

Variation de la qualité des sols :

une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc

M. Badraoui, B. Soudi et A. Farhat

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

RÉSUMÉ

Dans les régions arides et semi-arides du Maroc, l'irrigation est nécessaire pour une production agricole satisfaisante et stable. Un développement important de l'irrigation par système pivot a été enregistré durant les 12 dernières années dans les zones arides où une agriculture pluviale avec des rendements aléatoires est pratiquée. Cette étude a pour objectif : (i) l'évaluation des variations causées par l'irrigation par pivot pour quelques caractéristiques des sols de la Bahira, ii) l'analyse des taux de variation annuelle (TVA) des caractéristiques des sols en fonction de la qualité des eaux d'irrigation et iii) l'évaluation de la durabilité de la production du blé sous irrigation dans les conditions de la plaine de la Bahira au centre du Maroc.

Quarante neuf pivots, couvrant des superficies allant de 25 à 50 ha et irrigués durant une période variant entre 1 et 10 ans, ont été sélectionnés. Les sols des parcelles irriguées par pivot et ceux des parcelles non irriguées adjacentes aux pivots (référence) ont été échantillonnés pour la détermination des principales caractéristiques des sols. La qualité de l'eau d'irrigation a été également évaluée. L'irrigation a causé une augmentation significative du taux de variation annuelle de la conductivité électrique de la pâte saturée (TVA-CE) dans 24 parcelles sur les 49 étudiées. La teneur en sodium échangeable et le taux de saturation de la capacité d'échange cationique (CEC) en sodium (ESP) ont été significativement augmentés dans respectivement 14 et 15 parcelles irriguées. Pour la plupart des pivots, l'irrigation n'a pas causé de variation significative des autres caractéristiques du sol étudiées. Il est montré que l'irrigation, même avec une eau de bonne qualité, a causé, sur des sols ayant une perméabilité satisfaisante (2 à 10 cm/h), une salinisation rapide des sols dans cette région à forte évapotranspiration. Le nombre d'années nécessaires pour arriver au seuil de salinité critique pour le blé est variable d'un pivot à l'autre. Sept pivots ont déjà dépassé le seuil critique de réduction des potentialités de 10 % dont 2 sont même arrivés à 50 %. Dans moins de 5 ans, 9 autres pivots parmi les 49 étudiés devraient enregistrer une diminution de 10 % par rapport à leur potentiel actuel à cause de la salinisation.

Mots clés

Irrigation, qualité, sol, eau, salinité

SUMMARY

CHANGES OF SOIL QUALITY : a basis for evaluating of the sustainability of cropping under pivot irrigation in Morocco

In the semi-arid and arid areas of Morocco, irrigation is necessary to obtain good and sustainable agricultural production. In the last 12 years, central pivot irrigation system, along with other irrigation techniques, has been developed in arid regions where an uncertain rainfed agriculture is practiced. Monitoring of soil quality under irrigation is a basic device to evaluate the sustainability of this land management system. The objectives of this paper were i) to evaluate changes of selected soil characteristics caused by pivot irrigation in the Bahira region of central Morocco, ii) to relate the rates soil changes to water quality, and iii) to evaluate the sustainability of wheat

production under irrigation in the conditions of the Bahira region.

Forty-nine pivot units were selected, ranging in size from 25 to 50 ha, and irrigated for a period of time ranging from 1 to 10 years. Both irrigated and non-irrigated (control) plots were sampled for determining the major soil characteristics. Irrigation water quality was evaluated for each pivot unit. Irrigation caused a significant positive effect on the annual variation rate (AVR) of the Electrical Conductivity (EC) in 24 irrigated plots among the 49 studied. Exchangeable sodium percentage (ESP) were increased in 14 and 15 plots, respectively. The effect of irrigation was not significant in most pivot units on other soil characteristics (pH, organic matter, calcium carbonate equivalent, cation exchange capacity, exchangeable calcium and magnesium and permeability). Even with good water quality in well drained soils, irrigation caused rapid salinization and alkalization of the soils under high evapotranspiration regime. The number of years necessary to reach critical salinity values for wheat crops is variable from one pivot unit to another. The critical value of soil salinity for 10 % reduction in wheat yield was reached in 7 irrigated plots out of the 49 studied. Two of this plots produce less than 50 % of the potential yield. In less than 5 years, 9 other plots would produce 10 % less than their potential yields.

