

Gestion de la salinité des sols et des eaux dans le périmètre irrigué du Tadla

Mohamed BADRAOUI ¹, Abdellilah BELLOUTI ², Mouanis LAHLOU ¹,
Fatima Zahra CHERKAOUI ² & Mohamed CHOURAICHI ³

1. INTRODUCTION

Le Maroc est un pays essentiellement aride. En effet, plus de 93% de la superficie se trouve dans des conditions bioclimatiques semi-arides, arides et désertiques. De ce fait, l'eau est une ressource naturelle rare dont il est impératif de bien gérer l'utilisation. Pour satisfaire les besoins alimentaires croissants de la population marocaine, les pouvoirs publics ont assez tôt compris que le recours à l'irrigation est une obligation. En effet, la mise en valeur agricole intensive sous irrigation a permis de garantir et de stabiliser une partie de la production agricole. Actuellement, environ 1,4 millions d'ha sont irrigués sur un potentiel de terres irrigables de 1,66 millions d'ha (Belghiti, 2004). Le patrimoine des terres irriguées est géré par neuf Offices Régionaux de Mise en Valeur Agricole (ORMVA) dont l'un des plus anciens est celui du Tadla. La superficie irriguée dans ce périmètre est de 114.000 ha, soit 38% de la zone d'action du périmètre.

Bien que la mise en valeur intensive sous irrigation ont permis une amélioration substantielle de la production agricole dans la région du Tadla, elle a en revanche induit une certaine dégradation de la qualité des eaux et des sols. La salinisation secondaire est le processus de dégradation le plus rapidement observé dès les premières années d'irrigation. En effet, l'utilisation excessive d'eaux pour l'irrigation couplée à la non maîtrise du drainage a causé la salinisation et la sodification des sols suite à la remontée de la nappe phréatique à des niveaux très proches de la surface du sol. Les Béni Amir et les Béni Moussa de l'Ouest sont les zones les plus touchées par la salinisation aussi bien des sols que des eaux souterraines.

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202 Madinate Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc

² Office Régional de Mise en Valeur Agricole du Tadla, Fquif Ben Salah, Maroc

¹ Service des Études, des Expérimentations et de Normalisation, Administration du Génie Rural, Rabat, Maroc

La salinisation secondaire des sols et des eaux a préoccupé les responsables de la gestion de ces deux ressources. Ainsi, trois projets d'envergure touchant la qualité des sols et des eaux ont été réalisés dans la zone d'action de l'ORMVAT: le projet de «Suivi de l'évolution des sols sous Irrigation et Drainage» (SID), le projet de «Management des ressources du Tadla» (MRT) et le Projet de Gestion des Ressources en Eau (PGRE). Des travaux de recherche-développement ont été réalisés dans le cadre des projets susmentionnés. Cet article fait la synthèse des travaux réalisés en se focalisant sur le processus de salinisation des sols et des eaux.

2. PRÉSENTATION DU PÉRIMÈTRE DU TADLA

Situé à 250 km au sud de Rabat, la plaine du Tadla est limitée au nord par le plateau des phosphates et au sud par la chaîne du Moyen-Atlas. Le relief est généralement régulier avec une altitude moyenne de 400 m. Le climat est du type semi-aride à hiver tempéré à frais, avec des précipitations moyennes variant entre 329 mm à Dar Ould Zidouh dans l'aval hydraulique des Béni Amir et 590 mm à Béni-Mellal en bordure de l'Atlas au sud-est des Béni Moussa. Les températures maxima se situent entre 38 et 48°C et les minima entre 0 et 5°C. Les amplitudes thermiques journalières dépassent souvent 20°C.

Le périmètre du Tadla est constitué de deux unités géologiques distinctes séparées par l'Oued Oum Er Rbia : la plaine des Béni Amir en rive droite et celle des Béni Moussa en rive gauche. Les formations superficielles formant les roches mères des sols sont des alluvions du Quaternaire moyen d'origine et de faciès totalement différents dans les Béni Amir et dans les Béni Moussa. En effet, dans les Béni Amir, les dépôts proviennent du Plateau des Phosphates ou des marnes du Crétacé qui les bordent. Ce sont des tufs et des limons calcaires bruns. Dans les Béni Moussa, par contre, les alluvions sont d'origine atlasique, plus argileuses, moins calcaires, rubéfiées et certaines lithochromes.

Les sols bruns isohumiques subtropicaux à haut potentiel de production agricole sont les plus répandus dans le périmètre du Tadla. D'autres sols de moindre qualité (peu évolués d'érosion et calcimagnésiques) sont situés le long de l'oued Oum Er Bia et à la bordure du périmètre. Les sols rouges méditerranéens et les vertisols occupent de faibles superficies surtout le long du Moyen-Atlas dans Béni Moussa.

