

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1

Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département des Sciences Agronomiques N°.../SNV/2013

MÉMOIRE

Présenté par: GUETTAR FOUZIA

Pour obtenir le diplôme de **Magister**

Option: **Production Végétale et Agriculture de Conservation**

THÈME

INFLUENCE DES APPORTS DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LA STABILITE STRUCTURALE ET LA FERTILITE DES SOLS DANS LE CADRE DE L'AGRICULTURE DE CONSERVATION DANS LA PLAINE D'ANNABA

Soutenu publiquement le/.../...

DEVANT LE JURY

Président H. LAOUER

Rapporteur M. FENNI

Examineur M. HAFSI

Examinatrice H. CHENNAFI

Pr. FAC SNV. UFA. Sétif

Pr. FAC SNV. UFA. Sétif

Pr. FAC SNV. UFA. Sétif

Pr. FAC SNV. UFA. Sétif

Année universitaire: 2012/2013

REMERCIEMENTS

A **Dieu** tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné
Durant toutes ces années d'étude.

-A Monsieur **Laouer H.** Professeur à l'université de Sétif, qui nous a fait
l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de mémoire, veuillez accepter
nos sincères remerciements et croire en notre profond respect.

-A Monsieur **Fenni M.** Professeur à l'université de Sétif, pour avoir accepté de
m'encadrer; ses conseils, m'ont été très bénéfiques pour la réalisation de ce
mémoire, qu'il soit rassuré de ma profonde gratitude.

-A Monsieur le professeur **Bencellama M.** Chef de département de biologie,
université Annaba; qui nous a accueillis dans le laboratoire de pédologie
pendant la réalisation de ce travail, qui à été généreux en nous offrant volontiers
son aide et sans qui, ce travail n'aurait pu être réalisé. Notre vive reconnaissance
et notre profonde gratitude en souvenir des bons moments passés ensemble.

-A Monsieur **Hafsi M.** Professeur à l'université de Sétif, qui nous a fait
l'honneur de participer à notre jury de mémoire, veuillez accepter l'expression
de notre gratitude et de notre profond respect.

-A Madame **Chennafi H.** Professeur de l'université de Sétif qui a eu la
gentillesse d'accepter de juger ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de nos
sincères remerciements

Que toute personne ayant pris part de près ou de loin à la réalisation de ce travail
trouve ici l'expression de notre très vive reconnaissance.

Sincères remerciements

DÉDICACE

Ceux à qui je dois mon éducation, et ma réussite, ce qui sont les plus chers au

monde, mes parents: pour leur amour et leur sacrifice

A mon marie Beddiaf H, qui ma tout encouragé dans mon travail

A mon ange, mon adorable poussin, mon bébé mon fils Mohamed Islem

A mes frères: Mohamed et Billel que dieu me les gardes

A ma sceur Nadjiba

A tous mes amis

A toute ma famille

A tous ceux qui sacrifient leur vie pour le bien des êtres.

Je dédie ce modeste travail

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Recherche bibliographique

1.La matière organique	3
Introduction.....	3
1.1 .Origine de la matière organique	3
1.2. Les différents états de la matière organique	4
1.2.1. La matière organique libre	4
1.2.2. Les composés organiques transitoires	5
1.2.3. La matière organique liée	5
1.3. Décomposition de la matière organique fraîche.....	5
1.4. Humification	6
1.4.1. Néoformation des composés humique	6
1.4.2. Héritage et transformation.....	7
1.4.3. Biochimie de l'évolution des complexes organo-minéraux.....	8
1.5. Classification des Humus	8
1.5.1. Base de la classification	8
1.5.2. Les facteurs biologiques	8
1.5 .3. Les conditions microclimatiques d'évolution des humus.....	10

1.6.Rôle de la matière organique	11
1.6.1. Structure du sol	11
1.6.2. Protection contre l'érosion	12
1.6.3. Rétention en eau et drainage	12
1.6.4. Réserve en élément nutritifs	12
1.7. Le choix de type d'amendements	12
1.7.1. Coefficient isohumique	13
1.7.2. Indice de stabilité biologique.....	13
1.7.3. Rapport C/N.....	13
2. Stabilité structurale.....	13
2.1. Définition de la structure	13
2.2. Propriété et comportement	14
2.3. Composantes de la structure du sol et importance de la stabilité structurale.....	15
2.4. Facteurs influençant la stabilité structurale	15
2.4.1. La texture du sol.....	15
2.4.2. La minéralogie des argiles.....	16
2.4.3.La matière organique.....	16
2.4.4. La teneur en sodium, calcium et autre cations.....	16
2.4.5. Les oxyde de fer et d'aluminium	16
3. L'agriculture de conservation.....	16
3.1. Historique de l'agriculture de conservation	16
3.2. Définition de l'Agriculture de Conservation	17
3.3. L'agriculture de conservation dans le monde.....	19

3.3.1. Un développement foudroyant aux Etats Unis et en Amérique Latine.....	20
3.3.2. Agriculture durable : une obligation pour les pays de l'Afrique du Nord.....	21
3.3.3. En Algérie.....	22

Chapitre II : Matériels et Méthodes

1. Les caractéristiques de la région d'étude.....	24
1.1. Topographie.....	24
1.2. Géologie.....	24
1.3. Le sol.....	24
1.4. Occupation des sols.....	25
2. Les conditions climatiques.....	25
2.1. Pluviométrie.....	25
2.2. Température.....	25
2.3. Humidité.....	26
2.4. Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	27
2.5. Le climat de l'année d'expérimentation.....	27
3. Situation géographique des stations	27
3.1. Station A.....	27
3.2. Station B.....	28
4. Les données culturales.....	28
4.1. Station A.....	28
4.1. Station B.....	28
5. Protocole expérimental.....	31
5.1. Prélèvement des échantillons.....	31
5.1. Préparation des échantillons de sol.....	31
5.2. Les Méthodes des analyses pédologiques.....	31

5.2.1. Les Analyses chimique.....	31
5.2.1.1. Détermination du pH	31
5.2.1.2. La conductivité électrique.....	32
5.2.1.3. La capacité d'échange cationique	32
5.2.1.4. Les bases échangeables.....	32
5.2.1.5. Calcaire totale.....	32
5.2.1.6. Le phosphore assimilable.....	32
5.2.1.7. L'azote total.....	32
5.2.1.8. Carbone et matière organique.....	32
5.2.1.9. Le rapport C/N.....	33
5.2.2. Les analyses physiques.....	33
5.2.2.1. L'humidité hygroscopique (H)	33
5.2.2.2. La porosité.....	33
5.2.2.3 La granulométrie.....	34
5.2.2.4. La stabilité structurale.....	34
6. Analyse des données.....	38

Chapitre III : Résultats et Discussions

1. Les caractéristiques chimiques des sols	39
1.1. Le pH.....	39
1.1.1. Le pHeau.....	39
1.1.2. Le pH KCl.....	39
1.2. La Conductivité électrique CE.....	41

1.3. La capacité d'échange cationique (C.E.C).....	42
1.4. Les bases échangeables.....	43
1.4.1. Le potassium.....	43
1.5.2. Le calcium.....	43
1.5.3. Le Magnésium.....	44
1.5.4. Le Sodium.....	44
1.5. La matière organique.....	45
1.6. Les éléments de fertilité	47
1.6.1. Le rapport C/N.....	47
1.6.2. L'azote total.....	47
1.6.3. Le phosphore assimilable.....	47
1.7. Calcaire totale	48
2. Les caractéristiques physiques	49
2.1. L'humidité.....	49
2.2. La porosité.....	50
2.3. La granulométrie	51
2.4. La stabilité structurale.....	52
2.4.1. La relation entre la matière organique et stabilité structurale.....	54
3. Les résultats de l'analyses des composants principales (ACP).....	56
3.1. La moyenne et écart type.....	56
3.2. La matrice de corrélations.....	57

3.3. La Cercle de corrélation.....	58
3.4. Dendrogramme distance de coefficient de corrélation.....	59
4. Discussion générale	60

Conclusion

Références Bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des abréviations

A_h ou A₁: Horizon mixte contenant en mélange de la matière organique (moins de 30% et de la matière minérale

A₀ ou O : Horizon organique superposé au sol minérale (plus de 30% de matière organique)

AC : Agriculture de conservation

CEC : Capacité d'échange cationique

CEA : Commission économique des nations unies pour l'Afrique

C/N : Rapport carbone sur azote

CDSR-AN : Centre de développement pour l'Afrique du Nord

Dr : Densité réelle

Da : Densité apparente

ECAF : Fédération européenne d'agriculture de conservation

FAO : Organisation de l'agriculture et de l'alimentation

Ha : Hectare

ISB : Indice de stabilité biologique

INRA : Institut nationale de la recherche agronomique

ITGC : Institut techniques des grandes cultures

MOF : Matière organique fraîche

MOS : Matière organique sèche

MO : Matière organique

MWD : Diamètre moyen pondéral (Mean Weight Diameter)

P : Porosité

PPM : Partie par million

PNDAR : Plan national de développement agricole et rural

K₁ : Coefficient isohumique

TCS : Travaux culturale simplifiée

Liste des Figures

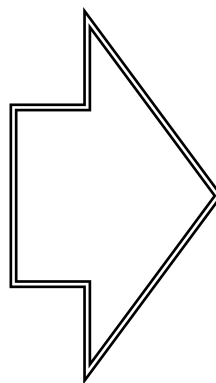
Figure 1 : Schéma des processus de la phase biologique de l'humification.....	9
Figure 2 : Structure du sol.....	14
Figure3 : Importance relative (%) du semis direct dans le monde en	20
Figure 4 : Diagramme ombrothermique de Gaussen	27
Figure 5 : Localisation des échantillons de la station A.....	30
Figure 6 : Localisation des échantillons de la station B	30
Figure 7 : Variation du pH eau et pH Kcl pour la station A.....	40
Figure 8 : Variation du pH eau et pH Kcl pour la station B.....	40
Figure 9 : Variation de la conductivité électrique (CE) de station A.....	41
Figure 10 : Variation de la conductivité électrique (CE) de station B.....	42
Figure 11 : Taux de la MO de la station A.....	46
Figure 12 : Taux de la MO de la station B.....	46
Figure 13 : Le triangle texturale	52
Figure 14 : Cercle de corrélation des variables	59
Figure 15 : Dendrogramme des coefficients de corrélation entre les différents paramètres mesuré ..	60

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Evolution dans le temps des superficies (en million d’hectares) sous semis direct dans le monde	20
Tableau2 : Précipitations moyennes mensuelles (2001-2010) enregistrées au niveau de la station les Salines Annaba	25
Tableau 3 : Température mensuelle moyenne (2000-2010) enregistrée au niveau de la station les Salines Annaba.....	26
Tableau 4 : Valeurs hygrométriques mensuelles moyennes (2000-2010) enregistrées au niveau de la station les Salines Annaba.....	26
Tableau 5 : Les parcelles de la station	29
Tableau 6 : Echelle d'interprétation du pH eau	39
Tableau 7 : Valeur du pH eau et pH Kcl des deux stations	39
Tableau 8 : Echelle de salure Européenne	41
Tableau 9 : Les normes d’interprétation de la C.E.C	42
Tableau 10 : Résultats d’analyses du CEC pour les deux stations A et B	43
Tableau 11 : Résultats des analyses des bases échangeables pour la station A et B.....	44
Tableau 12 : Appréciation de la teneur en K et K_2O en fonction de la texture	44
Tableau 13 : Appréciation de la teneur en Mg et MgO en fonction de la texture.....	45
Tableau14 : Normes d'interprétation du taux du MO.....	45
Tableau 15 : Taux des éléments fertilisant station A et B.....	48
Tableau 16 : Norme d’interprétation pour l’azote	48
Tableau 17 : Classe d’appréciation pour le phosphore assimilable.....	48
Tableau 18 : Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol	49
Tableau 19 : Taux de calcaire total dans les deux stations A et B	49
Tableau 20 : Taux d’humidité des sols dans les stations A et B	50

Tableau 21 : Composition granulométrique des sols station A.....	53
Tableau 22 : Classes de Stabilité, battance et érosion en fonction de valeurs du diamètre moyen pondéral après désagrégation (MWD).....	54
Tableau 23 : Les Résultats de la stabilité structurale des deux stations A et B.....	55
Tableau 24 : Taux de matière organique et stabilité structurale des deux stations.....	56
Tableau 25 : Moyenne et écarts type des paramètres mesurés.....	57
Tableau 26 : Matrice de corrélation linéaire entre les différents paramètres étudiés.....	58

Introduction



Introduction

Parmi les menaces pesant sur les sols, l'érosion et la diminution de la teneur en matières organiques occupent une place importante (Chenu et *al.*, 2011). Pour remédier à ces problèmes liés à la structure physique des sols, l'utilisation d'amendements organiques est une pratique classique. La structure du sol définit la façon dont le sol est organisé dans l'espace (Dexter, 1988) et dans le temps (Roger-Estrade, 1995).

La stabilité structurale correspond à la capacité d'un sol à conserver son arrangement entre particules solides et vides lorsqu'il est exposé à différentes contraintes, comme l'action désagrégeante des gouttes de pluie ou l'humectation (Le Bissonnais, 1996a). C'est un bon indicateur de la sensibilité des sols, à la battance et à l'érosion hydrique (Amezquita et *al.*, 1996 ; Bossonnais et *al.*, 2002 ; Leguédois et Le Bissonnais, 2004). C'est une composante reconnue de la qualité des sols.

La matière organique influence la stabilité structurale par plusieurs mécanismes, son effet positif sur la stabilité de la structure est variable en fonction de sa nature, de sa quantité et des conditions du milieu (Aoyama et *al.*, 1999; Spacinni et *al.*, 2004; Abiven, 2004). Certaines études montrent une relation directe entre la teneur en carbone total et la stabilité structurale (Dutartre et *al.*, 1993; Le Bissonnais et *al.*, 2002; Chenu et *al.*, 2011). La matière organique du sol (M.O.S.) est un des facteurs importants de l'agrégation des particules solides dans le sol. Dans les sols non calcaires ou qui contiennent des teneurs faibles d'oxydes de fer et d'aluminium, elle est même le facteur principal de la cohésion des agrégats entre eux (Oades, 1993; Angers et Carter, 1996).

L'état structural influe sur l'ensemble des facteurs et des conditions physiques qui conditionnent la germination, la levée des cultures (Richard et Boiffin, 1990) et l'enracinement (Tardieu, 1990). Par ailleurs, de nombreux travaux signalent la nécessité de l'activité des micro-organismes dans l'action des matières organiques sur la stabilité structurale (Martin et Waksman, 1940; Lynch et Bragg, 1985). L'apport de quantités

différentes de MO modifie les conditions d'incubation, notamment en modifiant la structure de la communauté microbienne. Griffiths et *al.* (1999) ont montré que des doses importantes de substrats favorisaient la population fongique. Jenkinson (1977) a observé que la minéralisation du carbone des feuilles et des racines de ray-grass était proportionnelle à la quantité apportée, que ce soit au laboratoire ou au champ. Le transport de l'eau et des solutés dans les sols cultivés est hétérogène (Petersen et *al.*, 1999). En effet le travail du sol et l'activité biologique sont responsables d'une forte variabilité spatiale de la structure et des conditions de circulation de l'eau (Roger-Estrada et *al.*, 2000).

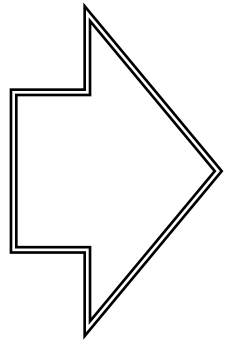
Dans le but de comprendre le rôle de la matière organique, de nombreuses recherches ont été menées (Dembebe et *al.*, 1999 et Turies et *al.*, 2000) et ont donné des résultats très intéressants. En Algérie très peu de recherches dans ce domaine ont été menées. Il nous a paru donc indispensable de contribuer à connaître les influences des apports de la matière organique sur quelques paramètres physiques (stabilité structurale et fertilité) dans le cadre de l'agriculture de conservation.

Cette étude a pour objectif de comparer l'impacte des apports de la matière organique sur la stabilité structurale entre des parcelles amendées et d'autres non amendées afin de déterminer l'impact des systèmes de labour, de la gestion des cultures et de leurs résidus sur la richesse en matière organique du sol. Les mesures ont concerné deux stations, la première station pratique le labour conventionnel avec des apports organiques par contre la deuxième station est caractérisée par des pratiques agricoles simplifiées et conservatrices (semis direct).

Le premier chapitre de ce mémoire s'intéresse au contexte de l'étude, aux connaissances acquises sur la matière organique et son influence sur les propriétés physiques, notamment en termes de structuration du sol. Le chapitre deux décrit le matériel et les méthodes utilisés. Le troisième chapitre présente et discute les résultats obtenus.

Chapitre I

Recherche bibliographique



1. La matière organique

Introduction

L'apport de produits organiques dans le sol est une pratique très ancienne en agriculture. On en retrouve la trace dans plusieurs textes de l'Antiquité comme "l'Odyssée" d'Homère ou "les Géorgiques" de Virgile, jusqu'à Liebig et sa démonstration de la nutrition azotée minérale des plantes en 1840, cette matière était une ressource principale, permettant à l'agriculteur d'améliorer la fertilité du sol pour produire de la biomasse végétale. La découverte des engrais de synthèse va réduire le recours à cette matière organique, au point qu'elle soit dans certains cas jugée aujourd'hui d'excédentaire (Anonyme, 2010). Pourtant, l'effet des matières organiques apportées ne se résume pas à une quantité d'éléments minéraux disponibles pour les plantes. Leur spectre d'action est large, des propriétés physiques aux propriétés chimiques et biologiques du sol, et complexe, ce qui explique pourquoi de nombreux travaux scientifiques s'y intéressent jusqu'à aujourd'hui. La compréhension des mécanismes d'action et l'inscription de ces connaissances dans un milieu hétérogène tel que le sol revêtent aujourd'hui des enjeux agronomiques, dans la construction de nouveaux systèmes de culture, mais aussi environnemental, à l'échelle locale et planétaire. Ses effets sont particulièrement importants lorsque l'on s'intéresse à la l'organisation de la structure physique des sols (Anonyme, 2010).

1.1. Origine de la matière organique

La question de la matière première de l'humus se pose très différemment dans les sols à végétation permanente (forêt, steppe, prairie) et dans les sols de culture.

1.1.1. Les sols forestiers

L'apport annuel de litières, lors de la chute des feuilles, renouvelle périodiquement le stock de M.O .F. existant en surface : pour le mull, biologiquement actifs, cette litière disparaît rapidement, à l'inverse du mor et du moder, qui sont caractérisés par une décomposition lente des litières, avec formation des horizons intermédiaires A_0F et A_0H . Dans les futaies de Hêtre ou de chêne, une grande partie du carbone organique assimilé retombe au sol sous la forme de feuilles et est ainsi recyclé, le reste s'incorpore à l'arbre sous la forme de bois : le poids de la retombée annuelle de litière est de l'ordre de 2 à 4 tonnes par hectare et par an ; il atteint 10 à 15 tonnes dans les forêts équatoriales. Le système racinaire

contribue également à l'incorporation profonde de M.O (Le Bissonnais, 1995b). Les poussières atmosphériques constituent aussi un apport non négligeable.

1.1.2. Les sols agricoles

L'apport de M.O.F. devient discontinu et dépend de l'homme : le fumier de ferme les résidus de récolte, la paille incorporée, les engrais verts, les amendements organiques divers, remplacent la litière ; la décomposition est activée par l'enfouissement, le travail du sol, l'apport simultané d'engrais minérale. Lorsque l'apport de M .O. F. devient insuffisant ou parfois nul, la réserve d'humus diminue très progressivement et peut descendre en dessous d'un seuil dangereux (très variable suivant la granulométrie, mais que beaucoup d'agronomes la situent autour de 2%). Les propriétés chimiques (par exemple capacité d'échange cationiques), et surtout physiques (structure et aération), se dégrade rapidement (Duchaufour, 2001)

1.2. Les différents états de la matière organique

Le sol renferme au sein de sa phase solide, un ensemble de matière organique provenant des retombées biologiques (litière, pluviollessivats), des cadavres d'animaux, et de la biomasse microbienne. En plus de ces composés, il faudrait prendre en considération les produits d'exsudation végétale, les métabolites d'origine microbienne et les déjections animales. Selon leur nature et leur degré d'évolution, les matières organiques se répartissent en trois groupes : les matières organiques libres, les composés transitoires et les matières organiques liées (Messaadia, 2005).

