

Impact de l'intensification agricole sous irrigation sur la qualité physique du sol

Oussible* M. et Bourarach E.**

**Professeur, Dpt. Production, Protection et Biotechnologies Végétales, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV), Rabat, Maroc*

*** Professeur, Dpt. Energie et Agroéquipements IAV Hassan II, Rabat, Maroc*

Dès l'indépendance, la politique agricole marocaine s'est orientée vers une agriculture intensive sous irrigation. L'Etat a, en effet, déployé de gros efforts d'investissement pour édifier une grande capacité de stockage des eaux. Actuellement, 1,3 million d'hectares sont irrigués. La contribution de ce secteur irrigué au développement de l'agriculture marocaine est très importante. Durant une année moyenne, il contribue avec 45 % du PIB agricole et 75 % en année de sécheresse. Il produit 30 % de la production agricole nationale et 75 % des exportations agricoles.

Les retombées de cette mise en valeur intensive sous irrigation sur la production agricole aussi bien pour assurer la sécurité alimentaire que pour l'exportation, est remarquable. Des améliorations relativement importantes des rendements des cultures ont été réalisées. De nouvelles cultures consommatrices d'eau comme les cultures sucrières, oléagineuses et le riz, ont été introduites. Il y eut également introduction de nouvelles races améliorées du cheptel bovin laitier qui a imposé l'intensification de systèmes de cultures fourragères.

Cependant, les avantages de cette mise en valeur agricole sous irrigation en zone méditerranéenne, sont souvent accompagnés de conséquences néfastes, parfois irréversibles, sur la qualité des sols agricoles. En effet, la dégradation de la qualité des sols qui peut être physique, chimique et/ou biologique, peut affecter sérieusement la durabilité de production de ce système intensif d'exploitation des sols. Au Maroc (Tadla, Doukkala, Gharb,...etc), plusieurs études et projets (Soudi et al., 1991, Badraoui et al., 1998, Badraoui et al., 2000, et Mrabet R, 2006) se sont intéressées à l'impact de l'agriculture sous irrigation sur la qualité des sols comme la dégradation de la matière organique, la salinisation et la sodicité des sols, l'acidification et la pollution des sols et des eaux. Plusieurs manifestations, workshops et séminaires ont permis de synthétiser et de dresser le bilan de ces travaux ayant concerné surtout la qualité chimique des sols et son évolution. L'objectif de la présente étude est de faire un tour d'horizon sur l'aspect physique de cette qualité des sols soumise à l'intensification des systèmes de production agricole pratiqués dans les zones irriguées. Différents travaux de recherche se sont intéressés à l'impact de l'irrigation, la mécanisation et les autres pratiques culturales comme le travail du sol, la récolte et le traitement phytosanitaire, sur la réaction évolutive de la composante physique des sols qui s'est traduite par une dégradation conduisant à une instabilité structurale et/ou un tassement au niveau du profil (Bryssine, 1961; Oussible 1977; Mathieu+, 1978; Oussible 1985; Oussible et Hilali 2000). Durant les 3 dernières décennies, le tassement du sol surtout en profondeur est devenu un sérieux problème agronomique dans les sols irrigués au Tadla, Gharb, Doukkala, et Moulouya. Au Tadla, depuis l'arrêt de l'opération «scarifiage» réalisée par l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Tadla (ORMVAT), le tassement en profondeur

