux feuilles

D'après les résultats obtenus pendant le stade deux feuilles et par rapport au stade une feuille (Tableau 14 et fig. 11), une augmentation conséquente a été remarquée dans la teneur en azote assimilable dans le substrat traité à la bentonite, soit des augmentations de (0.006 et 0.01 ‰) respectivement pour la monoculture blé dur et l'association. Par contre dans le sol témoin les teneurs en azote restent toujours faibles variant entre 0.01 et 0.02 ‰

La culture de l'association présente les teneurs les plus élevées en azote dans les deux types de substrats (sol témoin, sol à 10 % de bentonite): 0.02 ‰ pour le sol témoin et 0.028 ‰ pour le sol de 10 % de bentonite, contre des teneurs moins importantes pour les deux autres cultures où est enregistrée la plus faible teneur chez la monoculture blé dur

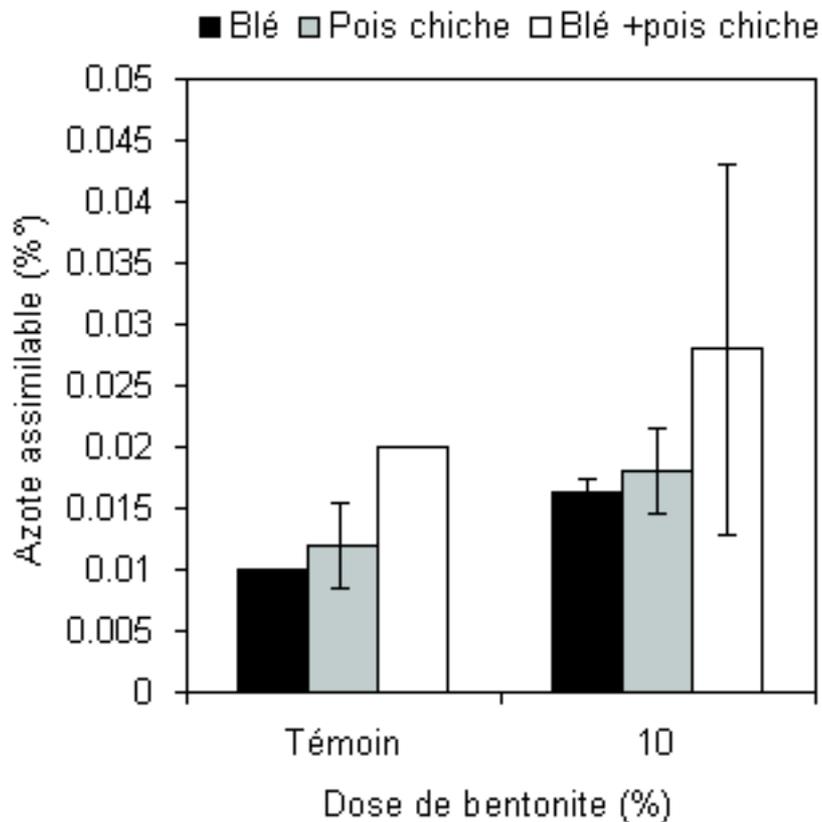


Fig. 11 – Variations de l'azote assimilable analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé **au stade deux feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

sous les deux substrats (0.01 et 0.016 ‰), sols témoin et bentonisé à 10 %; ceci s'explique par l'effet bénéfique de la légumineuse (pois chiche) sur la disponibilité de l'azote assimilable pour le blé dur, due à la densité racinaire plus importante ayant créé une porosité et par conséquent une meilleure circulation de la solution nutritive, ce qui a augmenté le niveau d'azote dans le sol.

L'analyse de la variance révèle un effet significatif des deux facteurs étudiés (traitement de la bentonite, type de culture) sur la teneur en azote assimilable (Tableau 36, annexe 3).

### c) Au stade trois feuilles

A ce stade (fig. 12), une nette augmentation des teneurs en azote s'exprime sous le traitement à 10 % de bentonite ; les valeurs enregistrées en azote passent du sol témoin entre 0.015 et 0.04 ‰ en monoculture blé dur et en association, à 0.02 et 0.05 ‰ pour les sols enrichis à 10 % de bentonite respectivement pour les deux systèmes de culture . (Tableau 14).

L'analyse de la variance révèle un effet significatif des deux facteurs étudiés (traitement bentonitique, type de culture) sur la teneur en azote assimilable (Tableau 37, annexe 3).

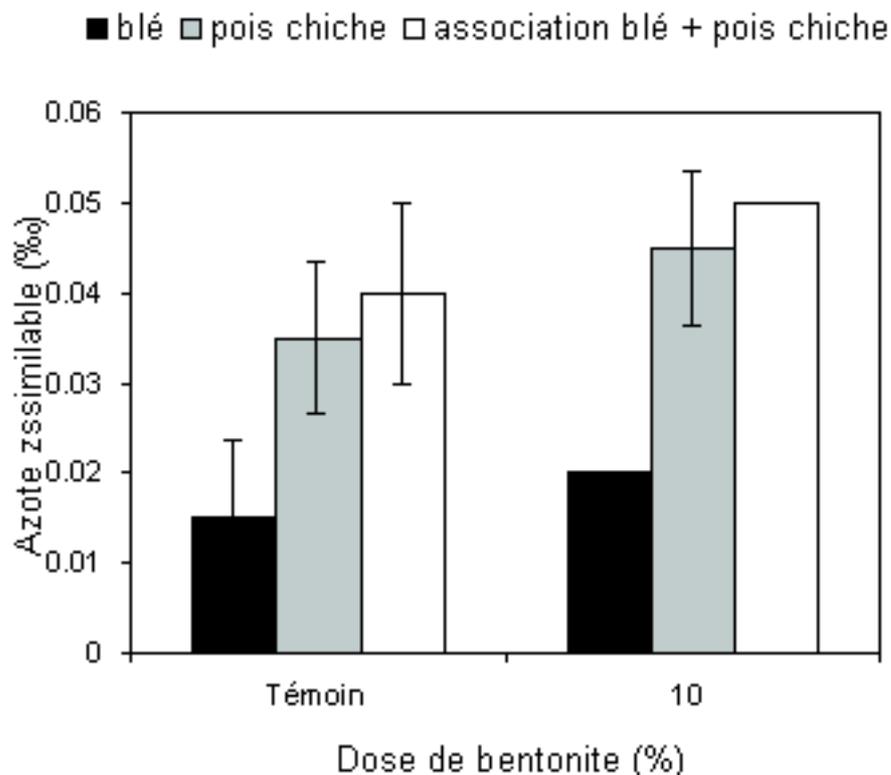


Fig. 12 – Variations de l'azote assimilable analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé au stade trois **feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

### d) Au stade début tallage

D'après les résultats obtenus à ce stade (fig. 13), nous constatons que les teneurs en azote assimilable sont plus élevées comparativement au stade précédent; ceci est valable pour les deux types de culture aussi bien sur substrat bentonisé que chez le sol témoin. De plus, sous la conduite en association, l'azote augmente beaucoup plus que dans le substrat cultivé en monoculture blé dur. En outre, les teneurs en azote analysé dans le sol recevant la bentonite à 10 % sont largement supérieures à celles obtenues dans le substrat témoin.

Il résulte de la comparaison par rapport au stade trois feuilles que les niveaux d'azote assimilable arrivent à peine à 0.005 ‰ dans le substrat témoin à monoculture blé dur pour

atteindre une teneur de 0.02 ‰ dans le sol en association (Tableau 14). Par contre, quand la bentonite est ajoutée au sol sableux, l'azote assimilable passe de 0.01 ‰ en monoculture blé dur vers 0.04 ‰ en association.

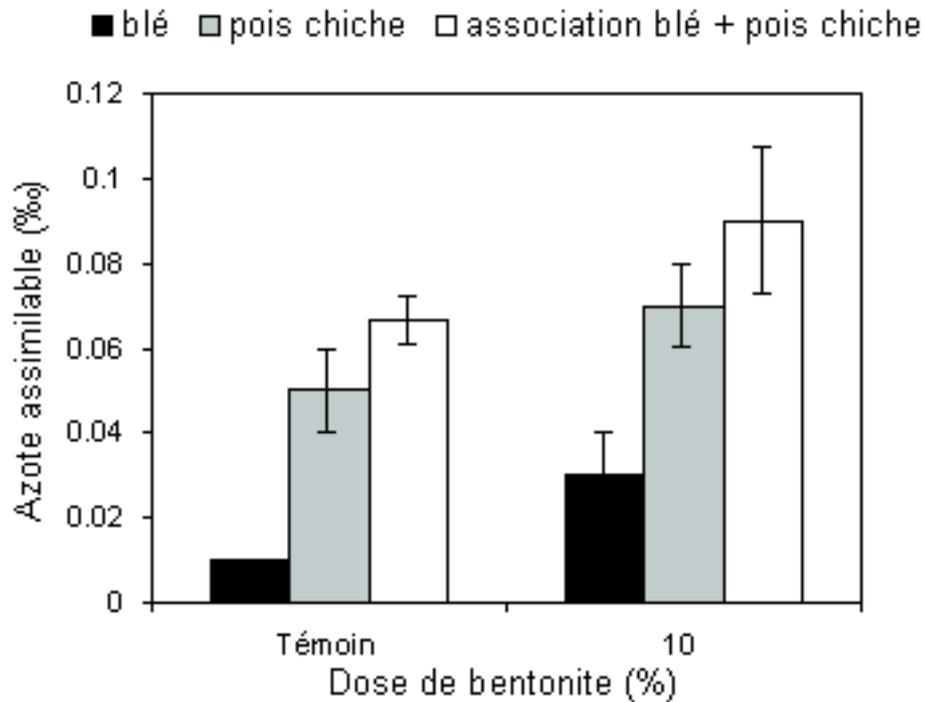


Fig. 13 – Variations de l'azote assimilable analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé au stade **début de tallage** en fonction de la dose de bentonite.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif du facteur étudié traitement bentonitique et un effet significatif du facteur type de culture sur la teneur en azote assimilable (Tableau 38, annexe 3).

## B- BILAN DES CALCIUM ET MAGNESIUM SOLUBLES

### 1) Calcium soluble

Nous avons procédé aux analyses des calcium et magnésium solubles dans les différents substrats de culture avant drainage et après drainage.

#### a) Au stade levée

Les teneurs obtenues du calcium soluble varient dans une marge de  $0,37 \text{ meq.l}^{-1}$  enregistré à partir du substrat à 7 % de bentonite en monoculture blé vers  $0,65 \text{ meq.l}^{-1}$  dans le sol à 10 % de bentonite en association (Tableau 15), avec une différence assez importante des teneurs par rapport au substrat témoin (fig. 14a).

Dans le sol témoin cultivé en monoculture blé ou pois chiche, les analyses indiquent que ce sol est fortement pauvre en calcium soluble ( $0,25 \text{ meq.l}^{-1}$ ) alors que ce

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			m ± σ
		Témoin	7	10	
Avant drainage	Blé	0,25±0,011	0,37±0,012	0,49±0,006	0,37±0,12
	Pois chiche	0,25±0,035	0,41±0,016	0,48±0,004	0,38±0,117
	Blé+pois chiche	0,3±0,055	0,44±0,019	0,65±0,030	0,46±0,176
	m ± σ	0,26±0,029	0,4±0,035	0,54±0,095	
Après drainage	Blé	0,053±0,003	0,038±0,001	0,028±0	0,039±0,012
	Pois chiche	0,053±0	0,038±0,005	0,030±0,002	0,04±0,011
	Blé+pois chiche	0,050±0	0,038±0,001	0,030±0,005	0,039±0,01
	m ± σ	0,052±0,001	0,038±6,58	0,029±0,001	

Tableau 15 - Calcium soluble analysé **avant drainage et après drainage** dans le sol au **stade levée** en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de la dose de bentonite

cation augmente remarquablement dans les sols en association à des teneurs voisines (0,3 meq.l<sup>-1</sup>). Dès que la bentonite est ajoutée soit à 7 % ou à 10 % pour les deux espèces en monoculture, un changement important apparaît dans la teneur en calcium soluble. Par contre, ce cation devient encore plus important dans le sol en association à 10 % de bentonite (0,65 meq.l<sup>-1</sup>). Cette teneur faible en calcium soluble est due essentiellement à la faible teneur en argile des sols sableux.

Par contre dans la solution drainée (fig. 14 b), il est observé de fortes concentrations dans le sol témoin (0,05 à 0,053 meq.l<sup>-1</sup>) par rapport à la solution drainée des deux autres substrats bentonisés à 7 et 10 % dans lesquels une diminution assez importante de la concentration en calcium est signalée aussi bien dans les sols à monoculture blé ou pois chiche ou dans les sols en association. Les sols à 10 % de bentonite présentent les teneurs les plus faibles avec des valeurs variant de 0,028 à 0,03 meq.l<sup>-1</sup> (Tableau 15).

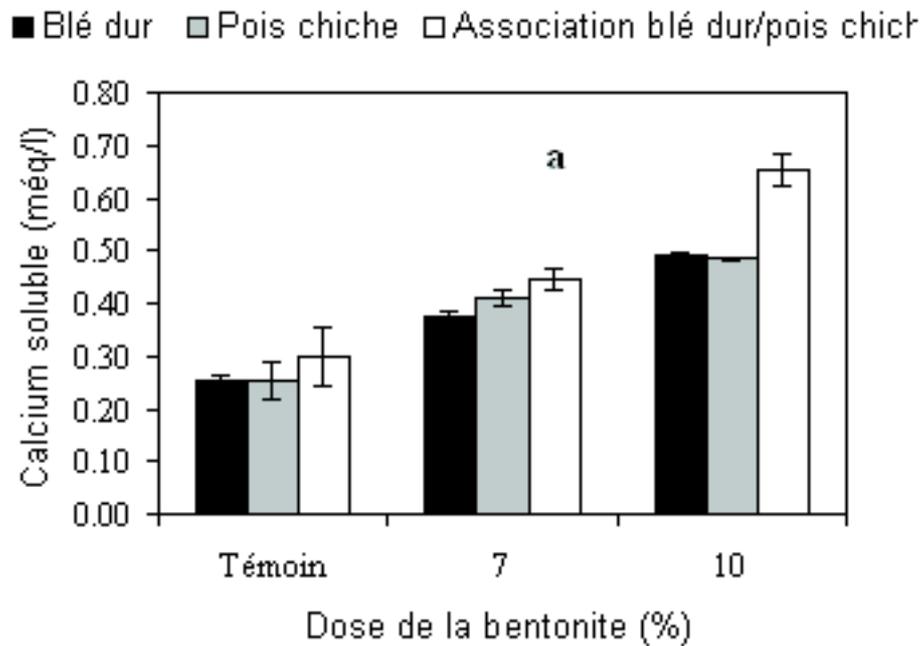
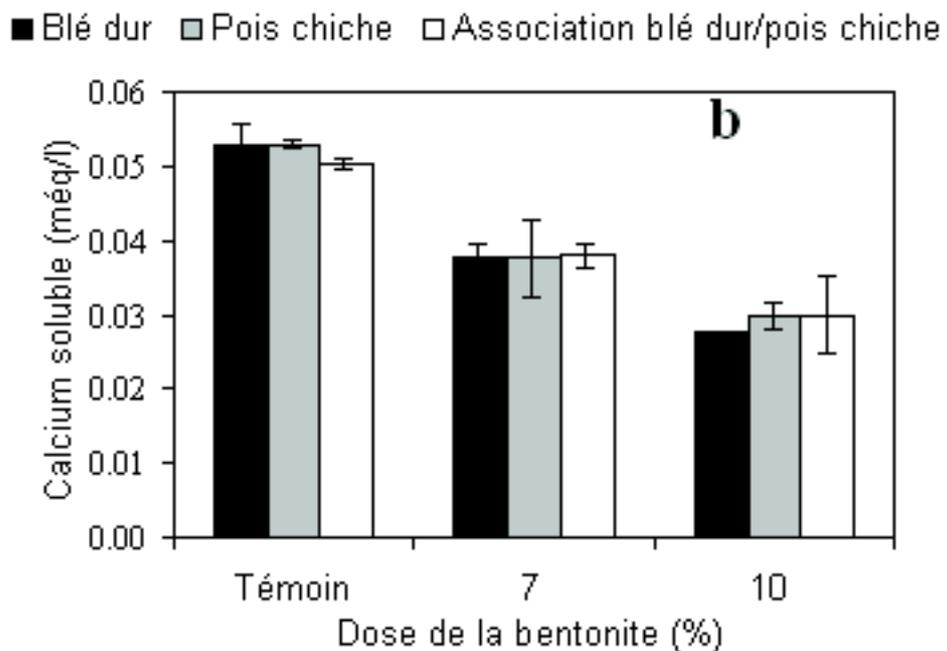


Fig. 14 - **Calcium soluble** dans le sol analysé au stade levée avant drainage (a) et après drainage (b).



### b) Au stade tallage

D'après les résultats obtenus à ce stade avant drainage (fig. 15a) et par rapport au stade levée, une diminution conséquente des teneurs en calcium soluble a été remarquée dans tous les substrats étudiés; néanmoins, les concentrations restent faibles dans le sol témoin par rapport aux autres substrats traités à 7 et 10 % de bentonite, avec des valeurs obtenues variant entre 0.1 et 0.15 meq.l<sup>-1</sup>. Cette diminution par rapport au stade précédent s'explique

par la forte absorption du calcium qui se produit durant cette phase, car il est prélevé en grandes quantités.

Le lessivage du calcium est intense (fig. 15b) avec des teneurs variant de 0,021 à 0,053 meq.l<sup>-1</sup>) pour le sol en monoculture blé ou pois chiche, ce départ de calcium est au contraire s'exprime moins dans le sol à 10 % de bentonite cultivé en association (0,015 meq.l<sup>-1</sup>) ce qui peut expliquer l'effet de la légumineuse sur la rétention de cet élément sous l'effet d'une densité racinaire importante.

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			m ± σ
		Témoin	7	10	
Avant drainage	Blé	0,1±0,005	0,275±0,012	0,451±0,009	0,275±0,175
	Pois chiche	0,11±0,005	0,276±0,013	0,458±0,019	0,28±0,174
	Blé+pois chiche	0,15±0,021	0,33±0,033	0,47±0,023	0,31±0,16
	m ± σ	0,12±0,026	0,29±0,035	0,46±0,009	
Après drainage	Blé	0,05±0,004	0,035±0,004	0,021±0,003	0,035±0,014
	Pois chiche	0,053±0,009	0,036±0,001	0,021±0,002	0,036±0,016
	Blé+pois chiche	0,032±0,003	0,021±0,003	0,015±2,33	0,022±0,008
	m ± σ	0,045±0,011	0,03±0,008	0,019±0,003	

Tableau 16 - Calcium soluble analysé **avant drainage et après drainage** dans le sol au **stade tallage** en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de la dose de bentonite

Dans l'ensemble des substrats, une diminution assez conséquente en teneur de calcium à ce stade par rapport au stade précédent est observée avec quand même des valeurs maximales enregistrées dans les substrats additionnés à 7 et 10 % de bentonite cultivés en association (0.33 et 0.47 meq.l<sup>-1</sup>), ceci s'explique par l'effet des argiles sur la capacité de rétention en eau et en éléments minéraux. Par conséquent, le lessivage de calcium ralentit assez considérablement au fur et à mesure que la dose de bentonite augmente (Tableau 16). Dans ces substrats, une diminution assez importante du calcium est notée en particulier dans les sols cultivés en association (0.015 et 0.021 meq.l<sup>-1</sup>).

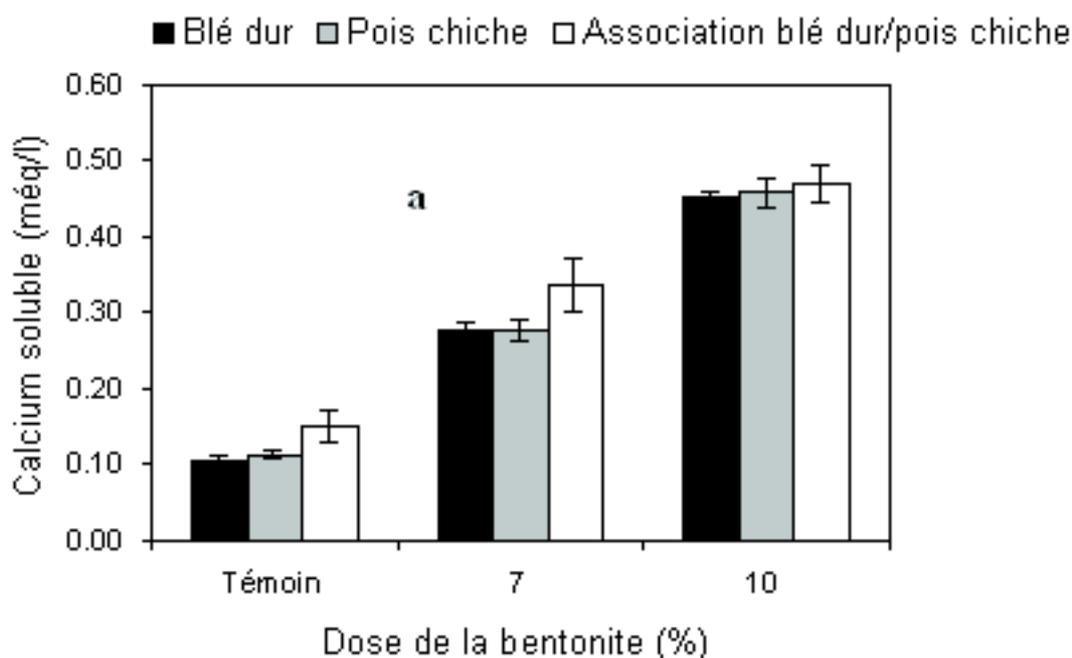
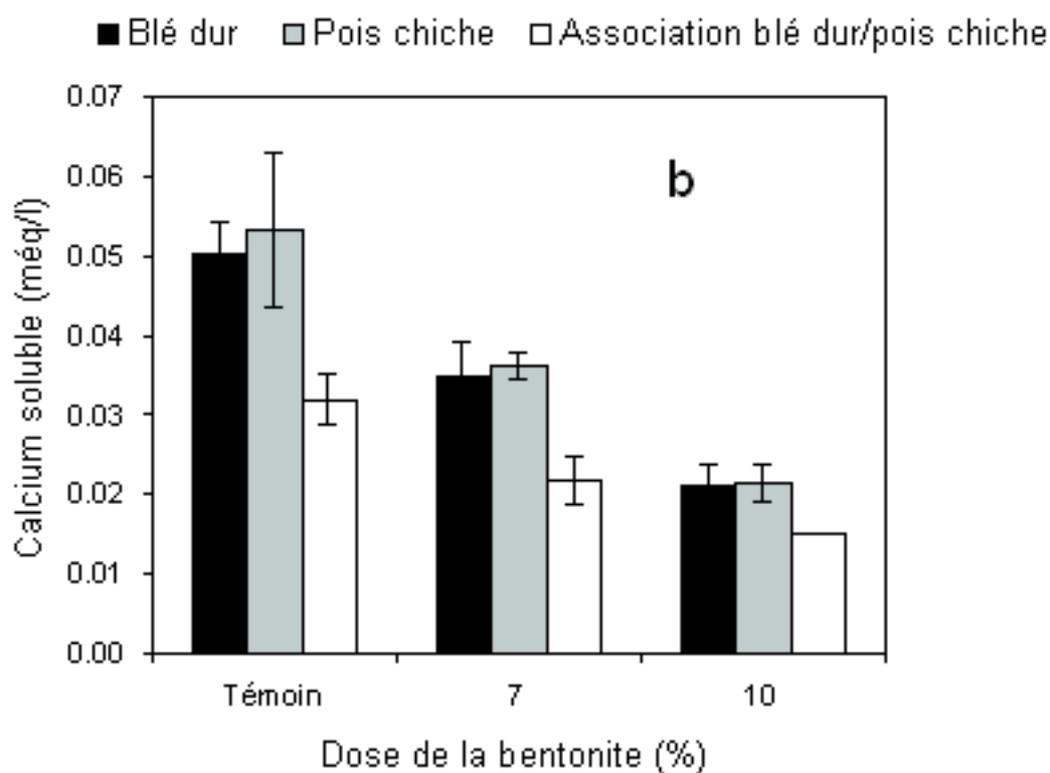


Fig. 15 - **Calcium soluble** dans le sol analysé au **stade tallage** avant drainage (a) et après drainage (b).



### c) Au stade montaison

A ce stade, avant drainage dans le sol témoin cultivé en monoculture blé ou pois chiche et en association (fig. 16a), les teneurs en calcium soluble sont généralement identiques et faibles

(0.22 meq.l<sup>-1</sup>) par rapport aux sols traités à 7 et 10 % de bentonite, où ce cation augmente considérablement dans les sols en monoculture blé ou pois chiche et en association à des teneurs voisines (0.34 et 0.52 meq .l<sup>-1</sup>).

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			m ± σ
		0	7	10	
Avant drainage	Blé	0,22±0,030	0,34±0,01	0,47±0,011	0,34±0,125
	Pois chiche	0,22±0,013	0,34±0,015	0,47±0,012	0,34±0,125
	Blé+pois chiche	0,22±0,021	0,36±0,008	0,52±0,017	0,36±0,15
	m ± σ	0,22±0	0,34±0,011	0,48±0,028	
Après drainage	Blé	0,042±0,003	0,03±4,65	0,017±0	0,03±0,012
	Pois chiche	0,042±0,003	0,032±0,0018	0,016±0,001	0,03±0,013
	Blé+pois chiche	0,027±0,003	0,020±0,003	0,014±0	0,02±0,006
	m ± σ	0,037±0,008	0,027±0,006	0,015±0,001	

Tableau 17 - Calcium soluble analysé **avant drainage et après drainage** dans le sol au **stade début floraison-montaison** en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de la dose de bentonite

Par contre, sa teneur devient plus importante dans le sol en association à 10 % de bentonite (0.52 meq.l<sup>-1</sup>) (Tableau 17). Nous remarquons que dès que le taux de bentonite ajoutée augmente soit à 7 % ou 10 % le taux de calcium augmente dans les sols cultivés en monoculture de blé ou pois chiche et en association.

D'après les résultats obtenus au stade montaison et par rapport au stade précédent, une augmentation conséquente a été remarquée dans la concentration du calcium soluble dans les substrats traités à la bentonite. Par contre les teneurs restent toujours élevées par rapport au sol témoin variant entre 0.34 à 0.52 meq .l<sup>-1</sup>. Ces teneurs varient de 0.34à 0.36 meq l<sup>-1</sup> pour les sols à 7 % et de 0.47 à 0.52 meq. l<sup>-1</sup> pour les sols bentonisés à 10 %. Les fortes teneurs sont toujours observées au niveau des sols bentonisés cultivés en association à des teneurs passant de 0.36 meq l<sup>-1</sup> pour le sol à 7 % de bentonite et 0.52 meq .l<sup>-1</sup> pour le sol à 10% de bentonite.

Après drainage (fig. 16b), il est observé par contre un taux élevé du calcium lessivé pour le sol témoin dont les teneurs varient de 0.027à 0.042 meq. l<sup>-1</sup> comparativement aux substrats bentonisés à 7 et 10 % où les teneurs sont basses en calcium pour tous les sols cultivés quel que soit le type de culture.