1.2.1. La matière organique libre

Cette matière est dénommée ainsi car il s'agit d'une matière organique qui ne contracte pas de liaison avec les minéraux des sols; elle est généralement constituées de débris organiques non décomposés et reconnaissables à l'œil nu (feuilles, rameaux...), auxquels il faudrait ajouter les cadavres d'animaux et les déjections animales. Sur le plan chimique, cette matière libre est constituée de macromolécules organiques complexes telles que la cellulose, la lignine, l'amidon, les polypeptides et les cires (Duchaufour, 2001). Sur le plan pratique, cette matière organique libre est mise en évidence au moyen d'un test densimétrique (mélange de bromoforme et d'éthanol de densité de 1-8) ; la matière organique libre forme une couche de débris flottant à la surface après une agitation ou une centrifugation.

1.2.2. Les composés organiques transitoires

Les composés transitoires sont des substances chimiques de structure simple qui résultent de la décomposition microbienne des matières organiques fraîches ayant entraîné une simplification moléculaire de ces macro molécule préexistantes. Sur plan chimique, ces substances transitoires sont constituées d'oligosaccharides, de sucres simples, de peptides, d'acides aminés, d'acides organiques, d'acides gras et de glycérols ; il s'agit en fait de matières qui sont relativement très solubles dans différents réactifs (eau, alcool, benzène, éther) (Duchaufour, 2001).

1.2.3. La matière organique liée

Il s'agit de matières organiques très complexes qui résultent d'une Polycondensation de précurseurs phénoliques sous l'effet de l'activité microbienne ; ce sont des composés humiques qui sont très stables, de structure moléculaire complexe, de faible solubilité et de couleur foncée. Parmi ces composés, certains sont solubles dans les réactifs alcalins (acides fulviques, acides humiques), alors que les autres sont insolubles dans les réactifs habituels (humains). Aussi, il faut signaler que la matière organique du sol (M.O. F, humus) et les matières minérales notamment les argiles n'évoluent pas de manière indépendante mais elles réagissent les unes avec les autres selon différents mécanismes (altération de la matière minérale par les biomolécules, stabilisation de la M.O par les minéraux,) pour former un complexe organo-minérale plus au moins stable conférant au sol une structure bien individualisée (Duchaufour, 2001).

1.3. Composition de la matière organique fraîche

La composition de la M.O.F., qu'il s'agisse de litière naturelle ou organique incorporée artificiellement dans les sols de culture, joue un rôle déterminant dans la vitesse de sa décomposition, processus préalable à celui de l'humification. On dit que cette matière organique est plus ou moins biodégradable. En matière forestière, on distingue les litières améliorantes, riches en azote, et qui ont tendance à donner des « mull », et les litières « acidifiantes », qui se décomposent difficilement et donnent souvent des Moder ou des Mor.

Certains composants des litières activent la vie microbienne : ils exercent une action positive sur la décomposition : d'autre, au contraire, ont un effet dépressif et leur action est

négative. Cette distinction, utilisée généralement pour comparer les formations naturelles, s'applique aussi aux composés organiques utilisés en agriculture.

1.3.1. Facteurs positifs : richesse en azote (protide du protoplasme des cellules vivantes), traduite par le rapport C/N, d'autre plus favorable qu'il est plus bas ; haute teneur en hydrate de carbone et autres éléments énergétiques (cellulose, hémicellulose, polysaccharides) ; présence de tannins hydrolysables, vite décomposés. Exemples de litières (ou matières organiques apportées au sol) améliorantes : feuilles d'Aune, Frêne, Orme, charme, Tilleul ; graminées et légumineuses (prairie, ou engrais verts à base de légumineuses), fumier de ferme bien décomposé.

1.3.2. Facteurs négatifs : faible teneur en azote et C/N élevé ; forte teneur en lignine, ainsi qu'en résines et lipides (ciré), qui jouent un rôle toxique à l'égard des agents de la décomposition ; teneur faible en composés fermentescibles, sources d'énergie ; présence de tannins condensés, peu décomposables, qui en outre et bloquent la minéralisation des protéines (complexes polyphénols-protéines). Exemples de litière dite « acidifiante » (en fait, à décomposition difficile) : résineux, éricacées (bruyères : « terre de bruyères », mor très acide) ; parmi les amendements organiques, certaines tourbes acides, la sciure de bois, les pailles très lignifiées, se décomposent difficilement (Duchaufour, 2001).

1.4. Humification : Processus Biologique

La phase biologique de l'humification intervient rapidement (en quelque année ou quelques dizaines d'années après la chute des feuilles ou l'incorporation artificielle de M.O.F) ; elle est suivie par une phase très lente (maturation climatique), qui affecte une fraction plus ou moins importante des composés humiques, formés au cours de la phase biologique. Le rythme de l'humification biologique est lui-même fonction de l'activité biologique du milieu : rapide dans le cas du mull, lent pour le Moder et surtout le Mor. Deux processus fondamentaux précèdent cette phase biologique : la néoformation, et l'héritage et la transformation (Figure 1).

1.4.1. Néoformation des composés humique

Les biomolécules végétales les plus labiles (saccharides et protéines) sont rapidement métabolisées par les microorganismes, alors que celles qui constituent les membranes cellulaires se décomposent plus lentement : elles donnent naissance à la biomasse

microbienne, qui se solubilise partiellement. Il se forme ainsi des acides fulviques d'un premier type, composés aliphatiques en chaîne facilement biodégradables ; seule une fraction est insolubilisée par les argiles (les plus efficaces sont les smectites), et constitue le ciment des agrégats construits. A l'inverse, la lignine et les tannins subissent une dégradation lente sous l'action dominante des champignons : ils libèrent des polymères aromatiques, peu biodégradables, qui constituent l'essentiel des acides fulviques d'un second type (Figure 1) ; ils sont complexés et insolubilisés plus ou moins rapidement par les oxydes libres présents dans le sol ($Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, MnO_2) (Duchaufour, 2001). Qui catalysent leur oxydation par l'action conjointe des polyphénols-oxydases sécrétées par la microflore et favorisent ainsi leur polymérisation. Ils s'associent aux mélanines, d'origine microbienne, de structure semblable et constituent des noyaux. Ces noyaux sont reliés entre eux par un réseau dense de chaînes aliphatiques, qui sont de deux types : les unes, biomolécules, d'origine microbienne (qui décroissent à mesure que l'humification progresse), les autres, alcanes, beaucoup plus résistantes (qui subsistent lorsque l'humification progresse). Les acides humiques bruns des humus forestiers offrent des structures peu denses et très réactives. Lorsque les AH sont soumis à des phases successives de dessiccation prolongée, ils prennent une structure plus condensée et moins réactive : acides humiques gris (et humine évoluée) des sols de steppe (Schnitzer et Schulten, 1995 ; Xing et Chen, 1999).

1.4.2. Héritage et transformation (composants des membranes)

Ce processus s'oppose au précédent dans la mesure où les constituants des litières les plus « récalcitrants » (ligno-cellulose, subérine, cires, résines) se transforment de manière progressive en conservant leur structure initiale, donc sans passer par une phase soluble ; certains fragments de membranes plus labiles sont aussi conservés par l'action protectrice des constituants minéraux au sein des agrégats : l'ensemble constitue l'humine héritée. Bien que sa composition soit variable, le constituant principal est toujours la lignine, mais celle-ci subit deux formes de transformation suivant le milieu, soit pauvre et acide (mor, moder), soit riche en azote et non acide (mull eutrophe et calcique). Dans les milieux très acides, lignine et lipides constituent l'essentiel du feutrage de l'horizon A0 (ou O), superposé au sol minéral. D'après Kogel-Knabber et Guggenberger (1995), c'est au sein de l'horizon Ah que la lignine se décompose, sous l'action des pourritures blanches, à un rythme généralement plus rapide que la cellulose. Elle donne naissance à des composés pseudosolubles, agressifs à l'égard de

certain minéraux, donc agents de la podzolisation. Quant aux lipides, ils fournissent des alcanes hyarophobes, qui ralentissent le turnover des autres composants de la MO : il s'agit d'acides fulviques du second type (AF2) qui sont, cette fois, beaucoup plus durables que lors du processus de néoformation (Capriel, 1997; Nelson et *al.*, 1997).

Au sein des mull eutrophes, les ligno-celluloses, bien incorporées au sol minéral par les lombrics, évoluent différemment. La cellulose disparaît en premier sous l'action des pourritures brunes, alors que la lignine, peu altérée, fixe des protéines et s'associe aux argiles (Guggenberger, 1995 ; Haider, 1996, 1999). Au sien des mull carbonatés, la formation saisonnière, de pellicules de calcaire précipité autour des fragments de membrane ralentit encore davantage leur décomposition (Ballif et *al.*, 1995). Ce type d'humine héritée est donc durable dans les humus forestiers, mais il se décompose rapidement dans les horizons humifères travaillés, par sa libération mécanique à l'égard des actions protectrices.

1.4.3. Biochimie de l'évolution des complexes organo-minéraux

Cette évolution est la résultante des deux processus décrit ci-dessus, néoformation et héritage, mais selon des modalités très variables suivant la composition du matériau minéral et celle de la MOF. La figure 1 (en partie d'après Guggenberger et *al.*, 1998) montre quelles sont les principales étapes de l'humification d'un milieu biologiquement actif (mull), les constituants des litières se décomposent dans l'ordre le plus habituel, biomolécules labiles, cellulose et hémicellulose libre et en dernier, lignine, tannins et lipides. Cette dégradation donne naissance aux deux types d'acides fulviques : AF1, composés aliphatique en chaine, AF2, polymères aromatique et alcanes, décrits précédemment (Duchaufour, 2001).

1.5. Classification des humus

1.5.1. Base de la classification

La classification des humus est basée avant tout sur la morphologie des horizons humifères, qui est la résultante des deux processus fondamentaux de l'évolution de la matière organique que nous avons étudié : minéralisation et humification ; la nature des produits formés, le degré de leur liaison avec la matière minérale, conditionnant la structure macroscopique et même la microstructure, sont également des éléments importants de cette classification (Masson, 1970).

1.5.2. Les facteurs biologiques

Les facteurs biologique offrent donc une importance toute particulière ; non seulement l'activité microbiologique est à la base des processus de minéralisation et d'humification, mais aussi l'activité animale (lombric, arthropodes) qui conditionne la division mécanique plus ou moins poussée des débris végétaux, leur incorporation à la matière minérale, la formation de complexes organo-minéraux. De ces facteurs biologiques dépendra l'importance relative des deux horizons caractéristiques des humus.

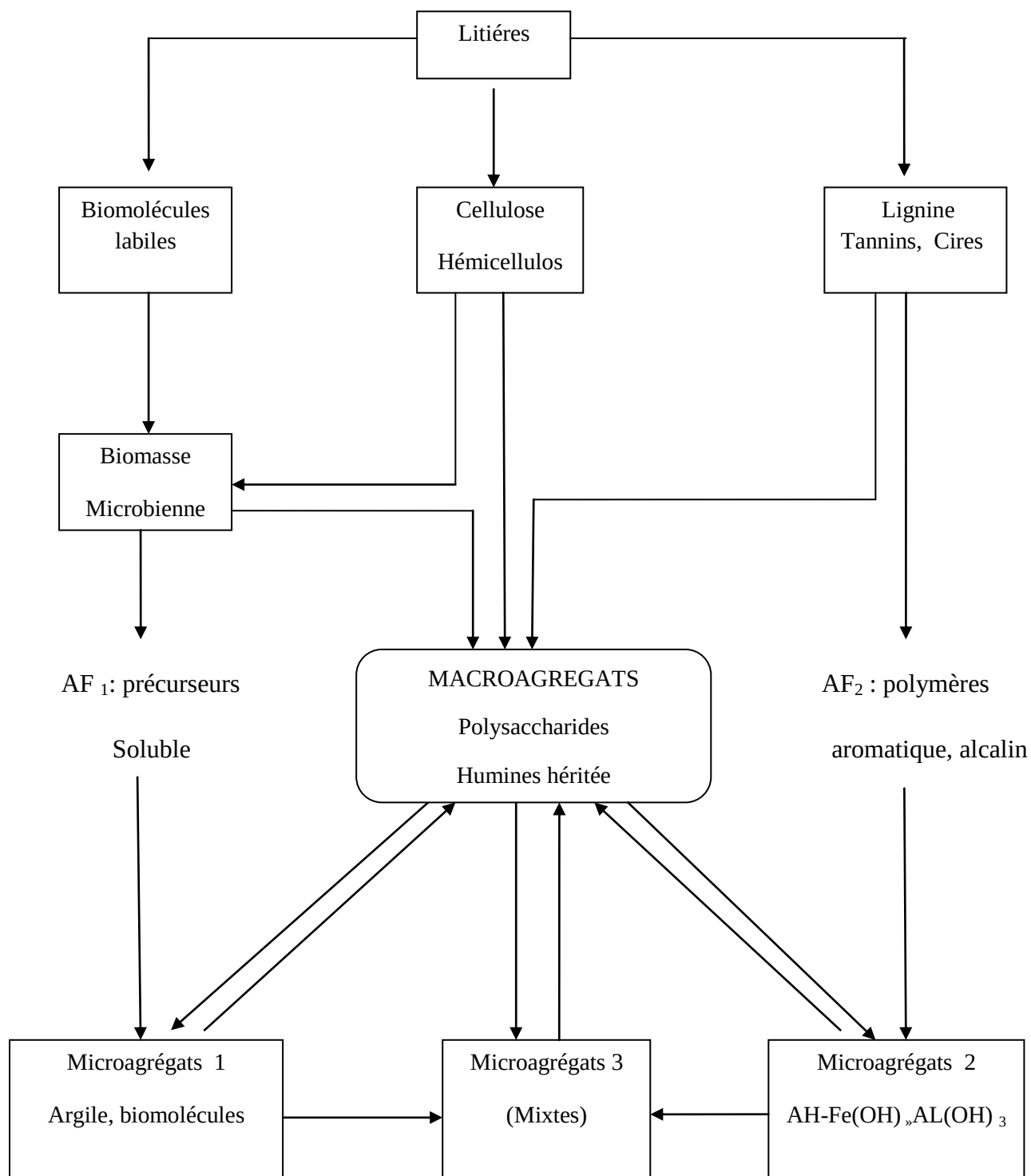


Figure1 : Schéma des processus de la phase biologique de l'humification (Duchaufour, 2001)

-A₀, horizon organique superposé au sol minéral, incomplètement décomposé, à structure encore organisée.

-A₁ ou A_h, horizon mixte, à la fois minéral et organique, de structure et d'aspect très variables suivant les types d'humus, résultat de l'incorporation dans le sol de matière organique transformée par l'action biologique.

L'horizon A₀ lorsqu'il est très épais (certain mor), peut lui-même être subdivisé en plusieurs couches : litière (A₀₀ ou L), couche de fermentation (F) et couche dite humifiée d'humus fin non structuré (H).

1.5.3. Les conditions microclimatiques d'évolution des humus

Les conditions microclimatiques d'évolution des humus ne sont pas moins essentielles ; Cette considération a amené la plupart des classificateurs à distinguer les humus formés en aérobiose comprenant trois grands types : Mull, Moder et Mor ; et les humus qui se développent en anaérobiose dominante, les humus hydromorphes : anmoor (anaérobiose temporaire), tourbe (anaérobiose permanente). Il est important de définir avec précision la morphologie des types d'humus fondamentaux, Mull, Moder, Mor, anmoor et tourbe, car de fréquentes confusions existent à leur égard ; en se basant d'une part morphologiquement, d'après le degré de mélange de la matière organique et de matière minérale, d'autre part biologiquement, par l'activité des organismes qui président à leur édification

1.5.3.1. Humus formé en milieu aéré

a) Morphologie et degré de mélange avec la matière minérale

Mor : Incorporation nulle ou très faible de la matière organique à la matière minérale, A₀ très net et épais.

Moder : Incorporation incomplète séparation peu nette entre A₀ et A₁, pas de formation d'un complexe argilo-humique ; microstructure à base de microagrégats organiques, juxtaposés aux particules minérales.

Mull : Incorporation totale avec formation d'un complexe argilo-humique, A₀ : Microstructure à base d'agrégats argilo-humiques de 0.1 à 1mm.

b) Biochimie

Mor : Transformation très faible des débris végétaux, effectuée surtout par les champignons spécialement myxomycètes.

Moder : Transformation biologique forte, sous l'influence des arthropodes (associés à des champignons et des bactéries).

Mull : Transformation biologique forte, sous l'influence des lombrics (associés aux bactéries), formation d'un complexe argilo-humique.

1.5.3.2. Humus formés en anaérobiose

a) Morphologie

Tourbe : Incorporation nulle ou faible de la matière organique à la matière minérale, structure fibreuse.

Anmoor : Incorporation si non totale du moins effective sur 10 à 20 cm, structure massive.

b) Biochimie

Tourbe : Transformation biochimique très faible.

Anmoor : Transformation biochimique forte sous l'action alternante d'organismes aérobies et anaérobies : humification très poussée (Masson, 1970).

1.6. Rôle de la matière organique

La matière organique influence de diverses façons les propriétés biologiques, chimiques et physiques de sols. Les processus impliqués sont parfois très complexes. Bien que sommaire, l'information qui suit permet de constater à quel point ce constituant du sol joue un rôle important en production végétale.

1.6.1. Structure du sol

La matière organique cimente entre elle les particules minérales du sol et contribue à la stabilité des agrégats. Une agrégation stable procure une bonne structure au sol et le rend moins compact, et plus meuble et plus perméable à l'eau et l'air (grâce à une porosité plus

élevé). Cela crée un environnement favorable à la croissance du système racinaire des cultures et à l'activité biologique du sol. Les sols comportant des agrégats stables sont par ailleurs moins exposés à l'érosion et à la formation d'une croûte (croûte de battance) et aux problèmes qui peuvent suivre, par exemple une émergence plus difficile et moins uniforme des semis.

1.6.2. Protection contre l'érosion

La stabilisation des agrégats par la matière organique contribue à réduire les risques d'érosion hydrique et d'érosion éolienne des sols ; comme ils sont de plus grande taille que les particules de sol individuel, les agrégats stables sont plus difficiles à déplacer par l'eau de ruissellement et par le vent. L'eau de surface s'infiltre également mieux entre les agrégats qu'entre les fines particules. Elle s'avère donc moins sujette au ruissellement, ce qui diminue son potentiel d'érosion.

1.6.3. Rétention en eau et drainage

La matière organique agit comme une éponge et peut absorber plusieurs fois son poids en eau. Elle augmente ainsi la capacité de rétention en eau des sols. En période de sécheresse, cela favorise le maintien dans le sol d'une plus grande réserve en eau utile. Cet effet peut être particulièrement bénéfique pour les sols sableux. Dans le cas de certains sols, l'augmentation de la capacité de rétention en eau peut par ailleurs ralentir quelque peu leur vitesse d'assèchement et de réchauffement au printemps. Ce dernier impact est cependant rarement important et ne constitue habituellement pas un problème. Le maintien d'un paillis de résidus de culture à la surface du sol peut par contre avoir un impact plus appréciable. En favorisant la formation d'agrégats stables et le développement d'une porosité plus importante, la matière organique contribue à accroître l'infiltration et le drainage de l'eau dans le sol.

1.6.4. Réserve en éléments nutritifs

La décomposition biologique de la matière organique peut libérer des quantités appréciables d'azote ainsi que d'autres éléments nutritifs. La matière organique stable augmente également la capacité d'échange cationique (C.E.C). Elle fait une action comparable à celle d'un amendement et contribue à la fixation de certains éléments nutritifs comportant une charge positive (cation) (ex : azote ammoniacal, potassium, magnésium, calcium). Sous l'effet de processus chimiques, ces éléments peuvent être libérés et rendus disponibles aux plantes (Anonyme, 2009).

1.7. Le choix de type d'amendements

Les indicateurs suivants permettent de caractériser les matières organiques exogènes et de choisir l'amendement le mieux adapté à une situation donnée.

1.7.1. Coefficient isohumique k_1

Il indique le rendement en humus de la matière sèche d'un produit organique (déterminé à partir d'expérimentations longues durées en champs). Les matières organiques d'origine végétale ont un rendement supérieur à celles d'origine animale. Pour un même produit, il peut varier en fonction des conditions climatiques, du mode d'entretien des sols. Notons que, le compostage améliore le rendement humique des amendements.

1.7.2. Indice de stabilité biologique (ISB)

Sa valeur exprimée par rapport au taux de matière sèche est déterminée en laboratoire. Comprise entre 0 et 1, elle est fortement corrélée à k_1 et plus précise. Un ISB élevé ($>0,5$) caractérise un amendement avec un bon rendement en humus. Un ISB faible ($<0,3$) indique un amendement qui stimulera l'activité biologique. L'ISB sera intégré à la nouvelle norme sur les amendements organiques.

