

Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc

Badraoui M., Agbani M. & Soudi B.

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat , Maroc

RESUME

Etant un pays essentiellement aride et semi-aride, la politique agricole du Maroc, depuis l'indépendance, s'est orientée vers l'intensification sous irrigation. Des 9.2 millions d'hectares de terres arables, seulement 14,5 % (1.35 millions) sont irrigables. Actuellement, 1 million d'hectares sont effectivement irrigués, le reste constitue le secteur d'agriculture pluviale dit «Bour». Si des efforts considérables ont été déployés pour stocker l'eau de ruissellement dans des barrages et de l'amener jusqu'aux parcelles des agriculteurs irriguants, l'efficacité d'utilisation du m³ d'eau reste relativement faible par rapport au potentiel de production. Des efforts pour l'amélioration de la productivité des terres sous irrigation sont entrepris dans les institutions de recherche agronomique en collaboration avec les offices régionaux de mise en valeur agricole.

Cependant, si la mise en valeur sous irrigation a conduit à une amélioration substantielle des rendements, elle a également induit dans certains périmètres une dégradation de la qualité des sols. Les effets les plus apparents concernent la salinisation secondaire, la perte de matière organique, la compaction et le drainage. Des études d'impact de l'irrigation sur la qualité des sols et des eaux sont en cours de réalisation. Le but poursuivi est la conception puis la mise en place d'un système de suivi de la qualité des sols à travers des indicateurs permettant d'évaluer la durabilité du développement agricole sous irrigation.

1. DONNEES DE BASE SUR LE DEVELOPPEMENT AGRICOLE AU MAROC

Situé à l'extrême nord-ouest de l'Afrique, le Maroc est un pays présentant de grandes variations écologiques. C'est un pays essentiellement aride et désertique (Tableau 1). Seul 7 % de la superficie totale (71 millions d'ha) présente un climat sub-humide à humide dans la partie extrême nord-ouest. La zone semi-aride, qui représente 15 %, couvre principalement les plaines et les plateaux intérieurs au nord et à l'ouest des montagnes du Haut et Moyen Atlas. La superficie encore boisée (forêts) ne représente plus que 7 %. Les conditions climatiques et le relief font que les parcours et les terres non cultivables couvrent 76 % de la superficie totale du pays. On estime actuellement que 30 000 ha de forêts disparaissent chaque année.

Tableau 1: Le Maroc, un pays essentiellement aride et semi-aride

Zone climatique	Part de la superficie totale (%)	Pluviométrie (mm/an)
Désertique-aride	78	< 250
Semi-aride	15	250-500
Subhumide-humide	7	> 500

La politique agricole du Maroc, depuis l'indépendance, s'est orientée vers l'intensification sous irrigation. Des 9.2 millions d'hectares de terres arables, seulement 14,5 % (1.35 millions) sont irrigables. Actuellement, 1 million d'hectares sont effectivement irrigués, le reste constitue le secteur d'agriculture pluviale dit « Bour ». Le secteur irrigué contribue largement au développement de l'agriculture marocaine. C'est ainsi qu'il contribue à hauteur de:

- 45 % du PIB agricole en année moyenne et 75 % en année sèche;
- 30 % de la production agricole nationale;
- 75 % des exportations agricoles et
- 35 % de l'emploi en milieu rural au Maroc.

L'importance du secteur irrigué peut également être mesurée par son impact sur la population rurale. Les zones irriguées concernent 800 000 exploitations agricoles. La taille moyenne de la famille rurale étant de 6 personnes, il y a donc 4,8 millions de personnes qui dépendent de ce secteur.

La production agricole dans le Bour est largement dépendante des conditions climatiques. La grande partie de ce secteur, 5 à 6 millions d'ha par an, est cultivée en céréales avec des rendements aléatoires oscillant autour de 12 quintaux/ha.

2. MOBILISATION DES RESSOURCES EN EAU POUR L'IRRIGATION

Vue l'aridité du climat, le Maroc a consenti de gros efforts en matière de mobilisation des eaux et d'équipement hydro-agricole. La capacité totale de stockage de l'eau a évolué de 2.34 milliards de m³ en 1967 à 14.3 milliards de m³ en 1997 à travers l'édification de 96 barrages dont 6 sont en cours de construction. La progression de stockage de l'eau projetée entre 1997 et 2020 n'est que de 1.2 milliards de m³ à cause de la non disponibilité de sites pour de grands barrages.