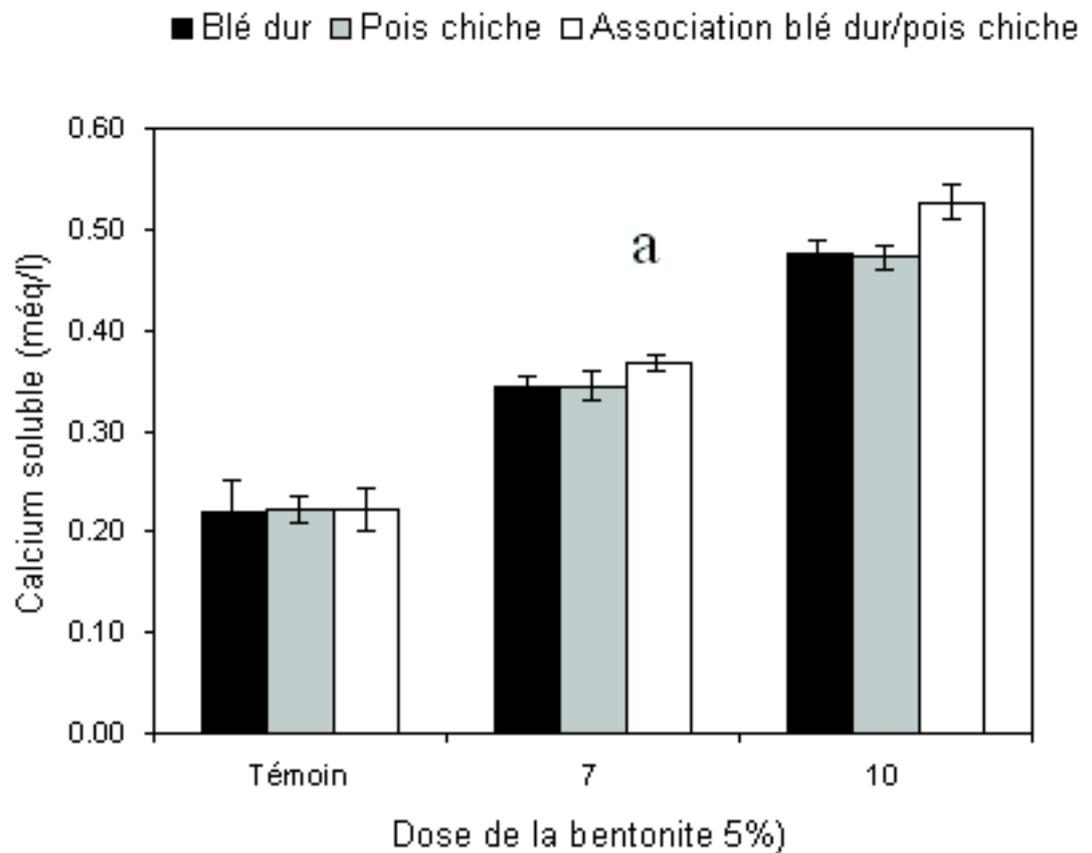
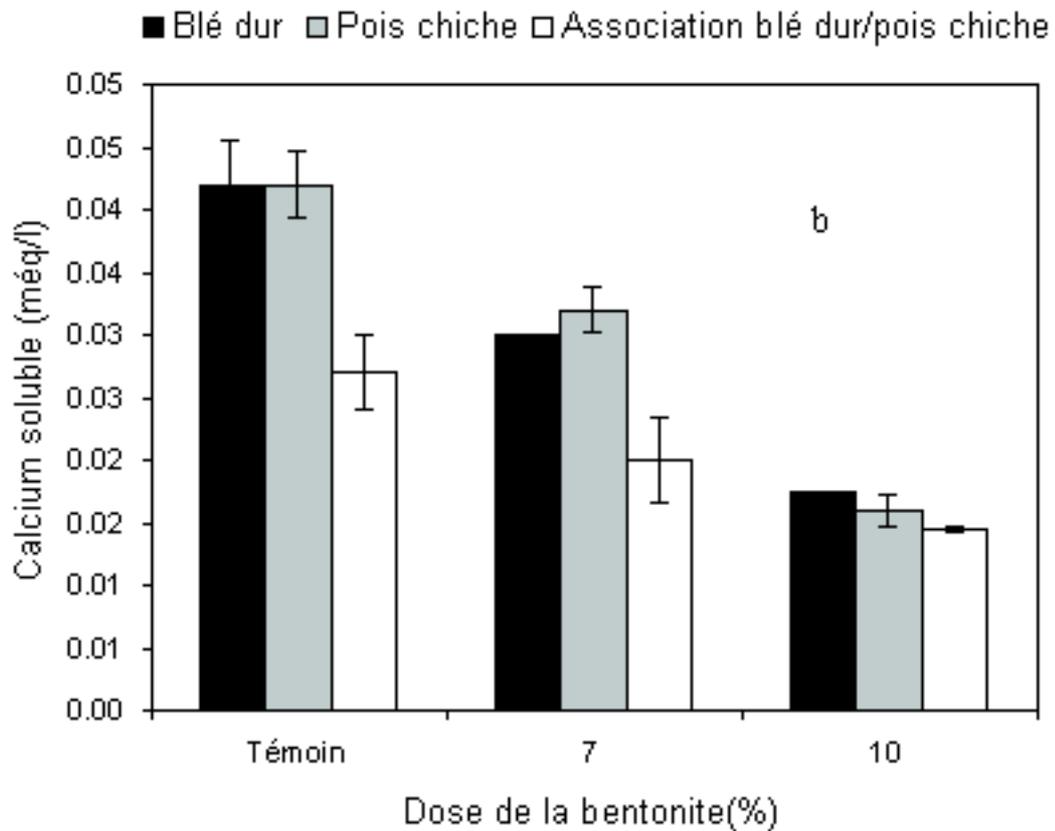


Fig. 16 - **Calcium soluble** dans le sol analysé au **stade montaison** avant drainage (a) et après drainage (b).



Les sols à 10 % de bentonite présentent les teneurs les plus faibles avec des valeurs allant de 0.014 à 0.017 meq. l<sup>-1</sup>. Les substrats à 7 et 10 % de bentonite en monoculture blé ou pois chiche enregistrent une teneur élevée du calcium lessivé de la solution drainée (0.016 à 0,032 meq. l<sup>-1</sup>) (Tableau 17) par rapport à l'association ce qui peut expliquer l'effet de la légumineuse sur la rétention de cet élément par une densité racinaire importante.

## 2) Magnésium soluble

### a) Au stade levée

Avant drainage, les analyses du sol témoin cultivé en monoculture blé ou pois chiche révèlent que le magnésium soluble est très bas (0.22 meq.l<sup>-1</sup>) alors que la teneur de ce cation augmente légèrement dans les sols en association à une teneur voisine 0,24 meq.l<sup>-1</sup>). Il faut noter tout de même que la teneur en ce cation reste généralement faible comparativement aux substrats traités à la bentonite. Nous remarquons que dès que la bentonite est à 10 %, la teneur en magnésium soluble augmente sensiblement pour les sols en monoculture blé ou pois chiche et en association; cette teneur reste plus élevée dans le substrat à 10 % de bentonite en association (0,38 meq.l<sup>-1</sup>) (Tableau 18) par rapport aux sols en monoculture blé ou pois chiche (0.35 meq.l<sup>-1</sup>) (fig.17a).

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			m ± σ
		0	7	10	
Avant drainage	Blé	0,22±0,018	0,29±0,018	0,35±0,018	0,28±0,065
	Pois chiche	0,22±0,018	0,29±0,018	0,35±0,018	0,28±0,065
	Blé+pois chiche	0,24±0,018	0,32±0,018	0,38±0,018	0,31±0,07
	m ± σ	0,22±0,011	0,3±0,017	0,36±0,017	
Après drainage	Blé	0,045±0	0,023±0	0,019±0	0,029±0,014
	Pois chiche	0,042±0	0,021±0,001	0,019±0,002	0,027±0,0127
	Blé+pois chiche	0,043±0	0,017±0,002	0,015±0	0,025±0,015
	m ± σ	0,043±0,001	0,02±0,003	0,017±0,002	

Tableau 18 - Magnésium soluble analysé **avant drainage et après drainage** dans le sol au **stade levée** en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de la dose de bentonite

Par contre dans la solution drainée du sol témoin(fig. 17b), le lessivage du magnésium est intense jusqu'à de fortes concentrations variant de 0,042 à 0,045 meq.l<sup>-1</sup> comparativement à la solution drainée analysée à partir des substrats bentonisés à 7 et 10 % quel que soit le type de culture. Les sols à 10 % de bentonite présentent les teneurs les plus faibles par rapport aux sols à 7 % de bentonite avec des valeurs variant de 0,015 à 0,019 meq.l<sup>-1</sup>. En revanche, les substrats à 7 et 10% de bentonite cultivés en monoculture blé ou pois chiche enregistrent une teneur élevée dans la solution drainée (0.019 à 0.023 meq.l<sup>-1</sup>) comparée aux sols en association ( Tableau 18).

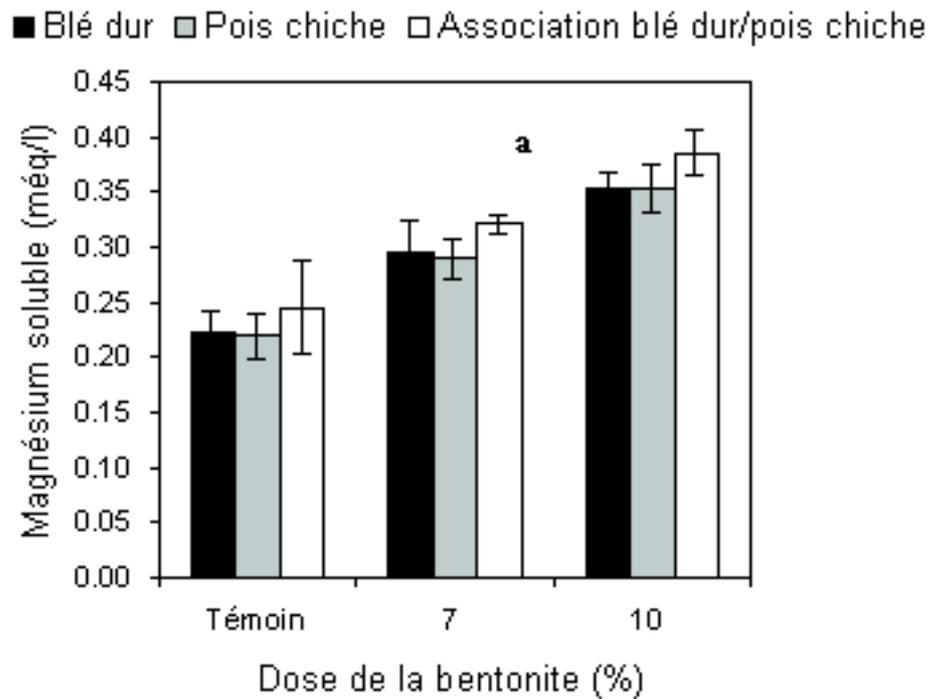
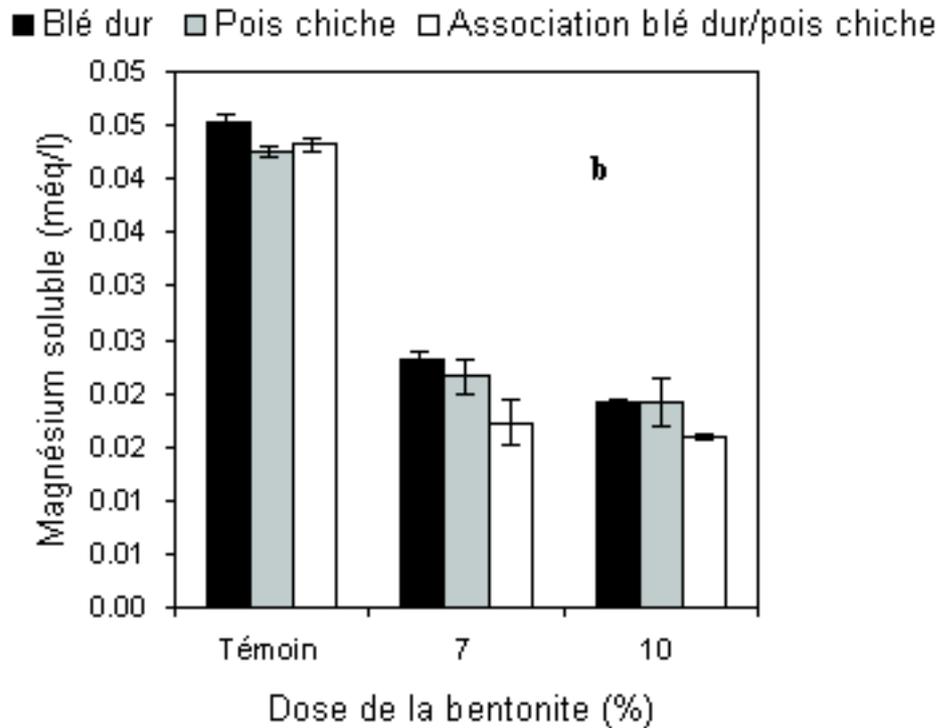


Fig. 17 - **Magnésium soluble** dans le sol analysé au **stade levée** avant drainage (a) et après drainage (b).



**b) Au stade tallage**

Avant drainage, la capacité de rétention du sol témoin pour le magnésium est identique et faible pour les sols en monoculture blé ou pois chiche et en association avec des valeurs

obtenues variant autour de  $0,16 \text{ meq.l}^{-1}$  (fig. 18a). Par contre les teneurs du magnésium des substrats à 7 et 10% de bentonite restent élevées par rapport au sol témoin variant entre  $0,27$  à  $0,43 \text{ meq.l}^{-1}$ . Nous remarquons qu'au fur et à mesure que la dose de bentonite augmente la concentration du magnésium augmente dans le sol mais les fortes teneurs sont observées dans les sols bentonisés cultivés en association avec des teneurs variant de  $0,29$  pour le sol à 7 % de bentonite et  $0,43$  pour le sol à 10 % de bentonite.

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			m ± σ
		0	7	10	
Avant drainage	Blé	0,16±0,007	0,31±0,034	0,41±0,001	0,29±0,126
	Pois chiche	0,16±0,015	0,27±0,015	0,38±0,018	0,27±0,11
	Blé+pois chiche	0,16±0,022	0,29±0,023	0,43±0,020	0,29±0,135
	m ± σ	0,16±2,63	0,29±0,02	0,4±0,025	
Après drainage	Blé	0,045±7,93	0,021±0,002	0,019±0,001	0,028±0,014
	Pois chiche	0,045±0	0,020±0,002	0,019±0	0,028±0,014
	Blé+pois chiche	0,044±0	0,018±0,001	0,016±0	0,026±0,015
	m ± σ	0,044±0	0,019±0,001	0,018±0,002	

Tableau 19 - Magnésium soluble analysé **avant drainage et après drainage** dans le sol au **stade tallage** en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche + blé dur) en fonction de la dose de bentonite

Dans la solution drainée du substrat témoin (fig. 18b), le lessivage de magnésium est important où il est enregistré de fortes teneurs (de  $0,044$  à  $0,045 \text{ meq.l}^{-1}$ ). Par contre dans la solution drainée des deux autres substrats bentonisés 7 et 10 %, le lessivage est très faible pour tous les sols cultivés en monoculture blé ou pois chiche et en association. Les sols dosés à 7 et 10 % de bentonite cultivés en association sont à des teneurs en magnésium les plus faibles comparées aux sols en monoculture blé ou pois chiche avec des valeurs variant de  $0,018$  à  $0,016 \text{ meq.l}^{-1}$  (Tableau 19).

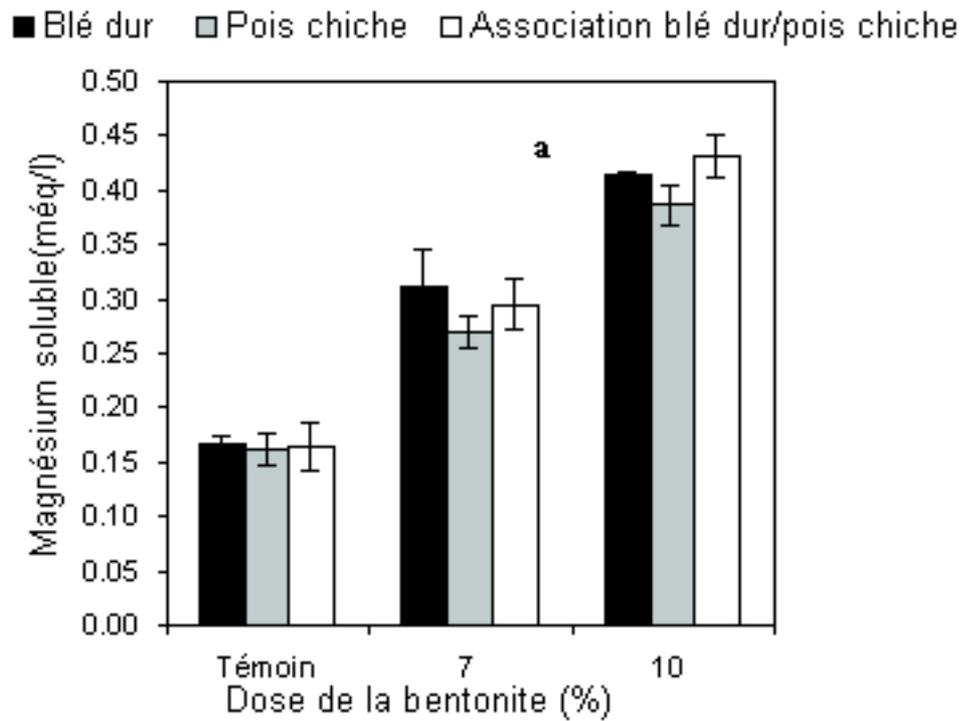
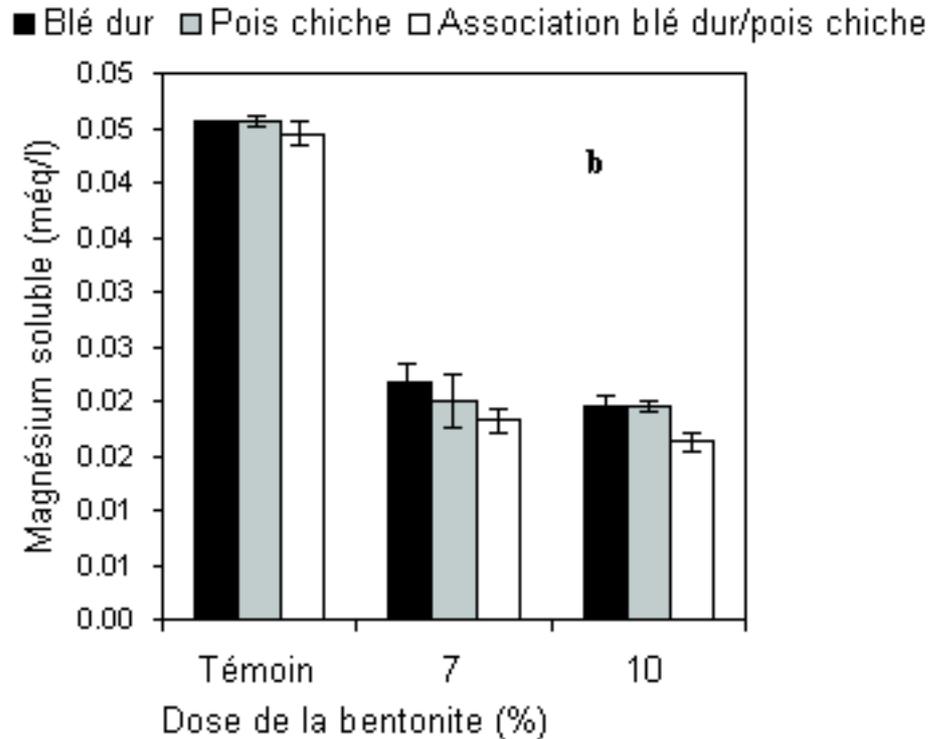


Fig. 18 - **Magnésium soluble** dans le sol analysé au **stade tallage** avant drainage (a) et après drainage (b).



**c) Au stade montaison**

Les teneurs en magnésium soluble obtenues avant drainage sont les plus élevées comparativement aux autres stades précédents. Il faut remarquer une augmentation de ce composé pour les substrats traités à 7 et 10 % de bentonite; ces teneurs fluctuent de 0.32 à 0.37 meq.l<sup>-1</sup> pour les sols à 7 % de bentonite et de 0.39 à 0.43 meq.l<sup>-1</sup> pour les sols à 10 % dans tous les types de culture (fig. 19a). Nous remarquons que les teneurs en magnésium soluble des substrats traités à 7 et 10 % de bentonite sont nettement supérieures à celles du sol témoin.

Les résultats du tableau (20) montrent que les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les sols à 7 et 10 % de bentonite cultivés en association avec des valeurs variant de 0.37 à 0.43 meq.l<sup>-1</sup>.

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			
		0	7	10	m ± σ
Avant drainage	Blé	0,16±0,012	0,34±0,013	0,41±0,015	0,3±0,129
	Pois chiche	0,16±0,007	0,32±0,02	0,39±0,01	0,29±0,117
	Blé+pois chiche	0,16±0,009	0,37±0,006	0,43±0,017	0,32±0,141
	m ± σ	0,16±2,63	0,34±0,025	0,41±0,02	
Après drainage	Blé	0,046±0	0,02±3,29	0,026±0,002	0,03±0,013
	Pois chiche	0,0461±0	0,021±0,001	0,036±0,0018	0,034±0,012
	Blé+pois chiche	0,044±0,002	0,016±0,001	0,021±0,0009	0,027±0,015
	m ± σ	0,045±0,001	0,019±0,002	0,027±0,007	

Tableau 20 - Magnésium soluble analysé avant drainage et après drainage dans le sol au stade début floraison-montaison en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de la dose de bentonite

Le lessivage du magnésium est très faible dans les sols à 7 et 10 % de bentonite et particulièrement dans les sols cultivés en association (0,016 et 0,021 meq.l<sup>-1</sup>) (fig. 19b).

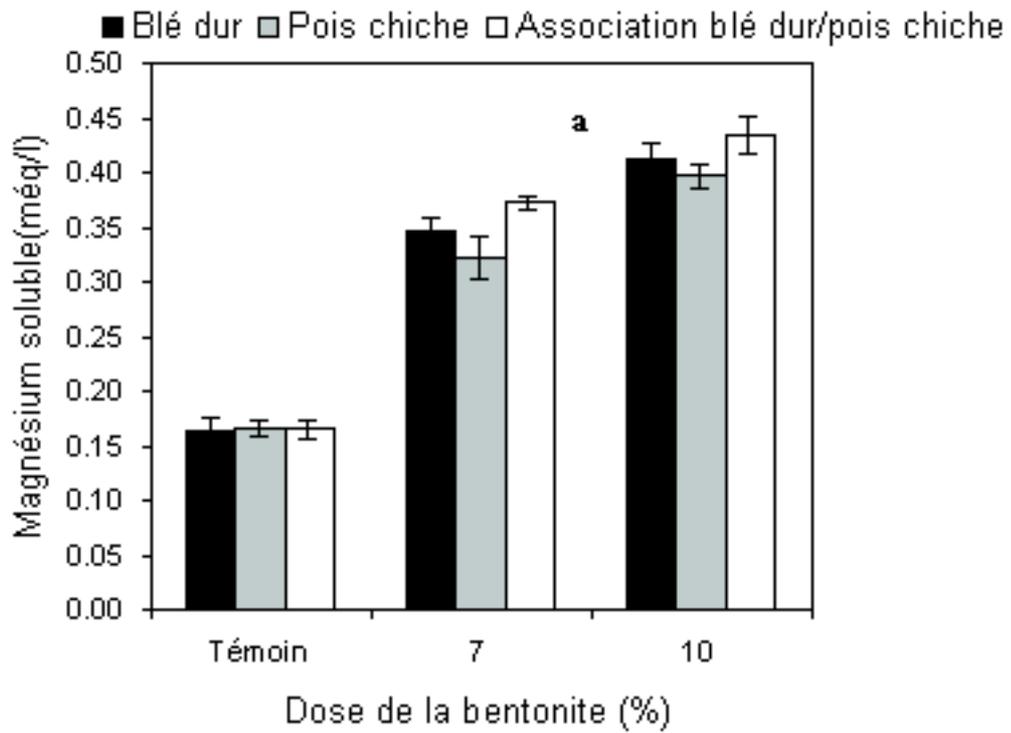
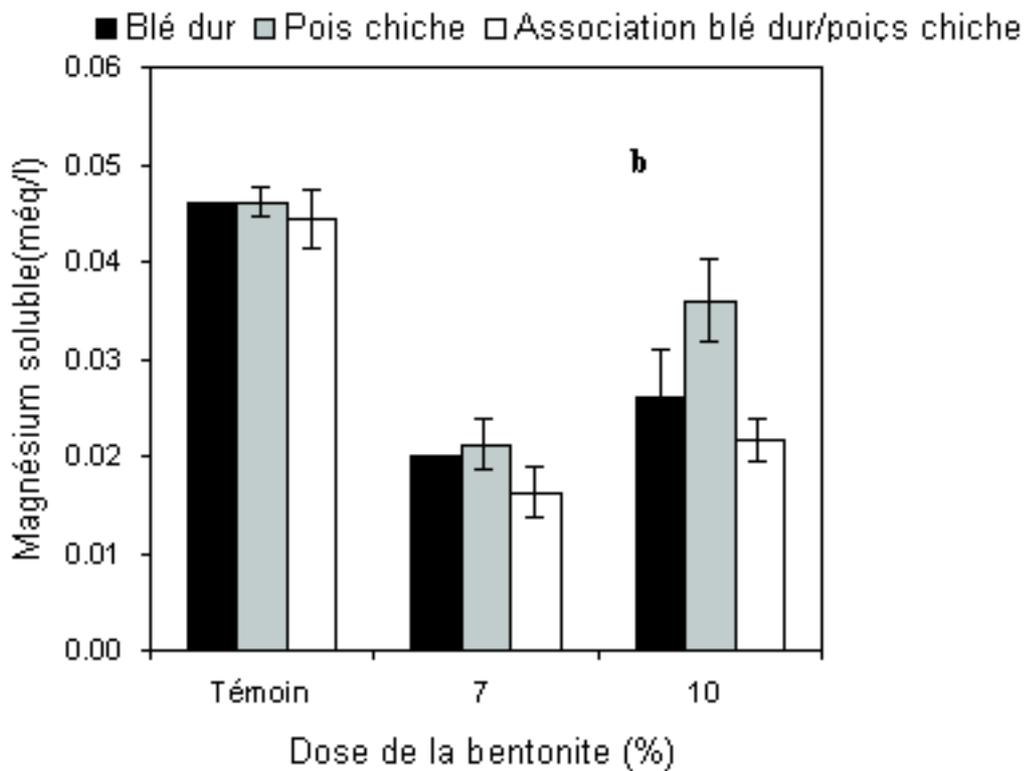


Fig. 19 - **Magnésium soluble** dans le sol analysé au **stade montaison** avant drainage (a) et après drainage (b).



Les résultats acquis dans ce chapitre nous permettent de retenir les points essentiels suivants :

- Au niveau du sol, l'application de la bentonite aux doses fluctuant de 2.5 % jusqu'à 15 % a provoqué une modification de la texture du sol. En effet, lorsque la charge en bentonite du sol sableux arrive à 7 %, le substrat passe de la texture sableuse à la texture sablo limoneuse,
- Au point de vue chimique, **la C.E** varie dans le même sens que la dose de bentonite,
- L'adjonction de bentonite dans le substrat de culture n'exprime aucune influence majeure sur **le calcaire total et actif**,
- **La matière organique** augmente dans le substrat lorsque la bentonite est ajoutée jusqu'à 10%, dose à partir de laquelle le rapport C/N commence à subir une sensible chute,
- Les substrats traités à la bentonite sont très pauvres en **azote**,
- **Les bases échangeables**, dont le calcium et le magnésium sont dominant, présentent la fraction la plus importante. Le sodium échangeable augmente avec la dose de bentonite appliquée bien au contraire le potassium échangeable diminue,
- La teneur de l'azote total aux stades levée et tallage augmente dans les sols en association blé dur/pois chiche avec la dose de bentonite ajoutée ; les teneurs les plus élevées sont enregistrées au stade de tallage. En revanche dans les substrats non traités à monoculture blé dur une diminution de l'azote total est observée. Par contre au stade début floraison pour le pois-chiche, le stade montaison pour le blé, une légère diminution des teneurs en azote total du sol a été signalée,
- **La teneur en azote assimilable** est généralement faible dans le substrat sableux, néanmoins, il a été remarqué une légère augmentation de ce composé à partir du stade trois feuilles dans les sols cultivés en monoculture pois chiche et en association. Par contre l'addition de la bentonite aux sols sableux a influencé remarquablement l'évolution de l'azote assimilable comparativement aux substrats sableux. Lorsque la dose de bentonite est apportée à 10 %, cet élément devient plus important dans les sols portant la culture en en association,
  - - **Pour le calcium et le magnésium solubles**
- Les teneurs augmentent avec la richesse du sol en bentonite **au stade levée**. Ces cations diminuent dans la solution drainée lorsque la dose de bentonite augmente dans ces mêmes substrats cultivés en monoculture blé et en association.
- Dans les sols non traités **au stade tallage après drainage, ces cations baissent** comparativement au stade précédent dans le sol à monoculture blé ; cette réduction est beaucoup moins importante dans le sol cultivé en association blé dur pois chiche. Cette réduction du calcium soluble devient encore plus accentuée sous le traitement à la bentonite à 10 % du sol cultivé en monoculture blé dur.
- **Au stade montaison**, les teneurs en calcium et magnésium solubles sont assez élevées par rapport au stade tallage. Elles atteignent une valeur maximale sous le traitement à 10 % de bentonite ; en effet la teneur en calcium lessivé est inversement proportionnelle à la dose de bentonite quelque soit le stade; les sols cultivés en association présentent la teneur la plus élevée **avant drainage** pour tous les substrats.

Les résultats que nous venons de décrire font appel à un certain nombre de commentaires. En effet, la présence du calcium et du magnésium solubles en abondance peut être dû d'une part à la présence d'une dalle calcaire et d'autre part à l'eau d'irrigation. Certains auteurs pensent que dans tous les sols calcaires le complexe absorbant est entièrement saturé à cause de l'abondance d'ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  (RUELLAN, 1971 ; HALITIM, 1988). Malgré

l'origine de la bentonite sodique, le taux de  $\text{Na}^+$  est en ordre croissant mais faiblement, ceci peut être dû à la grande mobilité du  $\text{Na}^+$  facilitant son entraînement par l'eau infiltrée à l'état de sels solubles (ROUIBA, 1994). Par contre la diminution du potassium dans les sols enrichis à la bentonite est due d'une part à l'origine sableuse du sol naturellement riche en  $\text{K}^+$  que pour la bentonite appliquée; d'ailleurs nos résultats indiquent que la teneur en cet élément est élevée dans le sol non traité. D'autre part la quantité d'eau retenue par le sol augmente avec la dose de bentonite grâce au nombre important des micropores dans les sols traités à la bentonite riche en argile, expliqué par le phénomène de rétrogradation se traduisant par la fixation des ions entre les feuillets de l'argile. Lorsque le sol traité s'humecte, l'eau pénètre entre les feuillets de la bentonite et ces dernières s'écartent et piègent le  $\text{K}^+$ ; ceci implique que la quantité de  $\text{K}^+$  absorbée diminue au fur et à mesure que la dose de bentonite augmente. Outre, cette diminution du  $\text{K}^+$  proviendrait de l'intervention de la plante par l'absorption durant le développement du végétal et au cours de la formation du grain et du fruit lors de sa maturation. Il a été montré que durant la phase de floraison jusqu'à la maturation le niveau de potassium augmente dans la plante (REGUIEG, 1992).