Key-words

Irrigation, soil quality, water quality, salinization

RESUMEN

VARIACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS : una base para evaluar la sostenibilidad del manejo agrícola bajo irrigación por pivote en Marruecos

En las regiones áridas y semiáridas de Marruecos, el riego es necesario para una producción agrícola satisfactoria y estable. Un desarrollo importante del riego por pivote fue registrado durante los doce últimos años en las zonas áridas donde existe una agricultura de temporal con rendimientos aleatorios. En este estudio se tiene como objetivo : (i) la evaluación de las variaciones causadas por el riego con pivote sobre algunas características de los suelos de Bahira, (ii) el análisis de las tasas de variación anual (TVA) de las características de los suelos en función de la calidad de las aguas de riego y (iii) la evaluación de la sostenibilidad de la producción de trigo bajo irrigación en las condiciones de la llanura de Bahira en el centro de Marruecos.

Cuarenta y nueve pivotes, cubriendo una superficie de 25 a 50 ha cada uno, e irrigados durante un periodo de 1 a 10 años, se seleccionaron. En los suelos de las parcelas irrigadas con pivote y de las parcelas adyacentes no irrigadas (referencia) se sacaron muestras para la determinación de las principales características de los suelos. La calidad del agua de riego fue igualmente evaluada. La irrigación provoca un aumento significativo de la tasa de variación anual de la conductividad eléctrica del extracto saturado (TVA-CE) en 24 parcelas de las 49 estudiadas. El contenido en sodio intercambiable y la tasa de saturación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en sodio (ESP) fueron significativamente más grandes en 14 y 15 parcelas irrigadas respectivamente. En la mayoría de los pivotes, el riego no provoca variación significativa de las otras características estudiadas del suelo. Se muestra que la irrigación, aunque sea agua de buena calidad, provoca, sobre suelos con permeabilidad satisfactoria (2 a 10 cm/h), una salinización rápida de los suelos en esta región a fuerte evaporación. El número de años necesarios para llegar al umbral de salinidad crítica para el trigo es variable de un pivote al otro. Siete pivotes rebasaron el umbral crítico de reducción de las potencialidades de 10 % de los cuales dos llegaron a 50 %. En menos de 5 años, otros 9 pivotes de los 49 estudiados registraran una disminución de 10 % en relación a su potencial actual debido a la salinización.

Palabras claves

Irigación, calidad, suelo, agua, salinidad.

La qualité du sol est un élément essentiel pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole intensive. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient ou améliore les qualités des sols et des eaux (Larson et Pierce, 1992).

La qualité du sol a été définie comme étant la résultante des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol permettant la croissance et le développement des cultures, la régulation et la partition des flux d'eau à travers l'environnement et enfin jouant le rôle de filtre épurateur vis-à-vis des polluants (Larson et Pierce, 1992). La qualité du sol traduit sa capacité à retenir et à libérer l'eau et les éléments fertilisants, à maintenir sa biodiversité et à résister aux effets des pratiques pouvant conduire à sa dégradation. Il est évident que la qualité du sol vis-à-vis d'une utilisation donnée dépend de ses propriétés intrinsèques, de ses environnements géochimique et climatique et de son utilisation par l'homme (Arshad et Coen, 1992).

Au Maroc, plusieurs études ont montré que l'intensification agricole sous irrigation conduit fréquemment à la dégradation du sol (Mathieu et Ruellan, 1980; Baaki, 1987; Badraoui et Merzouk, 1994; Badraoui et al., 1997). La qualité de l'eau d'irrigation, suivant la texture et les possibilités de drainage des sols, influence largement la vitesse de dégradation du sol (Umali, 1993).