Actuellement, 9 milliards de m³ d'eau superficielle sont régularisés chaque année. Plus de 80 % de cette eau est utilisée pour l'irrigation. Le secteur irrigué au Maroc se divise en deux sous-secteurs: la grande hydraulique (GH) et la petite et moyenne hydraulique (PMH).

La grande hydraulique concerne 9 périmètres irrigués qui sont gérés chacun par un Office Régional de Mise en Valeur Agricole (ORMVA). L'évolution des superficies équipées est donnée par le tableau 2. A remarquer qu'avant l'indépendance, seulement 65 000 ha étaient irrigués; la moitié au Tadla (Beni

Amir) et la moitié au Gharb (Sidi Slimane). A partir de 1967, la politique de développement du secteur irrigué a connu un rythme d'équipement intense et qui a duré 15 ans. Entre 1965 et 1980 il y a eu une augmentation de 225 000 ha irrigués, soit un rythme moyen de 17 000 ha/an.

La petite et moyenne hydraulique a un potentiel irrigable de 844 400 ha dont 96 % en zones irriguées. Ce sous-secteur est réparti en 60 % par les eaux pérennes (oueds, sources et eau souterraines), 20 % par les eaux saisonnières (oueds à écoulement saisonnier) et 20 % par les eaux de crues qui naissent de dérivation de grands oueds lors des crues. Dans ce dernier cas, on parle de PMH par épandage des eaux de crues.

Tableau 2: La grande hydraulique dans les ORMVA du Maroc

Année	Superficie équipée (x 1000 ha)	Rythme moyen d'équipement (x 1000 ha/an)
1955	65	-
1960	97	6.4
1965	125	5.6
1970	185	15.0
1975	300	23.0
1980	380	16.0
1985	428	9.6
1990	460	6.4
1992	474	7.0

3. EAU ET PRODUCTIVITE

L'eau est un atout essentiel pour la sécurité alimentaire. Elle permet de garantir un revenu minimal aux agriculteurs, l'intégration aux marchés et la préservation des ressources naturelles. Le tableau 3 présente quelques chiffres qui montrent que le secteur de la grande hydraulique participe de manière significative à la production agricole nationale et à sa stabilité. L'essentiel des produits stratégiques, aussi bien pour la sécurité alimentaire que pour l'exportation, provient du secteur de la grande hydraulique. En période de sécheresse, celui-ci permet d'atténuer les à-coups de production.

Si l'état a fait de gros efforts d'investissement, en termes de capacité de stockage des eaux et d'équipement hydro-agricole, pour amener l'eau à la parcelle; il reste beaucoup à faire pour mieux valoriser cette eau. Les figures 1 et 2 montrent clairement qu'il n'y a aucune relation entre le rendement du blé et de la betterave et les quantités d'eau apportées par les agriculteurs dans la région du Tadla (MAEE, 1997).

Tableau 3: Place des périmètres irrigués en grande hydraulique dans la production agricole marocaine (MAEE, 1997).

Culture	Production Nationale (1988-93)		Production 'Grande Hydraulique'			
	Sup. (10 ³ ha)	Prod. (10 ³ t)	Sup. (10 ³ ha)	% total	Production (10 ³ t)	% total
Céréales	5020	5617	186	3.49	525	9.35
Légumineuses	322	237	11	2.41	16	5.71
Oléagineuses	251	132	13	6.82	25	19.05
Industrielles	146	3974	63	44.10	3189	80.24
Maraîchage	204	3672	46	22.53	900	24.51
Agrumes	74	1260	31	43.33	570	45.26
Olivier	410	479	33	8.88	127	26.48

La valorisation de l'eau d'irrigation en termes d'efficacité d'utilisation de l'eau est un critère important d'évaluation du bénéfice tiré de l'irrigation. Elle est considérée ici comme le rendement supplémentaire engendré par un m³ d'eau d'irrigation.

$$EUE = (\text{Rdt. Irrigué} - \text{Rdt. Bour}) / \text{Quantité d'eau d'irrigation en m}^3$$

En se basant sur les résultats présentés dans les figures 1 et 2 et en groupant les agriculteurs en 3 catégories de consommation d'eau, l'E.U.E a été calculée pour le blé et la betterave dans le Tadla (Tableau 4).

