REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES SYSTEMES DE LABOUR DE CONSERVATION DE L'EAU ET LEURS EFFETS SUR LE SYSTEME "SOL-PLANTE"

MRABET, Rachid*

INTRODUCTION

L'eau a toujours constitué un facteur vital au développement de l'agriculture mondiale et à la satisfaction des besoins des populations. Cette ressource naturelle limite le futur de l'agriculture dans les régions arides et semi-arides. Ces régions occupent presque le tiers de la totalité des terres arables mondiales (GOODIN and NORTHINGTON, 1985). Elles sont caractérisées par une insuffisance des précipitations et un régime pluvial aléatoire. Pour ce faire, des techniques de conservation de l'eau dans le sol ont été entreprises parmi lesquelles les systèmes de labours de conservation.

^{*} Contribution du Centre régional de la Recherche Agronomique de Settat et du Département du Milieu Physique INRA-Rabat.

I - DEFINITIONS, OBJECTIFS ET IMPORTANCE DES SYSTEMES DE LABOUR DE CONSERVATION A TRAVERS LE MONDE

A travers le monde, l'agriculture moderne et conservationniste remet en cause les techniques de travail du sol pratiquées souvent de façon empirique pour différentes raisons, à savoir :

(i) Les modes de travail du sol ne permettent pas nécessairement un état du sol qui favorise le développement, la croissance et la production des plantes cultivées ; (ii) Certaines techniques de labour augmentent la vulnérabilité du sol à l'érosion ; (iii) l'accroissement des rendements réalisés dans certains cas ne permettent pas toujours une augmentation du revenu de l'agriculteur ; (iv) Dans certaines régions, la période de labour est relativement courte pour une préparation adéquate du lit de semences. Ainsi, pour arriver à un lit de semences fin en conditions sèches, il est nécessaire de faire des passages répétés du matériel de labour et d'augmenter la puissance des tracteurs.

En plus, certains instruments nouvellement apparus (Chisel rotatif et Sweep), peuvent modifier le travail du sol dans le sens de la réduction et l'utilisation des herbicides pour se substituer aux façons mécaniques de lutte contre les mauvaises herbes. Autrement dit, sachant que certains objectifs du travail du sol (ie, Contrôle des mauvaises herbes, amélioration et/ou maintien de la structure du sol) peuvent être atteints autrement, les techniciens et les agriculteurs tendent vers la simplification des trains techniques par réduction du nombre de passages du matériel aratoire ou entreprendre des semis directs. Ces techniques de travail du sol appelés systèmes de conservation visent (i) la réduction du coût de production (diminution de la consommation en énergie), (ii) l'amélioration du stock d'eau dans le sol, (iii) la diminution des pertes de sol par l'érosion et (vi) la facilité de la réalisation des semis.

Le système de labour de conservation a été défini par MANNERING et FENSTER (1983) comme étant une perturbation minimale du sol en maintenant un couvert de résidus en surface et en luttant contre les mauvaises herbes par l'emploi des herbicides et/ou des outils à lames (sweeps et rodweeders). Ce système comprend une large gamme de systèmes

spécifiques allant du non labour qui laisse la surface du sol complètement intacte avec maintien de résidus jusqu'au labour réduit à un passage au chisel qui laisse 20 à 30% de résidus en surface (KLADIVKO et al., 1986). Les systèmes spécifiques de labour de conservation couramment utilisés sont :

(i) le non labour ou semis direct (seule la zone de semis est travaillée (10% de la surface); (ii) labour en bandes, (iii) labour en billon (2/3 de la surface cultivée n'est pas travaillée); (iv) culture sur paillis ou Labour minimum au chisel, sweep ou disque sans retournement du sol.

A travers le tableau 1, il est intéressant de noter l'importance en superficies conduites sous les labours de conservation dans des pays caractérisés par des systèmes sol-culture-climat très contrastés. De même les prévisions pour l'horizon 2000 suggèrent que ces types de labours vont connaître une extension exponentielle très marquée.

Tableau 1 : Pourcentage des superficies conduites sous les systèmes de labours de conservation dans quelques pays du monde.

PAYS	Pourcentage de superficie sous semis sur tapis (%)	Prédiction en l'an 2000 (%)
ANGLETERRE	8 (1978)	30 (CANNELL, ET al., 1978)
AUSTRALIE	20 (1975)	80 (USDA, 1975)
CANADA	*	50 (STOBBE, 1979)
ECOSSE	*	60 (PIGEON et RAGG, 1979)
ETATS UNIS	30 (1989)	60 (LARSON et OSBORNE, 1982)
MAROC	*	Très prometteurs

^{*)} Des recherches de long terme en cours.

II - EFFETS DES SYSTEMES DE LABOUR DE CONSERVATION SUR LE COMPLEXE "SOL-PLANTE"

Les propriétés physiques, chimiques et biologiques du système sol-plante sont interdépendantes et en conséquence toutes ces propriétés sont influencées par le système de travail du sol et par l'incorporation ou le maintien en surface des résidus. Pour la simplicité, ces propriétés seront étudiées séparément.

1 - LES CHANGEMENTS DANS LES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES ET LES PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL DUS AUX LABOURS DE CONSERVATION

1. 1. - Effets sur les processus d'infiltration et d'érosion et les caractéristiques hydrodynamiques et hydriques du sol.

Les résidus de cultures laissés après la récolte, sans être incorporés, forment un tapis protecteur contre l'érosion, favorisent le processus d'infiltration, réduisent les pertes d'eau par évaporation et par conséquent retardent les pertes hydriques du sol (MEYER et al., 1970 ; ALLMARAS et al., 1979 ; LAL, 1976 ; CAMPBELL et al., 1979 ; GUPTA et al., 1979; AL-DARBY et LAOWERY, 1984). MEYER et al. (1970) ont montré qu'un mulch de paille de blé de 0.56 t/Ha (34% de la surface cultivée est couverte) a réduit la vitesse de ruissellement de moitié par rapport à une surface nue non labourée d'un sol limoneux à drainage modéré.

Le tableau 2 montre les données des pertes d'eau et de sol sous le système du non labour et le système conventionnel (sol travaillé à la charrue à disques) sur un Alfisol en zone tropicale (LAL, 1976). Il ressort de ce tableau que ces pertes sont négligeables dans le système de conservation. Ce même auteur a signalé que sous les traitements de labour conventionnel approximativement 3 à 4 mm de sol sont perdus annuellement. En plus, il a trouvé que le taux moyen d'infiltration est 0,91 et 0,30 cm/Hr respectivement pour le non labour et le système conventionnel.

Tableau 2 : Pertes d'eau et de sol sous les systèmes non labour (NL) et labour à la charrue à disques (LCD) (LAL, 1976)

Pente (%)	Per	Pertes d'eau		Pertes du sol	
	NL % -	LCD	NL Toni	LCD nes/Ha	
01	0.9	8.8	0.0002	0.04	
05	2.1	24.5	0.005	0.62	
10	2.4	13.6	0.001	7.62	
15	2.4	21.4	0.001	6.91	

EHLERS (1975) et RADCLIFFE et al., (1988) dans le Sud-Est des Etats-Unis, ont trouvé que les taux d'infiltration étaient plus élevés dans les systèmes de labour minimum et du semis direct que dans le conventionnel, ceci malgré que le sol est à structure instable et présente une croûte de battance en surface. Ils ont relié ces taux d'infiltration élevés sous le semis direct à une améliaration de l'activité de la faune du sol.

De leur part, TRIPLETT et al. (1968); sur un sol limoneux et après 12 années d'expérimentation; ont trouvé que le traitement sans labour a permis une augmentation de 300% des taux d'infiltration par rapport au labour conventionnel.