Les travaux d'aménagement hydro-agricole dans le Tadla ont commencé en 1929 dans les Béni Amir. La première mise en eau remonte à 1938 à partir des eaux de l'Oued Oum Erbia ayant une salinité globale dépassant souvent 1 g/l. Dans les Béni Moussa, les travaux d'équipement ont démarré en 1949 et la première mise en eau s'est faite en 1954. Les Béni Moussa

sont irrigués par les eaux du barrage Bin Al Ouidane ayant une salinité globale de 0,3 g/l. La superficie actuellement irriguée s'élève à 114.000 ha dont 97.000 ha en grande hydraulique (69.500 ha dans Béni Moussa et 27.500 dans les Béni Amir) et le reste en petite et moyenne hydraulique. En cas de sécheresse, les agriculteurs ont recours au pompage des eaux de la nappe phréatique, souvent plus salées que les eaux de surface, pour assurer l'irrigation. Le mode d'irrigation dominant est le mode gravitaire. L'irrigation par pivot et la micro-irrigation sont concentrées et connaissent une forte expansion dans le secteur de l'irrigation privée.

Les principales cultures pratiquées dans le Tadla sont par ordre d'importance : les céréales (44%), les cultures fourragères (23%), la betterave à sucre (14%), les agrumes (7%), l'olivier (7%) et les cultures maraîchères (5%). Une importante agro-industrie a été développée pour le conditionnement et la transformation des produits agricoles.

3. PROJET SID

3.1. Objectifs et démarche

Suite à la mise en valeur intensive sous irrigation dans le périmètre du Tadla depuis les années quarante, il a été constaté une dégradation des sols due à la maîtrise insuffisante de l'eau d'irrigation, des intrants agrochimiques (engrais; produits phytosanitaires) et des techniques culturales. Des impacts négatifs sur la fertilité des sols et sur les rendements des cultures ont été constatés. La remontée de la nappe phréatique et la salinisation secondaire des sols pendant les années 70 avaient touché une grande partie des Béni Amir et l'aval hydraulique des Béni Moussa. Tel était le constat réalisé au début des années 80 par les services du développement agricole de l'ORMVAT.

Il s'était avéré impératif, afin de mieux cerner le problème, d'étudier et de prévoir l'évolution des sols irrigués. Le projet « *Étude et suivi de l'évolution des sols sous irrigation et drainage, dit SID* » dans le périmètre du Tadla réalisé entre 1984 et 1988, avec l'appui de la coopération belge, avait pour but de mettre au point des techniques appropriées d'une mise en valeur optimale des sols sous irrigation. Compte tenu de la grande superficie du périmètre (110.000 ha), de la complexité et de la diversité des problèmes à analyser et des moyens limités, seuls quelques secteurs de référence ont été choisis. Le choix s'est fait sur la base des zones pédagogiquement homogènes et représentatives du périmètre. L'étude avait pour but d'effectuer un diagnostic et une analyse des différents paramètres conditionnant l'évolution des sols. La démarche a été basée sur la caractérisation de l'état actuel des sols et des eaux et sur le suivi périodique de la salinité, du régime hydrique et de la fertilité des sols en fonction des cultures pratiquées.

3.2. Principaux enseignements tirés du projet

Les travaux du projet SID ont constitué durant les années 80 une certaine innovation dans la vision du développement agricole dans le Tadla. En effet, l'esprit conservatoire des ressources en eaux et en sol pour un développement agricole durable a été instauré. Les quelques résultats, même fragmentaires et localisés, ont permis de constater que les sols et les eaux se dégradent sous la mise en valeur intensive sous irrigation. L'aspect environnemental est désormais une composante principale qui doit accompagner la mise en valeur agricole.

Les principales recommandations émanant de ce projet sont:

- Éviter dans la mesure du possible, l'irrigation par les eaux souterraines ayant une CE dépassant 4,7 dS/m ;
- Effectuer une cartographie de la salinité des sols et des eaux du périmètre du Tadla pour délimiter les superficies salées et/ou sodiques avec précision;
- Quantifier et expliquer les causes de sodification des sols et examiner les conséquences sur le taux d'infiltration, la structure et la rétention de l'eau ;
- Instaurer un réseau de suivi de la qualité des sols et des eaux touchant tout le périmètre ;
- Encourager les enquêtes agro-techniques au niveau des exploitations afin de suivre l'évolution la fertilisation en liaison avec le niveau de production ;
- Établir les bilans de fertilité et des programmes de fertilisation en installant des essais d'optimisation chez les agriculteurs pour toutes les cultures du périmètre ;
- Encourager les agriculteurs à réaliser les analyses du sol de leurs parcelles pour l'établissement des plans de fumure et le suivi de la qualité des sols.

