



Projet INCO-WADEMED
Actes du Séminaire
Modernisation de l'Agriculture Irriguée
Rabat, du 19 au 23 avril 2004



Gestion de l'eau et des sels au sein d'une oasis du Sud tunisien

Imed Ben Aïssa¹, Fethi Bouksila¹, Akissa Bahri¹, Sami Bouarfa², Cédric Chaumont², Walid Hichri¹

¹ Inrgref, BP n 10, Ariana 2080, Tunisie

² Cemagref, France

E-mail : imed_sam@yahoo.fr

Résumé - Les oasis du Sud tunisien font à l'heure actuelle l'objet d'un ambitieux programme de modernisation des équipements d'irrigation et de drainage dans le but d'assurer leur durabilité, notamment sur le plan de la salinité, et afin d'économiser l'eau. Ce programme intitulé APIOS porte sur la majorité des oasis de la Tunisie (23 000 ha) réparties principalement dans trois gouvernorats (Gabès, Tozeur, Kébili). La plupart des oasis sont sujettes à des problèmes de remontée de la nappe superficielle et de salinisation des sols, accentués par une mauvaise gestion de l'irrigation et du drainage. Pour accompagner et évaluer les performances des systèmes collectifs oasiens, en 2001, l'INRGREF a mis en place un dispositif pérenne de suivi de l'irrigation, du drainage et de la salinité des eaux à l'échelle d'une oasis de 140 ha (Fatnassa Nord, Kébili) et d'une parcelle de 0,8 ha. Les premiers résultats du suivi obtenus en 2003 sont présentés, notamment une esquisse de bilan de l'eau et des sels à l'échelle de la parcelle cultivée en palmier dattier. Plus de 900 mm d'eau ont été apportés, ce qui correspond à 28 t/ha de sels, cela montre l'importance cruciale du drainage pour contrôler la salinité dans le système oasien. Des mesures complémentaires sont nécessaires pour tenir compte des variations saisonnières du lessivage et de la complexité de la gestion de l'eau dans le système oasien, notamment le recours au pompage dans la nappe phréatique subaffleurante. Cette pratique, qui permet l'irrigation de parcelles situées en dehors du système collectif d'irrigation (extensions), a pour conséquence la mobilisation d'une quantité de sels élevée.

Mots clés : bilan hydrique, bilan salin, drainage, eaux souterraines, gestion de l'eau, irrigation, modernisation, nappe phréatique, oasis, palmier dattier, performances, pompage, salinité, Tunisie, Kébili.

1 Introduction

Les oasis tunisiennes connaissent une extension en superficie et une mobilisation accrue et progressive des eaux d'irrigation. Actuellement, ces oasis sont alimentées à partir des eaux de deux nappes fossiles : la nappe du complexe terminal (CT) située entre 60 m et 500 m de profondeur et celle du complexe intercalaire (CI) située à plus de 2 000 m de profondeur, fortement artésienne et géothermale (70 °C). La salinité varie d'environ 2,5 g/l pour les eaux du complexe

intercalaire à presque 5 g/l pour celles du complexe terminal (Mamou, 1990[3]).

Les besoins en lessivage de ces sels apportés par l'eau d'irrigation sont connus et des systèmes de drainage sont mis en place dans ces oasis (CRUESI et UNESCO, 1970[1]). Ces techniques sont souvent associées à des apports réguliers en matériaux sableux et en amendement organique pour contrôler les niveaux de salinité des horizons superficiels du sol.

Par ailleurs, certains exploitants de ces oasis ont recours à une réutilisation des eaux de drainage ou de la nappe phréatique par pompage pour l'irrigation. Ces apports compensent les éventuels allongements du tour d'eau, les baisses de débit ou la diminution de la durée des irrigations. Ces stratégies sont principalement appliquées pour l'irrigation des extensions illicites qui se sont développées ces dernières décennies en bordure des oasis (Kassah, 1996[2]).

Les oasis sont généralement disposées en bordure de chotts, dépressions topographiques salées qui constituent l'exutoire naturel des eaux de drainage. Néanmoins, dans de nombreux cas, les faibles dénivelées entre les oasis et les chotts entraînent des difficultés pour l'évacuation des eaux. En conséquence, la plupart de ces oasis sont sujettes à des problèmes de remontée de la nappe superficielle et de salinisation des sols, accentués par une mauvaise gestion de l'irrigation et du drainage. Tous ces facteurs entravent le bon fonctionnement hydrosalin de l'oasis et fragilisent l'équilibre du système oasien dont la durabilité est menacée.