BLEVINS et al. (1983) ont trouvé que la conductivité hydraulique saturée pour l'horizon superficiel (0 à 7.5 cm) d'un sol de type limoneux bien drainé est de l'ordre de 1.9 et 1.5 cm/Hr respectivement pour le non labour et le labour conventionnel. En outre, BLEVINS et al. (1982) ont recommandé que, pour éviter le lessivage des nitrates dû à des taux de percolation élevés sous le système du non labour, il est nécessaire de fractionner les apports de fertilisants

GANTZER et BLAKE (1978) ont trouvé que le sol (Argilo-limoneux) au moment du semis présente une conductivité hydraulique saturée (Ks) plus faible dans le système du semis direct par rapport au système conventionnel (respectivement 14.6 et 38.2 cm/h pour l'horizon 7.5 - 15cm). Cependant, à la récolte la différence entre les deux conductivités n'est pas significative (respectivement 19.9 et 19.4 cm/h pour le même horizon). Pour un horizon plus profond (30 - 37.5cm), les mesures de Ks étaient identiques pour les deux systèmes de labour.

En contre partie, GRIFFITH et al. (1973. GANTZER and BLAKE (1978) et LINDSTROM et al. (1984) ont rapporté que la non perturbation du sol par du matériel aratoire favorise une diminution de la porosité fine en faveur de la macroporosité, une augmentation de la densité apparente de certains sols. Ceci résulte en une surface rapidement saturée d'eau et un déclenchement précoce du ruissellement au cours d'une averse de pluie malgré le rôle protecteur du paillis. En conséquence, l'infiltration d'eau est réduite et le sol ne conserve pas assez d'eau (GERIK et MORRISON, 1984). Ce processus est accentué dans les sols à texture fine et à drainage réduit (GRIFFITH et al., 1973).

Sur les sols du Nord-Ouest de la ceinture du Maïs aux Etas Unis, LINDSTROM et al. (1984) ont déduit que malgré que les résidus réduisent l'incidence des hautes énérgies des averses érosives, le sol sous le système non labour reste vulnérable à l'érosion. Cette réduction de la capacité d'infiltration sous ce système résulte de l'augmentation de la densité apparente du sol dans les horizons superficiels, d'une résistance à la pénétration élevée, d'une conductivité hydraulique saturée faible et d'une macroporosité réduite (tableau 3).

Tableau 3: Propriétés physiques de l'horison Ap (0-15 cm) d'un sol limoneux mesurées après semis du Maïs et après trois années d'expérimentation des systèmes de labour de conservation et conventionnel (LIN DSTROM et al., 1984).

Système de Labour	Densité Apparente (g/cm ³)	Résistance àlapénétration (Kg/cm ²)	Conductivité Hydraulique Saturée (cm/hr)	Volume Macroporal (%)
LC	1.04	0.49	18.0	18.3
LM	1.17	0.35	9.9	12.9
N L	1.34	16.04	0.3	7.6
LSD (5%)	0.07	2.22	6.9	3.6

LC = Labour conventionnel; LM = labour minimum et NL = Non labour

ROTH et al. (1988), sur un sol argileux (Oxisol) ont lié les différences des taux d'infiltration entre les systèmes de labour conventionnel et le système de non labour à la formation d'une croûte de battance en surface et au mauvais contrôle de l'érosion par les résidus de récolte. Ils ont recommandé une quantité de résidu de l'ordre de 4-6 t/Ha pour diminuer les pertes de sol.

Mc GREGOR et al. (1975) et SIEMENS et OSCHWALD (1976) ont indiqué que les résidus de récolte ne réduisent pas obligatoirement les pertes d'eau par ruissellement mais jouent un rôle de filtre. En d'autres termes, les taux d'infiltration restent faibles sous le système de conservation par rapport au système conventionnel mais le sol n'est pas intensément érodé.

GOLABY et al. (1988) ont signalé que ces résultats contrastés entre les auteurs reflètent que d'autres facteurs influencent les processus d'infiltration et de ruissellement en régime normal ou de labour de conservation. Parmi ces

facteurs BURWELL et LARSON (1969) ont cité l'aspérité du sol et sa porosité. Ils ont estimé que ces facteurs représentent respectivement 90 et 50% de la variation de l'énergie cinétique nécessaire au déclenchement du ruissellement.

Sur un sol à texture équilibrée et bien drainé, le mulch réduit l'évaporation de l'eau du sol. La réduction est due au fait que les résidus jouent le rôle d'isolant thermique et limitent le flux solaire incident et par conséquent l'énergie disponible dans le sol pour changer l'eau de l'état liquide à gazeux est réduite (GUPTA et al., 1981; ALLMARAS et al., 1985). En plus, les résidus laissés en surface permettent de garder le sol longtemps en première phase de l'évaporation (GUPTA et al., 1983). PHILLIPS et al. (1980) ont rapporté que le taux de perte d'eau à travers le mulch est généralement très faible par rapport au flux de vapeur d'eau d'une surface mouillée. En effet, BLEVINS et al. (1983) ont indiqué que la quantité d'eau évaporée tout au long du cycle du Maïs représente seulement 7% du total de pluies (50.9cm) en cas du non labour contre 36% pour le conventionnel (4.1 cm vs 19.1 cm). En conséquence, les résidus aident à une meilleure conservation de l'eau dans le sol.

De leur part, WAGER et DEUTON (1989) ont trouvé qu'un sol non travaillé et couvert de résidus a une rétention d'eau plus grande, conséquence d'une meilleure infiltration de l'eau à travers les biopores et les chenaux formés par les racines, d'un taux de ruissellement plus réduit et d'une teneur en matière organique élevée en surface.

TOLLNER et al. (1984) ont trouvé, qu'en surface, les traitements conventionnels retiennent plus d'eau que ceux de conservation pour des tensions de moins de 800 cm. Pour des tensions de 3000 cm ou plus, les différences entre les deux types de traitements ne sont pas significatives. Les différentces dans les quantités d'eau stockée n'étaient pas significatives entre les deux types de labour pour des tensions de 1 à 9000 cm pour la partie inférieure du profil. Ces résultats ne concordent pas avec ceux trouvés par LAL (1976) dans les zones tropicales. Cet auteur a expliqué les différences dans les capacités de rétention entre les deux systèmes par la grande teneur en matière organique dans les parcelles non labourées.

La pratique de la jachère chimique est aussi réalisée par les agriculteurs pour accumuler suffisamment d'eau de pluie ou de neige dans le sol pendant une année ou plus pour la culture suivante (GREB et al., 1970 ; SMIKA et UNGER, 1986; DALRYMPLE ET AL., 1988). Ces derniers ont illustré la supériorité de la jachère chimique par rapport à la jachère travaillée pour trois types de sol différents en terme de stock d'eau au semis. SMIKA (1990), sur un sol à texture équilibrée, a trouvé que la jachère chimique a permis 12.1% de plus de grain, 17.2% de plus d'eau stockée dans le profil et une augmentation de l'efficience d'utilisation de l'eau de 17.1% par rapport à la jachère travaillée (tableau 4). La jachère travaillée au sweep est intermédiaire entre les deux autres types de managements. Les mêmes conclusions ont été trouvées par BOUZZA (1990) sur un sol vertique dans les zones semi-arides marocaines et ceci pour une expérimentation de longue durée et plus particulièrement en années sèches (Tableau 5). Ce même auteur a aussi trouvé que la quantité d'eau évaporée était inférieure dans le non labour que dans les labours superficiels ou conventionnels et en conséquence une meilleure infiltration.

Tableau 4: Effets des types de jachère sur le Stokage d'eau dans le profil (1.8m), Total d'eau utilisée par la culture, Efficience de la jachère (Smika, 1990).

	Jachère Chimique	Jachère Travaillée au sweep	Jachère Conventionnelle
Stock d'eau			
(mm)	256	228	212
Efficience			
(%)	49.2	43.5	40.8
Total D'eau			
Utilisée		:	
(mm)	471	483	464

^{* .} Efficience de la jachère est le rapport entre la quantité d'eau stockée pendant la période où le sol est en jachère et le total d'eau de pluie reçue moins la quantité d'eau drainée.