Dans les zones arides et semi-arides du Maroc, l'irrigation est nécessaire pour une production agricole suffisante et stable. En plus du million d'hectares irrigués jusqu'à présent dans les 9 offices régionaux de mise en valeur agricole et dans les périmètres de petite et moyenne hydraulique, l'irrigation par pivot s'est développée durant les 12 dernières années dans les régions ayant des ressources en eau souterraines suffisantes ou à proximité d'un cours d'eau. Jusqu'en 1996, 425 unités de pivots ont été installées pour une superficie équipée de 20 812 ha (Badraoui et Farhat, 1997). Le programme national d'irrigation par pivot prévoit 25 000 ha supplémentaires d'ici l'an 2000.

Cette étude a pour objectifs, i) d'évaluer la variation de la qualité des sols de la région de la Bahira suite à leur irrigation par pivot, ii) de relier le taux de salinisation du sol à la qualité de l'eau d'irrigation et iii) d'évaluer la durabilité du système de mise en valeur intensive sous irrigation par pivot dans cette région.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La plaine de la Bahira est une large dépression fermée de 1667 km² située entre le Haouz de Marrakech, la plaine du Tadla et le plateau des Rehamna au Nord-Ouest du Maroc. C'est une région à climat méditerranéen aride. Les précipitations moyennes annuelles s'élèvent à 225 mm, la température moyenne maximale annuelle est de 34,4 °C et l'évapotranspi-

ration potentielle moyenne annuelle est de 2400 mm (Watts et El Mourid, 1988). Exception faite du centre de la dépression où existent des sols salés et hydromorphes, les principaux types de sols de la plaine sont des sols peu évolués d'apports alluvio-colluviaux, des sols calcimagnésiques bruns calcaires et des sols bruns isohumiques à faible accumulation de carbonates secondaires.

L'irrigation par pivot a été introduite dans la Bahira en 1985. Actuellement, 3096 ha sont irrigués par cette technique. L'irrigation a engendré des rendements en céréales 6 fois plus élevés (60 à 80 qx/ha) que ceux réalisés sous agriculture pluviale (10 à 15 qx/ha). L'équipement en pivots de 5000 ha supplémentaires est en cours d'installation dans cette région.

Les sols de 49 parcelles irriguées par pivot, ayant des superficies variant entre 25 et 50 ha ont été échantillonnés sur une profondeur de 0 à 40 cm. Les parcelles échantillonnées ont été irriguées durant des périodes allant de 1 à 10 années. Trois échantillons moyens issus de 20 prises chacun ont été réalisés sous chaque pivot. Pour chaque pivot, une parcelle adjacente ayant le même type de sol mais non irriguée, a été également échantillonnée de la même manière que celle irriguée. Ne disposant pas des analyses de sol avant le début de l'irrigation, ces parcelles non irriguées constituent l'état de référence. Les analyses de sols réalisées concernent la granulométrie, le pH, la conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte saturée, le carbone organique, la capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺. Ces caractéristiques sont obtenues avec les méthodes d'analyse courantes en pédologie (Baize, 1988). Le taux d'infiltration a été mesuré à l'aide de l'essai Müntz (FAO, 1990) dans 29 des 49 parcelles irriguées retenues pour cette étude.

Les 49 parcelles retenues sont irriguées par des eaux provenant de 29 forages ayant des débits variant entre 12 et 60 l/s. La qualité des eaux d'irrigation a été évaluée en déterminant la CE, pH, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻ et NO₃⁻. Les quantités d'eau d'irrigation par année et par pivot ont été évaluées par enquêtes auprès des gestionnaires des dispositifs d'irrigation.