4. PROJET MRT

4.1. Objectifs et démarche

Suite aux travaux du projet SID, la prise de conscience sur les aspects environnementaux liés à la dégradation des ressources en eaux et en sol avait poussé les responsables à concevoir un projet plus ambitieux et plus large touchant toute la zone d'action de l'ORMVAT et ses bordures. Tous les paramètres pouvant affecter positivement ou négativement la qualité des ressources en sol et en eau ont été pris en considération.

Les principales constatations et réflexions faites à la veille du projet «Management des Ressources du Tadla» (MRT) - financé par l'USAID sur

une période de 78 mois à partir de décembre 1993 - peuvent être résumées comme suit.

Le périmètre du Tadla contribue activement au développement de la production agricole régionale et nationale. Pour maintenir ce niveau de production et même l'améliorer, la gestion rationnelle et adéquate des sols et des eaux s'impose. Toutefois l'intensification agricole, accompagnée d'une utilisation excessive des eaux pour l'irrigation et couplée à la non maîtrise du drainage a engendré une dégradation de la qualité des sols et des eaux souterraines.

Les processus de dégradation les plus marqués dans le périmètre sont la salinisation et sodification des sols, la détérioration de leur fertilité chimique et physique, la pollution nitrique des eaux souterraines et la salinisation des eaux de la nappe.

Pour cerner ces problèmes, déceler les zones à risques et trouver des scénarios adéquats pour les résoudre, le contrôle et le suivi de la qualité des sols et des eaux souterraines se sont avérés nécessaires.

Les phénomènes de salinité et de sodicité des sols sont dynamiques. Il ne faut pas se contenter de caractériser l'état de salinité/sodicité à un moment donné. Il est nécessaire et plus judicieux de caractériser le régime de salinité moyen du sol (variation lors d'une campagne agricole). Pour répondre à ces soucis, L'ORMVA du Tadla a procédé à des études et travaux importants permettant de mieux comprendre les processus d'évolution des ressources du Tadla et la mise en œuvre de pratiques et conseils en conséquence. Ceux-ci visent une meilleure efficacité d'utilisation des eaux d'irrigation, une meilleure préservation de la qualité et de la quantité des ressources en eau et une réhabilitation des zones dégradées.

L'objectif à long terme du projet MRT est de favoriser la compétitivité de l'agriculture irriguée au Tadla et de préserver la qualité de son environnement grâce à une gestion et une utilisation plus efficace de ses ressources en eau.

4.2. Principaux résultats

4.2.1. Études et renforcement des capacités

Dans la série des travaux réalisés par le projet MRT, quatre rapports intéressent directement ou indirectement la salinité des sols et des eaux :

- Le rapport N° 13: étude environnementale du périmètre du Tadla: gestion quantitative et qualitative des ressources en eau et en sol des périmètres irrigués des Béni moussa et Béni Amir. Ce rapport a été préparé par

Debbagh en octobre 1994.

- Le rapport N° 15: qualité des sols et des eaux: situation actuelle et méthode de suivi de paramètre de qualité. Ce rapport a été préparé par Souidi en novembre 1994.
- Le rapport N°17: analyse de la gestion quantitative et qualitative des produits agro-chimiques utilisés dans le périmètre du Tadla. Cette étude a été réalisée par Dreckmann et Ammati en novembre 1994.
- Le rapport N°25: mise en place des réseaux de suivi de la nappe phréatique et de la qualité des sols et des eaux du périmètre irrigué du Tadla. Ce travail a été réalisé conjointement par Ammati, Debbagh et Souidi en septembre 1995.

Les trois premiers rapports ont permis de dresser un état de référence (en 1994-95) de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre irrigué du Tadla. Le quatrième rapport constitue la synthèse des trois premiers et a permis la conception et la mise en place d'un réseau de suivi de la nappe phréatique et de la qualité de son eau et d'un réseau de suivi de la qualité des sols.

Deux mesures d'accompagnement importantes ont suivi ces travaux. Il s'agit de la formation du personnel de l'ORMVAT en traitement des données spatiales dans le cadre du système d'information géographique (SIG) et la mise en place d'un laboratoire capable de faire les analyses prévues dans le programme de suivi. Ainsi, le projet MRT a acquis et mis en œuvre un SIG opérationnel de gestion d'une base de données à référence spatiale. Le laboratoire d'analyse des sols et des eaux est actuellement opérationnel pour réaliser les analyses du réseau et répondre aux demandes des agriculteurs en matière d'analyses de fertilité.