1.7.3. Rapport C/N

Plus ce rapport est élevé, plus la vitesse de décomposition de l'amendement sera lente (azote libéré très progressivement). En ce qui concerne les composts, l'interprétation est différente car il décroît au cours du compostage pour se stabiliser. Or la vitesse de décomposition d'un compost mur est lente. Il est donc souhaitable de connaître l'origine de la matière organique (végétale ou animale) et le processus utilisé (Anonyme, 2009).

2. La stabilité structurale

2.1. Définition de la structure

La structure des sols cultivés se définit comme l'ensemble des caractères liés à la disposition spatiale des éléments qui constituent le sol ainsi qu'à la nature et à l'intensité des liaisons qui existent entre eux. Ce concept désigne donc l'organisation de la phase solide du sol, à différents niveaux d'échelle. Le complémentaire de cette phase solide, la phase des vides, constitue la porosité du sol. On distingue la porosité texturale, liée à l'organisation des composants élémentaires du sol (argile, limons, sables) de la porosité structurale, plus

grossière, qui découle de la structure et varie au cours du temps avec elle. Cette porosité structurale joue un rôle essentiel sur les transferts de fluides au sein du sol et la croissance des racines.

La structure du sol est l'ensemble des caractères liés à la disposition spatiale des constituants du sol ainsi qu'à la nature et à l'intensité des liaisons qui existent entre eux (Stengel, 1990).

La porosité texturale est constitutive du matériau. La porosité structurale varie au cours du temps sous l'effet des techniques (compactage, fragmentation, de la faune, du climat, des racines,...

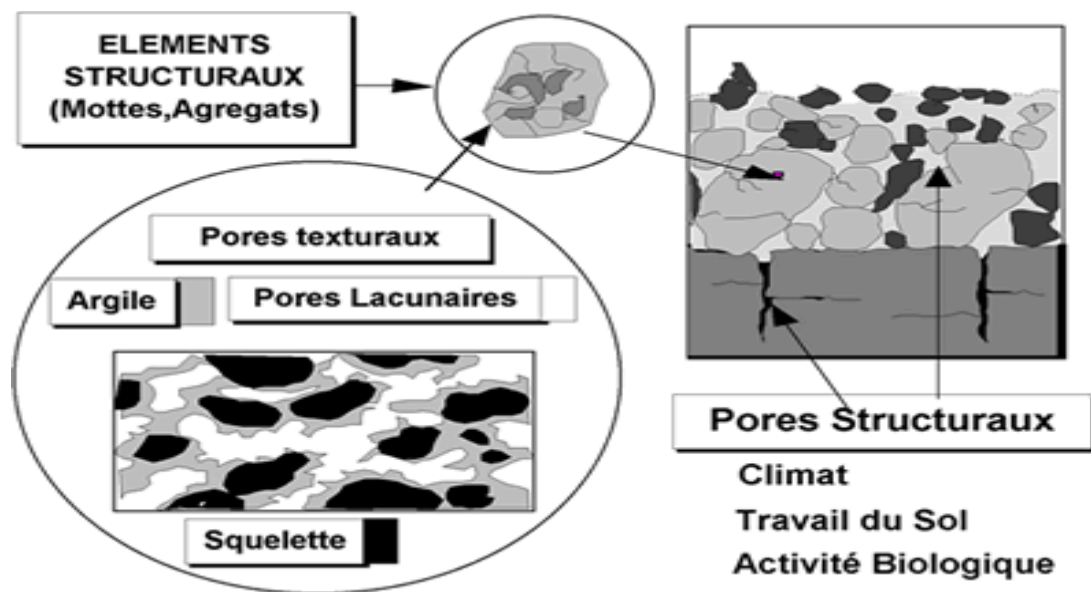


Figure 2 : Structure du sol (Anonyme, 2010)

2.2. Propriété et comportement

La structure du sol détermine également le comportement mécanique du matériau. La structure du sol d'une parcelle cultivée évolue au cours du temps sous l'effet des contraintes mécaniques qui sont appliquées au sol lors des opérations culturales et qui entraînent fragmentation, déplacement ou compactage. Les agents naturels (climat, faune, racines,...) agissent également sur la structure et la porosité.

Au regard de la gestion des états physiques, les propriétés importantes à considérer pour prévoir l'évolution de la structure ou les risques d'érosion sont l'aptitude à la fissuration, la cohésion, l'adhésivité et la stabilité structurale. Ces propriétés dépendent largement de la composition granulométrique (et beaucoup de la teneur en argile du sol) et

sont également influencées par la teneur en matière organique et en calcaire du matériau. Mais le comportement d'un sol soumis à une contrainte dépend aussi de la structure initiale et de la teneur en eau au moment où la contrainte est appliquée (Anonyme, 2010).

2.3. Composantes de la structure du sol et importance de la stabilité structurale

2.3.1. La forme structurale

La forme structurale décrit l'arrangement hétérogène des solides et des vides existant dans le sol en un temps donné. La porosité totale, la distribution des tailles de pores, la continuité du système poreux, l'arrangement des particules solides entre elles, l'organisation des zones de fractures sont des exemples de caractéristiques de cette forme structurale.

La stabilité structurale correspond à la capacité d'un sol à conserver son arrangement entre particules solides et vides lorsqu'il est exposé à différentes contraintes. Ces contraintes peuvent être de différentes natures et de différentes intensités, comme par exemple l'impact d'une pièce d'un outil de travail du sol, l'impact de gouttes de pluie ou l'humectation (Le Bissonnais, 1996a). Dans la plupart des cas, le terme de stabilité structurale est synonyme de stabilité des agrégats, l'évolution de la porosité correspondant à l'évolution du volume du sol non occupé par les particules solides (Dexter, 1988).

2.3.2. La résilience structurale

Elle définit la capacité d'un sol à retrouver sa forme structurale grâce à des processus naturels lorsque les contraintes physiques s'atténuent ou cessent d'être appliquées. Les processus en jeu peuvent être nombreux : activité biologique (racines, macro faune, et microflore), cycles dessiccation / réhumectation, gel / dégel (Kay et Rasiah, 1994).

A partir de ces trois composantes, il est possible de définir les évolutions de la structure du sol dans le temps et dans l'espace et de définir une vulnérabilité du sol à son environnement (Kay, 1990). Un sol instable avec une faible résilience va être particulièrement vulnérable aux contraintes extérieures.

II.4. Facteurs influençant stabilité structurale

Les principales propriétés du sol influençant la stabilité structurale ont fait l'objet de nombreuses études (Le Bissonnais, 1996b ; Kay, 1997 ; Bronick et Lal, 2004). Les principales caractéristiques sont les suivantes :

II.4.1. La texture du sol : La stabilité structurale augmente avec la teneur en argile, sans toute (Gollany *et al.*, 1991) fois qu'il soit possible d'établir de corrélations significatives généralisables à tous les types de sols (Le Bissonnais, 1996b). L'effet de la teneur en argile dépend en particulier de la teneur en eau. Les sols limoneux et sableux sont plus fragiles que les sols argileux.

II.4.2. La minéralogie des argiles : Le type d'argile joue un rôle ambivalent sur la stabilité structurale. Les argiles avec une capacité d'échange cationique forte induisent des agrégats plus résistants, car elles offrent une surface de contact plus importante, mais elles peuvent se disperser plus facilement quand les conditions s'y prêtent.

II.4.3. La matière organique : La matière organique influence la stabilité structurale par plusieurs mécanismes. Elle joue le rôle de liant entre les particules et modifie-les propriétés hydriques du sol. Certaines études montrent une relation directe entre la teneur en carbone total et la stabilité structurale (Dutartre *et al.*, 1993 ; Le Bissonnais *et al.*, 2002). Ce n'est pas toujours le cas, selon le type de sol (Martens, 2000b ; Kushwaha *et al.*, 2001) ou le test de mesure de la stabilité structurale utilisé (Le Bissonnais *et al.*, 1995 ; Le Bissonnais et Arrouays, 1997 ; Chenu *et al.*, 2000), suggérant ainsi que la relation n'est probablement pas linéaire et dépend de la nature des interactions particules de sol – matière organique (Le Bissonnais, 1996b).

II.4.4. La teneur en sodium, calcium et autres cations : La nature et la teneur en cations échangeables influencent la stabilité structurale par leur effet sur les processus de dispersion / floculation des argiles. Cette caractéristique est fortement liée à la texture du sol et au type d'argile (Le Bissonnais, 1996b).

II.4.5. Les oxydes de fer et d'aluminium : Ces oxydes jouent le rôle de flocculant dans le sol et contribuent ainsi à augmenter la stabilité structurale en servant de "ponts" entre les différentes composantes de la structure (Le Bissonnais, 1996b).

III. L'agriculture de conservation

III.1. Historique de l'agriculture de conservation

Depuis une trentaine d'années, les agriculteurs sud-américains sont confrontés à la perte de fertilité de leurs sols et une augmentation de l'érosion. Ces deux phénomènes sont la Conséquence notamment de la disparition très rapide des matières organiques engendrée par les techniques de retournement profond des sols et du climat de ce continent. Ayant pris conscience de cela, ces agriculteurs ont développé les techniques dites "de conservation des sols" basées sur le non retournement de ceux-ci. L'agriculture de conservation est aujourd'hui largement développée sur le continent nord américain.

Après quelques balbutiements en France dans les années 1970 et 1980, le non-labour s'est largement développé depuis la réforme de la politique agricole commune de 1992. Communément appelé, jusqu'à aujourd'hui, Techniques Culturelles Simplifiées (TCS), le non labour regroupe différentes techniques de travail du sol et différents types d'outils allant des outils de travail du sol superficiel au semoir spécifique de semis direct.

En Afrique du Nord, la ressource en eau constitue le facteur majeur limitant les développements agricole, économique et social. En effet, l'environnement physique dans cette région est caractérisé par une pluviométrie faible, aléatoire et agressive, mais aussi des sols généralement peu productifs et une couverture végétale très éparse. La forte croissance démographique et les insuffisances techniques, économiques et foncières obligent les agriculteurs à exploiter au maximum le disponible végétal. Cette pression sur la terre s'est traduite par le recours de plus en plus à la culture continue, l'utilisation des terres marginales et le surpâturage des parcours. Il en résulte une exploitation minière du milieu caractérisé par une diminution de la productivité et une dégradation des ressources naturelles (sol, eau et végétation). En effet, l'érosion des sols constitue un aspect majeur de la dégradation des paysages dans les environnements nord-africains (Griesbach, 1983 et Merzouk, 1985).

En Afrique du Nord, les sols sont extrêmement variés du fait de la diversité des substrats géologiques et des topographies mouvementées qui continuent à évoluer sous l'effet du climat et de l'homme (Kassam, 1981). Les sols y conditionnent l'agriculture et son avenir sous trois aspects : le maintien de leur existence (lutte contre l'érosion), l'amélioration de leur capacité de production (fertilité et qualité) et la mise en valeur de leur capacité productive par des pratiques appropriées.

Le Centre de développement pour l'Afrique du Nord (CDSR-AN) est une institution de la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA). Le Centre a été créé en 1963 et son siège se trouve à Tanger, Maroc. Il couvre sept Etats Membres : Algérie, Egypte, Libye, Mauritanie, Maroc, Soudan et Tunisie. La fonction principale du Centre est de

promouvoir la coopération et l'intégration sous-régionales. Pour cela, il fournit un soutien technique aux Etats Membres pour promouvoir des approches et des actions collectives au niveau de la sous-région (Anonyme, 2009)

III.2. La définition de l'Agriculture de Conservation (AC)

III.2.1. Définition selon l'Organisation de l'Agriculture et de l'Alimentation (FAO)

Depuis l'apparition des techniques de non-labour, la taxonomie francophone et anglophone est importante pour décrire les différentes techniques de travail du sol en non-labour. Il existe peu de relations entre les termes anglophones et francophones. Pour simplifier et homogénéiser les échanges sur ces techniques de travail du sol, la FAO a proposé une définition regroupant tous les termes utilisés (Benites et Ashburner, 2001).

Le terme « Agriculture de Conservation » (des sols) est le terme générique à employer. Sa définition a été retenue lors du *"First World Congress on Conservation Agriculture : a worldwide challenge"* qui se déroulait à Madrid du 1-5 octobre 2001, auquel nous avons participé et où nous avons présenté un poster. Cette définition est la suivante :

- Absence de retournement profond du sol et implantation des cultures en semis direct
- Maintien d'un couvert végétal permanent (mort ou vivant)
- Adoption judicieuse de cultures dans une rotation suffisamment longue

Le semis direct est un facteur essentiel de l'agriculture de conservation. Cependant, la présence d'un couvert végétal permanent et les cultures présentes dans la rotation doivent être absolument compatibles de cette technique d'implantation (Benites et Ashburner, 2001).

En d'autre terme, l'agriculture de conservation a pour objectif de conserver, d'améliorer et de mieux utiliser les ressources naturelles liées à la gestion des sols, de l'eau, et de l'activité biologique (Derpsch, 2001). L'AC n'est pas un but en elle-même mais plutôt un concept « la gestion de la fertilité des sols est l'objectif final » (ECAAF FAO, 2001).

II.2.2. L'agriculture de conservation, une agriculture durable, une agriculture intégrée

Lors de la conférence de Rio de 1992, les nations du monde entier ont pris conscience de la nécessité d'économiser les ressources naturelles non renouvelables et de protéger la qualité de notre environnement. Le développement durable a alors été défini comme un développement répondant aux besoins présents d'une humanité solidaire, mais qui laisse aux générations futures la possibilité de survivre et de prospérer.

L'agriculture durable (« sustainable agriculture » en anglais) est un des aspects du développement durable. Selon Girardin (1993), le concept couvert par « sustainable agriculture » dans les pays anglophones se traduirait plutôt par « agriculture intégrée » en Europe.

La première définition de l'agriculture intégrée a été proposée en 1977 par des zoologistes et des agronomes à partir de leur expérience de lutte intégrée en vergers. Selon eux, l'agriculture intégrée est « un mode de production comportant la mise en œuvre des techniques les plus conformes à des exigences d'ordre économique et écologique dans la perspective d'optimiser la qualité des produits qui en sont issus » (Girardin, 1993).

Cette définition souligne 4 idées fortes correspondant à des modes de production :

- Economiquement viables
- Respectueux de l'environnement et préservant les ressources naturelles
- Assurant la qualité des produits et limitant les risques pour la santé humaine
- Permettant une bonne intégration sociale des personnes intervenant dans le processus de production et de transformation.

Selon Girardin (1993), à partir du moment où les décisions relatives à l'exploitation sont prises non plus seulement selon des critères économiques, mais en tenant également compte d'objectifs concernant l'environnement ou la qualité des produits (gestion raisonnée des intrants, mise en place de techniques de lutte intégrée ou de pratiques anti-érosives), l'exploitant pratique l'agriculture intégrée.

L'agriculture de conservation, au travers de la gestion de la fertilité des sols et de la lutte contre l'érosion est donc l'un des moyens à mettre en œuvre pour pratiquer une agriculture intégrée. Nous allons présenter les atouts de l'agriculture de conservation du point de vue environnemental, agronomique et économique.

III.3. L'agriculture de conservation dans le monde

Le tableau n°1 est une synthèse réalisée, en 2000, par la FAO et améliorée par Depresch sur les surfaces concernées par l'AC dans le monde et plus particulièrement sur le continent américain et en Australie. Les données européennes ne sont pas intégrées dans ce tableau car l'estimation des surfaces en AC est difficile à réaliser en Europe par rapport au problème lié aux définitions des termes utilisés.

Peu de pays (excepté les USA qui ont créé en 1933 le Soil Conservation Service) disposent de statistiques fiables sur les techniques de conservation (des sols) et l'AC. Les données disponibles sont généralement fondées sur des estimations (Derpsch, 2001). Le non-labour, aujourd'hui, est pratiqué sur plus de 62 millions d'ha à travers le monde, ce qui représente à peine 4% des surfaces arables² mondiales.

D'après Derpsch, 84 % des surfaces cultivées en AC se trouvent sur le continent américain (Nord et Sud), 14 % en Australie et le reste 2% en Europe, en Asie et en Afrique. (Mrabet, 2001)

Tableau 1 : Evolution dans le temps des superficies (en million d'hectares) sous semis direct dans le monde (Depresch, 1999 ; 2001 ; FAO,2001) *in* (Mrabet,2001)

Année	USA	Canada	Brésil	Argentine	Australie	Autre	Totale
1973/74	2,2	0	0,001	0	0,1	0,53	2,83
1983/84	4,8	0	0,4	0	0,4	0,66	6,26
1996/97	19,4	6,7	6,5	4,4	1	1,7	39,7
1999/00	19,8	4,1	13,5	9,2	8,4	2,92	58,11

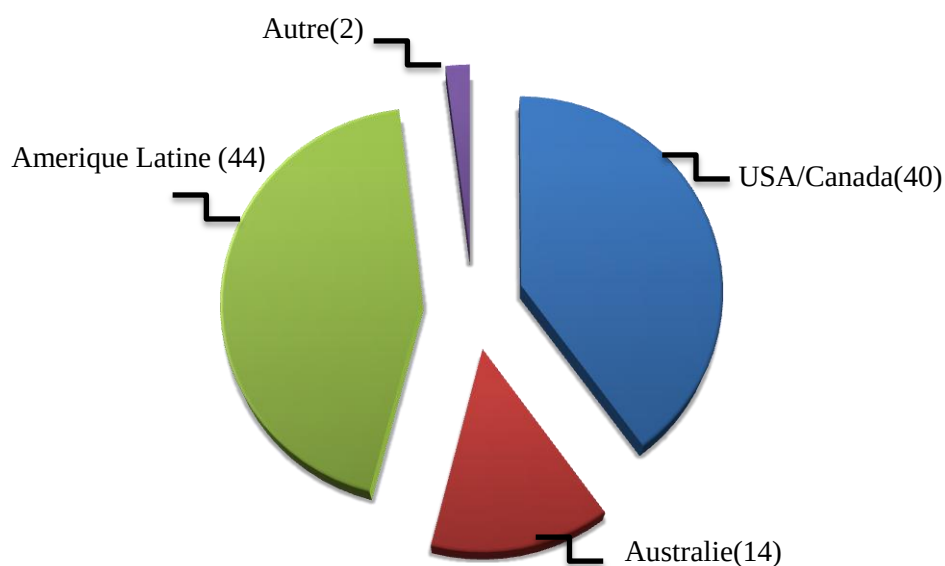


Figure 3: Importance relative (%) du semis direct dans le monde en 1999/2000(Mrabet, 2001)

III.3.1. Un développement foudroyant aux Etats Unis et en Amérique Latine

Après la crise économique de 1929 et suite à des problèmes d'érosion (Dust Bowl), les recherches américaines se sont orientées sur les produits phytosanitaires et le développement des différentes techniques de travail du sol dont le non-labour (Derpsch, 2001). L'explosion de l'AC aux Etats-Unis et en Australie correspond au développement, à l'accessibilité et à la maîtrise des équipements agricoles et des pesticides (Harrington, 2001). Depuis 1990, il a été constaté une forte augmentation dans le monde des surfaces concernées par l'AC.

Dans les pays du MERCOSUR (Brésil, Argentine, Paraguay et Uruguay), le non-labour est adopté depuis les années 1970. Dans ces pays, l'objectif de l'AC est de limiter l'érosion des sols et la perte de fertilité qu'elle entraîne. De plus, ces techniques permettent aux agriculteurs sud-américains d'améliorer la rentabilité et de maintenir des systèmes agraires durables dans le temps. La révolution du "non-labour" dans ces pays a surtout eu lieu entre 1987 et 1997 (Derpsch, 2001). Au Brésil, la difficile mise en valeur des terres sèches du Cerrado (plus de 100 millions d'hectares disponibles) a connu une accélération depuis 1995. Aujourd'hui de 8 à de 10 millions d'hectares sont cultivés en agriculture de conservation dans cette région du Brésil qui pourrait devenir selon Rollin (2002) une des plus grandes régions agricoles du monde. Actuellement les Etats-Unis et l'Amérique Latine sont des régions phares quant à l'acquisition de références sur l'AC.

III.3.2. Agriculture durable : une obligation pour les pays de l'Afrique du Nord

Le défi majeur des pays Nord africains est double: assurer une sécurité alimentaire pour une population à fort taux démographique et amortir la dégradation des ressources naturelles. Ces pays ont besoin, plus que jamais, de revoir leurs modes d'utilisation des terres pour assurer une sécurité alimentaire et un développement agricole durable. En Afrique du Nord, l'agriculture demeure le principal secteur économique. Il est donc impératif de définir une stratégie de développement durable pour l'ensemble du secteur agricole en visant une utilisation respectueuse des ressources naturelles.