Pour ce qui est de l'augmentation de la teneur en calcaire total, la présence de la dalle calcaire située à 70 cm environ par rapport à la surface du sol peut en être à l'origine (REGUIEG, 1992; ROUIBA, 1994). Cette richesse en calcaire montre l'abondance des ions  $\text{Ca}^{++}$  dans la solution du sol et constituerait également un milieu physico-chimique caractérisé par une présence négligeable d'ions  $\text{H}^+$  et  $\text{Al}^{+++}$  échangeables avec abondance d'ions  $\text{Ca}^{++}$  (BAISE, 2000).

Par contre le sol additionné en bentonite est pauvre en matière organique, mais selon les résultats, cette augmentation suppose une bonne aération du sol favorisant l'activité bactérienne jusqu'à un optimum atteint à 10 % de bentonite. Ceci a conduit à un accroissement des stocks de matières organiques du sol améliorant la structure par la faune du sol. A partir de cet optimum, il y a une diminution due à une mauvaise aération du sol empêchant le développement microbien, source principale de la décomposition de matière organique. Il a été possible également de conclure que la vitesse de minéralisation de la matière organique du sol varie selon les traitements du sol devenant plus importante dans les sols enrichis à 7 et 10 % de bentonite. En outre, les données indiquent que le rapport C/N du sol traité à la bentonite s'accroît en raison de l'augmentation de la matière organique.

Les variations de l'azote dans les sols additionnés en bentonite cultivés en association blé dur pois chiche, évoluent à la hausse. Les travaux de BOISSONNET *et al.* (1987), O'BRAIN et MAIRE (1989) rapportent que la relation de symbiose avec le pois chiche grâce à la présence des nodosités sur le système racinaire rend le blé dur capable de croître dans des sols déficients en azote. En revanche, les sols non traités à monoculture blé dur sont pauvres en azote résultant vraisemblablement d'une absorption par la culture d'une part et les pertes par lixiviation d'autre part. STOPES (1987) a conclu que les pertes d'azote provenant de l'enfouissement des légumineuses sur sol très poreux se situaient à 220 kg/ha au cours de la période automnale et le début du printemps, bien qu'une culture de blé d'hiver ait suivi l'enfouissement. Dans le cas de ces sols, l'amendement en bentonite permettrait d'une part d'augmenter la capacité de rétention hydrique et azotée en améliorant les caractéristiques physiques et chimiques et d'autre part associer la légumineuse au blé, lorsqu'elles sont en croissance bien qu'elles fixent l'azote de l'air, permettent de réduire la quantité des nitrates lessivées dans le profil en utilisant efficacement ces nitrates. FRANCIS

(1994) et DUVAL (1995) considèrent généralement que 50 % de l'azote contenu dans les résidus des légumineuses sont disponibles pour la culture suivante. Ces mêmes auteurs rapportent que l'azote de ces résidus présents dans la culture suivante ne représente souvent que 25 % de celle des résidus, les 25 % restant venant de l'amélioration de la structure et de l'activité du sol.

A travers les résultats de cette étude, il apparaît que dans les sols sableux, la teneur en azote total est généralement faible. Ceci est lié à la faible teneur de ces sols en matière organique ce qui réduit leur fertilité. Alors qu'après l'apport de la bentonite, une légère augmentation de cette teneur est notée. Dans les substrats traités à 7 % et 10 % et cultivés en monoculture pois chiche et en association, la teneur en azote total a généralement augmenté pendant le stade tallage. Par contre au stade début floraison pour le pois chiche, le stade montaison pour le blé, une légère chute des teneurs en azote total du sol est signalée, ce qui explique son utilisation par la plante pour son développement.

Pour le calcium soluble, au **stade levée**, les résultats montrent que les teneurs dans les différents sols augmentent avec la richesse du sol en bentonite. Au contraire, il est observé une diminution relative de la teneur en calcium drainée inversement proportionnelle à la dose de bentonite dans ces mêmes substrats cultivés en monoculture blé et en association. Cette différence des teneurs en calcium entre le témoin et les substrats traités par la bentonite, s'explique par la dimension fine des particules argileuses contenues dans la bentonite, dont l'organisation en feuillets espacés conduit à une grande surface et donc à retenir plus d'eau et des ions minéraux.

La comparaison des niveaux du calcium soluble après drainage dans les sols non traités au stade tallage par rapport au stade précédent révèle que ce cation baisse dans le sol à monoculture blé; cette diminution est beaucoup moins importante dans le sol cultivé en association blé dur pois chiche. En revanche, le traitement à la bentonite à 10 %, provoque davantage une réduction du calcium soluble dans le sol cultivé en blé dur ce qui n'apparaît pas dans le sol à association blé dur pois chiche.

Au stade montaison, les teneurs en calcium soluble sont assez croissantes par rapport au stade tallage. Les teneurs en calcium soluble des sols analysés des différents substrats atteignent une valeur maximale sous le traitement à 10 % de bentonite. Il faut noter aussi que la teneur en calcium lessivé reste inversement proportionnelle à la dose de bentonite. D'autre part, les sols cultivés en association présentent la teneur la plus élevée en calcium soluble obtenue avant drainage pour tous les substrats. Dans les sols à monoculture blé ou pois chiche, ces teneurs sont moins importantes. Ces différences de teneur selon le type de culture s'expliquent par l'effet bénéfique du pois chiche sur la disponibilité du calcium pour le blé dur due à la densité racinaire plus importante et à la porosité élevée de ce sol d'où une meilleure circulation de la solution nutritive provoquant un enrichissement de ce cation.

Pour le magnésium soluble, au stade levée, sa teneur évolue dans le sol au fur et à mesure que la dose de bentonite augmente. Il faut noter aussi que le lessivage de ce cation est inversement proportionnelle à la dose de bentonite. Au stade montaison, les teneurs en magnésium soluble sont les plus élevées comparativement aux stades précédents. A titre de comparaison, il convient de remarquer que dans le sol sans bentonite, les teneurs en magnésium sont nettement moins importantes que celles du calcium car la force d'échange du calcium est supérieure à celle du magnésium. D'une manière générale le taux du magnésium est largement élevé dans les sols bentonisés comparativement aux sols sableux (TESSIER, 2000). La forte augmentation du niveau de magnésium soluble au stade montaison s'explique soit par une libération intense du magnésium de la bentonite,

due à un phénomène d'échange important, soit que les besoins en magnésium à ce stade sont faibles.

Sans amendement bentonitique et sans association d'une légumineuse à la culture du blé dur, il y a risque d'une baisse rapide du niveau des cations  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  ayant comme conséquence une diminution des bases échangeables d'une manière générale car ces deux éléments sont probablement lixiviés en profondeur. Donc il parvient ainsi à maintenir le niveau de ces deux éléments en amendant le sol en bentonite. Enfin le traitement bentonitique entraîne une baisse significative de la perte en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  dans la solution drainée des sols cultivés en association du blé dur pois chiche. Ces fortes variations de la teneur en  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  entre les sols sableux et bentonisés d'une part et entre la culture de blé dur en monoculture et l'association d'autre part montrent l'effet de la bentonite dans la rétention de ces deux éléments en relation avec l'augmentation du niveau de la capacité d'échange cationique.

## CHAPITRE IV- ETUDE DE LA PLANTE

### I- RESULTATS AU LABORATOIRE

#### A) Mesures biométriques de la plante

##### 1) Surface foliaire du blé dur

##### a) Au stade levée

Les résultats obtenus (fig. 20) sur la surface foliaire pendant le **stade levée** varient entre 3,75 cm<sup>2</sup> et 3,97 cm<sup>2</sup> avec une différence assez importante de la surface entre les deux substrats étudiés. Dans le substrat traité à la bentonite à 10 %, la surface foliaire devient plus élevée comparativement au sol témoin (Tableau 21). En effet, la culture en association dans les sols à 10 % de bentonite enregistre une surface de 3,97 cm<sup>2</sup>. Par contre pour le blé il faut remarquer une sensible baisse de la surface allant jusqu'à 3,94 cm<sup>2</sup>. L'association présente la surface la plus élevée pour les plantes cultivées dans les deux substrats avec des valeurs respectives variant de 3,84 cm<sup>2</sup> à 3,97 cm<sup>2</sup> par rapport à la monoculture blé.

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)		
		Témoin	10	m ± σ
Stade levée	Blé	3,75±0,45	3,94±0,17	3,85±0,33
	Blé+pois chiche	3,84±0,52	3,97±0,19	4,03±0,37
	m ± σ	3,8 ±0,063	3,95 ±0,021	
Stade deux feuilles	Blé	7,86±0,71	8,21±0,34	8,03±0,55
	Blé+pois chiche	8,67±0,46	8,34 ±0,40	8,20±0,43
	m ± σ	7,96±0,15	8,27 ±0,091	
Stade trois feuilles	Blé	12 ±0,90	12,42±0,25	12,21±0,65
	Blé+pois chiche	12,34±0,77	12,76 ±0,40	12,55±0,61
	m ± σ	12,17 ±0,24	12,59 ±0,24	
Stade début de tallage	Blé	16,15±1,23	16,82±0,31	16,49±0,90
	Blé+pois chiche	16,69±0,82	17,55±0,38	17,12±0,75
	m ± σ	16,42 ±0,38	17,18 ±0,51	

Tableau 21 - **Surface foliaire** (cm<sup>2</sup>) mesurée sur des plantes à différents stades végétatifs en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de **la dose de bentonite**

L'analyse de la variance révèle un effet significatif des deux facteurs (traitement à la bentonite et type de culture au seuil de risque 5 %) (Tableau 49, annexe 3).

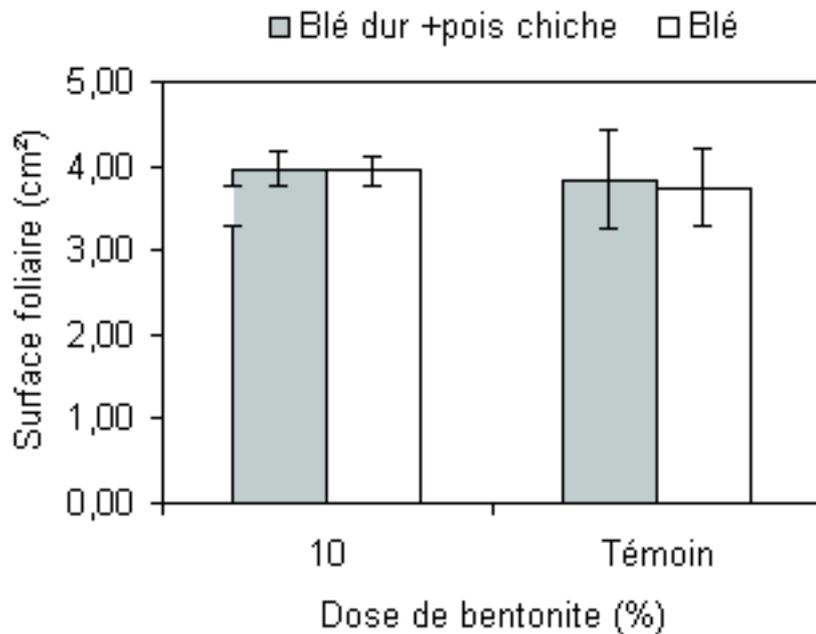


Fig. 20 – Variations de la **surface foliaire** mesurée sur des plantes en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade levée** en fonction de la dose de bentonite.

#### b) Au stade deux feuilles

D'après les résultats (fig. 21) et comparativement au stade levée, une augmentation conséquente de la surface a été remarquée pour l'association cultivée sur substrat témoin et à 10 % de bentonite, soit 8,07 cm<sup>2</sup> au sol témoin et 8,34 cm<sup>2</sup> à la dose 10 %, contre une surface relativement moins importante pour la monoculture blé où est enregistrée des valeurs variant de 7,86 cm<sup>2</sup> pour le sol témoin à 8,21 cm<sup>2</sup> pour le substrat à 10 % de bentonite (Tableau 21).

Nous constatons que la surface est plus élevée en comparaison au stade précédent; ceci est valable pour les deux types de culture aussi bien sur substrat bentonisé que chez le sol témoin. De plus, sous la conduite en association, la surface augmente beaucoup plus qu'en monoculture blé dur. En outre, la surface mesurée sur des plantes conduites sur le sol recevant la bentonite à 10 % est largement supérieure à celle obtenue dans le substrat témoin.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif des deux facteurs (bentonite et type de culture), au seuil de risque 5 % (Tableau 50, annexe 3).

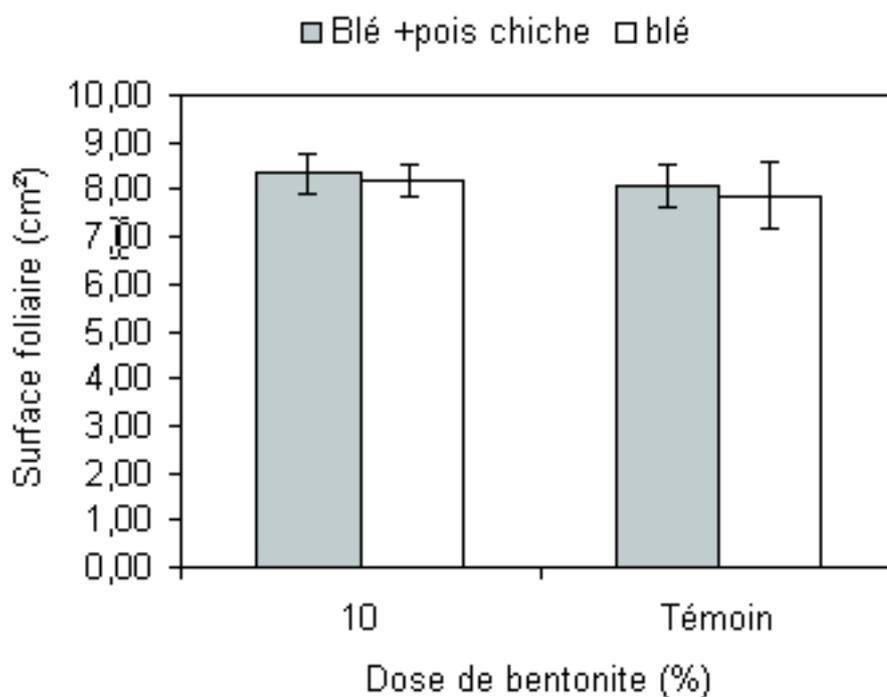


Fig. 21 – Variations de **surface foliaire** mesurée sur des plantes en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade deux feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

### c) Au stade trois feuilles

A ce stade (fig. 22), une rapide augmentation de la surface foliaire s'exprime sous le traitement à 10 % de bentonite ; les valeurs enregistrées de la surface passent chez les plantes cultivées sur sol non bentonisé entre 12 et 12,34 cm<sup>2</sup> en monoculture blé et en association, à 12,42 et 12,76 cm<sup>2</sup> respectivement pour les deux systèmes de culture dans les

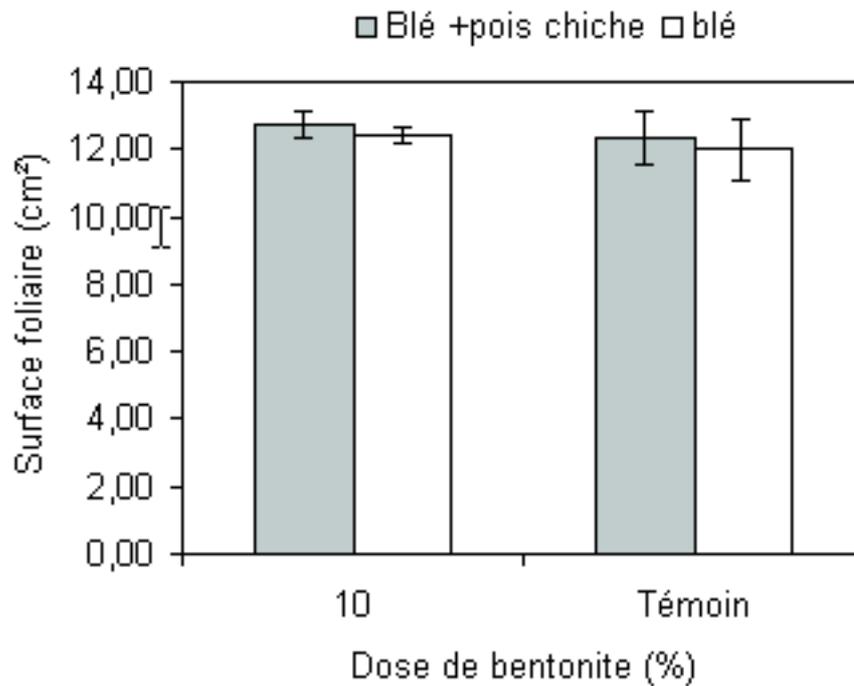


Fig. 22 – Variations de **surface foliaire** mesurée sur des plantes des sols en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade trois feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

sols enrichis à 10 % de bentonite (Tableau 21). Pour les plantes cultivées en association sur substrat additionné de bentonite à 10 %, cette surface augmente remarquablement.

L'analyse de la variance révèle dans ce cas aussi un effet hautement significatif des facteurs traitement à la bentonite, type de culture au seuil de risque 5 % (Tableau 51, annexe 3).

#### d) Stade début de tallage

D'après les résultats (fig. 23), à ce stade et par rapport au stade trois feuilles, une augmentation conséquente de la surface a été remarquée chez les plantes en monoculture blé et l'association dans tous les substrats; néanmoins, la surface reste faible dans les

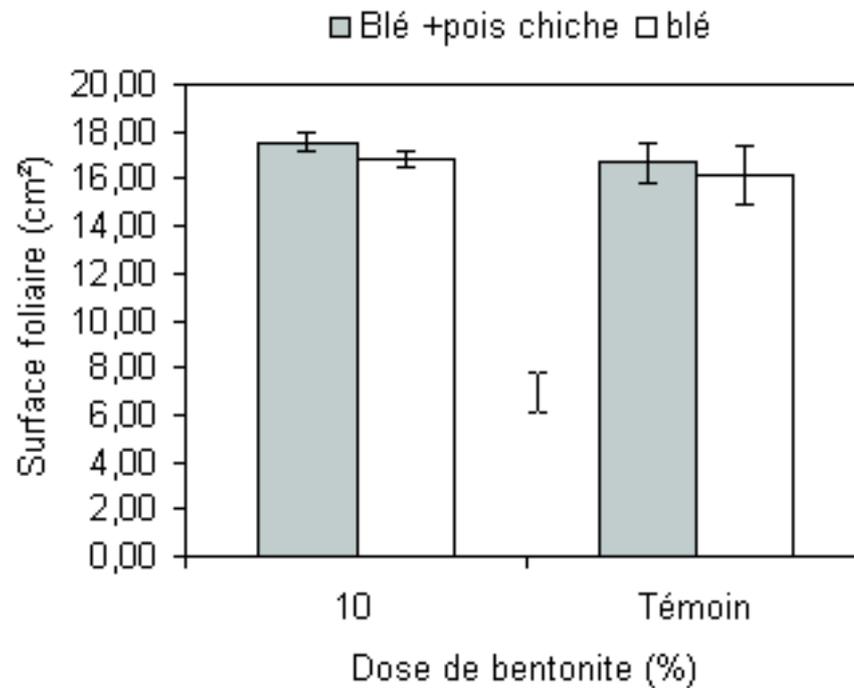


Fig. 23 – Variations de **surface foliaire** mesurée sur des plantes cultivées dans les sols en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade début de tallage** en fonction de la dose de bentonite.

cultures du substrat témoin par rapport au substrat traité à 10 % de bentonite, avec des valeurs obtenues variant entre 16,15 et 16,69 cm<sup>2</sup> (Tableau 21). Dans ces substrats, une augmentation assez importante de la surface est notée en particulier dans les cultures en association (16,69 et 17,55 cm<sup>2</sup>). L'association dans les sols à 10 % de bentonite présente la surface la plus grande avec une valeur variant au tour de 17,55 cm<sup>2</sup>.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif des deux facteurs traitement à la bentonite, type de culture au seuil de risque 5 % (Tableau 52, annexe 3).

## 2) Hauteur moyenne de la tige du blé dur.

### a) Stade levée

Les résultats obtenus (fig. 24) au cours **du stade levée** montrent que ce paramètre est plus élevé pour les plantes cultivées sur substrats traités à la bentonite où les valeurs varient entre 1,65 et 1,68 cm. En effet, la hauteur de la tige est significativement élevée

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)		
		Témoin	10	m ± σ
Stade levée	Blé	1,55 ±0,58	1,65±0,53	1,60±0,51
	Blé+pois chiche	1,60 ±0,31	1,68±0,35	1,64±0,31
	m ± σ	1,57 ±0,035	1,66 ±0,021	
Stade deux feuilles	Blé	2,80±0,49	2,90±0,37	2,85±0,41
	Blé+pois chiche	2,83±0,27	2,93±0,28	2,88±0,26
	m ± σ	2,81 ±0,021	2,91±0,021	
Stade trois feuilles	Blé	3,53±0,50	3,63±0,45	3,58±0,44
	Blé+pois chiche	3,55±0,35	3,65±0,49	3,60±0,4
	m ± σ	3,54 ±0,014	3,64 ±0,014	
Stade début de tallage	Blé	4,65±0,53	4,70±0,29	4,68±0,39
	Blé+pois chiche	4,70±0,52	4,75±0,38	4,73±0,42
	m ± σ	4,67 ±0,035	4,72 ±0,035	

Tableau 22 - **Hauteur moyenne (cm)** mesurée sur des plantes à différents stades végétatifs en monoculture blé dur et en association (pois chiche+blé dur) en fonction de **la dose de bentonite**

chez les plantes en association à 10 % de bentonite. Par contre les hauteurs notées restent faibles chez le plantes témoins quel que soit le type de culture comparativement à l'effet

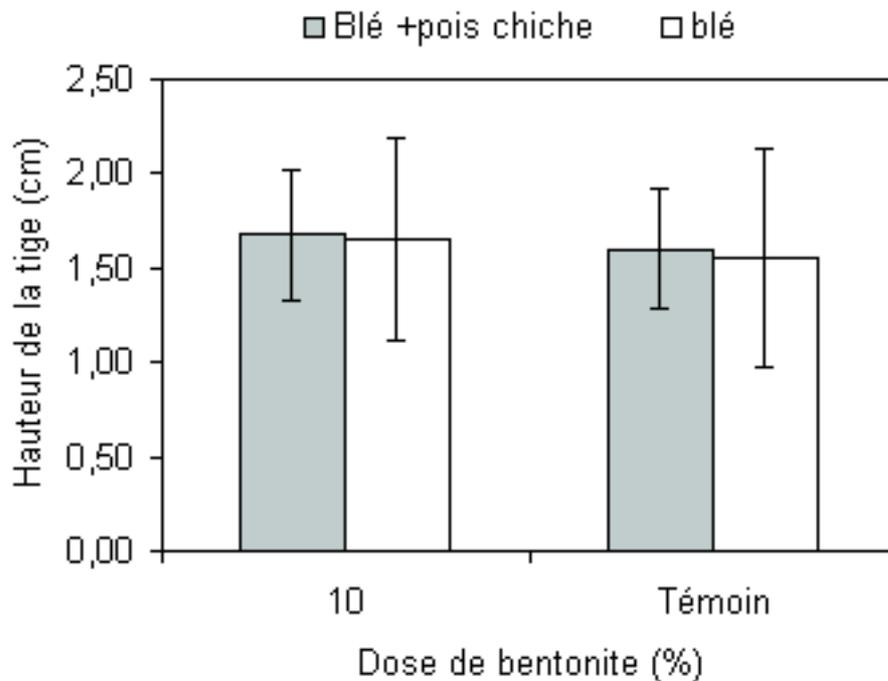


Fig. 24 – Variations de la **hauteur de la tige** mesurée sur des plantes en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade levée** en fonction de la dose de bentonite.

traitement à la bentonite (Tableau 22). En outre, et toujours chez les plantes témoins, cette hauteur reste plus importante pour le système de culture en association (1.55 cm contre 1.60 cm).

L'analyse de la variance révèle un effet significatif du facteur traitement bentonitique et type de culture sur la hauteur moyenne des tiges à seuil de risque 5 % (Tableau 45, annexe 3).

### b) Stade deux feuilles

A ce stade (fig. 25), une nette augmentation de la hauteur de la tige s'exprime chez les plantes cultivées sur substrat à 10 % de bentonite ; les valeurs enregistrées en hauteur passent du sol témoin entre 2,80 et 2,83 cm en monoculture blé dur et en association, à 2,90 et 2,93 cm pour les sols enrichis à 10 % de bentonite respectivement pour les deux systèmes de culture (Tableau 22).

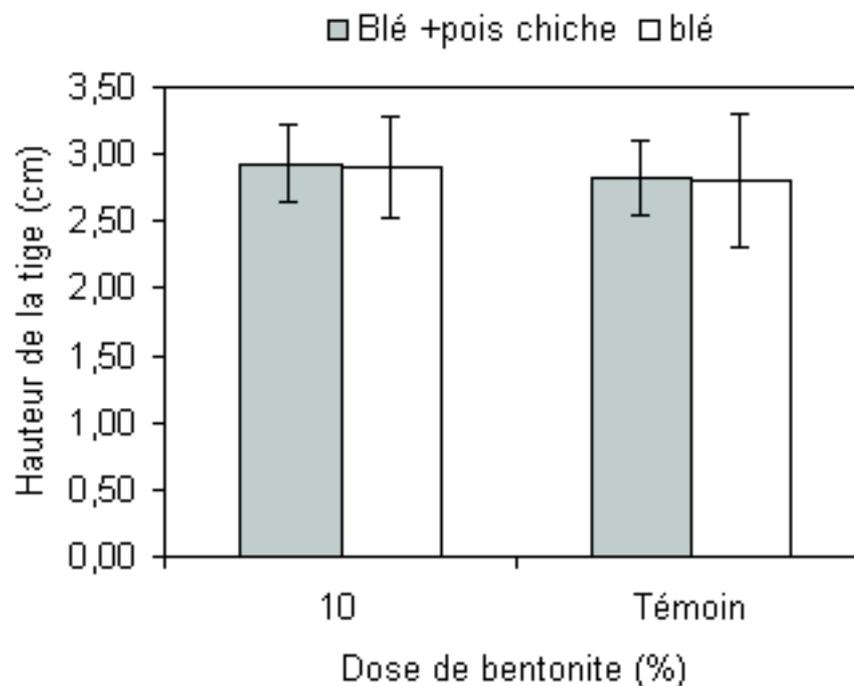


Fig. 25 – Variations de **hauteur de la tige** mesurée sur des plantes en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade deux feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

L'analyse de la variance révèle un effet significatif des deux facteurs (traitement à la bentonite et type de culture) sur la hauteur moyenne des tiges à seuil de risque 5% (Tableau 46, annexe 3).

### c) Stade trois feuilles

D'après les résultats obtenus (fig. 26) et par rapport au stade précédent (fig. 25), une augmentation conséquente de la hauteur de la tige a été remarquée chez l'ensemble de plantes avec quand même des valeurs maximales enregistrées dans les cultures en association pour les substrats additionnés à 10 % de bentonite (Tableau 22). Néanmoins, à ce stade, la hauteur reste faible chez les cultures dans le sol témoin par rapport au substrat traité à 10 % de bentonite, avec des valeurs obtenues variant entre 3,53 et 3,55 cm.

La hauteur atteint une valeur maximale de 3,65 cm pour la culture en association dans le substrat à 10 % de bentonite, elle est moindre pour les plantes de la monoculture blé (3,63 cm).

L'analyse de la variance révèle un effet significatif des deux facteurs (traitement à la bentonite, type de culture) sur la hauteur des tiges au seuil de risque 5 % (Tableau 47, annexe 3).