Tableau 5: Efficience (%) de différentes Jachères à Sidi El Aydi en fonction du type de management de la jachère et du travail du sol en saison sèche (BOUZZA, 1990)

	Types de Jachèro	
Jachère Chimique	Jachère Travaillée au sweep	Jachère Conventionnelle
28.0	21.0	18.0
24.0	20.0	18.0
22.0	18.0	19.0
24.0	19.0	18.0
24.5	19.5	18.5
	Jachère Chimique 28.0 24.0 22.0 24.0	Jachère Jachère Chimique Travaillée au sweep 28.0 21.0 24.0 20.0 22.0 18.0 24.0 19.0

1-2. Effets sur le régime thermique du sol :

La température du sol a un effet considérable sur la croissance de la culture et ces fonctions métaboliques (ALLMARAS et al., 1984; STEWART and SUMMERFIELD, 1978; GUPTA et al., 1984). En d'autres termes, le régime thermique du sol est important dans la conduite des cultures à travers le choix de la date de semis et la réalisation de rendements optimaux.

La gestion des résidus peut influencer le régime thermique du sol en agissant sur le flux d'échanges énergétiques en surface et par conséquent les

processus biologiques dans le sol se trouvent aussi affectés (GRAN1 et al., 1990).

Sous le système de conservation, l'horizon de surface présente une température basse par rapport au système conventionnel. TOLLNER et al. (1984) ont rapporté que la température des premiers centimètres du profil dans les parcelles non labourées est 5 à 7°C plus faible que celle des parcelles labourées. GUPTA et ses collaborateurs (GUPTA et al., 1981; 1983 et 1984) ont affirmé qu'à cause des teneurs élevées de résidus dans le système de semis direct, le sol présente une température maximale faible et une température minimale élevéc, ce qui est le cas contraire pour un sol travaillé dépourvu de résidus (le sol est un typic hapludolls riche en limons (58.4%)). Ainsi, cette faible température du sol sous le système du non fabour peut inhiber les processus biochimiques et l'élongation cellulaire au niveau de la zone méristematique de la racine (KLEINDORST and BROUWER, 1972). En contre partie, OJENIYI (1986) sur trois types de sols tropicaux - sableux à sablo-limoneux - a trouvé que les traitements de labour aussi bien conventionnels que de conservation n'ont pas permis une différence significative dans la température du sol.

POTTER et al. (1985) ont trouvé que le système du non labour présente une diffusivité thermique élevée par rapport aux labours conventionnels; ces diffusivités thermiques étaient respectivement 4.39, 3.56 and 5.22 x 10 -7 m²/s pour les travaux du sol au chisel, au disque et le non labour. Ils ont aussi noté une différence de 20% entre la conductivité thermique enregistrée sous le non labour en comparaison avec celle mesurée sous les systèmes de culture normale. Cependant, GUPTA et al. (1984) ont trouvé que le sol présente une même diffusivité soumis au système de conservation ou de labour de conventionnel. Le flux de chaleur journalier est significativement différent entre le traitement non labouré et labouré (respectivement 69.8 et 47.9 Wm-2). Ce qui support les différences dans les températures limites entre les deux systèmes de travail du sol.

1-3. Effet sur la structure et la texture du sol

En régime de culture sans labour, le sol conserve sa texture initiale alors que le sol travaillé présente une distribution texturale homogène le long des horizons supérieurs du profil à cause du retournement du sol ou du mixage

des horizons dus aux pièces aratoires (TOLLNER et al., 1984).

L'état structural du sol sous régime de culture intensive subit des changements dus aux instruments aratoires en plus des facteurs externes. En régime de semis direct, la seule cause de variation d'état physique reste la structuration naturelle sous l'éffet des Cultures et des variations d'humidité dues aux conditions climatiques de la région.

La stabilité structurale du sol sous le régime de culture sans labour est à l'origine des taux d'infiltration élevés par rapport au régime de culture normale (TRIPLETT et al., 1988). Un système de non labour à long terme résulte en une élevation de la teneur en matière organique en surface du sol et permet une augmentation de la stabilité des agrégats du sol. MORNIER et al . (1976) ont trouvé qu'entre 1970 et 1974 sur un sol limono-argileux (Boigneville, France) la stabilité structurale a évolué différemment selon l'intensité du travail du sol. Ainsi, ils ont noté une augmentation considérable de la stabilité dans les premiers centimètres de la surface du sol dans le cas du semis direct par rapport au labour profond à la charrue à disques (>25 cm) et au labour superficiel au cultivateur rotatif (profondeur comprise entre 10 et 12 cm). En plus ils ont rapporté un accroissement modéré de la stabilité de la couche du sol travaillée superficiellement.

Cependant, un sol riche en limons et semé directement présente une structure friable (pas de micro-relief et reste sujet à la formation d'une croûte de battance en surface (ALLMARAS et al., 1985).

Les labours conventionnels ou de conservation affectent la densité apparente et la porosité du sol sur les 30 premiers centimètres du profil. Cependant, les différences entre les deux types de labour dépendent du type de sol, du climat, de la culture et des outils aratoires utilisés pour le travail du sol. En général, à long terme le labour conventionnel favorise la formation d'un horizon compacte (semmelle de labour) au niveau inférieur de la partie labourée du profil (ELKINS et al., 1983).

TOLLNER et al. (1984) ont signalé, qu'en surface, la résistance à la pénétration est significativement plus élevée dans le no-till que dans le système conventionnel (respectivement 1000 et 550 KPa). La résistance

mécanique maximale a été trouvée dans l'horizon 15-25cm pour le no-till et à 30-40 cm pour le traitement travaillé (semelle de labour).

Les études de DOPAN (1980a,b); LINN and DORAN (1984) et BRODER, et al., (1984) indiquent que le sol semé directement est généralement moins poreux (densités apparentes élevées) dans les 10 premiers centimètres du profil qu'un sol travaillé. Cette faible porosité, généralement trouvée dans les sols à texture fine (GANTZER AND BLAKE, 1978 et DOUGLAS et al., 1979), résulte en une réduction du taux d'oxygène et des échanges gazeux, en une attaque raçinaire par des champignons et enfin par la formation de gaz toxiques.

Cependant, d'autres auteurs (SHEAR AND MOSCLER, 1969; CANNEL AND FINNEY, 1973; LAL, 1976 et BLEVINS et al., 1983) n'ont pas trouvé de différences significatives entre les systèmes de labour en terme de densité apparente. Ils ont relié les densités élevées trouvées par certains auteurs au pourcentage élevé du sable dans le sol. En d'autres termes, ces auteurs signalent qu'il n'y a pas de zone de restriction pour la croissance des racines sous le système de conservation. De même GOLABY et al. (1988) ont signalé que le développement d'une bio-macroporosité élevée sous le non labour et ceci, avec une grande richesse du sol en matière organique, améliore le processus d'infiltration de l'eau et sa redistribution dans le profil.

SHIPITALO et PROTZ (1987), sur des essais de long terme réalisés à Ontario (Canada) à l'aide des analyses micromorphologiques ont conclu que les horizons Ap des parcelles non labourées présentent une macroporosité approximativement égale à la moitié de celle des parcelles travaillées. La réduction de la macroporosité a été expliquée par la baisse de la taille moyenne des pores et par une tendance de ces vides à devenir plus allongés, réguliers et parallèles à la surface du sol (résultats confirmés par DERPSH et al. (1986) et ROTCH et al. (1988) au Brésil). Ils ont aussi noté une bioporosité due à l'activité des lombrics 2 à 9 fois supérieure dans les pédants non labourés que dans ceux soumis au labour (Même résultats trouvés par EHLERS, 1975 et BARNES et al., 1977). Cette grande activité biologique peut compenser la perte de macroporosité dans les traitements non labourés et permettre des mouvements d'eau et des gaz plus rapides à long terme. En plus, les chenaux formés par les racines des cultures incorporées dans

l'horizon superficiel améliorent le processus d'infiltration de l'eau dans le sol sous système de non labour.