Comme d'un pivot à l'autre, le nombre d'années depuis la mise en culture intensive sous irrigation est variable, un indicateur normalisé de variation de la qualité des sols a été utilisé. Il s'agit du taux de variation annuelle de chaque propriété du sol (q_i) dont la forme générale est la suivante :

$$TVA-q_i = (q_{it2} - q_{it1}) / (t_2 - t_1)$$

avec :

q_{it1} : la valeur moyenne de la propriété q_i au début de l'irrigation,
q_{it2} : la valeur moyenne de la propriété q_i après un certain nombre d'années (t₂ - t₁) d'irrigation.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Qualité de l'eau d'irrigation

Selon les normes de qualité des eaux d'irrigation utilisées au Maroc (Richard, 1954; Durand, 1983), les eaux souterraines de la Bahira utilisées pour l'irrigation par pivot présentent un risque de salinisation moyen et un risque de sodification faible à moyen en fonction des forages. La CE varie entre 1,6 et 5,47 dS/m et le ratio d'adsorption du sodium (SAR) de 1,59 à 4,02 (méq/l)^{1/2} (tableau 1). Selon les normes proposées par Rhoades (1982), ces valeurs indiquent qu'une irrigation avec ces eaux ne devrait pas causer de réduction du taux d'infiltration de l'eau dans les sols. Le Cl⁻ est l'anion prédominant dans les eaux. L'utilisation abusive des engrais azotés est vraisemblablement à l'origine de teneurs élevées en nitrate (Farhat, 1995). Onze des 29 forages présentent une teneur en nitrate supérieure à 50 mg/l.

Effets sur les propriétés des sols

L'irrigation a causé des variations significatives de plusieurs propriétés des sols sous certains pivots. La salinisation secondaire est le principal effet enregistré. Pour les parcelles adjacentes aux pivots et qui n'ont jamais été irriguées (parcelles de référence) la CE du sol varie de 2 et 48 dS/m. Après irrigation, la CE a augmenté significativement sous 24 des 49 pivots étudiés (tableau 2). Une diminution de la CE, mais non significative, a été enregistrée dans 5 pivots où les sols sont sableux (valeur de TVA-CE < 0 dans les figures 1 et 2). Pour les autres pivots, le TVA-CE du sol a varié entre 0,64 et 1,25 dS/m/an (figure 1). La variation élevée du TVA-CE enregistrée pour des parcelles irriguées avec des eaux de qualité similaire (1,2 < CE eau < 1,8 dS/m) peut être expliquée par des différences de texture des sols, par les quantités d'eau utilisées, par la salinité du sol avant l'irrigation, ainsi que par la fréquence et l'intensité des précipitations pouvant entraîner une lixiviation des sels.

La salinité de l'eau d'irrigation influence l'accumulation des sels dans les profils de sols, mais plus important est la quantité de sels ajoutée au sol (Q) durant toute la période d'irrigation. Cette quantité a varié entre 2,0 et 10,3 tonnes/ha/an. Cependant, la relation entre TVA-CE du sol et Q reste difficile à préciser (figure 2). D'autres facteurs tels que la texture et les pratiques d'irrigation expliqueraient la grande variation de TVA-CE pour des quantités de sels apportées similaires.

Malgré la bonne qualité de l'eau d'irrigation (CE < 2 dS/m) et le bon taux d'infiltration (> 2 cm/h) des sols de la Bahira (Ferhat, 1995), l'irrigation a induit une salinisation secondaire suite à l'accumulation des sels dans les sols.

L'accumulation du sodium dans le complexe d'échange a été significative dans les sols de 14 pivots sur les 49 étudiés (tableau 2). Comme prévu, cette augmentation a été plus importan-

Figure 1 - Relation entre le taux de variation annuelle de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée du sol (TVA-CEsol) et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation (CEeau) dans la région de la Bahira, Maroc

Figure 1 - Relation between the rate of annual variation of the electric conductivity of the extract of the saturated paste of the soil (TVA-CEsol) and the electric conductivity of the irrigation water (CEeau) in the area of Bahira, Morocco