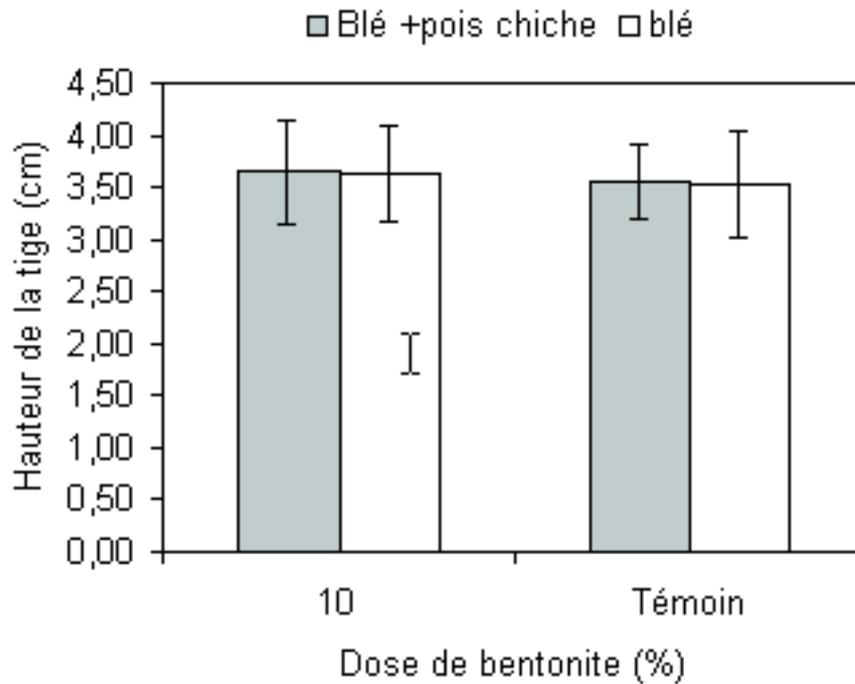


Fig. 26– Variations de **hauteur de la tige** mesurée sur des plantes des sols en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade trois feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

#### d) Stade début de tallage

La hauteur de la tige (fig. 27) mesurée est la plus élevée comparativement aux autres stades précédents. Une forte augmentation de la hauteur des plantes cultivées en association sous le traitement à 10 % de bentonite est signalée (4,75 cm) (Tableau 22).

L'analyse de la variance révèle un effet significatif des deux facteurs (traitement à la bentonite, type de culture) sur la hauteur des tiges au seuil de risque 5 % (Tableau 48, annexe 3).

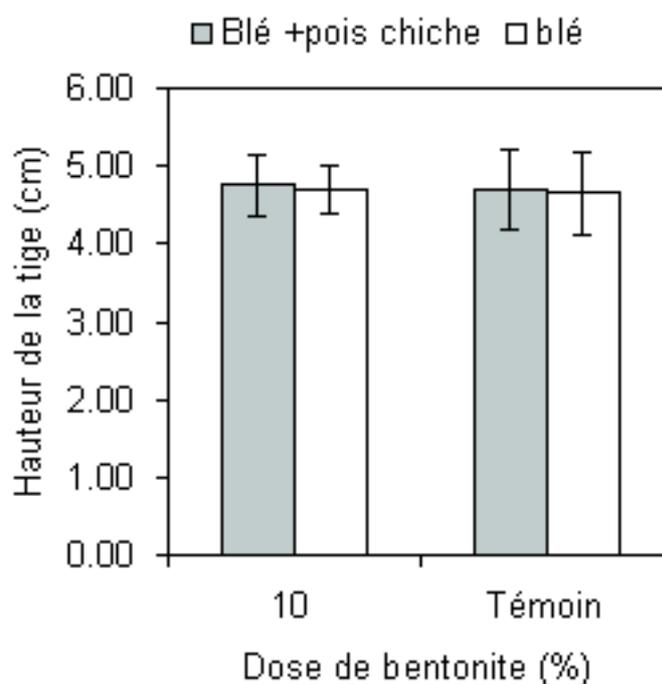


Fig. 27 – Variations de **hauteur de la tige** mesurée sur des plantes cultivées dans les sols en monoculture blé dur et en association pois chiche blé au **stade début de tallage** en fonction de la dose de bentonite.

## B) Analyse de l'azote total de la plante

### a) Stade levée

Les résultats obtenus (fig. 28) sur les teneurs en azote de la plante **au stade levée** varient entre 0.05 % et 0.08 %, avec une différence assez importante des teneurs entre les deux substrats étudiés de l'ordre de 0.03 % d'azote.

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)		
		Témoin	10	m ± σ
Stade une feuille	Blé	0,05±0	0,08±0,028	0,07±0,025
	Blé+pois chiche	0,05±0	0,08±0,028	0,07±0,025
	m ± σ	0,05 ±0	0,08±0	
Stade deux feuilles	Blé	0,07±0,028	0,12±0,028	0,09±0,037
	Blé+pois chiche	0,07±0,028	0,12±0,028	0,09±0,037
	m ± σ	0,07 ±0	0,12 ±0	0,09 ±0
Stade trois feuilles	Blé	0,08±0,025	0,15±0	0,11±0,044
	Blé+pois chiche	0,10±0	0,17±0,028	0,13±0,04
	m ± σ	0,09 ±0,014	0,16 ±0,014	
Stade début de tallage	Blé	0,09±0,038	0,16±0,038	0,13±0,05
	Blé+pois chiche	0,12±0,014	0,23±0,028	0,18±0,067
	m ± σ	0,105 ±0,021	0,195±0,049	

Tableau 23 - **Azote total** analysé dans la plante à différents stades végétatifs, en monoculture blé dur et en association ( pois chiche+blé dur) en fonction de **la dose de bentonite**

En effet, la teneur en azote est presque constante dans la monoculture blé dur ou en association sans apport de bentonite (0.05 %). Dans le substrat traité par la bentonite à 10 %, les teneurs obtenues deviennent plus élevées comparativement au sol témoin mais restent identiques dans les plantes des deux systèmes de cultures (0.08 %) (Tableau 23).

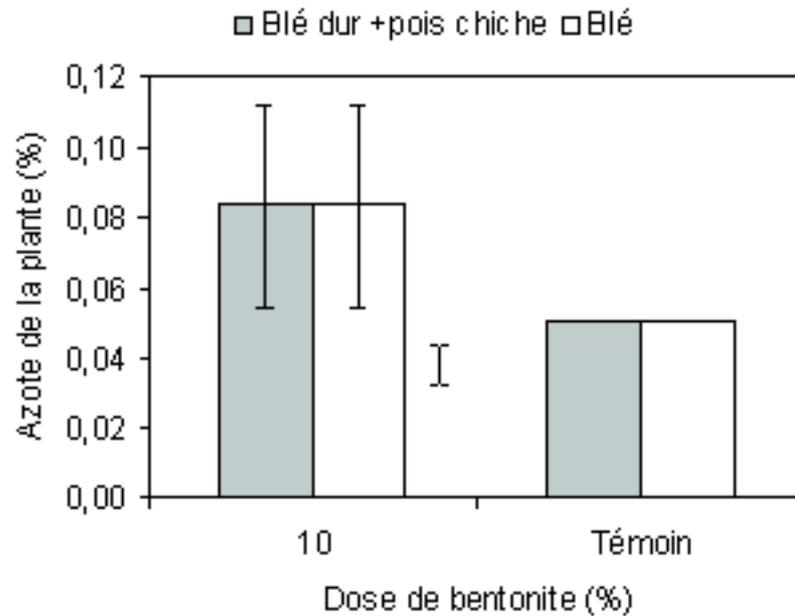


Fig. 28 – Variations de **l'azote de la plante** analysé dans les cultures en monoculture blé dur et en association pois chiche blé dur au **stade levée** en fonction de la dose de bentonite.

### b) Stade deux feuilles

Comparativement au stade levée, l'azote totale augmente dans les plantes cultivées sur substrat bentonisé quel que soit le type de culture. Sa teneur reste toutefois basse chez les plantes du substrat témoin (0.12 % contre 0.07 %) (Tableau 23 et fig. 29).

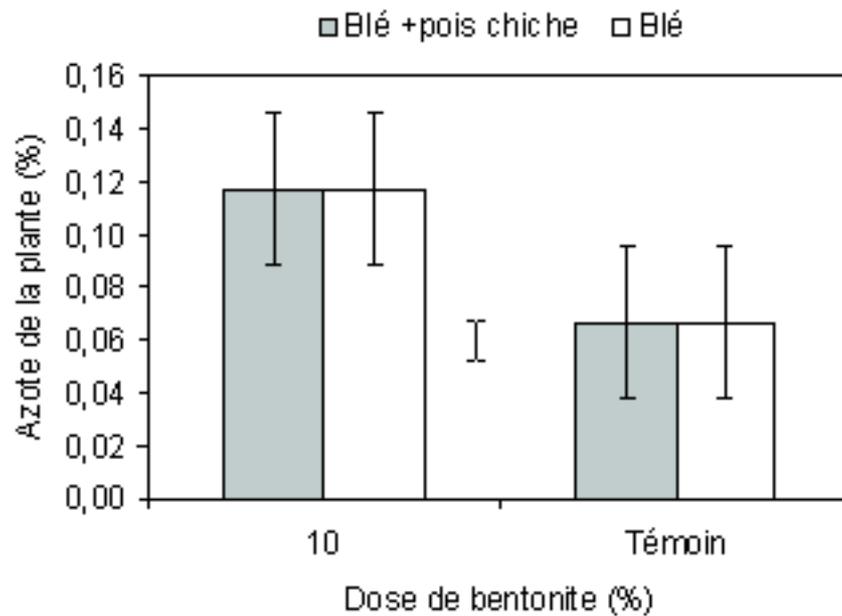


Fig. 29 – Variations de l'azote de la plante analysé dans les cultures en monoculture blé dur et en association pois chiche blé dur au **stade deux feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

### c) Stade trois feuilles

Les résultats obtenus au cours du stade trois feuilles (fig. 30) montrent que la teneur en azote sous le traitement à la bentonite augmente davantage par rapport au stade précédent quel que soit le type de conduite. Par contre les plantes cultivées sur substrat en absence de bentonite demeurent toujours avec des faibles teneurs en azote (Tableau 23).

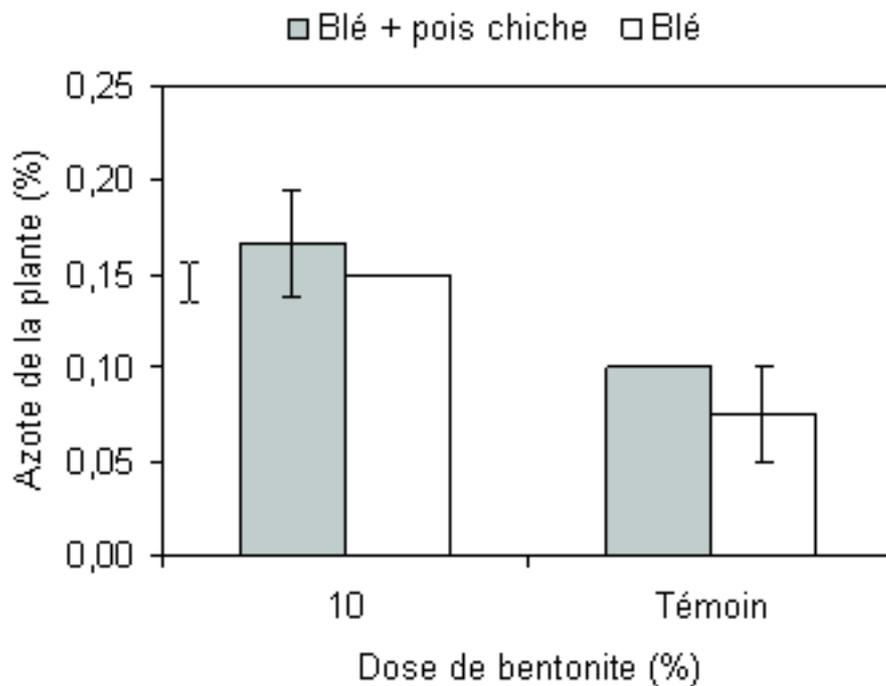


Fig. 30 – Variations de l'azote de la plante analysé dans les cultures en monoculture blé dur et en association pois chiche blé dur au **stade trois feuilles** en fonction de la dose de bentonite.

Il faut noter que la teneur en cet élément augmente remarquablement dans les plantes des cultures en association notamment sous le traitement à la bentonite (0.17 % contre 0.1 % pour le témoin). Chez les plantes de blé dur, la teneur en azote baisse fortement dans le substrat témoin par rapport aux plantes cultivées sur substrat traité (0.08 % contre 0.15 %).

#### d) Stade début tallage

Les teneurs en azote de la plante au stade de début tallage (fig. 31) sont les plus élevées comparativement aux autres stades précédents. Une augmentation conséquente a été remarquée dans la teneur en azote de la plante pour l'ensemble des traitements ; mais les teneurs restent toujours faibles dans le sol témoin avec des valeurs variant de 0.09 à 0.12 %. Par contre pour le substrat à 10 % de bentonite les teneurs varient de 0.16 à 0.23 % respectivement chez les plantes en monoculture blé dur et en association (Tableau 23). Les résultats montrent également que les teneurs les plus élevées sont celles de l'association quel que soit le substrat par rapport à la monoculture. Pour la monoculture blé, la présence de la bentonite dans le sol sableux crée une augmentation importante de l'azote dans la plante par rapport aux plantes cultivées en monoculture sur substrat sableux (0.16 % contre 0.09 %).

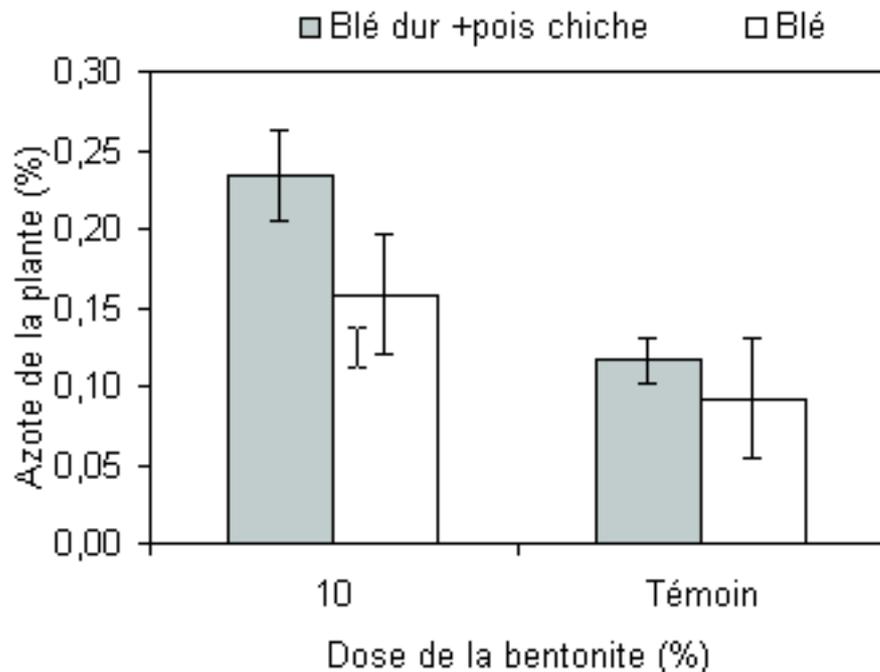


Fig. 31 – Variations de l'azote de la plante analysé dans les cultures en monoculture blé dur et en association pois chiche blé dur au **stade début de tallage** en fonction de la dose de bentonite.

## II- Résultats parcelaires : Paramètres agronomiques mesurés

La hauteur de la tige (fig. 32) varie dans une marge de 41,4 cm enregistré à partir des plantes de la monoculture blé vers une hauteur moyenne de 52,5 cm dans l'association (Tableau 24). Il résulte de la comparaison de la hauteur que cette dernière sous la conduite en association, augmente beaucoup plus que dans la monoculture blé dur pour atteindre une valeur maximale de 53,7 cm.

Les paramètres agronomiques mesurés	association blé / pois-chiche	blé dur
La hauteur moyenne de la tige (cm)	50,8	41,8
	53,2	41
	53,7	41,4
La moyenne des nombres des épis	6,1	2,6
	6,2	2,8
	6	2,9
Le rendement en grains (qx ha)	8,56	5,36
	8,16	4,96
	7,84	5,20

Tableau 24 - Hauteur moyenne de la tige, la moyenne des nombres des épis et le rendement en grains (qx. ha<sup>-1</sup>) du blé dur en monoculture, en association dans les substrats à 10 % de bentonite

Pour le nombre d'épis, les résultats obtenus pendant le stade de maturation indiquent son augmentation chez les plantes en association, soit une moyenne de 6,1 épis par plante.

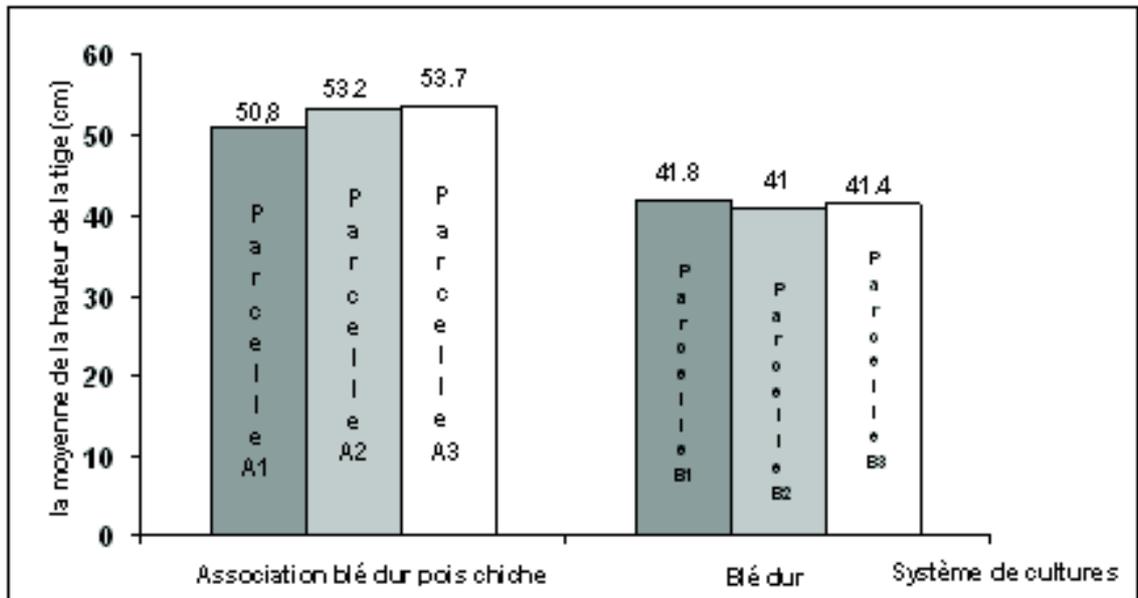


Fig. 32 – Hauteur moyenne de la tige mesurée sur des plantes en monoculture blé dur et en association blé pois chiche au stade de maturation dans les parcelles à 10 % de bentonite.

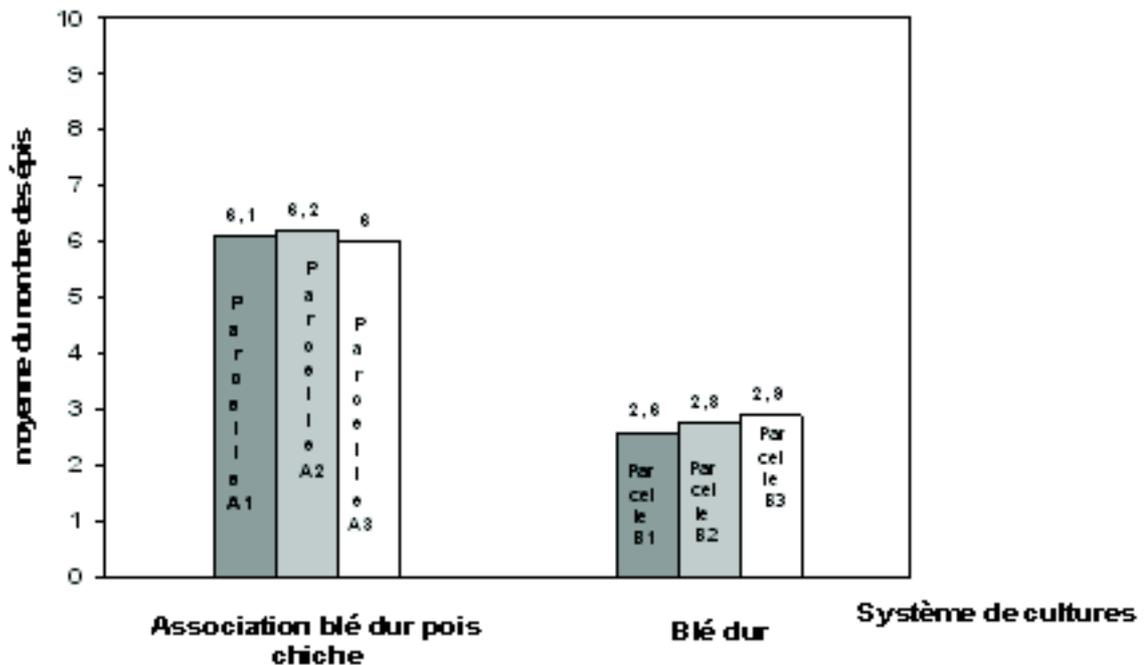


Fig. 33 – Variations de **nombre d'épis** mesurées sur des plantes en monoculture blé dur et en association blé pois chiche au **stade de maturation** dans les parcelles à 10 % de bentonite.

Par contre dans la monoculture blé il reste toujours faible, la moyenne des valeurs varie entre 2,6 à 2,9 épis par plante (Tableau 24).

Les rendements en grains obtenus dans les substrats à 10 % de bentonite cultivés en en association en plein champ sont nettement plus élevés pour l'ensemble des plantes quelle que soit la parcelle comparativement à ceux des plantes en monoculture blé (fig. 36). Les valeurs des rendements varient de 7.84 dans la parcelle A3 à 8.16 et 8.56 qx/ha respectivement dans les parcelles A2 et A1; ces rendements passent entre 4.56 qx/ha en parcelle B2 à 5.2 et 5.36 qx/ha en parcelle B3 et B1 en monoculture blé dur. (Tableaux 53 et 54, annexe 3).

Cette augmentation remarquable des rendements dans les substrats bentonisés cultivés en association est due et à l'effet du microclimat créé par le pois chiche.

Ces rendements sont généralement faibles ( $\square$  à  $9 \text{ qx} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), ceci est dû essentiellement à une sécheresse marquée durant l'expérimentation et à l'absence de traitement des engrais.

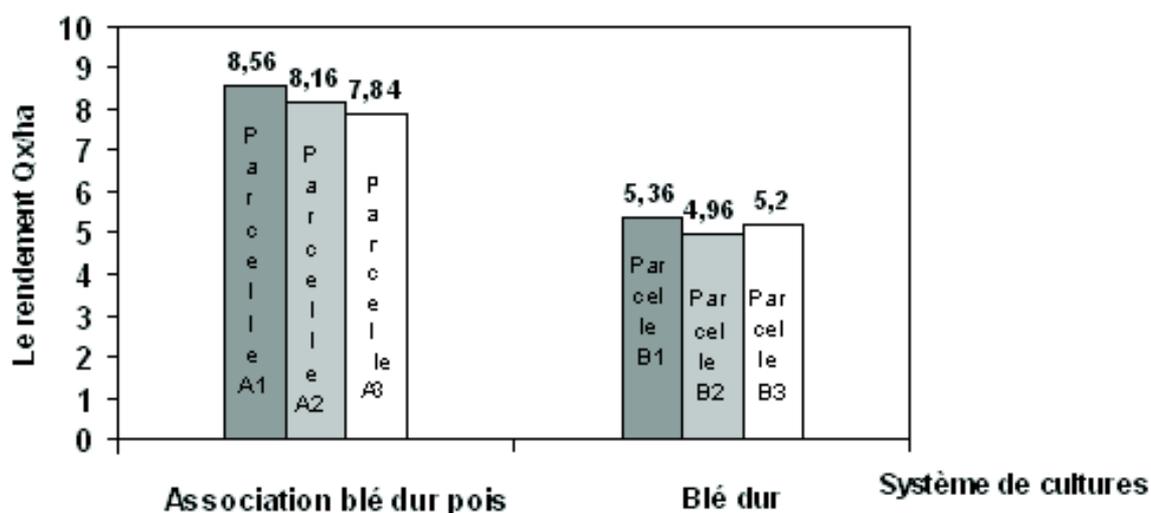


Fig. 34 – Variations de rendement mesurées sur des plantes en monoculture blé dur et en association blé pois chiche au stade de maturation dans les parcelles à 10 % de bentonite.

L'analyse statistique montre que l'effet de l'association blé dur /pois chiche sur les rendements est hautement significatif. Le rendement en grains dans le substrat cultivé en association est plus élevé comparativement au sol cultivé en monoculture blé dur soit un taux d'augmentation de production en grains de 18.32%.

Paramètres du rendement	Type de culture	
	Blé dur en monoculture	Blé dur en association
Hauteur moyenne de 10 plants	49.54	55.70
Nombre de pieds par m <sup>2</sup>	211.20	227.60
Nombre de talles par m <sup>2</sup>	512	682.2
Nombre de talles par pied	2.6	3.04
Nombre d'épis par m <sup>2</sup>	168.20	191.4
Poids de 1000 grains	21.64	22.64
Nombre de grains par épis	32.1	31.20
Rendement en grains (qx .ha <sup>-1</sup> )	11.68	14.30

Tableau 25 - Les composantes du rendement mesurées dans les sols en monoculture blé dur et en association pois chiche blé dans les parcelles à 10 % de bentonite

## DISCUSSION

Nous constatons d'après ces résultats que **la surface foliaire** et **la croissance en hauteur de la tige** sont nettement importantes dans le cas de l'association blé + pois-chiche pour tous les stades et dans les conditions de traitement. Les valeurs de ces deux paramètres apparaissent plus élevées pour les plantes cultivées sur substrat bentonisé. On peut expliquer cette **différence de croissance** entre les types de végétation par le fait que la présence du pois chiche en association avec le blé permet une bonne utilisation des éléments nutritifs présents dans la solution du sol par les racines du blé en favorisant une croissance rapide et importante. La densité racinaire importante de la légumineuse a permis au sol d'avoir une aération et une circulation d'eau assez conséquente dans la rhizosphère; l'apport de la bentonite a augmenté considérablement les réserves nutritives dans le sol. Une forte corrélation est remarquée pour l'ensemble des traitements entre la dose de bentonite, type de culture et la biomasse aérienne.

Toutefois **l'effet de la bentonite** et de **l'association** se traduit par une augmentation significative de **la hauteur de la tige** de la plante aux différents stades de la croissance. Cette augmentation de **la hauteur** est corrélée à celle de **la surface foliaire**. Par contre la diminution de la biomasse aérienne est significative et confirmée dans les substrats non soumis à la bentonite et l'association jusqu'au dernier stade de la croissance de la plante.

Pour l'ensemble des traitements une forte corrélation est enregistrée également entre le traitement à la bentonite et **le nombre d'épis** en plein champ. Cette augmentation du nombre d'épis dans l'association s'explique par la forte absorption de l'azote fixé au stade de tallage pour favoriser la croissance et la montée des talles à épis. Le blé absorbe environ 40 % de l'azote aux cours de cette période (CIPRIANO, 1984 ; MEYNARD *et al.*, 1998 ; RECOUS et MACHET, 1999).

Une augmentation **des rendements** s'exprime pour les plantes conduites sur substrat bentonisé et se manifeste pour le blé dur en association avec le pois chiche. Cette augmentation des rendements vient en partie de l'azote apporté par la légumineuse ainsi que par le microclimat créé pour le blé par le pois chiche. Car d'après O'BRAIN et MAIRE (1989) l'utilisation des bactéries pour améliorer la structure du sol autour des racines pourrait constituer une méthode originale d'augmentation du rendement de la culture. Par ailleurs, LINDWALL (2000) rapporte que le chaume du pois chiche crée un microclimat pour le blé ; selon cet auteur, la hauteur du chaume aurait un effet sur la capacité d'utilisation de l'eau. L'effet de la bentonite sur l'amélioration de la structure du sol avec tout ce que cela implique comme meilleure rétention d'eau et une meilleure aération est un autre facteur important.

La différence dans l'évolution des paramètres agronomiques mesurés entre l'association et la monoculture blé est due vraisemblablement à l'effet du pois chiche sur le blé dur qui se traduit par la fixation de l'azote atmosphérique en exerçant une influence déterminante sur la croissance de la plante et permet un démarrage rapide provoquant un tallage important. D'après les données de ALAMI (1997), le Rhizobium, produisant un polysaccharide gélifiant autour des racines de plante, est capable de modifier la structure du sol en améliorant la nutrition minérale, particulièrement l'azote qui constitue un facteur déterminant de la croissance et l'élongation des tiges, en stimulant la végétation et en favorisant le tallage du blé.

En revanche les rendements sont faibles sans apport de la bentonite, ils sont encore plus faibles quand le blé dur est cultivé en monoculture. Statistiquement la différence du rendement entre les deux types de végétations est hautement significative.

**Au stade levée**, le niveau élevé de l'azote chez les plantes cultivées dans les substrats à 10 % de bentonite est dû vraisemblablement à la présence de la matière organique dans la

bentonite, pouvant atteindre un taux de 0.81 % (BENDELLA, 1994). Par contre la similarité du niveau d'azote chez le blé dur et l'association (0.05-0.08 %) dans les substrats témoins et à 10% de bentonite, peut résulter d'un développement de la croissance de la plante aux dépens des réserves de la graine; par rapport au sol, la plante se trouve contrainte d'absorber une faible quantité d'azote (RELLIER, 1986; MEYNARD et *al.*, 1996).