En conclusion, même si le sol dans certains cas devient plus compacte sous le non labour, l'activité biologique compense tout effet négatif qui peut en découler

II - 2 - LA FERTILITE CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DU SOL SOUS LES SYSTEMES DE CONSERVATION.

Les systèmes de conservation résultent en une accumulation des éléments nutritifs dans la partie supérieure du profil dans des sols et climats très contrastés. La concentration en ces éléments diminue rapidement avec la profondeur en comparaison avec les systèmes conventionnels (LAL, 1976; CAMPBELL et al... 1986; DALAL, 1989). Cependant, le retournement du sol par du matériel aratoire permet une distribution assez uniforme de ces éléments (blevins et al., 1983; HAYNES, 1986).

Sur deux sols - l'un argilo-limoneux et l'autre à texture équilibrée en France - LANGLET et REMY (1976) ont remarqué que la suppression du travail du sol permet une augmentation des quantités d'azote organique présentes dans les 5 ou 10 premiers centimètres du sol avec une diminution du rapport C/N.

BODET et FOURBET (1976) sur les sols précités, ont montré que les quantités d'acide phosphorique et de potassium exportées par la plante n'ont pas été affectées par la simplification des labours. Cependant, LANGLET et REMY (1976) ont trouvé que l'absorption de l'azote par la plante était plus faible sous le semis direct que sous le labour profond. Ils ont expliqué cette différence par une mauvaise installation de la culture plutôt que par la fourniture d'azote minéral par le sol. En effet, le taux de levée était faible en semis direct et en Minimum-labour (72%) et élevé sous labour profond (86%).

Une meilleure utilisation du phosphore par la culture a été signalée par plusieurs auteurs sous le système du No-till (ie. BLEVINS et al., 1983). Ils ont expliqué cette disponibilité élevée du phosphore par :

(i) Dans les conditions du labour réduit, le contact sol-phosphore est réduit à cause de sa localisation et par conséquent la fixation du P par le complexe absorbant (argile, Fe, Al, Ca...) est moindre ; (ii) les conditions acides crées en surface du profil par les bactéries permettent de rendre le phosphore plus disponible à la culture ; (iii) Le prélèvement du P par la culture est amélioré par les conditions hydriques favorables souvent trouvées sous le système de conservation.

Les faibles prélèvements du phosphore par la culture en début du cycle notés par CORNISH (1987) étaient dus à la grande concentration en cet élément par la localisation des fertilisants dans la zone de semis. De même HAIRSTON et al., (1990) ont affirmé que dans le système de conduite de la culture du Soja en semis direct ou en labour réduit, l'incorporation des fertilisants est superficielle et en conséquence sa distribution dans la zone racinaire est limitée. Cette distribution résulte en "une indisponibilité zonale" des intrants et une restriction de l'activité racinaire.

D'autre part, DOWDELL and CANNELL (1975), ELLIOT et al. (1981) et DOWDELL et al. (1983) ont signalé que les parcelles non labourées présentent des niveaux faibles de N-No₃ par rapport à celles labourées. Ils ont rapporté que sous les conditions du no-till, l'immobilisation de l'azote minéral en surface du sol est accentuée, ceci en plus des pertes d'azote par dénitrification enregistrées sous des régimes hydriques saturantes.

A travers des expérimentations de longue durée, KITUR et al. (1984) et FREDERICKSON et al. (1982) ont montré que sans apport d'azote et à court terme, les rendements sont généralement faibles sous les techniques de conscrvation que sous les systèmes conventionnels. Cependant, ces mêmes auteurs par application d'engrais azotés, les rendements réalisés étaient identiques ou plus élevés sous le système de travail du sol réduit.

L'un des changements causé par le système de conservation est la réduction du pH du sol en surface à long terme (BLEVINS et al. (1983); Tableau 6). Cette acidification de la surface du sol résulte en une diminution de la concentration en calcium échangeable et une augmentation de la concentration de la solution du sol en aluminium et en manganèse échangeables. Cette chute en ces éléments provoque un stress nutritif chez la

plante. BLEVINS et al. (1983) et DORAN (1980) ont expliqué cette diminution du pH sous le système de conservation par la teneur élevée en acides organiques dans le sol. Mais cette baisse de pH n'apparait qu'à long terme et un chaulage couplé à un apport fractionné des fertilisants sont nécessaires (BLEVINS et al., 1978). En effet, par utilisation de la chaux, la culture de Maïs n'a pas subi de carence nutritive sous le système de semis sans labour pendant trois années d'expérimentation sur un sol sablo-limoneux (BLEVINS et al., 1983 ; HARGROVE, 1985). Par contre, MOSCHLER et al. (1975) ont trouvé que les concentrations en P et en Ca étaient plus élevées dans le système du non labour alors que le pH et les concentration en K et Mg ne diffèrent pas entre ce système et le système conventionnel.

En plus, l'acidité du sol peut réduire l'activité de certains herbicides dont dépend le système du non labour (KELLS et al., 1980; SLACK et al., 1978).

Tableau 6 : L'acidité (pH) du sol comparée entre systèmes du non labour et labour conventionnel après 10 années d'expérimentation et selon l'apport azoté (BLEVINS et al., 1983).

	pH après 10 ans				
Apport Azoté	Non labour		Labour conventionnel		
(Kg/Ha)	0-5 cm	5-15 cm	0-5 cm	5-15 cm	
0	5.75	6.05	6.45	6.45	
84	5.20	5.90	6.40	6.35	
168	4.82	5.63	5.85	5.83	
336	4.45	4.88	5.58	5.43	

En conclusion, le remplacement des labours conventionnels par des techniques de travail superficiel ou de semis direct entraîne un enrichissement de la surface du sol en matières organiques, en acide phosphorique et en potassium. Il en résulte une acidification de la couche arable superficielle qui peut être corrigée par un chaulage. Cette acidification du milieu peut être un avantage pour les sols marocains qui sont calcaires.

Toutefois, la dynamique de l'azote sous le système du non labour ou du labour minimum reste ambigue étant donné la mobilité de cet élément dans le sol. Ainsi, une attention particulière est à donner à la conduite de la fertilisation et à la fertilité du sol dans le système de labour de conservation en relation avec la croissance et le développement de la culture.

Il a été rapporté par THOMAS (1985) qu'à cause de la substitution des labours primaires pour le contrôle des mauvaises herbes par l'application des herbicides, certains changements dans la population biologique du sol ont lieu. L'un de ces changements est l'apparition des mauvaises herbes pérennes qui sont difficiles à contrôler chimiquement. L'activité des insectes et des micro-organismes du sol est affectée d'une façon ou d'une autre par la préparation (ou non) du sol. Les types d'organismes varient entre systèmes de labour. En effet, il a été montré par DORAN (1980) que la population des bactéries dénitrifiantes est plus élevées en système du non labour, par contre celle des bactéries nitrifiantes y est moins importante par comparaison avec les systèmes de labour conventionnels. Ceci s'explique par le fait que l'humidité du sol élevée dans le système du labour simplifié favorise la dénitrification. En contre partie, la nitrification est plus accentuée sous les systèmes de labour cenventionnels du fait que le sol est en condition oxydante et sèche. Ce même auteur a signalé que le nombre de micro-organismes est plus élevé en surface qu'en profondeur du profil en système du non labour (Tableau 7).

Tableau 7: Comparaison entre la population microbienne sous le non labour et le labour conventionnel (DORAN. 1980).