Le transfert de l'Europe vers l'Afrique du Nord des modes de gestion mécanisée des sols a eu des effets négatifs permanents, voire désastreux sur les ressources en sols. En plus, les sols semi-arides portent en eux-mêmes les germes de leur destruction: faible teneur en matière organique, faible stabilité structurale, forte densité apparente, tendance à la prise de masse et faiblesse des résidus en surface (Bourarach et Oussible, 1995). De ce fait,

l'amélioration de la productivité, la protection des sols contre l'érosion et la restauration de leur fertilité nécessitent une gestion agrobiologique des systèmes de culture.

En effet, pour la majorité des systèmes nord-africains de mise en valeur agricole, l'intensification a permis à court terme des rendements élevés, mais à moyen et long-terme elle peut causer une mauvaise protection des ressources en sol, en eau et de la végétation, par conséquent, une diminution progressive des productivités jusqu'à des niveaux de déclin non remédiables. Ce déclin de la productivité contraint les agriculteurs à exploiter des terres marginales encore plus fragiles. Ces agriculteurs sont pris dans un engrenage qui contribue à aggraver les problèmes : faible productivité des sols – faibles rendements, faibles revenus, faibles apports d'intrants - baisse de rendements. En d'autres termes, la dégradation des ressources naturelles s'est traduite en une dégradation de la situation alimentaire qui se manifeste par la diminution du taux de couverture des besoins par la production.

Pour sortir de cet engrenage du déclin de la productivité, dans chacun des pays de l'Afrique du Nord, la problématique du développement agricole durable doit constituer une priorité stratégique nationale visant à la fois le développement économique, le progrès social, la lutte contre la pauvreté, et la durabilité globale du développement et des structures économiques et productives nationales.

La restauration de la qualité du sol et la gestion durable des terres, qui doivent se réaliser parallèlement, ne peuvent être résolues par une modification technique mais plutôt à travers l'adoption d'une stratégie entièrement nouvelle qui embrasse tous les aspects du problème et considère tous les constituants d'un développement agricole durable. Il faut que la stratégie envisagée prenne en compte des solutions écologiques, alimentaires, économiques et sociales. Pour ce faire, à travers le monde, il y a une nouvelle initiative qui accorde une attention particulière à renverser le processus actuel de dégradation des sols et à réaliser cet objectif double et antagoniste d'améliorer progressivement la production et de préserver l'environnement : c'est l'agriculture de conservation. Celle-ci doit reposer sur la suppression du travail du sol et la protection par une couverture végétale constituée de résidus et de pailles (Mrabet, 1993 ; 2001d). La fixation de cette agriculture contribuera à la durabilité des systèmes agricoles en Afrique du Nord (CDSR, 2001).

III.3.3. En Algérie

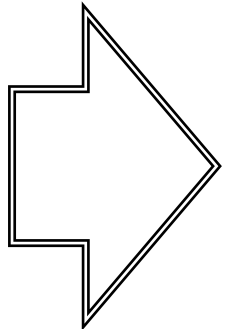
Pour parvenir à garantir une sécurité alimentaire durable, l'Algérie donne la priorité au développement agricole et rural en favorisant les investissements en amont du secteur agricole et l'utilisation des facteurs d'intensification afin d'améliorer les revenus en milieu rural. Dans ce sens et depuis sept ans, le Plan National de Développement Agricole et Rural (PNDAR) mis en œuvre par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, favorise l'intensification agricole afin de sécuriser la production, augmenter le niveau de la productivité et le revenu des agriculteurs et limiter la facture des importations. Il prévoit la mise en place de systèmes de cultures en fonction des zones agro-écologiques et encourage la réduction de la jachère (Mahdi, 2004).

Les travaux de recherche et de développement sur l'agriculture de conservation et plus particulièrement sur le semis direct en Algérie sont très limités. En effet, comparativement au Maroc (30 ans de recherche sur le semis direct) et à la Tunisie (7 à 10 années de recherche) où ce système a été testé et où les superficies réservées à ce système ne cessent de s'accroître, l'Algérie, n'a démarré des études sur le système du semis direct que depuis 6 ou 8 années.

L'adoption des techniques culturales simplifiées et du semis direct permettrait la préservation efficace des ressources naturelles et de l'environnement, et leur diffusion doit tenir compte de la diversité du milieu producteur, de ses contraintes et du rôle joué par l'association céréale-élevage ovin. Elle vise aussi à identifier les multiples facettes de ces techniques de conservation qui aident et confortent la durabilité de l'agriculture (Mahdi, 2004).

Chapitre II

Matériel et Méthodes



1. Les caractéristiques de la région d'étude

1.1 Topographie

La plaine d'Annaba dite aussi basse vallée de l'oued Bounamoussa, présente une forme topographie relativement plane avec toutefois de légères ondulations dont la pente ne dépasse pas les 5%.

1.2. Géologie

La plaine inféodé de la nappe numidienne s'étant du lac fetzara jusqu' à la frontière Algero-Tunisienne. Elle est représentée par des formations argileuses imperméables et des grés Numidien appartenant à l'aire secondaire et tertiaire.

La période du quaternaire qui s'est caractérisée par des dépôts alluvionnaires largement répandus, ayant résulté de phénomènes successifs d'érosion, ont permis la formation de deux types de terrasses classées d'après Boukhnouna (2008) en :

- Terrasses à alluvions anciennes (basses terrasses), constituées par des limons couvrant les lits majeurs des cours d'eau du Bounamoussa.
- Terrasses à alluvions actuelles (moyennes terrasses), représentées par des cailloux de grés et des galets se trouvant au font des vallées et le long des berges de l'oued Bounamoussa.

1.3. Le sol

Certaines caractéristiques dominantes des sols de la plaine couvrant notre zone d'étude, ont été déterminées lors de l'enquête agro-pédologique menée dans les années 1965 et 1969 par la direction du génie rurale et hydraulique agricole d'Annaba. Elle se présente essentiellement comme suit :

- 14000 à 15000 ha de sols légers à texture plus au moins grossière dominée soit par des alluvions récentes des lits actuels ou anciennes des cours d'eau, soit par des terres de piémont, soit par des terrasses fluviales.
- 4000 à 5000 ha sont considérés comme étant des sols lourds, mal drainés.

- 3000 ha des sols situés au nord est de la plaine et au sud des dunes se présentent sous forme de dépressions ou bas fonds inondés touchés par le phénomène de salinisation.
- 2000 ha de sols constituent des dunes très perméables (DSA Annaba, 2008).

1.4. Occupation des sols

Les études agro- pédologiques (1965 et 1969) menées par la direction du génie rural et hydraulique agricole d'Annaba, ont permis de distinguer différents types de culture :

- Terres occupées par de plantations fruitières entre autres les agrumes ;
- Terres utilisées pour l'ensemble des cultures céréalières et maraîchères ;
- Des sols de piémont.

2. Les conditions climatiques

2.1. Pluviométrie

Mutin (1977), rapporte que la pluviométrie influe sur la flore, la faune et les micro-organismes. Elle joue aussi un rôle très important dans l'évolution et la formations des écosystèmes terrestres (Emberge ,1942 et Odum, 1959 in Blondel, 1960).

L'analyse des précipitations mensuelles moyennes sur 10 ans, de la station météorologique d'Annaba (Tableau 2) nous permet de constater que la zone d'étude présente un régime pluvial typiquement méditerranéen. Les potentialités pluviales moyennes annuelles, estimées à 673,1mm sont favorables à des actions agricoles en sec mais aussi en irrigué avec toutefois de légers apports subsidiaires en eau durant certaines phases de développement de la culture.

Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles (2001-2010) enregistrées au niveau de la station les Salines Annaba

J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	T
41,62	11,67	2,71	13,72	55,81	49,91	76,26	127,53	104,55	67,05	63,8	58,45	673,1

2.2. Température

Selon Dreux (1980), la température est un facteur écologique capital agissant sur la répartition géographique des espèces. Elle régule l'activité des micro-organismes. Jusqu'à une certaine limite, les activités biologiques et les taux de minéralisation d'azote augmentant ainsi avec les élévations de température et d'humidité dans les sols.

L'analyse des températures sur 10 ans (Tableau 3) fait ressortir que le mois le plus froid est février avec une température moyenne de 9,9 °C. Le mois le plus chaud est août avec une température moyenne de 25,6 °C (caractéristique du climat méditerranéen).

Tableau 3 : Températures mensuelles moyennes (2000-2010) enregistrées au niveau de la station les Salines Annaba

J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
10,83	9,99	13,2	15,40	18,41	22,43	25,51	25,63	22,82	20,44	15,37	12,21

2.3. Humidité

Le tableau 4 présente les valeurs hygrométriques mensuelles relevées dans la région d'étude durant la période allant de 2000 à 2010

Tableau 4 : Valeurs hygrométriques mensuelles moyennes (2000-2010) enregistrées au niveau de la station les Salines Annaba

J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D
80,23	76,56	74,72	72,4	68,01	64,46	64,29	65,04	70,65	71,08	73,73	78,77

2.4. Diagramme ombrothermique de Gaussen

Le diagramme ombrothermique permet de définir les mois secs. Le climat est sec quand la courbe des précipitations descend en dessous de celle des températures, il est humide dans le cas contraire.

Le diagramme ombrothermique (figure 9) montre que la saison sèche dure près de trois mois, elle s'étale de février jusqu'à mars.

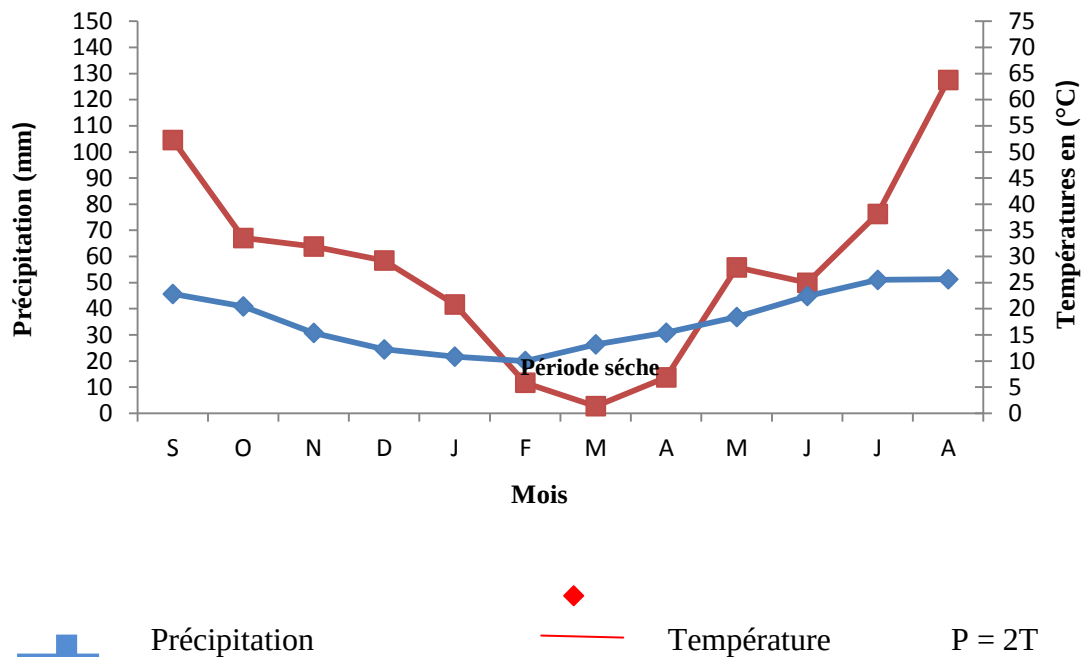


Figure 4: Diagramme ombrothermique de Gaussen (station Annaba)

2.5. Le Climat de l'année d'expérimentation

Le climat joue un rôle déterminant dans la minéralisation de la matière organique. L'année expérimentale 2009-2010 est caractérisée par une quantité de pluie supérieure à celle des dix dernières années 2000-2010. Pour l'année expérimentale les quantités des pluies enregistrées au mois de juillet, août, et septembre sont respectivement de 68,7; 85,2 ; 108,1 mm, elles sont les plus élevées. C'est une année pluvieuse avec une moyenne de 697,6 mm plus élevée à celle de la moyenne sur 10 ans et qui est de 673,1 mm.

Pour la température, on remarque qu'il n'y a pas de différence entre la moyenne sur dix ans et les mois de l'année 2009-2010. On prend par exemple les mois d'octobre, de novembre et de décembre, qui sont respectivement de 19, 1; 15,4 et 12,5°C par contre la moyenne est de 20,44; 15,35 et 12,21°C.

3. Situation géographique des stations

3.1. Station A

La station de Ben Amar, appelée aussi station « A » est une exploitation agricole située à 17 Km à l'est de la ville d'Annaba. C'est une région à vocation agricole, localisée entre le cordon dunaire au Nord et les monts de la chefia au sud, ces limites géographiques sont :

- Au nord : La route nationale N°44 (Annaba – El Kala)
- A l'est : Par la route départementale de Zerizer et de Besbes.
- Au sud : La plaine de Zerizer et de Besbes.
- A l'ouest : par la plaine d'El-Hadjar.

3.2. Station B

La station el karma appelée aussi station « B » est une ferme agricole. Elle est située à 22km au sud de la ville d'Annaba. Les limites géographiques sont :

- Au nord : Exploitation agricole collectifs
- A l'est : Route nationale Annaba –Guelema .
- Au sud : Exploitation agricole privés Ben Yaacoub
- A l'ouest : Usine d'El-Hadjar.

4. Les données culturelles

4.1. Station A

C'est une ferme agricole exploité depuis 2007 sur une surface de 54 ha. Le système de culture pratiqué est un système conventionnel.

Les neuf échantillons ont été prélevés de l'horizon de surface (5-20cm) des différentes parcelles (Figure 5). Le précédent cultural de chaque parcelle ainsi que les amendements organiques et minéraux se trouvent dans le tableau 5 (pour l'historique cultural de 10 ans voir l'Annexe 2).

4.2. Station B

La ferme est d'une superficie totale 360 ha. Huit échantillons ont été prélevés des différentes parcelles .Les échantillons ont été prélevé à deux profondeurs de 0-5 cm et de 5-20 cm (Figure 6). La culture pratiquée est la céréaliculture depuis 5 ans en semis directe.

Tableau 5 : Les parcelles de la station A

Echantillons	Profondeur (cm)	Superficie (M ²)	Précédent culturelle	Amendement	
				Organique	Minérale
A1	5-20	1600	Melon	10 Humistar 160 Kg MO	11.15.15 (50Kg) 5.27.30 (25 Kg) Urée 46% (25 Kg)
A2		5000	Tomate industriel	Enfouissement débris de tomate	11.15.15 (300Kg) Urée 46% (25 Kg) Pota sol (20 Kg)
A3		5000	Céréale	Enfouissement débris de Céréale	11.15.15 (150Kg) Urée 46% (20 Kg) Sulfazote (20 Kg)
A4		5000	Céréale	Enfouissement débris de Céréale	11.15.15 (150Kg) Urée 46% (20 Kg) Sulfazote (20 Kg)
A5		5000	Céréale	Enfouissement débris de Céréale	11.15.15 (150Kg) Urée 46% (20 Kg) Sulfazote (20 Kg)
A6		250	Piment	10 Humistar 1800 Kg MO	11.15.15 (40Kg) Urée 46% (8Kg) Sulfazote (5 Kg)
A7		2750	Pastèque Greffé	30 Humistar 1600 Kg MO	11.15.15 (60Kg) Urée 46% (17 Kg) Sulfazote (20 Kg)
A8		2500	Pastèque Greffé	40 Humistar	11.15.15 (100Kg) Urée 46% (25Kg) Sulfazote (25 Kg)
A9		250	Piment	10 Humistar 1800 Kg MO	11.15.15 (100Kg) Urée 46% (25Kg) Sulfazote (25 Kg)



Figure 5: Localisation des échantillons de la station A
(Google earth 2009)



Figure 6: Localisation des échantillons de la station B
(Google earth 2009)

5. Protocole expérimental

5.1. Prélèvement des échantillons

Le prélèvement a concerné les couches superficielles. Les prélèvements pour chaque parcelle ont été effectués à plusieurs endroits choisis de façon aléatoire sur une profondeur de 5-20 cm pour la première station et à deux profondeurs 0-5cm et 5-20 cm pour la deuxième station. Nous avons prélevé 2 à 3 prélèvements pour chaque parcelle. Les prélèvements ont été ensuite mélangés pour constituer un échantillon homogène représentant chacune des parcelles.

5.2. Préparation des échantillons de sol

Au laboratoire, les échantillons sont préparés en vue d'être analysés.

-Le séchage lent à l'air, qui seul peut conserver au sol ses propriétés. C'est seulement dans le cas de l'appréciation de l'humidité des échantillons conservés en sacs ou en boîtes étanches que le séchage à l'étuve à 150° est pratiqué. Mais un tel traitement fausserait les résultats de l'analyse chimique, surtout la teneur en phosphore ;

-Le tamisage au tamis de 2 mm, séparant la terre fine de la fraction grossière. La terre est au préalable écrasée mais non broyée dans un mortier, à l'aide d'un pilon de bois ne risquant pas de broyer les sables siliceux et calcaire.

5.3. Les Méthodes des analyses pédologiques

Sur la fraction broyée et tamisée ont été effectuées les analyses suivantes :

5.3.1. Les Analyses chimiques

5.3.1.1. Détermination du pH

Par définition, il est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu (Dajoz, 1985).

A. Le pH eau : C'est la mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans de l'eau, avec un rapport terre/eau normalisé (1/5). Il indique aussi la concentration en ions « H^+ » présente dans l'eau (Morel, 1986). La lecture du pH se fait sur le pH mètre lorsque l'aiguille est stabilisée et après un repos d'au moins une heure de la suspension (Ben Amara, 2007).

B. Le pH KCl : Il exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expression des degrés de saturation du complexe adsorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés. Dans notre étude, nous avons mesuré l'acidité d'une suspension de chlorure de potassium (KCl 1N), avec un rapport terre /solution normalisé (1/5) (Delcour, 1981).

5.3.1.2. La conductivité électrique (C.E)

La conductivité électrique s'effectue de la même manière que le pH eau (1/5 rapports du sol /eau), mais par le conductimètre à la place du pH mètre (Samai, 2007).

5.3.1.3. La capacité d'échange cationique

La C.E.C a été déterminée par la méthode de Metson. Cela consiste à saturer le sol à l'aide d'acétate d'ammonium 1N pH7 .Celui-ci qui déplace les bases et l'acidité échangeable du complexe adsorbant (les base échangeables Ca, Mg sont dosés par spectrophotométries K et Na) qui sont dosées par le photomètre à flamme, dans la 1ère solution d'acétate d'ammonium récoltée. Concernant la détermination de la CEC, l'ammonium fixé sera déplacé à son tour par une solution de KCL puis distillé et dosé par une solution de H_2SO_4 . (Ben Amara, 2007).

5.3.1.4. Les bases échangeables

Le sodium, le Potassium, Magnésium et le calcium ont été dosés par spectrométrie à flamme.

5.3.1.5. Calcaire total

La teneur en calcaire total permet de préciser le type de sol et de connaître l'importance des réserves en CaCO_3 du sol, elle est déterminée à l'aide du calcimètre de Bernard (Duchaufour, 1977).

5.3.1.6. Le phosphore assimilable

Il est déterminé par la méthode de Joret-Hubert.

5.3.1.7. L'azote total

L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl décrite par Duchaufour, (1977). La prise de sol est attaquée par l'acide sulfurique à ébullition. La matière organique est alors minéralisée et le carbone est oxydé en CO_2 . L'azote passe à l'état d'ammoniaque et se fixe par l'excès d'acide sulfurique, cet azote peut être alors déplacé facilement et dosé par entraînement à la vapeur.

5.3.1.8. Carbone et matière organique

Le dosage du carbone organique est effectué par la méthode de Walkley Black ; basée sur l'oxydation à froid de carbone organique par le dichromate de potassium en milieu acide.

La matière organique est calculée selon la relation suivante :

$$\text{La matière organique \%} = \text{carbone\%} \times 1,72$$

5.3.1.9. Le rapport C/N

Le rapport C/N a été déterminé à partir du dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl, et la détermination du carbone par la méthode de Walkley Black.

5.3.2. Les Analyse physiques

5.3.2.1. L'humidité hygroscopique (H)

L'évaluation de l'humidité hygroscopique passe par un séchage à l'air libre puis par un séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C (Benslama, 2005).

5.3.2.2. La porosité

La détermination de la porosité totale de petits agrégats de terre, secs conduit à l'évaluation de la porosité texturale ou l'estimation de la porosité minimale d'assemblage (Barriuso et *al.* 1990).

