
Le semis direct, technique conservatrice de la qualité du sol

Rachid MRABET¹ & Mohamed BEQQALI²

1. INTRODUCTION

L'agriculture conventionnelle basée sur le travail du sol intensif est rendue responsable de la dégradation des ressources naturelles. Elle est à l'origine des problèmes d'érosion des terres, de la pollution des eaux souterraines et de surface et de la désertification (Wolff & Stein, 1998; Mrabet, 2003), en plus des émissions de dioxyde de carbone vers l'atmosphère par oxydation de la matière organique (Reicosky, 2001). De son côté, l'agriculture de conservation basée sur le semis direct promet différents bénéfices agronomiques et écologiques, aussi bien pour l'agriculteur que pour la société. Elle cible une agriculture durable moins mécanisée et plus écologique mettant en oeuvre une nouvelle mentalité (Derpsch, 1998; 2001; Benites, 2003). L'importance de l'agriculture de conservation réside dans son potentiel à améliorer la qualité de nos ressources naturelles: sol, eau et atmosphère, tout en générant des gains plus importants et plus stables en terme de rentabilité et de production agricole. Cet article tente de résumer certains des effets du semis direct sur la qualité du sol.

2. QUALITÉ DU SOL : DÉFINITIONS

Pour l'air et l'eau des standards de qualité ont pu être définis. Malheureusement il est difficile de définir et standardiser la qualité du sol. Afin de contrôler et conserver nos sols dans un état acceptable pour les générations futures, la qualité du sol doit être définie de manière suffisamment large pour inclure les nombreuses facettes de la fonction du sol.

¹ Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès, Institut National de la Recherche Agronomique, B.P. 578 Meknès 50000 Maroc
E-mail : rachidmrabet@yahoo.co.uk

² Département d'Environnement et Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique, B.P. 415 Rabat 10000 Maroc
E-mail :Beqqali@ibnawam.inra.org.ma

On retiendra deux définitions :

- la capacité du sol à fonctionner dans la limite de l'écosystème et en interaction positive avec l'environnement extérieur (Larson & Pierce, 1991),
- la capacité d'un sol à produire d'une manière sûre et durable et de conserver la santé humaine et animale, sans qu'il y ait dégradation des ressources naturelles de base ou préjudice à l'environnement (Parr *et al.*, 1992).

En fait, la qualité du sol a été définie dans le cadre d'une utilisation durable (Karlen *et al.*, 1997). C'est un concept basé sur le fait que la gestion peut détériorer, stabiliser ou améliorer les fonctions de l'écosystème sol. Elle est estimée indirectement à travers ses indicateurs physiques, chimiques et biologiques. Ces indicateurs peuvent renseigner sur l'état des terres et leur aptitude à supporter un éventuel déséquilibre durant leur exploitation. Ainsi ils renseignent sur la durabilité de l'écosystème agricole.

L'agriculture basée sur le labour et l'exploitation de la biomasse (incorporation, exportation, pâturage ou brûlage) a entraîné un abaissement général du contenu en matière organique des sols en liaison avec la minéralisation du carbone ainsi que la production de gaz carbonique. Les sols ont atteint des teneurs très basses en matières organiques et les conséquences s'en font sentir, d'une part, sur l'agrégation, la stabilité de la structure et la sensibilité à l'érosion et, d'autre part, sur la biodiversité et la vie biologique (Lal, 2002). Pour restaurer la qualité du sol, il faut donc plaider pour une nouvelle agriculture fondée sur la réduction des manipulations mécaniques du sol et la protection par des couvertures mortes : le système de semis direct.

Comme il n'y a pas de mesure directe de la qualité du sol, son estimation se fait en mesurant certaines propriétés du sol comme: la stabilité structurale, la matière organique et le pH (Doran & Parkin, 1994). Ces chercheurs ont établi une liste de base des différentes propriétés mesurables du sol et qui peuvent constituer des indicateurs de qualité du sol (Tableau 1).

3. SEMIS DIRECT : PRINCIPES ET ÉTENDUE SPATIALE

Le système de semis direct vise à reproduire des procédés naturels en reposant sur quatre principes interdépendants :

- le non remaniement du sol entre la récolte et le semis,
- le maintien permanent d'une couverture de résidus de récolte pour assurer une protection contre l'érosion,
- le semis direct dans un sol non perturbé et couvert de résidus, en créant une simple fente pour déposer l'engrais et la semence aux profondeurs désirées,
- le désherbage chimique (avant et/ou après semis) pour lutter contre les adventices et d'ôter à la plantule toute possibilité de concurrence.

Tableau 1. Indicateurs de qualité du sol et relations avec la matière organique (Doran & Parkin, 1994)

Caractéristiques du sol	Relation avec la fonction concernée du sol	Relation avec la matière organique
Indicateurs physiques		
Texture	Rétention et transport de l'eau et des éléments chimiques	Détermine le degré de protection de la matière organique et niveau d'équilibre
Profondeur du sol, partie superficielle du sol et enracinement	Estime le potentiel de productivité et d'érosion	
Densité apparente et Infiltration de l'eau	Compaction, potentiel de lessivage, productivité et érosion	
Capacité de rétention d'eau	Rélié au stockage et transport d'eau	
Température	Détermine la productivité de la culture, l'activité microbienne et la teneur en matière organique	Liée à la couleur du sol et à la matière organique
Indicateurs chimiques		
Carbone organique total (C) et azote total (N)	Définit la fertilité et le taux d'érosion du sol	Stabilité liée au rapport C/N
Conductivité électrique	Définit les seuils d'activité microbienne et végétale	Effets variant avec la teneur en matière organique
pH	Définit les seuils d'activité biologique et chimique	Stabilité et activité des fractions de la matière organique
Capacité d'échange cationique	Définit les teneurs d'équilibre des cations nutritifs et H ⁺	Corrélation avec la matière organique et l'argile
Azote et Phosphore extractibles	Indicateurs de productivité et de perte d'azote	Influencés par les transformations de la matière organique
Indicateurs biologiques		
Biomasse microbienne C et N	Flux nutritifs et pool de C et N actif	Renseigne sur un début de transformation de la matière organique
Potentiel de minéralisation de l'azote	Productivité du sol et potentiel d'approvisionnement en azote	Pool de la matière organique actif
Respiration du sol	Indicateur de l'activité de la biomasse microbienne	Indicateur du renouvellement de la matière organique. Renseigne sur un début de transformation de la matière organique

En semis direct, la semence est placée dans un sol non remanié, grâce à des machines spéciales. Seul un petit sillon est ouvert, de profondeur et de largeur suffisantes pour garantir une bonne couverture de la semence et un bon contact avec le sol. Mais le semis direct est un système beaucoup plus complexe que la simple modification du semoir.