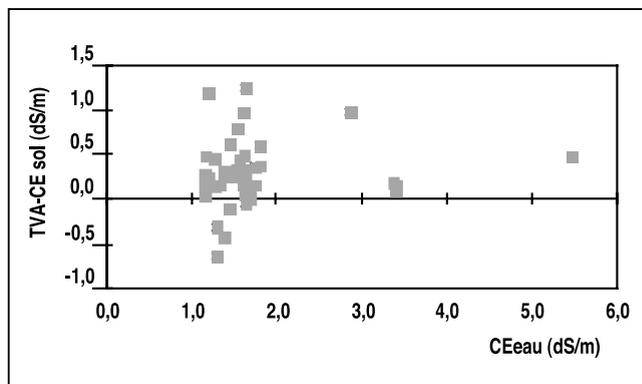


Tableau 1 - Qualité de l'eau d'irrigation par pivot dans la Bahira (n = 29 forages)

Table 1 - Quality of pivot irrigation water in the Bahira area (n = 29 drillings)

Paramètre	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Unité
pH	6,6	8,0	7,2	0,40	
CE	1,2	5,5	2,0	0,90	dS/m
SAR	1,6	4,0	2,8	0,79	(méq/l) ^{1/2}
Na	3,6	17,5	6,9	3,69	méq/l
Cl	3,6	17,5	11,7	7,59	méq/l
NO ₃	14,2	79,4	46,3	18,4	mg/l

Tableau 2 - Impacts de l'irrigation par pivot sur quelques caractéristiques des sols de la Bahira, Maroc

Table 2 - Impacts of pivot irrigation on some soil characteristics in the Bahira area, Morocco.

Qualité de sol	Nombre de pivots étudiés	Augmentation significative	Diminution significative
pH	49	0	4
CE	49	24	0
Mat. Org.	49	2	1
CEC	49	8	3
Na éch.	49	14	1
Ca éch.	49	1	2
Mg éch.	49	3	1
ESP	49	15	5
Taux d'infiltration	29	5	0

te pour les pivots installés sur des sols argileux comparativement aux sols limoneux ou sableux. Le TVA-Na a varié entre $-0,2$ et $0,76$ méq/100 g/an (figure 3). Le TVA-ESP est linéairement relié au TVA-Na (figure 3). Cette relation linéaire peut être expliquée par le fait que la CEC n'a pas enregistré de grandes variations suite à l'irrigation et que Na^+ échangeable s'est accumulé sur le complexe d'échange (tableau 2).

La dispersion des argiles suite à l'accumulation du sodium n'a pas engendré de diminution significative du taux d'infiltration. Au contraire, il y a eu une augmentation significative de l'infiltration pour 5 pivots sur les 29 pour lesquels des mesures ont été effectuées. Trois explications peuvent être avancées à cet égard :

- i) l'intensification agricole est associée à des pratiques de travail du sol meilleures qu'en agriculture pluviale, permettant ainsi une gestion améliorée de la structure du sol ;
- ii) la fraction argileuse des sols de la Bahira, composée de smectites en faible proportion par rapport à l'illite et à la kaolinite (Badraoui, résultats non publiés), est peu sensible à l'accumulation Na^+ sur le complexe d'échange ;
- iii) comme prévu par les valeurs de la CE et le SAR de l'eau d'irrigation (Rhoades, 1982), aucune réduction de l'infiltration n'a été enregistrée. L'effet de l'accumulation des sels solubles dans les sols étudiés semble plus important dans le maintien de la stabilité de la structure du sol que l'effet dispersant du sodium.

L'intensification agricole sous irrigation par pivot n'a pratiquement pas eu d'effets sur les autres caractéristiques

Figure 2 - Relation entre le taux de variation annuelle de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée du sol (TVA-CEsol) et la quantité annuelle de sel apporté par l'eau d'irrigation dans la région de la Bahira, Maroc

Figure 2 - Relation between the rate of annual variation of the electric conductivity of the extract of the saturate paste of the soil (TVA-CEsol) and the annual amount of salt brought by the irrigation in the area with Bahira, Morocco.