Tableau 4: Efficacité d'utilisation de l'eau dans le Tadla selon les classes d'apport d'eau pour le blé et la betterave (irrigation gravitaire) (MAEE, 1997).

	BLE			BETTERAVE		
	m ³ /ha	Rdt.(Qx/ha)	EUE (kg/m ³)	m ³ /ha	Rdt.(t/ha)	EUE (kg/m ³)
Classe 1	2011	36.8	0.84	4476	50.1	11.2
Classe 2	3376	39.7	0.58	7184	55.7	7.8
Classe 3	5685	36.6	0.29	12704	56.8	4.5

Par rapport au potentiel de production dans cette région (70 qx/ha de blé et 80 t/ha de betterave), le tableau 4 montre que à partir d'un certain niveau de rendement, l'eau n'est plus le facteur limitant de la production agricole. La plupart des agriculteurs enquêtés n'arrivent pas à extérioriser les rendements potentiels permis par l'irrigation et qui sont atteints par quelques uns parmi eux.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau peut également être mesurée en calculant la valorisation brute en dirhams/m³.

Valorisation brute = (marge brute + coût de l'eau) / quantité d'eau d'irrigation en m³

Le tableau 5 montre que la valorisation de l'eau est variable d'un périmètre à l'autre. Elle est en moyenne de 1.63 dh/m³. Cette valeur relativement faible ne permet pas aux producteurs d'être compétitifs dans le marché vis à vis des produits importés. Malgré un tarif de l'eau relativement élevé dans le Souss-Massa par rapport aux autres périmètres la valorisation brute de l'eau est la plus élevée en raison de la prédominance des cultures maraîchères destinées à l'exportation et donc plus rémunératrices. C'est le cas des autres périmètres également. En général, la valorisation de l'eau du réseau est inversement proportionnelle au volume d'eau apporté. Suite à la suppression des subventions de l'état sur les facteurs de production, à la libéralisation des assolements et au désengagement de l'état les agriculteurs devront choisir les cultures qui leur permettent de réaliser le maximum de profit à partir du m³ d'eau utilisé.

Les quelques indicateurs des performances de l'agriculture irriguée au Maroc présentés ci-dessus, montrent que ce secteur ne valorise pas encore assez l'eau d'irrigation. Les principaux facteurs limitant la production agricole en irrigué sont:

- Les techniques de mise en valeur intensive sont peu maîtrisées;
- L'encadrement des agriculteurs est insuffisant.

Tableau 5: Valorisation de l'eau du réseau en tête de parcelle dans la Grande hydraulique durant la campagne 93-94 (MAEE, 1997)

ORMVA	Marge brute (dh/ha)	Volume d'eau (m ³ /ha)	Tarif de l'eau (dh/m ³)	Valorisation brute (dh/ m ³)
Tadla	8734	7603	0.19	1.31
Doukkala	9862	6063	0.32	1.92
Gharb	5555	3606	0.20	1.71
Loukkos	5045	8937	0.38	0.91
Haouz	4129	5011	0.18	0.97
Moulouya	5505	3137	0.29	2.01
Souss-Massa	8260	4039	0.44	2.44
Tafilalet	9053	3351	-	2.70
Ouarzazate	10389	4578	-	2.27
Moyenne	7292	5162	0.24	1.63

Des travaux de recherche permettant de réaliser un progrès important dans l'avenir doivent porter sur la gestion de l'eau à la parcelle, les techniques culturales

appropriées et le transfert de technologie aux agriculteurs. L'amélioration de l'efficacité de l'eau dans les périmètres irrigués, ne peut se faire que par l'augmentation des rendements des cultures à travers l'adoption des techniques appropriées, émanant de travaux de recherche conduits dans les conditions locales.

4. ETUDE ET INVENTAIRE DES RESSOURCES EN SOL AU MAROC

Il est bien établi qu'avant de réaliser un projet de mise en valeur sous irrigation, des études pédologiques de base (communément appelées études d'avant projet) sont indispensables pour définir les zones irrigables et pour avoir un état de référence avant la mise en eau des sols. Au Maroc, presque tous les projets d'aménagement hydro-agricole ont bénéficiés d'études de la qualité des sols (classement des sols pour l'irrigation).

Cependant, seulement 20 % de la superficie totale au Maroc a été cartographiée à différentes échelles. Il s'agit des zones favorables du point de vue climatique et disponibilité en eau pour l'irrigation. La recherche d'autres zones potentielles exige la mise en place d'un programme national d'inventaire et de cartographie des sols.