La porosité est le rapport du volume des vides existants dans un volume total donné de matériaux. La porosité totale s'exprime en fraction ou en pourcentage du volume total (Blanc ,1987). Elle peut être calculée à partir des valeurs de la densité réelle et la densité apparente par la formule suivante :

$$P \% = \frac{D_r - D_a}{D_r} \times 100$$

P : La porosité totale

Dr : La densité réelle

Da : La densité apparente

A. La densité apparente (D_a)

Elle représente la masse totale de l'agrégat/volume total de l'agrégat. La « D_a » indique l'état ou la condition du sol, elle diminue avec la teneur du sol en humus. (Duthil, 1970 in Boudjemaa, 2007). Elle est déterminée selon la procédure décrite par Yoro et

Godo (1990). Le principe de la méthode au cylindre est fondé sur l'évaluation du poids spécifique apparent d'un volume (V) de sol prélevé, le volume est celui du cylindre. Le poids prélevé (p) est évalué par pesée au laboratoire après séchage à 105°C pendant 24 heures en utilisant une balance de précision. La densité apparente est déduite en fonction des deux variables mesurées.

B. La densité réelle (D_r)

Elle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, la « D_r » représente la masse du solide / le volume du solide.

• Mode opératoire

- Préparer une quantité suffisante d'eau déminéralisée bouillie et refroidie à l'abri de l'air
- Préparer une série de fioles de 250 ml, numérotées et lavées à l'eau, à l'alcool et séchées à 105°C (réserver ces fioles à la détermination de la densité réelle), ainsi que des bouchons numérotés.
- Peser les fioles bouchées.
- Remplir les fioles d'eau jusqu'au trait de jauge. Boucher et peser.
- Sécher de nouveau les fioles à 105 °C.
- Introduire dans les fioles environ 100 g de sol séché à l'air. Boucher et peser.
- Ajouter de l'eau déminéralisée jusqu'à la moitié environ du volume; bien mélanger.
- Faire bouillir et maintenir à douce ébullition pendant 5 minutes environ en agitant régulièrement.
- Laisser refroidir à la température ambiante et mesurer la température du liquide refroidi.
- Ajuster au trait de jauge, boucher et peser. (Petard, 1993)

5.3.2.3. La granulométrie

S'effectue le plus souvent par la méthode internationale (modifiée par la l'emploi de la pipette de Robinson) (Soltner, 1970).

5.3.2.4. La stabilité structurale

Il existe au niveau international de très nombreuses méthodes de mesure de la stabilité structurale, ce qui montre à la fois l'intérêt porté à cette notion et l'absence d'une standardisation pour son évaluation. De fait, il s'agit d'une propriété fondamentale des sols pour de nombreux aspects de leur comportement, particulièrement en ce qui concerne l'hydrodynamique et l'érosion (Yoder, 1936; Bryan, 1968; Boiffin, 1984; De Ploey et Poesen, 1985). Ce pendant la complexité des mécanismes et le nombre des paramètres impliqués font qu'il existe une certaine confusion en ce qui concerne les processus de dégradation structurale et ses relations avec l'érosion des sols.

A. Description de la méthode

La coexistence de nombreuses méthodes peut s'expliquer par la multiplicité des mécanismes en cause, mais aussi par des aspects méthodologiques. Les différences entre méthodes peuvent être liées aux caractéristiques de l'échantillon soumis au test, au traitement appliqué, à la mesure du résultat ou à son mode d'expression. Par ailleurs, celui-ci peut être plus ou moins synthétique et avoir une signification physique plus ou moins directe. La combinaison entre tous ces paramètres sont donc nombreux. L'objectif de la méthode proposée est de donner une description réaliste du comportement des matériaux-sols soumis à l'action de la pluie, et de permettre un classement relatif des matériaux vis-à-vis de ce comportement.

La méthodologie est largement inspirée du test classique de Hénin et *al.* (1958), mais elle intègre également certains aspects d'autre méthodes (Yoder, 1936 ; Grieve, 1980; Kemper et Rosenau, 1996) ainsi que les résultats des dernières recherches réalisées dans ce domaine à l'INRA de France. Les trois tests proposés ont pour objectif de rendre compte de ce comportement dans les différentes conditions climatiques, hydrique et structurales que l'on peut rencontrer à la surface du sol. Les traitements ont été choisis dans l'esprit suivant :

Séparer les différents mécanismes les uns des autres ; bien séparer la phase de désagrégation de la mesure du résultat de cette désagrégation ; exprimer les résultats sous une forme explicite et facilement interprétable par rapport au comportement physique in-situ. Dans la continuité de la méthode de Hénin et *al.* (1958), la méthode proposée fait une place importante à l'utilisation de l'éthanol qui permet, d'une part, de bien contrôler la désagrégation et d'autre part, limiter la réaggrégation des particules durant le séchage.

B. Préparation de l'échantillon

Après prélèvement au champ dans des conditions d'humidité modérées, par exemple les conditions permettant la préparation de lit de semences, l'échantillon doit être ramené au laboratoire dans des boîtes rigides et rapidement mis à sécher à l'air dans une atmosphère tempérée et ventilée. Durant cette période les plus grosses mottes peuvent être périodiquement brisées à la main pour produire, dans les conditions d'humidité optimales, le maximum d'agrégats de taille millimétrique. L'échantillon est ensuite passé au tamis et les agrégats de 3 à 5 mm sont sélectionnés pour les tests. Juste avant le test les agrégats sont mis à l'étuve à 40° C pendant 24 h pour supprimer d'éventuelle variation d'humidité et uniformiser les conditions de traitement.

B1- Traitement 1 : humectation rapide par Immersion

Ce traitement permet de tester le comportement de matériaux secs soumis à des humectation brutales, de type irrigation par submersion, ou des pluies intenses (orage de printemps et été), bien que dans ce dernier cas le choc des gouttes joue également un rôle,

- Peser 5 g d'agrégats de 3-5 mm (poids initial),
- Verser 50ml d'eau permutée dans un bécher,
- Verser les agrégats dans le bécher,
- Laisser reposer 10 mn (observation visuelle de l'éclatement),
- Evacuer l'excès d'eau (par pipetage)
- Transférer les agrégats sur un tamis de 50 μ m immergé dans de l'éthanol (en s'aidant d'une pissette d'éthanol)

B2-Traitement 2 : humectation lente par capillarité

Ce traitement permet de tester le comportement de matériaux secs ou peu humide soumis à des pluies modérées. Il est moins destructif que l'humectation rapide et permet donc de discriminer les sols très peu stables.

- Peser 5g d'agrégats de 3-5mm (poids initial),
- Disposer les agrégats sur un papier « filtre » de type Kleenex deux épaisseurs, posé sur une table à succion avec une dépression de 3cm
- Attendre la ré- humectation des agrégats par capillarité (au moins 30 mn)
- Transférer les agrégats sur le tamis de 50 μm immergé dans l'éthanol (en s'aidant d'une pissette d'éthanol)

B3-Traitement 3 : désagrégation mécanique par agitation après ré-humectation

Ce traitement permet de tester le comportement de matériaux humides (périodes hivernales humides). La ré-humectation préalable a pour objectif de tester la cohésion des matériaux à l'état humide indépendamment de l'éclatement. Cette ré-humectation sans éclatement peut être réalisée soit par ré-humectation sous vide soit par l'utilisation d'un liquide non polaire et miscible à l'eau. L'éthanol convient très bien dans ce cas (Hénin et *al.*, 1958).

- Immerger les agrégats dans l'éthanol pendant 30mn,
- Evacuer l'excès d'éthanol,
- Verser 50 ml d'eau permutée dans un l'erenmeyer
- Transférer les agrégats dans l'erenmeyer (en s'aidant d'une pissette d'eau permutée),
- Ajuster le niveau d'eau permutée à 250 ml (en versant avec la pissette sur le bord de l'erenmeyer),
- Agiter manuellement l'erenmeyer en effectuant 10 retournements (on peut envisager de réaliser cette opération mécaniquement avec un agitateur adapté),
- Laisser reposer 30 mn. (observation visuelle de la décantation),
- Evacuer l'excès d'eau (par pipetage)
- Transférer les agrégats sur le tamis de 50 μm immergé dans l'éthanol(en s'aidant de la pissette d'éthanol).

C. Mesure de la distribution de la taille de particules résultantes

L'objectif de cette partie de test est de décrire le résultat de la désagrégation en évitant au maximum toute désagrégation supplémentaire. La procédure est identique pour les trois traitements et elle se fait en deux temps :

- La première étape consiste à appliquer cinq fois un mouvement hélicoïdale (avec l'appareil de Hénin ou de Yoder) au tamis de 50 μm immergé dans l'éthanol sur lequel on a disposé l'échantillon désagrégué, afin d'effectuer une première séparation granulométrique. On récupère ensuite la fraction supérieure à 50 μm dans une coupelle en verre (en s'aidant de la pissette d'éthanol) et on fait sécher à 105 °C pendant 48h. On peut également réaliser cette opération de tamisage dans l'eau si on ne dispose pas d'éthanol en quantité suffisante, mais dans ce cas une désagrégation supplémentaire risque d'intervenir.
- Cette fraction supérieure à 50 μm est ensuite passée sur une colonne de 6 tamis de 2000 μm , 1000 μm , 500 μm , 200 μm , 100 μm , 50 μm . La fraction inférieure à 50 μm est obtenue par déduction par rapport au poids initial et on peut ensuite calculer le % de chaque fraction par rapport au poids initial. On calcule ensuite le diamètre moyen pondéral après désagrégation (MWD) (valeur comprise entre 0,025 mm et 4 mm) (Le Bissonnais et Christine, 1995).

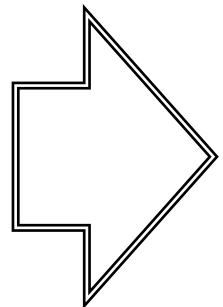
-

6. Analyse des données

Pour étudier la répartition spatiale des différentes propriétés physiques et chimiques des sols étudiés, la méthode de l'analyse en composantes principales (ACP) est la méthode qui peut expliquer la distribution et la répartition des variables autour des axes principaux faciles, et permet d'observer éventuellement les liaisons entre les variables et les endroits où elles sont le plus représentées. Cette analyse a été réalisée avec XLSTAT.

Chapitre III

Résultats et Discussion



1. Les caractéristiques chimiques des sols

1.1. Le pH

1.1.1. Le pH eau

En se référant aux tableaux 6 et 7, nous constatons que la majorité des échantillons des deux stations est alcaline. Pour la station A, le pH varie entre 7,2 et 8,27 et pour la station B, il est entre 7,99 et 8,45. Ces résultats concordent avec ceux obtenus dans la même région par Haga (2008).

Tableau 6 : Echelle d'interprétation du pH eau (Gagnard et *al.*, 1988)

pH eau	< 5,5	5,5 - 6,5	6,5 - 6,8	6,8 - 7,2	7,2 - 7,5	7,5 - 8,5	> 8,5
Appréciation	Fortement acide	Acide	Très légèrement acide	Voisin de la neutralité	Légèrement alcalin	alcalin	Fortement alcalin

1.1.2. Le pH Kcl

Le pH Kcl pour la station A varie entre 6,89 et 8,35 et pour la station B, il varie entre 7,33 et 8,32 et il est de l'ordre de 7. Cette situation nous permet de dire que le complexe absorbant est suffisamment saturé et qu'il existe un certain équilibre entre l'acidité actuelle et l'acidité potentielle.

Tableau 7: Valeur du pH eau et pH Kcl des deux stations

Station	Echantillon	Profondeur (cm)	pH eau	pH kcl
A	A1	5-20	7,2	6,9
	A2		7,31	7,13
	A3		7,81	7,6
	A4		7,22	7,09
	A5		7,45	7,24
	A6		7,86	7,65
	A7		8,12	7,7
	A8		8,3	7,97
	A9		8,27	8,11
B	B1a	0-5	8,26	8,23
	B1b	5-20	8,23	7,94
	B2a	0-5	8,34	8,13
	B2b	5-20	8,45	8,32
	B3a	0-5	7,99	7,64
	B3b	5-20	8,21	7,87
	B4a	0-5	8,3	8,05
	B4b	5-20	8,4	7,99

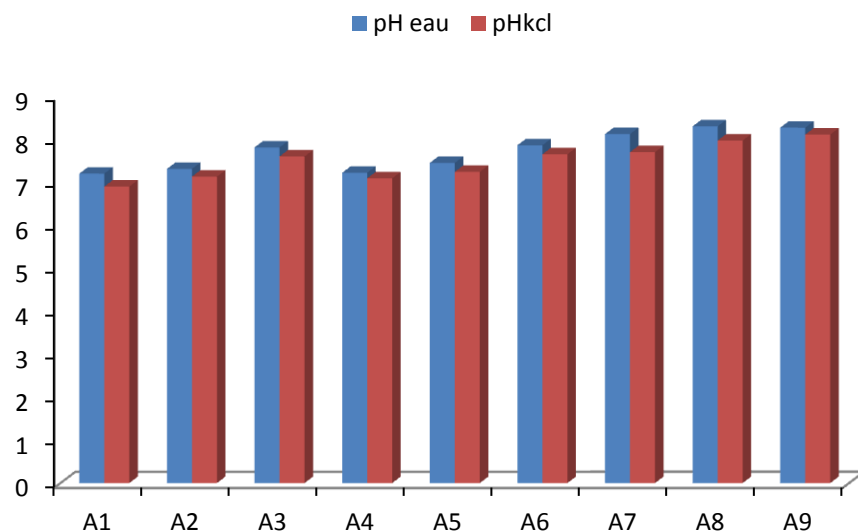


Figure 7 : Variation du pH eau et pH KCl pour la station A

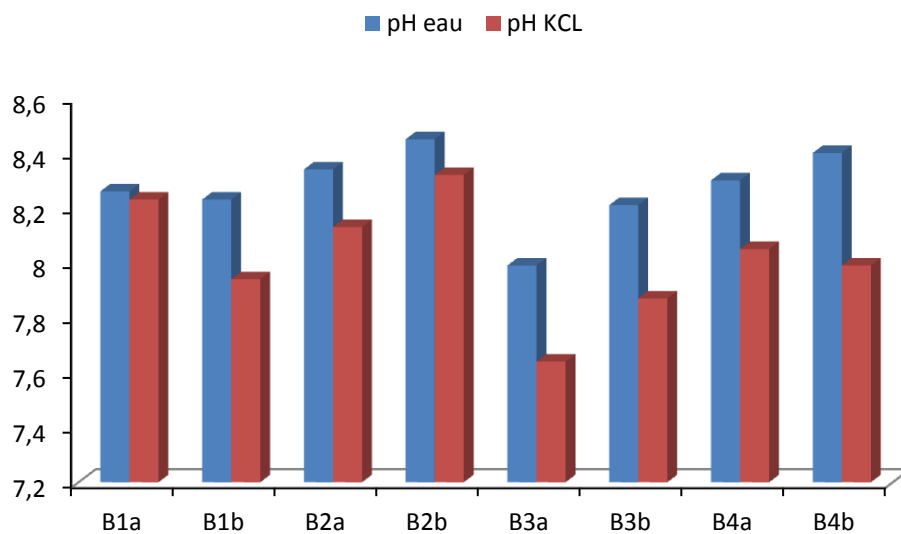


Figure 8 : Variation du pH eau et pH KCl pour la station B

D'après les histogrammes, on constate que les valeurs du pH eau et du pH KCl pour la station A ne sont pas très différentes. Donc on est en présence d'un sol saturé qui présente une certaine stabilité et qui résiste assez bien à toute modification brutale des réactions du sol.

Par contre on remarque dans la station B qu'il ya des différences relativement importantes entre le pH eau et le pH KCl.

1.2. La Conductivité électrique CE

Selon l'échelle de salure Européenne (Tableau 8), nos résultats montrent que la majorité des échantillons de la station A n'est pas salée sauf les deux échantillons A1 et A6 qui sont peu salés (Figure 9). Les résultats obtenus dans la station B montrent que tous les échantillons sont non salés (Figure 10). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Boudjemaa (2010) dans la même région.

Tableau 8 : Echelle de salure Européenne (Gros, 1979)

CE mmhos/cm	0 - 0,6	0,6 à 1,2	1,2 à 2,4	2,4 à 6	> 6
Solution	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé

CE mmhos/cm

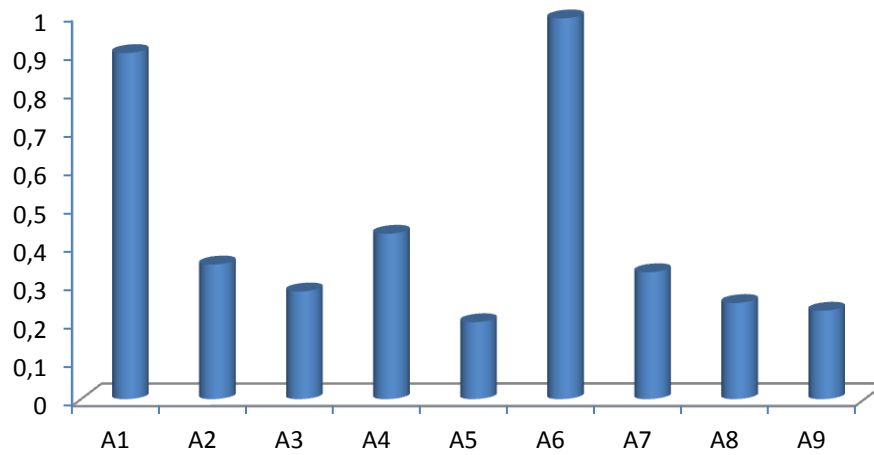


Figure 9: Variation de la conductivité électrique (CE) de station A

CE mmhos/cm

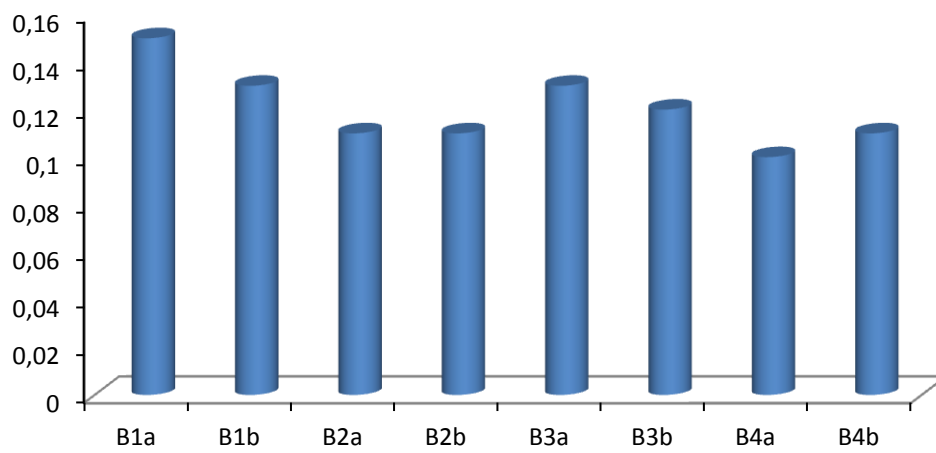


Figure 10 : Variation de la conductivité électrique (CE) de station B

1.3. La capacité d'échange cationique (C.E.C)

La capacité d'échange cationique dépend du taux de l'humus et de l'argile du sol. En se référant aux normes ci-dessous, nous constatons que la capacité d'échange cationique est très élevée pour les deux stations. Pour la station A, la CEC varie entre 162 et 545 méq/100g et pour la station B, elle varie entre 121 et 303 méq/100g (Tableau 9).

Tableau 9 : Les normes d'interprétation de la C.E.C (Calvet et Villemen, 1986)

Valeur de la CEC en méq/100 g	Interprétation
$CEC < 9$	Petite CEC
$9 \leq CEC \leq 12$	CEC moyenne
$12 < CEC \leq 15$	CEC assez élevée
$15 < CEC \leq 25$	CEC élevée
$CEC > 25$	CEC très élevée

Tableau 10 : Résultats d'analyse du CEC pour les deux stations A et B

Station	Echantillon	Profondeur (cm)	CEC (meq/100g)
A	A1	5-20	228
	A2		202
	A3		569
	A4		338
	A5		545
	A6		252
	A7		162
	A8		242
	A9		274
B	B1a	0-5	228
	B1b	5-20	121
	B2a	0-5	146
	B2b	5-20	303
	B3a	0-5	176
	B3b	5-20	226
	B4a	0-5	283
	B4b	5-20	202

1.4. Les bases échangeables

Les résultats de l'analyse chimique des bases échangeables des sols étudiés sont mentionnés dans le Tableau 11.

1.4.1. Potassium

Le potassium est indispensable à toute élaboration de la matière sèche et intervient directement dans la photosynthèse d'hydrates de carbone et des protides. Elle ne peut se faire qu'en sa présence. En se référant au Tableau 12, on remarque que la majorité des résultats de la station A est très riche et varie entre 0,63 et 3,10 meq /100g. Pour la station B les résultats varient entre 0,71 et 1, 42 meq /100g, riches en potasse.