D'autres aspects concernant l'efficacité d'utilisation de l'eau à la parcelle ont été étudiés afin de contrôler le niveau de la nappe à une profondeur suffisante pour ne pas affecter le sol. Un effort particulier sur l'optimisation de la fertilisation azotée a été également déployé pour réduire la pollution des eaux de la nappe phréatique par les nitrates.

Dans ce qui suit, l'accent sera mis sur l'évolution de la qualité des eaux souterraines et sur l'évolution de la qualité des sols.

4.2.2. Réseaux de suivi de la qualité des sols et des eaux

Deux réseaux ont été mis en place :

- un réseau de suivi de la qualité des sols qui porte sur 40 sites échantillonnés sur deux à trois profondeurs par tranche de 20 cm;
- un réseau de suivi du niveau de la nappe phréatique et de la qualité des eaux comprenant 100 points d'observations.

La première campagne de mesure a été lancée au mois de novembre 1995.

Les paramètres retenus pour la qualité des eaux sont:

- la bathymétrie, la conductivité électrique, le pH et la teneur en nitrates. Ces paramètres mesurés *in situ* tous les deux mois;
- le bilan ionique analysé au laboratoire deux fois par an.

Pour le sol, sept paramètres ont été retenus pour suivre et contrôler les processus de dégradation de leur qualité :

- la conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte saturée, le pH, la matière organique, le sodium échangeable, le bilan ionique. Ces paramètres sont analysés au laboratoire deux fois par an ;
- le taux d'infiltration et la densité apparente mesurés *in-situ* annuellement.

Le programme de suivi de la qualité des sols et des eaux est assuré par le personnel du laboratoire d'analyse des sols et des eaux et par le laboratoire du Système d'Information Géographique (SIG). Les données relatives aux résultats des analyses et les mesures *in-situ* sont transmises au laboratoire SIG pour l'élaboration des cartes. Les cartes établies peuvent être présentées sous deux formes:

- représentation ponctuelle ;
- représentation par interpolation spatiale. Celle-ci permet de déceler la répartition spatiale des différentes zones à problèmes.

4.2.3. Quelques résultats sur l'évolution de la qualité des eaux et des sols

Les fluctuations inter et intra-annuelles du niveau de la nappe phréatique peuvent être importantes. La situation de février 1999 montre que dans certaines zones la nappe est très proche de la surface et peut affecter par sa composition la qualité du sol. La percolation des eaux d'irrigation et l'infiltration des précipitations entraînent dans la nappe les sels existant dans le sol. En s'infiltrant, ces eaux participent directement à la pollution et à la salinisation des eaux souterraines. Le recyclage de ces eaux par pompage a des répercussions négatives sur la productivité agricole et sur la qualité des sols.

Les résultats des analyses des eaux souterraines montrent que la salinité est très variable. La CE est la plus élevée au niveau du périmètre de Béni Amir. Elle varie entre 0.5 et 15.47 dS/m. Le coefficient de variation (CV) se situe dans la fourchette 20 à 50%. La salinité suit un gradient croissant allant de l'amont vers l'aval hydraulique. Dans les Béni-Moussa, la salinité des eaux de la nappe augmente de l'amont vers l'aval hydraulique. La CE dépasse rarement 4 dS/m dans les Béni Moussa est. Vers les Béni-Moussa ouest (aval hydraulique) la salinité connaît une augmentation progressive pour atteindre un maximum 15 dS/m.

Quand on compare la variation de la CE au sein d'une même campagne agricole, on remarque qu'elle est la plus élevée au début de la campagne (septembre). En effet, durant la période estivale, l'augmentation de la demande climatique exprimée par une forte évaporation et la diminution des percolations des eaux d'irrigation vers la nappe, conduisent à une diminution des sels au niveau des eaux souterraines. En hiver, l'infiltration des eaux vers la nappe phréatique est plus importante, ce qui se traduit par une augmentation de la salinité de ces eaux.

Le SAR est très variable. Les valeurs enregistrées au niveau de Béni Amir varient entre 0,61 et 15,98 (méq/l)^{1/2} avec un coefficient de variation de 40 à 46%. Dans les Béni Moussa est, le risque de sodification des sols irrigués par les eaux de la nappe est faible (SAR < 2,5). Au niveau des Béni Moussa ouest, le SAR est relativement plus important. Les valeurs enregistrées varient de 0,61 à 10,07 (méq/l)^{1/2}, avec un coefficient de variation compris entre 56 et 70%. Le risque de sodification des sols irrigués par les eaux souterraines est bien marqué au niveau de Béni Amir. En effet, 20% des points de suivi présentent un SAR supérieur à 10.

