

Mémoire de fin d'études

En vue l'obtention du

Diplôme de Master en Agronomie

Option : Gestion Conservatoire des Eaux des Sols et de l'Environnement

Thème

**Approche comparative de la qualité des sols entre le
semis direct et le labour conventionnel**

Présenté par : Kari Ayat Ellah Mohamed Elhabib

Encadré par : m Benkhelifa Mohamed

Année universitaire 2020/2021

SIMMAIRE

INTRODUCTION

Chapitre 01 : recherche bibliographique

1.	I Définition générale.....	9
2.	II Caractéristiques générales des phases du sol.....	9
3.	II.1/La phase solide du sol.....	9
4.	II.2/La phase liquide du sol.....	13
5.	II.3/La phase gazeuse du sol	14
6.	III Les propriétés du sol.....	15
7.	III.1/Propriétés physiques	15
8.	III.2/Propriétés chimiques.....	17
9.	IV Type de sol.....	20

Chapitre 02 : différence entre le semis direct et le labour conventionnel

1.	I Le contexte semi-aride ; caractéristiques, contraintes et perspectives.....	22
2.	I .1/Causes et conséquences de dégradation des sols agricoles.....	22
3.	I .2/Le contexte pédoclimatique des zones semi-aride.....	24
4.	I .3/Les systèmes de production dans la méditerranée	26
5.	II L'importance de la jachère dans les systèmes de production en zone semi-aride.....	28

6.	III Agriculture de conservation opportunités et limites en méditerranée	36
7.	III.1/Le développement du travail du sol de conservation	37
8.	III.2/Les apports de l'agriculture de conservation selon la bibliographie	37
9.	III.3/Les défis et les contraintes de l'agriculture de conservation en Méditerranée	41
10.	IV Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés du sol	44
11.	IV.1/Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés physiques du sol	44
12.	IV.1.1/Structure du sol	44
13.	IV.1.2/La densité apparente du sol	46
14.	IV.1.3/La Porosité et la circulation de l'eau	47
15.	IV.1.4/La conservation de l'eau	50
16.	IV.2/Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés chimiques	51
17.	IV.2.1/Teneurs et stocks en C et N totaux	51
18.	IV.2.2/Azote minérale	53
19.	IV.2.3/Phosphore	54
20.	IV.2.4/Autres éléments minéraux	55

21. IV.3/Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés biologique.....	56
22. IV.3.1/La matière organique du sol.....	56
23. IV.3.2/Importance de la matière organique du sol.....	56
24. IV.3.3/Influence des pratiques culturales sur la matière organique.....	58
25. IV.3.4/Les vers de terre.....	59
26. IV.3.5/La structure et la diversité des communautés microbiennes du sol.....	60
27. IV.3.6/Influence sur les mauvaises herbes.....	60
28. Synthèse.....	63
29. Conclusion	

المخلص

أظهرت الدراسة المقارنة للعمل ، نوعية التربة بين البذر المباشر والحراثة التقليدية في المنطقة ال جافة الجزائرية اختلافاً في سلوك انواع الزراعات وتطوراً في خصائص الأرض. بادئ ذي بدء، يعبر الوضع التقليدي عن أعلى محصول مقارنة بالتقنيات المبسطة والبذر المباشر. بعد ممارسة عدم الح رث أعطت أفضل منتج بزيادة قدرها 10 قنطار/ هكتار (القمح الصلب) مقارنة بالتقنيات التقليدية. وهذا يؤكد أن إنتاج القمح في البذر المباشر أفضل مع زيادة مدة ممارسته. ومع ذلك ، أدت ظروف الرطوبة العالية للتربة في وقت البذر إلى ظهور سيء وبالتالي انخفاض الغلة. كما كشفت خصائص التربة عن اختلافات في أنماط الحراثة. في الواقع ، يتم قياس قدرة التربة على الاحتفاظ بالمياه بشكل أفضل بدون حرث ، بالإضافة إلى محتوى أفضل من المواد العضوية في كل قطعة من قطع الأرض المختلفة التي تمت دراستها. تُظهر مقارنة الكثافة الظاهرية تبايناً واضحاً وأكبر قيمة تم تمييزها في العمل التقليدي.

Résumé

L'étude comparative du travail , la qualité des sols entre le semis direct et le labour conventionnel en zone aride algérienne a montré une différence de comportement des cultures et une évolution des caractéristiques du sol. En premier de conduite culturale, le mode conventionnel exprime le plus haut rendement par rapport aux techniques simplifiées et au semis direct. Après la pratique du non labour a donné les meilleurs rendements, soit une élévation de 10 q-ha(blé dur) par rapport aux pratiques conventionnelles. Ce qui confirme que la production du blé en semis direct, se révèle meilleure avec l'accroissement de la durée de sa pratique. Toutefois, les conditions d'humidité du sol élevées au moment du semis ont généré une mauvaise levée donc un rendement moins important. Les caractéristiques du sol ont également révélé des différences sur les trois modes de travail du sol. En effet, une meilleure capacité de rétention en eau du sol est mesurée sur le non labour, ainsi qu'une meilleure teneur en matière organique marquée sur chacun des déférentes parcelles étudiées. La comparaison de la densité apparente montre une nette variation et la valeur la plus importante marquée sur le travail conventionnel.

Abstract

The comparative study of the work, the quality of the grounds between the direct seeding and the conventional plowing in Algerian arid zone showed a difference in behavior of the cultures and an evolution of the characteristics of the ground. First of all, the conventional mode expresses the highest yield compared to simplified techniques and direct seeding. After the practice of no plowing gave the best yields, an increase of 10 q-ha (durum wheat) compared to conventional practices. This confirms that the production of wheat in direct seeding is better with the increase in the duration of its practice. However, the high soil humidity conditions at the time of sowing resulted in poor emergence and therefore a lower yield. The soil characteristics also revealed differences on the three tillage modes. Indeed, a better water retention capacity of the soil is measured on no-tillage, as well as better marked organic matter content on each of the different plots studied. Comparison of bulk density shows clear variation and the largest value marked on conventional work.

INTRODUCTION

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 (**CDSR, 2001**).

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, il y a une nouvelle initiative à travers le monde 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, la protection par une couverture végétale constituée de résidus et de pailles (**Mrabet, 1993 ; 2001a**).

La fixation de cette agriculture contribuera à la durabilité des systèmes agricoles en Afrique du Nord (**CDSR, 2001**).

Nombreuses sont les contraintes de production, les plus importantes sont selon les auteurs : les contraintes climatiques telles que l'irrégularité et la mauvaise répartition

des pluies d'une année à l'autre et même à l'échelle de l'année, édaphiques telles que la dégradation des sols par l'érosion et l'appauvrissement en matières organiques, et bien sûr d'autres contraintes socio-culturelles (morcellement des terres agricoles...), ajoutées aux problèmes liés à la pratique culturale basée essentiellement sur l'agriculture conventionnelle (**Mrabet, 2001a; Abdellaoui et al., 2010**).

En Algérie le phénomène de dégradation du sol est présent sur les hautes plaines, zone céréalière, à cause de déficit hydrique, des pratiques culturales inadaptées et de la surexploitation des terres qui ne vont pas de pair avec l'évolution pédoclimatique du milieu, la technique de travail du sol classique avec labour a atteint ses limites de développement dans certaines régions, les terres labourées sont sujettes à l'érosion et pour limiter ce phénomène le recours aux techniques culturales simplifiées et au semis direct seraient une alternative viable (**Abellaoui et al, 2010**). L'adoption de cette nouvelle approche implique un changement global aussi bien sur le plan végétal que sur le plan sol.

Nombreux travaux scientifiques attirent l'attention sur les conséquences du système conventionnel et soulignent l'intérêt économique, agronomique et le respect de l'environnement qui caractérisent le semis direct et les techniques culturales simplifiées. Mais très peu des expériences ont lieu sur l'intérêt de cette technique agricole pratiquée sur différentes successions de cultures et son effet sur les propriétés du sol. En Algérie le semis direct est encore au stade embryonnaire alors qu'au Maroc (**Mrabet, 2001b**) et en Tunisie (**Raunet, 2002**) la plus grande part des travaux concerne les aspects phytotechniques (rendement, contrôle des résidus, contrôle des mauvaises herbes).

La présente étude qui porte sur la comparaison des différentes pratiques culturales, se propose de discuter les questions suivantes :

* Les pratiques culturales adoptées ont-ils des effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques du sol après trois ans d'application ?

* Les changements des pratiques culturales apportés au sol sont-ils exprimés par le végétal ?

* Comment se comportent les mauvaises herbes vis-à-vis des différentes pratiques culturales ?

Ce mémoire est rédigé de la façon suivante :

Le premier chapitre présente une revue bibliographique qui comporte les axes :

* Contexte semi-aride ; caractéristiques, contraintes et perspectives.

* L'agriculture de conservation ; opportunités et limites en méditerranée.

* Effet de labour et des pratiques de conservation sur les propriétés du sol. Le deuxième chapitre présente les différents matériel et méthodes utilisés. Et en fin le troisième chapitre donne les résultats obtenus et leurs interprétations.

Chapitre 01

Recherche bibliographique

I - Définition générale

Les sols constituent l'élément essentiel des biotopes continentaux. Leur ensemble, dénommé pédosphère, résulte de l'interaction de deux compartiments biosphériques, l'atmosphère et les deux couches superficielles de la lithosphère. C'est l'altération des roches mères, due à des forces chimiques et biologiques, qui donne naissance au régolite (manteau superficiel de débris), lui-même transformé en ce que l'on appelle sol. Les cinq principaux facteurs impliqués dans la formation du sol sont la roche mère, le climat, la topographie, l'activité biologique et le temps (**ATLAS et al., 1992**).

II - Caractéristiques générales des phases du sol

Le sol est constitué de trois phases : solide, liquide et gazeuse. Leurs proportions sont variables en fonction, notamment, de leur état hydrique et des contraintes mécaniques qu'ils subissent.

II.1. La phase solide du sol

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables. On pourrait considérer les organismes vivants du sol comme une partie de la phase solide, puisqu'ils ne sont ni gazeux ni liquides (**CALVET., 2003**).

On distingue deux fractions dans le sol:

- **Fraction minérale** Les minéraux constituent, en général, de 95 à 99% du sol. La composition minérale dépend de la nature de la roche-mère. La nature des minéraux peut être extrêmement diverse avec des tailles granulométriques différentes (**QUENEA., 2004**) :

- - Sable ($\emptyset = 2000$ à $50 \mu\text{m}$)
- - Limon ($\emptyset = 50$ à $2 \mu\text{m}$)
- - Argile granulométrique ($\emptyset < 2\mu\text{m}$)

La texture d'un sol correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseur, indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. Les sols sont classés suivant leurs proportions relatives en particules argileuses, limoneuses et sableuses (**ATLAS et al., 1992**).

Fraction organique La fraction organique d'un sol est constituée à plus de 80% de matière organique morte (résidus de plantes et d'animaux en état de décomposition naturelle) (**PAUL et al., 1996**).

On trouve aussi des organismes vivants : des bactéries dont beaucoup d'actinomycètes, des champignons et une microfaune formée de protozoaires, nématodes, insectes, vers de terre (**QUENEA., 2004**).

Le sol est un habitat généralement favorable à la prolifération des microorganismes, leur nombre est supérieur à celui trouvé dans les eaux douces ou marines : la population microbienne s'élève à des valeurs comprises entre 10^6 et 10^9 bactéries par gramme de sol (**ARTIOLA-FORTUNY et al., 1982**).

Leur abondance et leur nature dépendent du type de sol, de la végétation, du climat et des diverses actions anthropiques et de leurs variations (**ATLAS et al., 1992**).

La profondeur est une variable écologique qui affecte significativement la survie des microorganismes. Dans les zones tempérées, si une grande partie d'entre eux se

concentre dans le premier mètre de la couche superficielle, ce sont en fait les premiers centimètres qui en contiennent le plus grand nombre (**CROSINIER., 1999**).

Les bactéries et les champignons constituent les microorganismes les plus représentés dans les sols où ils sont les principaux responsables de la minéralisation des matières organiques (**QUENEA., 2004**).

Ils participent aussi à un processus appelé humification qui conduit à la formation de l'humus (**Paul et al., 1996**) qui est un composé complexe et majeur du cycle de la matière organique tellurique et de la fertilité du sol.

- **Microflore du sol (BOUSSEBOUA H., 2005)**

La microflore du sol est formée de bactéries (Archéobactéries et Eubactéries), de champignons (levures et moisissures), d'algues et de protozoaires.

- **Bactéries**

Les bactéries sont les microorganismes les plus abondants et métaboliquement les plus actifs du sol. En fonction des propriétés du sol, tous les types physiologiques bactériens sont représentés :

Autotrophes et hétérotrophes, mésophiles, thermophiles et psychrophiles, aérobies et anaérobies. On estime d'ailleurs que tous les groupes de bactéries connus pourraient être isolés d'un échantillon du sol, si les techniques et les milieux adéquats sont utilisés. Ce qui ne signifie pas que le sol soit le milieu naturel de toutes les bactéries. Par sa nature de milieu ouvert et sensible aux facteurs de l'environnement, le sol est le réceptacle d'apport continu de microorganismes exogènes qui disparaissent ou

survivent en situation de dormance, en raison des conditions défavorables d'un milieu qui n'est pas le leur. Mais certains d'entre eux peuvent ponctuellement s'implanter. Les bactéries du sol sont à dominante GRAM positif, avec comme groupes principaux : les Corynébactéries, les Actinomycètes, les Mycobactéries et les Nocardiformes.

Les genres les plus communément isolés sont. *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter* et *Bacillus*, dans les couches aérobies alors que les bactéries du genre *Clostridium* sont dominantes dans les conditions anaérobies. Les variations du potentiel nutritionnel du sol favorisent l'apparition de bactéries autotrophes du cycle de l'azote : *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* et du soufre : *Thiobacillus*.

• **Les champignons**

En général, les champignons du sol forment une biomasse aussi importante que celle des bactéries. Leurs activités métaboliques sont multiples et fondamentales à l'équilibre écologiques des sols, par : leurs interactions avec les systèmes racinaires des plantes, leur aptitude de colonisation et de dégradation des débris organiques de grande taille et des composés de structures complexes.

De nombreux travaux indiquent la prédominance de : *Mucor*, *Trichoderma* et *Aspergillus*, alors que *Rhizopus*, *Fusarium*, *Zygorhynchus*, *Cephalosporium*, *Cladosporium* et *Verticillium* sont couramment isolés.

• Algues et protozoaires

Les algues sont considérées comme relativement peu abondantes dans le sol. Mais leur présence est cependant commune. Les algues du sol incluent des espèces coccoïdes ou filamenteuses. Les groupes les plus courants sont des Chlorophyceae. Parmi les microorganismes photosynthétiques du sol, les Cyanobactéries sont dominantes dans les sols neutres et alcalins, alors que les algues sont les plus communes dans les sols acides.

Les protozoaires isolés des sols sont variés et se développent dans les zones superficielles humides, au films d'eau entourant les particules.

II.2. La phase liquide du sol

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure mais une solution dont la composition est complexe et très variable. On la désigne par l'expression « solution du sol ». Elle contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques, ionisées et non. D'une façon générale, la solution du sol est difficile à décrire et à étudier en raison de sa très grande variabilité spatiale et temporelle, de sorte qu'il n'existe pas de composition type. On peut cependant donner quelques indications générales en distinguant deux catégories de solutés :

- Les micro-éléments dont la concentration est inférieure à 1 mmol/m³, beaucoup d'éléments traces métalliques entrent dans cette catégorie.

- Les macro-éléments dont la concentration est supérieure à cette limite ; les éléments les plus fréquents et les composés chimiques correspondants sont : C(HCO₃), N

(NO₃⁻), Na (Na⁺), Mg (Mg²⁺), Si (Si(OH)₄), S (SO₄²⁻), Cl (Cl⁻), K (K⁺), Ca (Ca²⁺) et O₂.

La solution du sol est principalement une solution d'électrolytes, généralement peu concentrée et dont la molarité totale est souvent de l'ordre de 10⁻³ à 10⁻⁵ mol/L. Elle contient également des ions H⁺ et OH dont les concentrations déterminent la réaction du sol caractérisée par le pH (ATLAS et al., 1992).

II.3. La phase gazeuse du sol

La phase gazeuse du sol est souvent appelée l'atmosphère du sol. Sa composition est souvent voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Elle dépend principalement de deux facteurs, la proximité de l'atmosphère, c'est-à-dire la profondeur dans le sol et l'activité biologique.

L'air du sol contient en général les mêmes substances que l'air atmosphérique mais sa composition peut être très différente en raison, en particulier, de l'activité biologique. Les sols bien aérés contiennent environ 180 à 205 ml d'O₂ par litre d'air mais cette teneur peut être abaissée à 100 ml ou moins dans les sols inondés et dans des microenvironnements alentour des racines des plantes.

La teneur en CO₂ est généralement comprise entre 3 et 30 ml par litre de sol et peut atteindre 100 ml par litre d'air en profondeur ou au voisinage des racines et en milieu saturés en eau. L'air du sol contient également d'autres substances, telles que NO, N₂O, NH₃, CH₄, H₂S et, parfois, des composés organiques volatils (ATLAS et al., 1992).