Au stade début de tallage, l'évolution progressive de l'azote de la plante ne peut être expliqué que par les besoins assez importants du blé dur vis-à-vis de cet élément. Nos résultats corroborent les travaux de recherches de REMY et VIAUX (1980) puis de MEYNARD et *a.* (1997). Ces chercheurs montrent que la nutrition azotée intervient dès le tallage herbacé, avec des effets dominants à partir du stade épi à 1 centimètre jusqu'à la floraison. Cette augmentation du niveau d'azote est due à sa forte accumulation au stade début tallage (REGUIEG, 1992).

# CHAPITRE V - ETUDE MICROBIOLOGIQUE

## I- DENOMBREMENT DES BACTERIES (nombre de germes /1g sol sec)

### 1) Echantillons de sol analysés à partir des pots en laboratoire

#### a) Au stade levée

Les résultats obtenus sur la masse microbienne pendant le stade levée varient entre  $78,6 \cdot 10^6$  et  $348 \cdot 10^6$  germes/1g sol sec (fig. 35). En effet, la concentration des germes reste faible dans le substrat sans apport de bentonite dans les sols cultivés en monoculture blé dur ou pois chiche et en association. Les valeurs obtenues varient entre  $78,6 \cdot 10^6$  et  $100 \cdot 10^6$  germes/1g sol sec.

Dans les substrats traités à la bentonite (7 % et 10 %), les valeurs obtenues deviennent plus élevées comparativement au substrat témoin (Tableau 26). En effet, les sols en monoculture pois chiche, en association et enrichis à 7 % de bentonite enregistrent des concentrations de  $257 \cdot 10^6$  et  $205,3 \cdot 10^6$  germes/1g sol sec. Par contre pour le blé il faut remarquer une sensible baisse en ces germes allant jusqu'à  $117,3 \cdot 10^6$  germes /1g de sol sec ; dès que les sols reçoivent la bentonite à 10 %, une nette augmentation des germes apparaît. Dans les substrats portant la culture en associé, la concentration devient encore plus importante avec une valeur de  $343,3 \cdot 10^6$  germes /1g de sol sec.

Stades de croissance de la plante	Types de cultures	Doses de bentonite (%)			m ± σ
		Témoin	7	10	
Levée	Blé	$78,6 \cdot 10^6 \pm 8,32$	$117,3 \cdot 10^6 \pm 22,03$	$172 \cdot 10^6 \pm 14,42$	$122,6 \cdot 10^6 \pm 42,9$
	Pois chiche	$100 \cdot 10^6 \pm 4$	$257,6 \cdot 10^6 \pm 11,84$	$348 \cdot 10^6 \pm 47,15$	$235,2 \cdot 10^6 \pm 111,4$
	Blé+pois chiche	$98,6 \cdot 10^6 \pm 8,32$	$205,3 \cdot 10^6 \pm 10,06$	$343,3 \cdot 10^6 \pm 53,67$	$215,7 \cdot 10^6 \pm 109,7$
	m ± σ	$92,4 \cdot 10^6 \pm 11,95$	$193,4 \cdot 10^6 \pm 70,91$	$287,7 \cdot 10^6 \pm 100,29$	
Tallage	Blé	$109,3 \cdot 10^6 \pm 41,63$	$202,6 \cdot 10^6 \pm 6,11$	$218 \cdot 10^6 \pm 5,29$	$176,6 \cdot 10^6 \pm 55,17$
	Pois chiche	$192 \cdot 10^6 \pm 70,08$	$378,6 \cdot 10^6 \pm 46,70$	$420 \cdot 10^6 \pm 24,33$	$330,2 \cdot 10^6 \pm 113,9$
	Blé+pois chiche	$214,6 \cdot 10^6 \pm 10,06$	$353,3 \cdot 10^6 \pm 73,35$	$402,6 \cdot 10^6 \pm 22,03$	$323,5 \cdot 10^6 \pm 92,8$
	m ± σ	$171,9 \cdot 10^6 \pm 55,44$	$311,5 \cdot 10^6 \pm 95,14$	$346,6 \cdot 10^6 \pm 111,79$	
Début floraison-montaison	Blé	$162,6 \cdot 10^6 \pm 41,63$	$241,3 \cdot 10^6 \pm 48,38$	$342,6 \cdot 10^6 \pm 30,28$	$248,9 \cdot 10^6 \pm 85,76$
	Pois chiche	$224 \cdot 10^6 \pm 74,08$	$462 \cdot 10^6 \pm 33,40$	$497,3 \cdot 10^6 \pm 10,06$	$394,4 \cdot 10^6 \pm 135,09$
	Blé+pois chiche	$265,3 \cdot 10^6 \pm 44,06$	$436 \cdot 10^6 \pm 59,19$	$509,3 \cdot 10^6 \pm 14,04$	$403,5 \cdot 10^6 \pm 114,74$
	m ± σ	$17,3 \cdot 10^6 \pm 51,66$	$379,7 \cdot 10^6 \pm 120,6$	$449,7 \cdot 10^6 \pm 92,95$	

Tableau 26 – Bilan bactériologique analysé dans le sol à différents stades végétatifs en monoculture pois chiche, en monoculture blé dur et en association (pois chiche + blé dur) en fonction de la dose de bentonite

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif des deux facteurs étudiés (Traitement bentonitique et type de culture) sur le nombre des germes /1g de sol sec au seuil de risque 5 % (tableau 42, annexe 3).

□ Blé      ■ Pois chiche      ■ Association blé dur+pois chiche

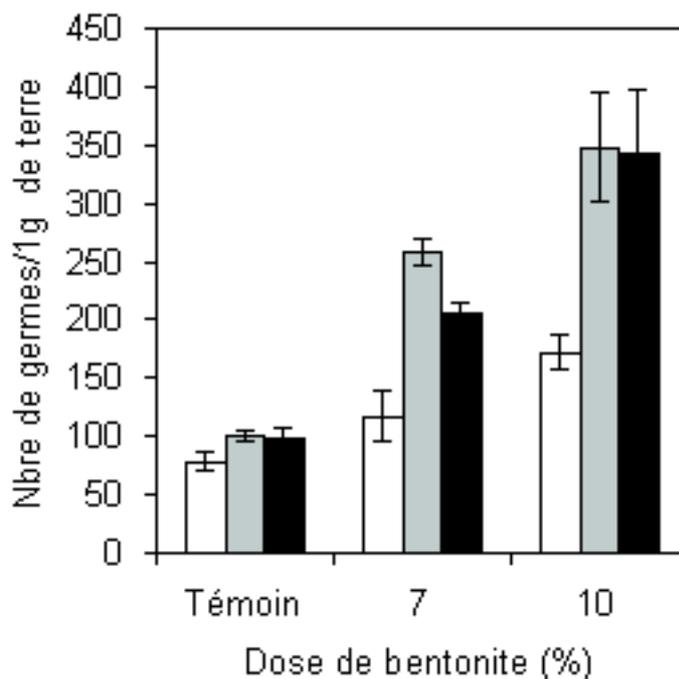


Fig. 35 – Nombre de germes/1g de sol sec analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur **au stade levée** en fonction de la dose de bentonite.

### b) Au stade végétatif, tallage

D'après les résultats et comparativement au stade levée, nous constatons que le nombre de germes est plus élevé en comparaison au stade précédent (fig. 36); ceci est valable pour les sols cultivés en monoculture pois chiche et en association, aussi bien sur substrat bentonisé que chez le sol témoin ; au contraire, un nombre de germes relativement moins important pour les sols à monoculture blé est enregistré atteignant des valeurs variant de  $109,3 \cdot 10^6$  germes/1g sol sec pour le sol témoin à  $218 \cdot 10^6$  germes/1g sol sec pour le sol à 10 % de bentonite (Tableau 26).

De plus, sous la conduite en association, le nombre de germes augmente beaucoup plus que dans le sol à monoculture blé dur. En outre, la concentration des germes analysés dans le sol recevant la bentonite à 10 % est largement supérieure à celle obtenue dans le substrat témoin.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif des deux facteurs (bentonite et type de culture) sur le nombre des germes /1g de sol sec au seuil de risque 5% (tableau 43, annexe 3).

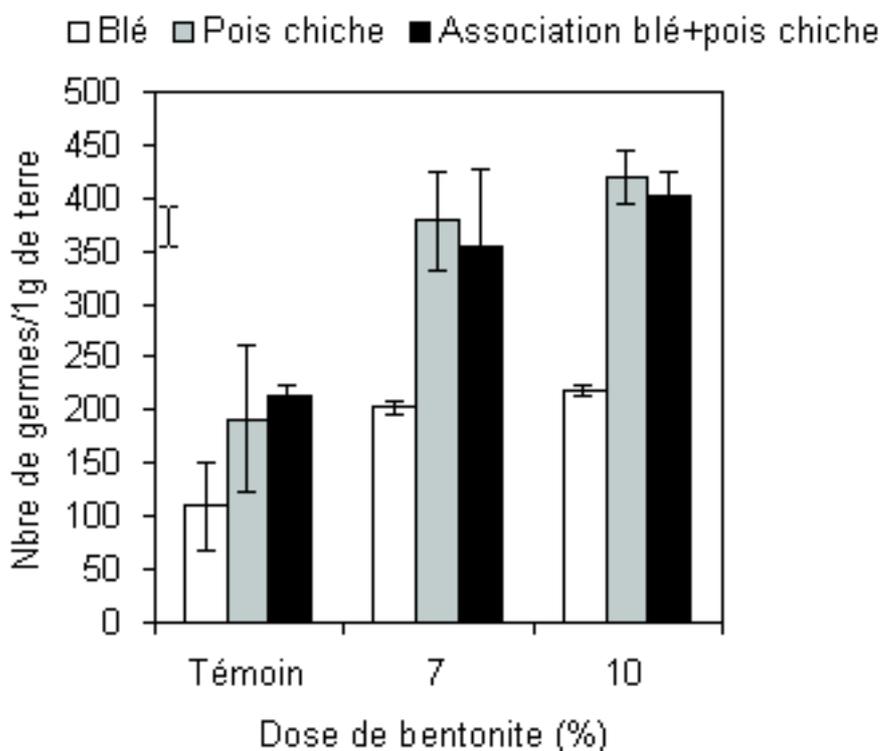


Fig. 36 – Nombre de germes/1g de sol sec analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur **au stade tallage** en fonction de la dose de bentonite.

### c) Au stade début floraison, montaison

Dans les substrats traités par la bentonite (7 % et 10 %), les concentrations obtenues deviennent plus élevées comparativement au sol témoin (fig. 37). En effet, les sols cultivés en association et enrichis à 7 % de bentonite enregistrent un nombre de germes de  $436.10^6$  germes /1g de sol sec, alors que ce nombre de germes augmente remarquablement et devient plus important dans le substrat à 10 % de bentonite cultivé en association; les valeurs enregistrées passent du sol témoin entre  $162,6.10^6$  et  $265,3.10^6$  germes /1g de sol sec à  $342,6.10^6$  et  $509,3.10^6$  germes /1g de sol sec dans les sols enrichis à 10 % de bentonite (Tableau 26). Par contre, pour le blé il faut remarquer une sensible baisse de la concentration des germes allant jusqu'à  $342,6.10^6$  germes /1g.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif des deux facteurs étudiés (Traitements bentonique, Type de culture) sur le nombre des germes, par contre l'interaction traitements x type de culture ne donne aucune signification (Tableau 44, annexe 3).

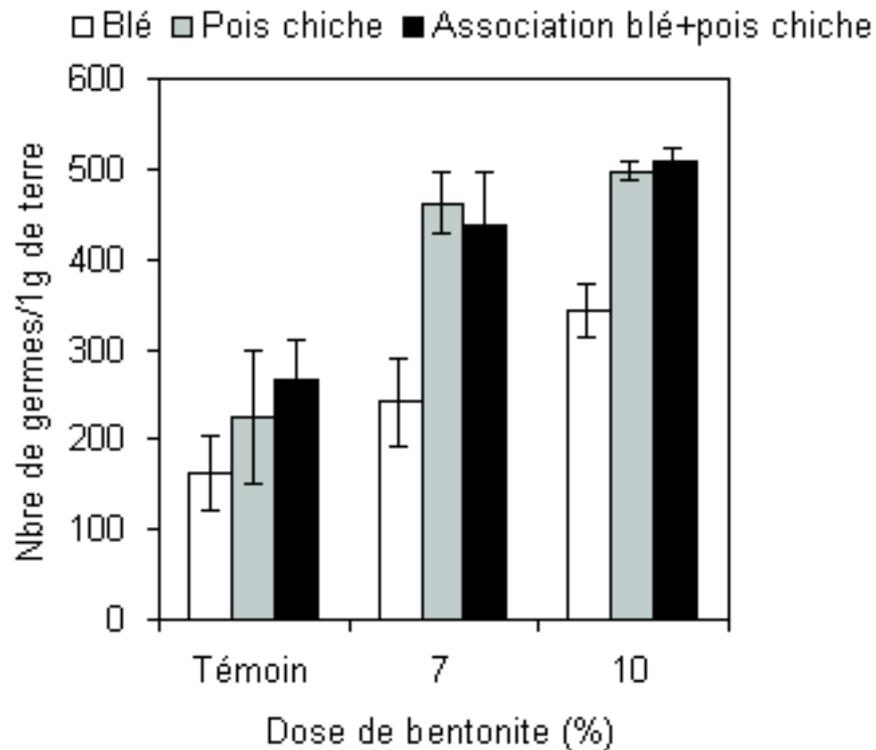


Fig. 37 – Nombre de germes/1g de sol sec analysé dans les sols en monoculture blé dur, en monoculture pois chiche et en association pois chiche blé dur **au stade montaison** en fonction de la dose de bentonite.

## 2) Echantillons de sol à partir du terrain

D'après les résultats obtenus à partir du terrain, nous constatons dans les substrats traités à 10 % de bentonite, que le nombre des germes devient plus élevé comparativement au sol témoin. En effet, les sols cultivés en monoculture blé dur et enrichis à 10 % de bentonite enregistrent un nombre de  $1979,6 \cdot 10^6$  bactéries, par contre dans les sols portant la culture en associé, le nombre des germes devient encore plus important allant jusqu'à  $2693,9 \cdot 10^6$  (fig. 38).

## II- IDENTIFICATION DES BACTERIES

D'après les résultats obtenus sur l'identification des bactéries, nous constatons que le nombre des espèces bactériennes est plus élevé dans les substrats traités à la bentonite à 10 % comparativement aux substrats témoins; ceci est valable pour la monoculture blé et l'association. Le sol témoin cultivé par la monoculture blé est dominé par *Bacillus megaterium* avec 8 souches, par contre le substrat témoin cultivé en association est dominé par *Bacillus subtilis* avec 16 souches. De plus nous remarquons une présence très réduite de quelques genres tels que *Bacillus brevis*, *stryptomycetes* pour les sols en monoculture blé et *Bacillus circulans* pour les sols en association. Dans les sols à 10 % de bentonite et contrairement au sol témoin plusieurs genres différents sont obtenus tel que *bacillus firmis*,

*Bacillus polymyxa* et *Bacillus lichiniformis*, *Pseudomonas* ainsi que *Artrobacter flovescant* dans le substrat à la monoculture blé et la dominance de *Bacillus pumilis* par rapport au *Bacillus cereus* et *Bacillus coagulans* (fig. 38).

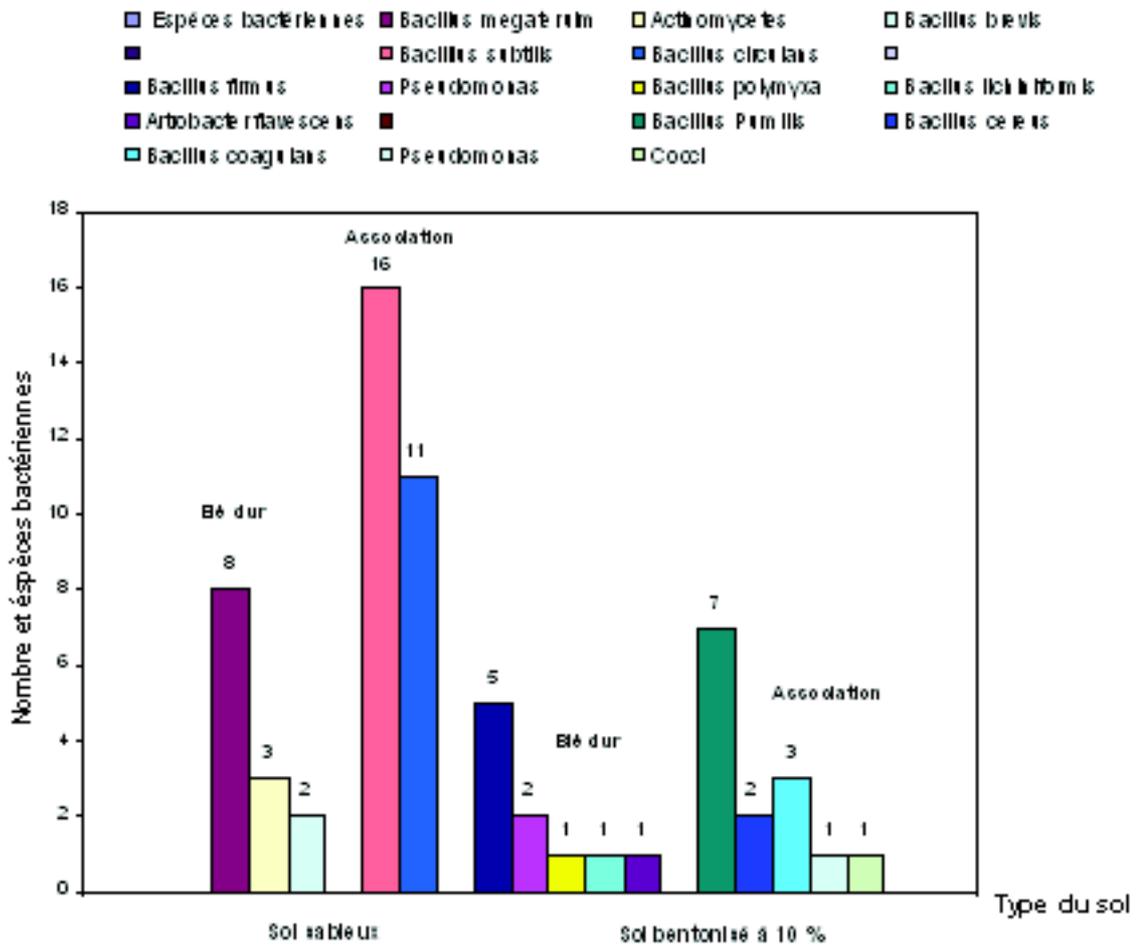


Fig. 38 – Nombre et espèces bactériennes dans la solution mère dans 1 gramme de sol sec analysé dans les sols en monoculture blé dur et en association pois chiche sur sol sableux (A) et dans les sols en monoculture blé dur et en association sur sol à 10% de bentonite (B).

## DISCUSSION

Les mesures effectuées dans les deux dispositifs montrent que l'effectif total des microorganismes est sensiblement élevé dans les sols sableux amendés en bentonite. Ceci est dû à une forte concentration en substrat énergétique pour les microbes ce qui a entraîné une plus forte concentration en microorganismes. Donc une plus grande activité biologique vient uniquement d'une plus grande concentration des populations microbiennes dans les sols traités à la bentonite.

Le nombre de germes évolue avec la dose de bentonite incorporée au sol sableux, et avec le cycle végétatif de la culture, ce qui est dû probablement à la présence des colloïdes apportés par la bentonite faisant augmenter les réserves en eau et en éléments nutritifs de ces substrats en créant ainsi un milieu plus ou moins favorable pour le développement des bactéries.

**Au stade levée** la variation de la densité microbienne entre les différents substrats étudiés, dépend essentiellement de la teneur du sol en azote total, car les concentrations les plus élevées sont obtenues dans les sols à 10 % de bentonite et cultivés en monoculture pois chiche et en association ( $348.10^6$  et  $343.33.10^6$  germes/1g de sol sec). Dans ce cas, les teneurs en azote sont respectivement de 0.58 ‰ et 0.56 ‰ contre des concentrations moins importantes obtenues sur sol témoin cultivé en monoculture blé dur ( $78.66.10^6$  germes/1g de sol sec), où la teneur en azote est la plus faible par rapport aux autres substrats.

Par contre la teneur élevée de l'azote **au stade tallage** dans les substrats bentonisés s'explique par le fait que la croissance des bactéries dépend essentiellement de la teneur du sol en éléments minéraux nutritifs, notamment, de la teneur en azote importante à ce stade végétatif (ALAMI, 1997). Ceci confirme en effet nos résultats car les plus grandes valeurs sont enregistrées dans les sols traités à 7 et 10 % de bentonite et cultivés en monoculture pois chiche et en association. Ces teneurs élevées sont dues à la prolifération des bactéries au sein de la rhizosphère autour des racines de certaines plantes (graminées, légumineuses), car selon ALAMI (1997) les polysaccharides bactériennes produits par le rhizobium contribuent au collage d'agrégats du sol entre eux, aboutissant à l'assemblage des agrégats laissant entre eux des pores favorisant l'utilisation d'eau et d'éléments nutritifs disponibles dans le sol .

**Au stade floraison montaison** les résultats obtenus montrent que le grand nombre des germes est obtenu dans les substrats bentonisés à 10% cultivés en association, et la monoculture pois chiche. Cette forte teneur de la masse bactérienne s'explique par l'utilisation de l'azote atmosphérique indirectement par symbiose avec les bactéries rhizobiums au sein des nodosités caractéristiques (ROLAND, 1988; OKON, 1994) ; ce qui diminue plus ou moins la forte absorption de l'azote des sols par rapport aux graminées, et comme la prolifération et le développement des bactéries sont importants dans les milieux les plus riches en azote (VERTES et al., 2001), le nombre des germes dans les substrats cultivés par le blé est toujours inférieur à celui des substrats cultivés en pois chiche et en association. Ceci confirme les résultats trouvés où le nombre de germes dans les substrats cultivés en monoculture blé est toujours inférieur à ceux cultivés par la monoculture pois-chiche et en association. En effet, l'addition de la bentonite dans le sol sableux cultivés en association aux sols sableux est très significative sur les propriétés microbiologiques des sols où il a été remarqué une évolution de nombre de germes jusqu'à la dose 10%, due essentiellement à l'amélioration des propriétés physiques. Selon ANGERS et MEHUYS (1989) il existe un lien entre l'exsudation racinaire de composés carbonés riches en énergie (comme le glucose) et la structuration du sol autour des racines. Dans le cas du blé, il a été rapporté la contribution de telles bactéries productrices d'exopolysaccharides dans l'agrégation du sol rhizosphérique (GOUZOU et al., 1993; AMELLAL et al., 1998).

D'après ALAMI (1997), les populations microbiennes vivent en général étroitement unies avec les colloïdes des sols.

Le niveau élevé de la concentration des germes dans les substrats traités à la bentonite à partir du terrain est dû à la capacité des argiles à fixer les éléments nutritifs et de retenir l'eau en créant un milieu favorable à la migration et le développement de ces bactéries, contrairement aux sols sableux, la teneur en matière organique et en colloïdes est très réduite, présentant donc un milieu moins favorable pour l'activité biologique entre les substrats sableux et bentonisé. La densité racinaire importante dans l'association constitue aussi un facteur créant un milieu favorable pour le développement des bactéries. En effet, selon HEBBAR et al. (1992) ces racines qui exsudent des quantités importantes des sucres

formés par la photosynthèse, constituent une source de carbone et d'énergie pour la croissance des bactéries.

D'après les analyses sur l'**identification des bactéries**, nous constatons la dominance du genre *Bacillus* dans la rhizosphère des deux types de substrats cultivés en monoculture blé et en association due à la présence des spores chez les *Bacillus* qui donnent la résistance de ces dernières contre la variation de pH et la pression osmotique et la défense contre les bactéries pathogènes (GOUZOU et *al.*, 1993). D'après ce même auteur les *Bacillus* peuvent croître dans des milieux minimums ce qui explique leur présence dans le substrat sableux, par contre les autres genres identifiés ont besoin d'un milieu riche en éléments nutritifs d'où leur présence dans les substrats traités à la bentonite.

## DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALES

Des résultats acquis au cours de cette expérimentation, il est possible de retenir les points essentiels suivant :

### En laboratoire :

- Les analyses effectuées à partir du substrat contenu dans les pots sans la culture montre que, l'application de la bentonite aux doses fluctuant de 2.5 % jusqu'à 15 % a provoqué une modification de la texture du sol. En effet, lorsque la charge en bentonite du sol sableux arrive à 7 %, le substrat passe de la texture sableuse à la texture sablo- limoneuse. Au point de vue chimique, la C.E varie dans le même sens que la dose de bentonite. De plus, l'adjonction de la bentonite dans le substrat de culture n'exprime aucune influence majeure sur les calcaire total et actif ; pour ce qui est de la teneur élevée en calcaire total, la présence de la dalle calcaire située à 70 cm environ par rapport à la surface du sol peut en être à l'origine (REGUIEG , 1992; ROUIBA, 1994). Cette richesse en calcaire montre l'abondance des ions  $Ca^{++}$  dans la solution du sol. Par ailleurs, la matière organique augmente dans le substrat lorsque la bentonite est ajoutée jusqu'à 10 %, dose à partir de laquelle le rapport C/ N commence à subir une sensible chute, cette augmentation suppose une bonne aération du sol favorisant l'activité bactérienne jusqu'à un optimum atteint à 10 % de bentonite. Les substrats traités à la bentonite sont très pauvres en azote. Les bases échangeables, dont le calcium et le magnésium sont dominants, présentent la fraction la plus importante. Le sodium échangeable augmente mais faiblement avec la dose de bentonite appliquée. Ceci résulterait de la grande mobilité du  $Na^+$  facilitant son entraînement par l'eau infiltrée à l'état de sels solubles (ROUIBA, 1994); en revanche, le potassium échangeable diminue dans les sols enrichis en bentonite en raison d'une part à l'origine sableuse du sol naturellement riche en  $K^+$  que dans le cas de la bentonite appliquée. La présence du calcium et du magnésium échangeables en abondance proviendrait de la présence d'une dalle calcaire et d'autre part à l'eau d'irrigation. D'ailleurs nos résultats indiquent que la teneur en  $Ca^{++}$  est élevée dans le sol non traité.
- **Des analyses réalisées à partir du substrat des pots portant la culture**, les données obtenues montrent que **l'azote total** dans les sols sableux sans apport de bentonite, est généralement faible et que le système en monoculture blé dur entraîne une diminution de cet élément dans le sol par l'absorption par la culture d'une part et les pertes par lixiviation d'autre part. Ceci est lié à la faible teneur de ces sols en matière organique, ce qui provoque une fertilité très réduite. Lorsque la bentonite est ajoutée au substrat sableux, une légère augmentation de la teneur en ce composé est enregistrée. Dans les substrats traités à 7 % et 10 % et portant l'association blé dur pois chiche, la teneur en azote total a généralement augmenté pendant **le stade végétatif de tallage**. Ceci résulte vraisemblablement de l'intervention de la

légumineuse grâce à la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Pendant le stade **début floraison** (pour le pois chiche) et **la montaison** (pour le blé), une légère diminution des teneurs en azote total du sol a été signalée, ce qui explique son utilisation par la plante pour son développement. Les expériences ont montré également que l'association et l'addition de la bentonite permettent d'augmenter le niveau d'azote dans ces sols. Pour ce qui est de **l'azote assimilable**, les données ont indiqué qu'une légère augmentation se manifeste à partir du **stade trois feuilles** dans le substrat sableux cultivés en monoculture pois chiche et en association blé dur pois chiche. L'addition de la bentonite au substrat sableux a influencé l'évolution de l'azote assimilable en particulier lorsque la bentonite est apportée à 10 %; cet azote devient plus élevé dans les substrats cultivés en association blé dur pois chiche.

**Pour le calcium soluble, au stade levée avant drainage**, les résultats montrent que les teneurs dans les différents sols augmentent avec la richesse du sol en bentonite. Au contraire, il est observé une diminution relative de la teneur en **calcium drainée** inversement proportionnelle à la dose de bentonite dans ces mêmes substrats cultivés en monoculture blé et en association. Cette différence des teneurs en calcium soluble entre le témoin et les substrats traités par la bentonite, s'explique par la dimension fine des particules argileuses contenues dans la bentonite, dont l'organisation en feuillets espacés conduit à une grande surface et donc à retenir plus d'eau et des ions minéraux.

La comparaison des niveaux du calcium soluble **après drainage** dans les sols non traités **au stade tallage** par rapport **au stade levée** révèle que ce cation baisse dans le sol à monoculture blé; cette diminution est beaucoup moins importante dans le sol cultivé en association blé dur pois chiche. En revanche, le traitement à la bentonite à 10 %, provoque davantage une réduction du calcium soluble dans le sol cultivé en blé dur ce qui n'apparaît pas dans le sol à association blé dur pois chiche. **Au stade montaison**, les teneurs en calcium soluble **avant drainage** sont assez croissantes par rapport **au stade tallage**. Les teneurs en calcium soluble des sols analysés des différents substrats atteignent une valeur maximale sous le traitement à 10 % de bentonite. Il faut noter aussi que la teneur en **calcium lessivé** reste inversement proportionnelle à la dose de bentonite. D'autre part, les sols cultivés en association présentent la teneur la plus élevée en calcium soluble obtenue **avant drainage** pour tous les substrats. Dans les sols à monoculture blé ou pois chiche, ces teneurs sont moins importantes ; ces différences de teneur selon le type de culture s'expliquent par l'effet bénéfique du pois chiche sur la disponibilité du calcium pour le blé dur due à la densité racinaire plus importante et à la porosité élevée de ce sol d'où une meilleure circulation de la solution nutritive provoquant un enrichissement de ce cation.