n'a fait que s'intensifier, Un programme de recherche au champ (Ben Leghli, 1982; Maataoui, 1983; Oussible et Crookston, 1987) conduit pendant 6 années (1982 à 1987) sur les sols châtaîns et bruns (limono-argileux), a montré une dégradation de la structure en profondeur du profil résultant d'une vingtaine d'années d'intensification de systèmes de cultures, de type céréale-betterave, et céréale-betterave-fourrage, sous irrigation gravitaire. Sous ces systèmes de production, la gestion irrationnelle des différentes techniques de conduite des cultures assolées, combinée à la mécanisation, un travail du sol réalisé exclusivement par des outils à disques, la mauvaise gestion des résidus organiques et la remontée de la nappe d'eau salée, ont conduit à une instabilité de la structure des sols, devenue par la suite vulnérable à toute utilisation non raisonnée par les intéressés des filières de productions agricoles. L'horizon en profondeur du profil ainsi altéré, est généralement localisé entre 0,18 et 0,38 m de profondeur. Dès les années quatre-vingt, le niveau de compacité de cet horizon tassé, a atteint un niveau de tassement qui s'approchait du seuil critique pour la production des cultures assolées dans la région. Les mesures effectuées ont mis en évidence les caractéristiques suivantes: une densité apparente supérieure à $1,5 \text{ Mg/m}^3$, une résistance mécanique à la pénétration comprise entre 2.0 et 3.3 MPa et une porosité de l'air inférieure à $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^3$, soit une réduction de 36 à 38%. Récemment (Oussible M. 2007), des mesures réalisées au Tadla, ont révélé que cette situation ne s'est pas améliorée. Des densités mesurées dans des champs de betterave faisant partie de rotations de type céréales-betterave avec une année sur 2 du maïs fourrage dérobé après betterave, ont montré des valeurs comprises entre 1,57 et $1,61 \text{ Mg/m}^3$ et des macroporosités inférieure à $0,08 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Ce sont là des conditions critiques, néfastes qui entravent l'infiltration de l'eau, limitent le flux O_2/CO_2 au niveau de la rhizosphère et limitent aussi bien la longueur que la masse racinaire qui se trouvent réduites de 20 à 36%. La plante s'est ainsi retrouvée avec un système racinaire assez superficiel: entre 0 et 0,18 m. Ce qui limite l'exploration par les racines d'un grand volume de sol afin d'alimenter la culture en eau et éléments nutritifs surtout en conditions hydriques limitantes, Ces cultures deviennent ainsi sensibles à la sécheresse et ne supportent plus les périodes de déficit hydrique prolongé. Le suivi de la croissance (Oussible, 1985) des systèmes racinaires des cultures en succession dans cette région, a confirmé l'existence de ces accidents structuraux comme contraintes à la production agricole (Bel Hadfa, 1978; Jouve et Oussible, 1979; Oussible et Crookston, 1987; Oussible et al. 1993; Oussible et Hilali 2000, Oussible et al. 2004 et Oussible 2007). En utilisant l'azote marquée par l'isotope N15, placé en dessous de la zone tassée, Oussible et al. 1993, ont démontré que l'absorption de l'azote, par le blé tendre et le blé dur, a été significativement réduite par rapport à un profil témoin non tassé.

Afin de trouver des explications et des solutions à cette détérioration de la structure, un programme de recherche a été conduit de 1983 à 1989. Les résultats escomptés ont montré que le passage des outils à dents tel que le chisel lourd «scarificateur» ou le sous-soleur, a permis de briser cette zone du profil altérée par le tassement, restructurant ainsi de façon stable et homogène les profils touchés par cette dégradation de la structure. Les mesures effectuées au champ (Oussible, M et R K Crookston 1987) après un sous solage réalisé, à une profondeur de 0,50 à 0,70 m, à un écartement entre les dents de 0,40 m et à une humidité de 0,10 à 0,18 kg/kg (état friable), ont mis en évidence une nette amélioration de l'état structural du sol. C'est ainsi que la densité apparente a été réduite de 10 à 18 % par rapport à un profil non sous solé; (Tableau. 1). La résistance mécanique à la pénétration a été considérablement réduite respectivement de 25, 45, 30 et 54 % durant la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} année d'expérimentation (Tableau 2) (Oussible, M. 1988). Le volume du sol permettant la circulation de l'air et l'infiltration de l'eau (porosité de l'air) a été largement augmenté de 30 à 50%. La réserve en eau du sol, a été augmentée par l'amélioration du taux d'infiltration de l'eau des pluies, des irrigations d'appoint et/ou par des remontés capillaires.