Le semis direct est l'une des plus grandes révolutions de ce siècle en matière de technologie agricole. La pratique du système de semis direct s'est développée, d'abord aux États Unis, après une longue phase expérimentale. Elle a occupé en 2001, une superficie représentant 17,5 % du total des surfaces cultivées (CTIC, 2001). Ces nouveaux systèmes connaissent un développement considérable dans d'autres pays du monde, essentiellement sur le continent américain (Figure 1).

En 2003, les systèmes de semis direct ont occupé d'importantes superficies (plus de 72 millions d'hectares) à travers le monde (Figure 2).

Ces superficies ont pu dépasser 90 millions d'hectares en 2004 (Derpsch, 2004, communication personnelle).

Des figures 1 et 2, il ressort que les raisons d'adoption du semis direct sont multiples : environnementales, technico-économiques, agronomiques, et sociales. Le système de semis direct peut être adopté dans des conditions très contrastées de sol, climat, topographie et de culture.

4. SEMIS DIRECT ET CONSERVATION DE L'EAU

La technique du semis direct est la meilleure séquence de travail du sol pour la conservation de l'eau et par conséquent son utilisation efficiente par les cultures dans les zones semi-arides marocaines (Papendick & Campbell, 1988; Mrabet, 2002). L'introduction de la jachère dans la rotation culturale, à travers l'amélioration du stock en eau dans le profil, augmente l'efficacité de l'utilisation d'eau par la culture et offre une production en grain stable. Le tableau 2 montre que l'efficacité de stockage d'eau a triplé en passant de la jachère pastorale (la plus utilisée) à la jachère non travaillée chimique (Bouzza, 1990). Cette augmentation en stock d'eau s'est répercutée positivement sur la production en blé (Tableau 3).

5. SEMIS DIRECT ET ÉROSION DES SOLS

L'effet des pratiques culturales sur l'érodibilité est lié à leur effet sur le taux de carbone. Les pratiques limitant l'érodibilité sont celles qui assurent à l'horizon de surface un taux de carbone élevé et, par conséquent, une agrégation stable : non labour et apport de matières organiques.

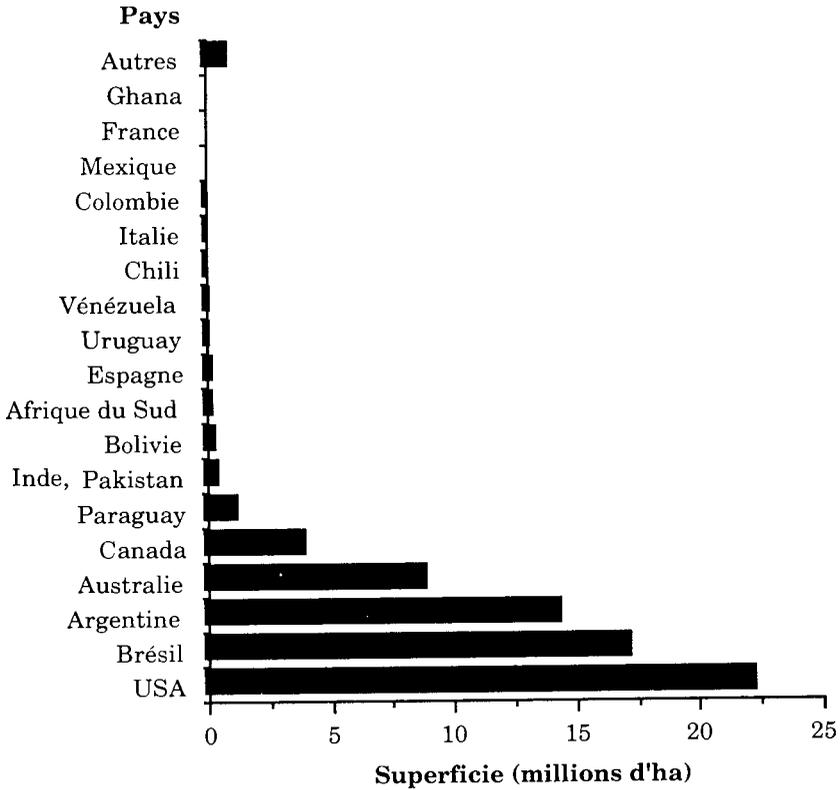


Figure 1. Superficies des terres sous semis direct dans divers pays (Benites *et al.*, 2003)

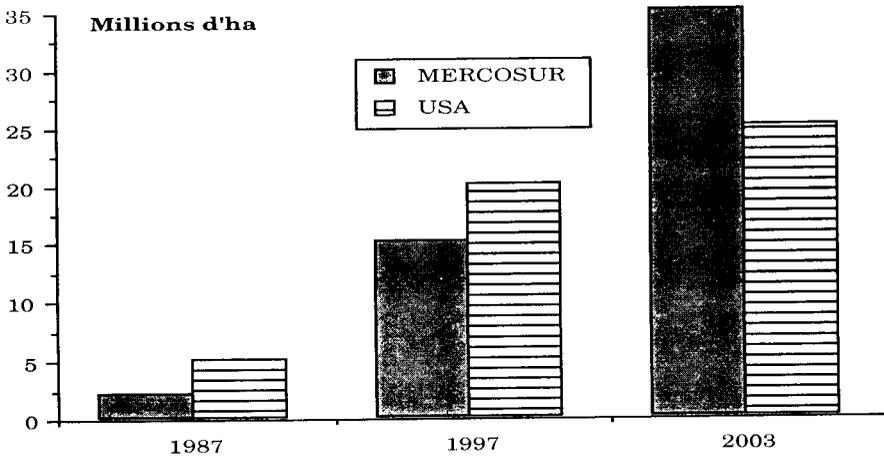


Figure 2. Expansion des superficies sous système du non labour aux USA et dans les pays du Mercosur (Brésil, Argentine, Paraguay, Uruguay) (Benites *et al.*, 2003)