Non labour / labour conventionnel						
Prof. (cm)	Bactéries Aérobiques	Bact. Facultatives Anaérobiques	Bact. Dénitrifiantes	Bact. Nitrifiantes	Champignons	
0-7.5	1.35	1.57	7.31	1.25	1.57	
7.5-15	0.71	1.23	1.77	0.55	0.76	
0-15	1.03	1.32	2.83	0.89	1.18	

II - 3 - INCIDENCES DE LA SIMPLIFICATION DU TRAVAIL DU SOL SUR LA CROISSANCE ET LES RENDEMENTS DES CULTURES

La croissance de la culture en début du cycle est réduite dans le semis direct comparée au régime de culture normale (REEVES et ELLINGTON, 1974), cependant le rendement grain n'est généralement pas affecté. GUPTA et al., (1981) et CORNISH (1987) ont expliqué le retard de germination du Maïs sous semis direct par l'effet dépressif des basses températures. En effet, il est rapporté dans la littérature que le système de semis sur tapis ne permet de bons rendements qu'après deux ou trois années de son adoption (CHRISTENSEN et al., 1990). Ces derniers ont relié ces rendements réduits au fait que le pool en azote et autres éléments nutritifs est faible au cours des premières années de l'introduction du système et à l'histoire de la parcelle sur laquelle est réalisée l'essai.

Il est important de noter que l'utilisation d'un semoir non spécialisé pour le semis sur résidus résulte en une pénétration superficielle et non uniforme des semences, un mauvais contact graine-sol, une germination retardée et une émergence réduite (WHITE et al., 1986).

Young (1982) a relié la faible croissance de la culture en début de cycle

au milieu acide et/ou toxique sous le non labour. Cependant, la culture reprend une croissance normale dès que les racines se développent en profondeur où le sol est largement moins acide.

De leur côté, ELLIOT et LYNCH (1985) et CHAN et al. (1987) ont rapporté que la colonisation de la rhizosphère par des bactéries inhibitrices (pscudomonas) de la croissance est à l'origine du mauvais départ de croissance sous le système conventionnel et le non labour sur un sol limoneux (CHAN et al., 1987).

Tableau 8 : Pourcentage de germination, production de matière sèche (MS) et nombre moyen de talles (NMT) par pied sous le système du no-till et le conventionnel (CHAN et al., 1987)

Système de labour	% de germinationS	M.S.*	M.S.** M ²	NMT/Pied*	NMT/Pied**
Conventionnel	90	3.72	30.0	1.29	6.53
Non labour	93	2.31	11.0	0.34	3.11
JachèreChi- mique	90	2.29	20.3	0.83	4.53
L.S.D. (5%)	NS	1.26	7.9	0.34	1.47

S: Après 5 jours du semis;

MOSCHLER et al. (1975) ont conclu qu'au cours du temps l'accumulation du phosphore et de certains cations échangeables, peut être avantageuse, étant donné que la culture est hautement exigeante en ces éléments dans les premiers stades de sa croissance. Ceci peut expliquer en partie les rendements élevés enregistrés sous le semis direct. En plus, d'après HARGROVE et al. (1988) et GOLABY et al. (1988) les cultures de blé et du

^{*:} Après 34 jours du semi;

^{**:} Après 65 jours du semis;

Soja présentent des densités racinaires plus élevées sous le système du non labour que sous le système de labour conventionnel du fait de la richesse en éléments nutritifs de la partie supérieure du profil.

AL-DARBY et LOWERY (1984) ont indiqué que malgré le retard de croissance sous le système de travail du sol réduit, la culture récupère en fin de cycle.

HAIRSTON et al., (1984) ont montré que la compaction est plus sévère en absence des labours primaires dans certains types de sols. Ainsi elle peut, selon la texture du sol, engendrer des rendements faibles par restriction de la croissance des racines.

Dans le Nord-Est de l'Europe, CANNEL (1985) a signalé que le labour superficiel et le semis direct ont permis de bons rendements dans la plupart des pays et sur différents types de sol ayant un bon drainage et une bonne aération et pour différentes cultures : céréales (blé et orge), légumineuses et tournesol. Ces mêmes systèmes ne sont pas convenables pour les cultures de printemps à cause de la période réduite permise pour ces cultures pour développer leur système raçinaire et compenser le retard de croissance en début du cycle. Le semis direct est inapproprié pour les cultures à utilité racinaire. Cependant, le labour en petites bandes (Strip Tillage) peut être adopté dans le cas de la betterave. Dans la zone maïsicole des Etats Unis d'Amérique la culture du Maïs est réussie par la pratique des systèmes de conservation (ALLMARAS et al., 1985). Cependant, en France cette culture n'a pas permis des rendements intéressants (BOIFFIN et al., 1976) conduite sous les systèmes de conservation. BLEVINS et al. (1984), malgré qu'ils ont trouvé que les propriétés du sol s'améliorent sous le système du non labour, ils ont déduit que le maïs en culture continu sans labour n'est pas une pratique idéal. Il est plus avantageux d'introduire d'autres types de culture en rotation ou succession. Ils ont proposé d'introduire la culture du Soja, d'autres céréales ou des cultures fourragères pour réduire la population des mauvaises herbes et / ou améliorer la minéralisation de l'azote dans le sol.

En guise de conclusion, les rendements enregistrés sur le système de travail du sol réduit ou sans labour sont généralement comparables ou meilleurs par rapport aux systèmes conventionnels en cas des sols à texture sableuse à équilibrée. Cependant, les cultures sont moins productives dans le

semis direct que dans le système classique sur des sols à texture fine et à drainage réduit (VAN DOREN et al., 1976; DICK et VANDOREN, 1985). Cependant au Maroc, BOUZZA (1990), sur un sol argileux et gonflant et dans un milieu semi-aride, a rapporté que pendant les années sèches (<200 mm), le non labour a permis un gain de rendement de 200 kg/Ha et 250 Kg/ha, respectivement, par rapport au labour au sweep et au labour conventionnel au cover crop dans la rotation du blé continu. Dans la rotation du blé après jachère et en année sèche, le gain en rendement réalisé sous le non labour par rapport au labour minimum et au labour conventionnel est de 150 et 416 kg/ha respectivement. En années humides le gain de rendement en non labour par rapport aux autres types de labour est de 247 kg/ha et 1135 kg/ha en rotation blé-blé.

SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Les nombreuses recherches sur les systèmes de conservation suggèrent qu'en modifiant les conditions d'établissement des cultures (par suppression des labours ou leur simplificationn), de nombreuses variables changent; à savoir (i) l'état physique du sol (stabilité structurale, densité apparente, humidité, porosité et système poral, régime thermique ...); (ii) la fertilité chimique (mécanisme de minéralisation, disponibilité des éléments fertilisants, acidité du milieu,); (iii) la fertilité biologique (activité de la faune,...); (vi) développement des parasites et prédateurs; (v) les conditions de germination et la réussite de la culture. En conséquence, la connaissance des mécanismes genérés par ces variables est nécessaire pour rendre possible l'adoption de ces systèmes. En plus, ces mêmes variables sont creées par des facteurs ambiants ou externes tel que le climat, le type de sol et la situation géographique.

Les avantages des labours de conservation dans le contrôle de l'érosion aussi bien hydrique qu'éolienne sont universellement reconnus à l'exception de certaines zones. Cependant, des études sur les mécanismes d'érosion en relation avec ces systèmes doivent être évaluées en fonction des situations agroclimatiques.

La conservation de l'eau, du sol et d'énergie sont les objectifs assignés aux systèmes de labour de conservation. De nombreux chercheurs ont signalé une meilleure utilisation d'eau par les cultures en semis direct et la réalisation

de rendements généralement meilleurs.

En revanche, malgré la substution des travaux du sol par des herbicides pour la lutte contre les mauvaises herbes, certaines études ont révélé la réapparition d'adventices résistantes aux herbicides utilisés (BURLER et al., 1990). En conséquence le choix et la gestion des herbicides est primordiale dans la conduite des cultures sous les systèmes simplifiés de travail du sol. En plus, l'incorporation des herbicides dans le sol est difficile à cause des quantités des résidus élevées présentes en surface et des conditions souvent acides dans le cas des systèmes de conservation. En conséquence, il a été recommandé que les herbicides de Pré-emergence et / ou de Post-emergence sont les principales méthodes de contrôle chimique des mauvaises herbes sous ces systèmes (WAX et al., 1977; KOSKINEN and Mc WHORTER, 1986).