Tableau. 1: Effet du sous-solage sur certains paramètres physiques du sol (exprimés en %) dans le Tadla (Oussible et Crookston, 1987)

Année Paramètre	1982-83	1983-84	1988-89	1990-91
Densité apparente	-11	-13	-14	-11
Porosité totale	+17	+18	+20	+16
Porosité de l'air	+50	+48	-	+40

Tableau. 2: Effet du sous-solage sur la résistance mécanique du sol (exprimée en %) dans le Tadla (Oussible et Crookston 1987)

Année Profondeur (m)	1982-83	1983-84	1988-89	1990-91
0,25-0,30	-46	-41	30	-36
0,30-0,35	-45	-42	-40	-38
0,35-0,40	-30	-30	-54	-40
0,40-0,45	-33	-25	-32	-35

Le système racinaire des 2 cultures betterave et blé a réagi très favorablement à la disponibilité dans le profil de ces facteurs et conditions de croissance (aération, alimentation hydrique et minérale, etc). Aussi bien la longueur que la masse racinaire ont été augmentées de 13 à 24%. La plante s'est ainsi retrouvée avec un système racinaire assez dense et profond ayant une distribution qui a permis une colonisation et une exploration d'un grand volume du profil.

Suite à la création de ces bonnes conditions édaphiques, le blé tendre a enregistré une amélioration de rendement en grains de 32, 31, 63 et 24 %, respectivement durant la 1^{ère}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} année d'expérimentation. L'amélioration la plus importante (63%) a eu lieu durant l'année à faible pluviométrie.

La betterave à sucre a connu une augmentation moyenne du rendement en racines de 23 % (69,5 t/ha contre 56,6 t/ha dans la parcelle témoin). Ces résultats montrent également que la structuration créée par le sous solage dans les sols châtains et bruns, a persisté durant au moins les 4 années d'expérimentation qui ont suivi l'exécution de cette opération très bénéfique.

Parmi les autres périmètres irrigués qui ont attiré notre attention sur les risques de la dégradation de la qualité physique des sols suite à la mise en valeur intensive développée au Gharb dès le début des années soixante par l'introduction et l'extension, rapide de l'irrigation et de nouvelles cultures comme la canne à sucre, la betterave à sucre le riz le coton, le tournesol etc. C'est à partir de 1976 que des programmes de recherche concernant l'impact de cette intensification sur la qualité physique du sol, ont été entrepris: sur la canne à sucre (Jouve et Oussible 1979), sur les céréales (Oussible et Bourarach. 1998) et sur la betterave et le tournesol (Oussible et Hilali, 2000). Les études de diagnostic menées au Gharb dès 1976, ont montré que:

1) la circulation d'engins de transport des cannes comme les tracteurs tirant des remorques et/ou de camions chargés de 3 à 6 tonnes de cannes lors de la récolte de printemps. Cette dernière qui s'effectue généralement de Janvier-Février à Juin-Juillet, coïncide donc avec des conditions édaphiques humides comme le cas de cette année (2009). Ces passages d'engins donnent lieu à la formation d'ornières entre les lignes de canne et y créent un tassement localisé au niveau des sillons empreintes par ces engins;

2) Les travaux de préparation du sol en vue de l'installation des cultures de printemps comme le coton et le tournesol ainsi que la plantation de certaines parcelles de canne, se situent

généralement durant la saison pluvieuse (Février à Mai). Ainsi, l'utilisation en conditions humides, des seuls outils à disques comme la charrue et les pulvérisateurs (ex. cover-crop) ont eu des conséquences néfastes sur la structure du sol. Cet impact négatif est généralisé à la totalité de la surface du champ.

Sachant que la canne à sucre a un système racinaire fasciculé assez superficiel (en général plus de 50% des racines sont localisés à une profondeur inférieure à 0,25 m). Du fait de cette position superficielle, ce système racinaire est particulièrement vulnérable et sensible au tassement des horizons supérieurs du sol que peut provoquer la mécanisation.