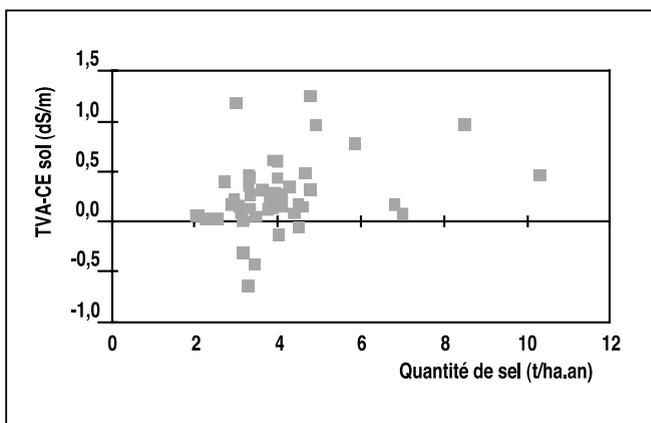
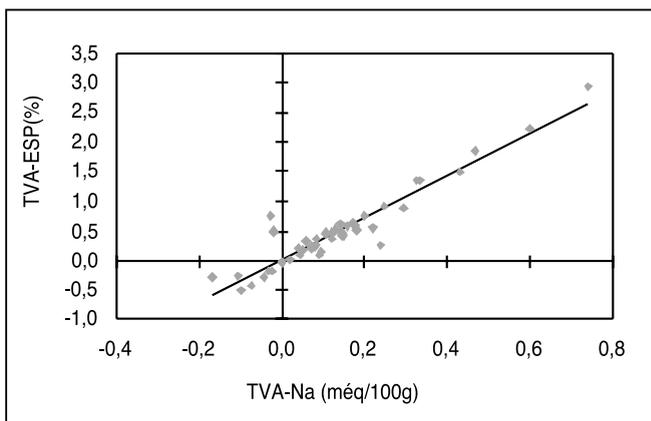


Figure 3 - Relation entre le taux de variation annuelle de la saturation du complexe d'échange du sol en sodium échangeable (TVA-ESP) et le taux de variation annuel du sodium échangeable du sol (TVA-Na) dans la région de la Bahira, Maroc

Figure 3 - Relation between the rate of annual variation of the saturation exchange complex in sodium (TVA-ESP) and the rate of annual variation of the exchangeable sodium of the soil (TVA-Na) in the area of Bahira, Morocco



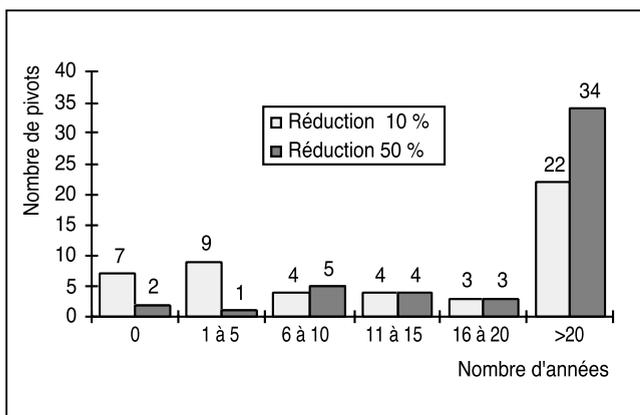
des sols tels que le pH, la teneur en matière organique et les concentrations en Ca^{++} et Mg^{++} échangeables.

Le TVA-CE du sol peut être utilisé pour évaluer la durabilité de la production agricole sous pivot dans la Bahira sans que la qualité des

sols au plan physique soit affectée. En tenant compte des niveaux critiques de tolérance aux sels des blés tendres (Maas, 1986) qui sont de 7,4 dS/m pour une réduction de 10 % du rendement et de 13,0 dS/m pour une réduction de 50 %, mais aussi de la salinité actuelle du sol et du TAV-CE sous chaque pivot, il est possible de calculer le nombre d'années nécessaire pour arriver au seuil critique (figure 4). Sept pivots ont déjà dépassé le seuil critique de réduction de 10 % dont 2 produisent moins de 50 % du potentiel régional. Dans moins de 5 ans, 9 autres pivots parmi les 49 étudiés devraient réduire leur potentialité de 10 % par rapport à celle actuelle à cause de la salinisation. Les pivots situés loin du centre de la plaine dans des situations topographiques permettant un drainage adéquat peuvent produire des céréales sans risque majeur de salinisation. En effet, pour ces derniers, il faudrait attendre plus de 20 ans pour voir une réduction de 10 % du rendement (22 parcelles parmi les 49 étudiées)(figure 4).