Le niveau de la nappe phréatique apparaît comme étant l'indicateur le plus important de la salinité des sols. C'est dans les endroits où la nappe est proche de la surface (< 1,5 m) que les sols sont les plus salés. La salinité des sols du périmètre du Tadla présente une grande variabilité. Les résultats des analyses montrent que la salinité des sols est plus importante dans le périmètre de Béni Amir. Elle varie entre 0,46 et 17,15 dS/m, avec un coefficient de variation allant de 42 à 77%. Cette salinité suit un gradient croissant allant de l'amont vers l'aval hydraulique. Dans le périmètre des Béni Moussa est la CE reste inférieure à 4 dS/m. Par contre, la salinité augmente en allant vers l'aval hydraulique. Dans les Béni Moussa ouest la CE se situe entre 0,26 et 13,92 dS/m, avec un coefficient de variation très important variant de 47 à 109%. Cette salinité relativement élevée résulte d'une utilisation conjuguée des eaux de surface et des eaux souterraines moyennement salées.

Les résultats des analyses du sol révèlent que le taux de sodium échangeable augmente avec la profondeur. Dans le périmètre de Béni Amir, l'ESP varie entre 3 et 30%, avec un coefficient de variation compris entre 27 et 50%. La sodicité élevée des sols de Béni-Amir résulte d'une utilisation excessive des eaux souterraines chargées en sodium. Les valeurs enregistrées dans Béni Moussa est oscillent entre 1 et 24%, avec un coefficient de variation allant de 19 à 118%. Dans Béni Moussa ouest, l'ESP varie de 1,5 à 25%, le CV étant de 28 à 131%.

Les diagnostics réalisés dans le cadre du projet MRT montrent qu'il y a des relations apparentes entre la salinité et la production agricole. En

effet, la contrainte salinité des sols et des eaux d'irrigation a conduit les agriculteurs à adapter les cultures. Les agrumes qui sont des arbres sensibles à la salinité ne sont plantés que dans les Béni Moussa est. Par contre, la luzerne, culture tolérante aux sels, est fortement pratiquée dans les Béni Amir. La betterave sucrière et les céréales sont pratiquées partout dans le périmètre. En général, dans les conditions de production similaires, les rendements des principales cultures sont négativement affectés par la salinité.

4.2.4. Principaux enseignements du projet MRT

Le réseau de suivi de la qualité des sols et des eaux dans le périmètre du Tadla est un outil de surveillance de l'évolution de ces deux ressources. La durabilité du système de culture irrigué et l'amélioration de ses performances passe nécessairement par la préservation et la réhabilitation des terres et de l'eau. La mise en œuvre du réseau exige un personnel qualifié et un laboratoire d'analyses performant. L'ORMVAT donne une grande importance à cette activité et met les moyens nécessaires pour son maintien.

Étant donné le nombre assez limité des points de suivi du sol (40), l'établissement des cartes d'évolution des paramètres mesurés à l'échelle de tout le périmètre reste problématique. L'interpolation linéaire utilisée crée des unités et des limites peu précises. L'augmentation du nombre de points de suivi serait une solution, mais il faudrait concilier la précision souhaitée aux moyens pouvant être mobilisés.

Avec l'extension des zones irriguées prévue dans les années à venir, le réseau est appelé à s'étendre dans d'autres zones vulnérables. Globalement, les efforts déployés par le projet MRT ont permis de garder le niveau de la nappe assez loin de la surface. Si bien qu'on constate une réduction de la salinité et de la pollution par les nitrates suite à une meilleure rationalisation de l'utilisation des engrais azotés.

5. PROJET PGRÉ

5.1. Objectifs et démarche

Les résultats obtenus par les deux projets susmentionnés (SID et MRT) depuis 1984 montrent que la salinisation secondaire est un phénomène réel surtout dans les Béni Amir et les Béni Moussa de l'ouest, mais également dynamique. La seule mesure à un moment donné de la conductivité électrique de l'extrait du sol n'est plus suffisante. Le projet PGRÉ est venu pour continuer les travaux du projet MRT qui a été achevé à la fin des années 90, mais laissant un personnel qualifié, un laboratoire

fonctionnel et un esprit d'équipe à préserver. Cependant, l'accent de ce projet PGRE dans le Tadla est mis sur le régime de la salinité des sols et des eaux en relation avec le niveau de battement de la nappe phréatique.