Tableau 2. Efficience de stockage d'eau par la jachère en fonction du management et du travail du sol (Bouzza, 1990)

Travaux du sol	Type de jachère				Moyenne
	Chimique	Au Sweep	Conventionnelle	Pastorale	
Non labour	28	21	18	10	19
Chisel	22	18	19	10	17
Rotavator	24	19	18	10	18
Pulvériseur à disques	24	20	18	10	18
Moyenne	25	19	18	10	18

Tableau 3. Effet de la rotation céréalière et du travail du sol sur le rendement du blé tendre en t. ha⁻¹ (Mrabet, 2003)

Type de labour	Sidi El Aydi ^a		Jemaa Shaim ^b	
	Blé-Blé	Blé-Jachère	Blé-Blé	Blé-Jachère
Non-Labour	1,9 a	3,5 a	1,7 a	3,0 a
Labour minimum au Sweep	1,6 b	3,4 a	1,5 a	3,0 a
Labour conventionnel	1,4 b	2,4 b	1,6 a	2,4 b

^a Rendement moyen en grain 1983-1992 sur Vertisol, total des pluies 370 mm.

^b Rendement moyen en grain 1983-1998 sur Vertisol, total des pluies 270 mm.

Les effets de la suppression du travail du sol et du maintien du couvert végétal sur l'érosion hydrique sont généralement positifs. La couverture du sol par les résidus de culture, l'accumulation de carbone lié dans les premiers centimètres du sol et l'augmentation de la cohésion du sol sont favorables à la lutte contre l'érosion hydrique. L'effet bénéfique du mulch de protection des sols vis-à-vis de l'impact des gouttes d'eau de pluie ou des vents n'est plus à démontrer (Figure 3).

Dans ces systèmes, la gestion des résidus de culture au niveau du sol a été adoptée pour lutter contre la dégradation du sol par les deux types d'érosion : éolienne et hydrique (Blevins & Frye, 1993). Le maintien de ce tapis protecteur à la surface du sol a permis l'approvisionnement de ce dernier en éléments nutritifs par séquestration de la matière organique. Il augmente par conséquent la résistance des agrégats du sol à l'eau.

Dans plusieurs pays, la lutte contre les phénomènes d'érosion et de ruissellement est une des principales raisons de promotion du semis direct. Déjà en 1960, Mannering (Blevins & Frye, 1993) a montré que le paillage permet une réduction importante des phénomènes d'érosion et de ruissellement comme le montre le tableau 4. En effet, ces résidus permettent de dissiper l'énergie cinétique des gouttes de pluie et diminuent la vitesse de l'eau qui ruisselle à travers cette couverture.

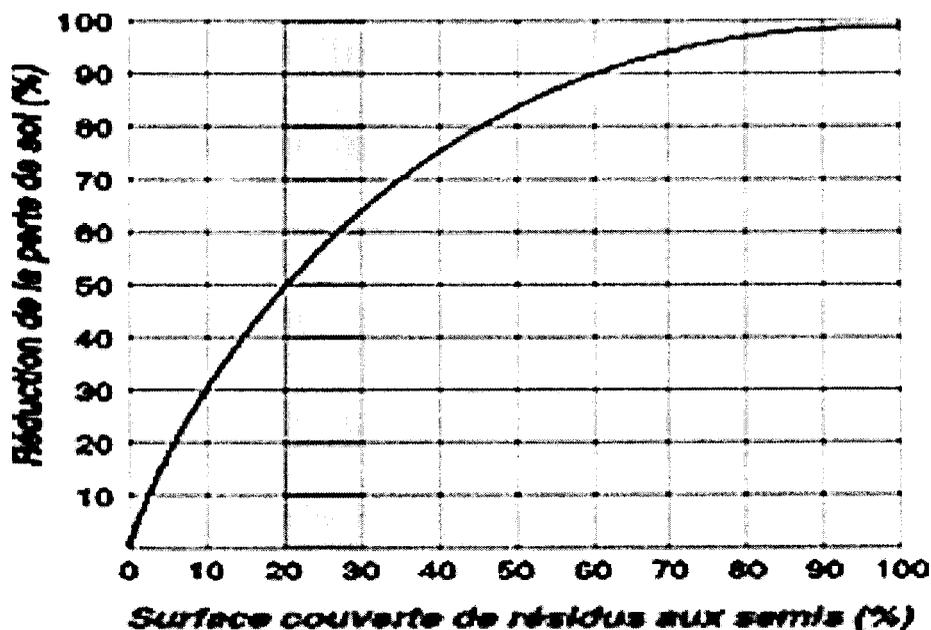


Figure 3. Réduction des pertes de sol en fonction des % de résidus

Tableau 4. Effet du mulch sur le ruissellement et l'érosion (Mannering, 1960)

	Niveau de résidus en surface ($t\ ha^{-1}$)	
	0	2.5
Pertes de sol ($t\ ha^{-1}$)	33	4
Lame de ruissellement (mm)	85	51
Concentration en sédiments ($g\ l^{-1}$)	38	7

La protection de la surface du sol et l'amélioration de l'infiltration de l'eau ont pour conséquence une réduction importante de l'érosion (quantité et vitesse) (Lavier *et al.*, 1997). Papendick *et al.* (1990) ont observé que l'augmentation de la couverture se traduit par la diminution des pertes en sol causées par l'érosion éolienne et hydrique. Au sud de l'Illinois (USA), Hussain *et al.* (1999) ont observé que le semis direct permet de garder plus de résidus en surface par rapport au travail du sol au chisel ou à la charrue à disques. Ceci diminue fortement les pertes en sol par érosion hydrique, sous deux cultures différentes (maïs et soja). Les pertes en sol sont plus faibles sous semis direct par rapport au travail du sol à la charrue à disques (3,74 fois moins) et au travail du sol au chisel (2,67 fois moins).