**-Pour le magnésium soluble, au stade levée avant drainage**, sa teneur évolue dans le sol au fur et à mesure que la dose de bentonite augmente. Il faut noter aussi que le lessivage de ce cation est inversement proportionnel à la dose de bentonite. **Au stade montaison**, les teneurs en magnésium soluble sont les plus élevées comparativement **aux stades tallage et levée**.

Dans le sol sans bentonite, les teneurs en magnésium sont nettement moins importantes que celles du calcium car la force d'échange du calcium est supérieure à celle du magnésium. D'une manière générale le taux du magnésium est largement élevé dans les sols bentonisés comparativement aux sols sableux (TESSIER, 2000). La forte augmentation du niveau de magnésium au stade montaison s'explique soit par une libération intense du magnésium de la bentonite, due à un phénomène d'échange important, soit que les besoins en magnésium à ce stade sont faibles.

**Au niveau de la plante**, les résultats obtenus, sur **la surface foliaire et la croissance en hauteur de la tige**, sont nettement importants dans le cas de l'association blé pois chiche pour tous les stades et dans les conditions de traitement. Les valeurs de ces deux paramètres apparaissent plus élevées pour les plantes cultivées sur substrat bentonisé. Cette différence de croissance entre les types de végétation s'explique par le fait que la présence du pois chiche en association avec le blé permet une bonne utilisation des éléments nutritifs présents dans la solution du sol par les racines du blé en favorisant une croissance rapide et importante. La densité racinaire importante de la légumineuse serait responsable d'une aération du sol et d'une circulation d'eau assez conséquente dans la rhizosphère; l'apport de la bentonite a augmenté considérablement les réserves nutritives dans le sol. Une forte corrélation est remarquée pour l'ensemble des traitements entre la dose de bentonite le type de culture et la biomasse aérienne. Toutefois **l'effet de la bentonite et de l'association** se traduit par une augmentation significative de **la hauteur de la tige** de la plante aux différents stades de la croissance. Cette augmentation de **la hauteur** est corrélée à celle de **la surface foliaire**. Par contre la diminution de la biomasse aérienne est significative et confirmée dans les substrats non soumis à la bentonite et l'association jusqu'au dernier stade de la croissance de la plante.

**Pour l'azote de la plante : Au stade levée**, le niveau élevé de l'azote chez les plantes cultivées dans le substrat à 10 % de bentonite est dû vraisemblablement à la présence de la matière organique dans la bentonite, pouvant atteindre un taux de 0.81 % (BENDELLA, 1994). Par contre la similarité du niveau d'azote chez le blé dur et l'association dans le substrat témoin et à 10 % de bentonite, résulte d'un développement de la croissance de la plante au dépend des réserves de la graine; par rapport au sol, la plante se trouve contrainte d'absorber une faible quantité d'azote (RELLIER, 1986; MEYNARD et al., 1996). Par contre **au stade début de tallage**, l'évolution progressive de l'azote de la plante ne peut être expliqué que par les besoins assez importants du blé dur vis-à-vis de cet élément. Nos résultats corroborent les travaux de recherches de REMY et VIAUX (1980) puis de MEYNARD et al. (1997). Ces chercheurs montrent que la nutrition azotée intervient dès le tallage herbacé, avec des effets dominants à partir du stade épi à 1 centimètre jusqu'à la floraison. Cette augmentation du niveau d'azote est due à sa forte accumulation au stade début tallage (REGUIEG, 1992).

**L'étude microbiologique** des différents substrats de culture conclut que le nombre de germes /1g de terre évolue avec la dose de bentonite incorporée au substrat sableux et le cycle végétatif de la culture. Cette évolution des germes provient de l'action de la présence des colloïdes apportés par la bentonite, en particulier à la dose de 10 % caractérisée dans nos conditions par une capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs élevés favorisant un milieu plus favorable au développement des bactéries. **Au stade levée** la variation de la densité microbienne entre les différents substrats étudiés, dépend essentiellement de la teneur du sol en azote total, car les concentrations les plus élevées sont obtenues dans les sols à 10 % de bentonite et cultivés en monoculture pois-chiche et en association coïncidant avec des teneurs élevées en azote. **Au stade floraison montaison** les résultats obtenus montrent que le grand nombre de germes est obtenu dans le substrat bentonisé à 10 % cultivé en association et la monoculture pois chiche. Cette forte teneur de la masse bactérienne s'explique par l'utilisation de l'azote atmosphérique indirectement par symbiose avec les bactéries rhizobiums au sein des nodosités caractéristiques (ROLAND, 1988; OKON, 1994) et comme la prolifération et le développement des bactéries sont importants dans les milieux les plus riches en azote (VERTES et al., 2001), le nombre des germes dans les substrats cultivés par le blé est toujours inférieur à celui des substrats cultivés en pois chiche et en association. En effet, l'addition de la bentonite dans le sol sableux cultivé

en association est très significative sur les propriétés microbiologiques des sols où il a été remarqué une évolution du nombre de germes jusqu'à la dose 10 %, due essentiellement à l'amélioration des propriétés physiques du substrat.

### **Au niveau du terrain expérimental :**

Les mesures que nous avons menées concernent le bilan bactérien, les paramètres agronomiques et le rendement du blé dur. Les analyses effectuées dans les deux dispositifs montrent que l'effectif total des microorganismes est sensiblement élevé dans les sols sableux amendés en bentonite. Ceci est dû à une forte concentration en substrat énergétique pour les microbes ce qui a entraîné une plus forte concentration en microorganismes. Donc une plus grande activité biologique vient uniquement d'une plus grande concentration des populations microbiennes dans les sols traités à la bentonite.

Les plus grandes valeurs sont enregistrées dans les sols traités à 7 et 10 % de bentonite et cultivés en monoculture pois chiche et en association dues à la prolifération des bactéries au sein de la rhizosphère car selon ALAMI (1997) les polysaccharides bactériennes produites par le rhizobium contribuent au collage d'agrégats du sol entre eux, aboutissant à l'assemblage des agrégats laissant entre eux des pores favorisant l'utilisation d'eau et des éléments nutritifs disponibles dans le sol.

Le niveau élevé de la concentration des germes dans les substrats traités à la bentonite à partir du terrain est dû à la capacité des argiles à fixer les éléments nutritifs et de retenir l'eau en créant un milieu favorable à la migration et le développement de ces bactéries ; contrairement aux sols sableux, la teneur en matière organique et en colloïdes est très réduite, présentant donc un milieu moins favorable pour l'activité biologique entre les substrats sableux et bentonisés. La densité racinaire importante dans l'association constitue aussi un facteur créant un milieu favorable pour le développement des bactéries. En effet, selon HEBBAR et al. (1992) ces racines qui exsudent des quantités importantes des sucres formés par la photosynthèse, constituent une source de carbone et d'énergie pour la croissance des bactéries.

Les analyses sur l'identification des bactéries, montrent la dominance du genre *Bacillus* dans la rhizosphère des substrats sableux et traités à la bentonite cultivés en monoculture blé et en association. Par contre les autres genres identifiés ont besoin d'un milieu riche en éléments nutritifs d'où leur présence dans les substrats traités à la bentonite.

Les résultats montrent qu'il existe toutefois une forte corrélation entre le traitement à la bentonite, l'association et **le nombre d'épis** en plein champ pour l'ensemble des types de cultures. L'augmentation du nombre d'épis dans l'association s'explique par la forte absorption de l'azote fixé au stade tallage pour favoriser la croissance et la montée des talles à épis. Le blé absorbe environ 40 % de l'azote aux cours de cette période (CIPRIANO, 1984; MEYNARD et al. 1998; RECOUS et MACHET, 1999). Par ailleurs la différence dans l'évolution **des paramètres agronomiques** mesurés entre l'association et la monoculture blé est du vraisemblablement à l'effet du pois chiche sur le blé dur qui se traduit par la fixation de l'azote atmosphérique en exerçant une influence déterminante sur la croissance de la plante et permet un démarrage rapide provoquant un tallage important.

La comparaison **des rendements** des parcelles de la monoculture blé dur et celui de l'association blé dur /pois chiche dans les sols additionnés de bentonite à 10 % a permis de déterminer la contribution de l'azote du pois chiche. En effet, la monoculture blé dur produit moins de rendement que le blé dur en association blé dur pois chiche. Ainsi, selon BOISSONNET et al. (1987) puis O'BRAIN et MAIRE (1989), la relation de symbiose avec le pois chiche qui conduit à l'apparition des nodosités sur le système racinaire rend le blé

dur capable de croître dans des sols déficients en azote. De ce fait, le pois chiche apparaît avoir un rôle important dans l'association avec le blé dur.

Les résultats de nos travaux ont démontré l'existence d'un gain de rendement passant du simple au double par rapport à la culture du blé en monoculture. Ce gain de rendement est dû principalement à une meilleure utilisation de l'azote présent dans le sol d'une part et à une meilleure utilisation de l'eau due à la présence de la bentonite d'autre part, cette eau généralement perdue par lessivage dans les sols sableux (STOPES, 1987 ; RAFAEL et al., 2001 ).

Eu égard aux faibles rendements dans les sols sableux sans amendement et sans occupation par la légumineuse, il est peu probable que la culture du blé dur ait absorbé de grandes quantités d'azote, l'azote est probablement lixivié en profondeur. Donc il nous semble intéressant, d'une part de préserver le niveau de cet élément en amendant le sol en bentonite pour stabiliser les rendements dans ces sols et augmenter la capacité de rétention hydrique et azotée en améliorant les caractéristiques physiques et chimiques. D'autre part il faut adopter le système en association légumineuse céréale, car les légumineuses en croissance bien qu'elles fixent l'azote de l'air, permettent de réduire la quantité des nitrates lessivés dans le profil car elles utilisent très bien les nitrates résiduelles. FRANCIS (1994) puis DUVAL (1995) considèrent généralement que 50 % de l'azote contenu dans les résidus des légumineuses sont disponibles pour la culture suivante.

Sans amendement bentonitique et sans association d'une légumineuse à la culture du blé dur, il y a un risque d'une baisse rapide du niveau des cations calcium et magnésium. La baisse de la concentration de ces deux cations est responsable des réductions de rendements. L'accompagnement par l'amendement en bentonite de la culture d'une légumineuse en association avec le blé dur augmenterait les rendements.

Les résultats de notre recherche pourraient servir d'outils dans l'amélioration des méthodes de culture, le management du sol, approches permettant la mise en œuvre d'un développement durable. En Algérie le blé est la céréale la plus cultivée, dans des régions à faibles précipitations où de faibles rendements sont obtenus principalement à cause du manque d'eau, d'une mauvaise utilisation des engrais et de la faible fertilité des sols en particulier les sols sableux.. De tels sols nécessitent une optimisation dans l'amélioration des interactions plantes microorganismes au niveau de la rhizosphère en assurant un équilibre durable du biotope.

Au terme de ce travail, la bentonite pourrait constituer une matière première très prometteuse pour l'amélioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols sableux notamment ceux du plateau de Mostaganem ce qui concourrait à l'amélioration des rendements de la production agricole de cette région.

---

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELOUAHAB C., AIT AMAR H. OBREtenov T.Z. et GAID A., 1988** - Caractéristiques physico-chimiques et structurales de quelques argiles bentonitiques du Nord-Ouest Algérien. *Analysis* 16 (5), 292-299.
- ABISMAIL DJ., 1999** - 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. Ing. Etat, Université de Mostaganem, 32-52.
- ADAMS J.A. et PATTINSON G.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.
- ALAMI Y., 1997** - Rôle d'une bactérie productrice d'exopolysaccharides (*Rhizobium* sp.) dans l'agrégation du sol rhizosphérique du tournesol : conséquences de l'inoculation sur la structuration du sol et la nutrition minérale de la plante. Thèse de Doctorat de l'Université Nancy I ; 138 p.
- AMBOUTA JMK et VALENTIN C., 1996** - Jachères et croûtes d'érosion au Sahel. *Sahel. Rev. Séch.*, 7, 269-275.
- AMELLAL N., BURTIN G., BARTOLI F., HEULIN T., 1998** - Colonization of wheat rhizosphere by EPS-producing *Pantoea agglomerans* and its effect on soil aggregation. *Appl Environ Microbiol* 64 : 3740-7.
- ANDERSON R. L., BLAND L. A., FAVERO M. S., Mc NEIL M. M., DAVIS B. J., MACKEL D. C. and GRAVELLE G. R., 1985** - Factors associated with *Pseudomonas pickettii* intrinsic contamination of commercial respiratory therapy solutions marketed as sterile. *Appl. Environ. Microbiol.* 50(6), 1343-1348.
- ANGERS DA. and MEHUYS GR., 1989** - Effects of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Can Jour. Soil Sci.* 69: 373-80.
- ANGLE J.S., GAGLIARDI J.V., MCINTOSH M.S. and LEVIN M.A., 1996** - Enumeration and expression of bacterial counts in the rhizosphere (Stotzky, G. and Bollag, J.M., Eds.), *Soil Biochemistry*, Vol. 9, pp. 233–251. Marcel Dekker, Inc.
- ANONYME, 1995** - Direction Services Agricoles. Département des statistiques. Mostaganem. Algérie, : 85p.
- ANONYME, 1998** - Direction Services Agricoles. Département des statistiques. Mostaganem. Algérie, : 73p.
- AREF S. et WANDER M.M., 1997** - Long-term trends of corn yield and soil wander, In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy* 62. Academic Press, San Diego, CA, pp. 153–197.
- AUBERT G., 1978** – Méthodes d'analyse des sols. CRDP, Marseille, 191p.
- AYADI A.L., 1986** - Analyse agronomique de différents types de pois chiche. Influence de la date de semis (*Cicer arietinum* L.). D.A.A..ENSA, Montpellier, 74 p.

- BAGNOULS F. et GAUSSEN H., 1957** - Saison sèche et indice xérothermique-cartographie des limites écologiques, 46 p.
- BAIZE D. 2000.** Guide des analyses en pédologie. 2ème édition revue et augmentée. INRA Éditions. INRA, Paris, 257 p.
- BARBER S.A., 1972** - Plant physiology .Ann. Rev., 33, 261-295.
- BAUER A. et BLACK A.L., 1992** - Organic carbon effects on available water capacity of three soils textural groups. Soil Science Society of America Journal 56, 248–254.
- BAUER A. et BLACK A.L., 1994** -Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. Soil Science Society of America Journal 58, 185–193.
- BEKKI A., 1986** -Fixation d'azote en conditions de stress salin chez MEDICAGO : Sensibilité respective des partenaires symbiotiques.Thèse.Doctorat.Univer. Nice, 4-7.
- BELAID DJ., 1987** - Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (HEDBA3) en condition de déficit hydrique . Thèse de Magister. INA , Alger ,109 p.
- BELBAHI M .,1994** -Comportement d'une culture ( cas de tomate industrielle ) sur un sol sableux soumis à différentes dose de bentonite. Mém. Ing. Mostaganem, 35-37.
- BELGAT S., 1984** -Le cordon dunaire littoral de Mostaganem. Thèse. Doctorat. Université d'Aix- Marseille, 198 p.
- BENABADJI N et BOUAZZA M., 2000** -Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba-alba* Asso. dans l'Oranie (Algérie occidentale). Rev. Séch., 11(2) : 117-123.
- BENDELLA A., 1994** -Etude de la fixation du baryum par la bentonite pontée. Inst. Chim. Univ. Mostaganem, 60 p.
- BENJAMAA O., 1977** -Influence de la fertilisation azotée sur l'assimilation de l'azote chez une variété de blé tendre (ANZA). Thèse Mag. .INA El- Harrach,.40-45
- BENKHALIFA M., 1997** -Influence de la bentonite sur les caractéristiques physiques , hydriques et mécaniques d'un sol sableux du plateau de Mostaganem . Thèse de Magister. INA. Alger, 114 p.
- BERNARD D.,2000** - Des légumineuses fixatrices d'azote, p.5-7, Dossier le jardin planétaire, IRD France.
- BLACK C A., 1968** -Soil plant relationship. 2<sup>ème</sup> édition., John Wiley and sons inc., New York/London/Sydney, 792 p.
- BLANC D., 1971** - L'azote en agriculture. INA, chaire d'agriculture, Paris, 17 p.
- BLONDEAU D., 1980**- La fixation biologique de l'azote atmosphérique. Ed.Vuibert.Paris, 182 p.
- BODDEY R.M., 1983** -Leghemoglobin and the supply of O<sub>2</sub> to nitrogen fixing root nodule bacterioide. Microbiol. Can. Jour., (89), 31-47.
- BOISSONNET B. et BOISSONNET G., 1987** - Abrégé de bactériologie générale et appliquée. Ed. Masson, Paris, 24-27.
- BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979**- Pédologie. II. Constituants et Propriétés des Sols. Ed Masson (2ème édition 1994), Paris , 665 p.

- BOUCHEZ C., 1985** -Perspectives de développement de la culture du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) dans le bassin méditerranéen. Diplôme d'agronomie approfondie. ENSA, Montpellier, 187 p.
- BOUHALI M., 2002** -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. Ing. Etat. Univ. Mostaganem, 47-60.
- BOUKHEROU A., 2002** -Etude d'une nouvelle méthode d'activation chimique des bentonites mise en évidence et applications. Thèse Doctorat es Sciences, Univ. Oran, 159 p.
- BOUTALBI D., 1995** -Mise au point bibliographique des recherches sur l'amélioration des sols sableux par la bentonite. Mém. Ing. Etat. Univ. Mostaganem, 59 p.
- BOYELDIEU J., 1991**-Produit des grains oléagineux et protéagineux. Ed. Lavoisier, Paris, 158 p.
- BURRIS H.R. et ROBERTS G.P., 1993** - Biological nitrogen fixation .Annual.Review of nutrition. 13, 317-335.
- BYRNE A. M., KUKOR J. J. and OLSEN R. H., 1995** -Sequence analysis of the gene cluster encoding toluene-3-monooxygenase from *Pseudomonas pickettii* PKO1. *Gene* 154, 65}70.
- CAILLERES S., HENIN S.et RAUTUREAU M., 1982** -Minéralogie des argiles : structure et propriétés physico-chimiques Tome 1.
- 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.
- CAVALCA L., DELL\_AMICO E. and ANDREONI V., 2002** – Oxygenase systems in an oligotrophic bacterial community of a subsurface water polluted by BTEX (Violante, A., Huang, P.M., Bollag, J.M.and Gianfreda, L., Eds.), *Soil Mineral–Organic Matter–Microorganism Interactions and Ecosystem Health*, Vol. 28B, 363.
- CHANTIGNY M.H., ANGERS D.A. et BEAUCHAMP C.J., 1999**- Aggregation and organic matter decomposition in soils amended with de-inking paper sludge. *Soil Science Society of American Journal* 63, 1214–1221.
- CHEN W.X., YAN.G.H.et LI.J.L., 1988** -Numerical taxonomic study of *Rhizobium fredii* be assigned to sinorhizobium gen ». *Int.J.Syst. Bacteriol*, (38) ,392-397.
- CHEVALIER R., 1963** - Echaudage du blé et poids de 1000 grains ». *Ann . Amelior. Plant.* 2, 275-295.
- CHIU Y C., HUANG L.N., VANG C.M. et HUANG J.F., 1990** - Determination of cation exchange capacity of clay minerals by potentiometric titration using divalent cation electrodes *Colloid and Surfaces*, 327-337.
- CIPRIANOS C., 1984** -Essais de fertilisation azotée sur trois variétés de blé dur. *Inst.Chim.Univ. Mostaganem*, 38-43.
- COMPAORE E., GRIMAL J.Y., MOREL J.L et FARDEAU J.C., 1997** -Efficacité du phosphate naturel de Kodjari (Burkina Faso). *Cahiers. Agricultures*, volume 6, numéro 4, pp. 251-255.

- COTTIGNIES X., 1977** -Potasse et agriculture ». Société commerciale des potasses et de l'azote, Mulhouse ,15-37.
- DALLONI M., 1939** - Géographie appliquée de l'Algérie. Ed. Mass. Cie. 888p.
- DAZZO F.B. et TRUCHETG.L., 1991** -Journal bactériologique. France.75 p.
- DEBRACH J. , 1953-** Notes sur les climats du Maroc occidental. Maroc méridional, 32 (342), 1122-1134.
- DEJOU J., 1987** -La surface spécifique des argiles, sa mesure, relation avec la CEC et son importance agronomique. In : La capacité d'échange cationique et la fertilisation des sols. Amyet Y.Ed., 72-83.
- DE MARTONNE E., 1926** -Une nouvelle fonction climatologie : L'indice d'aridité .La météorologie, 449-458.
- DEMOLON A., 1951** -Dynamique du sol. Ed. Dunod, 520 p.
- DERDOUR H., 1985** -Influence du taux de Sodium échangeable sur le comportement au compactage d'un mélange de sable et de bentonite. Sciences du sol, Plaisir France, 107-114.
- DJABER Y., 1999** - Evolution du bilan bactériologique dans un sol sableux bentonisé et cultivé (blé+pois chiche).Mém. Ing. Etat. Univ. Mostaganem, 39-53.
- DOMMARGUES Y.et MANGENOT F., 1970** - Ecologie microbienne du sol. Ed Masson, Paris, 595-618.
- DONG C., DONG C.G., ZHAO Q.F. et ZENG X.M., 1996** -Control of tobacco bacterial wilt with antagonistic bacteria. GuangdongAgric. Sci. 5, 28–30.
- DUKE J.A., 1981** -Handbook of Legumes of World Economic Importance. Plenum Press, NY. 85p.
- DUVAL J., 1995-** Le rôle des légumineuses dans la pollution par les nitrates. EAP. Pub.Eco. Agri. Projects. McGill University (Macdonald Campus). Canada ,1-6.
- ELKAN G.H., 1992** - Taxonomie of the Rhizobia. Canadian journal of microbiology, (38) ,446-454.
- ELMERICH C., 1993** -Fixation biologique de l'azote. Ann. Inst. Pasteur, 4, 133-135.
- EI SHERIF AF., 1987** -Projet de recherche sur l'amélioration des sols sableux par la bentonite .Méthodes et aspects économiques .Rapport final ARST, Caire, Egypte, 182 p.
- EMBERGER L., 1955** - Une classification biogéographique des climats .Trav. Inst. Bot., Montpellier, (7), 3-43.
- EMMERT E. A. B. et HANDELSMAN J., 1999-** Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective. FEMS Microbiol. Lett. 171, 1–9.
- ENGELTHALER Z.A. et LOSTAK A., 1983-** Utilisation des bentonites pour l'amélioration des sols .ONUDI, Pilsen, Tchécoslovaquie, 184 p.
- ERROUX J., 1975** -Agronomie méditerranéenne. Le milieu méditerranéen et ses problèmes, les cultures vivrières en Algérie. Tome I. O.P.U. Alger, 285 p.
- FAO- [Perspectives de l'Alimentation - No. 3, 1999 - Rome, Juin 1999](#)** .

- 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.
- FOLEY B.J. et COOPERBAND L.R., 2002** -Paper mill residuals and compost effects on soil physical properties, soil fertility, and crop production. *Journal of Environmental Quality* 31, 2086–2095.
- GENEVES L., 1990** - Biologie végétale. Ed. Masson. 125-132.
- GEORGIODIS M.M., komiya H., CHAKRABARTI P., WOO D. et KORNUE J.J., 1992** -Bioclimatologie et recherche agronomique. *Ann. Agro*, 728-773.
- GOA S., PAN WL. and KOEINING RT., 1998** -Integrated root system age in relation to plant nutrient uptake activity. *Agron. J.*, 90 (4), 505-510.
- GONZALEZ-PRADAS E., VILLAFRANCA-SANCHEZ M., CANTON-CRUZ F. SOCIASVICIANA. et FERNANDEZ-PEREZ M., 1994**- Adsorption of cadmium and zinc from aqueous solution on natural and activated bentonite. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 59, 289-295.
- GOUDFREY C.A., 1972** - The carotenoid pigment and biosynthesis from C<sub>14</sub> animolas ilinic acid in laboratory growth and root nodule *Rhizobium lupini* ». *Jour. Micro.* (69) , 385-390.
- GOUZOU L., BURTIN G., PHILIPPY R., BARTOLI F and HEULIN T., 1993.** Effect of inoculation with *Bacillus polymyxa* on soil aggregation in the wheat rhizo- sphere: preliminary examination. *Geoderma* 56 : 479-91.
- GRESSHOFF P.M., 1990** -Molecular Biology of Symbiotic Nitrogen Fixation. Ed. CRC. Press. Pp. 5-8.
- GRIGNAC P., 1984** - Blé dur productions Françaises. *BTI* , 390 , 295-301.
- HALITIM A., 1988** - Sols des régions arides d'Algérie .O.P.U. Alger.19-28.
- HAMIDOUCHE N., 1982** -Situation et évolution des légumineuses. *Céréaliculture* n°14, 5-7.
- HANG P.T. et BRINDLEY G.W., 1970** -Methylene blue absorption by clay minerals determination of surface areas and cation exchange capacities. *Clays and Clay Minerals* ,18, 203-212.
- HARDY R.W.F et HAVELKA U.D., 1975** -Nitrogen fixation research : A key to world food. *Science*, 188, 633-643.
- HAUN J.R., 1973** -Visual qualification of wheat developpement . *Agron. J.*, 65 ,116-119.
- HEBBAR K. P., DAVEY A. G. et DART P. J., 1992**– Rhizobacteria of maize antagonistic to *Fusarium moniliforme*, a soilborne fungal pathogen, isolation and identification. *Soil Biol. Biochem.* 24, 979–987.
- HEICHEL G., HARDARSON G., BARNES D. et VANCE C.P., 1984**- Dinitrogen fixation herbage yield, and Rhizobial preference of selected alfalfa clones. *Crop.Sci.* 24 ,1093-1097.
- HELLER R., 1981** -Physiologie végétale. Tome 1 : Nutrition. Ed. Mass, Cie Paris, 244 p.
- HILAIRE A., 1980** - Incidence de la nutrition azotée sur la production d'un blé d'hiver dans différentes rotations culturales . Th. Doct. INP. Toulouse ,15-28.

- 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.
- HOITING H.A.J. and BOEHM M.J., 1999** -Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. Annual Review of Phytopathology 37, 427–446.
- HU S., VAN BRUGGEN A.H.C., WAKEMAN R.J. and GRU"NWALD N.J., 1997** - Microbial suppression of in vitro growth of *Pythium ultimum* and disease incidence in relation to soil C and N availability. Plant and Soil 195, 43–52.
- JARVIS B.D.W., DICK A.G. et GREEN W.R.M., 1980**- Deoxy hibonucleic acid homology among strains of *Rhizobium trifoli and related species*. Int.Jour. Syst. Bactriol , (30), 42-52.
- JEUFFROY M.H et RECOUS S., 1996** -Predicting the beginning of N deficiency in fertilized-wheat crops from modelling the time course of plant N requirements and soil N supply. Congress of the European Society of Agronomy, Veldhoven-Wageningen.Jetten eds, 352-353.
- JOHNSTON B., 1999** -Encyclopédie Végétale. Ed. Mass. Cie, Paris, 49-65.
- JONARD P., 1964** -Etude comparative de la croissance de deux variétés de blé tendre. Ann . Amelior. Plant ., 14(2) ,101-130.
- JORDAN D.C., 1984** -Family III Rhizobiaceae. 234-242 in KREIG.N.R., HOLT.J.C. Ed Begel's manual of systematic bacteriology vol.1 Williams and Wilkins , Co Baltimor.Md.
- JUSSIAUX G., 1980** -Cours d'agriculture moderne. Ed la maison rustique , Paris , 9<sup>ème</sup> éd , 84-90.
- JUSTES E., MARY B., MEYNARD J.M., MACHET J.M et THELIER-HUCHE L., 1994** - Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops.ANN. Bot., 74, 397-407.
- KA J. O., HOLBEN W. E. and TIEDJE J. M., 1994** -Analysis of competition in soil among 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-degrading bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 60 (4), 1121}1123.
- KA J. O., and TIEDJI J. M., 1994** -Integration and excision of a 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-degradative plasmid in *Alcaligenes paradoxus* and evidence of its natural intergeneric transfer. *J. Bacteriol.* 176(17), 5284}5289.
- KAHR G. et MADSEN F.T., 1995** - Determination of the cation exchange capacity and the surface area of bentonite , illite and kaolinite by methylene blue adsorption.*Applied Clay Science*, 9, 327-336.
- KNIGHT W.C., 1898**- Mineralogy. England.Min .J , 66: 491 p.
- LABDI M ., 1991** - Perspective de développement des légumineuses dans les systèmes céréaliers des zones semi-arides . Céréaliculture , n°25, 12-13.
- LADD J.N.and AMATO M., 1986** - The fate of nitrogen from legume and fertilizer sources in soils successively cropped with wheat under field conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 18(4), 417-425.