Il a été aussi conclu par certains auteurs que l'une des différences majeures entre le système de labour de conservation et le conventionnel est que la population microbienne permet une minéralisation très réduite mais constante au cours du temps dans le premier système et la dénitrification y est plus accentuée. Ceci est en relation avec une augmentation de la population microbienne sous le non labour du fait des conditions hydriques favorables et le contrôle de l'acidité excessive par un simple chaulage couplé à un apport azoté modéré. Cependant, il reste qu'une attention particulière reste à donner à la conduite de la fertilisation et à l'étude de la fertilité des sols sous les systèmes de conservation.

SUMMARY

The development and use of the conservation tillage systems around the World is of major interest and their adoption rate is markedly increasing on a year to year basis. It is also shown through the literature that these techniques are involving all crops and most countries. However, the shift from the conventional tillage to reduced tillage where soils are disturbed very little or not at all and where the soil is continually covered with residues, several soil-plant system's characteristics change. The most intriguing change in the soil physical property is the soil water content. In fact, in early stage of the crop growth, it is generally agreed by authors that the soil surface horizons are wetter under reduced tillage than under conventional tillage. The water content in relation with the residue cover in return affects the thermal properties of the upper part of the soil profile. It is well agreed that the temperature average is lower in the former system. Soil chemical changes under conservation tillage systems include higher organic matter and total nirogen contents, lower nitrate, higher exchangeable aluminum and manganese, lower pH and higher levels of available phosphorus and potassium. Biological shifts under these systems are the difficulty to control the pernnial weeds, an increase in the animal population and higher microbial activity at the top of the surface. It was also reported that under these systems the microbiological characteristics of soils favor slower but steady mineralization rates and higher denitrification. In moderately to well drained and medium to coarse textural soils, the limited tillage systems gave the highest yields as compared to the conventional tillage. However, it is not a definite conclusion because, the fine textural and poorly grained soils in Morocco permitted higher yields under no-till.

RESUME

A travers le monde, les systèmes de labour de conservation ont connu une grande extention ces dernières décenies et ceci pour une large gamme de culture. Cependant, la substitution des labours par l'application des herbicides a causé des changements dans les caractéristiques du système sol-culture pour un type de climat particulier. En effet, il a été rapporté que les propriétés physiques, chimiqies et biologiques affectent et sont affectées par le système de labour. La propriété physique qui change sensiblement par réduction des labours est l'humidité du sol. En début du cycle de la culture, il est souvent mentionné que la partie supérieure du sol est plus humide sous système de non labour ou de labour simplifié en comparaison avec le labour conventionnel. En d'autres termes, ces systèmes permettent une conservation d'eau dans le sol pour permettre à la culture d'échapper à des déficits hydriques. Cet état hydrique du sol peut être bénéfique pour la germination et la croissance de la culture. Les systèmes de labour de conservation provoquent une diminution de la température de la partie superficielle du sol et favorisent une meilleure rétention de l'eau dans le sol. Plusieurs chercheurs ont signalé une meilleure utilisation d'eau par les cultures en semis direct résultant en rendements plus élevés. Les avantages des labours de conservation dans le contrôle de l'érosion hydrique et éolienne sont universellement reconnus, excepté certaines zones. Les changements dans les propriétés chimiques sous les systèmes de labours réduits se resument en une teneur élevée en matière organiquee, en azote total, en aluminium et manganese echangeables, en un niveau élevé en phosphore et potassium assimilables et en nitrates, et en une baisse de pH en surface. Ainsi, du fait de la non ou la faible manipulation du sol, ces propriétés tendent vers celles des sols sous paturage permanent. Les changements biologiques sous ces systèmes se manifestent par l'apparition de nouvelles espèces de mauvaises herbes particulièrement les espèces pérennes, l'augmentation de la population de la faune et de l'activité microbienne du sol en surface, une dénitrification accentuée et des taux de nitrification faibles. En plus, il a été rapporté une meilleure réponse de la culture sous ces systèmes et particulièrement dans les sols à texture moyenne à grossière et à drainage externe possible ou modéré.

ملخص

في معظم أنحاء العالم، تقنية الزرع المباشر عرفت تطورا سريعا وذلك الأغلبية المزروعات، إن هذا النوع من استخدام الأرض له انعكاسات إيجابية على خاصيات التربة. لقد تبين من خلال هذا البحث أنه بهذه الطريقة الجديدة يتمكن من اقتصاد الماء بكثرة بالمقارنة مع طرق أخرى للحرث العميق أوغيره، لقد استخلص أيضا أن من رواسب هذه الطريقة، انخفاض حرارة القسرة السطحية للتربة، ارتفاع قدرة التربة على الإحتفاض بالماء مدة أطول يرخص للمزروعات اجتناب المراحل الجافة، كما استشهد من طرف بعض الباحثين أنه يمكن رفع المحاصيل من المزروعات بهذه الطريقة وذلك في معظم أنواع التربة. التغييرات الحاصلة في الخاصيات الكيميائية للتربة باستعمال الزرع المباشر تتلخص في انخفاض (PH) ارتفاع المعاسات الكيميائية للتربة باستعمال الزرع المباشر تتلخص في انخفاض (PH) ارتفاع الفوسفوروالبوتاسيوم والمانغانيز والألومنيوم. أما بالنسبة للتغيرات البيولوجية فتتلخص خاصة في ظهور بعض الأعشاب المضرة، إرتفاع الحيوية البيولوجية للتربة سطحيا، انخفاض ضئيل في النترتة.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AL-DARBY, A.M. and B. LOWERY. 1984. Conservation Tillage: A comparaison of methods. Agricultural Engineering. 65(10): 23-24.

ALLMARAS, R.R.; W.C. BURROWS; and W.E. LARSON. 1964. Early growth of corn as affected by soil temperature. Soil Sci. Soc. Am. P. 28: 271-275.

ALLMARAS, R.R; S.C. GUPTA; J.L. PIKAL and C.E. JOHSON. 1979. Tillage and plant residue management for water erosion control on agricultural land in Eastern Oregon.
J. Soil and Water Cons.. 34 (2): 85-90.

ALLMARAS. R.R; P.W. UNGE, and WILKINS, D.W. 1958. Conservation tillage systems and soil productivity. In. Soil Erosion and Crop Productivity. FOLLETT, R.F. and B.A. STEWART (EDTS). ASA., SSSA Inc. Madison, Wisconsin, USA. p: 357-412.

BARNES, R.L.; THOMAS. G.W. and P.L. CORNELIUS. 1977. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certains soil porperties after 5 years of continuous corn.

Ag. J. 69:383-386.

BLEVINS, R.L.; L.W. MURDOCK; and G.W. THOMAS. 1978. Effect of lime application on no-tillage and conventionnally tilled corn. Agr. J. 70:322-326.

BLEVINS, R.L.; M.S. SMITH; G.W. THOMAS and W.W. FRYE. 1982. Influence of conservation tillage on soil properties. J. Soil and Water Cons. 301-305.

BLEVINS, R.L.; G.W. THOMAS; M.S. SMITH; W.W FRYE and P.L. CORNELUIS. 1983. Change in soil properties after 10 years continuous no-tilled and conventionally tilled corn. Soil & Tillage Res. 3:135-146.

BODET, J.M. et FOURBET, J.F. 1976. Incidence de la simplification du travail du sol sur le devenir du phosphore et du potassium. In. Simplification du travail du sol en production céréalière. ITCF, 7 Dec - 8 Dec, 1976. p. 167-187.

BOIFFIN, J.; M. SEBILLOTTE et F. COUVREURE. 1976. Incidence de la simplification du travail du sol sur l'élaboration des rendements du blé et du maïs. In. Simplification du travail du sol en production céréalière. ITCF, 7 Dec-8Dec, 1976. p: 239-280.

BOUZZA, A. 1990. Water conservation in wheat rotations under several management and tillage systems in semi-arid areas. Ph. D. Dissertation. Univer sity of Nebraska, Lincoln, 125p.