Les résultats des études et de suivi entamés dans le cadre du projet MRT qui avaient porté sur toute la zone d'action de l'ORMVAT ont montré que les zones des Béni Amir, des Béni Moussa ouest et les zones de pompage sont les plus touchées par la salinisation aussi bien des sols que des eaux souterraines.

Avec l'extension des zones irriguées prévues dans les années à venir, un état de référence avant la mise en eau de ces zones d'extension « bour » est nécessaire pour le suivi. Ainsi le projet PGRE a porté sur une superficie totale de 79050 ha se répartissant comme suit : Béni Amir (BA), 32.060 ha ; Zone Bour (ZB), 19.000 ha ; Zone de Pompages (ZP), 13.500 ha, Béni Moussa Ouest (BMO), 14.490 ha.

Étant donné le caractère dynamique de la salinité et sa relation avec le régime hydrique, une attention particulière est donnée au suivi rapproché de la salinité et de la sodicité des sols durant une campagne agricole sur des sites représentatifs des situations à définir après l'établissement des cartes de salinité des sols et des eaux des Béni Amir et des Béni Moussa ouest.

5.2. Principaux résultats

5.2.1. Qualité des eaux souterraines

Pour étudier l'hydrochimie de la nappe du Tadla et les risques que peuvent encourir ses eaux aux cultures et aux sols (Badraoui *et al.*, 2000; 2002), 300 puits ont fait l'objet de prélèvements d'eau. Les puits ont été géocodés (x et y) et les résultats ont été introduits dans le SIG (ARC VIEW «3.2) pour pouvoir générer des cartes de distribution des paramètres de qualité des eaux, notamment des cartes de risque de salinisation, du risque de sodicité, de pollution nitrique et du niveau piézométrique.

Le niveau piézométrique de la nappe phréatique oscille entre 1,5 et 68 m avec une moyenne de 16,23 m et un coefficient de variation variant de 24 à 71,5% en fonction des zones étudiées.

La profondeur de la nappe est très variable au niveau de la zone d'étude, mais ceci n'empêche pas d'avancer que :

- la nappe phréatique est plus profonde au niveau des zones bour avec une profondeur moyenne de 39 m ;

- le niveau piézométrique au niveau de la zone des pompages est comparable à celui des zones irriguées. La nappe phréatique des Béni Amir est plus profonde au niveau du CDA 505. Elle est plus proche de la surface dans la partie S.E des CDA 502 et 506, avec des niveaux moyens de 4,1 et 6,1m, respectivement. Au niveau des Béni Moussa ouest, les faibles valeurs du niveau piézométrique sont enregistrées au niveau du CDA 534 avec une profondeur moyenne de 8,1m.

La teneur totale en sel de l'eau de la nappe phréatique, exprimée en terme de conductivité électrique, varie dans une large gamme allant de 0,26 dS/m dans la zone non irriguée dite « bour » à 13 dS/m dans la zone de pompage à l'aval hydraulique des Béni Amir. 47% des 300 puits échantillonnés ont une salinité supérieure à 2,5 g/l.

Comparativement aux normes américaines, 55% des puits échantillonnés ont des eaux très fortement salées (> 1,5 g/l). Elles peuvent ainsi provoquer une salinisation rapide du sol qui se répercutera par la suite sur le rendement des cultures. Une relation entre le résidu sec et la CE de l'eau a été établie dans la gamme des valeurs trouvées : $RS(g/l) = 0,50 CE + 0,33$ avec $R^2=0.91^{**}$.

Le SAR de l'eau d'irrigation varie dans une gamme assez large allant de 2 à 21 (méq/l)^{1/2}. La nappe des Béni Amir présente des risques d'alcalinité élevés. 59% des puits présentent un faible risque de sodification (S1), 37% ont un risque moyen (S2) et seulement 4% présentent un haut risque de sodification (S3). Le SAR n'est pas relié significativement à la CE. En fait, ce ne sont pas les eaux les plus salées qui présentent le risque de sodification le plus fort.

Au niveau des Béni Amir et de la zone de pompage, la composition cationique de l'eau est caractérisée par une prédominance de l'ion Na^+ suivi du Mg^{2+} puis de l'ion Ca^{2+} . En effet, les rapports Na^+/Mg^{2+} et Mg^{2+}/Ca^{2+} sont supérieurs à 1 pour 95% des eaux analysées. Le potassium est présent en faibles quantités. Au niveau de la zone des Béni Moussa ouest, le magnésium est relativement prépondérant tandis que la teneur en sodium est relativement modérée. Le tableau 1 donne les gammes de variation des principaux ions.