6. SEMIS DIRECT ET SÉQUESTRATION DU CARBONE

À l'échelle de la biosphère terrestre, les sols représentent le réservoir le plus important de carbone et jouent ainsi un rôle central dans le cycle global du carbone. Suite à la photosynthèse, une fraction importante du CO₂ atmosphérique fixé par les plantes est incorporée dans le sol sous forme de matière organique. Le carbone ainsi fixé est retiré de l'atmosphère et rendu au sol. Ce processus s'appelle séquestration du carbone.

Plusieurs auteurs considèrent la matière organique du sol (MOS) comme le principal indicateur de la qualité du sol (Larson & Pierce, 1991; Doran & Parkin, 1994). En effet, la MOS influence le stockage de l'eau par le sol. Son rôle est important dans l'infiltration de l'eau et la distribution des pesticides dans le sol (Gregorich & Carter, 1997). Elle contrôle la formation des agrégats (Tisdall & Oades, 1982, Elliott, 1986) et maintient leur stabilité, en ralentissant l'entrée d'eau dans ces agrégats (Albrecht, 1998).

En plus de la réduction des pertes de sol et d'eau par érosion, l'autre raison souvent associée à l'augmentation de l'adoption du semis direct est son impact sur le stockage du carbone dans le sol. En effet, la production de matière organique y est continue et elle conduit à un sol biologiquement actif. Par contre le travail du sol interrompt ce cycle et accélère la minéralisation de la matière organique. Le semis direct affecte la dynamique de la matière organique à travers une modification de la localisation des matières organiques. Généralement, le semis direct cause une stratification de la matière organique en surface du sol associée à un appauvrissement ou non en ces matières en profondeur (Franzluebbers, 2002 ; Mrabet, 2002).

Le recours aux systèmes de semis direct permet de séquestrer ou stocker du carbone et en conséquence de réduire les émissions du dioxyde de carbone vers l'atmosphère (Reeves, 1997, Lal *et al.*, 1999).

Dans une expérience aux USA, Hussain *et al.* (1999) ont trouvé qu'après huit années de différents travaux du sol, le taux du carbone organique total, près de la surface (0-5 cm), était plus élevé sous semis direct que sous travail du sol au chisel qui, à son tour, était supérieur à celui de la charrue à disques (*Cf.* Tableau 3). Dans les horizons plus profonds, ces différences n'ont pas été significatives.

Dans une expérience en semi-aride marocain, le carbone organique total a augmenté de 13% après 11 ans d'expérimentation sous semis direct par rapport au travail du sol conventionnel qui n'a engendré qu'une séquestration négligeable du carbone. Cette amélioration est significative dans l'horizon (0-2,5 cm), alors que dans les horizons plus profonds aucune différence significative n'a été enregistrée (Mrabet *et al.*, 2001a).

7. SEMIS DIRECT ET DYNAMIQUE DE L'AZOTE

La disponibilité de l'azote est contrôlée par le travail du sol d'une part et d'autre part le taux et la nature des résidus de cultures dans le sol, en particulier le rapport C/N. En effet, les résidus de récoltes ayant un rapport C/N élevé entraînent une immobilisation de l'azote durant la phase initiale de décomposition (Fox *et al.*, 1990 ; Azmal *et al.*, 1996), alors qu'avec un rapport C/N faible, ces résidus provoquent la libération précoce de l'azote minéral durant les processus de minéralisation (Tisdale & Nelson, 1966).

Power & Peterson (1998) ont montré que le niveau d'azote dans une jachère non travaillée se trouve amélioré par rapport à la jachère travaillée qui a enregistré une perte en cet élément. Les concentrations en carbone et en azote étaient plus importantes sous les systèmes du travail réduit du sol (non labour compris) jusqu'à 15 cm de profondeur (Grant & Lafond, 1994). Aulakh *et al.* (1984) ont souligné que sous des conditions humides, le travail du sol induit des pertes d'azote par dénitrification et lessivage, plus importantes que celles des sols non labourés.

Sous semis direct, la teneur en azote total a augmenté de 3,6 fois par rapport à un mode de conduite conventionnel, après 5 années (Crovetto, 2000). Dans une expérience en semi-aride marocain, Mrabet *et al.* (2001a) ont trouvé que le semis direct a permis une amélioration du niveau d'azote dans l'horizon 0-7 cm, par rapport au travail conventionnel du sol. Dans l'horizon 7-20 cm, cette différence n'était pas significative.

8. SEMIS DIRECT ET QUALITÉ CHIMIQUE DU SOL

La matière organique particulaire (fraction labile de la matière organique, MOP) est un indicateur sensible qui permet d'évaluer les changements de la qualité de la MOS sous travail du sol (Gregorich & Carter, 1997 ; Freixo *et al.*, 2002). En effet, Cambardella & Elliott (1992) ont constaté qu'au bout de 20 ans, le semis direct a permis de séquestrer plus de MOP, de biomasse microbienne, de carbohydrates labiles et d'azote potentiellement minéralisable que le labour conventionnel. La MOS a été améliorée par le semis direct par rapport au travail conventionnel du sol et au travail du sol minimum, mais avec des variations plus importantes concernant la MOP qui s'est révélée plus sensible à la gestion du sol.

Dans le semi-aride marocain, au bout de 11 ans, la MOP a été améliorée par le semis direct dans les horizons 0-2,5 cm (4.11%) par rapport au travail conventionnel du sol (2,68%), alors que dans les horizons inférieurs (2,5-20 cm) elle était inférieure sous semis direct, à cause probablement de l'enfouissement des résidus par le travail du sol et qui ont probablement été accumulés à la base de la couche labourée, au cours du temps. Mrabet

et al. (2001b) ont trouvé que sous agriculture de conservation, le sol s'enrichit en phosphore affectant positivement sa disponibilité pour la culture. Cette amélioration a été enregistrée dans les horizons 0-2,5 et 2,5-7 cm, alors qu'en profondeur (7-20 cm), le P disponible a diminué.

Les résultats obtenus par Crovetto (2000) au Chili (Chéquen) ont montré des changements significatifs de paramètres chimiques à partir de la formation des prairies permanentes et l'installation du non labour. Les résultats de cette étude ont montré que sous semis direct, la teneur en phosphore était 1,8 fois plus élevée par rapport à un mode de conduite conventionnel.