III - Les propriétés du sol

III.1. Propriétés physiques

- **Organisation des particules : Structure, aération**

La structure désigne le mode d'assemblage des particules ; elle s'observe et se décrit à deux niveaux : à l'échelle macroscopique observable à l'œil nu et à l'échelle microscopique (microstructure ou micromorphologie)

La structure détermine la répartition dans l'espace de la matière solide et des vides (pores) dont certains sont occupés par l'eau, d'autres les plus grossiers. Par de l'air . Cette répartition conditionne l'ensemble des propriétés physique fondamentales du sol : aération et possibilités de respiration de respiration des racines, rétention, par les forces capillaires. d'une réserve d'eau utilisable par les plantes. en période sèche, etc. **(DUCHAUFOR., 1994).**

Le complexe argilo humique joue un rôle structural.

Ce rôle est plus ou moins important selon les teneurs en eau du sol et varie en fonction du type et la teneur en argile. La matière organique augmente la stabilité des agrégats. Une mauvaise structure peut donc empêcher l'écoulement des eaux dans le sol et les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère **(CALVET., 2003).**

Une bonne structure va assurer une grande facilité de circulation d'eau, donc laisse s'écouler l'excès, assure une bonne aération des racines, une bonne germination, une pénétration profonde des racines et une bonne exploration par les racines des ressources nutritive du sol **(SOLTNER., 2000).**

- **La texture**

La texture du sol est à la base (presque) de toutes les autres propriétés. C'est la propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique du sol, car elle influe sur :

- **La perméabilité du sol à l'eau et à l'air**

Redlich & Verdure dans leur revue en 1975 parlent de l'indépendance du taux de la matière organique et la perméabilité. Le critère retenu pour mesurer la perméabilité est la vitesse de percolation de l'eau exprimée en cm³ / heures. Le taux élevé de matière organique n'implique pas forcément une bonne perméabilité. Cependant, son degré de décomposition a une influence sur cette dernière : plus la matière organique est décomposée, plus la perméabilité est faible et vice versa (**REDLICH & VERDURE., 1975**)

- **La rétention de l'eau**

Sous forme de vapeur et de liquide, l'eau occupe environ un quart du volume d'un sol. Quand ce dernier est saturé, l'eau qui percole à travers une tranche du sol le fait sous l'influence de la gravité (**KOLLER., 2004**).

La teneur en air est complémentaire de la teneur en eau, puisque ces deux fluides se partagent l'espace interstitiel (**BLANC., 1985**).

III.2. les propriétés chimiques

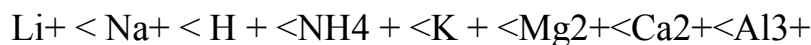
• Le Ph

Le pH est défini comme le logarithme décimal de la concentration d'une solution en ion H^+ . Il permet d'approfondir les modalités d'interaction entre les ions et les surfaces absorbantes du sol (MIRSAL., 2004).

• La capacité d'échange cationique (CEC) La capacité d'échange cationique (CEC)

est la capacité à fixer de façon réversible les cations échangeables (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+}) (BAIZE., 2004). Les cations sont liés aux feuillets d'argile par des forces de nature électrostatique et possèdent la propriété d'être échangeables. Ces cations échangeables se fixent à la surface des feuillets et assurent la liaison entre eux. L'intensité de ces liaisons dépend de la valence de ces cations, qui est probablement le facteur déterminant dans capacité d'échange ou de remplacement des cations plus élevé qui peuvent remplacer facilement les cations de valeurs plus faibles (CALVET., 2003)

Par ordre de capacité de remplacement croissante, les ions se classent comme suit :



D'après cette série, le lithium est le plus facile à remplacer alors que l'aluminium est le plus difficile (CALVET., 2003).

- **Calcaire actif**

La fraction de calcaire d'un sol capable de libérer assez facilement du calcium est appelée calcaire actif. Une terre peut être riche en calcaire total et relativement pauvre en calcaire actif. L'excès de calcaire actif nuit à certaines plantes. On considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50 pour mille (**POUSSET., 2002**).

- **Matière organique (MO)**

Les classes d'appréciation de la teneur du sol matière organique sont réalisées en fonction du taux d'argile.

En effet, la matière organique améliore la structure et diminue l'érosion du sol, a un effet régulateur sur sa température, permet au sol de stocker davantage d'eau et représente aussi un milieu de culture pour les organismes vivants, contribuant ainsi à améliorer significativement la fertilité du sol (**MIRSAL., 2004**)

- **Phosphore assimilable Le phosphore (P)**

est un élément essentiel de tous les organismes vivants. Chez les végétaux,, il joue un rôle essentiel dans de nombreux processus biologique comme la croissance, la photosynthèse et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, il représente souvent un facteur limitant, par suite de sa faible concentration dans les sols (**POUSSE et., 2002**).

- **Azote**

Contrairement à la plupart des autres éléments présents dans le sol, l'azote ne provient jamais de l'altération des roches sur lesquelles se sont élaborés les sols au cours du temps.

L'azote est souvent le nutriment limitant dans le sol, il est recyclé plusieurs fois par les organismes avant son assimilation par la plante. Lorsqu'on ajoute de l'azote dans le sol, il faut le faire pour les microbes et non pour la Plante.

Il s'agit toujours de petites quantités (10-20 U/ha) à mettre juste avant le démarrage de l'activité des microbes (**MIRSAL., 2004**).

- **Le potassium**

Le potassium joue un rôle important dans la production, le transport et le stockage des sucres dans la plante. Le potassium n'est pas très mobile dans la plante. Il joue un rôle primordial dans l'absorption des cations, dans l'accumulation des hydrates des protéines, le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie en eau de la plante. C'est aussi un élément de résistance des plantes au gel, à la sécheresse et aux maladies. Il est essentiel pour le transfert des assimilés vers les organes de réserve (bulbes et tubercules). Le potassium dans le sol se trouve uniquement sous forme minérale. Il provient soit de la décomposition de la matière organique et des minéraux du sol, soit des engrais.

Le potassium est aussi un constituant de l'argile (peu disponible pour les plantes) et de la roche mère (très peu disponible pour les plantes). Le potassium utilisable par les

plantes est retenu à la surface des particules d'argiles et d'humus. Durant la croissance de la plante, il est libéré dans la solution du sol en fonction des besoins(**HOUIDI et al., 2007**).

IV - Type de sol

On peut regrouper les sols en quatre grands types:

- Sol sableux .
- Sol limoneux .
- Sol argileux .
- Sol humifère (**DUCHAUFOR., 2001**).

Chapitre 02

La différence entre le semis direct et le labour conventionnel

I. le contexte semi-aride; caractéristiques, contraintes et perspectives

I 1. Causes et conséquences de dégradation des sols agricoles

L'agriculture moderne nourrit les hommes, gère de vastes espaces, mais elle peut également contribuer au développement de nuisances. Parmi celles-ci, la production de ruissellement et d'érosion par les parcelles agricoles est un risque souvent important en milieu méditerranéen, et son coût écologique et économique est élevé **(Roose, 1991)** : amincissement et appauvrissement des terres agricoles, ravinements, pollution des rivières, comblement des réseaux de collecte des eaux, salissement et sapement des routes, envasement des retenues et barrages, inondations et coulées de boue. Cette dégradation, qui a eu pour conséquence un déclin de la production, est due à la fragilité du sol mais aussi à des systèmes de production mal adaptés **(Mrabet et al., 1997)**.

La mise en culture d'un sol le rend sensible à l'érosion car la probabilité d'avoir un sol nu s'accroît lors des fortes précipitations ; cela dépend de la nature de la plante cultivée et des techniques culturales, sous verger l'érosion est intense comme sur un sol nu **(Roose et al, 1993)**, mais plantée en terrasse elle est moindre que s'il est plantée en lignes dans le sens de la plus grande pente **(Nahal, 1984)** ; et pour des cultures peu denses, elle est plus intenses que pour des cultures denses **(Browning 1948, cité par Nahal, 1975)**. L'alternance des cultures légumineuses atténue l'érosion du sol de manière spectaculaire **(FAO, 1983 ; Gallien et al. 1995)**, ainsi en Algérie, en associant du blé à des fèves, la perte en terre diminue de 1.5 tonnes/ha à 0.3 tonnes/ha (sur sol nu travaillé) **(Arabi et Roose, 1989)**. Les semis très battus ou chantier de

récolte très roulés (rugosité nulle) accroissent les risques d'érosion, au contraire, du déchaumage avec résidus abondants ou labour (rugosité forte). Le travail du sol expose le sol nu à l'agressivité des pluies, réduit sa cohésion et accroît par la suite fortement le risque d'érosion et les glissements de terrain sur les versants instables (**Brown et al, 1989; Roose, 1994**). L'installation des cultures et le contrôle des mauvaises herbes par des interventions aratoires engendrent des pertes en matière organique sous rotations de culture continues (**Studdent et al., 1997 in Saber et Mrabet, 2002**). Ces pertes peuvent être réduites en introduisant des cultures fourragères dans les rotations ou en maintenant des niveaux importants de résidus des plantes en surface (**Campbell et Zentner, 1993**). Ainsi, la gestion du sol (à travers le labour), de la culture (à travers le choix des cultures en rotation) et des résidus des plantes affectent le niveau de carbone dans le sol et influencent les dynamiques, l'humification et la minéralisation et leur équilibre (**Huggins et al., 1998**).

Au Maroc, la gestion de ces trois composantes (sol, culture et résidus) est perturbée par les exigences et les nécessités des systèmes d'exploitation agricoles qui prélèvent du sol plus qu'ils ne fournissent. Les rotations deviennent de plus en plus intensives, les travaux du sol sont réalisés à des dates non favorables, dans des conditions d'humidité élevée, et les résidus des plantes sont exportés des terres cultivées et pâturées. La qualité du sol dans ces conditions, souffre d'une déperdition de carbone et d'une destabilisation des agrégats (**Saber et Mrabet, 2002**)

La porosité du sol joue un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux, ainsi que dans le développement racinaire. Elle est souvent sujette à des modifications variables lorsque les sols sont compactés. Généralement, la compaction affecte la

qualité physique du sol, elle réduit la porosité, ce qui entraîne une mauvaise aération du sol, un mauvais drainage et augmente la résistance à la pénétration des racines, par conséquent réduit la croissance et le rendement de la récolte (**McBride et al., 1989**).

Ouattara et al., (1998) ont montré que la modification de la porosité des sols limono-sableux de Burkina Faso sous l'effet de la mise en culture constitue l'une des causes fondamentales de la baisse de la fertilité physique de ces sols.

Dans les zones semi-arides, on assiste à une dégradation continue des ressources naturelles due à l'utilisation abusive et inadéquate des techniques agricoles. Ainsi, le labour intensif entraîne une détérioration de la qualité du sol ce qui menace la production agricole à longterme, dans tout le bassin méditerranéen (**Lopez Bellido, 1992**). Les travaux récents montrent d'une façon irréfutable que la stabilisation et l'amélioration des rendements céréaliers dans les zones semi-arides marocaines ne peuvent se réaliser à long-terme qu'à travers le remplacement du système conventionnel (TC) du travail du sol par le non labour ou semis direct (NL) (**Bouzza, 1990 ; Kacemi, 1992 ; Mrabet, 1997 ; Mrabet, 2000a**).

I 2. Le contexte pédoclimatique des zones semi-aride

En zone méditerranéenne, plus les précipitations sont faibles, plus elles sont variables (**Le Houerou, 1986 cité par FAO, 1990**). Elles tombent entre novembre et mars, période durant laquelle les sols cultivés sont nus. En Algérie, sur des parcelles peu couvertes, pendant les orages d'automne, le ruissellement journalier maximal a dépassé de 19 à 32 % et jusqu'à 70 à 85 % des averses importantes en hiver sur des sols détrempés (**Arabi et Roose, 1989**). Les conditions climatiques engendrent une

teneur en matière organique relativement faible dans les sols méditerranéens qui sont donc très sensible au processus d'érosion hydrique (**Nahal, 1975 ; Ryan, 1982 ; FAO, 1983**). Les sols méditerranéens sont souvent peu profonds sauf ceux se situant sur des formes géomorphologiques d'accumulation ou des sables (**Ryan, 1982**).

Les hautes plaines sétifiennes sont caractérisées par des hivers rigoureux et des étés chauds et secs. La pluviométrie moyenne annuelle y varie entre 200 mm au sud et 600 mm au nord, avec une variabilité temporelle et spatiale marquée. Les épisodes de sécheresse survenant pendant la saison pluvieuse peuvent être aggravés par l'occurrence précoce du sirocco, vent chaud et desséchant (**Lahmar et Bouzerzour, 2010**). Kribaa et al, 2001 donnent une moyenne de 400 mm, avec 230 mm en année sèche et 500 mm en année humide. La température moyenne oscille entre 36 C° (août) et 0.5 C° (janvier).

La répartition des sols dans Les hautes plaines sétifiennes, fait apparaître en gros trois domaines. Dans la partie nord, plus réduite en surface et ondulé, dominent des sols peu ou pas carbonatés, noirs, argileux doués des propriétés vertiques. La zone sud plate, dominée par des sols calcaires avec le plus souvent des horizons calcaires durs plus ou moins démantelés, proche de la surface. L'horizon de surface se confond le plus souvent avec la couche travaillée. Tous ces sols ont en commun une structure de surface fragile et faible taux de matière organique dans la couche travaillée. Une baisse du taux de matière organique a été notée (**Batouche et Labiod, 1991 ; Lahmar et al, 1993**).

La contrainte climatique agit par la faiblesse de la quantité d'eau et par sa mauvaise répartition inter et intra annuelle. Elle agit également par les basses (gel) et hautes températures (sécheresse accentuée par le sirocco) qui peuvent intervenir de manière précoce ou tardive et pénaliser la céréale. La contrainte pédologique agit par une profondeur du sol réduite, par des accumulations calcaires dures, limitant la réserve hydrique et le développement racinaire. Elle agit également par l'état structural de l'horizon de surface qui détermine en grande partie le fonctionnement hydrique du sol. Bien évidemment, les caractéristiques chimiques biochimiques et biologiques du sol peuvent constituer également des contraintes à la céréaliculture (**Kribaa, 2003**)

I 3. Les systèmes de production dans la méditerranée

Le bassin méditerranéen est dominé par l'agriculture pluviale. La culture la plus pratiquée est celle des céréales d'hiver, blé et orge, en rotation avec une jachère qui peut durer de 16 à 18 mois. Lorsque l'humidité le permet, les céréales sont accompagnées de l'olivier, l'amandier et la vigne. En présence d'irrigation la diversification et l'intensification se pratiquent: arbres fruitiers (pommiers, poiriers, pêchers, agrumes, oliviers), légumes (fèves, lentilles, pois chiche), fourrages (vesce, luzerne), pomme de terre, cultures industrielles (tournesol, betterave, coton, colza). Les zones les plus arides sont dédiées à l'élevage extensif. Sur les rives sud de la Méditerranée, l'élevage est pratiquement présent dans tous les agroécosystèmes ; son interaction avec les cultures est forte, notamment dans les zones céréalières où il a été et continue d'être la principale sinon la seule base de l'activité économique de ces régions (**Cantero-Martínez et Gabiña, 2004**).

L'occupation de l'espace rural méditerranéen se caractérise par une dualité croissante entre l'espace de plaine cultivé intensivement par les productions arboricoles ou viticoles et soumis à l'urbanisation, et les espaces marginaux d'arrière pays traditionnellement voués à l'élevage. Il en résulte au Nord une forte diminution des activités d'élevage avec abandon progressif de l'espace rural, défrichement et risques d'incendies (**Gintzburger et al., 1990; Hubert et al., 1993**), et au Sud de la Méditerranée, un repli de l'élevage sur des espaces de moins en moins productifs, élevage qui ne peut se développer pour répondre à la demande qu'en faisant appel à la complémentation généralisée et à une pression croissante sur les espaces pastoraux (**Le Houérou, 1992**).

Les hautes plaines sétifiennes sont habituellement présentées comme un terroir dominé par les céréales pluviales, blé et orge, et l'élevage ovin. Le système de culture est basé sur une rotation céréale/jachère. La jachère occupe actuellement 40 % de la surface agricole utile (**Abbas et Abdelguerfi, 2005**).

Dans un travail récent mettant en relation la taille des exploitations, les ressources et les systèmes de culture, Benniou et Louhichi (2006) apportent un éclairage nouveau sur les dynamiques qui se mettent en place et qui sont vraisemblablement impulsées par les récents politiques agricoles du pays (**Djenane, 1997**). Toutes les exploitations pratiquent la culture de céréale et un élevage même très réduit. Une nette tendance à la diversification facilitée par l'accès à l'irrigation. Le maraichage et la culture de pomme de terre notamment, est observé quelque soit la taille de l'exploitation. Le système céréale/jachère/fourrage est présent dans les moyennes et grandes exploitations, notamment en dessous de 400 mm. le système céréale/céréale semble

spécifique des petites et moyenne exploitations. Toutes ces jachères semblent être des jachères pâturées, le système blé dur jachère travaillées typique de dry-farming se concentrerait plus dans la zone recevant plus de 400 mm et de manière plus marquée dans les exploitations de taille supérieure à 50 ha, mieux structurées et ayant accès au matériel agricole et aux intrants. (**Lahmar et Bouzerzour, 2010**).