Par ailleurs, une grande partie des sols où la canne est actuellement cultivée sont des sols alluviaux d'apport récent, argilo limoneux ou limono argileux du type «Dhess» ou «Ferchach», sont sensibles au tassement du fait de leur faible stabilité structurale. Les résultats escomptés ont montré que le tassement localisé aux sillons des ornières, a affecté la densité apparente mesurée dans la couche 0,15-0,20 m de profondeur du sillon qui a atteint 1.46 à 1.59 m³/m³. Quant à la macroporosité elle a été réduite jusqu'à 0,06 m³/m³ qui sont des valeurs critiques pour le développement et la croissance de la canne dans ce type de sol. Il ressort en effet que le tassement créé dans les sillons des ornières affecte la distribution des racines en réduisant leur extension latérale dès la zone intermédiaire située à 30 cm de la ligne de canne là où précisément la macroporosité a été fortement réduite. La partie aérienne a réagi par une forte production de tiges dans les lignes encadrées par les ornières que sur des lignes sans ornière avec un écart de 6 à 37%. Cependant, ce nombre plus important de tiges dans les lignes encadrées d'ornières n'a pu compenser le poids plus faible des tiges puisque le rendement moyen en canne a été diminué de 9 à 11% par la présence des ornières. Quant à l'impact négatif généralisé à la totalité de la surface du champ suite à la mauvaise préparation du sol lors de l'installation de la canne, les résultats ont mis en évidence la présence d'une couche de sol tassée allant de 0,10 à 0,50 m de profondeur, caractérisée par une forte densité apparente de 1,42 à 1,50 Mg/m³ et une faible macroporosité de 0,06 à 0,07 m³/m³ qui sont des valeurs critiques pour la croissance des racines de canne à sucre. En conséquence, la croissance des tiges a été fortement affectée par ce tassement. A 12 mois la hauteur des tiges n'était que de 55% de celle des tiges en situation non tassée. Le peuplement était voisin dans les deux stations, mais avec un nombre de cannes inférieures à 80 cm dans la station tassée (64% contre 27%) conduisant à une production de 48%. Ce dernier type de tassement est donc beaucoup plus préjudiciable que celui dû aux ornières qui ne touche que 20 à 30 % de la surface sachant que la propagation latérale du tassement est limitée. Les travaux menés par Bourarach (1994) dans la région du Gharb en 1990-92 par Dycker et Bourarach (1993) ont montré, dans des rotations céréales-légumineuses et ceux menés par Oussible et Bourarach (1998) en 1995 et 1996 dans les régions de Bel Ksiri, que les rendements en grains et en paille peuvent être maintenus à des seuils acceptables tout en diminuant le nombre de passages à l'installation de la culture de quatre à deux, voire de cinq à un passage dans certains cas. Cette diminution se traduit par moins de compaction, suite aux pressions moins élevées cumulées sur le sol et aux passages sur le sol à des états où il est moins vulnérable.

Pour lutter contre les effets pervers de l'intensification de l'agriculture et de l'utilisation non raisonnée de la mécanisation, plusieurs solutions existent:

- Travail du sol à des humidités optimales.
- Adoption de systèmes de conservation du sol.
- Utilisation de roues cages, roues jumelées, pneus à basse pression et/ou roues à diamètres proches pour les engins agricoles.
- Diminution du poids des engins par l'enlèvement des masses d'alourdissement et de l'eau des pneus à chaque fois qu'elles ne sont pas nécessaires.
- Combinaison ou association des outils.

Les travaux menés au Gharb sur la betterave monogerme, ont montré (Bourarach et Oussible, 1997) que:

- La charrue suivie de rotavator a créé de bonnes conditions de germination, de levée et de développement de la betterave monogerme;
- Le cover-crop ne semble pas être un bon outil de reprise du labour. Toutefois, il convient mieux à la reprise du chiselage;
- Le rotavator semble être un bon palliatif au cover-crop.