La teneur en potassium (K) est influencée par la gestion des sols et des cultures. En effet, l'amélioration de K échangeable sous le semis direct était positivement corrélée au taux de MOS. Les résidus de récolte maintenus en surface étaient responsables de cette séquestration (Karathanasis & Wells, 1990). Mrabet *et al.* (2001a) ont trouvé que K est mieux conservé dans la zone de semis sous semis direct. En effet, dans les horizons 0-2,5 cm et 2,5-7 cm, le semis direct a permis de séquestrer respectivement 67 et 27% plus de K par rapport au travail conventionnel du sol, mais 16% de moins que le travail conventionnel du sol dans l'horizon 7-20 cm. Cette diminution de K dans l'horizon 7-20 cm sous semis direct peut être expliquée par l'exportation plus importante par la plante sous semis direct par rapport au travail conventionnel du sol.

Au Chili, Crovetto (2000) a trouvé que le potassium est 2,9 fois plus important sous semis direct par rapport à un mode de conduite conventionnel. Les améliorations des niveaux des éléments nutritifs sous semis direct suggèrent une révision à la baisse des recommandations de fertilisants sous ces systèmes de conservation du moins à moyen terme.

Le pH, facteur important de la qualité du sol, contrôle les différents échanges chimiques et influence par conséquent la disponibilité des éléments nutritifs du sol. Il est affecté par les systèmes de gestion des cultures. En effet, Edwards *et al.* (1992) ont trouvé une baisse du pH sous semis direct de 0,2 unité par rapport au travail conventionnel du sol. Suite aux baisses importantes de pH sous semis direct, Bowman & Halvorson (1998) ont relevé le besoin d'étudier les problèmes induits par cette baisse comme la fixation du phosphore, l'efficacité des herbicides, et l'impact sur la biomasse racinaire. Belvins & Frye (1993) ont rapporté que la non-manipulation du sol sous non labour augmente l'acidité du sol, particulièrement quand les fertilisants sont utilisés. Karlen *et al.* (1994) ont noté des différences de 0.4 unités de moins sous semis direct que sous travail du sol avec le chisel et la charrue à disques.

Dans une expérience marocaine de 11 ans, Mrabet *et al.* (2001a) ont trouvé une diminution de 0,2 unité pH_{eau} sous semis direct par rapport au travail conventionnel du sol, dans l'horizon 0-2,5 cm. Cette valeur était estimée très importante pour les sols calcaires (basiques) du Maroc en termes de disponibilité des éléments nutritifs pour la culture, particulièrement en N et P.

9. SEMIS DIRECT ET QUALITÉ PHYSIQUE DU SOL

Les techniques mécanisées de travail du sol modifient les propriétés physiques de celui-ci en provoquant une réduction du degré de cohésion des agrégats. La déformation de l'agrégat engendre le tassement, la compaction, la réduction de l'infiltration. Ceci permet par conséquent une structure instable qui mène au développement d'une croûte de battance en surface vulnérable à l'érosion.

Le travail du sol intensif affaiblit donc la structure et détruit la cohésion des agrégats. Le semis direct est souvent associé à un état physique qui ne pénalise pas les cultures et qui réduit le développement des croûtes de battance et du compactage. L'état physique favorable sous semis direct est lié à l'évolution de la structure du sol : augmentation des agrégats hydro-stables, de la porosité biologique et de la conductivité hydraulique à saturation (Prasad & Power, 1991). Les dimensions des agrégats hydro-stables et leur niveau de stabilité changent souvent très rapidement en fonction de l'intensité des pluies, du travail du sol et des rotations de cultures (Angers *et al.*, 1992; Balesdent, 1996). Le semis direct agit sur les agents d'agrégation: matière organique, micro-organismes, aération, circulation de l'eau, réactions physico-chimiques.

Des travaux menés sur les sols d'Indiana (Mannering & Fenster, 1983) ont révélé que l'agrégation du sol diminue suivant l'intensification du travail du sol, alors que sous les systèmes de conservation, on note une amélioration de la distribution de la taille des agrégats (Tableau 5).

Tableau 5. Effet des systèmes de labour sur l'agrégation hydro stable après cinq ans d'expérimentation
D'après Mannering *et al.* (1975) in Mannering & Fenster (1983)

Système de labour	Indice d'agrégation par horizon	
	0-5 cm	5-15 cm
Conventionnel	0,35	0,47
Chisel	0,46	0,56
Non labour	0,77	0,70

Par ailleurs, le semis direct avec couverture de résidus a amélioré le taux d'infiltration d'un sol argilo-limoneux de 300% au bout de 12 ans (Triplett *et al.*, 1968). La vitesse d'infiltration sous non labour est plus importante (0,91 cm/h) que celle trouvée sous travail du sol conventionnel (0,3 cm/h), et le non labour occasionne de faibles pertes en eau et en sol par rapport au travail du sol (Lal, 1976). Par contre, sous agriculture conventionnelle (utilisant des pulvérisateurs), la vitesse d'infiltration d'un sol fersialitique rouge jaunâtre très argileux a fortement diminuée, passant de 44 mm/h à 6,3 mm/h au bout de 14 ans (Stoner *et al.*, 1991).

Les températures élevées dans les régions semi-arides entraînent d'importantes pertes en eau par évaporation, qui peuvent atteindre 80% des précipitations (Papendick & Campbell, 1988). Alors que, sous travail du sol de conservation, la présence de résidus en surface permet de réduire la température du sol et de diminuer l'évaporation en jouant le rôle d'isolant thermique au niveau de l'interface sol-atmosphère (Mrabet, 1997 ; Sauer *et al.*, 1998).

La couverture du sol par les résidus de récolte semble baisser la température du sol, diminuer l'évaporation et augmenter la teneur en eau dans les horizons de surface, permettant des semences précoces qui valorisent davantage les chutes de pluie (Mrabet, 1997). Pour des profondeurs de 10 à 15 cm, une diminution de la température de 1 à 5°C a été observée durant le cycle du blé sous semis direct par rapport au travail du sol conventionnel.