1.5.2. Le calcium

Le Calcium intervient dans la formation des complexes argilo-humique. Par contre un excès de Calcium peut provoquer surtout l'insolubilisation des composés phosphatés et le blocage éventuel des oligo-éléments (Fe, Zn, Cu et Mn) (Morel, 1996). Nos résultats montrent que la concentration du Calcium pour les deux stations A et B est très élevée.

1.5.3. Le Magnésium

La teneur en Magnésium n'est pas négligée pour les deux stations. En se référant au Tableau 13, elle varie entre 0,27 et 5,24 meq/100g pour la station A. Pour la station B les résultats varient entre 6,79 et 2,26 meq/100g .Ces sols sont très riches en magnésium.

1.5.4. Le Sodium

La teneur en sodium enregistrée dans la station A varie entre 0,49 et 4,68 meq/100g. Pour la station B, elle varie entre 0,43 et 1,91 meq/100g. Ces valeurs sont inférieures à celles du calcium et ceci est favorable à une évolution de la matière organique (Roula, 2006).

Tableau 11 : Résultats des analyses des bases échangeables pour la station A et B

Station	Echantillon	Profondeur (cm)	K meq /100g	Na meq /100g	Mg meq /100g	Ca meq /100g
A	A1	5-20	0,75	4,68	5,24	37,23
	A2		1,27	1,58	4,89	39,58
	A3		0,85	1,06	3,98	38,83
	A4		1,24	1,38	3,22	37,41
	A5		0,67	1,33	3,20	37,37
	A6		0,06	1,42	0,27	0,01
	A7		0,63	1,34	3,25	33,20
	A8		0,67	0,49	3,34	35,11
	A9		3,10	0,53	2,29	28,40
B	B1a	0-5	0,71	0,43	2,26	38,43
	B1b	5-20	0,86	0,47	2,35	38,68
	B2a	0-5	1,10	1,07	4,60	40,64
	B2b	5-20	0,72	0,90	4,48	40,44
	B3a	0-5	1,42	0,67	6,79	39,38
	B3b	5-20	0,92	1,91	7,11	42,52
	B4a	0-5	0,98	0,82	6,59	40,19
	B4b	5-20	0,85	0,72	7,29	39,96

Tableau 12 : Appréciation de la teneur en K et K₂O en fonction de la texture (Anonyme, 2007)

Appréciation n teneur en K et K ₂ O	Teneur en K ou K ₂ O en g/ kg						Besoin
	Texture grossière		Texture moyenne		Texture fine		
	K	K ₂ O	K	K ₂ O	K	K ₂ O	
Pauvre	< 0,08	< 0,10	< 0,12	< 0,15	< 0,16	< 0,20	***
Moyennement pourvu	0,08 à 0,16	0,10 à 0,20	0,12 à 0,20	0,15 à 0,25	0,16 à 0,25	0,20 à 0,30	**
Riche	> 0,16	> 0,20	> 0,20	> 0,25	> 0,25	> 0,30	*

*** très élevé, **élevé, * ceux de la culture

Tableau 13: Appréciation de la teneur en Mg et MgO en fonction de la texture (Anonyme, 2007)

Appréciation n teneur en Mg et MgO	Teneur en Mg ou MgO en g/ kg						Besoin
	Texture grossière		Texture moyenne		Texture fine		
	Mg	MgO	Mg	MgO	Mg	MgO	
Pauvre	< 0,05	< 0,08	< 0,09	< 0,15	< 0,12	< 0,20	***
Moyennement pourvu	0,05 à 0,09	0,08 à 0,15	0,09 à 0,12	0,15 à 0,20	0,12 à 0,18	0,20 à 0, 30	**
Riche	> 0,09	> 0,15	> 0,12	> 0,20	> 0,18	> 0,30	*

*** très élevé, **élevé, * ceux de la culture

1.5. La matière organique

La matière organique exerce un rôle très important sur le sol : elle améliore ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau,...) et chimiques par la libération progressive des éléments nutritifs et l'augmentation de leur pouvoir absorbant en éléments minéraux apportés par les engrais (Callot et *al.*, 1982).

D'après les normes d'interprétation de la matière organique (Tableau 14), les sols de la station A sont très riches en matière organique avec des valeurs importantes qui varient entre 32,5 et 32,89 %. Par contre les sols de la station B ont un taux moyen à très pauvre, de 0,02 à 5 %. La richesse de la matière organique dans la station A est expliquée par les amendements organiques apportés, par contre les parcelles de la station B ne sont pas amendées et il faut pratiquer plusieurs années le semis direct pour espérer voir une augmentation de la teneur en

MO à un niveau appréciable. Les valeurs trouvées dans la présente étude sont similaires à celles rapportées par Boudjemaa (2007) qui mentionnent les valeurs variant de 1,1 à 1,5%.

Tableau 14 : Normes d'interprétation du taux du MO (Association des fabricants d'engrais Québec ,1987)

Niveau	Texture légère	Texture lourde
	Sable à loam	Loam argileux argile lourde
Très pauvre	0,0 – 2,0 %	0,0 – 2,0%
Pauvre	2,1 – 3,5%	2,1 -4,5%
Moyen	3,6 - 6,6%	4,6 -10,0%
Riche	6.6 - 8.0%	10,1 13,0%
Très riche	$\geq 8,0\%$	$\geq 13,0\%$

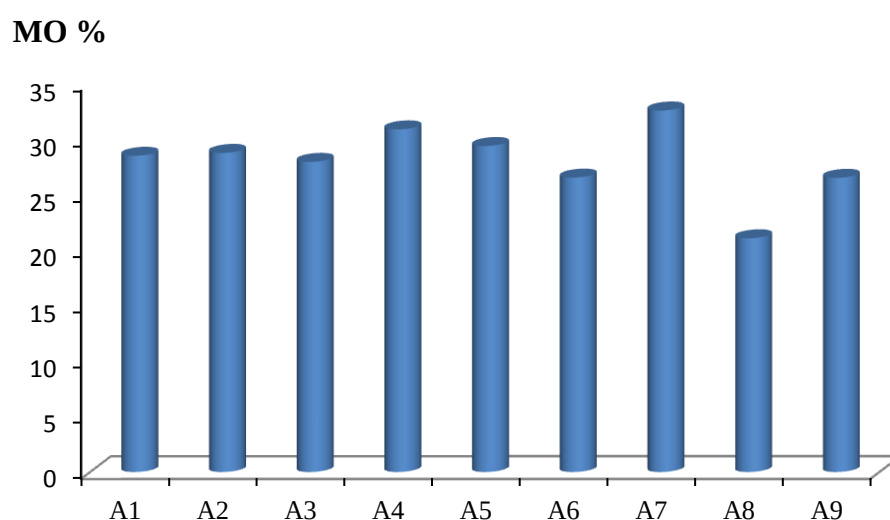


Figure 11 : Taux de la MO de la station A

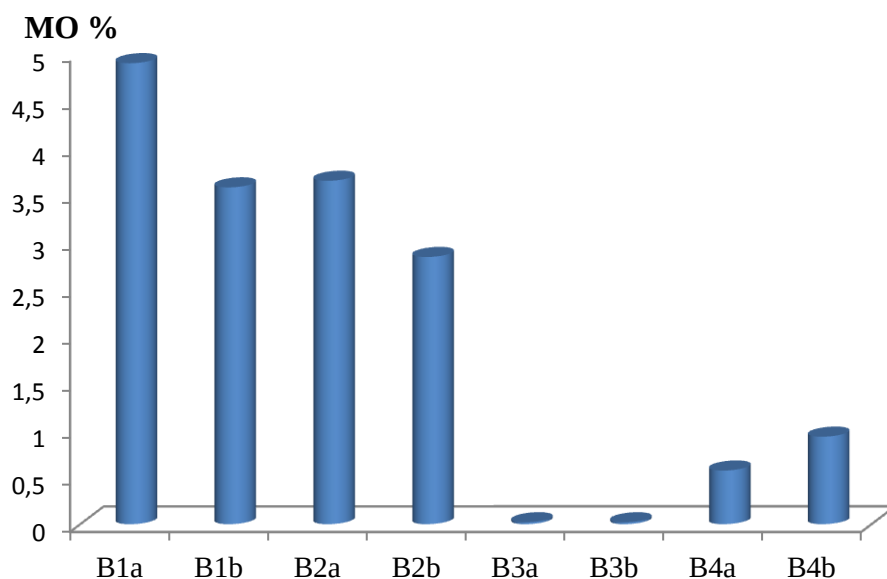


Figure 12 : Taux de la MO de la station B

1.6. Les éléments de fertilité

1.6.1. Le rapport C/N

Le rapport C/N indique l'évolution de la matière organique, il intervient dans la mesure ou oriente la décomposition de la matière organique, soit vers la minéralisation ou vers l'humification (Gros, 1979 ; Duchaufour, 1988 et Soltner, 2000). Il traduit la capacité minéralisatrice : un apport C/N inférieur à 25 accélère la décomposition et limite par conséquent, les possibilités d'humification (Domergue et Mongenot, 1970).

Comme pour le sol, le rapport C/N est souvent utilisé pour prédire la stabilité d'une matière organique simple dans le sol. Une matière à faible C/N (4 à 12) va être rapidement minéralisée en fournissant beaucoup d'azote minéral. La dégradation d'une matière à fort C/N (15 à 20) va à l'inverse, provoquer l'immobilisation de l'azote du sol par les micro-organismes.

Concernant nos résultats, le rapport C/N est trop élevé pour la station A, il varie entre 87,5 et 150,73, ce qui témoigne d'une mauvaise minéralisation de la matière organique. Dans la station B, d'une manière générale, le taux est relativement faible, il varie entre 9 et 18,33, et il faut noter que l'échantillon B3a présente un rapport très faible 0,01 (Tableau 15). Le

rapport C/N dépend de la quantité du carbone, il est élevé dans la station A qui font des apports organiques.

1.6.2. L'azote total

L'azote dans les sols dépend de la minéralisation de l'azote organique, c'est-à-dire l'ammonification et la nitrification (Heller et *al*, 1993). L'excès d'azote va provoquer une stimulation de la croissance des feuilles au dépend des fleurs, et il provoque une moindre résistance des plantes aux gelées, à la sécheresse et aux maladies.

D'après les résultats obtenus (Tableau 15) et les normes (Tableau 16) les échantillons de la station A présentent un taux moyen, par contre la majorité des échantillons de la station B est moyenne sauf les échantillons B2, B3 et B4 qui sont pauvres et varient entre 0,06 et 0,09 %.

1.6.3. Le phosphore assimilable

Comme pour l'azote, le phosphore est indispensable à la croissance, il est surtout abondant dans les organes jeunes des plantes, il favorise essentiellement la respiration, la photosynthèse et le développement des racines.

En se référant aux normes (Tableau 17), et aux résultats obtenus (Tableau 15), on remarque que les échantillons des deux stations sont tous très pauvres en phosphore.

Tableau 15 : Taux des éléments fertilisants des stations A et B

Région	Echantillon	Profondeur (cm)	Phosphore ppm	Azote N%	Carbone Total C%	Le rapport C/N
A	B1	5-20	17,20	0,11	16,58	150,73
	B2		16,10	0,13	16,73	128,69
	B3		14,50	0,14	16,26	116,14
	B4		19,30	0,13	17,96	138,15
	B5		17,70	0,13	17,09	131,46
	B6		22,90	0,15	15,43	102,87
	B7		18,80	0,13	18,95	145,77
	B8		17,70	0,14	12,25	87,5
	B9		80,30	0,15	15,42	102,8
B	K1a	0-5	20,60	0,16	2,85	17,81
	K1b	5-20	16,50	0,13	2,08	16
	K2a	0-5	21,70	0,12	2,12	17,67
	K2b	5-20	17,80	0,09	1,65	18,33
	K3a	0-5	97,10	0,10	0,01	0,1
	K3b	5-20	24,70	0,07	0,01	0,14
	K4a	0-5	15,50	0,06	0,33	5,5
	K4b	5-20	11,00	0,06	0,54	9

Tableau 16 : Norme d'interprétation pour l'azote (Gros, 1979)

Classe	Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
Azote %	<005	0,05 à 0,1	0,1 à 0,15	0,15 à 0,25	> 0,25

Tableau 17 : Classe d'appréciation pour le phosphore assimilable (Équiterre, 2011)

Classe	Terre pauvre	Terre moyenne	Terre riche
Phosphore assimilable	< 50 kg/ha	101-150 kg/ha	201-300 kg /ha

1.7. Calcaire totale

La teneur en calcaire du sol est déterminante pour le choix de la forme des engrais à préconiser et notamment celle des fertilisants sulfatés (Gagnard et *al.*, 1988).

Tableau 18 : Normes d'interprétation du taux de calcaire du sol (Geppa in Baize, 1988).

Taux du calcaire	< 1 %	1 à 5 %	5 à 25 %	25 à 50 %	50 à 80 %	> 80 %
Appréciation	Non calcaire	Peu calcaire	Modérément calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire	Excessivement calcaire

En comparant les valeurs obtenues (Tableau 19) à celles signalées par Baize, (1988) (Tableau 18), nous constatons que les sols des deux stations A et B sont modérément calcaires sur toutes les couches considérées, ces teneurs tendent à diminuer avec la profondeur des sols de la station B.

Tableau 18: Taux de calcaire total dans les deux stations A et B

Région	Echantillon	Profondeur (cm)	Calcaire totale %
A	A1	5-20	24.88
	A2		24.90
	A3		24.83
	A4		24.93
	A5		24.95
	A6		24.95
	A7		24.95
	A8		24.93
	A9		24.90
B	B1a	0-5	20
	B1b	5-20	19,75
	B2a	0-5	21,07
	B2b	5-20	20,75
	B3a	0-5	18,60
	B3b	5-20	18,42
	B4a	0-5	19,17
	B4b	5-20	18,67

2. Les caractéristiques physiques

2.1. L'humidité

L'humidité représente la quantité d'eau que peut retenir un sol soumis aux conditions d'assèchement naturelles. C'est la quantité d'eau retenue à la surface externe des particules du sol et en équilibre avec la pression et l'humidité atmosphérique. Les résultats

obtenus des sols étudiés de la station A varient entre 4,0 et 7,2% avec une moyenne de 5,2%. Pour la station B les valeurs varient entre 4,60 et 8,51% avec une moyenne de 5,59 %. Ce paramètre varie dans le temps et dans l'espace.

Tableau 20 : Taux d'humidité des sols dans les stations A et B

Région	Echantillon	Profondeur (cm)	Humidité %
A	A1	5-20	5,6
	A2		6,2
	A3		7,2
	A4		5,2
	A5		6,4
	A6		5,8
	A7		7,4
	A8		5,8
	A9		4,0
B	B1a	0-5	6,3
	B1b	5-20	8,02
	B2a	0-5	5,59
	B2b	5-20	6,48
	B3a	0-5	8,33
	B3b	5-20	8,51
	B4a	0-5	4,6
	B4b	5-20	4,6

2.2. La porosité

La porosité constitue un paramètre édaphique c'est une notion synthétique très importante qui combine les critères propres à la texture et à la structure du sol considéré. La porosité dépend de la circulation de l'eau et de l'air dont le rôle essentiel est de favoriser la vie des racines et l'activité biologique en générale (Duchauffour, 1970 et Ramed, 1984).

La détermination de la porosité totale de petits agrégats de terre secs conduit à l'évaluation de la porosité texturale ou l'estimation de la porosité minérale d'assemblage. La portion de l'espace porale qui est à l'origine de la diminution de la porosité totale des blocs de terre est due aux fissures et aux canalisations. Elle est appelée la porosité structurale.

La porosité est en relation avec la texture :

- Texture sableuse : porosité forte > 30%
- Texture sablo- limoneuse : porosité assez forte 20-30%
- Texture limono-argileuse : porosité assez faible 10-20%
- Texture argileuse : porosité faible < 10%

D'après le Tableau 21 on constate que la majorité des échantillons a une faible porosité sauf pour les deux échantillons B4a et B4b de la station B qui sont de porosité assez faible.

2.3. La granulométrie

On a classé les sols selon le triangle des textures (Figure 13). D'après leur composition granulométrique, la majorité des sols a une texture argileuse, limono-argileux (Tableau 21), c'est-à-dire, l'argile représente l'élément principale pour la majorité des échantillons.

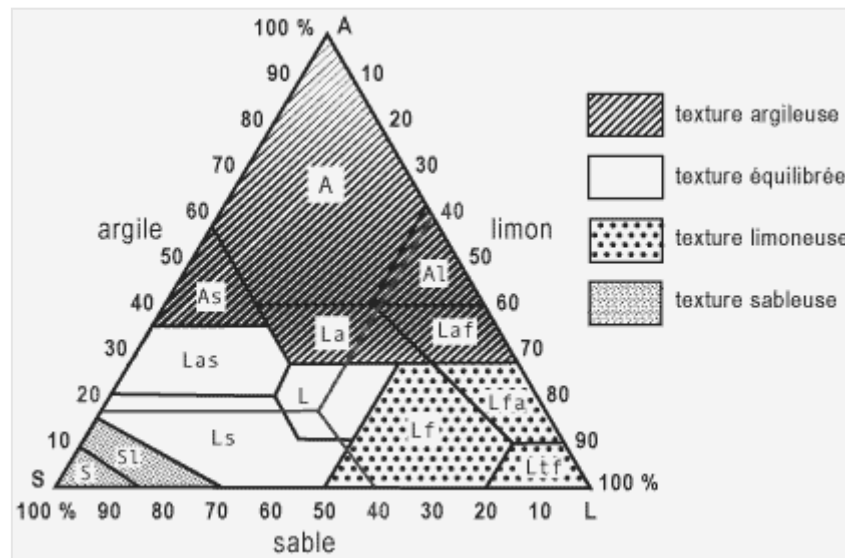


Figure 13 : Le triangle texturale (Anonyme 2010)

La légende

A : argileux	L : limoneux
As : argilo-sableux	Ls : limono-sableux
Al : argilo-limoneux	Lfa : limoneux fins argileux
La : limono-argileux	Lf : limoneux fins
Laf : limono-argileux fins	Ltf : limoneux très fins
Las : Limono-argileux sableux	Sl : sablo-limoneux
	S : sableux

Tableau 21 : Composition granulométrique des sols des stations A et B

Région	Echantillon	Profondeur Cm	Argile %	Limon %	Sable %	Texture	Porosité (%)
A	A1	5-20	44	42	8,56	Argileux	7
	A2		34,8	47,2	15,67	Limono -argileux	20
	A3		46	29,2	22,68	Argileux	3
	A4		31,2	44	22,88	Limono argileux	17
	A5		34	39	22,01	Limono -argileux	4
	A6		39,6	34	22	Limono -argileux	9
	A7		45,2	23,2	25,7	Argileux	4
	A8		44,8	30,8	21,56	Argileux	9
	A9		48	24,4	22,05	Argileux	15
B	B1a	0-5	46,4	31,2	20,37	Argileux	18
	B1b	5-20	42	29,6	27,17	Argile limoneuse	17
	B2a	0-5	39,2	29,8	26,71	Limono argileux	4
	B2b	5-20	39,2	32,4	27,3	Limono argileux	4
	B3a	0-5	33,2	33,2	31,55	Limono argileux	10
	B3b	5-20	39,2	35,74	22	Limono argileux	7
	B4a	0-5	30,4	38	27,44	Limono argileux	11
	B4b	5-20	34,4	34,4	16,71	Limono argileux	13

2.4. La stabilité structurale

La formation d'agrégats est un processus combiné des facteurs biotiques (racines, faune, microbes, champignons) et abiotiques (taille et valence des cations, texture, minéralogie des argiles). La stabilité de la structure est considérée comme un bon indicateur de la qualité des sols et de leur sensibilité au ruissellement et à l'érosion (Barthès et Roose, 2001). Elle intègre la vision du biologiste, du chimiste, du microbiologiste et du physicien du sol dans l'amélioration du sol (Ternan et *al.*, 1996).