II L'importance de la jachère dans les systèmes de production en zone semi-aride

a- La jachère ; pratique obligatoire en zones semi-arides Dans les régions méditerranéennes, généralement dépourvues de grands potentiels hydriques, la jachère subsiste toujours et occupe annuellement de très grandes superficies. Dans les zones céréalières semi arides, les systèmes de production sont souvent peu structurés et soumis à des aléas climatiques contraignants (**Abbas et al., 2001**).

Les stratégies de production qu'ils développent répondent de ce fait, à des objectifs à la fois de production mais aussi de lutte contre les risques climatiques. La maximisation de la production est pour cela un objectif secondaire après la survie de l'exploitation agricole. Les types de produits recherchés peuvent ainsi varier subitement au cours de l'année des céréales vers l'animal et vis versa. La jachère est alors l'outil qui permet de favoriser soit les céréales, en cas de pluie, par son labour précoce, soit l'élevage, en cas de sécheresse, par son pâturage. Selon Kribaa (2003) le système céréale-jachère apparaît comme solution permettant de minimiser les risques et les coûts de production. Les tentatives d'intensification de la céréaliculture n'ont toujours pas bénéficié de l'adhésion des producteurs dont la stratégie de

minimisation des risques réside dans l'association culture de céréale-élevage ovin. Dans cette stratégie paysanne; le mouton valorise la jachère et assure un équilibre économique à l'exploitation agricole.

En Algérie, un discours presque unique a toujours considéré la pratique de la jachère comme un frein à l'accroissement des productions agricoles, notamment céréalières. La résorption de la jachère et son remplacement par une culture est donc devenue une constante dans tous les programmes de développement agricoles. La logique est toute simple: il faut donner plus de terres à l'agriculture, et comme la jachère occupe annuellement plus de 40% de la SAU, sa culture fera presque doubler la SAU totale.

(Abbas, 2004)

Durant plus de 30 ans, la part de la jachère dans la SAU n'a pas changé et reste très importante (40% environ) **(Bedrani et al., 2000)**.

Par ailleurs, on constate que la part de la jachère par rapport à la SAT (pour tenir compte de l'ensemble des terres y compris les parcours pastoraux) montre une tendance d'augmentation particulièrement dans les zones semi arides. La part de la jachère travaillée dans la SAT diminue alors que celle de la jachère pâturée augmente. Ceci montre que la tendance pastorale dans les systèmes de production céréalières des zones semi arides se renforce, à cause de la sécheresse qui a sévi durant la dernière décennie. Ce constat ne s'accompagne pas par des évolutions contrastées des céréales et des brebis comparativement à la SAT.

Dans le milieu semi-aride marocain, la jachère devient de plus en plus nécessaire pour réussir une production stable du blé **(Bouzza, 1990 ; Mrabet, 2000b)**. Ainsi, il faut obligatoirement choisir un système de culture qui intègre la jachère.

Cette jachère doit être chimique non travaillée pour bénéficier au maximum de la fonction productrice et conservatrice du sol (**El-Brahli et al., 1997 ; Mrabet, 2001a**).

Dans les zones céréalières semi arides des Hautes plaines sétifiennes, la céréaliculture associée à l'élevage ovin est difficilement substituable par d'autres productions.

La pluviométrie est marquée à la fois par son insuffisance et son irrégularité alors que le milieu physique (sol, points d'eau) sont rarement favorables (sols squelettiques, rares ressources d'eau). Ces contraintes font que la productivité céréalière soit faible et irrégulière (**Jouve et al., 1995**).

Les exploitations agricoles ont alors des stratégies de diversification de la production. Celle-ci peut comprendre les céréales, la paille, les animaux reproducteurs, la viande, le pâturage de jachères et de chaumes.... (**Jouve et al., 1995 ; Abbas et al., 2001**).

La combinaison de céréaliculture, de la jachère et du mouton permet de gérer au mieux le risque climatique en favorisant un ensemble de produits aux dépens d'un autre. La suppression de la jachère pâturée ou sa substitution par une culture n'a pas donné de résultats tangibles quelque soit le programme (blé/médicago par exemple). Ceci montre que la pratique de jachère est fortement enracinée dans les systèmes de production comme composante permettant entre autres la viabilité et la durabilité de ces derniers (**Abbas, 2004**).

b- Diverses fonctions de la jachère La fonction principale de la jachère pâturée était l'alimentation d'un troupeau qui pâture les chaumes ainsi que les adventices et les céréales. Elle a aussi pour objectif l'entretien du stock de semences d'adventices du sol. Ses effets sur le bilan hydrique sont variés en fonction de la précocité des labours. Si les labours sont tardifs les possibilités de stockage d'eau sont

compromises. La jachère pâturée a tendance à réduire les risques de lixiviation de l'azote (**Abbas, 2004**).

Le déplacement des animaux entraîne des transferts d'éléments minéraux et de matières organiques entre parcelles à travers le choix des lieux de stabulation ou de parcage (lieux de déjections) et à travers le devenir de celles-ci (**Sebillote et al., 1993**).

En dehors des fonctions classiques de la jachère (agronomiques notamment), il faut bien garder dans l'esprit le fait que cette pratique constitue une composante majeure des systèmes de production, notamment mixtes (céréales/ovin).

En Algérie l'apport en UF des jachères est estimé en 1999 à 1444 millions, soit 9,28 % de l'offre fourragère totale (**Houmani, 1999**).

Ceci montre son importance comme ressource fourragère et alimentaire malgré le fait que la productivité à l'hectare est estimée à 360 UF, soit un niveau très bas.

Les effets de la jachère sur le bilan hydrique dépendent, en règle générale, de la date des labours : leur précocité favorise un meilleur stockage de l'eau dans le sol ; avec des labours tardifs, comme c'est le cas pour une jachère pâturée, la possibilité de réaliser des réserves hydriques paraît alors compromise. Cette règle paraît toutefois contestée dans le cadre des zones céréalières semi-arides. Ainsi, depuis fort longtemps, les travaux réalisés en 1962 dans la région de Sétif (Hautes plaines de l'est algérien) par Perrier (1973) ont montré que l'effet global de la jachère travaillée (labours précoces) a été un gain de 60 mm d'eau en fin de saison (35 à 40% de la réserve utilisable), mais à une profondeur supérieure à 60 cm. L'intérêt de la jachère considérée (végétation spontanée jusqu'au labour de printemps) n'est donc pas évident ; l'utilisation d'une culture d'automne qui n'accroît pas le déficit hydrique

pourrait être plus favorable. Les jachères ont également un rôle d'assainissement des sols cultivés après une période de culture. Les adventices sont éliminées dès les premières années de jachère (Fournier et al., 2000). Ces jachères ont également un rôle de production de diverses ressources pastorales, médicinales ou autres produits de cueillette. Elles interviennent également dans la gestion foncière des terroirs agricoles et peuvent avoir un rôle socioculturel (**Floret et Pontanier, 2000**).

c- Limites et inconvénients de la jachère En effet, sous jachère travaillée, le labour de printemps provoque un dessèchement brutal du sol sur une profondeur de 60 cm. Par ailleurs, les travaux des Opérations Intégrées de Recherche et Développement (**ITGC, 1980**) menés dans le cadre de la coopération algérofrançaise dans différentes régions céréalières d'Algérie, ont montré que le rôle de conservation de l'eau attribué à la jachère travaillée n'existe véritablement que pour les zones à pluviométrie suffisante et disposant de sols profonds à moyennement profonds.

Il n'y a réellement stockage de l'eau que si: (i) les états structuraux profonds et superficiels dont dépendent l'infiltration et l'évaporation de l'eau sont corrects, et (ii) les dates de création de ces états structuraux coïncident avec les dates de pluies utiles qui réhumectent le profil. En termes plus clairs, la jachère travaillée ne permet un stockage d'eau (à plus de 60 cm) que si les labours de printemps sont réalisés suffisamment tôt (janvier-février) avant le début de la sécheresse et si, et seulement si, le sol est lourd (argileux) et assez profond ; en outre, le recroisement est indispensable si les pluies sont tardives pour réduire l'effet des adventices et créer un mulch. Or, ces conditions ne sont pas souvent réunies dans les zones céréalières algériennes caractérisées par une pluviométrie faible et irrégulière et surtout par des sols peu

profonds. Actuellement, dans les cas où la pratique de la jachère travaillée est réalisée dans un but d'intensification céréalière, compte tenu des moyens matériels réduits au niveau des exploitations des régions semi-arides et des besoins fourragers (paturage de la jachère) induits par la présence d'un troupeau, le travail du sol est réalisé très tardivement (mars-avril voire mai) et le recroisement est pratiquement inexistant, ce qui réduit toute possibilité d'économie de l'eau. Enfin, par son faible niveau de restitutions au sol et une forte minéralisation de la matière organique (humidité, température et aération favorables), la jachère travaillée accélère l'érosion des sols tout en entraînant l'exclusion de l'élevage ; elle ne se justifierait donc agronomiquement que dans certaines conditions exceptionnelles (production de semences par exemple) (**Abbas, 2004**).

d- Programme de résorption de la jachere en Algerie

Comme la jachere occupe annuellement une part importante de la SAU, sa culture fera presque doubler la SAU totale. D'où l'interet du programme de la résorption de la jachere qui est devenue une constante dans les programmes de developpements agricoles, visant le remplacement de la jachere par d'autres cultures telles que les cultures fourragères, les légumineuses alimentaires, les oléa-protéagineux. Ces cultures de substitution se trouvent actuellement en difficulté, avec de très faible rendements et en face d'autres contraintes spécifiques à chaque spéculation.

Dans les zones favorables, la suppression ou la réduction de la jachere, notamment la jachere paturée, peut influencer considérablement l'accroissement substentiel du cheptel, à travers la diversification et le developpement des ressources fourragères de qualité d'une part et l'intensification des céréales par l'introduction des espèces de

légumineuses fourragères comme précédent cultural d'autres part. Aussi, la résorption de la jachère dans les zones favorables au développement des légumineuses alimentaires (pois chiche et lentille) peut contribuer à la satisfaction des besoins nationaux en protéines végétales et améliorer de manière substantielle la fertilité des sols (ITGC, 2009).

En fonction des caractéristiques pédoclimatiques on distingue deux types de résorption :

1- Suppression de la jachère : ce premier type se limite à la zone A, considérée hautement potentielle, caractérisée par une pluviométrie supérieure à 600 mm, des sols lourds, argileux et compacte, cette zone à vocation production animale doit être réservées principalement au bovin laitier où la production des espèces de fourrages nobles en remplacement de la jachère constituera la principale source d'alimentation du cheptel en fourrage de qualité.

2- La réduction de la jachère est envisagée au niveau deux zones à savoir :

La zone B située entre les isohyètes 450 et 600 mm, caractérisées par des sols argilo-calcaires, moyennement profonds. Cette zone, à vocation production animale doit être réservée principalement à l'élevage bovin. Les cultures de remplacement potentielles sont principalement les fourrages en vert : bersim, luzerne, orge et triticale en vert, les associations fourragères vesce-avoine et poistricale et le pois chiche pour les légumineuses alimentaires, et la féverole et pois protéagineux pour les espèces protéagineuses.

La zone C : située entre les isohyètes 350-450 mm. Cette zone est à dominance élevage ovin. Etant donné que les potentialités de cette zone sont réduites

comparées aux zones A et B, les cultures de remplacement sont les fourrages comme la vesce-avoine, l'orge en vert, le triticale, le pois triticale et les légumes secs telle la lentille (**ITGC, 2009**).

1. Importance de légumineuses dans les systèmes de culture

Dans les systèmes de culture utilisant les rotations, l'azote fixé par les légumineuses peut être utilisé d'abord par les légumineuses, puis par les cultures suivantes. Utilisées en rotation ou en association dans les systèmes de culture, les légumineuses apportent une certaine contribution en azote en fixant et en intégrant une partie de l'azote atmosphérique dans le système. Les résidus des légumineuses sont plus riches en azote et contribuent à enrichir le sol en cet élément (**LaRue et Patterson, 1981**).

Les cultures succédant aux légumineuses peuvent bénéficier indirectement de l'azote fixé par l'entremise des résidus laissés par la légumineuse (**Chalk, 1998**).

Selon Danso (1995), l'azote de la fixation symbiotique a une contribution plus importante pour la croissance des plantes comparativement aux engrais azotés appliqués dans l'agriculture des pays en développement. L'azote fixé de l'atmosphère contribue pour 50 à 60 % du N des légumineuses à graines, 55 à 60 % du N des arbres fixateurs d'azote, 70 à 80 % du N des légumineuses fourragères.

Plusieurs travaux ont en effet montré que les associations céréale-légumineuse sont largement plus compétitive vis-à-vis des adventices que la légumineuse cultivée seule (**Bulson et al., 1997 ; Hauggaard-Nielsen et al., 2001 ; Liebman et Dick, 1993**).

La présence d'une céréale dans un couvert de pois permettrait de mieux utiliser l'azote minéral du sol en comparaison du pois pur et de réduire ainsi cette ressource pour les adventices limitant la croissance de celles-ci (**Hauggaard-Nielsen et al., 2001**).

La plus forte compétitivité de la céréale pour l'azote du sol permettrait d'autre part de réduire les risques de pertes d'azote minéral par lessivage par rapport au pois pur **(Haugaard-Nielsen et al., 2003)**.

D'autres effets bénéfiques des légumineuses semblent intervenir dans l'accroissement des rendements et certains auteurs comme Chalk (1998) préfère le terme 'effet rotation' pour désigner cet effet positif des légumineuse sur la culture suivante.

III Agriculture de conservation opportunités et limites en méditerranée

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, 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'autres termes, 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 **(FAO, 2001)**.

III 1. Le développement du travail du sol de conservation

Si les outils de travail du sol se sont aujourd'hui diversifiés, la charrue à versoirs reste l'outil le plus répandu. Le labour permet de contrôler le développement des adventices, d'enfouir les résidus de cultures et de fragmenter la structure du sol avant l'implantation des cultures. Cette technique a permis d'augmenter la productivité des cultures mais elle reste une technique consommatrice de temps, de main d'oeuvre, de puissance tractrice et d'énergie (**Monnier, 1994**).

Les problèmes de fertilité des sols communs aux sols labourés (baisse des teneurs en MO, érosion éolienne et hydrique, tassements) ont conduit au développement des techniques alternatives au labour, regroupées sous le terme de travail du sol de conservation lorsqu'elles laissent en surface plus de 30 % des résidus de la culture précédente (**Köller, 2003**).

Ces techniques couvrent une large gamme d'opérations allant du semis direct au travail du sol réduit sans retournement de la couche de sol avec un outil à dents ou à disques. Le labour quant à lui laisse moins de 15 % des résidus de culture en surface après l'implantation de la culture suivante (**Köller, 2003 ; Labreuche et al., 2007**).

III 2. Les apports de l'agriculture de conservation selon la bibliographie

Selon la bibliographie, l'AC a des impacts sur l'environnement, sur l'agronomie et sur l'économie. Au niveau environnemental, l'AC et les TCS permettent de réduire l'érosion par la présence de couvert végétal et absence ou réduction de travail du sol (**Van Doran et Allmaras 1978; Unger et al., 1988**).

L'énergie des gouttes de pluies tombant sur un sol nu provoque une destruction des agrégats du sol, une obstruction des pores du sol et une diminution brutale de l'infiltration de l'eau par conséquent ruissellement et érosion du sol, Le mulch intercepte cette énergie et protège la surface du sol contre la destruction des agrégats, améliore l'infiltration de l'eau et réduit les pertes du sol par l'érosion (**Freebairn et Boughton 1985;McGregor et al., 1990; Dormaar et Carefoot 1996**), réduit la pollution des eaux (**Viaux, 1999**) , augmente la biodiversité et de l'activité biologique des sols (**Cluzeau et al., 2001 ; Granval et al., 1993**). selon **Soon et Arshad (2005)**; La biomasse microbienne du sol est plus importante sous système de non labour que sous système conventionnel par 7-36% ; le labour fréquent engendre une diminution de la biomasse microbienne totale et active. Une augmentation de la biomasse microbienne du sol se fait rapidement dans quelques années suivant la conversion au système de non labour (**Ananyeva et al., 1999 ; Alvarez et Alvarez, 2000**).

Le semis direct permet de restituer la fertilité du sol et de lutter voire contrôler les formes d'érosion. Si la destruction de la matière organique des sols soumis à des modes de gestion conventionnelle, peut être très rapide, sa reconstruction peut progresser aussi rapidement en semis direct (**CDSR, 2001**).

Ces techniques pourraient contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique par la réduction de la dépense énergétique donc des émissions et capacité de stockage du carbone via les matières organiques dans les sols (**Guedez, 2002**).

Au niveau agronomique, L'AC permet une accumulation des matières organiques en surface du sol (**Roldan et al. 2003 ; Alvear et al. 2005 ; Diekow et al. 2005 ; Madari**

et al. 2005 ; Riley et al. 2005), engendre une concentration dans l'horizon de surface des éléments fertilisants, et de l'activité biologique du sol. L'AC engendre également une homogénéisation de la structure du sol et une augmentation de la stabilité structurale de celui-ci après une période d'adaptation de quelques années (**Guerif, 1991**).