Ces effets sont positifs par rapport à l'amélioration du stockage de l'eau dans le sol. Le non labour a permis une augmentation du stock de l'eau dans le sol de 181 mm à 220 mm (Vallée *et al.*, 1995). Le maintien de résidus en surface sous non labour a pu faire passer le stock d'eau du sol de 50 à 85 mm en comparaison avec un sol dont les résidus sont incorporés grâce au travail du sol. Lors des années sèches les faibles quantités d'eau stockée permettaient un rendement meilleur par rapport au travail du sol conventionnel, vu la meilleure utilisation d'eau par la culture durant son cycle de développement (Bouzza, 1990).

Sous semis direct avec résidus en surface, le stock d'eau dans le sol a été amélioré par rapport au travail conventionnel du sol aussi bien en régime sec qu'en régime irrigué. Le semis direct a permis de maintenir l'humidité du sol au-dessus du point de flétrissement 8 jours de plus par rapport au travail du sol au chisel (avec 40% de couverture par les résidus) et 23 jours de plus par rapport à la charrue à disques, en régime humide, alors qu'en régime sec cette période était de 14 jours par rapport au chisel et de 25 jours par rapport à la charrue à disques (Mrabet, 1997).

10. SEMIS DIRECT ET QUALITÉ BIOLOGIQUE DU SOL

“Un simple gramme” de sol peut contenir des millions de bactéries et de champignons bénéfiques, ainsi que de nombreux autres organismes qui transforment la matière organique brute en humus, puis en minéraux utiles pour la nutrition des plantes (Crovetto, 2000). La biomasse microbienne ne constitue, en fait, que 1 à 3% du carbone organique du sol. Néanmoins elle reste une composante importante de la fertilité du sol (Martens, 1995). Son rôle est très important dans les cycles biochimiques en général et celui de l'azote, en particulier.

Cette biomasse est liée étroitement aux caractéristiques physico-chimiques des sols (Robert & Chenu, 1992). Donc, tout changement affectant ces caractéristiques aura pour conséquence un effet sur cette biomasse. En effet, le travail du sol et la gestion des résidus ont une influence majeure sur la température du sol, son régime hydrique et la disponibilité spatio-temporelle d'énergie et des nutriments pour les micro-organismes (Doran & Linn, 1994).

Le semis direct a un effet positif sur les propriétés biologiques (biomasse microbienne, activité respiratoire et enzymatique) du sol (Maillard & Cuendet, 1997). Reicosky *et al.* (1995) et Franzluebbers *et al.* (1995) ont remarqué que cette activité était uniforme dans l'ensemble de la couche arable (0-20 cm) pour les parcelles labourées, alors qu'elle était plus intense dans les premiers centimètres pour les parcelles non labourées.

Le travail du sol influence l'oxygène du sol dont dépendent les transformations microbiennes d'azote et du carbone. En effet, sous non labour les micro-organismes anaérobiques sont plus importants dans les couches 0-7,5 cm et 7,5-15 cm. Par contre les micro-organismes aérobiques sont plus importants dans la couche 0-7.5 cm et moins importants dans la couche 7,5-15 cm, par rapport au travail du sol conventionnel (Tableau 6) à cause probablement de la faible porosité et la présence de plus d'eau sous non labour.

De nombreuses recherches (Berry & Karlen, 1993 ; Double *et al.*, 1994) ont montré que le nombre de vers de terre est plus important dans les parcelles non labourées que labourées. Dans une autre étude, le nombre de vers de terre était de 4 par m² sous travail du sol alors que sous non labour ces vers avaient une densité de 17 par m² (Radford *et al.*, 1995). Ce même auteur a remarqué que la réduction du travail du sol augmente la densité de la macrofaune totale du sol jusqu'à 44 par m² (sous semis direct), alors qu'elle était seulement de 19 individus par m² sous travail du sol. Cette croissance de la macrofaune se traduit par une activité biologique importante (galeries, cavités...) sous semis direct qui améliore la macroporosité et permet, par conséquent, des mouvements plus rapides d'eau dans le sol.

Tableau 6. Comparaison entre les populations microbiennes sous différents travaux du sol (Doran, 1980b)

Groupe microbien	Rapport semis direct / travail du sol conventionnel		
	0 -7,5 cm	7,5-15 cm	0-15 cm
Aérobique			
- Champignons	1,4	0,6	1,0
- Bactéries	1,4	0,7	1,1
- Nitrifiantes	1,0	0,5	0,8
Anaérobique			
- Dénitrifiantes	2,7	1,9	2,3
- Facultatives	1,3	1,0	1,1
- Obligatoires	1,3	1,1	1,2

11. CONCLUSION

L'agriculture de conservation basée sur le semis direct offre des solutions naturelles aux problèmes causés par l'agriculture conventionnelle. Son importance réside dans son potentiel à améliorer la qualité de nos ressources naturelles: sol, eau et atmosphère, tout en générant des gains plus importants et plus stables en terme de rentabilité et de production agricole (Papendick, 1997).

Le semis direct, par le maintien permanent des résidus de récolte en surface, permet de protéger le sol contre l'érosion, de diminuer la température, d'augmenter le taux du stockage de l'eau dans le sol et d'améliorer la structure tout en augmentant les rendements des cultures par rapport à ce qu'ils étaient sous agriculture conventionnelle. Ces résidus sont aussi une source importante d'éléments nutritifs dans le sol.

La matière organique est la composante la plus importante de la qualité des sols puisqu'elle intervient à plusieurs niveaux en améliorant l'agrégation et en fournissant énergie et nutriments à la biomasse du sol. Elle fournit aussi les éléments nutritifs pour les cultures.

L'élimination du travail du sol transforme les sols en «puits» de carbone et d'autres éléments nutritifs, en les séquestrant et en créant leur stratification dans le sol. Ainsi, les couches près de la surface seront plus riches que celles de la profondeur. Cette séquestration d'éléments nutritifs permet de préserver notre environnement en diminuant le transfert de différents éléments vers les eaux de surface et de profondeur ou vers l'atmosphère par les émissions de dioxyde de carbone et d'azote.