- 
- LANGELET B., 1975** - La fertilisation du blé. Le producteur agricole Français, 2 , 99 , 25-26.
- LANSON B. et BOUCHET A., 1995** -Identification des minéraux argileux par diffraction des rayons X : apport du traitement numérique . Bull. Cen. Rech. , Exploration et Production Elf Aquitaine 19 (1), 91-118.
- LAREDJ D., 1988**- Influence de la bentonite sur le comportement et le rendement de la lentille cultivée sur un sol sableux du plateau de Mostaganem .Mémoire.Ing.INFSA.Mostaganem,98 p.
- LARGE EC., 1954** -Growth stages in cereals. Illstration of the Feeks scale. Plant pathol., 3 , 128-129.
- LARID M., 1993** - Le rôle du machinisme agricole dans l'érosion des sols ; cas du plateau de Mostaganem . Thèse. Doctorat.Université. Luis Pasteur. Strasbourg. France , 109 p.
- LE HOUEROU HN., 1993** -Changements climatiques et désertification. Sécheresse, 2 : 95-111.
- LELIEVRE F. et NOLOT J.M., 1977** - Evolution de la matière sèche des grains autour du pallier hydrique chez trois variétés de blé dur et tendre. CR . Acd . Agric . Fr., 63(13) , 924-930.
- LEMEE G., 1978** -Action de la sécheresse sur les végétaux. Bull. Soc. Ecophysiol., 3(1) , 6-12.
- LERY F., 1982** -L'agriculture au Maghreb. Edition maison neuve et larose , 94-95.
- LHOTSKY J., 1970** -Influence de la bentonite sur le changement des dimensions des pores dans un sol sableux. Scientia. Agri. Bohemoslovaca, Praha 6, Tchecoslovaquie, 26 p.
- LINDWALL W., 2000**- Une nouvelle classe de blé. Centrede recherche sur l'agriculture des prairies semi- arides. Canada, 10p.
- LIU Q.G., LI Z., TANG Z. et ZENG X.M., 1999** -Control of tobacco bacterial wilt with antagonistic bacteria and soil amendment. Chin. J. Biol. Control 15, 94–95.
- LUO K. et WANG Z., 1983** -Control of bacterial wilt with antagonistic Pseudomonas spp. and avirulent P. solanacearum. Acta Phytopathol. Sinica 13, 51–55.
- MAATOUGUI M.E and LADDADA.M.L., 1993** -Back ground informations and propositon of Algeria. I.C.A.R.D.A. Workshop for project prome Winter, soun. Chikpea, Aleppa, Syria, céréaliculture, 30, 75-89.
- MASLE J. et MEYNARD J., 1981a** -Influence du facteur azote dans l'élaboration du rendement . Devenir de l'azote dans la fertilisation azotée des blé d'hiver. Influence de l'alimentation hydrique. INRA-Agrimeel, 24-38.
- MASLE J. et MEYNARD J., 1981b** -Relation entre croissance et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver. Influence des conditions de nutrition. Agronomie , 1(5) , Paris , 365-374.
- MASLE J., 1982** -Mise en évidence d'un stade critique par la motée d'une talle . Agronomie , 1(8) , 623-632.
-

- MEKLIICHE A., 1983** - Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé dans le haut Chélif . Th. Magister , INA , Alger, 81 p.
- MENGEL K. et KERKBY EA., 1982** - Principales of plant nutrition . IPI. Worblan-Berne, 655 p.
- MERING J., 1975** - Smectites . Encyclopedia of soil science. Ed. Springer – Verlag New York Inc. 97-119.
- MEYNARD J.M. et LIMAUX F., 1987** -Prévision des rendements et conduite de la fertilisation azotée. Cas du blé d'hiver . Cah. Rech. Acad. Agric.France, 73, 117-132.
- MEYNARD J.M., JUSTES E., MACHET J.M. et RECOUS S., 1996** - Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ. La maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes . G.Lemaire et B.Nicolardot (eds), INRA , Paris , 183-199.
- MEYNARD J.M., AUBRY C., JUSTES E et LE BAIL M., 1997** -Nitrogen Diagnosis and Decision Support. Lemaire edition., SpringerVerlag, 147-161.
- MEYNARD J.M., JUSTES E., MACHET J.M et RECOUS S., 1998** -Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ. Inra, Paris, 271-288.
- MOREL R., 1989** - Les sols cultivés. Ed. Lavoisier. Technique et Documentation, Paris.
- MORSLI B., MAZOUR M., MEDJEDEL.N et HAMOUDI A., 2004** -Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi arides du Nord Ouest Algérien . Rev. Séch., 15 (1), 96-104.
- N'DAYEGAMIYE A. et ANGERS D.A., 1993** -Organic matter characteristics and water-soluble aggregation of a sandy loam soil after 9 years of woodresidue applications. Canadian Journal of Soil Science 73, 115–122.
- NKUNDIKIJE V., 1974** - Résultats d'analyses des sols. Rapports. Labo. Pédo. INA , Alger.
- O'BRAIN M.R. et MAIRE R.J., 1989**- Molecular aspect of the energetics of nitrogen fixateur in legume symbiose. Biophys , ACTA.974, 229-246.
- OKON Y. and LABANDERA-GONZALEZ C.A., 1994** -Agronomic application of Azospirillum. An evaluation of 20years Worldwide field inoculation. Soil Biology and Biochemistry 26, 1591-1601.
- PAL K. K., TILAK K. V. B. R., SAXENA A. K., DEY R. et SINGH C. S., 2000** - Antifungal characteristics of a fluorescent *Pseudomonas* strain involved in the biological control of *Rhizoctonia solani*. Microbiol. Res. 155, 233–242.
- PAQUET J., 1968** - Action d'une élévation brusque de température sur l'évolution de la teneur en protéines du grain de blé tendre « Distributions of native fixed ammonium and other forms of nitrogen in different soils of West Bengel». J . Indian. Sc . Soil. 21 p.
- PASCHKE M.W. et DANSON J.O., 1993** -Avian dispersal of frankia . Canadian journal of botany , (71), 1128-1131.
- PELMONT J., 1995**- Bactéries et environnement. Vol 2.Ed. OPU. Alger. 413-489.
- PETR J., 1985** -Non metallic sorbents in agriculture. Editions. ONUDI, Tchechoslovaquie, 39 p.

- RAFAEL J., LOPEZ- BELLIDO G. et LOPEZ-BELLIDO L ., 2001** -Effects of crop rotation and nitrogen fertilization on soil nitrate and wheat yield under rainfed Mediterranean conditions. *Agronomie* , (21), 509-516.
- RAIMUND S and DIETMAR S., 1996** -Properties of soils under different types of management developed in a sandy substrate covering boulder clay at Mecklenburg ( north eastern Germany). *Sciences of Soils* , Rel. 1 , Art 1.
- RAJU G.S.N. et NUKHOPADAY A.K., 1973** - Distributions of native fixed ammonium and other forms of nitrogen in different soils of West Bengal. *J . Indian. Sc . Soil.* 21 p.
- RECOUS S et MACHET J.M., 1999** - Short- term immobilisation and crop uptake of fertilizer N applied to winter wheat :effect of date of application in spring.*Plant Soil*, 206, 137-149.
- REGUIEG Y.H.A., 1992** -Contribution à la connaissance de la dynamique des éléments fertilisants NPK dans les grands types sols céréaliers de la région de Tiaret.Thèse.Magister.INA. Alger, 117 p.
- RELLIER J.P., 1986** - Des systèmes de grandes cultures et prévision des rendements.Tentative de modélisation. Etalonnage du modele. Résultats et perspectives. *C.R.A.C.A.D.FR.*, 72, pp. 125-132.
- REMY J.C., 1976** - Pas de recettes passe-partout pour la fertilisation du blé. *Fermes modernes*. N° hors série, 89-96.
- REMY J.C., HEBERT J., 1977** - Le devenir des engrais azotes dans le sol. *Cah. Rech. Acad. Agric. France*, II, 700-714.
- REMY J.C., VIAUX PH., 1980** -Evolution des engrais azotés dans le sol. *Perspectives agricoles. Spécial fertilisation.* 43, 5-9.
- RHIJN P. et VAN DER LEYSEN J., 1995** -The Rhizobium plant symbiosis.*Microbiol.Rev.* (59), 124-142.
- ROBERT G.P., LEPS W.T., SILVER L.E. et BRILL W.J., 1980** - Use of tow dimontional polyacrilamide gel electrophoresis to identify and classify Rhizobium strains.Appeled and enviromental microbiology, (39), 414-422.
- ROHDES C.N. and BROWN D.R., 1995** - Autotransformation and ageing of acid –treated montmorillonite catalyts : a solid-state <sup>27</sup>AlNMR study.*Journal of the Chemical Society. FARADAY Transaction* 91 (6), 1031-1035.
- ROLAND B., 1988** -La fixation biologique de l’azote atmosphérique. Ed. Mass. Cie Paris,102 p.
- ROUIBA B., 1994** -Evolution des paramètres physico-chimiques et hydriques d’un sol soumis à différentes doses de bentonite .Mém. Ing. INFSA. Mostaganem.pp.27-33.
- RUELLAN A., 1971-** Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes. Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la basse Moulouya.Maroc oriental . Th. Univ. Strasbourg. Mém. O.R.S.T.O.M., (54), 302 p.
- SILVER S., 1996** -Bacterial resistance to toxic metal ions – a review. *Gene* 179, 9–19.
- SANAA M. et OSWALD V.C., 1997** - Dynamique et bilan de l’azote d’un sol calcaire des régions semi- arides de Tunisie . *Cahiers Sécheresse* volume, 8, numéro 2 ,103-108.

- SAXENA N.P., SAXENA M.C., JOHANSEN C., VIRMANS S.M. et HARRIS.H., 1996** - Achapter from adaptation of chickpea in West Asia, North Africa Region. I.C.A.D.A. Aleppo. Syria, 89-99.
- SCHUBERT K.R., 1982** -The energetics of biological nitrogen fixation. American Society of plant physiologists. Workshop summaries I, 1-30.
- SMITH M.S., VARGO J.J., 1987**- Abatement of nitrate pollution in groundwater and surface runoff from cropland using legume cover crops with no-till corn. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan. 416 p.
- SOUBIES L., GADET R. et LENAIN M., 1961** - La productivité de l'azote appliqué sur le blé d'hiver et ses variations dans la région toulousaine .C.R.Acad.Agr., 458-463.
- SPRENT J.I. and SPRENT P., 1990** - Nitrgen fixing organismes , pure and applied aspect. Ed Chapman and Hall , New York, 229-234.
- STOPES C.E., 1987** - Nitrate leaching in organic ley/arable farming systems. New Farmer and Grower, (15), 22-23.
- TAUREAU J.C., 1987**- Approche de l'offre en azote du milieu par les expérimentations au champ. C.R.A.C.A.D.AGRIC.FR., 73, pp.81-90.
- TAZI A., 1988** - Influence de la bentonite utilisée comme amendement minérale sur le comportement du pois chiche cultivé sur un sol sableux . Thèse d'ingénieur Mostaganem, 37-45.
- TESSIER D., 2000** -Influence des minéraux argileux et des composés associés sur les propriétés physiques des sols. Symposium n°4.INRA.Science du sol, Versailles, France, 1-4.
- TOKARZ M. and SHABTAI J., 1985** -Cross-linked smectite.IV.Preparation and properties of hydroxylaluminium pillared Ce and La- montmorillonite and fluorinated NH<sub>4</sub>-Montmorillonite.*Clays and Clay Minerals* 33 (2), 89-98.
- TRIAT J.M., 1994a** - Origine de quelques dénominations d'argiles . Ed. Laboratoire Beaufour Paris, 60-62.
- TRIAT J.M., 1994b** - Approche minéralogique de l'argile .Edition *Laboratoire Beaufour* Paris, 46-59.
- TRUCHET G., PROME J.C. et DENARIE J., 1993** - Symbioses bactéries légumineuses. Un dialogue moléculaire». La recherche, 250, 92-94.
- USDA., 1993** -Soil survey manual . USDA Handbook, N°18, US Government Printing Office, Washington DC.
- VAN DAMME H., BERGAYA F. et GATINEAU L., 1987** - Contraintes structurales sur la réactivité dans les argiles et les solides très divisés .Jour. Chimie Physique 84 (9), 1075-1082.
- VAN DER MAESEN L.J.G., 1972** -*Cicer L.* amonograph of the genus with special reference to the chikpea (*Cicer arietinum l.*), its ecology and cultivation , Medlingen Land boriwhoge school Wageningen, Netherland, 10-72.
- VERTES.F., LAURENT.F., KERVEILLANT.P., LETERME.P., RECOUS.S., MARY.B., 2001**- Measurement of C and N mineralisation following grazed grassland destruction. 11<sup>th</sup> nitrogen workshop, INRA , Reims , pp. 431-432.

**VILAIN M ., 1987** - La production végétale, les composantes de la production .Ed. Lavoisier Paris, 95-97.

**WALDREN RP. and FLOWERDAY AD., 1979** - Growth stages and distribution of dry matter , N , P and K in winter wheat. Agron. Jour., 71 , 391-397.

**ZHANG Z.Q., LUO K. and GAO B.D., 1999** -Studies on the fermentative cultural condition of three bacteria for biological control of tobacco bacterial wilt. J. Hunan Agric. Univ. 25, 143–146.

# ANNEXES

## Annexe 1

OH	Ca <sup>++</sup> meq/l	Mg <sup>++</sup> meq/l	Na <sup>+</sup> meq/l	K <sup>+</sup> meq/l	Cl <sup>-</sup> meq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	CE Mmhos/cm	pH	SAR %	Classe de salinité	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
0	5.95	3.1	2.74	0.28	6.74	6.82	0.304	7.79	1.28	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	0

Tableau 1- Résultats de l'analyse chimique de l'eau d'irrigation

**DIAGRAMME LA CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION  
(USDA, 1993)**

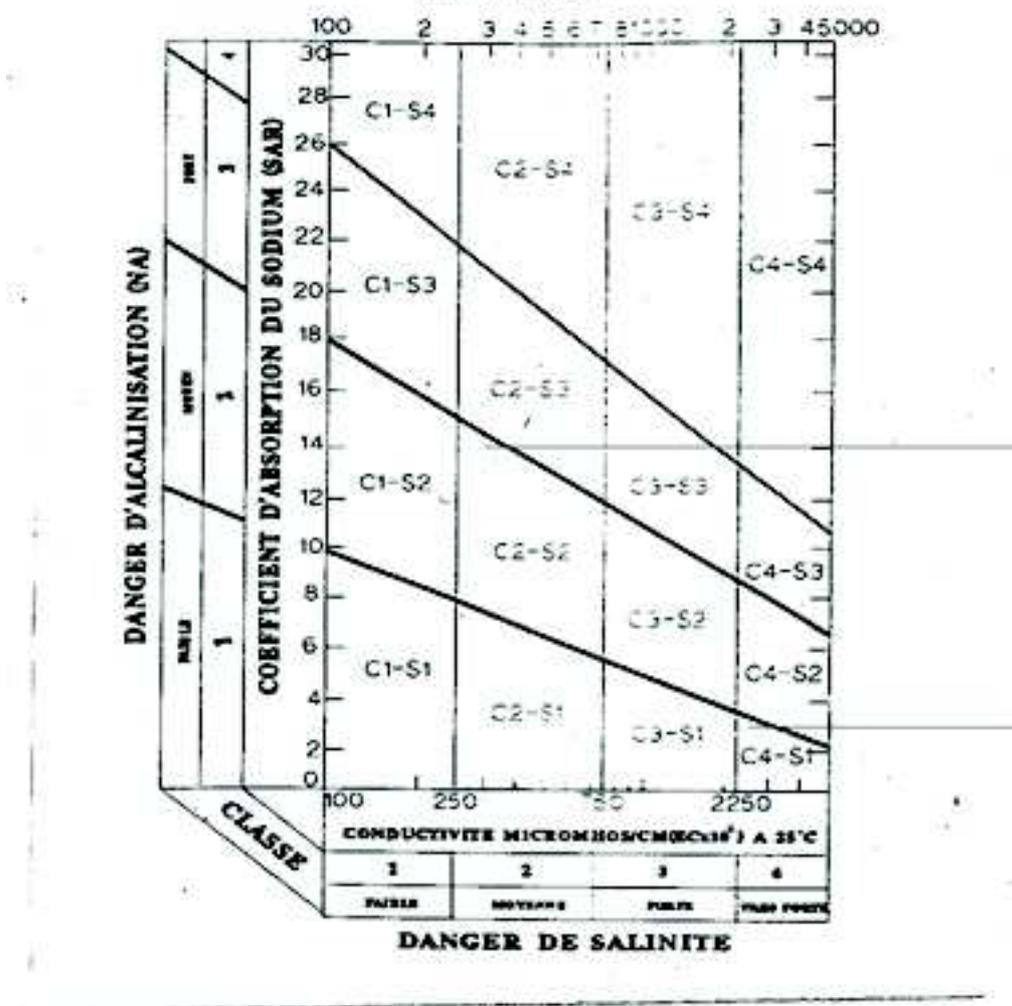


Figure 1

Doses (%)	N°échantillon	Répétitions N(%)	Moyenne N(%)	Moyenne N(‰)
0	01	0.07	0.06	0.6
	02	0.05		
2.5	03	0.055	0.05	0.5
	04	0.045		
5	05	0.05	0.048	0.48
	06	0.0475		
7	07	0.04	0.038	0.38
	08	0.0375		
10	09	0.05	0.045	0.45
	10	0.04		
12.5	11	0.03	0.032	0.32
	12	0.035		
15	13	0.04	0.045	0.45
	14	0.05		

*Tableau 2- Résultats de l'azote total du sol sans culture*

Doses (%)	N° échantillon	Na <sup>+</sup> (meq/100g)	moyenne	Ca <sup>++</sup> (meq/100g)	moyenne	K <sup>+</sup> (meq/100g)	moyenne	Mg <sup>++</sup> (meq/100g)	moyenne
0	01	0.395	0.43	4.1	4.1	4.84	4.76	0.2	0.16
	02	0.465		4.1		4.68		0.12	
2.5	03	1.72	1.79	5.01	4.73	4.36	4.27	0.36	0.33
	04	1.86		4.81		4.40		0.31	
	05	1.79		4.37		4.05		0.32	
5	06	2.58	2.6	6.23	6.13	3.47	3.55	0.5	0.5
	07	2.60		6.01		3.62		0.5	
	08	2.62		6.15		3.56		0.5	
7	09	3.35	3.3	8.47	8.4	3.17	3.11	0.55	0.58
	10	3.29		8.38		3.17		0.60	
	11	3.26		8.35		2.99		0.59	
10	12	3.6	3.59	10.2	10.2	2.7	2.70	0.65	0.66
	13	3.6		10.2		2.7		0.70	
	14	3.57		10.2		2.7		0.63	
12.5	15	4.77	4.92	12.00	11.86	1.99	2.11	0.73	0.75
	16	4.77		12.01		2.17		0.75	
	17	5.22		11.57		2.17		0.77	
15	18	5.48	5.56	13.75	13.8	1.58	1.64	0.88	0.83
	19	5.51		13.55		1.75		0.79	

*Tableau 3- Résultats des bases échangeables du sol sans culture*

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Doses (%)	N° Echantillon	Répétitions (%)	Moyenne Calcaire actif (%)
0	01	10.125	10.33
	02	10.375	
	03	10.625	
	04	10.375	
	05	10.0	
	06	10.5	
2.5	07	10.25	10.49
	08	10.5	
	09	10.5	
	10	10.75	
	11	10.625	
	12	10.375	
5	13	9.75	9.87
	14	10.0	
	15	9.875	
	16	9.75	
	17	10.125	
	18	9.75	
7	19	10.375	10.47
	20	10.625	
	21	10.5	
	22	10.75	
	23	10.25	
	24	10.375	
10	25	10.875	10.68
	26	10.75	
	27	10.875	
	28	10.5	
	29	10.75	
	30	10.375	
12.5	31	11.25	11.6
	32	11.0	
	33	11.0	
	34	11.125	
	35	10.875	
	36	11.125	
15	37	10.875	10.83
	38	10.625	
	39	10.875	
	40	11.0	
	41	10.75	
	42	10.875	

**Tableau 4 - Résultats du calcaire actif du sol sans culture**

Doses (%)	N° échantillon	C%	Moyenne C%	MO%	Moyenne MO%
0	01	0.337	0.4	0.58	0.69
	02	0.43		0.74	
	03	0.43		0.74	
	04	0.459		0.79	
	05	0.337		0.58	
	06	0.43		0.74	
2.5	07	0.459	0.47	0.79	0.82
	08	0.488		0.84	
	09	0.517		0.89	
	10	0.43		0.74	
	11	0.459		0.79	
	12	0.517		0.89	
5	13	0.488	0.50	0.84	0.86
	14	0.517		0.89	
	15	0.459		0.79	
	16	0.546		0.94	
	17	0.517		0.89	
	18	0.488		0.84	
7	19	0.517	0.55	0.89	0.95
	20	0.581		1	
	21	0.61		1.05	
	22	0.546		0.94	
	23	0.488		0.84	
	24	0.581		1	
10	25	0.581	0.60	1	1.03
	26	0.639		1.1	
	27	0.546		0.94	
	28	0.668		1.15	
	29	0.61		1.05	
	30	0.581		1	
12.5	31	0.546	0.49	0.94	0.84
	32	0.488		0.84	
	33	0.488		0.84	
	34	0.459		0.79	
	35	0.517		0.89	
	36	0.459		0.79	
15	37	0.43	0.46	0.74	0.79
	38	0.488		0.84	
	39	0.459		0.79	
	40	0.43		0.74	
	41	0.517		0.89	
	42	0.459		0.79	

**Tableau 5 - Résultats du carbone organique (%)  
et de la matière organique (%) du sol sans culture**

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Doses (%)	N° échantillon	CE (mmhos/cm)	Moyenne CE (mmhos/cm)
0	01	0.35	0.37
	02	0.37	
	03	0.41	
	04	0.39	
	05	0.37	
	06	0.38	
2.5	07	0.51	0.55
	08	0.54	
	09	0.58	
	10	0.55	
	11	0.57	
	12	0.59	
5	13	0.71	0.7
	14	0.69	
	15	0.68	
	16	0.69	
	17	0.72	
	23	0.79	
10	24	0.81	0.90
	25	0.93	
	26	0.91	
	27	0.89	
	28	0.90	
	29	0.92	
12.5	30	0.91	0.99
	31	0.99	
	32	1.01	
	33	1.02	
	34	1.00	
	35	0.99	
15	36	0.98	1.07
	37	1.08	
	38	1.09	
	39	1.07	
	40	1.08	
	41	1.07	
	42	1.06	

**Tableau 6 - Résultats de la conductivité électrique en mmhos/cm du sol sans culture.**

**Tableau 7- Résultats de l'analyse granulométrique du sol**

Doses (%)	argile	Limon fin (%)	Limon grossier (%)	Sable fin (%)	Sable grossier (%)	Total (%)
0	1.27	2.9	10.47	30.62	54.43	99.69
2.5	1.88	4.34	6.65	32.73	54.18	99.78
5	2.77	7.97	3.98	34.13	51.12	99.97
7	2.91	7.86	3.98	34.07	51.11	99.93
10	3.06	7.47	4.06	33.88	50.93	99.4
12.5	3.65	7.79	4.93	33.18	50.11	99.66
15	5.01	7.88	5.21	32.91	48.89	99.9

Doses (%)	N° échantillon	pH eau	Moyenne pH eau	pH KCl	Moyenne pH KCl
0	01	8.9	8.23	7.99	7.99
	02	8.12		8.00	
	03	8.1		7.98	
	04	8.2		8.01	
	05	8.2		7.99	
	06	8.12		7.99	
2.5	07	8.14	8.17	8.00	8.00
	08	8.19		8.00	
	09	8.18		7.99	
	10	8.21		8.01	
	11	8.1		8.01	
	12	8.22		8.00	
5	13	8.24	8.21	8.00	7.99
	14	8.23		8.01	
	15	8.19		8.00	
	16	8.2		7.99	
	17	8.23		8.01	
	18	8.21		7.99	
7	19	8.22	8.21	8.00	8.00
	20	8.23		8.00	
	21	8.23		8.01	
	22	8.21		8.00	
	23	8.19		7.99	
	24	8.2		8.01	
10	25	8.24	8.23	8.01	7.99
	26	8.22		8.00	
	27	8.23		7.99	
	28	8.22		8.00	
	29	8.25		8.00	
	30	8.23		8.00	
12.5	31	8.26	8.25	8.02	8.00
	32	8.25		8.00	
	33	8.25		7.99	
	34	8.24		8.01	
	35	8.26		8.00	
	36	8.27		8.01	
15	37	8.29	8.28	8.00	7.99
	38	8.3		8.00	
	39	8.28		7.99	
	40	8.29		8.00	
	41	8.28		7.99	
	42	8.29		7.99	

**Tableau 8** – Résultats du pH eau et pH KCl du sol sans culture.

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Doses (%)	N° échantillon	V (ml)	% CaCO <sub>3</sub>	Moyenne CaCO <sub>3</sub>
0	01	73	30.4	30.47
	02	75	31.25	
	03	72	30	
	04	75	31.25	
	05	73	30.41	
	06	71	29.58	
2.5	07	75	31.25	32.00
	08	77	32.08	
	09	76	31.66	
	10	75	31.25	
	11	80	33.33	
	12	78	32.50	
5	13	76	31.66	32.14
	14	78	32.50	
	15	75	31.25	
	16	77	32.08	
	17	78	32.50	
	18	79	32.91	
7	19	78	32.50	32.98
	20	80	33.33	
	21	79	32.91	
	22	78	32.50	
	23	81	33.75	
	24	79	32.91	
10	25	82	34.16	33.81
	26	80	33.33	
	27	79	32.91	
	28	81	33.75	
	29	82	34.16	
	30	83	34.58	
12.5	31	79	32.91	32.91
	32	81	33.75	
	33	80	33.33	
	34	78	32.50	
	35	77	32.08	
	36	79	32.91	
15	37	79	32.91	32.91
	38	77	32.08	
	39	80	33.33	
	40	78	32.50	
	41	79	32.91	
	42	81	33.75	

**Tableau 9 – Résultats du calcaire total du sol sans culture**

Doses (%)	N° échantillon	Répétitions P2O5(%)	Moyenne P2O5(%)
0	01	2	2.08
	02	2	
	03	2.25	
	04	2.125	
	05	2	
	06	2.125	
2.5	07	2.25	2.20
	08	2.125	
	09	2.125	
	10	2.25	
	11	2.25	
	12	2.25	
5	13	3.87	3.87
	14	3.625	
	15	4	
	16	4.125	
	17	3.87	
	18	3.75	
7	19	4.125	4.05
	09	2.125	
	10	2.25	
	11	2.25	
	12	2.25	
	13	3.87	
5	14	3.625	3.87
	15	4	
	16	4.125	
	17	3.87	
	18	3.75	
	19	4.125	
7	20	4	4.05
	22	4.125	
	23	4.125	
	24	4	
	25	2.5	
	26	2.375	
10	27	2.5	2.47
	28	2.75	
	29	2.375	
	30	2.375	
	31	2.75	
	32	2.75	
12.5	33	2.5	2.79
	34	3	
	35	2.75	
	36	3	
	37	2.75	
	38	3	
15	39	2.75	2.78
	40	3	
	41	2.75	
	42	2.5	

*Tableau 10 - Résultats du phosphore assimilable du sol sans culture (P2O5‰)*

## Annexe 2

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions Ca <sup>++</sup>	Répétitions Mg <sup>++</sup>	Moyenne Ca <sup>++</sup>	Moyenne Mg <sup>++</sup>
0	Blé	01	0.0559	0.04603	0.053	0.045
		02	0.0526	0.0453		
		03	0.05	0.04423		
	Pois-chiche	04	0.0535	0.0429	0.053	0.042
		05	0.0523	0.0429		
		06	0.0532	0.04187		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.051	0.04283	0.053	0.043
		08	0.05	0.04289		
		09	0.05	0.04399		
7	Blé	10	0.0398	0.02283	0.038	0.023
		11	0.0373	0.02296		
		12	0.0369	0.0239		
	Pois-chiche	13	0.0392	0.0233	0.038	0.021
		14	0.042	0.0215		
		15	0.032	0.02		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.0373	0.0197	0.038	0.017
		17	0.04	0.0164		
		18	0.037	0.0157		
10	Blé	19	0.028	0.0187	0.028	0.019
		20	0.028	0.0194		
		21	0.028	0.0193		
	Pois-chiche	22	0.029	0.0217	0.030	0.019
		23	0.032	0.01788		
		24	0.029	0.01788		
	Blé+ Pois-chiche	25	0.027	0.0157	0.030	0.015
		26	0.036	0.0162		
		27	0.027	0.0157		

**Tableau 11** - Résultats de la teneur en calcium et magnésium échangeables après drainage ( $\text{meq.l}^{-1}$ ) du sol au stade levée