L'AC diminue les pertes de l'eau dans le sol par évaporation et ainsi favorise une température modérée du sol ce qui améliore l'activité biologique et augmente la minéralisation de l'azote surtout dans les couches de surface (**Dao 1993; Hatfield et Pruegar, 1996**).

L'infiltration de l'eau sous système de conservation (zéro ou minimum travail du sol avec couverture) a été supérieure à celle sous système conventionnel (**Bissett et O'Leary, 1996**).

Les plantes de couverture est un facteur essentiel pour la production agricole à travers ses effets sur les fonctions du sol physiques, chimiques et biologiques et par conséquent la qualité de l'eau et du sol (**Kumar et Goh., 2000**).

Les rendements seraient équivalents au labour (**Reinhard et al., 2001**), mais les TCS demandent une gestion et une attention plus importante de la part de l'agriculteur, particulièrement au niveau de la lutte contre les adventices (**Jouy, 2001**).

Les plantes de couverture et le mulch ou les résidus des précédents culturaux participent à réduire l'infestation par les mauvaises herbes à travers la compétition en ne permettant pas l'arriver de la lumière aux grains de mauvaises herbes qui en ont

besoin pour la germination. (**Steinsiek et al., 1982 ; Lodhi et Malik 1987 ; Jung et al. 2004**), également les grains de mauvaises herbes vont être contrôlés quand les plantes de couverture sont coupées ou attaquées chimiquement. Les pratiques agricoles qui maintiennent les microorganismes du sol et l'activité microbienne peuvent aussi conduire à la suppression des mauvaises herbes par des agents biologiques. (**Kennedy 1999**).

Mrabet (2001c) ont trouvé que le semis direct séquestre 13.6% de carbone après 11 ans de son adoption dans un sol argileux. **Bessam et Mrabet (2001)** ont trouvé que le taux de matière organique évolue de façon remarquable sous semis direct en fonction du temps, alors que sous travail classique, le sol garde sensiblement les mêmes taux. Cette part de la fertilité gratuite construite en semis direct permet d'augmenter la productivité des cultures avec moins d'engrais minéral et d'accroître le potentiel du sol. En effet, **Mrabet et al., (2001)** ont trouvé que les niveaux de phosphore, azote et potassium s'améliorent en semis direct par rapport au conventionnel.

Au niveau économique, l'agriculture de conservation permet une réduction des temps de travaux lors de l'implantation des cultures (**Rieu, 2001; Young, 2001**).

Une réduction des charges de mécanisation est possible (**Tebrügge, 2001**), si l'équipement est adapté à la surface travaillée. La gestion du désherbage par voies mécaniques et chimiques est en général plus coûteuse mais la marge directe est équivalente au labour (**Salitot, 2001**).

Les avantages du changement au semis direct font plus que compenser le supplément de coût de la protection des cultures. Ces avantages sont: une augmentation de la surface exploitée, une suppression des coûts des labours et des façons superficielles, et une économie du temps du carburant, de la main d'oeuvre et des charges d'équipements (CDSR, 2001).

III 3. Les défis et les contraintes de l'agriculture de conservation en Méditerranée

Le climat méditerranéen, par la température et surtout par les précipitations variables et imprévisibles et par la sécheresse endémique, réduit considérablement le choix des cultures et des rotations en absence d'irrigation. En général, les sols méditerranéens cultivés ont une fertilité moyenne ou faible, des niveaux de matière organique bas et bien souvent, ils sont caillouteux. Ils sont souvent carbonatés, avec des encroûtements calcaires, parfois gypseux, offrent un faible volume au développement racinaire et une capacité de rétention d'eau limitée. La salinité et l'alcalinité les affectent naturellement, mais surtout du fait de l'irrigation. Les agro-écosystèmes méditerranéens pluviaux sont essentiellement à base de céréales d'hiver, cultivées en rotation avec une jachère et d'élevage (Lahmar, 2007).

Ce dernier a été et continue d'être la principale sinon la seule base de l'activité économique dans l'est et le sud de la Méditerranée (Cantero-Martínez et Gabiña, 2004).

Les principales contraintes sont la rareté de l'eau et des terres cultivables et la dégradation des terres par érosion du sol associée : au manque de couverture du sol,

au brûlis de chaumes, au travail du sol, à l'intensité des pluies et au surpâturage du bétail. (**Lahmar, 2007**).

Dans le Sud et l'Est de la Méditerranée, il s'agira de développer des alternatives aux pratiques courantes du dry-farming, le labour profond et le travail de la jachère, qui mènent à de nombreuses dégradations, incluant le déclin du carbone organique et de la fertilité du sol, les pertes de sol par l'érosion hydrique et éolienne et qui remettent en cause la durabilité des systèmes d'exploitation agricole. Cependant, le maintien d'une couverture du sol pour réduire l'érosion et les pertes d'eau et pour améliorer la fertilité du sol ne peut pas se réaliser sans une meilleure intégration entre les cultures et l'élevage (**Lahmar, 2007**).

Le zero labour est une technique qui requiert l'acquisition de nouveaux équipements et l'achat d'intrants (**Marabet, 2001b**), or, les moyens financiers manquent au niveau des exploitations agricoles maghrébines. A titre d'exemple en Algérie pour les exploitations céréalières modernes, 14% seulement utilisent des semences sélectionnées, 23% utilisent du fumier, 24% utilisent des engrais azotés et phosphatés et 15 % des herbicides. Ces techniques culturales réclament de nouveaux outils et exigent de nouveaux investissements matériels souvent plus coûteux et plus développés que le matériels conventionnels, or même pour utiliser ces derniers, l'agriculture au maghreb connaît une insuffisance structurelle et une défaillance du matériel utilisé (**Chabane, 2010**).

Le semis direct est un système qui nécessite la suppression du travail du sol et nécessite également une utilisation renforcée des herbicides (**Mrabet, 2001d**), donc

un cout plus élevé, et surtout, une bonne connaissance des produits et leur utilisation, or, le niveau de consommation est déjà très faible à cause de cherté des intrants.

Un autre défi est le développement de systèmes d'innovation effectifs. Les acteurs auront besoin d'apprendre comment guider leurs efforts respectifs à la lumière de ce qui est appris des agriculteurs pendant la recherche participative. La génération et la dissémination de l'information et la formation des agriculteurs et des techniciens sont d'importance primordiale. La compensation des agriculteurs pour les avantages sociaux et environnementaux qu'ils procurent à long terme doit être envisagée. Des subventions et des programmes de crédit pour l'achat d'outils adaptés peuvent jouer un rôle moteur dans d'adoption de l'agriculture de conservation notamment par les petites agricultures familiales. Les politiques agricoles devraient être reformulées de manière à appuyer explicitement la recherche sur l'agriculture de conservation et son développement. **(Lahmar, 2007).**

IV Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés du sol

IV 1. Effets du labour et des techniques de conservation sur les propriétés physiques du sol

IV 1.1. Structure du sol

La structure d'un sol évolue continuellement, alternant les phases de formation, de stabilisation et de dégradation. La formation de la structure du sol résulte principalement de perturbations physiques d'origine anthropique ou climatique **(Oades, 1993 ; El Titi, 2003)**.

Les pores créés par ces perturbations sont généralement allongés ; ce sont les fissures. L'activité biologique des organismes du sol participe aussi à la formation de la structure mais joue surtout un rôle majeur dans sa stabilisation. La dégradation de la structure résulte quant à elle de l'action de l'homme ou du climat **(Young et al., 1998)**.

Le travail du sol affecte les facteurs biotiques et abiotiques du sol, soit directement en modifiant les propriétés structurales du sol comme l'arrangement des vides, les agrégats, la connectivité des pores, soit indirectement en changeant les conditions d'aération, de température et de pénétrabilité du sol par les racines **(Huwe, 2003)**.

La structure du sol est le résultat, à un moment donné, de l'équilibre entre les phénomènes de tassement (par le passage d'engins agricoles, conditions humides d'intervention), de fragmentation (par le climat, la faune et/ou le travail du sol),

d'agrégation (par des compactations modérées ou par le climat et/ou la faune) et de déplacement du sol par le travail du sol (**Roger-Estrade et al., 2000**).

Il en résulte que la structure du sol est très variable au sein des couches de sol cultivées non seulement dans le temps (sous l'action des systèmes de cultures, du climat) mais aussi dans l'espace. Le sol présente donc une forte variabilité spatiale des conditions locales de circulation d'eau, d'activité biologique et d'aération (**Boizard et al., 2004**).

Dans les systèmes labourés, la structure du sol est principalement créée par les opérations de travail du sol tandis que dans les systèmes non travaillés (semis direct) la structure est principalement créée par l'action du climat (en surface dans les régions tempérées) et par des processus biologiques (**Oorts, 2006**).

Il en résulte que la structure d'un sol labouré est extrêmement hétérogène. Elle est composée de l'assemblage de sol fin, de mottes compactées ou non (décimétriques), de résidus de cultures répartis le long de la bande de labour, de vides et de fissures issus de l'action de retournement, de déplacement et de fragmentation de la charrue sur la couche de sol labourée (**Roger-Estrade et al., 2004**).

A l'inverse, la structure d'un sol non travaillé est plus homogène et présente souvent une structure plus massive composée de macro-pores d'origine biologique. Les fissures et les vides sont en général moins importants dans les sols non travaillés ou dans les systèmes de travail du sol réduit du type chisel (**Rasmussen, 1999**).

Par ailleurs, les résidus de cultures ne sont pas enfouis en profondeur et sont concentrés en surface ou dans les premiers centimètres de sol, améliorant la stabilité structurale du sol (**Tebrügge et Düring, 1999**).

L'effet des différentes techniques de travail du sol sur la structure diffère selon le type de sol. Les sols sensibles aux tassements, comme les sols sableux, se prêtent moins à l'abandon du labour car leur faible activité structurale limite la régénération de la structure du sol par les phénomènes naturels de retraitgonflement (**Munkholm et al., 2003**).

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique présent dans le sol (Stengel et al., 1984). Comme cette quantité augmente sensiblement en semis direct, les agrégats sont plus stables dans cette situation culturale (**Angers et al., 1993 ; Suwardji et Eberbach, 1998 ;Hernánz et al., 2002 ; Saber et Mrabet, 2002 ; Sasal et al., 2006**).

IV 1.2.La densité apparente du sol

Réduire l'intensité et la profondeur du travail du sol conduit en général à une augmentation de la densité apparente du sol mais pas au-delà de l'ancien fond de labour (**Guérif, 1994; Rasmussen, 1999; Tebrügge et Düring, 1999**).

L'absence de fragmentation des anciennes couches de sol travaillées entraîne une diminution de leur espace poral (**Guérif, 1994**).

L'augmentation de la densité apparente du sol est toutefois moins importante dans les systèmes de travail du sol réduit que dans les systèmes type semis direct (**Kay et Vanden Bygaart, 2002**), voire inférieure sur 0-10 cm (**D'Haene et al., 2008b**).

De nombreuses études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées concluent à une augmentation de la densité apparente en semis direct, dans les cinq à

dix premiers centimètres de sol (Ehlers et al., 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Rhoton et al., 1993 ; Unger et Jones, 1998 ; Lampurlanés et Cantero- Martínez, 2003 ; Basic et al., 2004).

Les socs du chisel, en fragmentant le sol, réduisent la prise en masse du sol sur la profondeur de travail de l'outil et à long terme (> 11 ans), il semblerait que la densité apparente du sol soit identique à celle d'un sol labouré (D'Haene et al., 2008b).

Par contre, la densité apparente de la couche de sol de surface (0-5 cm) est favorisée dans les systèmes de non travail du sol ou de travail du sol réduit par rapport à un labour en raison de la présence d'un mulch en surface (Blanco-Canqui et al., 2007; Guérif, 1994; Tebrügge et Düring, 1999). Tebrügge et Düring (1999) montrent que l'écart de densité apparente entre un sol labouré et un sol non travaillé est maximal après le passage de la charrue ; l'écart décroît au cours de la saison de culture.

Le non retournement des couches de sols par la charrue ou les techniques de travail superficiel, surtout les techniques de semis direct, favorisent l'activité fouisseuse de la faune du sol, et la présence de biopores contribue donc à diminuer les effets de ces techniques sur la densité apparente du sol sur le long terme (au delà de 10 années d'adoption de ces techniques) (Huwe, 2003 ; Munkholm et al., 2003).

Généralement, une conséquence de la compaction du sol en semis direct est la pénétration plus difficile des racines dans le sol (Ehlers et al., 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant et Lafond, 1993 ; Ferreras et al., 2000).

IV 1 3. La Porosité et la circulation de l'eau

Dans les premiers centimètres de sol, la distribution de la taille des pores est modifiée en l'absence de travail du sol. La mésoporosité et/ou la macroporosité diminuent dans un sol en semis direct par rapport à un sol labouré (**Hill, 1990 ; Pierce et al., 1994 ; Hussain et al., 1998 ; Ferreras et al., 2000**) ; l'écart entre les deux situations culturales est particulièrement marquée après le travail du sol (Pierce et al., 1994). De manière analogue, **Guérif (1994)** montre qu'en semis direct, les pores structuraux sont moins nombreux, situés en surface et plus continus. Une meilleure continuité des pores en semis direct est aussi observée par **Heard et al., (1988) et Azooz et Arshad (1996)**. Selon **Kay et Vanden Bygaart (2002)**, l'effet des techniques de travail du sol sur la micro du sol varie selon le temps d'application et la profondeur de travail de l'outil considéré. Les résultats de différentes expérimentations sont contradictoires et il est donc difficile de généraliser l'effet de la réduction du travail du sol sur ces classes de pores. Concernant la microporosité, des études rapportent qu'elle est plus élevée en l'absence de travail du sol (**Pierce et al., 1994 ; Azooz et Arshad, 1996 ; Bhattacharyya et al., 2006**).

Après l'arrêt du labour, la proportion de pores créés par l'activité biologique (les biopores longs et cylindriques) diminue fortement puis augmente au cours du temps (**Shipitalo et Protz, 1987 ; VandenBygaart et al., 1999**). Le réseau poral qu'ils définissent présente souvent une continuité élevée (**Blevins et al., 1983**) ; ces pores participent activement à la pénétration des racines et aux mouvements de l'eau dans le sol (**Dexter, 1991**).

Du volume et de la morphologie de l'espace poral dépendent les propriétés hydriques du sol (Le stockage et la circulation de l'eau) (**Pachepsky et Rawls, 2003**). En effet, il n'existe pas de consensus concernant les effets du semis direct sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol. Comparé à un sol travaillé, la vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol en semis direct peut être augmentée (**Miller et al., 1998 ; Arshad et al., 1999**), similaire (**Blanco-Canqui et al., 2004 ; Fuentes et al., 2004**) ou diminuée (**Ferrerias et al., 2000 ; Lampurlanés et Cantero-Martínez, 2006**).

En fait, cette variabilité s'explique par les différences d'évolution du réseau poral au cours du temps entre un sol labouré et un sol en semis direct. Des macropores sont créés juste après le labour ce qui améliore temporairement la vitesse d'infiltration de l'eau (**Lin et al., 1999 ; Coquet et al., 2005**) mais l'action mécanique de la charrue peut détruire la continuité des biopores formés pendant le cycle cultural précédent (**Logsdon et al., 1993**).

A l'inverse, la réduction du nombre de méso- et macropores du sol après l'abandon du labour est contrebalancée par un accroissement de la quantité des biopores lors de la pratique à long terme de la technique du semis direct (**Rasmussen, 1999**). De plus, l'augmentation de la quantité de matières organiques dans les premiers centimètres d'un sol non travaillé faciliterait l'infiltration de l'eau (**Findeling et al., 2003**).

Les sols non travaillés présentent une structure plus compacte et une porosité totale souvent plus faible que celle des sols labourés ou travaillés avec un outil à dent. Par conséquent la proportion de pores saturés en eau (% WFPS : Water Filled Pore Space) est souvent plus grande dans les systèmes non travaillés (**Franzluebbers et al., 1995**).

Cette proportion dépend de la porosité totale du sol, de la taille des pores et de la teneur en eau du sol et détermine ainsi l'aération du profil de sol (**Oorts, 2006**).

IV 1.5. La conservation de l'eau

De nombreuses études s'accordent que le sol non travaillé retient plus d'eau (**Dao, 1993 ; Arshad et al., 1999 ; Ferreras et al., 2000 ; Baumhardt & Jones, 2002 ; Bhattacharyya et al., 2006**) du fait de la modification de l'espace poral mais aussi du fait de la présence des résidus en surface qui réduisent l'évaporation (**Munawar et al., 1990 ; Guérif, 1994**).

D'après Al-ouda (2010) la quantité de l'eau dans les 20 cm de surface du sol a diminuée significativement d'un type de travail de sol à un autre comme suit SD, TCS, TC. Dans une culture de blé dur au niveau de l'horizon (0-20cm), **Abdellaoui et al., (2010)** affirment que le semis direct et les travaux simplifiés permettent une meilleure rétention en eau par rapport au labour conventionnel avec la charrue au soc. Dans une étude comparative de la dynamique de l'eau dans les couches du sol entre la technique du SD et celle de conventionnel effectué en Tunisie ayant montré que le non labour valorise mieux les apports d'eau en préservant de l'eau présente dans le sol avec un écart de 5% en sa faveur (**Nouiri et al., 2004**).