Dans le cadre du même programme (El Ghayam 1999), le suivi de l'élaboration du rendement de la betterave monogerme, installée après une pré-irrigation et conduite en irrigation gravitaire, a montré l'état structural sans compaction, créé par la charrue à disque (CD) et le chisel (CH) sont les plus favorables pour une croissance en longueur de la racine Ceci s'est traduit par un poids moyen par racine de 780 et 716g pour respectivement Charrue à disques (CD) suivie du rotavator (RT) et Chisel (CH) suivi du RT, et seulement 494g pour Slubble plow (SP) suivi du RT d'autre part, soit un écart maximum de 57%. Ce résultat s'est répercuté également sur le rendement racine qui a varié entre 79t/ha (CD-RT), et 63,5t/ha pour SP-RT. La réduction des nombres de passages pour la reprise diminue significativement les risques d'impact néfaste sur la qualité physique de ces sols à comportement argileux.

Le travail réalisé (El Bouchtaoui 2001) sur des sols à texture argileuse, a permis de confirmer les résultats trouvés par El Ghayam (1999).

Le choix des trains techniques est un élément essentiel dans l'atteinte des objectifs aussi bien agronomiques que techniques, mais il n'est pas le seul, le choix du mode opératoire adéquat des outils et le choix des conditions d'application telle que l'humidité du sol, sont déterminants pour la conservation du sol et de l'énergie. Un système de conservation du sol quelque soient ses performances ne peut être adapté et adopté dans toutes les situations. Il doit répondre aux exigences d'une production durable en relation avec les conditions pédo-climatiques du milieu et socio-économiques locales.

Les travaux menés au Gharb (Bourarach et Ducreux, 1994) ont montré que l'humidité optimale pour le travail du sol, qui théoriquement est comprise entre la limite de retrait (W_r) et de plasticité (W_p), se trouve restreinte avec l'introduction de la mécanisation et son intensification (tableau 3).

Tableau 3: Limites de plasticité et de retrait et humidités critiques (kg/kg) pour les quatre principaux type de sol du Gharb pour deux niveaux de mécanisation

Paramètre Type de sol	W_r	W_p	Humidité critique	
			Mécanisation moyenne	Forte Mécanisation
Dehs grossier	16,1	30,8	28	22
Ferchach	14,6	38,9	35	28
Tirs	9,6	37,3	35	27
Dehs fin	14,2	25,0	24	18

Ainsi, pour un dehs grossier, la limite supérieure de l'humidité, passe de 30,8 à 28 % pour une mécanisation moyenne et à 22% pour une forte mécanisation. Ceci veut dire que l'on perd 2,8 et 8,8% d'intervalle d'humidité pour ces deux niveaux de mécanisation. En d'autres termes, à mesure que le degré de mécanisation augmente avec l'intensification des systèmes de production agricole, le nombre de jours, disponibles pour travailler correctement les principaux sols du Gharb, diminue et le risque de dégradation de leur qualité physique augmente.

La faiblesse de la couverture végétale du sol, combinée à sa structure généralement fragile, le rend vulnérable aux actions des agents agressifs comme le vent et la pluie. Aujourd'hui, après

des années de dégradation, le sol porte en lui-même les germes de sa destruction: faible teneur en matière organique, faible stabilité structurale, forte densité apparente, faible macroporosité, tendance à la prise en masse, faiblesse des résidus en surface (Merzouk, 1985; Oussible, 1986; Nicou, 1974 et Oussible, 1993).

Un système de conservation du sol quelles que soient ses performances, ne peut être adapté et adopté dans toutes les situations. Il doit répondre aux exigences d'une production durable en relation avec les conditions pédo-climatiques du milieu et les conditions socio-économiques locales.

Une simulation basée sur les données d'une enquête et des essais menés au Gharb, montre que le coût unitaire du semis direct (application d'herbicide totale comprise) n'est inférieur aux autres trains techniques qu'au delà d'une superficie annuelle de 60 ha. Pour des superficies travaillées annuelles supérieures à 25 ha, les trains techniques utilisant des outils de travail profond comme la charrue à disques sont les plus coûteux.