BRODER, M.W.; J.W. DORAN; G.A. PETERSON and C.R. FENSLER. 1984. Fallow tillage influence on spring populations of soil nitrifiers, denitrifiers, and available nitrogene. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:1060-1067.

BURLER, D.D., B.D PHILBROOK, and E.S. OPLINGER. 1990. Vevetleaf and Giant Foxtail control for solid-seeded soybean production in three tillage intensities.

J. Prod. Agric. 3: 302-308.

BURWELL, R.E. and W.E. LARSON. 1969. Infiltration as influenced by tillage induced random roughness and pore space. Soi Sci. Soc. Amer. Proc. 33:449-452.

CAMPBELL, R.B.; T.A. MATHNEY, P.G. HUNT and S.C. GUPTA. 1979. Crop residue requirements for water erosion control in sex Southern states. J. Soil and Water Cons., 34(2): 83-85.

CAMPBELL, D.J.; DIKSON, J.W.; B.C. BALL; and R. HUNTER. 1986. Controlled seed-bed traffic after ploughing or direct drilling under winter barley in Scotland, 1980-1984. Soil Tillage Res., 8: 3-28.

CANNELL, R.Q., and J.R. FINNEY. 1973. Effects of direct drilling and reduced cultivation on soil conditions for root growth. Outlook on Agriculture 7:184-189.

CANNELL, R.Q., D.B. DAVIES, D. MACKNEY, and J.D. PIDGEON. 1978. The suitability of soils for sequential direct drilling of combine-harvested crops in Britain: a provisional classification. Outlook on Agriculture 9: 306-316.

CHAN, K.Y.; J.A. MEAD and E.P. ROBERTS. 1987. Poor early growth of wheat under direct drilling.

Aust. J. Agric, Res. 38:791-800.

CHRISTENSEN, N.B.; L. GILL and W.C. LINDMANN. 1990. Nitrogen dynamics in conventional till vs no-till. p: 137-144. In Proceedings of Great Plains Soil Fertility conference, March 6-7; 1990, Denver, Colorado.

CORNISH, P;S; 1987. Effect of direct drilling on the phosphorus uptake and fertilizer requirements of wheat.

Aust. J. Agric. Res. 38: 775-790.

DALAL, R.C. 1989. Long-term effects of no-tillage, crop residue, and nitrogene application on properties of a Vertisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1511-1515.

DALRYMPLE, A.W.; S.D. MILLER, and K.J. FORNSTROM. 1988. Soil water storage under three fallow systems in Wyoming. p: 154-156. In: Proceedings of the International Conference on Dryland Farming. Challenges in Dryland Agriculture. A Global Perspective. August 15-19, 1988. Amarillo/Bushland, Texas USA.

DERPSCH, R.; N. SIDIRAS and C.H. ROTH., 1986. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage in Parana, Brazil.

Soil & Tillage Res., 8:253-563.

DICK, W.A.; and D.M. VanDOREN, Jr. 1985. Continuous tillage and rotation combination effects on Corn, Soybean and oat yields. Ag.J. 77:459-465.

DORAN, J.W. 1980a. Microbial changes associated with management with reduced tillage.

Soil Sci. Soc. Am. J. 44:518-524.

 $\rm DORAN,\ J.W.\ 1980b.$ Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage.

Soil Sci. Soc. Am. J. 44:765-771.

DOWDELL, R.J.; and R.Q. CANNELL. 1975. Effect of ploughing and direct drilling on soil nitrate content.

I. Soil Sci. 26:53-61.

DOWDELL, R.J.; R. CREES; and R.Q. CANNELL. 1983. A field study of effects of contrasting methods of cultivation on soil nitrate content during autumn, winter and spring.

J. Soil Sci. 34: 367-379.

DOUGLAS, J. T., GOSS, M.J. and HILL, d. 1980. Measurements of pores characteristics in a clay soil under ploughing and direct drilling, including use of a radioactive tracer (Ce 144) technique Soil & Tillage Res., 1:11-18.

ELLIOTT, L.F.; V.L. COHRAN; and R.I. PAPENDICK. 1981. Wheat residue and nitrogen placement effects on wheat growth in the greenhouse. Soil Sci. 131: 48-52.

ELLIOTT, L.F.; and J.M. LYNCH. 1985. Plant growth-inhibitory pseudomonas colonizing winter wheat (Triticum aestivum, L.). Plant Soil 84: 57-65.

EHLERS, W. 1975. Observations on earthworm channels and infiltration on tilled and untilled loess soils. Soil Sci. 119:242-249.

ELKINS, C.B.; D.L. THURLOW; and I.G. HANDRICK. 1983. Conservation tillage for long term amelioration of plow pan soils. J. Soil Water Conserv. 38: 305-307.

PREDERICKSON, J.K.; KOCHLU, F.E.; and H.H. CHANG. 1982. Availability of 15N- Labelled nitrogen in fertilizer and in wheat straw to wheat in tilled and no-till soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 46:1212-1222.

GANTZER, G.J. and G.R. BLAKE. 1978. Physical characteristics of Le Sueur clay loam soil following No-till and Conventional Tillage. Agr. J. 70:853-857.

GERIK, T.J; and J.E. MORRISON , Jr. 1984. No-tillage of grain Sorghum on a shrinking clay soil. Agr. J. 76:71-76.

GOLABY, M.H.; D.E. RADCLIFFE; W.L. HARGROVE.; E.W. TOLLNER, and R.L. CLARK. 1988. Influce of long terms no-tillage on physical properties of an Ultisol. In Southern conservation Tillage conference. Special Bult. N° 88-1. Mississipi Agr. and Forestry Exp. Station. Tupelo, MS. USA.

GOODIN, J.R. and D.K. NORTHINGTON, 1985. Plant Resources of Arid and Semi-Arid Lands, A Global Prespective. Academic Press, NY, 338p.

GRANT, R.F.; R.C. IZAURRALDE, and D.S. CHANASYK. 1990. Soil temperature under conventional and minimum tillage: Simulation and experimental verification. Can. J. Soil Sci. 70:289-304.

GREB, B.W.; A.L. BLAKE; and D.E. SMIKA. 1970. Water conservation with stubble mulch fallow.
J. Soil Water Conserv. 35:230-233.

GRIFFITH. D.R.; J.V. MANNERING, H.M. GALLOWAY; S.D. PARSONS and C.B. RICHEY 1973. Effect of eight tillage-planting systems on soil temperature, percent stand, plant growth and yield of cornon five Indiana Soils.

Agr. J. 65:321-326.

GUPTA, S.C.; C.A. ONSTAD and W.E. LARSON. 1979. Predicting the effects of tillage and crop residue management on soil erosion. J. Soil and Water Cons., 34(2): 77-79.

GUPTA, S.C; J.K. RADKE and W.E. LARSON. 1981. Predicting temperatures of bare and residue covered soils with and without a corn crop. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 405-412.

GUPTA, S.C.; W.E. LARSON and D.R. LINDEN. 1983. Tillage and surface residue effects on Soil Upper Boundary temperature. Soil Sci. Soc. Am. J. 47:1212-1218.

GUPTA, S.C.; W.E. LARSON and R.R. ALLMARAS. 1984. Predicting soil temperature and soil heat flux under different tillage-surface residue conditions.

Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 223-232.

HAIRSTON, J.E.; J.O. SANFORD; J.C. HAYES and L.L. RIENSHMIEDT. 1984. Crop yield, soil erosion and net returns from tillage systems in the Mississippi blackland prairie.

J. Soil Water Cons. 39: 391-395.

HAIRSTON, J.E.; W.F. JONES; P.K. McCONNAUGHEY; L.K. MARSHALL and K.B. GILL. 1990. Tillage and fertilizer management effects on sybean growth and yield on three Mississippi soils. J. Prod. Agric. 3(3): 317-323.

HARGROVE, W.L. 1985. Influence of tillage on nutrient uptake and yield of corn.

Agr. J. 77:763-763.