La non manipulation du sol et le maintien d'un couvert végétal aident à prolonger la durée du dessèchement de la surface et gardent le sol plus humide une période du temps plus longue (**Mrabet, 1997**).

IV 2.Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés chimiques

IV 2.1.Teneurs et stocks en C et N totaux

Les systèmes de travail du sol de conservation laissent plus de 30 % des résidus de cultures en surface ou les concentrent dans les premiers centimètres du sol. Le labour quant à lui enfouit et répartit ces résidus de cultures sur la profondeur de sol labourée. Ce changement dans la répartition des résidus de cultures au sein du profil de sol va avoir des conséquences à plus ou moins long terme sur les teneurs et stocks des matières organiques du sol et des éléments nutritifs. (**Jean-françois, 2009**)

Les concentrations en C et en N organique dans les systèmes de conservation sont en général supérieures dans les 10 premiers centimètres du sol par rapport à un sol labouré et décroissent fortement dans les horizons sous-jacents (**Al-Kaisi et Yin, 2005 ; D'Haene et al., 2008a; Gál et al., 2007 ; Koch et Stockfisch, 2006; Needelman et al., 1999; Pekrun et al., 2003**).

Par conséquent, les stocks de C et N organiques (t.ha-1) dans les systèmes de conservation sont supérieurs en surface par rapport aux systèmes labourés (**Al-Kaisi**

et Yin, 2005 ; Franzluebbbers et al., 1995 ; Gál et al., 2007) mais peu de différences apparaissent en profondeur (**Balesdent et al., 2000**)

Les teneurs en carbone (C) organique sont maximales dans les 5 cm supérieurs du sol. Elles diminuent avec la profondeur parce que les résidus végétaux ne sont pas enfouis et se décomposent en surface. Dans le système conventionnel, au contraire, les teneurs en C organique sont homogènes dans les premiers 30 cm et plus abondantes entre 30 et 40 cm que sous semis direct, du fait de l'enfouissement des résidus végétaux au fond du sillon, où ils se décomposent lentement (**Zihlmann et al., 2001 ; Müller et al., 2008a**).

Certains auteurs montrent même que malgré une concentration en C et N plus importante en profondeur en labour (15-30 cm), les stocks de C et N sont supérieurs en semis direct du fait de l'augmentation de la densité apparente de cette couche de sol (**Gál et al., 2007**). Cette stratification verticale des stocks de C et N engendrée par les techniques de conservation se fait rapidement après leur adoption et les principaux changements apparaissent au cours des trois premières années de leur application (**Ahl et al., 1999 ; McCarty et al., 1998**).

Quand les stocks de C et N organique sont rapportés à l'ensemble de la couche de sol labourée (en général 0-30 cm), certaines études montrent que les techniques de conservation, notamment les techniques de semis direct, ont un potentiel de stockage de la MOS (matière organique du sol) plus important que les techniques conventionnelles (**Baker et al., 2007 ; Franzluebbbers et al., 1995 ; Gál et al., 2007**).

A l'inverse, d'autres montrent que les techniques de travail du sol n'ont que peu d'effets sur ces stocks (**Balesdent et al., 2000 ; D'Haene et al., 2008a ; McCarty et al., 1998; Needelman et al., 1999**).

Le rapport C/N de la MOS dans les systèmes de conservation est en general supérieur à celui des systèmes labourés en surface là où les résidus de culture s'accumulent, et peu de différences apparaissent en deçà (**McCarty et al., 1998; Stockfisch et al., 1999**).

IV 2.2. Azote minérale

L'azote inorganique du sol constitue la fraction disponible pour les cultures. Le sol en contient rarement plus de 10% d'azote inorganique total (**Scheiner, 2005**).

Dans le sol, l'azote minéral se présente généralement sous la forme de nitrate (NO_3^-), qui est très mobile et qui peut facilement être lixiviée avec les eaux de percolation, notamment pendant la saison pluviale (**Spiess, 2005**).

Les travaux sur l'effet des techniques de travail de sol sur les niveaux de l'azote minéral au cours de l'année donnent des résultats parfois divergents. Langlet et Remy (1976) ont montré que dans la plupart du temps, au cours de cycle cultural, les niveaux d'azote minéral sont semblables dans les sols labourés ou en semis direct, voire quelques fois supérieurs en fin d'hiver dans les sols en semis direct (**Monner et al., 1991**).

La minéralisation de l'azote se déroule d'une manière plus continue et dure plus longtemps en semis direct qu'avec le labour (**Zihlman et al., 2001**).

La dynamique de minéralisation des composés organiques modifiée en semis direct et le pic de minéralisation concomitant au travail du sol n'existe plus ; la composition des microorganismes décomposeurs, dominé par les champignons, favorise l'immobilisation de l'azote au détriment de sa minéralisation (**Carter et Renne, 1987**).

Qu'il s'agisse de sols argileux (**Catt et al., 2000**), de sols sableux (Hansen et Djurhuus (1997) ou de sols limoneux (**Zhu et al. 2003, Stoddard et al., 2005, Gupta et al., 2004, AlKaisi et Licht 2004**), les effets du mode de travail du sol sur la lixiviation du nitrate ne sont pas significativement différents. En revanche, **Kanwar et al., (1993), Little et al., (2005) et Randall et Iragavarapu (1995)**, ont observé des concentrations de nitrate dans l'eau drainée significativement plus élevées sous labour que sous semis direct ou pseudo labour mais des pertes d'azote peu différentes. **Drury et al. (1993)** ont observé des concentrations mais aussi des pertes d'azote plus élevées (bien que non significativement) dans le cas du labour que dans celui du semis direct. Les travaux de **Goss et al., (1993), de McCracken et al. (1995), de Kanwar et al., (1993), de Randall et Iragavarapu (1995), ou de Drury et al., (1993)** à partir de mesures réalisées sur des dispositifs de drainage, **de Zhu et al., (2003)** basés sur un dispositif lysimétriques, et de **Hansen et Djurhuus (1997) et Gupta et al., (2004)** basés sur un dispositif de bougies poreuses, ont montré que les pertes d'azote par lessivage différaient seulement de quelques kg par hectare entre modalités de travail du sol.

Selon Ammann et al., (2003) ont observé une différence de perte d'azote de 30 kg N/ha entre semis direct et labour une année parmi les 3 années de leur étude.

IV 2.3.Phosphore

Les techniques de travail du sol influencent en premier lieu le mode de distribution dans le sol du phosphore apporté par l'engrais, les matières organiques exogènes et les résidus des cultures. Quelles que soient les techniques mises en oeuvre, elles sont sans effet notable sur les teneurs en phosphore, en général très faibles, des couches de sols situées au-dessous de la plus grande profondeur de travail. A ce niveau, en raison de la capacité qu'ont les racines à absorber du phosphore dans la solution du sol jusqu'à des concentrations de quelques mg/L (**Barber, 1995**), les teneurs du sol en phosphore demeurent généralement très faibles avec pour corollaire l'existence d'un fort pouvoir fixateur pour cet élément.

Dans l'horizon de surface, les opérations culturales qui réalisent un retournement ou un malaxage du sol tendent à homogénéiser le phosphore dans le volume travaillé. Par contre celles qui n'engendrent pas de mélange des couches travaillées, conduisent à l'instauration d'un gradient de teneurs décroissantes avec la profondeur (**Sharpley, 2003**), très fortement marqué dans le cas du semis direct. La création de ce gradient s'accompagne d'un enrichissement de la couche de surface qui interagit avec l'eau qui ruisselle. Ce phénomène est d'autant plus fort que les apports de phosphore sont abondants.

IV 2.4.Autres éléments minéraux

Le non retournement du sol en semis direct conduit à un enrichissement en éléments minéraux des premiers centimètres de sol par rapport à une situation avec labour (**Follett et Peterson, 1988 ; Edwards et al., 1992**).

D'un autre côté, en semis direct, les quantités d'éléments minéraux peuvent être réduites en profondeur, notamment le phosphore et le potassium (**Pekrun et al., 2003**). L'émission de protoxyde d'azote est favorisée dans un sol non travaillé (**Six et al., 2002 ; Baggs et al., 2003 ; Liu et al., 2006**).

D'autre part, si des études rapportent que le lessivage des nitrates peut être réduit lorsque le sol n'est plus travaillé (**Power et Peterson, 1998 ; Halvorson et al., 2001**), d'autres études concluent qu'il peut être accentué (**Sharpley et Smith, 1994 ; Catt et al., 2000**) ou non modifié (**McConkey et al., 2002**).

IV 3. Effets du travail du sol conventionnel et des techniques de conservation sur propriétés biologique

IV 3.1. La matière organique du sol

IV 3.2. Importance de la matière organique du sol

La présence de matière organique dans les sols est à l'origine de l'apparition des propriétés physico-chimiques favorisant le développement des végétaux cultivés et naturel. L'augmentation des ces teneurs s'accompagne d'une amélioration de la structure, de la facilité de l'infiltration de l'eau, de l'accroissement de la capacité de la rétention en eau, ainsi que du pouvoir de résistance à l'érosion (**Leprun, 1988**).

En outre, avec ses propriétés colloïdales, son caractère de substance fixatrice d'élément et son pouvoir chélation, elle joue un rôle chimique important dans les sols; libération d'élément nutritifs après minéralisation et augmentation de la capacité d'échange cationique. Elle joue aussi un rôle environnemental capital en participant à

contrer le phénomène de désertification et en diminuant, lorsque ses teneur augmente dans les sols, le dégagement de gaz carbonique pouvant rejoindre l'atmosphère et accroître les quantités des gaz responsable de l'effet de serre **(FAO, 2008)**.

Au niveau agricole sa présence contribue à une bonne nutrition des espèces cultivées, ce qui se traduit par l'augmentation des rendements et l'amélioration de la production.

La MO est la source principale d'azote dans le sol. C'est un composant labile nécessitant une source de renouvellement. Toutefois, la perturbation du sol par le labour provoque généralement une diminution du taux de la MO, favorise l'érosion éolienne et hydrique et de ce fait provoque un déclin de la productivité de la plante cultivée. Le maintien des résidus de récolte en surface du sol peut contribuer à la synthèse d'une nouvelle MO **(Campbell et Zentner, 1993)**. La MO constitue souvent le ciment organique liant les fines particules entre elles et formant ainsi les agrégats **(Quirk, 1978 ; Tisdall et Oades, 1982 ; Elliott, 1986)**.

Elle ralentit la pénétration de l'eau de pluie dans les agrégats et permet l'augmentation du taux des agrégats hydrostables **(Greenland, 1981 ; Tisdall et Oades, 1982 ; Albrecht, 1998)**. La stabilité structurale est étroitement liée à la quantité et la qualité de la MO **(Angers et Chenu, 1997 ; Feller et Beare, 1998)**. La MO influence l'emmagasinement de l'eau par le sol, la résistance aux agents érosifs et par conséquent affecte la croissance et le développement des cultures **(Piccolo, 1996)**.

La qualité de la MO est susceptible à changer avec les différents systèmes de gestion des sols **(Gregorich et Carter, 1997 ; Oades, 1998 ; Piccolo et Mbaywu, 1999 ; Balesdent et al., 1999)**. Ainsi, il devient nécessaire de maintenir et même

d'augmenter le contenu des sols en MO pour améliorer leur fertilité et assurer une agriculture durable en augmentant le taux de séquestration des résidus de récolte (Unger, 1994).

IV 3.3. Influence des pratiques culturelles sur la matière organique

La MOS est composée d'un mélange de divers composés allant des résidus de culture frais à des composés humiques relativement inertes dont le turn-over se mesure en millénaire et sa mesure ne fournit pas toujours une indication précoce d'un changement dans le statut organique du sol. Les pools labiles de la MOS (matières organiques particulaires, C soluble...) ont quant à eux un turn-over plus rapide et sont plus sensibles que la teneur totale en MOS aux changements de pratiques culturelles ou de conditions environnementales. Ainsi, ces pools peuvent être utilisés comme des indicateurs précoces des modifications de la MOS totale qui se manifestent à plus long terme. Les matières organiques particulaires (MOP) représentent un pool transitoire entre les résidus de culture frais et les MOS humifiées. Enrichi en C et en nutriments, elles représentent un attribut important de la qualité du sol puisque leur turn-over court en fait une source de C et d'énergie pour les microorganismes du sol hétérotrophes (Haynes, 2005).

Le travail du sol en modifiant la répartition et parfois la quantité de résidus de cultures retournés au sol, affecte également la qualité des MOP. Ainsi, les systèmes de conservation ont une plus grande part de MOP (Franzluebbbers et Arshad, 1997) que

les sols labourés en raison notamment de la protection physique des MOS qui protège la MOS de l'activité microbienne dans les systèmes de conservation (**Balesdent et al., 2000 ; Six et al., 2000**).

Dans les zones semi-arides où la décomposition de la MO est influencée par les conditions de sécheresse (**Campbell et al., 1996**), l'adoption du non labour réduit l'évaporation et par conséquent les pertes en eau, améliore les rendements et favorise l'accumulation de la MO par l'incorporation des résidus de récolte (**Campbell et Janzen, 1995**).

IV 3.4. Les vers de terre

Le labour affecte négativement les populations de vers qui sont atteintes directement via des dommages mécaniques, une exposition aux prédateurs et un phénomène de dessiccation dû au retournement du sol (**Edwards et Bohlen, 1996 ; Chan, 2001**). Le labour affecte la densité, la biomasse mais également la composition et la diversité des communautés de lombriciens (**Chan, 2001 ; Kladivko, 2001**). Les endogés sont les moins touchés par cette pratique et peuvent même être favorisés par l'enfouissement des matières organiques dans le sol (**Wyss et Glasstetter, 1992 ; Nuutinen, 1992**).

Le travail du sol superficiel est nettement moins néfaste que le labour car il est moins profond et ne retourne pas le sol mais il peut tout de même porter préjudice aux populations de vers de terre, notamment à travers la destruction des habitats. Le semis direct, quant à lui, favorise le développement des lombriciens, et en particulier le retour des anéciques. **Tebrüge et Düring (1999)** ont montré qu'après plus de 5 ans,

la biomasse lombricienne était de 180 kg/ha pour le labour, 500 kg ha⁻¹ pour le travail superficiel et 1500 kg ha⁻¹ pour le semis direct.

IV 3.5. La structure et la diversité des communautés microbiennes du sol

Les modifications abiotiques et biotiques de l'environnement des microorganismes affectent également la structure des communautés microbiennes du sol (**Andrade et al., 2003**).

Dans les systèmes les moins perturbés mécaniquement, l'augmentation de la biomasse microbienne en surface serait majoritairement due à l'expansion de la biomasse fongique, favorisée par l'humidité du sol (maintenue grâce à la présence d'un mulch) et non affectée par les perturbations mécaniques qui réduisent la longueur des hyphes mycéliens et le nombre de propagules dans les premiers horizons de sol (**Frey et al., 1999 ; Kennedy, 1999 ; Spedding et al., 2004**). Le type d'outil utilisé pour le travail du sol a également une influence sur les populations microbiennes : il semblerait que les outils animés (herse rotative) aient un effet encore plus délétère pour les populations fongiques qu'un labour (**Cookson et al., 2008**). Les sols travaillés intensivement seraient donc dominés par des espèces bactériennes tandis que les sols où le travail du sol est limité favoriseraient le développement de populations fongiques (**Kladivko, 2001 ; Young et Ritz, 2000**).

IV 3.6. Influence sur les mauvaises herbes

En algérie, les mauvaises herbes se sont progressivement multipliées pour couvrir des superficies de plus en plus importantes (surtout en céréaculture). Les mauvaises herbes les plus couramment recensées sont : le brome, le phalaris, le ray gras, le vulpin et la folle avoine pour les poacées et la moutardes, la ravenelle, le gaillet et le coquelicot pour les dicotylédones (**Hamadache et al., 2002**).

Le travail conventionnel du sol consiste à désherber, ameublir et à préparer le lit de semence afin d'assurer une densité de peuplement satisfaisante et un bon rendement (**Dessaint et al., 1990**).

Avec le progrès des techniques agricoles on a assisté, ces derniers temps, à une évolution des méthodes du travail du sol qui vise à supprimer entièrement le labour ou à en diminuer son intensité. Selon **Cowbrough (2002)**, la simplification du travail du sol ne peut être une solution durable que si le désherbage chimique est mieux maîtrisé.

La flore adventice des cultures est fortement affectée par les systèmes de production agricole (**McLaughlin et Mineau, 1995 ; Guillaume et al., 2008**). En effet, toute modification des pratiques culturales se répercute sur la structure de cette flore, il a été démontré que le labour favorise les adventices annuelles alors que le semis direct favorise le développement des graminées et des vivaces (**Derksen et al., 1993 ; Vulioud et al., 2006**). Ainsi la transition du semis conventionnel au semis direct peut engendrer une inversion de la flore adventices et l'apparition de nouveaux problèmes de désherbage (**Ball et Miller, 1990 ; Tuesca et al., 2001**).