Au terme de ce tour d'horizon de l'intensification de l'agriculture sous irrigation et son impact sur la qualité physique des sols, il ressort que sous les systèmes intensifs d'exploitation des sols actuellement adoptés et pratiqués en milieux irrigués, cette composante physique du sol est continuellement soumise à des pratiques culturales "modernes" qui maximisent la production agricole et le profit qui en découle, mais qui ont montré des retombées négatives sur le potentiel actuel de production et la durabilité de la productivité du sol qui peut atteindre des niveaux irréversibles. Il y a donc urgence:

- de sensibiliser tous les utilisateurs de ce système intensif très agressif, des conséquences néfastes qui se répercutent directement ou indirectement à moyen ou à long terme, sur l'appareil naturel de production agricole dans lequel le sol joue un rôle déterminant,
- de modifier les comportements "égoïstes" qui visent des profits maxima à court terme. Notre tour d'horizon, a montré que de telles approches dans la gestion de la production agricole ne sont pas durables et peuvent pousser le système à une stérilité irréversible.
- de rechercher et d'adopter de nouvelles approches de production intégrée qui combinent à la fois une production optimale et un profit durable.

Il est connu que la protection des ressources naturelles dont la qualité physique du sol, nécessite un effort de longue haleine. L'agriculteur de par son comportement et de par ses moyens financiers limités peut difficilement investir dans des projets de long terme. Pour cette raison, les pouvoirs publics devraient garantir l'introduction de systèmes de conservation par des subventions et des crédits ciblés, car les premières années ne sont pas toujours rentables. Une fois le processus amorcé et stabilisé, l'Etat aurait réussi une de ses déterminantes et importantes prérogatives.

Références bibliographiques

- BELHADFA, H. 1978. Réaction de l'enracinement de la betterave à sucre à différents états structuraux du profil. Mémoire de fin d'étude. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat.
- BADRAOUI M., AGBANI M. & SOUDI B. 2000. Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux' 2-3 Novembre
- BADRAOUI M., SOUDI B., MERZOUK A., FARHAT A. et MHAMDI A. (1998). Changes of soil qualities under pivot irrigation in Bahira region of Morocco: salinization. *Advances in Geocology*, 31, 503-508.
- BEN LAGHLID, M. 1982. Etude de la croissance et du tallage chez le blé dur et le blé tendre

en fonction des états structuraux du sol. Mémoire de fin d'étude. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat.

BOURARACH E.H., A. BOUZZA et M. NOUSFI. 1998: Développement d'un élément semoir direct pour le semis en sec. Hommes, Terre et Eaux, Vol. 28. N° 109. Rabat.

BOURARACH E.H.; M. OUSSIBLE. 1997: Machinery for tillage and planting systems in Morocco: traditions and research (Matériel de travail du sol et de semis au Maroc entre la tradition et la recherche). ASAE paper N°971091. Minneapolis.

BOURARACH, E.-H.; M. OUSSIBLE et A. FADIL. 1992: Caractérisation de l'action des outils sur la structure d'un vertisol. Hommes Terre et Eaux . Vol. 22. No. 86.

BRYSSINE, G. 1961. Etude sur l'évolution des sols des Beni-Amir et de leur salure sous l'effet des irrigations. Cahiers de la Recherche Agronomique n° 12 pp 71-109 Rabat.

DAHANE, D. 1992: Comparaison des trois semoirs commerciaux et un semoir expérimental. Mémoire de 3ème cycle IAV Hassan II. Rabat.

DYCKER, J. et E.H. BOURARACH, 1992: Energy requirements and performances of different soil tillage systems in the Gharb and Zaer region. Hommes Terre et Eaux . Vol. 22 No. 87.

EL BOUCHTAOUI M. 2001: Adaptation de nouvelles séquences de travaux du sol pour l'installation de la betterave à sucre monogérme au Gharb. Mémoire de 3ème cycle IAV Hassan II, Rabat. 167p.

EL GHAYAM A. 1999: Adaptation de nouvelles séquences de travail du sol pour améliorer l'installation de la betterave à sucre au Gharb (cas du système gravitaire). Mémoire de 3ème cycle IAV Hassan II, Rabat. 105p.