Le chlore reste l'élément le plus dominant dans les eaux de la nappe phréatique. Cette dominance est plus marquée au niveau de la zone de pompages. En deuxième position vient le SO_4^{2-} . La teneur en HCO_3^- est inférieure à celle des sulfates tandis que les carbonates sont presque absents dans toutes les eaux échantillonnées, ce qui est compatible avec le pH qui est inférieur à 8,4.

Tableau 1. Composition ionique des eaux de la nappe phréatique du Tadla (en még/l)

Zone	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
Z.P	1,4-42	4,9-41,4	2,0-26,3	3,5-95,0	0,3-4,7
B.A	16,5-55	5,5-37,3	1,6-21,0	21-77,2	0,4-7,6
B.M.O	8,8-32,0	8,8-36,4	3,4-19	12,5-42	3,7-5,6

Z.P: zone de pompage ; B.A.I.: Béni Amir ; B.M.O.: Beni Moussa ouest

En résumé la qualité des eaux de la nappe phréatique du Tadla qui sont de plus en plus utilisées pour l'irrigation durant ces dernières années de sécheresse présente :

- un fort risque de salinisation surtout au niveau de la zone des Béni Amir et la zone de pompages,
- un risque d'alcalinisation faible,
- un faciès chloruré sodique au niveau des zones de Béni Amir et de pompage et chloruro-magnésien au niveau des Béni Moussa ouest,
- une relation de liaison entre la profondeur et la salinité de la nappe au niveau des zones de Béni Amir, la zone de pompage et la zone bour,
- la qualité des eaux ne causerait pas de réduction de la vitesse de l'infiltration.

5.2.2. Salinité et alcalinité des sols

Les sols de la classe R₁(Non salés, CEps.< 4 dS/m) occupent la majeure partie de la zone d'étude. La superficie de ces sols est de 59.720 ha (75% de la zone d'étude). Les classes de CEps> 4 dS/m couvrent une superficie de 19.330 ha, soit 25% de la superficie totale étudiée. La salinité des sols du Tadla varie dans une gamme très large allant de 0,1 à 24,6 dS/m. En général, les horizons de surface accusent une salinité plus élevée que celle des horizons sous-jacents témoignant d'une accumulation par évapo-concentration. La zone de pompage est la plus salée. C'est là où les classes de CEps> 8 dS/m sont concentrées. Cette CE varie entre 0,35 et 24,6 dS/m avec une moyenne de 6,43 dS/m et un coefficient de variation de 86%. Il est à noter que les résultats des enquêtes et des observations réalisées dans cette zone révèlent l'existence des efflorescences salines dans toutes les parcelles échantillonnées.

Cette situation est le résultat du recyclage par pompage des eaux souterraines de mauvaise qualité, conjuguée à l'inexistence d'un système de drainage permettant l'évacuation des excès de sels. Les résultats des enquêtes effectuées chez les agriculteurs montrent que la majorité des puits utilisés pour l'irrigation datent de plus de 20 ans, suite aux années de sécheresse. Les sels se sont accumulés durant plusieurs années d'irrigation par l'eau de la nappe.

À partir de la zone de pompage, la salinisation progresse vers l'est du périmètre de Béni Amir. De ce fait, les CDA 503, 506, 507 et 509 présentent des niveaux de salinité élevés (Classes < 8 dS/m). Les sols salés s'observent également dans certaines tâches témoignant d'une accumulation localisée des sels en surface de 3,58 dS/m.

Il ressort de la carte de sodicité des sols que la classe des sols non alcalins est prédominante. Le problème de l'alcalinité (ESP >10%) touche un territoire de 12.344 ha, soit 15% de la superficie totale étudiée. Ce fléau est localisé principalement dans la zone de pompage où la salinité des sols est élevée. Les observations du terrain faites sur quelques parcelles de cette zone ont révélé la présence des efflorescences salines à la surface et le sol présente une structure soufflée. La sodicité élevée des sols au niveau de la zone de pompage résulte, sans doute, d'une utilisation excessive des eaux souterraines chargées en sodium. Le SAR de ces eaux est élevé. Il varie entre 2,01 et 21,23 (méq/l)^{1/2} avec une moyenne de 10,55 (méq/l)^{1/2}.