Le tableau 7 montre l'éventail de variation de la séquestration du carbone, exprimée en t/ha/an de 0,1 à 0,3 dans les régions arides, à 0,2-0,5 dans les régions tropicales humides. Les effets favorables des pratiques de conservation sont très élevés durant les premières années. Ensuite ils atteignent un plateau. Ils peuvent aussi être rapidement inversés lorsque le labour est réintroduit.

Tableau 7. Principaux effets des pratiques de gestion du sol sur la séquestration du carbone (t/ha.an) dans les zones arides et tropicales (Lal *et al.*, 1999)

	Régions arides (3 milliards ha)	Régions tropicales (2 milliards ha)
Labour de conservation	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5
Mulch et couverture du sol	0,05 - 0,1	0,1 - 0,3
Semis direct	0,15 - 0,3	0,3 - 0,5
Prairies et pâtures	0,05 - 0,1	0,1 - 0,2

Bien que le système de semis direct présente de nombreux avantages agronomiques, économiques et environnementaux les conditions de sa faisabilité en milieu agricole peuvent constituer un frein à son adoption. En semis direct, la suppression du travail du sol nécessite une utilisation renforcée des herbicides. L'emploi des herbicides est d'un coût plus élevé et nécessite surtout une bonne connaissance des produits et de leur utilisation. Cette maîtrise de la lutte chimique n'est pas acquise par tous les agriculteurs. De ce fait les parcelles en semis direct peuvent être envahies par les adventices (Mrabet, 2001b).

Les activités d'élevage au Maroc constituent une contrainte souvent mentionnée à l'adoption de ce système. Ainsi les systèmes de semis direct peuvent être difficiles à utiliser lorsqu'il y a une très grande pression du bétail sur les résidus de récolte. Cela a une importance particulière dans les secteurs semi-arides où la subsistance repose sur la production de grains et sur le bétail (Mrabet, 2001b).

La mise en oeuvre du semis direct dans les zones semi-arides marocaines peut être rendue difficile par les facteurs sociaux comme les droits sur la terre et les pratiques agraires usuelles. Les droits d'utilisation de la terre sont parfois peu durables et l'investissement n'est pas encouragé.

L'application du semis direct dans ces zones peut aussi se heurter à des résistances culturelles et historiques dues à une très ancienne pratique du labour et à l'accoutumance au pâturage des chaumes en été (Mrabet, 2001c).

En conclusion, la réussite et l'adoption du système de semis direct impliquent la combinaison des actions suivantes : l'utilisation d'un semoir spécial pour le semis sur un mulch de résidus des cultures précédentes et déposition des engrais, la gestion appropriée des résidus et l'usage raisonné des herbicides.

RÉFÉRENCES CITÉES

- 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
- Angers DA, Bissonnette N, Légère A & Samson N (1993a) Microbial and chemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73: 39-50
- Angers DA, Peasant A & Vigneus J (1992) Early cropping induced changes in soil aggregation, organic carbon, and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 115-119
- Aulakh MS, Rennie DA & Paul EA (1984) The influence of plant residues on denitrification rates in conventional and zero tilled soils. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 48: 790-794
- Azmal AKM, Marumoto T, Shindo H & Nishiyama M (1996) Mineralization and microbial biomass formation in upland soil amended with some tropical plant residues at different temperatures. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42: 463-473
- Balesdent J (1996) Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. *Étude et Gestion des sols* 3(4): 245-260.
- Benites J, Derpsch R & McGarry D (2003) Current status and future growth potential of conservation agriculture in the World context. 16th Triennial Conference of International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO-2003). 13-19 july, 2003. Brisbane, Australia pp. 120-129
- Berry EC & Karlen DL (1993) Comparison of alternative agriculture systems. II. Earthworm population density and species diversity. *Amer. J. Alter. Agric.* 8 (1): 21-26
- Blevins RL & Frye WW (1993) Conservation tillage: Ecological Approach to soil Management. Department of agronomy and division of regulatory services. *University of Kentucky, Lexington, Kentucky 40546*
- Bouzza A (1990) Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semiarid areas. PhD Dissertation University of Nebraska, Lincoln, NE USA, 200 p.
- Bowman RA & Halvorson A.D (1998) Soil chemical changes after 9 years of differential N fertilisation in no-till dryland wheat-corn fallow. *Soil Sci.* 163: 241-247

- Cambardella CA & Elliott ETCA (1992) Particulate soil organic matter changes across a grass land cultivation sequence. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 56: 777-783
- Crovetto, C (2000) Les fondements d'une agriculture durable Panam/Teknea (edt), Toulouse (France)
- CTIC (2001) Conservation Technology Information Center, *West Lafayette, Indiana, CTIC*
- Derpsch R (1998) Historical review of no-tillage cultivation of crops. *In proceedings of the JIRCAS. Working Report No. 13*
- 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
- Doran JW & Linn DM (1994) Microbial ecology of conservation management systems. *Advances in soil science*
- Doran JW (1980b) Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 765-771
- Edwards CA, Wood CW, Thurlow DL & Ruf ME (1992) Tillage and crop rotation effects on fertility status of a hapludult. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 1577-1582
- Elliott ET (1986) Aggregate structure, carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 50: 627-633
- Fox RH, Myers RYK & Vallis I (1990) The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol lignin and nitrogen contents. *Plant and Soil* 129: 251-259
- Franzluebbers AJ (2002) Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66(2): 95-106
- Freixo AA, Machado PLO de A dos Santos HP, Silva CA & Fadigas F. de S (2002) Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Till. Res.* 64: 221-230
- Grant CA & Lafond GP (1994) The effects of tillage systems and crop rotations on soil chemical properties of a black chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 74: 301-306
- Gregorich EG & Carter MR (1997) Soil quality for crop production and ecosystem health. *Developments in Soil Science* 25, Elsevier, NY USA.
- IPCC (1995) Climate change 1995. Working group 1. IPCC, Cambridge University press, NY