5. IMPACTS DE LA MISE EN VALEUR INTENSIVE SOUS IRRIGATION SUR LA QUALITE DES SOLS ET DES EAUX

La dégradation de la qualité des sols et des eaux suite à l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones semi-arides et arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols (Mathieu et Ruellan, 1980; Larson et Pierce, 1991; Robert, 1992; 1996; Umali, 1993; Badraoui et Merzouk, 1994; Farhat, 1995; Badraoui et al., 1998a; 1998b). Les principaux impacts sont:

- La salinisation secondaires des sols;
- La recharge de la nappe par les eaux usées de drainage;
- La remontée de nappe salée;
- La stagnation d'eau en surface dans le cas de sols à mauvais assainissement et drainage;
- La pollution des sols par l'utilisation abusive et non rationnelle des engrais et pesticides;
- La pollution des eaux souterraines par les nitrates et les pesticides;
- La compaction des sols;
- Les pertes de matière organique et
- L'acidification des sols.

Nous donnons à titre d'exemples, à travers les études réalisées au Maroc, quelques indications sur la salinisation secondaire, la perte de matière organique, la compaction des sols et la pollution des eaux souterraines par les nitrates.

5.1. Salinisation secondaire

La plupart des études post-projet réalisées dans les périmètres irrigués ont montré que des sols initialement non salés sont devenus salés après irrigation. Actuellement, la superficie des sols salés au Maroc est estimée à 350 000 ha dont la majeure partie est localisée dans le Tafilalet, Ouarzazate, Bahira, Tessaout Aval, Moulouya, Tadla, Doukkala et Gharb.

Les principales causes de la salinisation secondaire sont:

- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage/assainissement lorsqu'il existe;
- La remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration;
- L'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de sodification et
- L'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement.

Dans les zones à forte évapotranspiration, l'irrigation même avec des eaux de bonne qualité (< 1 g/l de sel) a conduit à une accumulation de sels dans le sol dans la Bahira (Badraoui et al., 1998). Le taux de variation annuel (TVA) de la salinité du sol (CE de la pâte saturée en dS/m) a varié entre 0.064 et 1.25 dS/m.an dans cette région. Par contre le taux de variation annuel du taux de sodium échangeable (ESP) a varié entre - 0.2 à 0.76 méq/100g.an.

Dans le périmètre des Doukkala, situé dans la partie ouest du Maroc au sud de Casablanca, l'irrigation avec l'eau de l'Oued oum Erbia (CE comprise entre 1 et 1.5 dS/m, SAR compris entre 3 et 4 (méq/l)^{1/2}) de sols ayant une bonne perméabilité, a conduit à la salinisation de 270 ha, soit 2.2 % de la superficie initialement non salée (Badraoui et al., 1997). Les régimes de salinité et d'alcalinité des sols (variations saisonnières) dépendent de l'ampleur des précipitations lixiviantes en hiver et au printemps et de la sécheresse en fin de cycle des cultures où le recours à l'irrigation est obligatoire. C'est ainsi que des sols non salés en hivers deviennent très salés en été suite à l'accumulation provisoire des sels après irrigation et évapotranspiration. Cette notion de régime salin du sol mérite une attention particulière dans l'avenir.

5.2. Perte en matière organique du sol

Les sols irrigués dans les régions méditerranéennes peuvent être considérés comme des incubateurs qui offrent les conditions optimales (humidité et température) pour la dégradation de la matière organique du sol.

L'exemple présenté dans le tableau 6 illustre bien l'impact de l'intensification agricole sous irrigation sur l'évolution de la teneur en matière organique dans les

principaux types de sol des Doukkala. Le taux de variation annuel est en moyenne de 0.09 % MO/an durant les 10 dernières années.

La diminution de la matière organique est due principalement à une mauvaise gestion ces résidus de récoltes. Ainsi, il est de coutume dans le plupart des régions agricoles du Maroc, que les agriculteurs ramassent tous les restes de récoltes pour les utiliser comme aliments de bétail. L'incorporation de ces résidus au sol est une pratique très rare même dans les zones irriguées.

Tableau 6: Effet de la mise en valeur agricole sous irrigation sur la teneur en matière organique dans les sols du périmètre des Doukkala.