Le système non labour ne peut être durable que par la maîtrise de la propagation des mauvaises herbes (**El Brahli et al., 1997**). Les graines de mauvaises herbes enfouies ne sont pas exposées à la surface comme c'est le cas par les travaux du sol. La banque de graines de mauvaises herbes semble donc diminuer en semis direct, rare sont les apparitions soudaines et tardives des mauvaises herbes car aucun travail du sol ne ramène les graines à la surface (**CDSR, 2001**).

Un contrôle des adventices sévère est néanmoins important au cours des premières années de transition. Au cours de cette période, le taux d'infestation floristique et la levée des graminées annuelles ont tendance à augmenter surtout avec les cultures continues. Pour cela, il faut essayer d'envisager une démarche efficace pour la lutte contre les mauvaises herbes par la prévention, la compétitivité des cultures, la rotation des cultures et un désherbage chimique. Il est conseillé d'appliquer des herbicides résiduels à action foliaire et racinaire qui sont relativement peu coûteux, telles que les herbicides antidicotylédones qui permettent un contrôle adéquat des mauvaises herbes. En effet, ces herbicides sont caractérisés par leur rémanence dans le sol et leur large spectre d'action (**El-Brahli et Mrabet, 2000**). En semis direct, la suppression du travail du sol nécessite une utilisation renforcée des herbicides, donc un coût plus élevé, et surtout, une bonne connaissance des produits et de leur utilisation. Cette maîtrise de la lutte chimique n'est pas acquise par tous les agriculteurs, et les parcelles en semis direct peuvent être fréquemment envahies par les adventices (CDSR,2001).

Synthèse

Après trois années d'application des techniques conservatrices (SD, TCS) qui se caractérisent par un non labour (SD) et un minimum de perturbation du sol (TCS), il s'avère qu'elles n'engendrent pas de changements visuels remarquables quant aux caractéristiques physiques des horizons.

Cependant il est intéressant d'indiquer que ces techniques, surtout le semis direct, se distinguent par une compacité plus élevée que le travail conventionnel. L'augmentation de la compacité en semis direct est due au fait que le non travail du sol permet de stabiliser le sol contrairement au travail conventionnel qui le perturbe continuellement.

Les techniques conservatrices maintiennent un niveau organique plus élevé qu'en travail conventionnel, ce fait est dû à l'aération exagérée provoquée par le labour et plus ou moins évitée par les techniques conservatrices. L'augmentation du taux du carbone total en semis direct permettrait d'améliorer les autres propriétés du sol (physiques, chimiques et biologiques). Les différentes successions culturales étudiées n'engendrent pas de variation du taux du carbone dans le sol. Aussi à partir de nos résultats le semis direct présente un avantage quant au niveau du phosphore dans le sol alors que les TCS améliorent le potassium.

La succession des cultures lentille /fourrage /lentille améliore le niveau du phosphore dans le sol alors que la succession blé / blé / blé améliore le niveau du potassium. En matière de conservation de l'eau, le SD et les TCS présentent un avantage au niveau

de 0-20 cm comparés au TC. L'avantage de la conservation de l'humidité, permis par les techniques conservatrices, est du peut être aux résidus laissés à la surface du sol. Le semis direct augmente sensiblement la densité apparente du sol suivi par les TCS et en dernière position le TC.

À l'inverse, le TC présente la plus grande vitesse d'infiltration suivi par les TCS et en dernière position le SD. Donc la porosité dans le semis direct est faible comparativement au travail conventionnel qui présente une porosité temporairement élevée, au début de cycle cultural. Cet avantage est dû au retournement du sol, mais à la fin du cycle cultural, la porosité du travail conventionnel est sensiblement diminuée, alors que celle des techniques conservatrices est légèrement améliorée. La variation dans le temps de la densité apparente est due principalement à l'effet des précipitations qui tassent le sol surtout en travail conventionnel.

Concernant l'effet du travail du sol sur la végétation et d'après les résultats obtenus, il s'avère que la levée de la culture de blé est favorisée par le SD suivi par les TCS alors que le PMG et le rendement biologique sont mieux obtenus sous le TC suivi par les TCS. La hauteur de la plante est aussi mieux développée sous le TC. Pour la culture de lentille, le TC favorise la meilleure levée (suivi par le SD) et donne le rendement biologique le plus élevé (suivi par les TCS). En ce qui concerne l'association de pois-orge aucune différence n'a été obtenue sous l'effet de trois types du travail du sol. Les résultats de la présente étude montrent que les adventices monocotylédones sont étroitement liés à la pratique de semis direct alors que les dicotylédones sont attribuées aux TCS et ensuite au TC.

Pour le nombre total des adventices, le SD apparait le plus envahi. Concernant le comportement des adventices vis à vis aux successions de cultures, la succession blé / blé / blé est la plus envahie et surtout par les dicotylédones. L'absence du travail du sol en semis direct favorise le développement des adventices surtout les adventices monocotylédones, ce fait est dû, peut-être, au maintien du stock semencier dans le semis direct contrairement au labour qui le perturbe.

Conclusion

A l'exception de quelques effets bénéfiques du semis direct au niveau du sol comme le carbone total, phosphore et l'humidité, Les résultats obtenus au terme de trois années d'application du semis direct montrent que le semis direct n'arrive pas encore à engendrer de grosses améliorations sur le plan sol et surtout sur le plan végétal.

Le mauvais control des mauvaises herbes ne nous a pas permis d'obtenir des résultats aussi fiables concernant les effets des techniques culturales sur les cultures installées, ainsi l'envahissement du semis direct par les mauvaises herbes a compromis la culture installée. Ceci suggère que la technique du semis direct ne pourrait jamais réussir sans la bonne maîtrise des mauvaises herbes.

L'adoption de l'agriculture de conservation incite à plus de précautions et d'investigations sur les conditions de succès de ce système et leur durabilité dans les zones semi-arides. Nos résultats positifs des techniques conservatrices du sol (SD, TCS), bien qu'ils soient limités, encouragent de continuer cette étude à long terme à conditions d'assurer une bonne conduite des cultures installées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbas K., Madani T., Bencheikh E.H. et Merraouche L. 2001.** Systèmes d'élevage ovin en zone semi-aride céréalière : taille d'exploitation et caractère pastoral. Méditerranéenne, 1, 2002, 50-55.
- Abbas K. 2004.** La jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides : Pour une approche de développement durable . In Ferchichi A. (comp.) . Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens = Rangeland and pasture rehabilitation in Mediterranean areas . Zaragoza (Spain) : CIHEAM-IAMZ, 2004. p. 169-173 : 11
- Abbas K et Abdelguerfi A. 2005.** Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-aride. Fourrage 184, 533-546
- Abdellaoui Z., Tissekrat H., Belhadj A. et Zaghouane O. 2010.** Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement du blé dur. Actes du 4^{ème} rencontre méditerranéenne du semis direct. Sétif, Algérie, du 3 à 5 mai 2010 p, 68-82
- Ahl I., Joergensen R.G., Kandeler E., Meyer B. et Woehler V 1999.** Microbial biomass and activity in silt and sand loam after long-term shallow tillage in central Germany. Soil and Tillage Research 49.
- Albrecht A. 1998.** La matière organique et la stabilité structurale des horizons de surface des sols ferrallitiques argileux. Effet du mode de gestion des terres. Thèse de l'Université Nancy 1, France.
- AL-Kaisi M. et Licht M.A. 2004.** Effect of strip tillage on corn nitrogen uptake and residual soil nitrate accumulation compared with no-tillage and chisel plow. Agronomy Journal, 96, 1164-1171.
- Al-Kaisi M. et Yin X. 2005.** Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotation. Journal of Environment Quality 34: 437-445.
- Al-Ouda A. 2010.** The role of improved regional practices in the implementation of conservation agriculture in Arab countries. Actes du 4^{ème} rencontre méditerranéenne du semis direct. Sétif, Algérie, du 3 à 5 mai 2010 p, 59-67
- Alvarez C.R. et Alvarez R. 2000.** Short term effects of tillage systems on active soil microbial biomass. Biol. Fertil. Soils 31, 157–161. (doi:10.1007/s003740050639)
- Alvear M., Rosas A., Rouanet J. L. et Borie F. 2005.** Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. Soil Tillage Res. 82, 195–202. (doi:10.1016/j.still.2004.06.002)
- Ammann H., Anken T., Irla E., Heusser J., Mader P., Nievergelt J., Richner W., Schmid O., Stamp P., Walter U. et Weisskopf P. 2003.** Influence du travail du sol sur la lixiviation des nitrates. Rapport FAT, 598, 1-8.

- Ananyeva N.D., Demkina T.S., Jones W.J., Cabrera M.L. et Steen W.C. 1999.** Microbial biomass in soils of Russia under long term management practices. *Biol. Fertil. Soils* 29, 291–299. (doi:10.1007/s003740050555)
- Andrade D.S., Colozzi-Filho A. et Giller K.E. 2003.** The Soil Microbial Community and Soil Tillage, p. 51-81, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- Angers D.A. Samson N. et Legere A. 1993.** Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 51-59
- Angers D.A. et Chenu C. 1997.** Dynamics of soil aggregation and C sequestration. In : Lal, R., Kimble, J., Follet, R.F., Stewart, B.A (Eds), *Soil process and the carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 199- 206.
- Arabi M. et Roose E. 1989.** Influence de quatre systemes de production mediterraneennes de moyenne montagne algerienne. *Bulletin Réseau Erosion* 9 ; 39-51
- Arshad M.A., Franzluebbbers A.J. et Azooz R.H. 1999.** Components of surface soil structure under conventional and no-tillage in northwestern Canada. *Soil & Tillage Research*, 53, 41-47.
- Azooz R.H. et Arshad M.A. 1996.** Soil infiltration and hydraulic conductivity under longterm no-tillage and conventional tillage systems. *Canadian Journal of Soil Science*, 76, 143- 152.
- Baggs E.M., Stevenson M., Pihlatie M., Regar A., Cook H. et Cadisch G. 2003.** Nitrous oxide emissions following application of residues and fertiliser under zero and conventional tillage. *Plant and Soil*, 254, 361-370
- Baize D. 2000.** *Guide des analyses en pédologie*, Paris
- Baker C.J., Saxton K.E., Ritchie W.R., Chamen W.C.T., Reicosky D.C., S Ribeiro M.F., Justice S.E. et Hobbs P.R. 2006.** *No-tillage Seeding in Conservation Agriculture* (2nd edition). CABI and FAO, London, 326 p
- Baldy C. 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Document technique, projet céréales. 152
- Balesdent J.C. Chenu et Balabane M. 2000.** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*. 53. 215-230.
- Ball D.A. et Miller S.D. 1990.** Weed seed population response to tillage, and herbicide use in thjree irrigfated cropping sequences. *Weed Sci.*, 38: 511-517.
- Barber S.A. 1995.** *Soil Nutrient bioavailability. A mechanistic approach*. John Wiley and sons, 414p

- Basic F., Kistic I., Mesic M., Nestroy O. et Butorac A. 2004.** Tillage and crop management effects on soil erosion in central Croatia. *Soil & Tillage Research*, 78, 197-206.
- Batouche S. et Labiod H. 1991.** Les sols des hautes plaines sétifiennes. Inventaire, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette région de 1965 à 1985 : essai de schématisation. Mémoire ingénieur univ sétif. 133p, carte et annexes
- Baumhardt R.L. et Jones O.R. 2002.** Residue management and tillage effects on soilwater storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil & Tillage Research*, 68, 71-82.
- Bedrani S., Chehat F. et Ababasa S. 2001.** L'agriculture algérienne en 2000. Une révolution tranquille le PNDA. *Prospectives agricoles*, 2001, 1, 7-51.
- Benites J. R., Ashburner J.E. (2001).** FAO's role in promoting conservation agriculture. In : 1st world congress on conservation agriculture, Madrid, 1-5 october. T
- Benniou N.M. et Louhichi B. 2006.** Diversité des exploitations agricole en région semi-aride algérienne. *Sechresse* 17: 399-406
- Bessam F. et Mrabet R. 2001.** Time influence of no tillage on organic matter and its quality of a vertic Calcixeroll in a semiarid area of Morocco. Garcia-Torres et al. (Eds). In: proceedings of International Congress on Conservation Agriculture. **Madrid, Spain. October 1-5, 2001.** Vol. 2. pp 281-286.
- Bhattacharyya R., Prakash V., Kundu S. et Gupta H.S. 2006.** Effect of tillage and crop rotations on pore size distribution and soil hydraulic conductivity in sandy clay loam soil of the Indian Himalayas. *Soil & Tillage Research*, 86, 129-140.
- Bissett, M.J. et O'Leary G.J. 1996.** Effects of conservation tillage on water infiltration in two soils in south-eastern Australia. *Aust. J. Soil Res.* 34, 299–308. (doi:10.1071/ SR9960299)
- Blanco-Canqui H., Gantzer C.J., Anderson S.H. et Alberts E.E. 2004.** Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 567-576.
- Blanco-Canqui H. et Lal R. 2007.** Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil and Tillage Research* 95:240-254.
- Blevins R.L., Thomas G.W., Smith M.S., Frye W.W. et Cornelius P.L. 1983.** Changes in soil properties after 10 years continuous non-tilled and conventionally tilled corn. *Soil & Tillage Research*, 3, 135-146.
- Boizard H., Richard G., Defossez P., Roger-Estrade J. et Boiffin J. 2004.** Etude de l'effet à moyen et long terme des systèmes de culture sur la structure d'un sol limoneux-argileux du Nord du Bassin Parisien: les enseignements de l'essai de longue durée d'Estrée-Mons (80). *Etude et Gestion des Sols* 11:11-20.

- Bouzza A. 1990.** Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas. PhD Diss. Univ. of Nebraska, USA. 200p.
- Brown L.C., Foster G.R. et Beasley D.B. 1989.** Rill erosion as affected by incorporated crop residue seasonal consolidation. *Trans. A. Soc. Agris. Engrs*, 32; 1967-1978.
- Bruce R.C. et Rayment G.E. 1982.** Analytical methods and interpretations used by the Agricultural Chemistry Branch for Soil and Land Use Surveys. Queensland Department of Primary Industries. Bulletin QB8 (2004), Indooroopilly, Queensland.
- Bulson H.A.J., Snaydon R.W et Stopes C.E. 1997.** Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *J. agric. Sci.* 128, 59-71.
- Campbell C.A. et Zentner R.P. 1993.** Soil Organic Matter as influenced by crop rotations and fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57 : 1034-1040.
- Campbell C.A., McConkey B.G., Zentner R. P., Selles F. et Curtin D. 1996.** Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic matter and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 76 :395-401.
- Cantero-Martínez C. et Gabiña D. 2004.** Agriculture Pluviale Méditerranéenne : Stratégies de Durabilité. Options Méditerranéennes, Série A, No. 60, Zaragoza, Spain.
- Carter M.R. et Renne D.A. 1987.** Effects of tillage on deposition and utilization of 15 N residual fertilizer. *Soil and tillage research*(9), 33-43.
- Catt J.A., Howse k.R., Christian D.G., Lane P.W., Harris G.L. et Goss M.J. 2000.** Assessment of tillage strategies to decrease nitrates leaching in the Brimstone Farm Experiment, Oxfordshire, UK. *Soil and Tillage Research*, 53, 185-200.
- CDSR. 2001.** Le semis direct ; potential et limites pour une agriculture durable en Afrique du nord. Commission économique pour l'Afrique. Nations unis décembre 2001.
- Chabane M. 2010.** L'agriculture de conservation, voie de sécurité alimentaire dans les pays du maghrab? Actes du 4 eme rencontre méditerranéennes du semis direct. Setif, algerie, du 3 à 5 mai 2010 p, 130-149
- Chalck P.M. 1998.** Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations : a review. *Aust. J. Res.*, 49 : 303-316
- Chan K.Y. 2001.** An overview of some tillage impacts on earthworm population abundance and diversity - implications for functioning in soils. *Soil Tillage Res.* 57, 179-191.
- Cluzeau D., Hallaire V. et Bodet J.M. 2001.** Du labour au semis direct : enjeux Agronomiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, p 11-13, pp 22
- Colombani J., Lamagat J.P. et Thieboux. J. 1973.** Un nouvel appareil pour la méthode Mûntz une extension de la méthode Porchet aux sols hétérogènes.