- Karathanasis AD & Wells KL (1990) Conservation tillage effects on the potassium status of some Kentucky soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 800-806
- Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF & Schuman GE (1997) Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 4-10
- Karlen DL, Wollenhaupt NC, Erbach DC, Berry EC, Swan JB, Eash NS & Jordahl JL (1994) Long-term tillage effects on soil quality. *Soil Till. Res.* 32: 313-327
- Kern JS & Johnson MG (1993) Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 200-213
- Lal R (1976) No tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 762-768
- Lal R, Kimble J, Levine E & Whitman C (1995) World soils and greenhouse effect : An overview. In : Lal, R., Kimble et al. (ed.). Soils and global change. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, MI., USA. pp. 1-7
- Lal R, Follett RF, Kimble J & Cole CV (1999) Managing US cropland to sequester carbon in soil. *J. Soil Water Conserv.* 54: 374-381
- Lal R (2002) Carbon sequestration in dryland ecosystems of west Asia and North Africa. *Land Degradation & Development* (13): 45-59
- Larson WE & Pierce FJ (1991) Conservation and enhancement of soil quality. In Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World. Vol. 2 Technical Papers, Bangkok, Thailand, International Board for soil research and management, IBSRAM Proceedings 12 (2)
- Lavier B, Viaux P & Rass G (1997) Erosion et travail du sol, bilan en France. Published by ITCF, Monsanto
- Maillard A & Cuendet G (1997) Résultats d'un essai de culture sans labour depuis plus de 20 ans à Changins. V. Propriétés biologiques du sol et vers de terre. *Revue Suisse agric.* 29 (5): 225-230
- Mannering R & Fenster CR (1983) What is conservation tillage? *J. Soil and Water Con* 38: 141-143
- Martens R (1995) Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. *Biol. Fertil. Soils* 19: 87-99
- Monnier G, Thevenet G & Lesaffre B (1991) Simplification du travail du sol. Inra-ITCF-CEMAGREF. Paris
- Mrabet R (1997) Crop residue management and tillage systems for water conservation in a semi-arid area of Morocco. Ph.D. Dissertation. Colorado State University, Fort Collins, CO. USA, 220 p.
- Mrabet R (2001a) Le semis direct: Une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture MADR-DERD*. N° 76, 4 p.

- Mrabet R (2001b) Le système de semis direct: pour une agriculture marocaine durable et respectueuse de l'environnement. *In* Actes de la conférence de l'Association Marocaine des Agro-Economistes AMAECO « Les aléas climatiques et politiques agricoles » Rabat, 24-25 Mai 2001
- Mrabet R (2001c) No-Tillage System: Research Findings, Needed Developments and Future Challenges for Moroccan Dryland Agriculture. *In* Proceedings of I World Congress on Conservation Agriculture. Garcia-Torres et al. (eds). Madrid, Spain. October 1-5, 2001, 2, 737-741
- Mrabet R, Saber N, El-Brahli A, Lahlou S & Bessam, F (2001a) Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil Till. Res.* 57: 225-235
- Mrabet R, Ibno Namr K, Bessam F & Saber N (2001b) Soil chemical quality changes organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Land Degrad. Develop.* 12: 505-517.
- Mrabet R (2002) Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa. *Soil Tillage Res.* 66: 119-128
- Mrabet R (2003) Lutte contre sécheresse et la désertification en Afrique du Nord. Rapport d'expertise pour la commission économique pour l'Afrique (ONU), 36 p.
- Papendick RI & Campbell GS (1988) Concepts and management strategies for water conservation in dryland farming. Proc. Conf. On Dryland Farming. Amarillo/ Bushland. Texas pp.119-127
- Papendick RI, Parr JF & Meyer RE (1990) Managing crop residues to optimise crop/livestock production systems for dryland agriculture. *Adv. Soil Sci.* 13: 253-272
- Parr JF, Papendick RI, Hornick SB & Meyer RE (1992) Soil quality : Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Am. J. Altern. Agric.* 7: 5-11
- Papendick RI (1997) No till farming : The way of the future for a sustainability of agricultural production. *Advances in GeoEcology* 31: 1179-1186
- Power JF & Peterson GA (1998) Nitrogen transformations, utilisation and conservation as affected by fallow tillage method, *Soil Till. Res.* 48: 37-47
- Prasad R & Power JF. (1991) Crop residue management. *Advances in Soil Science* 15: 205-250
- Radford BJ, Key AJ, Robertson LN & Thomas GA (1995) Conservation tillage increases soil water storage, soil animal populations, grain yield, and response to fertilizer in the semi-arid subtropics. *Aus. J. Exp. Agric.* 35: 223-232

- Reeves DW (1997) The role of soil organic in Maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till. Res.* 43: 131-167
- Reicosky DC (2001) Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. In Proceedings of I World Congress on Conservation Agriculture. Garcia-Torres et al. (eds). Madrid, Spain. October 1-5, 2001, 1, 3-12
- Reicosky DC, Kemper WD, Langdale GW, Douglas JR CL & Rasmussen PE (1995) Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *J. Soil & Water Conserv.* 50 (3): 253-261
- Robert M & Chenu C (1992) Interactions between soil minerals and microorganisms. In *Soil Biochem.*, Vol. 7, G. Stotsky et J.M. Bollag (eds.), Marcel Dekker (NY, USA), pp. 307-404
- Sauer TJ & Daniel TC (1987) Effect of tillage system on runoff losses of surface applied pesticides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 410-415
- Stoner ER, Freitas Jr EDE, Macedo J, Mendes RCA, Cardoso IM, Amabile RF, Bryant RB & Lathwel DJ (1991) Physical constraints to root growth in savana oxisols. *Trop. Soils Bull.* 91 (1): 1-28
- Tisdale SL & Nelson WL (1966) Soil and fertilizer nitrogen. In *Soil fertility and fertilizers*» New York (eds), Mc Millan, Pub. Co.
- Tisdall JM & Oades JM (1982) Organic matter and water stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33: 141-164
- Triplett GB, Van Doran DM & Schmidt JR BL (1968) Effect of corn (*Zea mays* L.) stover mulch on no-tillage, corn yield and water infiltration. *Agron. J.* 60: 236-239
- Vallée G, M'Biandoun M & Forest F (1995) Semis direct dans l'aménagement de Sanguéré-Djalingo (Cameroun). *Cahiers Agric.* 5: 161-169
- Wolff P & Stein TM (1998) Water efficiency and conservation in agriculture - opportunities and limitations. *Agriculture & Rural Development* 5(2): 7-20