Type de sol*	MO. 1987 (%)	MO. 1993 (%)	MO. 1997 (%)	TVA (%/an)
Tirs	1.99	1.50	1.22	- 0.07
Hamri	2.48	1.47	1.11	- 0.11
Rmel	1.84	1.02	0.85	- 0.10
Faid	1.53	1.35	1.02	- 0.05
Moyenne	1.96	1.34	1.05	- 0.09

* *Noms vernaculaires de types de sol*

La perte du stock humique du sol a des conséquences graves sur le comportement physique et chimique du sol. Les sols ont tendance à devenir plus durs, plus compacts, vulnérables à l'érosion et retiennent moins d'eau. Cet aspect mérite une évaluation particulière.

5.3. Compaction et tassement du sol

Cet aspect de la dégradation du sol concerne particulièrement les sols lourds dans les régions du Gharb, du Loukkos et des Doukkala. L'utilisation de grosses machines (en conditions humides) pour la récolte et le transport de la canne à sucre dans le Gharb a conduit à une réduction de 15 % du volume du sol sous les roues. Une réduction de 9 à 12 % du volume du sol dans les horizons 20 à 50 cm a été mesurée (Oussible, 1995).

Etant donnée la dominance des sols argileux smectitiques qui sont très sensibles aux contraintes mécaniques, le tassement du sol est un problème réel dans les périmètres susmentionnés. Si l'effet des contraintes hydriques (gonflement-retrait) est en grande partie réversible, celui engendré par les pressions mécaniques ne l'est malheureusement pas (Azzaoui, 1988). Cependant, peu d'études ont été réalisées pour une quantification précise des effets de la compaction des sols au champs sur la durabilité du système de production.

5.4. Pollution des eaux souterraines par les nitrates

Durant les 10 dernières années la consommation moyenne en engrais s'est stabilisée autour de 750 000 tonnes/an toutes formes d'engrais confondues. Cette

quantité est équivalente à 310 000 tonnes d'unités fertilisantes, soit 44 unités/ha de SAU. dont l'azote représente 45 %. Les périmètres irrigués qui ne représentent que 14 % de la superficie cultivée, consomment à eux seuls plus de 50 % de la quantité totale d'engrais utilisés.

L'intensification agricole sous irrigation a engendré également une utilisation de plus en plus importante de pesticides. La consommation actuelle est de l'ordre de 9400 tonnes/an dont 51 % de fongicides, 39 % d'insecticides et 10 % d'herbicides.

Les diagnostics réalisés sur la pollution nitrique des eaux souterraines ont montré que dans plusieurs régions du Maroc, la teneur en nitrate dépasse les 50 mg/l. L'ampleur de cette pollution est plus importante dans les zones côtières atlantiques où les sols sableux filtrants dominent. Tel est le cas, à titre d'exemple, de la région de Mnasra à l'ouest de la plaine du Gharb (Moussaoui et al., 1994; Badraoui, 1994) où 74 % des 189 puits échantillonnés dépassent 50 mg/l. L'examen de l'impact des activités agricoles sur la pollution nitrique dans cette région a montré que l'intensification de l'agriculture, et en particulier celle du secteur maraîcher, semble être une cause importante. En effet, l'établissement des bilans de masse d'azote a fait ressortir des quantités d'azote potentiellement lixiviable qui dépassent 300 kg-N/ha.an pour les cultures maraîchères (tomate et pomme de terres surtout) et l'arachide. Par ailleurs, les cultures fourragères paraissent plus efficaces pour réduire cette pollution. Ce même bilan, établi pour l'ensemble de la région de Mnasra, a permis d'évaluer un taux moyen d'azote lixiviable de l'ordre de 189 kg-N/ha.an. Des travaux similaires réalisées dans d'autres régions du Maroc ont montré des situations qui ressemblent à celle de Mnasra (Souidi, 1994; 1997).

Ainsi, la pollution des eaux souterraines dans les régions irriguées est en grande partie attribuée aux pratiques de fertilisation azotée, d'irrigation et de traitements phytosanitaires non rationnelles. Les doses d'irrigation pratiquées et les quantités d'engrais azotés dépassent dans la plupart des cas les niveaux requis par les cultures.