Les traitements statistiques par régression multiple progressive des analyses de l'extrait de la pâte saturée des sols ont permis de dégager les relations suivantes :

Béni Amir	$CEps = 0.14 * Mg^{++} + 1.13 ; R^2 = 0.80^{**}$
Béni Moussa ouest	$CEps = 0.23 * Cl^- + 1.28 ; R^2 = 0.72^{**}$
Zone de pompage	$CEps = 0.10 * Mg + 0.32 * Na - 1.10 ; R^2 = 0.99^{**}$
Zone Bour	$CEps = 0.11 * S(-) - 0.07 * Mg + 0.44 ; R^2 = 0.74^{**}$

En résumé l'état de la salinité/sodicité des sols du Tadla en février-avril 2000 se caractérise par les faits suivants :

- La salinité touche une superficie de 19 330 ha, soit 25% de la superficie totale étudiée. C'est la première fois qu'une étude de cartographie systématique de la salinité des sols a été réalisée dans le Tadla. Cette superficie de sols affectés par la salinisation est de loin supérieure aux 3.000 ha estimés antérieurement.
- La salinité des sols est surtout localisée à l'aval du périmètre irrigué des Béni Amir et dans la zone de pompage irriguée par les eaux de la nappe phréatique et par le recyclage des eaux de drainage.
- La salinité des sols des Béni Moussa ouest a fortement diminuée par rapport à la situation des années 80 et début des années 90. La raison essentielle est le rabattement du niveau de la nappe. Cependant, certaines zones localisées restent salées dans cette partie aval des Béni Moussa.
- La sodicité des sols touche 12 344 ha, soit 15% de la superficie étudiée. Les sols sodiques (ESP > 10%) sont principalement localisés dans la zone de pompage à l'aval des Béni Amir.

6. CONCLUSION

Dans le périmètre du Tadla la salinité est un vieux problème qui demeure d'actualité. Cette forme de dégradation des sols suite à la mise en valeur

agricole sous irrigation est dynamique. Elle est causée par l'irrigation avec des eaux d'irrigation chargées en sels qui proviennent de l'oued Oum Er Bia et du recyclage des eaux souterraines et/ou de drainage. La situation actuelle est caractérisée par une concentration des sols et des eaux salés dans le périmètre des Béni Amir et dans l'aval hydraulique des Béni Moussa. Environ 20.000 ha et 12.000 ha sont touchés par la salinité et par la sodicité.

Le contrôle de la salinité des sols est tributaire de la maîtrise du niveau de la nappe phréatique loin de la surface du sol et de la non utilisation des eaux de nappe chargée en sels.

Les travaux déjà réalisés et ceux qui sont en cours de réalisation ont permis d'accumuler beaucoup de données qui peuvent être valorisées par la modélisation des bilans de sels dans le Tadla. En effet, des acquis importants dans la compréhension des processus de salinisation et de sodification des sols et des eaux dans le Tadla ont été réalisés. Cependant, un besoin complémentaire de recherche est nécessaire, notamment pour une meilleure estimation des termes du bilan des eaux et des sels et pour une évaluation plus précise des impacts de la salinisation sur la valorisation de l'eau d'irrigation.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Ammati M, Debbagh A & Soudi B (1995) Mise en place des réseaux de suivi de la nappe phréatique et de la qualité des sols et des eaux du périmètre irrigué de Tadla. Rapport N°25 du projet MRT, ORMVAT.
- Badraoui M, Couraichi M, Bellouti A, Cherkaoui F, Soudi B & Essafi B (2000) 1^{er} Rapport du projet PGRE: Synthèse des travaux antérieurs sur la qualité des sols et des eaux et méthodologie . *IAV Hassan II/ORMVAT/AGR, Maroc*
- Badraoui M, Couraichi M, Bellouti A, Cherkaoui F, Soudi B & Essafi B (2002) 2^{ème}Rapport du projet PGRE: Cartographie de la salinité des sols et des eaux dans le Tadla. *IAV Hassan II/ORMVAT/AGR, Maroc*
- Belghiti M (2004) Politique d'incitation à l'économie d'eau et à sa valorisation en agriculture irriguée au Maroc. In *Badraoui & Marchand édés. Proc. Atelier sur « Développement de la potasse en fertigation dans la région d'Afrique du Nord et du Moyen Orient » IPI-IAV Hassan II, 24-28, Nov. 2004*
- Debbagh A (1994) Étude environnementale du périmètre du Tadla: gestion quantitative et qualitative des ressources en eau et en sol des périmètres irrigués des Béni Moussa et Béni Amir. *Rapport N° 13 du projet MRT, ORMVAT*
- Dreckmann P & Ammati M (1994) Analyse de la gestion quantitative et qualitative des produits agro-chimiques utilisés dans le périmètre de Tadla. *Rapport N°17 du projet MRT, ORMVAT*
- MRT (1999) Résultats et technologies développés à Tadla. *Document de synthèse, ORMVAT*
- Soudi B (1994) Qualité des sols et des eaux: situation actuelle et méthode de suivi de paramètre de qualité. *Rapport N° 15 du projet MRT, ORMVAT*