JOUVE, PH. et M. OUSSIBLE, 1979. Conséquences du tassement du sol sur l'enracinement et la production de plantations de canne à sucre dans le Gharb. Hommes Terres et Eaux Bull de l'ANAFID 91(32) 69-82 Rabat.

KACEMI M.; H. HILALI et G. MONROE. 1992: Effect of different tillage methods on bulk density, penetrability and aggregate size distribution on clay soil. Hommes Terre et Eaux Vol. 22, n° 86, mars 1992. 96-102.

MAATAOUI, A. 1983. Effet de profils différenciés sur le peuplement et le rendement du blé tendre au Tadla. Mémoire de fin d'étude. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat.

MATHIEU, C. 1978. Influence de l'irrigation sur quelques caractères fondamentaux des sols argileux des plaines du Maroc Orientales aspects morphologiques. Science du sol. Bull. de l'Association Française pour l'étude du sol. N°2 pp 95-112 Versailles.

MERZOUK, A. 1985. Relative erodability of nine selected moroccan soils as related to their physical, chemical and mineralogical properties. PhD. Thesis. University of Minnesota. St Paul. 124pp.

MRABET, R. 2006. Soil quality and carbon sequestration: Impacts of no-tillage systems. Options Méditerranéennes 69:43-55.

NICOU, R. 1974: Contribution à l'étude et l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux en zone tropicale sèche Ouest Africaine. Conséquences agronomiques. Agro. Trop. Vol XXIX No. 11: 1100-1126.

OUSSIBLE, M. 1977. Etude de l'effet du tassement du sol sur l'enracinement et la production de la canne à sucre dans le Gharb, Mémoire de fin d'étude, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat.

OUSSIBLE M. 1985. The effect of subsurface compaction on the nitrogen uptake, growth and yield of wheat. These de Doctorat Es-sciences Agronomiques. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat, Maroc.

- OUSSIBLE, M. 1986 Le travail réalisé par les outils à disques Conséquences de certaines conditions de leur utilisation au Maroc. *Hommes, Terres et Eaux*. Vol 16; 84: 48
- OUSSIBLE, M. 1988. Effect of subsoiling a compacted clay loam soil on the nitrogen uptake of wheat. *Proc. 11th Conf. Int. Soil Tillage Res. Org. Edinburgh*.
- OUSSIBLE, M. 2007 Enquête culturale sur la qualité physique des sols au Tadla. En cours de publication.
- OUSSIBLE M. E.H. BOURARACH. 1999: Amélioration des techniques d'installation des céréales d'automne en bour favorable. Rapport de synthèse. IAV/DPV. MADRPM. Rabat.
- OUSSIBLE, M.; P.R. ALLMARAS; R.D. WYCH and P.K. CROOKSTON, 1993. Subsurface compaction affects tillering and N accumulation in wheat. *Agron. J.* 85:619
- OUSSIBLE, M.; R.K. CROOKSTON and W.E. LARSON, 1992. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. *Agron. J.* 84:34-38.
- OUSSIBLE, M. and R.K. COOKSTON, 1987. Effect of subsoiling a compacted clay soil on growth, yield and yield components of wheat. *Agron. J.* 79: 882-686.
- OUSSIBLE, M. et HILALI 2000. Rapport de projet PSDA. Adaptation de nouvelles séquences de travaux du sol pour l'installation des cultures d'automne et de printemps au Gharb. ORMVA du Gharb Kénitra Maroc.
- OUSSIBLE, et al. 2004. Rapport de projet Amélioration de la qualité technologique de la betterave à sucre dans le Périmètre de la Moulouya. SUCRAFOR, ORMVA de Moulouya et Associations locales des betteraviers. Berkane et Zaïo Maroc
- WILLCOCKS, T.J. 1981: Tillage of clod-forming sandy loam soils in semi-arid climate of Botswana. *Soil Tillage Res.* 1: 323-350.