Dans cette étude, la stabilité structurale par le test à l'eau a été mesurée à l'aide de la méthode de Le Bissonnais et Le Souder (1995). La mesure de la stabilité structurale est exprimée soit directement par classe de particules, soit sous la forme du Diamètre Pondéral Moyen (ou Mean Weight Diameter MWD), exprimé en mm tel que :

$$\text{MWD} = \Sigma (\text{diamètre moyen d'une fraction} \times \text{masses pour cette fraction})$$

Tableau 22 : Classes de Stabilité, battance et érosion en fonction de valeurs du diamètre moyen pondéral après désagrégation (MWD) (Bissonnais et Christine, 1996)

MWD	Stabilité	Battance	Ruissellement et érosion diffuse
< 0 ,4 mm	Très instable	Systématiques	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0 ,4- 0 ,8 mm	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toute situation
0,8 -1,3 mm	Moyennement stable	Fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3- 2,0 mm	stable	Occasionnelle	Risque limité
>2,0	Très stable	Très rare	Risque très faible

D'après les résultats (Tableau 23) et les normes d'interprétation, on remarque que la majorité des échantillons de la station A ont une structure très stable sauf les deux échantillons B1 et B3 qui ont une structure instable. Pour la station B les échantillons ont une

structure moyennement stable à très stable Cette situation est influencée soit par des facteurs internes (matière organique, granulométrie, taux de calcaire) soit par des facteurs externes (système de travail du sol, rotation)

Tableau 23 : Les Résultats de la stabilité structurale des deux stations A et B

Région	Echantillon	Profondeur (cm)	Résultat	Stabilité
A	A1	5-20	0,732	Instable
	A2		3,192	Très stable
	A3		0,933	Moyennement stable
	A4		2,196	Très stable
	A5		2,381	Très stable
	A6		2,052	Très stable
	A7		3,023	Très stable
	A8		2,987	Très stable
	A9		1,93	Stable
B	B1a	0-5	1,062	Moyennement stable
	B1b	5-20	1,297	Moyennement stable
	B2a	0-5	1,631	Stable
	B2b	5-20	2,1	Très stable
	B3a	0-5	1,043	Moyennement stable
	B3b	5-20	1,127	Moyennement stable
	B4a	0-5	1,83	Stable
	B4b	5-20	1,784	Stable

2.4.1. La relation entre la matière organique et la stabilité structurale

Parmi les facteurs internes, qui influent sur la stabilité structurale, on a la matière organique qui est un agent de liaison entre les particules minérales du sol (Chenu, 1989). D'après les résultats de la station A, on constate que le taux de la matière organique est très important. On conséquence on a des sols très stables pour la majorité des échantillons sauf l'échantillon B1 (structure instable). Cette dernière situation peut être influencée par d'autres facteurs. Pour la station B, on remarque un taux bas de matière organique variant entre 0,02 et

4,9 % par contre la structure est moyennement stable. Donc, il ya d'autres facteurs qui sont responsables de cette situation.

Un des objectifs principaux du travail du sol avant semis est l'amélioration de l'état structural du sol. Cependant, si les travaux du sol sont effectués dans de mauvaises conditions (trop secs ou trop humides), les effets obtenus sont contraires à ceux attendus : apparition d'une semelle de labour, sol émietté en surface, etc. Il y a aussi les passages répétés du tracteur (pulvérisateur à disque) qui favorisent le tassement du sol. Dans ces conditions, pratiquer le semis direct permet de limiter les interventions qui participent à la dégradation de la structure du sol. Cela suppose aussi l'amélioration de la structure du sol d'une autre manière que par le labour : c'est l'un des rôles du mulch. Une bonne stabilité structurale réduit la battance et donc les pertes par ruissellement. Dans la station B, le sol sous semis direct montre une stabilité structurale moyenne par contre le taux de matière organique est bas.

Tableau 24 : Taux de matière organique et stabilité structurale des deux stations

Région	Echantillon	Profondeur (cm)	Stabilité	Taux matière organique
A	A1	5-20	0,732	28,51
	A2		3,192	28,77
	A3		0,933	27,96
	A4		2,196	30,89
	A5		2,381	29,39
	A6		2,052	26,54
	A7		3,023	32,59
	A8		2,987	21,07
	A9		1,93	26,52
B	B1a	0-5	1,062	4,9
	B1b	5-20	1,297	3,58
	B2a	0-5	1,631	3,65
	B2b	5-20	2,1	2,84
	B3a	0-5	1,043	0,02
	B3b	5-20	1,127	0,02
	B4a	0-5	1,83	0,57
	B4b	5-20	1,784	0,93

3. Les résultats de l'analyse en composants principaux (ACP)

L'existence de la relation entre la matière organique, les différents paramètres du sol et surtout la stabilité structurale, nous amènent à appliquer l'analyse descriptive (ACP) pour mettre en évidence les corrélations entre la matière organique et les caractéristiques physico-chimiques des sols

3.1 .Les moyennes et l'écart-type

Les moyennes et l'écart-type des variables sont représentés sur le Tableau 25. On note une variabilité importante pour les paramètres, pH eau, pH KcL, Ca et le calcaire. Les résultats confirment aussi la richesse des sols en matière organique, phosphore, calcaire et calcium.

Tableau 25 : Moyennes et écarts- types des paramètres mesurés

Variable	Moyenne	Ecart-type
pH	7,910	0,467
pH _{KCl}	7,655	0,441
CE	340,000	286,636
CEC	318,769	182,774
P	22,654	17,652
N	0,120	0,029
C	11,612	7,491
MO	19,970	12,882
C/N	88,275	56,687
K	378,269	274,102
Na	1,370	1,093
Mg	3,916	1,932
Ca	34,518	10,971
Stb	1,980	0,800
PO	9,769	5,776
Cal	23,216	2,703

3.2. La matrice des corrélations

La matrice des corrélations est cohérente avec l'ensemble des résultats statistiques Tableau 26. Les corrélations positives ($r^2 > 0,50$) ont été retrouvées entre pH eau et pH KCl, entre CE et C, MO, C/N, entre P et K, entre N et C, MO, C/N et le calcaire. Les liens de la matière organique avec le C, N, et C/N, ce sont les composants de la matière organique, mais pour la matière organique et le calcaire c'est le calcaire qui est un inhibiteur, il joue le rôle de protection de la matière organique contre la minéralisation rapide en formant une pellicule

entourant la particule organique et empêchant les micro-organismes de l'atteindre (Duchauffour, 1977).

Des corrélations négatives significatives ont été retrouvées entre pH eau et CE, C, MO, C/N, Na, entre pHKcl et CE, C, MO, C/N, entre CE et Ca, entre CEC et Ca, entre Net et Mg, entre C et Mg, entre MO et Mg.

Tableau 26 : Matrice des corrélations linaires entre les différents paramètres étudiés

Variables	pH	pHkcl	CE	CEC	P	N	C
Ph	1						
pHkcl	<u>0,977</u>	1					
CE	<u>-0,544</u>	<u>-0,551</u>	1				
CEC	-0,258	-0,174	0,441	1			
P	0,218	0,300	-0,054	-0,026	1		
N	-0,310	-0,235	0,365	0,395	0,328	1	
C	<u>-0,675</u>	<u>-0,653</u>	<u>0,530</u>	0,371	0,160	<u>0,754</u>	1
MO	<u>-0,675</u>	<u>-0,653</u>	<u>0,530</u>	0,371	0,160	<u>0,754</u>	1,000
C/N	<u>-0,742</u>	<u>-0,733</u>	<u>0,555</u>	0,294	0,078	<u>0,668</u>	<u>0,985</u>
K	0,079	0,159	-0,298	-0,300	<u>0,864</u>	0,184	0,115
Na	<u>-0,619</u>	<u>-0,677</u>	<u>0,645</u>	-0,029	-0,191	-0,162	0,268
Mg	0,086	-0,001	-0,394	-0,488	-0,301	<u>-0,869</u>	<u>-0,501</u>
Ca	0,006	-0,027	<u>-0,683</u>	<u>-0,631</u>	-0,244	-0,499	-0,327
Stb	0,003	0,012	-0,134	-0,096	-0,018	0,304	0,340
PO	-0,199	-0,153	-0,024	-0,365	0,244	0,188	0,005
Cal	-0,587	<u>-0,540</u>	<u>0,530</u>	0,408	0,194	<u>0,817</u>	<u>0,968</u>

Tableau 26 : Matrice des corrélations linaires entre les différents paramètres étudiés (suite)

MO	C/N	K	Na	Mg	Ca	Stb	PO	cal
1								
<u>0,985</u>	1							
0,115	0,070	1						
0,268	0,396	-0,202	1					
-0,501	-0,405	-0,013	0,275	1				
-0,327	-0,236	0,176	0,040	<u>0,715</u>	1			
0,340	0,296	-0,004	-0,401	-0,252	-0,123	1		
0,005	-0,019	0,468	-0,189	-0,117	0,002	0,209	1	
<u>0,968</u>	<u>0,942</u>	0,112	0,199	-0,579	-0,376	0,384	-0,016	1

3.3. La Cercle des corrélations

L'observation du cercle ACP ou l'espace des variables (Figure 14), le facteur 1 exprime 42,00% de la variance des données et montre une opposition entre PO, Stb, CEC, N, C, pH eau pHKCl et Ca Mg CE Na. Au vu de cette répartition, on peut dégager le lien entre la matière organique, calcaire, CEC et la stabilité structurale

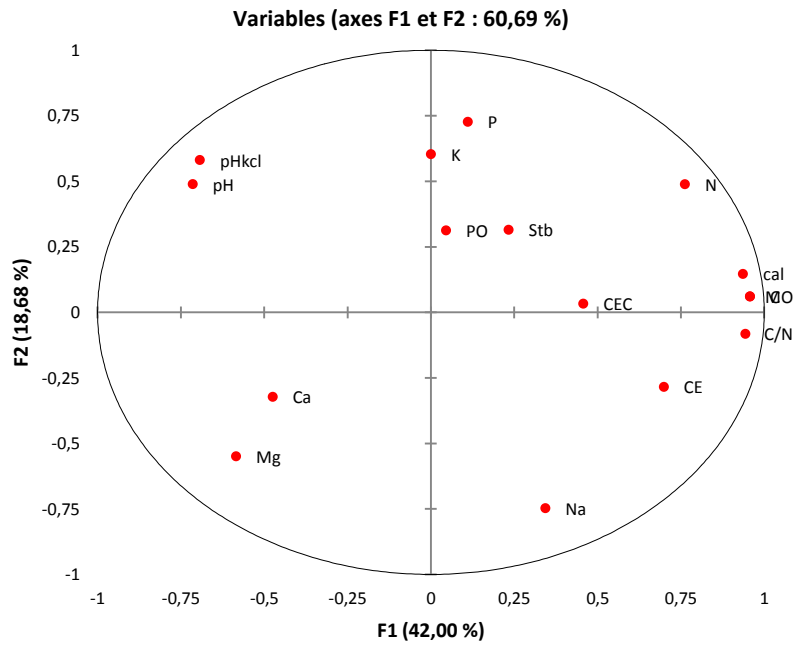


Figure 14: Cercle de corrélation des variables

3.4. Dendrogramme distance de coefficient de corrélation

Sur cette base, plusieurs corrélations très significatives ont pu être identifiées entre N, C, MO, C/N et le calcaire et aussi entre pH_{Heau} et pH_{KCl}, la porosité et la stabilité (Figure15). Ce qui confirme les résultats précédents.

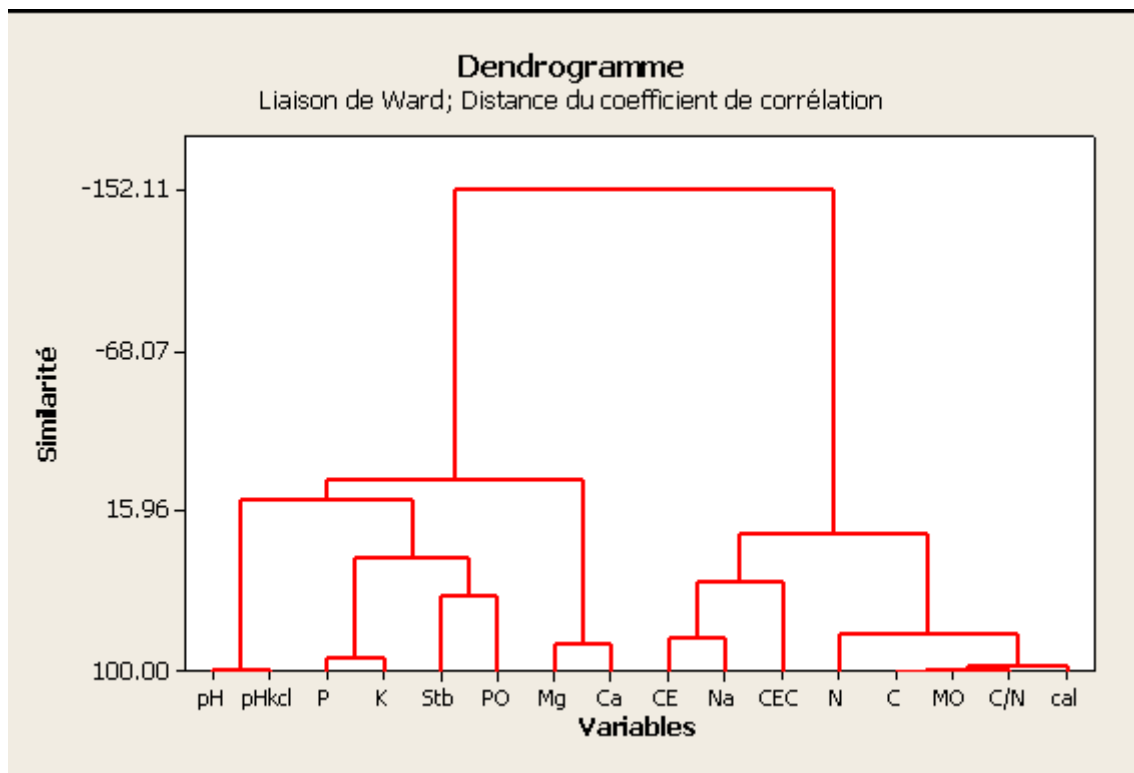


Figure 15 : Dendrogramme des coefficients de corrélation entre les différents paramètres mesurés

4. Discussion générale

Avant de répondre à la question posée précédemment, s'il y a vraiment des paramètres du sol qui sont modifiés par l'apport de matière organique, il est indispensable d'avoir les analyses initiales du sol que nous avons étudié.

Le pH des sols étudiés est alcalin pour la majorité des échantillons ce qui montre une humification lente. Il faudra abaisser cette valeur en dessous d'au moins 7,3 graduellement. Cette valeur est liée à l'état de saturation du complexe en Ca^{++} , sol saturé. Les engrais acidifiant sont recommandées.

La majorité des sols étudiés est de texture très fine (argileuse) ou de texture renfermant des pourcentages importants d'argile, entre 19, 29 et 34%, ce qui démontre l'aspect vertique

de la surface, cohérente avec un grand risque d'asphyxie, une aptitude au tassement très faible et une grande aptitude à la fissuration.

Le taux de matière organique est satisfaisant pour les sols de la station A grâce à des amendements qui se font au fur et à mesure avec les cultures, par contre les sols de la station B sont relativement pauvres, avec une humification très lente. Le fait que les résidus ne sont pas incorporés dans le sol, engendre plusieurs conséquences dont, entre autre, l'accumulation et la stratification de la MO à la surface du sol (Heddadj et *al.*, 2005). En revanche, la teneur de la matière organique varie en fonction du système pratiqué du travail du sol et de la profondeur du sol. L'effet significatif de l'interaction entre la matière organique et la stabilité structurale est attribué à l'interférence produite à la fois par les modes de labour du sol et de la profondeur de la couche du sol qui influent sur la teneur en matière organique. Une corrélation positive a été trouvée entre la matière organique, CEC, C/N et la stabilité structurale dans les sols étudiés.

La technique du non- labour réduit la minéralisation rapide de la matière organique sur le sol mis en culture. Kravchenko et Thelen (2007) considèrent que la quantité de matière organique du sol peut être altérée par les pratiques utilisées. En effet, le semis direct ou le non- retournement du sol favorise l'accumulation des débris et des résidus de la culture précédente. Ce qui offre un milieu favorable à l'activité biologique qui assure la dégradation de la matière organique en humus. Ces particules colloïdales agencent les particules du sol et augmentent sa résistance à l'effet de l'érosion hydrique et éolienne.

Holland (2004) rappelle le rôle de la matière organique issue des résidus de culture, elle s'accumule en surface du sol et joue un rôle très important dans la protection de la surface du sol, la stabilisation de la structure, la rétention de l'eau et des éléments minéraux, et sert d'abri et de nourriture aux organismes du sol.

La capacité d'échange cationique est d'une manière générale élevée, ceci peut être expliqué par le fait que les colloïdes humiques augmentent la capacité d'échange du sol. En effet, un gramme fixe environ 5 fois plus de cations qu'un gramme d'argile (Soltner, 2003).

La richesse du sol en azote ou en phospho-potasse est due aux apports d'engrais pour la culture. On peut donc qualifier cette richesse d'artificielle comme dans tout système

agricole conventionnel; nos résultats sont très similaires à ceux obtenus par Boumaaza, en 2007.

Certain facteurs favorisent la structure du sol, d'autre la régénèrent. Le travail du sol excessif diminue la stabilité de la structure, de même qu'une hydratation trop brutale des agrégats, suivie d'une dessiccation rapide. Certains éléments interviennent sur la stabilité structurale et ont des interactions positives comme par exemple le calcium, l'humus et le fer (Oades, 1984 ; Amézketa, 1999). Le contraire est observé dans le sol de la station A où la stabilité structurale est plus stable avec un taux de la matière organique plutôt élevé. Cependant il faut noter que le taux de la matière organique n'est pas une condition suffisante pour une bonne stabilité structurale. Ce qui est montré dans les résultats de l'analyse des sols de la station B.

Conclusion

Dans cette étude, nous avons tenté de mettre en évidence le rôle protecteur de la matière organique dans les mécanismes de la dégradation de la structure du sol sous différents facteurs. Son effet sur la stabilité structurale et l'amélioration de la fertilité du sol y ont été également abordés.

L'expérimentation a porté sur la comparaison de l'état structurale entre deux systèmes l'un conventionnel et l'autre en semis direct. Les échantillons ont été prélevés sur des parcelles différentes et à différentes profondeurs.

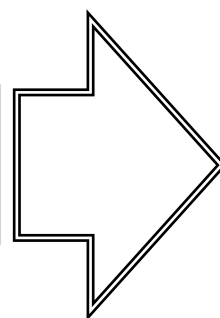
Nous avons remarqué que le taux de matière organique n'est pas une condition pour une bonne stabilité structurale ce qui a été confirmé par les résultats de la station B.

Les résultats montrent, d'une façon générale, que la matière organique est un facteur parmi d'autres facteurs comme l'histoire du sol, la variation climatique, les interventions humaine et qui jouent un rôle important dans le maintien de la structure du sol.

Le non- labour présente plusieurs avantages comparativement au semis conventionnel. En plus du fait de la réduction du temps et probablement des charges de la mise en place de la culture, il permet d'améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

Au regard de nos résultats, ce travail pourrait être complété par une étude à plus long terme dans les mêmes conditions. Enfin, pour généraliser et affiner les résultats obtenus, il serait indispensable de réaliser ces études dans différentes conditions pédoclimatiques.