Figure 4 - Nombre d'années nécessaire pour une réduction de rendement du blé tendre de 10 ou 50 % suite à la salinisation secondaire sous irrigation par pivots dans la région de la Bahira, Maroc

Figure 4 - Year number necessary for a yield reduction with common wheat of 10 or 50 % following the secondary salinisation under irrigation by pivots in the area of Bahira, Morocco



CONCLUSION

L'évolution de la qualité des sols sous irrigation par pivot dans la région de la Bahira a démontré que la salinisation secondaire est un problème sérieux qui diminue la durabilité de la production des céréales. L'utilisation du taux de variation annuelle de la salinité du sol est un bon indicateur permettant de mesurer la durabilité de la ressource en sol suite à l'irrigation et pour une production satisfaisante et maintenue. En plus du problème de disponibilité en eau qui n'a pas été discuté dans cet article, les décideurs responsables de la promotion de ce type d'irrigation dans les zones arides, doivent tenir compte de la vitesse de dégradation de la qualité des sols à moyen et long termes. Une évaluation périodique de la qualité des sols soumis à une agriculture intensive sous irrigation est nécessaire pour tirer la sonnette d'alarme en temps opportun. Des pratiques de gestion conservatoire des ressources en sols et en eau doivent être préconisées pour une agriculture durable dans les zones arides et semi-arides telles que la Bahira.

BIBLIOGRAPHIE

- Arshad M.A. et Coen G.M. 1992 - Characterization of soil quality : physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*. Vol. 7, 1&2 :25-32
- Baaki M., 1987 - Effet de différentes eaux d'irrigation sur la salinité et la sodicité d'un sol du Tadla. Thèse de 3^e cycle, I.A.V. Hassan II, Dépt. Sc. Sol, 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-IAM-B ed., *Advanced course on farm water management techniques*. Rabat, Morocco, May 7-22 1994, p. 145-155.
- Badraoui M., Agbani M. Soudi B., 1997 - Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Mhiri A. Ed., *Symposium International sur les perspectives du développement agricole durable sur la rive sud de la Méditerranée*. Tunis, 10 - 13 nov. 1997. Sous presse.
- Badraoui M. et Farhat A., 1997 - Développement de l'irrigation par pivot au Maroc. *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture*, 38 : 1-3, MAEE/DA/DERD. Rabat Maroc
- Baize D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie : choix, expression, présentation et interprétation. INRA, Paris.
- Durand J.H., 1983 - Les sols irrigables. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Presse Universitaire de France.
- FAO, 1990 - Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation. *Bull. Pédol.* n° 42
- 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 3^e cycle, DSS, IAV Hassan II, Rabat, Maroc
- Larson W.E. et Pierce F.J., 1992 - 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 Research and Management, 1991, IBSRAM Proceedings n° 12.
- Maas E.V., 1986 - Salt tolerances of plants. *Applied Agricultural Research* 1(1) :12-26

- Mathieu C. et Ruellan A., 1980 - Evolution morphologique des sols irrigués en région méditerranéenne semi aride. Cahier ORSTOM, Série pédo., 13 : 3-25.
- Rhoades J.D., 1982 - Reclamation and management of salt-affected soils after drainage. Proc. First Annual Western Provincial Conf. Rationalization of Water and Soil Res., and Management. Lethbridge, Alberta, Canada, Nov. 29 - Dec. 2, p.123-178.
- Richards L.A., 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alcali soils. U.S.S.L., USDA, Handbook 60.
- Umali D.L., 1993 - Irrigation-Induced Salinity. A Growing problem for development and the environment. World Bank Technical Paper 215, p78.
- Watts D.G. et El Mourid M., 1988 - Régimes et probabilités des précipitations dans les régions semi arides et céréalières du Maroc occidental. Centre aridoculture, INRA Maroc ed., Projet INRA/MIAC/USAID n° 608-D136.