6. CONCLUSION

Le Maroc a fait des investissements importants pour asseoir un secteur d'agriculture intensive sous irrigation performant lui permettant de faire face aux aléas climatiques, de garantir sa sécurité alimentaire et d'être compétitif à l'échelle des marchés national et international. Des augmentations substantielles de rendements des principales cultures ont été enregistrées sans pour autant arriver aux rendements potentiels. Il y a moyen de mieux valoriser la quantité d'eau d'irrigation en maîtrisant la gestion de l'eau à la parcelle et l'adoption de techniques appropriées de mise en valeur, émanant des recherches locales qui méritent d'être mieux supportées et vulgarisées.

Le sol, une ressource naturelle non renouvelable à l'échelle humaine, doit être préservé pour la durabilité des systèmes de production. Or, il est souvent constaté que le sol subit une dégradation importante de sa qualité suite à l'intensification agricole sous irrigation. La gestion commune des sols et des eaux est

incontournable. La mise en place d'observatoires de la qualité des sols et des eaux dans les zones irriguées est nécessaire pour assurer la durabilité du système de production.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Azzaoui M. (1988). Comportement et organisation de matériaux argileux soumis à des contraintes hydriques et mécaniques : rôle des différents types de forces d'hydratation. Thèse de doctorat de l'Université Paris 6 (Pierre et Marie Curie). 240p.

Badraoui M. (1994). Qualité des eaux et des sols sous irrigation dans le Gharb. *AgroVet Magazine*, No: 7. I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc

Badraoui M. et Merzouk A. (1994). Changes of soil qualities under irrigation: the effect of salt accumulation on water retention by Vertisols. In CIHEAM ed., *farm water management techniques*, Rabat, Morocco.

Badraoui M., Soudi B., Lahlou M., Kabbassi M., Aniba K. (1998a). Evaluation de la salinité des sols dans le périmètre irrigué des Doukkala: Suivi et diagnostic dans les zones vulnérables. In Soudi B. ed., *Etude de l'impact de l'intensification de la mise en valeur agricole sur la qualité des sols et des eaux: proposition de pratiques rationnelles*. Projet d'initiatives propres, AGCD-UCL-IAV.

Badraoui M., Soudi B., Merzouk A., Farhat A., M'hamdi A. (1998b). Changes of soil qualities under irrigation in the Bahira region of Morocco: Salinization. *Advances in GeoEcology* 31.

Farhat A. (1995). Effets de l'irrigation par pivot sur la qualité des sols dans la Bahira: situation actuelle et perspectives de développement. Thèse de 3ème cycle, IAV Hassan II, Département Sci. Sol, Rabat, Maroc.

Larson W.E. and Pierce F.J. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. In *evaluation for sustainable land management in the developing world*. Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand, Inter. Board for Soil Research and Management, 1991, IBSRAM Proceedings No 12(2).

Mathieu C. Et Ruellan A. (1980). Evolution morphologique des sols irrigués en région méditerranéenne semi aride. *Cahier ORSTOM, Série pédologie*, 13, 3-25.

Ministère de l'Agriculture, de l'Équipement et de l'Environnement (MAEE) (1997). Etude du secteur de l'eau, thème 4: l'irrigation. Etude faite par le groupement NEDECO-HOLINGER-CID

Moussaoui A., Soudi B., Badraoui M., Naimi M. (1994). Qualité des eaux de la zone de Mnasra: pollution nitrique actuelle et vulnérabilité des eaux souterraines. In ORMVAG ed. *Les problèmes de l'environnement dans la région du Gharb*. ORMVAG-Kenitra, Maroc

Oussible M. (1995). Le tassement du sol, production et productivité. *Hommes, Terre et Eaux*, No 100, 12-21

Robert M. (1992). Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahier Agriculture*, 1: 20-34

Robert M. (1996). Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris, p.241

Soudi B. (1994). Qualité des sols et des eaux dans le Tadla: situation actuelle et méthodes de suivi des paramètres. Rapport pour projet MRT/USAID au compte de CHAMONIX INTERNATIONAL.

Soudi B. (1997). Etude de l'impact des activités agricoles sur la qualité des eaux souterraines dans les zones d'Azilal, Oulad Berhil, Ouled Teima et Sidi Mokhtar. Occupation du sol et bilan de masse d'azote. Rapport pour projet ONEP-GTZ Protection des ressources en eau potable-ONEP, Rabat.

Umali D.L. (1993). Irrigation-induced salinity. A growing problem for development and the environment. World Bank technical paper 215, p.78