- Cookson W.R., Murphy D.V. et Roper M.M. 2008.** Characterizing the relationships between soil organic matter components and microbial function and composition along a tillage disturbance gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 40:763-777.
- Coquet Y., Vachier P. et Labat C. 2005.** Vertical variation of near-saturated hydraulic conductivity in three soil profiles. *Geoderma*, 126, 181-191. Cowbrough. 2002. Principe de lutte intégrée contre les mauvaises herbes. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/french/crops/facts/iwm.htm>.
- Danso S.K.A. 1995.** Assessment of biological nitrogen fixation. *Fertilizer research* 42 : 33-41.
- Dao T.H. 1993.** Tillage and winter wheat residue management effects on water infiltration and storage. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 1586-1595.
- Derksen D., Lafond D.P., Thomas A.G., Loepky H.A. et Swanton C.J. 1993.** Impact of agronomic practices on weed communities: tillagesystems. *Weed Sci.*, 41 : 409-417.
- Derpsch R. 2001.** Conservation tillage, no-tillage and related technologies. In. *Proceedings of I World Congress on Conservation Agriculture, Madrid 1-5, October.* Garcia-Torres et al. (eds). Vol 1:161-170.
- Dessaint F., Chadoeuf R. et Barralis G. 1990.** Etude de la dynamique d'une communauté adventice. Influence à long terme des techniques culturales sur le potentiel semencier. *Weed research*, 30, pp. 319-330.
- Dexter A.R. 1991.** Amelioration of soil by natural processes. *Soil & Tillage Research*, 20, 87-100.
- D'Haene K., Vandenbruwane J., De Neve S., Gabriels D., Salomez J. et Hofman G. 2008a.** The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. *European Journal of Agronomy* 28:449-460.
- D'Haene K., Vermang J., Cornelis W.M., Leroy B.L.M., Schiettecatte W., De Neve S., Gabriels D. et Hofman G. 2008b.** Reduced tillage effects on physical properties of silt loam soils growing root crops. *Soil and Tillage Research* 99:279-290
- Dick W.A., Blevins R.L., Frye W.W., Peter S.E., Christensen D.R., Pierce F.J. et Vitosh M.L. 1998.** Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. *Soil & Tillage Res.* 47: 235-344.
- Diekow J., Mielniczuk J., Knicker H., Bayer C., Dick D.P. et Kogel-Knabner I. 2005.** Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil Tillage Res.* 81, 87–95. (doi:10.1016/j.still.2004.05.003) Djanane 1997. Réformes économiques et agriculture en Algérie. Thèse de doctorat d'État, Institut des sciences économiques, université Ferhat Abbas, Sétif, Algérie, 1997.
- Dormaar J.F. et Carefoot J.M. 1996.** Implication of crop residue and conservation tillage on soil organic matter. *Can. J. Plant Sci.* 76, 627–634.

- Drury C.F., Mckenney D.J., Findlay W.I. et Gaynor J.D. 1993.** Influence of tillage on nitrate loss in surface runoff and tile drainage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57, 797-802.
- Edwards J.H., Wood C.W., Thurlow D.L. et Ruf M.E. 1992.** Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. *Soil Science Society of America Journal*, 56, 1577-1582.
- Edwards C.A. et Bohlen P.J. 1996.** *Biology and Ecology of Earthworms* 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 pp
- Ehlers W., Kopke U., Hesse F. et Bohm W. 1983.** Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil & Tillage Research*, 3, 261-275.
- El-Brahli A., Bouma A. et Mrabet R. 1997.** Stratégies de lutte contre les mauvaises herbes dans plusieurs rotations céréalières en conditions de labour et de semis direct. Rapport annuel INRA Centre Aridoculture. pp 171-174.
- El-Brahli A. et Mrabet R. 2000.** La jachère Chimique: Pour relancer la céréaliculture nonirriguée en milieu semi-aride Marocain. Actes de la Journée Nationale sur le Désherbage des Céréales. Centre Aridoculture Settat 23 Novembre 2000. Association Marocaine de Malherbologie. pp: 133-145.
- Elliott E.T. 1986.** Aggregate structure, carbon, nitrogen and phosphorus native and cultivated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50 :627-633.
- El Titi A. 2003a.** *Soil tillage in agroecosystems*. CRC Press, New-York (USA).
- FAO. 1983.** Garder le terre en vie : l'érosion des sols , ses causes et ses remèdes. *Bulletin pédologique* 50 : 62 p.
- FAO. 1990.** Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-aride. *Bulletin pedologique* 57; 182 p.
- FAO 2001.** Conservation agriculture: case studies in Latin America and Africa. *FAO Soils Bulletin* 78, 69p.
- FAO. 2008.** la sequestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des sols.FAO, département du developpement durable. Référence internet www.fao.org/DOCREP/005/Y_20779_F/y2779fo4.html, 63pages.
- Feller C. et Beare M.H. 1997.** Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics.*Geoderma* 79, 69_116.
- Ferreras L.A., Costa J.L., Garcia F.O. et Pecorari C. 2000.** Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern "Pampa" of Argentina. *Soil & Tillage Research*, 54, 31-39.
- Findeling A., Ruy S. et Scopel E. 2003.** Modeling the effects of partial residue mulch on runoff using a physically based approach. *Journal of Hydrology*, 275, 49-66.
- Floret C. et Pontanier R. 2000.** *La Jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances.* John Libbey Eurotext, Paris.

- Follett R.F. et Peterson G.A. 1988.** Surface soil nutrient distribution as affected by wheatfallow tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*, 52, 141-147.
- Fournier A., Floret C. et Gnahoua G.M. 2000.** Végétation des jachères et succession post-culturale en Afrique tropicale. In: *La jachère en Afrique tropicale. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances* (eds C. Floret & R. Pontanier), pp. 123-168. John Libbey Eurotext, Paris.
- Franzluebbbers A.J., Hons F.M. et zuberer D.A. 1995.** Tillage and crop effects on seasonal soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Sci. Soc. Am.J.*, 59, 1618-1624.
- Franzluebbbers, A.J., et M.A. Arshad. 1997.** Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil Science Society of America Journal* 61:1382-1386.
- Freebairn D.M. et Boughton W.C. 1985.** Hydrologic effects of crop residue management practices. *Aust. J. Soil Res.* 23, 23–55. (doi:10.1071/SR9850023)
- Frey S.D., Elliott E.T. et Paustian K. 1999.** Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry* 31:573-585.
- Fuentes J.P., Flury M. et Bezdicek D.F. 2004.** Hydraulic properties in a silt loam soil under natural prairie, conventional till, and no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1679-1688.
- Gál A., Vyn T.J., Michéli E., Kladviko E.J. et McFee W.W. 2007.** Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil and Tillage Research* 96:42-51.
- Gallien E., Le Bissonais Y., Eimberk M., Benkhadra H., Ligneau L., Ouvry J.-F. et Martin P. 1995.** Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et érosion diffuse en sol limoneux cultivés. *Cahier Agriculture* 4 : 171-183.
- Gintzburger G., Rochon J.J. et Conesa A.P. 1990.** The French Mediterranean zones: sheep rearing systems and the present and potential role of pasture legumes. In: Osman A.E. et al. (Eds.), *ICARDA, the Role of Legumes in the Fallowing Systems of the Mediterranean Areas*, Kluwer AcP. ress. Dordrecht, 179- 194.
- Goss J.M., Howse K.R., Lane P.W., Christian D.G. et Harris G.L., 1993.** Losses of nitrates-nitrogen in water draining from under autumn-sown crops established by direct drilling or mouldboard ploughing. *Journal of Soil Science*, 44, 35-48.
- Grant C.A. et Lafond G.P. 1993.** The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 223- 232.
- Granval P., Aliaga R., Soto P. 1993.** Effets des pratiques agricoles sur les lombriciens (Lumbricidae), les bécassines des marais (Gallinago Gallinago) et dans la valeur pastorale du marais de la Dives (Calvados), *Gibier Faune Sauvage*, vol 10 p59-73

- Greenland D.J. 1981.** Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.*, 32 : 301-322.
- Gregorich E.G. et Carter M.R. 1997.** Soil quality for crop production and ecosystem health. *Developments in Soil Science* 25. Elsevier, NY. USA.
- Guedez P.Y. 2002.** Environmental aspects of conservation agriculture in Europe, Rapport de stage en vue de l'obtention du diplôme d'études spécialisées en Sciences et Gestion de l'Environnement sous la direction de M.A. Reding (Monsanto) et A. Peeters (UCL), Université Catholique de Louvain, 97 pp
- Guerif J. 1991.** Simplification du travail du sol et évolution du milieu physique et chimique, *Perspectives Agricoles*, n°161, septembre, p 39-46
- Guerif J. 1994.** Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface. Conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques, p. 13- 33, In G. Monnier, et al., eds. *Simplification du travail du sol*, INRA (Les Colloques N° 65) ed, P aris, 16 mai 1991.
- Guillaume F., Norton L.R. et Xavier R. 2008.** Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Adr. Ecosyst. Environ.*, 128 : 68-76.
- Gupta S., Munyankusi E., Moncrief J., Zvomuya F. et Hanewall M. 2004.** Tillage and manure application effects on mineral nitrogen leaching from seasonally frozen soils. *J. Environ. Qual.*, 33, 1238- 1246.
- Halvorson A.D., Wienhold B.J. et Black A.L. 2001.** Tillage and nitrogen fertilization influence grain and soil nitrogen in an annual cropping system. *Agronomy Journal*, 93, 836-841.
- Hamadache A., Makhlouf M. et Harkati N. 2002.** Effet de la date et l'effet de travail de sol sur le comportement du brome (*Bromus* sp) et le rendement de blé dur (*triticum durum*). Dans la région de Sétif. *Rev. Céréaliculture*, n°37. ITGC Alger, pp.24-29.
- Hammel J.E. 1989.** Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 1515-1519.
- Hansen E.M. et Djurhuus J. 1997.** Nitrate leaching as influenced by soil tillage and catch crop. *Soil and tillage research*, 41, 203-219.
- Hauggaard-Nielsen H., Ambus P. et Jensen E.S. 2001.** Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea - barley intercropping. *Field Crop Res.* 70, 101-109.
- Hauggaard-Nielsen H., Ambus P. et Jensen E.S. 2003.** The comparison of nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 65.

- Hatfield K.L. et Pruegar J.H. 1996.** Microclimate effects of crop residues on biological processes. *Theor. Appl. Climatol.* 54, 47–59. (doi:10.1007/BF00863558)
- Haynes R.J. 2005.** Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview. *Advances in Agronomy* 85:221-268.
- Heard J.R., Kladviko E.J. et Mannering J.V. 1988.** Soil macroporosity, hydraulic conductivity and air permeability of silty soils under long-term conservation tillage in Indiana. *Soil & Tillage Research*, 11, 1-18.
- Hernández J.L., Lopez R., Navarrete L. et Sánchez-Gíron V. 2002.** Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. *Soil & Tillage Research*, 66, 129-141.
- Hill R.L. 1990.** Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 161-166.
- Holford I.C.R. et Cullis B.R. 1985.** Effects of phosphate buffer capacity on yield response curvature and fertiliser requirements of wheat in relation to soil phosphate tests. *Australian Journal of Soil Research* 23, 417–427.
- Houmani H. 1999.** Situation alimentaire du bétail en Algérie. *Recherche Agronomique*, 1999, 4, 35-45.
- Hubert B., Rigolot E., Turlant T et Couix N. 1993.** Forest fire prevention in the Mediterranean Region; News approaches to agriculture-environment relations. In: Brossier et al. (Eds.), *Systems Studies in Agriculture and rural development*, INRA, France, 63-86
- Huggins D.R., Buyanovsky G.A., Wagner G.H., Brown J.R., Darmody R.G., Peck T.R., Lesoing G.W., Vanotti M.B. et Bundy L.G. 1998.** Soil organic C in the tallgrass prairie-derived region of the corn belt: effects of long-term crop management, *Soil & Tillage Res.*, 47, 219–234.
- Hussain I., Olson K.R. et Siemens J.C. 1998.** Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Science*, 163, 970-981.
- Huwe B. 2003.** The role of soil tillage for soil structure, p. 27-50, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton
- ITGC. 1980.** Synthèse et bilan des opérations intégrées de recherche et développement de l'Institut de Développement des Grandes Cultures 1971- 1979, CCCE-SEDES-ITGC, Alger, 364 p
- ITGC. 2009.** La politique du renouveau de l'économie agricole et rurale du ministère de l'agriculture et du développement rural, volume 1. Céréaliculture. Revue technique et scientifique institut technique des grandes cultures. L'Algérie. Revue n° 52. ISSN 1011-9582. 40-41-42
- Jean-françois V. 2009.** comparaison de différentes techniques de travail du Sol en agriculture biologique : effet de la structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote

l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech) thèse de doctorat 172P.

Jouve A.M., Belghazi S. et Khelfache Y. 1995. La filière des céréales dans les pays du Maghreb : constance des enjeux, évolution des politiques. Options Méditerranéennes, B, 14, 1995, 167-192. OAA/FAO, 1999. Le caractère multifonctionnel de l'agriculture et des terroirs. Conférence Maastricht, Pays Bas, 1999, 1-14pp

Jouy L. 2001. Techniques sans labour : Effets de la suppression du labour sur la coût du désherbage, Perspectives Agricoles, n°271, septembre, p 80-82

Jung W. S., Kim K.H., Ahn J. K., Hahn S.J. et Chung I.M. 2004. Allelopathic potential of rice (*Oryza sativa* L.) residues against *Echinochloa crusgalli*. Crop Protect. 23, 211–218. (doi:10.1016/j.cropro.2003.08.019)

Justes E., Dorsainvil F., Thiébeau P. et Alexandre M. 2002. Effect of catch crops on the water budget of the fallow period and the succeeding main crop. Proceedings 7th ESA Congress, Cordoba (Spain), 503-504.

Kacemi M. 1992. Water conservation, crop rotations and tillage systems in semiarid Morocco. Ph.D. Dissertation. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 203 p.

Kanwar R.S., Stoltenberg D.E., Pfeiffer R., Karlen D., Colvin T.S. et Simpkins W.W., 1993. Transport of nitrates and pesticides to shallow ground water system as affected by tillage and crop rotation practices. Proc. Conference : Agricultural research to protect water quality, Minneapolis, Minnesota, Fev.1993, 270- 273.

Kay B.D. et Vanden Bygaart A.J. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. Soil and Tillage Research 66:107-118.

Kennedy A.C. 1999. Bacterial diversity in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems & Environment 74:65- 76.

Kerougli S. et Aït Ouali A. 2010. Etude de l'effet des systèmes de culture et des précédents sur le sol et la culture de blé tendre (*Triticum aestivum*, L.), en zone semi-aride. Mémoire d'ingénieur en sciences agronome, UFA Sétif

Kladivko E. J. 2001. Tillage systems and soil ecology. Soil Tillage Res. 61, 61-76.

Koch H.J. et Stockfisch N. 2006. Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. Soil and Tillage Research 86:73-83.

Köller K. 2003. Techniques of Soil Tillage, p. 1-25, In A. El Titi, ed. Soil Tillage in Agroecosystems. CRC Press LLC, Boca Raton.

Kribaa M., Hallaire V., Curmi P. 2001. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-aride climate. Soil till. Res. 60-1/2: 43-53

- Kribaa. 2003.** Effet de la jachère sur les sols en céréaliculture pluviale dans les zones semi-arides méditerranéennes. Cas des hautes plaines sétifiennes en Algérie. Thèse de Doctorat d'état en Sciences Agronomiques, INA El –Harrach, Alger, 121p
- Kumar K. et Goh K.M. 2000.** Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield and nitrogen recovery. *Adv. Agron.* 68, 198–279.
- Labreuche J., Viloingt T., Caboulet D., Daouze J.P., Duval R., Ganteil A., Jouy L., Quere L., Boizard H. et Roger-Estrade J. 2007.** Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans labour (TCSL) en France. Partie I: La pratique des TCSL en France. ADEME.
- Lahlou S. et Mrabet R. 2001.** Tillage Influence on Aggregate Stability of A Calcixeroll Soil in Semiarid Morocco. Garcia-Torres et al. (eds). In: *Proceedings of International Congress on Conservation Agriculture*. Madrid, Spain. October 1-5, 2001. Vol. 2:249-254.
- Lahmar R. 1993.** Intensification cerealiere dans hautes plaines setifiennes. Quelques resultats. *Cahier option méditerranéenne* vol. 2, n°1 93-97.
- Lahmar R. 2007.** Opportunités et limites de l'agriculture de conservation en méditerranée. Les enseignements duprojet de KASS. *Options méditerranéennes, série A*, Numéro 69. P 11-18
- Lahmar R. et bouzerzour H. 2010.** Du mulch terreux au mulch organique pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les hautes plaines sétifiennes. Actes du 4 eme rencontre méditerranéennes du semis direct. Setif, algerie, du 3 à 5 mai 2010 p, 48-58
- Lampurlanés J. et Cantero-Martínez C. 2003.** Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship with barley root growth. *Agronomy Journal*, 95, 526-536.
- Lampurlanés J. et Cantero-Martínez C. 2006.** Hydraulic conductivity, residue cover and soil surface roughness under different tillage systems in semiarid conditions. *Soil & Tillage Research*, 85, 13-26
- Langlet B. et Remy J.C. 1976.** Incidence de la simplification du travail du sol sur la dynamique de l'azote. P 189-204. In *simplification de travail du sol en production céréalière*, ITCF (Ed), Pris. 1334.
- LaRue T.A. et Patterson T.G. 1981.** How much nitrogen do legume fix? *Advan. In Agron.* 34 : 15-38.
- Le Houérou H.N. 1992.** Vegetation and land-use in the Mediterranean basin by the year 2050: a prospective study. In: Jeftic L. et al. (Eds.), *Climatic change and the Mediterranean*. Arnold, Holder and Stoughton Publ., London, 6: 175-2
- Leprun J.C. 1988.** Matière organique et conservation des sols, exemple brésilien. *Cahier OROSTOM, série pédologie*. Vol. XXIV. N°4. Page 333-334.