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions Ca <sup>++</sup>	Répétitions Mg <sup>++</sup>	Moyenne Ca <sup>++</sup>	Moyenne Mg <sup>++</sup>
0	Blé	01	0.0528	0.0454	0.05	0.045
		02	0.046	0.04555		
		03	0.0524	0.04552		
	Pois-chiche	04	0.055	0.0459	0.053	0.045
		05	0.043	0.0451		
		06	0.062	0.0458		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.03	0.0456	0.032	0.044
		08	0.036	0.0442		
		09	0.03	0.0435		
7	Blé	10	0.03	0.0235	0.035	0.021
		11	0.037	0.0216		
		12	0.038	0.0198		
	Pois-chiche	13	0.038	0.0183	0.036	0.020
		14	0.036	0.0229		
		15	0.035	0.0188		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.02	0.0176	0.021	0.018
		17	0.025	0.0176		
		18	0.02	0.0195		
10	Blé	19	0.02	0.0202	0.021	0.019
		20	0.019	0.0183		
		21	0.024	0.0201		
	Pois-chiche	22	0.02	0.0192	0.021	0.019
		23	0.024	0.02		
		24	0.02	0.0191		
	Blé+ Pois-chiche	25	0.015	0.0171	0.015	0.016
		26	0.015	0.0158		
		27	0.015	0.0158		

**Tableau 12** - Résultats de la teneur en calcium et magnésium échangeables après drainage ( $\text{meq.l}^{-1}$ ) du sol au stade tallage

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions Ca <sup>++</sup>	Répétitions Mg <sup>++</sup>	Moyenne Ca <sup>++</sup>	Moyenne Mg <sup>++</sup>
0	Blé	01	0.043	0.046	0.042	0.046
		02	0.038	0.046		
		03	0.045	0.046		
	Pois-chiche	04	0.043	0.0459	0.042	0.0461
		05	0.039	0.0456		
		06	0.044	0.0468		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.03	0.0453	0.027	0.044
		08	0.024	0.045		
		09	0.027	0.0431		
7	Blé	10	0.03	0.02	0.030	0.02
		11	0.03	0.02		
		12	0.03	0.02		
	Pois-chiche	13	0.033	0.022	0.032	0.021
		14	0.03	0.0215		
		15	0.033	0.02		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.022	0.0174	0.020	0.016
		17	0.016	0.0157		
		18	0.022	0.0155		
10	Blé	19	0.0175	0.028	0.017	0.026
		20	0.0175	0.024		
		21	0.0175	0.026		
	Pois-chiche	22	0.0148	0.035	0.016	0.036
		23	0.0159	0.038		
		24	0.0174	0.035		
	Blé+ Pois-chiche	25	0.0144	0.0225	0.014	0.021
		26	0.0147	0.0214		
		27	0.0144	0.0208		

**Tableau 13** - Résultats de la teneur en calcium et magnésium échangeables après drainage ( $\text{meq.l}^{-1}$ ) du sol au stade montaison

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions Ca <sup>++</sup>	Répétitions Mg <sup>++</sup>	Moyenne Ca <sup>++</sup>	Moyenne Mg <sup>++</sup>
0	Blé	01	0.2434	0.2437	0.25	0.22
		02	0.2653	0.2192		
		03	0.2497	0.207		
	Pois-chiche	04	0.2767	0.197	0.25	0.22
		05	0.2692	0.2237		
		06	0.212	0.238		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.328	0.2791	0.3	0.24
		08	0.337	0.2579		
		09	0.237	0.1971		
7	Blé	10	0.382	0.3134	0.37	0.29
		11	0.379	0.3096		
		12	0.359	0.2634		
	Pois-chiche	13	0.397	0.2812	0.41	0.29
		14	0.429	0.2774		
		15	0.407	0.3109		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.4656	0.3314	0.44	0.32
		17	0.44583	0.3167		
		18	0.426	0.314		
10	Blé	19	0.48867	0.3614	0.49	0.35
		20	0.498	0.3634		
		21	0.48667	0.336		
	Pois-chiche	22	0.4883	0.3776	0.48	0.35
		23	0.4795	0.3398		
		24	0.4834	0.3397		
	Blé+ Pois-chiche	25	0.6834	0.4086	0.65	0.38
		26	0.6497	0.3775		
		27	0.6215	0.3715		

**Tableau 14** - Résultats de la teneur en calcium et magnésium échangeables avant drainage ( $\text{meq.l}^{-1}$ ) du sol au stade levée

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions Ca <sup>++</sup>	Répétitions Mg <sup>++</sup>	Moyenne Ca <sup>++</sup>	Moyenne Mg <sup>++</sup>
0	Blé	01	0.1	0.166	0.1	0.16
		02	0.11	0.173		
		03	0.11	0.1593		
	Pois-chiche	04	0.12	0.153	0.11	0.16
		05	0.11	0.1787		
		06	0.11	0.153		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.176	0.1872	0.15	0.16
		08	0.139	0.144		
		09	0.137	0.159		
7	Blé	10	0.2683	0.3486	0.275	0.31
		11	0.2687	0.30633		
		12	0.2897	0.281		
	Pois-chiche	13	0.2673	0.2872	0.276	0.27
		14	0.2917	0.2646		
		15	0.2691	0.2572		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.3536	0.3226	0.33	0.29
		17	0.3583	0.2816		
		18	0.2978	0.2816		
10	Blé	19	0.4418	0.4156	0.451	0.41
		20	0.4615	0.4126		
		21	0.4498	0.4151		
	Pois-chiche	22	0.4693	0.3953	0.458	0.38
		23	0.4701	0.3987		
		24	0.4351	0.366		
	Blé+ Pois-chiche	25	0.4964	0.4547	0.47	0.43
		26	0.4668	0.41986		
		27	0.4493	0.41973		

**Tableau 15** - Résultats de la teneur en calcium et magnésium échangeables avant drainage (meq.l<sup>-1</sup>) du sol au stade tallage

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions Ca <sup>++</sup>	Répétitions Mg <sup>++</sup>	Moyenne Ca <sup>++</sup>	Moyenne Mg <sup>++</sup>
0	Blé	01	0.235	0.178	0.22	0.16
		02	0.239	0.158		
		03	0.184	0.155		
	Pois-chiche	04	0.2135	0.173	0.22	0.16
		05	0.2137	0.167		
		06	0.236	0.159		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.243	0.172	0.22	0.16
		08	0.2253	0.168		
		09	0.201	0.155		
7	Blé	10	0.356	0.3501	0.34	0.34
		11	0.337	0.3573		
		12	0.337	0.3323		
	Pois-chiche	13	0.3554	0.2997	0.34	0.32
		14	0.3523	0.3291		
		15	0.327	0.3383		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.3756	0.3697	0.36	0.37
		17	0.3665	0.3671		
		18	0.3599	0.3793		
10	Blé	19	0.4815	0.429	0.47	0.41
		20	0.4857	0.4028		
		21	0.4637	0.4033		
	Pois-chiche	22	0.4664	0.409	0.47	0.39
		23	0.4867	0.391		
		24	0.4637	0.3899		
	Blé+ Pois-chiche	25	0.5231	0.452	0.52	0.43
		26	0.5457	0.428		
		27	0.5111	0.419		

**Tableau 16** - Résultats de la teneur en calcium et magnésium échangeables avant drainage ( $\text{meq.l}^{-1}$ ) du sol au stade montaison

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions hauteur de la tige	Répétitions surface foliaire	Moyenne de la hauteur de la tige	Moyenne de la surface foliaire
0	Blé	01	2	4.31	1.55	3.75
		02	1.1	3.8		
		03	1	3.21		
		04	2.1	3.68		
	Blé+ Pois-chiche	05	1.8	3.36	1.60	3.84
		06	1.5	4.64		
		07	1.2	3.44		
		08	1.9	3.92		
10	Blé	09	2.2	4.11	1.65	3.94
		10	1.3	3.7		
		11	1.1	3.99		
		12	2	3.96		
	Blé+ Pois-chiche	13	1.8	4.24	1.68	3.97
		14	1.5	3.92		
		15	1.3	3.77		
		16	2.1	3.95		

**Tableau 17** - Résultats de la hauteur de la tige et de la surface foliaire de la plante au stade levée

Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions hauteur de la tige	Répétitions surface foliaire	Moyenne de la hauteur de la tige	Moyenne de la surface foliaire
0	Blé	01	3.3	8.92	2.80	7.86
		02	2.6	7.48		
		03	3.1	7.61		
		04	2.2	7.43		
	Blé+ Pois-chiche	05	3	8.55	2.83	8.07
		06	3.1	7.71		
		07	2.5	8.39		
		08	2.7	7.63		
10	Blé	09	3.3	8.29	2.90	8.21
		10	3	7.81		
		11	2.9	8.64		
		12	2.4	8.09		
	Blé+ Pois-chiche	13	3.1	8.79	2.93	8.34
		14	3	7.81		
		15	3.1	8.45		
		16	2.5	8.29		

**Tableau 18** - Résultats de la hauteur de la tige et de la surface foliaire de la plante au stade deux feuilles

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions hauteur de la tige	Répétitions surface foliaire	Moyenne de la hauteur de la tige	Moyenne de la surface foliaire
0	Blé	01	4.1	13.3	3.53	12
		02	3.1	11.96		
		03	3.8	11.33		
		04	3.1	11.42		
	Blé+ Pois-chiche	05	3.9	13.25	3.55	12.34
		06	3.8	12.71		
		07	3.2	11.58		
		08	3.3	11.82		
10	Blé	09	4.1	12.78	3.63	12.42
		10	3.4	12.31		
		11	3.9	12.19		
		12	3.1	12.4		
	Blé+ Pois-chiche	13	3.9	13.25	3.65	12.76
		14	3.4	12.9		
		15	4.2	12.34		
		16	3.1	12.53		

**Tableau 19** - Résultats de la hauteur de la tige et de la surface foliaire de la plante au stade trois feuilles

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions hauteur de la tige	Répétitions surface foliaire	Moyenne de la hauteur de la tige	Moyenne de la surface foliaire
0	Blé	01	5.2	17.9	4.65	16.15
		02	4.1	16.16		
		03	5	15.28		
		04	4.3	15.27		
	Blé+ Pois-chiche	05	5.4	17.69	4.70	16.69
		06	4.8	16.94		
		07	4.3	16.35		
		08	4.3	15.77		
10	Blé	09	5	17.28	4.70	16.82
		10	4.7	16.63		
		11	4.8	16.59		
		12	4.3	16.78		
	Blé+ Pois-chiche	13	4.8	17.95	4.75	17.55
		14	4.9	17.8		
		15	5.1	17.24		
		16	4.2	17.21		

**Tableau 20** - Résultats de la hauteur de la tige et de la surface foliaire de la plante au stade de début de tallage

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%	Moyenne N‰
0	Blé	01	0.004	0,0008	0,008
		02	0.01		
		03	0.01		
	Pois-chiche	04	0.01	0,001	0,01
		05	0.01		
		06	0.01		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.015	0,0014	0,014
		08	0.015		
		09	0.012		
10	Blé	10	0.01	0,001	0,01
		11	0.01		
		12	0.01		
	Pois-chiche	13	0.015	0,0014	0,014
		14	0.012		
		15	0.015		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.014	0,0018	0,018
		17	0.02		
		18	0.02		

**Tableau 21** - Résultats de la teneur en azote assimilable du sol au stade une feuille

Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%	Moyenne N‰
0	Blé	01	0.01	0.001	0.01
		02	0.01		
		03	0.01		
	Pois-chiche	04	0.01	0.0012	0.012
		05	0.01		
		06	0.016		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.02	0.002	0.02
		08	0.02		
		09	0.02		
10	Blé	10		0.0016	0.016
		11	0.017		
		12	0.015		
	Pois-chiche	13	0.02	0.0018	0.018
		14	0.014		
		15	0.02		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.026	0.0028	0.028
		17	0.026		
		18	0.032		

Tableau 22 - Résultats de la teneur en azote assimilable du sol au stade deux feuilles

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%	Moyenne N‰
0	Blé	01	0.02	0.0015	0.015
		02	0.005		
		03	0.02		
	Pois-chiche	04	0.04	0.0035	0.035
		05	0.04		
		06	0.025		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.05	0.004	0.04
		08	0.04		
		09	0.03		
10	Blé	10	0.02	0.002	0.02
		11	0.02		
		12	0.02		
	Pois-chiche	13	0.04	0.0045	0.045
		14	0.04		
		15	0.055		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.05	0.005	0.05
		17	0.05		
		18	0.05		

Tableau 23 - Résultats de la teneur en azote assimilable du sol au stade trois feuilles

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%	Moyenne N‰
0	Blé	01	0.01	0.001	0.01
		02	0.01		
		03	0.01		
	Pois-chiche	04	0.05	0.005	0.05
		05	0.06		
		06	0.04		
	Blé+ Pois-chiche	07	0.07	0.006	0.06
		08	0.07		
		09	0.06		
10	Blé	10	0.03	0.003	0.03
		11	0.02		
		12	0.04		
	Pois-chiche	13	0.06	0.007	0.07
		14	0.08		
		15	0.07		
	Blé+ Pois-chiche	16	0.07	0.009	0.09
		17	0.1		
		18	0.1		

**Tableau 24** - Résultats de la teneur en azote assimilable du sol au stade début de tallage

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%
0	Blé	01	0.05	0.05
		02	0.05	
		03	0.05	
	Blé+ Pois-chiche	04	0.05	0.05
		05	0.05	
		06	0.05	
10	Blé	07	0.05	0.08
		08	0.1	
		09	0.1	
	Blé+ Pois-chiche	10	0.05	0.08
		11	0.1	
		12	0.1	

**Tableau 25** - Résultats de la teneur en azote de la plante au stade une feuille

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%
0	Blé	01	0.05	0.07
		02	0.1	
		03	0.05	
	Blé+ Pois-chiche	04	0.1	0.07
		05	0.05	
		06	0.05	
10	Blé	07	0.1	0.12
		08	0.1	
		09	0.15	
	Blé+ Pois-chiche	10	0.1	0.12
		11	0.1	
		12	0.15	

Tableau 26 - Résultats de la teneur en azote de la plante au stade deux feuilles

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%
0	Blé	01	0.05	0.08
		02	0.075	
		03	0.1	
	Blé+ Pois-chiche	04	0.1	0.10
		05	0.1	
		06	0.1	
10	Blé	07	0.15	0.15
		08	0.15	
		09	0.15	
	Blé+ Pois-chiche	10	0.15	0.17
		11	0.2	
		12	0.15	

Tableau 27 - Résultats de la teneur en azote de la plante au stade trois feuilles

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%
0	Blé	01	0.05	0.09
		02	0.1	
		03	0.125	
	Blé+ Pois-chiche	04	0.125	0.12
		05	0.125	
		06	0.1	
10	Blé	07	0.15	0.16
		08	0.125	
		09	0.2	
	Blé+ Pois-chiche	10	0.25	0.23
		11	0.25	
		12	0.2	

Tableau 28 - Résultats de la teneur en azote de la plante au stade début de tallage

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%	Moyenne N‰
0	Pois-chiche	01	0.18	0.022	0.22
		02	0.22		
	Blé	03	0.22	0.020	0.20
		04	0.22		
	Blé+ Pois-chiche	05	0.2	0.020	0.20
		06	0.2		
7	Pois-chiche	07	0.44	0.048	0.48
		08	0.48		
	Blé	09	0.5	0.046	0.46
		10	0.46		
	Blé+ Pois-chiche	11	0.48	0.048	0.48
		12	0.48		
10	Pois-chiche	13	0.56	0.058	0.58
		14	0.52		
	Blé	15	0.56	0.054	0.54
		16	0.6		
	Blé+ Pois-chiche	17	0.56	0.056	0.56
		18	0.56		

**Tableau 29** - Résultats de la teneur en azote total du sol au stade levée

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%	Moyenne N‰
0	Pois-chiche	01	0.18	0.024	0.24
		02	0.18		
	Blé	03	0.26	0.018	0.18
		04	0.22		
	Blé+ Pois-chiche	05	0.22	0.020	0.20
		06	0.18		
7	Pois-chiche	07	0.48	0.052	0.52
		08	0.48		
	Blé	09	0.5	0.048	0.48
		10	0.54		
	Blé+ Pois-chiche	11	0.52	0.050	0.50
		12	0.48		
10	Pois-chiche	13	0.58	0.064	0.64
		14	0.58		
	Blé	15	0.62	0.058	0.58
		16	0.66		
	Blé+ Pois-chiche	17	0.64	0.062	0.62
		18	0.6		

**Tableau 30** - Résultats de la teneur en azote total du sol au stade végétatif pour le pois chiche et tallage pour le blé

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions	Moyenne N%	Moyenne N‰
0	Pois-chiche	01	0.12	0.020	0.20
		02	0.16		
	Blé	03	0.22	0.014	0.14
		04	0.18		
	Blé+ Pois-chiche	05	0.14	0.014	0.14
		06	0.14		
7	Pois-chiche	07	0.42	0.048	0.48
		08	0.46		
	Blé	09	0.46	0.044	0.44
		10	0.5		
	Blé+ Pois-chiche	11	0.48	0.046	0.46
		12	0.44		
10	Pois-chiche	13	0.56	0.062	0.62
		14	0.52		
	Blé	15	0.62	0.054	0.54
		16	0.62		
	Blé+ Pois-chiche	17	0.56	0.058	0.58
		18	0.6		

**Tableau 31** - Résultats de la teneur en azote total du sol au stade début floraison pour le pois chiche et montaison pour le blé.

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions (x10 <sup>00</sup> )	Moyenne (x10 <sup>00</sup> )
0	Blé	01	72	78.6
		02	76	
		03	88	
	Pois-chiche	04	96	100
		05	104	
		06	100	
	Blé+ Pois-chiche	07	92	98.6
		08	96	
		09	108	
7	Blé	10	96	117.3
		11	116	
		12	140	
	Pois-chiche	13	264	257.6
		14	244	
		15	265	
	Blé+ Pois-chiche	16	216	205.3
		17	204	
		18	196	
10	Blé	19	184	172
		20	176	
		21	156	
	Pois-chiche	22	360	348
		23	388	
		24	296	
	Blé+ Pois-chiche	25	324	343.3
		26	302	
		27	404	

**Tableau 32** - Résultats du nombre de germes /1g sol sec du sol au stade levée

Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions (x10 <sup>6</sup> )	Moyenne (x10 <sup>6</sup> )
0	Blé	01	76	109.3
		02	96	
		03	156	
	Pois-chiche	04	196	192
		05	120	
		06	260	
	Blé+ Pois-chiche	07	204	214.6
		08	224	
		09	216	
7	Blé	10	208	202.6
		11	204	
		12	196	
	Pois-chiche	13	420	378.6
		14	328	
		15	388	
	Blé+ Pois-chiche	16	436	353.3
		17	296	
		18	328	
10	Blé	19	214	218
		20	216	
		21	224	
	Pois-chiche	22	432	420
		23	436	
		24	392	
	Blé+ Pois-chiche	25	388	402.6
		26	392	
		27	428	

Tableau 33 - Résultats du nombre de germes /1g sol sec du sol au stade de tallage

Doses de bentonite (%)	cultures	N° échantillon	Répétitions (x10 <sup>00</sup> )	Moyenne (x10 <sup>00</sup> )
0	Blé	01	196	162.6
		02	116	
		03	176	
	Pois-chiche	04	228	224
		05	296	
		06	148	
	Blé+ Pois-chiche	07	236	265.3
		08	316	
		09	244	
7	Blé	10	224	241.3
		11	296	
		12	204	
	Pois-chiche	13	498	462
		14	432	
		15	456	
	Blé+ Pois-chiche	16	504	436
		17	408	
		18	396	
10	Blé	19	356	342.6
		20	364	
		21	308	
	Pois-chiche	22	508	497.3
		23	488	
		24	496	
	Blé+ Pois-chiche	25	496	509.3
		26	508	
		27	524	

**Tableau 34** - Résultats du nombre de germes /1g sol sec du sol au stade de montaison

## Annexe 3

### Analysedela variance

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	0.000067	5					
Blocs	0.000049	2	0.0000245	24.5	19	99.10	S
Traitements	0.000016	1	0.000016	16	18.51	98.49	NS
erreur	0.00002	2	0.000001				

**Tableau 35** - Analyse de la variance de l'azote assimilable (‰) au stade une feuille.

**Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche**

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	0.000205	5					
Blocs	0.000137	2	0.0000685	68.5	19	99.10	S
Traitements	0.000066	1	0.000066	66	18.51	98.49	S
erreur	0.000002	2	0.000001				

**Tableau 36** - Analyse de la variance de l'azote assimilable (‰) au stade deux feuilles.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	0.00097	5					
Blocs	0.00086	2	0.00043	86	19	99.10	S
Traitements	0.0001	1	0.0001	20	18.51	98.49	S
erreur	0.00001	2	0.000005				

**Tableau 37** - Analyse de la variance de l'azote assimilable (‰) au stade trois feuilles.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	0.00475	5					
Blocs	0.0043	2	0.00215	107.5	19	99.10	HS
Traitements	0.00041	1	0.00041	20.5	18.51	98.49	S
erreur	0.00004	2	0.00002				

**Tableau 38** - Analyse de la variance de l'azote assimilable (‰) au stade début de tallage.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	0.2048	8					
Blocs	0.00106	2	0.00053	7.91	6.94	18.00	*
Traitements	0.20346	2	0.10173	1518.3	6.94	18.00	**
erreur	0.00027	4	0.000067				

Cv = 1.98%

**Tableau 39** - Analyse de la variance de l'azote total (‰) au stade levée.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	0.26880	8					
Blocs	0.00426	2	0.00213	30.43	6.94	18.00	**
Traitements	0.26426	2	0.13213	1887.57	6.94	18.00	**
erreur	0.00028	4	0.00007				

Cv= 1.90%

**Tableau 40** - Analyse de la variance de l'azote total (‰) au stade végétatif pour le pois chiche et tallage pour le blé.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	0.2688	8					
Blocs	0.00426	2	0.00213	30.43	6.94	18.00	**
Traitements	0.26426	2	0.13213	1887.57	6.94	18.00	**
erreur	0.00028	4	0.00007				

**Tableau 41** - Analyse de la variance de l'azote total (‰) au stade de début floraison pour le pois chiche et montaison pour le blé.

Origine de la fluctuation	S.C	D.D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	68474.67	8	8559.33				
Blocs	153.55	2	76.78	0.11	6.94	18.00	N S
Variétés	65446.89	2	32723.44	45.54	6.94	18.00	**
<b>Erreur variétés</b>	2874.22	4	718.55				
traitements	17292599	2	86462.99	116.71	4.46	8.65	**
Interaction V.T	26613.78	4	6653.44	8.98	3.84	7.01	**
Erreur traitement	889022	12	740.85				

Cv variété = 14.00% Cv traitement = 14.22%

**Tableau 42** - Analyse de la variance du bilan bactériologique au stade levée.

Origine de la fluctuation	S.C	D.D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	144655.41	8	1808.93				
Blocs	5370.96	2	2685.48	2.92	6.94	18.00	N S
Variétés	135600.29	2	67800.15	73.61	6.94	18.00	**
<b>Erreur variétés</b>	3684.15	4	921.04				
traitements	153930.96	2	76965.48	42.27	4.46	8.65	**
Interaction V.T	12366.81	4	3091.70	1.70	3.84	7.01	N S
Erreur traitement	21848.89	12	1820.74				

Cv variété = 10.9% Cv traitement = 15.14%

**Tableau 43** - Analyse de la variance du bilan bactériologique au stade végétatif pour le pois chiche et tallage pour le blé.

Effet de la bentonite sur les sols sableux de la région de Mostaganem, étude de comportement d'une association blé pois chiche

Origine de la fluctuation	S.C	D.D.L	Variance	F calculé	F. Théorique		Sign
					5%	1%	
Total	141912.41	8	17739.04				
Blocs	5959.41	2	2979.70	31.43	6.94	18.00	N S
Variétés	135573.63	2	67786.82	714.94	6.94	18.00	** *
<b>Erreur variétés</b>	379.26	4	94.81				
traitements	255955.85	2	127977.93	54.19	54.19	8.65	** *
Interaction V. T	19545.48	4	4886.37	2.01	2.07	7.01	** *
Erreur traitement	28341.33	12	2361.78				

Cv variété = 2.80% Cv traitement = 13.93%

**Tableau 44** - Analyse de la variance du bilan bactériologique au stade de début floraison pour le pois chiche et montaison pour le blé.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F. Théorique		Sign
					5%	1%	
Total	2.49	15					
Blocs	0.035	3	0.01167	0.375	3.86	6.99	NS
Traitements	2.175	3	0.725	23.31	3.86	6.99	***
erreur	0.480	9	0.0311				

Cv=10.85%

**Tableau 45** - Analyse de la variance de la hauteur moyenne de la tige austade levée.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F. Théorique		Sign
					5%	1%	
Total	1.6675	15					
Blocs	0.0425	3	0.0142	0.217	3.86	6.99	NS
Traitements	1.0475	3	0.3492	5.34	3.86	6.99	***
erreur	0.58875	9	0.06542				

Cv=8.93%

**Tableau 46** - Analyse de la variance de la hauteur moyenne de la tige au stade deux feuilles.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F. Théorique		Sign
					5%	1%	
Total	2.5375	15					
Blocs	0.0425	3	0.01417	0.159	3.86	6.99	NS
Traitements	1.6925	3	0.56417	6.327	3.86	6.99	***
erreur	0.8025	9	0.08917				

Cv=8.32%

**Tableau 47** - Analyse de la variance de la hauteur moyenne de la tige au stade trois feuilles.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	2.1975	15					
Blocs	0.0725	3	0.0242	0.25	3.86	6.99	NS
Traitements	1.2725	3	0.424	4.47	3.86	6.99	**
erreur	0.8525	9	0.0947				

Cv=6.49%

**Tableau 48** - Analyse de la variance de la hauteur moyenne de la tige au stade début de tallage.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	3.443	15					
Blocs	0.092	3	0.029	0.156	3.86	6.99	NS
Traitements	2.391	3	0.648	4.08	3.86	6.99	**
erreur	0.962	9	0.1586				

Cv=5%

**Tableau 49** - Analyse de la variance de la surface foliaire au stade levée.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	3.5243	15					
Blocs	0.4873	3	0.1624	2.49	3.86	6.99	NS
Traitements	2.4612	3	0.8024	12.02	3.86	6.99	***
erreur	0.5858	9	0.051				

Cv=3.14%

**Tableau 50** - Analyse de la variance de la surface foliaire au stade deux feuilles.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	6.1191	15					
Blocs	1.1453	3	0.3818	3.93	3.86	6.99	**
Traitements	3.9105	3	1.3035	6.82	3.86	6.99	***
erreur	1.0633	9	0.1181				

Cv=2.78%

**Tableau 51** - Analyse de la variance de la surface foliaire au stade trois feuilles.

Origine de la fluctuation	s.c	D.L	Variance	F calculé	F.Thérique		Sign
					5%	1%	
Total	11.3339	15					
Blocs	3.97915	3	1.3264	8.76	3.86	6.99	**
Traitements	5.99185	3	1.9973	13.19	3.86	6.99	***
erreur	1.3629	9	0.1514				

Cv=2.31%

**Tableau 52** - Analyse de la variance de la surface foliaire au stade début de tallage.

a) La parcelle A : (Blé + Pois-chiche):

N° de parcelle	X	X'
A <sub>1</sub>	50,800	6,1
A <sub>2</sub>	53,200	6,2
A <sub>3</sub>	53,700	6
	X <sub>A</sub> =52,56	X' <sub>A</sub> =6,1

**Tableau 53** - La moyenne de la hauteur de tige et la moyenne du nombre d'épis par plant de chaque parcelle.

b) La parcelle B: (Blé dur):

N° de parcelle	y	y'
B <sub>1</sub>	41,800	2,6
B <sub>2</sub>	41	2,8
B <sub>3</sub>	41,400	2,9
	X <sub>B</sub> =41,4	X' <sub>B</sub> = 2,76

c) La hauteur de la tige

	Parcelle A	Parcelle B
La moyenne	52,56	41,4
La variance	12,178	6,153
L'écart type	3,489	2,480
X <sub>A</sub> - X <sub>B</sub>	11,16	

ppds Student = 1,54

|X<sub>A</sub> - X<sub>B</sub>| > ppds Student : il y a une grande différence.

X<sub>A</sub> : La moyenne de la hauteur de la tige de la plante du blé dur de la parcelle

X<sub>A</sub>' : La moyenne du nombre d'épis de la parcelle A.

X<sub>B</sub> : La moyenne de la hauteur de la tige de la plante du blé de la parcelle B.

X<sub>B</sub>' : la moyenne du nombre d'épis de la parcelle B.

d) Le nombre d'épis par plante :

	Parcelle A	Parcelle B
<b>La moyenne</b>	<b>6,1</b>	<b>2,76</b>
<b>La variance</b>	<b>0,53</b>	<b>0,51</b>
<b>L'écart type</b>	<b>0,73</b>	<b>0,71</b>
$ \bar{X}_A - \bar{X}_B $	<b>0,025</b>	

ppds Student = 0,36

$|\bar{X}_A - \bar{X}_B| = \text{ppds Student}$  : Il n'y a pas de différence.

	Parcelle A	Parcelle B
Moyenne	8,18	5,17
Variance	0,086	0,027
L'écart type	0,29	0,16
$ \bar{X}_A - \bar{X}_B $	3,01	

ppds Student = 0,0075.

$|\bar{X}_A - \bar{X}_B| > \text{ppds Student}$  : Il y a une différence.

**Tableau 54** - Le rendement en qx par hectare