HARGROVE, W.L.; J.E.BOX; D.E. RADCLIFFE, J.W. JOHNSON; and C;S ROTHROCK. 1988. Influence of long terms no-tillage on crop rooting in an Ultisol. In Southern conservation Tillage conference. Special Bult. N°88-1. Mississipi Agr. and Forestry Exp. Station. Tupelo, MS. USA.

HAYNES, R.J. 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Academis Press, NY, 460p.

HINES, J.W. 1986. Measurement and modeling of soil hydraulic conductivity under different tillage systems. M. Sc. Thesis. University of Minnesota. 211p.

KELLS. J.J.; R.L. BLEVINS, C.E. RIECK, and W.M. MUIR. 1980. Effect of pH, nitrogene, and tillage on weed control and corn (Zea mays) yield. Weed Sci. 28:719-722.

KITUR, B.K.; M.S. SMITH; R.L. BLEVINS and W;W FRYE. 1984. Fate of 15N- depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn.

Agr. J. 76:240-242.

KLADIVKO, E.J.; D.R. GRIFFITH and J.V. MANNERING. 1986. Soil water conservation under zero- and conventional tillage systems on the canadian prairies.

Soil & Tillage Res. 8: 277-288.

KLEINENDORST,A. and R. BROUWER. 1972. The effect of local cooling on growth and water content of plants.

J. Agric. Sci. 20: 203-217.

KOSKINEN, W.C,. and C.G. McWHORTER. 1986. Weed Control in conservation tillage.

J. Soil water Conserv. 41:365-370.

LAL, R. 1976. No-tillage effects on soil properties under different crops in Wstern Nigeria.

Soil Sci. Soc. Am. J. 40:762-768.

LANGLET, B et REMY, J.C. 1976. Incidence de la simplification du travail du sol sur la dynamique de l'azote. In simplification du travail du sol en production céréalière. ITCF, 7 Dec- 8 Dec, 1976. p: 189-204.

LARSON, W.E. and OSBORNE, G.J. 1982. Tillage Accomplishment and Potential. In Predicting Tillage Effects on soil Physical Properties and Processes. Unger. P.W and Van Doren, Jr. D.M.(Eds.) ASA Special Publication Number 44.p: 1-11.

LINDSTROM, M.J.; W.B. VOORHEES, and G.W. RANDALL. 1981. Long-term tillage effects on interrow runoff and infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 945-948.

LINDSTROM. M.J; W.B. VOORHEES, and C.A. ONSTED. 1984. Tillage system and residue cover effects on infiltration in northwestern Corn Belt soils.

Journal of soil and water conservation. p: 64-68.

LINN, D.M.; and L.W. DORAN. 1984. Effect of water filled pore space on carbone dioxide and introus oxide production in tilled and nontilled soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 1261272.

Mc GREGOR, K.C.; J.D. GREEN and G.E. GARLEY. 1975. Erosion control with notill cropping pratices. Trans. ASAE. 18:918-920.

MANNERING, R. and C.R. FENSTER. 1983. What is conservation tillage. J. Soil and Water Cons. 38:141-143.

MEYER, L.D.; W.H. WISCHMEIR, and G.R. FOSTER. 1970. Mulch rates required for erosion control on steep slopes. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 34: 928-931.

MORNIER, G; P. STENGERL; et J.M. BODET. 1976. Conséquences de la répartition des matières organiques sur le comportement du sol. In. Simplication du travail du sol en production céréalière. ITCF, 7 Dec-8Dec, 1976.p: 153-165.

MOSCHLER, W.W.; D.C. MARTENS; and G.M. SHEAR. 1957. Residual fertility in soil continuously field cropped to corn by no-tillage and conventional methods.

Agr. J. 67:45-48.

OJENIYI, S.O. 1986. Effect of zero tillage and disc ploughing on soil water, Soil temperature and growth and yield of Maize (Zea mays L.). Soil & Tillage Res., 7:173-182.

PHILLIPS, R.E.; R.L. BLEVINS; G.W. THOMAS; W.W. FRYES; and S.H. PHILLIPS. 1980. No-tillage agriculture. Science 208: 1108-1113.

PIDGEON,J.D. and ., J.M. RAGG. 1979. Soil, climate and management options for direct drilling cereals in Scotland. Outlook on Agriculture. 10(1):49)55.

POTTER, K.N; R.M. CRUSE and R. HORTON. 1985. Tillage effects on soil thermal properties.
Soil Sci. Soc. Am. J. 49:968-973.

RADCLIFFE, D.E.; E.W. TOLLNER; W.L. HARGROVE, R.L. CLARK and H.H GOLABI. 1988. Effect of tillage practices on infiltration and soil strength of a typic Hapludult soil after Ten years. Soil Sci; Soc. Amer. Proc. 52:798-804.

REEVES, T.G. and A ELLINGTON, 1974. Direct drilling experiments with wheat. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 14: 237-240.

ROTH, C.H; B, MEYER; H.G. FREDE and R. DERPSCH, 1988. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil properties of an Oxisol in Parana, Brazil.

Soil & Tillage Res., 11:81-91.

SHEAR, G.M. and MOSCHLER, W.W. 1969. Continuous corn by no-tillage and conventionnel tilled methods. Can. J. Soil Sci. 67:445-456.

SIEMENS, K.C; and W.R. OSCHWALD. 1976. Erosion for corn tillage systems.

Trans. ASAE. 19:69-72.

SLACK, C.H.; R.L. BLEVINS. and C.E. RIECK. 1978. Effect of soil pH and tillage on persistence of simazine. Weed Sci. 26: 145-148.

SMIKA, D., and P.W. UNGER. 1986. Effect of surface residue on soil water storage. p:11-138. In B.A. Stewart (ed). Advances in Soil Science, Vol, 5 Springer-valage, Inc.NY.

SMIKA, D. 1990. Fallow management practices for wheat production in the Central Great Plain.

Ag. J. 82:319-323.

STEWART, K.A and R.J. SUMMERFIELD. 1978. Effect of root temperature on floral morphology in Cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) CVK 309.

Plant Soil. 49: 443-448.

STOBBE, E.H. 1979. Tillage practices on the canadian prairie. Outlook on Agriculture. 10(1): 21-32.

TOLLNER, E.W.; W.L. HARGROVE, and G.W. LANGDALE. 1984. Influence of conventional and no-till practices on soil physical properties in the southern Piedmont.

J. of Soil and Water Conservation. p: 73-76.

THOMAS, G.W. 1985. Managing Minimum-Tillage Fields, Fertility and Soil Type. In Weed Control in Limited-Tillage Systems. A.F. Wiese (Editor). Monograph Series of the Weed Science Society of America N° 2. p: 211-226.

TRIPLETT, G.B.; D.M. VAN DOREN, Jr AND B.L. SCHMIDT. 1968. Effect of cron (Zea mays L.) stover mulch on no-tillage, corn yield and water infiltration.

Agr. J. 60: 236-239.

U.S. DEPARTEMENT OF AGRICULTURE, OFFICE OF PLANNING AND EVALUATION. 1975. Minimum Tillage: A Preliminary assessment.

VAN DOREN, D.M. Jr; G.B. TRIPLETT, Jr AND J.E. HENRY. 1976. Influence of long term tillage, crop rotation and soil type combination oncorn yield.

Soil Sci. Soc. Am. J. 40: 1005-105

WAGGER, M.G.; AND H.P. DEUTON. 1989. Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 53: 1206-1210.

WAX, L.M., W.R. NAVE, and R.L. COOPER. 1977. Weed control in narrow and wide-row soybeans. Weed Sci. 25: 73-78.

WHITE, R.P., J.A. IVANY, AND J.R. ANMAN. 1986. Inexpensive no-till attachment for a two-row corn planter. Can. J. Plant. Sci. 66: 785-788.

YOUNG, Jr. H.M. 1982. No-tillage farming. LESSITER, D. (Edt). No-Till Farmer, Inc. Brookfield, WI, USA. $202\ p$.