- Liebman M et Dick E. 1993.** Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecol. App.* 3, 92-122.
- Lin H.S., McInnes K.J., Wilding L.P. et Hallmark C.T. 1999.** Effects of soil morphology on hydraulic properties: I. Quantification of soil morphology. *Soil Science Society of America Journal*, 63, 948-954.
- Little J.L., Bennett D.R. et Miller J.J. 2005.** Nutrient and sediment losses under simulated rainfall following manure incorporation by different methods. *Journal of Environmental Quality* 34: 1883-1895
 McIsaac G.F., Hirschi M.C., Mitchell J.K., 1991. Nitrogen and phosphorus in eroded sediment from corn and soybean tillage systems. *Journal of Environmental Quality* 20: 663-670
- Liu X.J., Mosier A.R., Halvorson A.D. et Zhang F.S. 2006.** The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. *Plant and Soil*, 280, 177-188.
- Lodhi M.A.K. et Malik K.A. 1987.** Allelopathy in agroecosystems: wheat phytotoxicity and its possible role in crop rotation. *J. Chem. Ecol.* 13, 1881–1891. (doi:10. 1007/BF01013237)
- Logsdon S.D., McCoy E.L., Allmaras R.R. et Linden D.R. 1993.** Macropore characterization by indirect methods. *Soil Science*, 155, 316-324.
- Lopez-Bellido L. 1992.** Mediterranean cropping systems. P : 311-356. In *Ecosystems of the World, Field crop ecosystems*. Pearson, C.J. (edt). Elsevier.
- Madari B., Machado P.L.O.A., Torres E., de Andrade A.G. et Valencia L.I.O. 2005.** No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a Rhodic Ferralsol from southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 80, 185–200. (doi:10.1016/j.still.2004.03.006)
- McCarty G. W., Lyssenko N.N. et Starr J.L. 1998.** Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal*, 62, 1564-1571.
- McBride R.A., Martin H. et Kennedy B. 1989.** La compaction du sol. Fiche technique, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, Ontario, Canada
- McConkey B.G., Curtin D., Campbell C.A., Brandt S.A. et Selles F. 2002.** Crop and soil nitrogen status of tilled and no-tillage systems in semiarid regions of Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 82, 489- 498.
- McLaughlin A. et Mineau P. 1995.** The impact of agriculture practices on biodiversity. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 55 : 201-212.
- McGregor K.C., Bengtson R.L. et Mutchler C.K. 1990.** Surface and incorporated wheat straw effects on interrill runoff and soil erosion. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 33, 469–474.

- Miller J.J., Sweetland N.J., Larney F.J. et Volkmar K.M. 1998.** Unsaturated hydraulic conductivity of conventional and conservation tillage soils in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, 78, 643- 648.
- Monnier G. 1994.** Introduction à la simplification du travail du sol, p. 5-9, In G. Monnier, et al., eds. *Simplification du travail du sol*, INRA (Les Colloques n° 65) ed, Paris, 16 mai 1991.
- 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.
- Mrabet R. 1997.** Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semiarid area of Morocco. PhD dissertation. Colorado State Univ. Fort Collins, CO. USA. 220 p.
- Mrabet R. et Bouzza A. 2000.** Influence of tillage, residue management and cropping systems on wheat production in a turbulent semiarid area of Morocco. *International Crop Science Conference*, 17-22 Août 2000. Hamburg, Germany
- Mrabet R. 2000a.** Long-term No-tillage influence on soil quality and wheat production in semiarid Morocco. In. *Proceedings of 15' ISTRO Conference "Tillage at the Threshold of the 21" Century: Looking Ahead*. Morison, J.E. (ed), Fort Worth, Texas USA July 2-7, 2000.
- Mrabet R. 2000b.** Differential response of wheat to tillage management systems in a semiarid area of Morocco. *Field Crops Research*. 66 : 165-174.
- Mrabet R. 2001a.** No-tillage Farming: Renewing Harmony Between Soils and Crops in Semiarid Morocco. *Third International Conference on Land Degradation (ICLD3) and Meeting of the IUSS Subcommittee C – Soil and Water Conservation*. Rio de Janeiro, Brazil, September 17-21, 2001. <http://www.cnps.embrapa.br/icld3>.
- Mrabet R. 2001b.** Le Semis Direct: Une technologie avancée pour une Agriculture durable au Maroc. *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture MADREF-DERD*. N° 76, 4p. <http://agriculture.ovh.org>.
- Mrabet R. 2001c.** No-tillage Farming: Renewing Harmony Between Soils and Crops in Semiarid Morocco. In. *Proceedings Third International Conference on Land Degradation (ICLD3) and Meeting of the IUSS Subcommittee C - Soil and Water Conservation*. Rio de Janeiro, Brazil, September 17-21,2001.
- Mrabet R. 2001d.** No-Tillage System: Research Findings, Needed Developments and Future Challenges for Moroccan Dryland Agriculture. In *proceedings of International Congress on Conservation Agriculture*. Garcia-Torres et al. (eds). Madrid, Spain. October 1-5, 2001. p:737-741.
- Müller M., Schafflützel R., Chervet A., Sturny W.G., Zihlmann U. et Weissopf P. 2008.** Teneurs en humus après 11 ans de semis direct ou de labour. *Revue suisse Agric.* 40 (en préparation).
- Munawar A., Blevins R.L., Frye W.W. et Saul M.R. 1990.** Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agronomy Journal*, 82, 773-777.

- Munkholm L.J., Schjonning P., Rasmussen K.J. et Tanderup K. 2003.** Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* 71:163-173.
- Nahal L. 1975.** Principe de conservation du sol, Masson et Cie, 140 p.
- Nahal L. 1984.** Classement provisoire des terrains et remèdes pour la lutte contre la désertification en Syrie. In : sols, INA Paris-Grignon 14 : 39-70.
- Needelman B.A., Wander M.M., Bollero G.A., Boast C.W., Sims G.K. et Bullock D.G. 1999.** Interaction of tillage and soil texture: Biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 63:1326.
- Nouiri I., M'hedbi K., ben hamouda M., Kammassi M., Neit el Arbi S., Ali Hannachi M., Guesmi L., Mannai C. et Hajji S. 2004.** Etude comparative de l'humidité des horizons du sol entre le semis direct et le semi conventionnel. Actes des deuxiemes rencontres méditerranéennes sur le semis direct.
- Nuutinen V. 1992.** Earthworm community responses to tillage and residue management on different soil types in southern Finland. *Soil Tillage Res.* 23, 221–239. (doi:10. 1016/0167-1987(92)90102-H)
- Oades J.M. 1993.** The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma*, 56, 377-400.
- Oades J.M. 1998.** Particulate Organic Matter. In *Humic Substances Downunder : Understanding and managing organic matter in soils, sediments and waters*. 9th International meeting of the International Humic substances society, 20- 25 September, 1998. Adelaide, Australia.
- Oorts K. 2006.** Effect of tillage system on soil organic matter stocks and C and N fluxes in cereal cropping systems on a silt loam soil in Northern France, PhD thesis, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris.
- Ouattara B., Sédogo M.P., Assa A., Lompo F., Ouattara K. et Fortier M. 1998.** Modifications de la porosité du sol après trente-trois années de labour d'enfouissement de fumier au Burkina Faso, *Cahiers Agricultures* Vol 7 : pp.9-14.
- Pachepsky Y.A. et Rawls W.J. 2003.** Soil structure and pedotransfer functions. *European Journal of Soil Science*, 54, 443-451.
- Pekrun C., Kaul H.P. et Claupein W. 2003.** Soil tillage for sustainable nutrientmanagement. In El Titi, A. (ed.), *Soil tillage in agroecosystems*, CRC Press, New-York (USA), pp. 83-113.
- Perrier A. 1973.** «Bilan hydrique de l'assolement Blé-jachère et evaporation d'un sol nu, en région semiaride», Réponses des plantes aux facteurs climatiques, Actes Coll. Upsala, 1970 (*Ecologie et conservation*, 5), 477- 487.
- Peterson G.A, et Frye W.W. 1989.** Fertilizer nitrogen management, pp. 183-219 in RF. Follet (edl), *Nitrogen Management and Groundwater Protection*, Elsevier Science Publ., Amsterdam, Hollande. 395 p.

- Piccolo A. 1996.** Humus and soil conservation p 225-264. in A. Piccolo (Ed). Humic substences in terrestrial ecosystems. Elsevier Science B.V., Australia.
- Piccolo A. et Joe S.C. Mbaywn 1999.** Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1801-1810.
- Pierce F.J., Fortin M.C. et Staton M.J. 1994.** Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1782-1787.
- Power J.F. et Peterson G.A. 1998.** Nitrogen transformations, utilization, and conservation as affected by fallow tillage method. *Soil & Tillage Research*, 49, 37-47
- Quirk J.P. 1978.** Some physico-chemical aspects of soil structural stability – A review. In W.W. Emerson, et al., (eds.) *Modification of soil structure*. John
- Rahali A. Makhlouf M. et Benkherbeche N. 2010.** Influence de l’itinéraire technique sur le type et le stocke semencier du sol des mauvaises herbes, cas de la zone semi aride de Sétif. Actes du 4 ème rencontre méditerranéen du semis direct. Sétif, Algérie, du 3 à 5 mai 2010 p, 90-99.
- Randall G.W. et Iragavarapu T.K., 1995.** Impact of long term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage. *Environ.Qual.*, 24, 360-366.
- RaRoger-Estrade J., Richard G., Caneill, J., Boizard H., Coquet Y., Defossez P. et Manichon H. 2000.** Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research*, 79, 33-49.
- Rasmussen K.J. 1999.** Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: a Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53:3-14.
- Raunet M., Séguy L. et Fovet-Rabot C. 1999.** Semis direct sur couverture végétale permanente du sol: de la technique au concept. Rasolo, F. et M. Raunet (eds). In : *Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture*. Actes de l’atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 Mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier, pp :41-52.
- Reichardt W., Brioes A., de Jesus R. et Padre B. 2001.** Microbial population shifts in experimental rice systems. *Appl. Soil Ecol.* 17, 151–163. (doi:10.1016/S0929-1393(01)00122-6)
- Rhoton F.E., Bruce R.R., Buehring N.W., Elkins G.B., Langdale C.W. et Tyler D.D. 1993.** Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and notillage systems. *Soil & Tillage Research*, 28, 51-61.
- Rieu C. 2001 a.** Les enjeux économiques de la simplification du travail du sol, , Du labour au semis direct : enjeux Agronomiques, Conférence-débat INRA –ITCF, Salon International du Machinisme Agricole, février, p 21-22, pp 22
- 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

- Riley H.C.F., Bleken M.A., Abrahamsen S., Bergjord A.K. et Bakken A.K. 2005.** Effects of alternative tillage systems on soil quality and yield of spring cereals on silty clay loam and sandy loam soils in cool, wet climate of central Norway. *Soil Tillage Res.* 80, 79–93. (doi:10.1016/j.still.2004.03.005)
- Roger-Estrade J., Richard G., Boizard H., Boiffin J., Caneill J., H.Roger-Estrade J., Richard G., Caneill J., Boizard H., Coquet Y., Defossez P., et Manichon H. 2004.** Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modelling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research* 79:33-49
- Roldan A., Caravaca F., Hernandez M.T., Garcia C., Sanchez-Brito C., Velasquez M. et Tiscareno M. 2003.** No-tillage, crop residue additions, legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). *Soil Tillage Res.* 72, 65–73. (doi:10.1016/S0167-1987(03)00051-5)
- Roose E. 1991.** Conservation des sols en zone méditerranéenne ; synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES. *Cah. ORSTOM, ser. Pédol.* 26 (2) : 145-181.
- Roose E., Arabi M., Brahamia K., Chebbani R., Mazour M. et Morsli B., 1993.** Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification sur la production agricole par la GCES: synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. *Cahier ORSTOM, série pédologie*, 28(2) : 289-308.
- Roose E., 1994.** Introduction à la GCES. *Bulletin pédologique FAO* 70, 420 P.
- Ryan 1982.** A perspective on soil erosion and conservation in Lebanon. *Publication* 69, American University of Beirut, 15-38
- Saber N. et Mrabet R. 2002.** Impact of no-tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agronomie* 22:451-459.
- 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
- Sasal M.C., Andriulo A.E. et Taboada M.A. 2006.** Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil & Tillage Research*, 87, 9-18.
- Scheiner J.D. 2005.** Spéciation du carbone, de l'azote et du phosphore de différents boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol, Thèse de doctorat, 20-24p.
- Sébillote M., Allain S., Doré T., Meynaud J.M. 1993.** La jachère et ses fonctions agronomiques, économiques et environnementales. *Diagnostic actuel. Le Courrier de l'Environnement* , 20, 1-12.

Sharpley A. N. et Smith S.J. 1994. Wheat tillage and water quality in the Southern Plains. *Soil & Tillage Research*, 30, 33-48.

Sharpley A.N. 2003. Soil mixing to decrease surface stratification of phosphorus in manured soils. *Journal of Environmental Quality* 32: 1375-1384

Shipitalo M.J. et Protz R. 1987. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, 67, 445-456.

Six J., Feller C., Deneff K., Ogle S.M., Sa J.C.M. et Albrecht A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. *Agronomie*, 22, 755-775.

Soltner, 2005 : les bases de la production végétale, tome 1 : le sol et son amélioration.

Soon Y.K. et Arshad M.A. 2005. Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. *Soil Tillage Res.* 80, 23–33. (doi:10.1016/j.still.2004.02.017)

Spedding T.A., Hamel C., Mehuys G.R. et Madramootoo C.A. 2004. Soil microbial dynamics in maizegrowing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology & Biochemistry* 36:499- 512.

Spieß E., Walter Richner., Agroscope FAL Reckenholzstr. 2005, CH-8046 Zurich les cahier de la FAL (57)

Steinsiek J.W., Oliver L.R. et Collins F. 1982. Allelopathic potential of wheat (*Triticum aestivum*) straw on selected weed species. *Weed Sci.* 30, 495–497.

Stengel P., Douglas J.T., Guérif J., Goss M.J., Monnier G. et Cannell R.Q. 1984. Factors influencing the variation of some properties of soils in relation to their suitability for direct drilling. *Soil & Tillage Research*, 4, 35-53.

Stockfish N., Forstreuter T et Ehlers W. 1999. Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony. Germany. *Soil Tillage Res.* 52:91-101.

Stoddard C.S., Grove J.H, Coyne M.S. et Thom W.O. 2005. Fertilizer, tillage, and dairy manure contributions to nitrate and herbicide leaching. *Environ. Qual.*, 34, 1354-1362.

Suwardji P. et Eberbach P.L. 1998. Seasonal changes of physical properties of an Oxic Paleustalf (Red Kandosol) after 16 years of direct drilling or conventional cultivation. *Soil & Tillage Research*, 49, 65-77.

Tebrügge F. et Düring R.A. 1999. Reducing tillage intensity -- a review of results from a long-term study in Germany. *Soil and Tillage Research* 53:15-28.

Tebrügge 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. et Oades J.M. 1982. Organic matter and water stable aggregates in a soils. *J. Soil.Sci.* 33 : 141- 164.

- Tuesca D., Puricelli E. et Papa J.C. 2001.** A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Res.*, 41 : 369-382.
- Unger P.W., Langdale D.W. et Papendick R.I. 1988.** Role of crop residues improving water conservation and use. Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen, vol. 51 (ed. W. L. Hargrove), pp. 69– 100. Madison, WI:American Society of Agronomy.
- Unger P.W. 1994.** Managing agricultural residues. Lewis Publishers, NY. USA.
- Unger P.W. et Jones O.R. 1998.** Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. *Soil & Tillage Research*, 45, 39-57.
- Van Doran J.R. et Allmaras R.R. 1978.** Effect of residue management practices on soil physical environment, microclimate and plant growth. In *Crop residue management systems* (ed. W. R. Oschwald), ASA special publication 31, pp. 49– 83. Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Vanden Bygaart A.J., Protz R., Tomlin A.D. et Miller J.J. 1999.** Tillage system effects on near-surface soil morphology: observations from the landscape to micro-scale in silt loam soils of southwestern Ontario. *Soil & Tillage Research*, 51, 139-149.
- Viaux P. 1999.** Une 3ème voie en Grande Culture : Environnement, Qualité, Rentabilité, Editions Agridécisions, 211p
- Vulioud P., Delabays N., Frei P. et Mercier E. 2006.** Résultats de 35 ans de culture sans labour à chagins. *Revue suisse. Agric.* 38 (2): 81-87.
- Wyss E. et Glasstetter M. 1992.** Tillage treatments and earthworm distribution in a Swiss experimental corn field. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1635-1639
- Young I.M., Blanchart E., Chenu C., Dangerfield M., Fragoso C., Grimaldi M., Ingram J. et Monrozier L.J. 1998.** The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Change Biology*, 4, 703-712.
- Young I.M. et Ritz K. 2000.** Tillage, habitat space and function of soil microbes. *Soil and Tillage Research* 53:201-213.
- Young E. 2001.** Charges de structures: les rouages de la mécanisation, *Cultivar le Mensuel*, n°514, septembre, p26-28
- Zhu Y., Fox R.H. et Toth J.D. 2003.** Tillage effects on nitrate leaching measured by Pan and Wick Lysimeters. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1517-1523.
- Zihlmann U., Chervet A., Müller M., Schafflützel R., Sturny W.G. et Weisskopf P., 2001.** Semis direct en grandes cultures. Effets sur la matière organique et les nutriments dans le sol. *Revue suisse Agric.* 33 (1), 21-25.