Références bibliographiques



Références bibliographiques

- Abiven S., 2004.** Relation entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse de l'université de Rennes .262p
- Albiach R., Canet R., Pomares F., Ingelmo F., 2001.** Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil, *Bioresource Technol.*, 76, 125-129.
- Amézketa E., MJ. Singer Y., Le Bissonnais., 1996.** Testing a new procedure for measuring water stable aggregation. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 60.
- Amir H., Pineau R., 1998.** Influence of plants and cropping on microbiological characteristics of some New Caledonian ultramafic soils. *Aust. J. Soil Res.*, 36, 457-471.
- Angers D.A., Carter M.R., 1996.** Aggregation and Organic Matter Storage in Cool, Humid Agricultural Soils. *Advances in Soil Science*, eds M.R. Carter and B.A. Stewart, 193-211
- Angers D.A., Caron J., 1998.** Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 42, 55-72
- Anonyme, 2007.** Mémento de fertilisation des cultures légumières (ctifl)
[www.Agriseau.qc.ca/agroenmi/documents/Gestion20%de matière organique](http://www.Agriseau.qc.ca/agroenmi/documents/Gestion20%de%20matiere%20organique)
- Anonyme, 2008.** Maintenir l'état des sols, p : 1 www.lano.asso.fr/web/calcaire actif
- Anonyme, 2009.** Guide des pratiques de conservation en grande culture, centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, p : 2
- Anonyme, 2010.** www.irda.qc.ca/documents/results/172pdf
- Aoyama M., Angers D.A., N'Dayegamiye A., 1999.** Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Can. J. Soil Sci.*, 295-302
- Balesdent J., 1996.** Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France, *Etude et Gestion des Sols*, 3, p 245-260.
- Barriuso E., Calvet R., Cure B., 1991.** Simplification du travail du sol et pollution par les pesticides, *Perspectives Agricoles*, n°162, p 31-39.
- Barthelemy et Boisgontier, 1990.** Point technico-économique sur le travail superficiel, *Perspectives Agricoles*, n°147, mai, p79-84
- Benites J.R., Ashburner J.E. (FAO), 2001.** FAO's role in promoting Conservation Agriculture, 132-147, 394 pp

- Ben Ammara A., 2010.** Effets du stress environnemental et d'un régulateur de croissance (RH-0345) sur la reproduction des Myriapodes dans la région du Nord- Est Algérien. Mémoire de Magister université Badji Mokhtar Annaba, 120 p.
- Bordes J.P., Rouquette A., Bondot A., 2001.** Techniques sans labour : Conséquences sur le comportement des herbicides racinaires, Perspectives Agricoles, n°271, septembre, p 62-66
- Boudjemaa S., 2007.** Contribution à l'étude des propriétés des sols de la région d'Annaba. Mémoire d'ingénieur écologie, université Badji Mokhtar d'Annaba, p : 55-62
- Boudjemaa S., 2007.** Cartographie des relations sol-eau végétation dans un milieu salé. Mémoire magister en écologie végétale, université Badji Mokhtar d'Annaba, p : 45 ; 51-65
- Bourarach H.E. et M. Oussible. 1995.** Management du sol en milieux arides et semi-arides. In: El-Gharous M et al. (eds.), Proceedings of the International Dryland Agriculture Conference. May 1994, Rabat, Morocco. P : 74-82.
- Boumaaza Y., 2007.** Biodiversité de la pédofaune dans la Wilaya d'El Tarf , cas des Myriapodes (Diplopodes et Chilopodes) Mémoire d'ingénieur agronomie, centre universitaire d'El Tarf, p 70.
- Bouzzara S., Ould Ferroukh M.E.H. et Bouguendouz A., 2011.** Influence du semis direct et des techniques culturales simplifiées sur les propriétés d'un sol de la ferme pilote Sersour (Sétif) p : 123- 129
- Bronick C.J., Lal R., 2004.** Soil structure and management: a review. Geoderma, sous presse.
- Cambardella C.A., Elliott, E.T., 1993.** Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions, Geoderma, 56, 449-457
- Caniel J, Bodet JM., 1991.** Simplification du travail du sol et rendement des cultures. Conséquences sur les systèmes de cultures, Perspectives Agricoles, n°161, septembre, pp 54-62 Chenu C., Abiven S., Annabi M., Barry
- Chabani N., 2009.** Contribution à l'étude des sols de la plaine de Ben Amar. Mémoire d'ingénieur de l'université badji Mokhtar Annaba p : 55-60
- Chaussot R. Bodet JM., Caron M., Felix I., 2001.** Travail du sol et activités biologiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, p 14-15, pp 22

- Chervet A., Maurer C., Sturny WG., Muller M., 2001.** Semis direct en grandes cultures : Effets sur la structure du sol, Revue suisse d'agriculture, vol 33, n°1, Janvier- Février, p 15-19
- Chenu C., Le Bissonnais Y., Arrouays D., 2000.** Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. Soil Sci. Soc. Amer. J., 64, 1479-1486
- Christiensen B.T., 1992.** Physical Fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. Advances in Soil Science, eds Springer Verlag NY, Vol. 20,1-90
- Cluzeau D., Hallaire V., Bodet JM., 2001.** Du labour au semis direct : enjeux Agronomiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, p 11-13, pp 22
- Colbach, 1996.** Travail du sol : Incidence sur les maladies du pied et des racines du blé, Perspectives Agricoles, n°218, Novembre, p 81-85
- Craaq, 2003.** Guide de référence en fertilisation. ed. Centre de référence en agriculture et agroali-mentaire du Québec, Sainte-Foy. xx, 294 pp.
- DSA 2010.** Direction des services agricoles d'Annaba
- Daas O., Daas T., et Dexamps M., 2003 :** étude de quelques paramètres biologique chez Eupolybothrus nudicornis (Myriapodes, Chilopode) en vue de leur utilisation pour l'évaluation de la toxicité de composés chimique utilisés en agriculture Bull. Soc. Zool.Fr 128 ; 239-246.
- Debar J.C., 2000.** Progression du semis direct, Agri US Analyse, novembre, n°65
- Debar J.C., 2000.** Comprendre le rôle de l'agriculture dans le réchauffement climatique, Agri US Analyse, novembre, n°62.
- Dambébé Y., Somé L., Zomboudré G. et Diabri S., 1999.** Irrigation de complement du riz pluvial sur des sols sableux conditionnés avec de la matière organique au Sud-Ouest du Burkin Faso. Sécheresse. 10 (2). pp 143-149.
- Derpsch R. (GTZ), 2001.** Conservation tillage, no-tillage and related technologies, Keynote contributions "*First wolrd Congress on Conservation Agriculture; 1-5 octobre 2001*", Madrid (SP), ECAF-FAO, p161-170, 394 pp.
- Dexter A.R., 1988.** Advances in characterization of soil structure. Soil. Till. Res., 11, 199-238pp.
- Domergue et Mongenot., 1970.** Ecologie microbienne du sol. Ed. Masson. Paris, 769 p.

Doucet R., 2006. Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec. xv, 443 pp.

Duchaufour P. H., 1988. Abrégé de pédologie Ed Masson Paris, 454 p.

Dutartre P., Bartoli, F., Andreux, F., Portal, J.M., Ange, A., 1993, Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. Geoderma, 56, 459-478

Eco carbone, 2001. Report "First world Congress on Conservation Agriculture; 1-5 octobre 2001", Madrid (SP), ECAF-FAO, 21 pp

Elliot E.T., 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. Soil Sc. Soc. Amer. J., 50, 627-633

Falloux F., 2001. labourage et pâturage : les deux mamelles de l'avenir ? , 16ème festival international du scoop et du journalisme, Angers, 12-24 novembre

FAO, 2001. FAO, 2001, Environmental Department Website :

<http://www.fao.org/ag/magazine/0110sp.htm>

Germon J.C., Taureau J.C., 1991. Simplification du travail du sol et transformations de l'azote. Conséquences sur le lessivage des nitrates, Perspectives Agricoles, 162, pp40-51

Gollany et al ,1991. Aggregate stability of an eroded and desurfaced Typic Argiustoll. Soil Sci. Soc. Am. J., 55, 811-816

Grieve I. C., 1990. The magnitude and significance of soil structural stability decline Under cereale cropping . Catena 7, 79-85.

Hénin S., Monnier G. et Combeau A., 1958.Méthodes pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Annales agronomique, 9, 73-92.

Heddadj D., Gascuel O., Cotinet P., Hamon Y., 2005. Mode de travail du sol, ruissellements et propriétés hydrodynamiques sur une diapositive expérimentale de l'ouest de la France. Etude et gestion des sols 2 : 53-66.

Haltim A. 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Office des publications universitaire, Alger. 384p.

Haga B., 2008. Inventaire de la population Myriapodologique dans deux zones à l'extrême Nord-est Algérien (la wilaya d'El Tarf et Annaba) mémoire d'ingénieur agronome centre universitaire d'el Tarf p :65.

Heller R, Esnault R, et Lance C., 1993. Physiologie végétale 1.Nutrition .5^{ème} édition, Masson, Paris, France .242p.

Holland J.M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: Reviewing the evidence. *Agric. Ecosyst. Environ.* (103) : 1–25.

Husson J., 1997, La suppression du labour : Conséquences sur les exploitations céréalières de l'Oise, Mémoire de fin d'étude ISAB, 95 p +annexes

Jastrous J.D., Miller, R.M., 1997, Soil Aggregate stabilisation and carbon sequestration : feedbacks through organomineral associations. *Soil Processes and the Carbon Cycle*, eds by R., Lal, J.M., Kimble, R.F., Follett and B.A., Stewart, Ch. 15, 207-223

Kay B.D., Rasiah, V., 1994. Structural aspects of soil resiliency. In *Soil resilience and sustainable land use*, Ed. Greenland, D.J. and Szabolcs, I., CAB international London, 449-468

Kay B.D., 1990. Rates of changes of soil structure under different cropping systems. *Advances in Soil Science*, 12, 1-52

Kay B.D., 1998. Soil structure and organic Carbon: A review. *Soil Processes and the Carbon Cycle*, eds by R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart, 13, 169-197

Kemper W. D et Rosenau R. C.,1986. Aggregate stability and size distribution, in ;Klut (Ed) *Méthodes of soil analysis*, part 1. *Agronomy nomographes n°9*, A, S, A, Madison

Kinsbursky R.S., Levanon, D., Yaron, B., 1989. Role of fungi in stabilizing aggregates of sewage sludge Amended soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 1086-1091

Kravchenko AG., Thelen K.D.,2007. Effect of winter wheat crop residue on no till corn growth and development. *Agron. J.* (99): 549-555.

Kribaa M., Hallaire V., Curmi P. Lahmar R. 2001. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic soil properties in semi-arid climate. *Soil &Tillage Research* 60: 43-53.

Labreuche J., Bodet J.M., 2001. Matières organiques et activités biologiques des sols cultivés : conséquences des techniques de travail du sol, *Perspectives Agricoles*, n°272, octobre, p 54-57

Lal R., Kimble J.M., Follet R.F., Cole V., 1998. Potential of US cropland for carbon sequestration and greenhouse effects mitigation, USDA-NRCS, Washington, D.C.

Lavier B., Viaux P., Rass G., 1997. Erosion et travail du sol, bilan en France, publié par l'ITCF et Monsanto

Le Bissonnais, Y., 1996a. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.*, 47, 425-437.

- Le Bissonnais, Y., 1996b.** Soil Characteristics and Aggregate Stability. In Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation. Ed M. Agassi, Ch. 3, 41-60.
- Le Bissonnais Y., Cros-Cayot, S., Gascuel-Oudoux, C., 2002.**Topographic dependence of aggregate stability, overland flow and sediment transport. *Agronomie*, 22, 489-501.
- Leon-Gonzalez, F., Hernandez-Serrano, M.M., Etchevers, J.D., Payan-Zelaya, F., Ordaz-Chaparro, V., 2000.** Short-term compost effect on macroaggregation in a sandy soil under low rainfall in the valley of Mexico. *Soil. Till. Res.*, 56, 213-217.
- Martens D.A., 2000b.** Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. Biochem.*, 32, 361-369
- Martinez E., Fuentes JP., Silva P., Valle S., Acevedo E., 2008.** Soil physical properties and wheat root growth under no- tillage and conventional tillage systems in a Mediterranean environment of Chile. *Soil tillage research* 99:232-244.
- Messaadia H., 2005,** Eléments de biologie des sols cours polycopié, université de Batna faculté de science p 23- 34.
- Melalkia N., 2008.** Contribution à l'étude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur les propriétés du sol et la culture des agrumes. Mémoire d'ingénieur écologie, université Badji Mokhtar d'Annaba, p 68.
- Monniers G., 1965.** Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.* 16 (4 et 5). pp 327-534.
- Mrabet R., 1993 .**Revue bibliographique sur les systèmes de labour de conservation de l'eau et leurs effets sur le système sol-plante. *Al Awamia* 80:3-38.
- Oades J.M., Waters, A. G., 1991.** Aggregate hierarchy in soils, *Aust. J. Soil Res.*, 29, 815-828.
- Oades, J.M., 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure, *Geoderma*, 56, 377-400.
- Reicovski D.C., 2001.** Conservation agriculture: global environmental benefits of soil carbon management, I world congress on conservation agriculture - volume 1 : keynotes contributions, pp3-12.
- Reinhard H., Chervet A, Sturny WG., 2001.** Semis direct en grandes cultures : rendement des cultures, *Revue suisse d'agriculture*, vol 33, n°1, janvier février, p7-13
- Richard, G., Boiffin, J., 1990.** Effet de l'état structural du lit de semences sur la germination

et la levée des cultures. In La structure du sol et son évolution, Laon (France), 9 janvier 1990, Ed. INRA Paris, 111-136.

Rieu C., 2001 b. La simplification du travail du sol, moyen d'adaptation des systèmes d'exploitation: Simplifier? A quel prix..., Perspectives Agricoles, n°269, juin, p8-10

Salitot G., 2001. Le non labour dans l'Oise : Etude des pratiques actuelles, effets de la structure du sol et conséquences sur le développement du maïs, mémoire d'ingénieur des techniques de l'agriculture, ITIA, pp 49+ annexes

Sauzet G., Merrein A., Lemaire K., Helbinger H., Palleau J.P., Chollet D., Baudet J.J., Lespinas J.L., 2001. L'implantation une étape clé de la réussite du colza, Oléoscope, n°64, pp9-26

Seysen S., 2001. L'effet de serre agricole, Cultivar l'actualité, N°517, p18

Skinner, F.A., 1979. Rothamsted studies of soil structure. VII. The effects of incubation on soil aggregate stability. J. Soil Sci., 30, 473-425

Sonnleitner R., Lorbeer E., Schinner, F., 2003. Effect of straw, vegetable oil and whey on physical and microbiological properties of a chernozem. Appl. Soil Ecol., 22, 195-204

Spaccini R., Mbagwu J.S.C., Igwe, C.A., Conte P, Piccolo A., 2004. Carbohydrates and aggregation in lowlands soils of Nigeria as influenced by organic inputs. Soil Till. Res., 75, 161-172.

Soltner D ., 2000. Les base de production végétale T1 :le sol. 22 éme edition Science et techniques agricole .

Spaccini R., Piccolo, A., Mbagwu J.S.C., Zena Teshale A., Igwe C.A., 2002. Influence of the addition of organic residues on carbohydrate content and structural stability of some highland soils in Ethiopia. Soil Use Manage., 18, 404-411.

Tardieu F., 1990. Effets de l'état structural du sol sur l'enracinement. Que prendre en compte pour la modélisation ? In La structure du sol et son évolution, Laon (France), 9 janvier 1990, Ed. INRA Paris, 91-109.

Tebrugge F., 2001. No-tillage visions- protection of soil, water and climate and influence on management and farm income, I world congress on conservation agriculture - volume 1 : keynotes contributions, pp303-316

Tisdall J.M., Oades J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils, J. Soil Sci., 33, 141-163

Vandevivere P., Moreau B., Dufey J.E., Chaing C.N., 1990. Effet de l'azote minéral sur la stabilité structurale d'un sol limoneux amendé par des résidus organiques, *Revue de l'agriculture*, 43 (2), 176-186

Yoder R. E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and the physical nature of erosion losses. *Journal of American Society of Agronomy*, 28, 337-361.

Yoro G., Godo G., 1990. Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, Vol. XXV, N° 4, 1989-1990:423-429.

Zihlmann U, Weisskopf P., Müller M., Schaflutzel R., Chervet A., Sturny WG., 2001. Semis direct en grandes cultures : Effets sur la matière organique et les nutriments dans le sol, *Revue suisse d'agriculture*, vol 33, n°1, Janvier-Février, p 21-24

	S	0	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2001-2002	21,86	22,95	15,33	11,26	12,01	1,2	15,99	14,56	18,16	22,67	24,97	24,93
2002-2003	22,59	19,63	16,3	13,49	9,77	11,52	13,65	15,15	18,65	22,7	24,76	28,1
2003-2004	23,56	21,2	16,06	11,71	11,45	10,56	13,24	16,4	18,45	24,78	27,59	26,24
2004-2005	23	21,2	13,95	12,20	11,54	12,26	12,72	14,43	17,17	20,84	24,46	24,7
2005-2006	22,6	20,3	15,6	11,2	9,2	9,2	12,4	15,3	18,9	23	25,6	24,9
2006-2007	22,6	21,3	16,5	12,4	9,8	10,9	13,3	16,7	18,1	22,2	25,8	24,9
2007-2008	23,7	19,4	14,2	11,4	11,2	11,3	12,3	16,1	19,1	21,6	25,3	25,6
2008-2009	22,8	18,9	15	13,7	11	10,5	12,1	14,4	19,5	22,8	25,9	26
2009-2010	22,7	19,1	15,4	12,5	11,5	12,5	12,9	15,6	17,7	21,3	25,2	25,3

Annexe 1 : Température moyennes mensuelles de dix ans de la station des Salines

Annexe 2 : Précipitations moyennes mensuelles de dix ans en mm de la station des Salines

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O
2000	50,2	31	24,2	19,7	114,8	9,5	0,0	15,6	19,3	104,7	37	107,6
2001	112,8	73,5	17,5	40	28,5	0,4	0,4	2,1	57,6	4,1	63	79,2
2002	29,1	48,6	32	62,5	14,6	0,3	13	67	24,5	72,8	188,3	146,8
2003	195,4	87,8	21	91,7	26	0,0	0,0	0,0	64,9	39,2	21	168,8
2004	109,4	22,5	69,3	94,6	56,5	32,3	2,8	3,2	82	21,3	171,3	185
2005	135,9	178,4	61	123,2	10	3,4	1,1	7,1	29,3	15,1	55,1	184
2006	131,2	72,6	45	15,3	26,1	7,6	1,5	29,8	16,1	35,5	61,1	142,7
2007	35,4	51,4	203,7	27	17	52	3	3	32,8	102	83,7	125
2008	13,7	16,5	98,5	16	41,9	2,4	7	0,2	60	48,7	40,5	87,3
2009	228,8	89,6	75,4	120,5	79,5	0,0	1	21,4	69,9	44,6	49,2	91,2
2010	108,1	65,6	54,2	32,4	42,9	20,5	0,0	1,5	157,5	61,0	68,7	85,2

تأثير مساهمة المواد العضوية على الاستقرار البنيوي وخصوبة التربة من خلال الزراعة المحافظة على الموارد في سهل عنابة

ملخص

يهدف هذا العمل إلى دراسة حالة حقل مزود بالمادة العضوية خاضع للحراثة التقليدية و حقل آخر ليس مزود بالمادة العضوية خاضع للزراعة المباشرة وذلك لإلقاء الضوء على دور المادة العضوية في المحافظة على بنية التربة. تسعة عينات أخذت من الحقل المحروث (المحطة أ) و ثمانية عينات أخذت من الحقل المزروع مباشرة (المحطة ب). نتائج التحليل الذي اعتمد في هذه الدراسة بين أن كمية المادة العضوية في الحقل المحروث كبيرة مقارنة بالحقل المزروع مباشرة. أما بالنسبة لبنية الأرض فهو من متوسط إلى ثابت جدا. و أظهرت النتائج أن كمية المادة العضوية ليست الشرط الوحيد في الحصول على بنية ثابتة و إنما هناك عناصر أخرى (الحراثة, الظروف المناخية) التي تستطيع التأثير على هذه الخاصية الفيزيائية.

الكلمات المفتاحية : الاستقرار الهيكلي، المواد العضوية، الزراعة المحافظة على الموارد، عناية

Influence des apports de la matière organique sur la stabilité structurale et sur la fertilité des sols dans le cadre de l'agriculture de conservation dans la plaine d'Annaba

Résumé

Ce travail a pour objectifs d'étudier l'effet de l'apport de la matière organique sur un sol amendé sous un système conventionnel et un autre sol non amendé sous système semis direct et mettre en évidence le rôle joué par l'apport de la matière organique dans la préservation de la structure du sol. Nous avons considéré deux stations, l'une est conduite en système conventionnel avec apport de matière organique (station A) et l'autre en semis direct sans apport de matière organique (station B). Neuf échantillons ont été prélevés de la station A et huit échantillons ont été prélevés de la station B. Le test de stabilité structurale de Le Bissonnais a été utilisé dans cette étude. Les résultats obtenus nous montrent que le taux de matière organique est très élevé dans les échantillons de la station A et relativement élevé dans la station B. La structure des deux stations est moyennement stable à très stable. Les résultats montrent aussi que le taux de matière organique n'est pas la seule condition pour une bonne stabilité du sol : il y a d'autres facteurs tels que le travail du sol, les aléas climatiques ... qui peuvent aussi influencer cette propriété physique du sol.

Mots clés : stabilité structurale, matière organique, agriculture de conservation, Annaba

Influence of the contribution of organic matter on aggregate stability and soil fertility through conservation agriculture in the plain of Annaba

Summary

This work aims to study the effect of the contribution of organic matter on soil under a conventional system and other soil is not amended under direct seeding system to highlight the role played by the addition of organic matter in preserving the soil structure. We considered two stations, one is led to the conventional system with the addition of organic matter (station A), and the other direct seeding without addition of organic matter (station B). Nine samples from station A and eight samples station B. The test of structural stability of Le Bissonnais has been used in this study. The results show that the organic matter content is very high in samples from station A relatively to station B. The structure of the two stations is moderately stable to very stable. The results also show that the rate of organic matter is not the only condition for the stability; there are other factors such as (tillage, climate hazard) which can also influence this physical property of the soil.

Keywords: structural stability, organic matter, conservation agricultur, Annaba