Pour pallier ces problèmes, un programme de modernisation des systèmes d'irrigation et de drainage oasiens a été entrepris. Ce programme est en cours de réalisation sur 23 000 ha d'oasis dans le cadre du projet d'Aménagement des périmètres irrigués des oasis du Sud (APIOS). Le remplacement des séguias en terre par d'autres en béton et la mise en place d'un réseau enterré de drainage à la place de l'ancien à ciel ouvert, représentent les principales interventions de ce projet.

L'INRGREF accompagne le projet par un volet recherche qui porte sur la mise en place d'un dispositif de suivi et d'évaluation de l'efficacité des systèmes récents dans le contexte oasien. Cette action de recherche s'intitule " Compréhension des relations entre gestion de l'eau et bilan hydrosalin à différentes échelles (oasis et parcelle) : suivi des pratiques culturales, des eaux et des solutés (entrée-sortie), de la salinité du sol, des profils hydriques et de la nappe (niveau et salinité) ".

Dans ce cadre, un dispositif expérimental pérenne de suivi de l'irrigation et du drainage a été mis en place dans l'oasis de Fatnassa Nord (Gouvernorat de Kébili). Cette oasis est limitrophe du chott El Jérid et confrontée à des problèmes de remontée de la nappe et d'accroissement de la salinité. Elle a déjà bénéficié des interventions du projet APIOS.

Les principaux objectifs de cette expérimentation sont de :

- comprendre les relations entre gestion de l'eau, remontée de la nappe et salinité des sols (pratiques agricoles, groupements d'intérêt collectif, extensions, etc.) dans le milieu oasien ;
- vérifier que les systèmes de drainage enterrés, jouent correctement leur rôle d'évacuation des sels dans ce milieu oasien et évaluer leurs performances.

L'expérimentation se situe à deux échelles : celle de l'oasis en intégrant la diversité des pratiques d'irrigation, d'une part ; celle de la parcelle pour une meilleure compréhension des différents processus, d'autre part.

2 Matériels et méthodes

2.1 Le cadre expérimental

L'oasis de Fatnassa Nord fait partie du Gouvernorat de Kébili. Elle est limitée au nord-est par le village de Fatnassa, à l'ouest par le chott El Jérid et au sud par l'oasis Fatnassa sud. La superficie totale de l'oasis est de 147 ha. Le palmier dattier est la culture principale dans l'oasis. Les cultures fourragères (luzerne et orge en vert) représentent la quasi-totalité de la strate herbacée. L'étage moyen a presque disparu, sauf quelques pieds de grenadier et de figuier éparpillés sur quelques parcelles. Par ailleurs, on note la présence d'un périmètre de serres géothermales en amont de l'oasis. Ce périmètre, malgré sa superficie réduite par rapport à celle de l'oasis, a de grandes répercussions sur le fonctionnement hydrosalin au niveau des parcelles se trouvant à l'aval.

Le bioclimat de l'oasis est saharien caractérisé par une forte amplitude thermique journalière et saisonnière, une pluviométrie irrégulière et très faible (< 90 mm/an). L'évapotranspiration est importante (1 800 à 2000 mm/an). Les vents continentaux sont secs et froids pendant l'hiver, et secs et chauds pendant l'été, avec en moyenne 120 jours/an de vents de sable et 40 jours/an de sirocco (Henia, 1993[4]).

La texture du sol est sableuse à limono-sableuse. Le taux de gypse est généralement supérieur à 40 %. Des encroûtements gypseux sont observés à une profondeur moyenne de 1 m (STUDI et BRL, 1999[6]).

L'exutoire naturel de l'oasis est le chott El Jérid, la pente du terrain est faible (3 à 5 ‰). Le niveau de la nappe sub-affleurante varie de 0,7 à 1,8 m, même en présence d'un réseau de drainage, et cette oasis est confrontée à des problèmes d'hydromorphie (STUDI et BRL, 1999[6]).

Actuellement, les ressources en eau d'irrigation sont constituées d'un forage artésien dans le continental intercalaire (CI) de salinité moyenne de l'ordre de 2,2 g/l et de deux pompages dans le complexe terminal (CT) de salinité respective de 3,5 et 3,8 g/l (STUDI et BRL, 1999[6]). Ces trois forages alimentent les deux oasis de Fatnassa (Nord et Sud) avec un débit de 144 l/s. Elles sont au préalable mélangées dans le trop plein d'un partiteur surélevé édifié en 2002 en amont de l'oasis Fatnassa Nord, avant d'être réparties en six mains d'eau de 24 l/s chacune. Trois mains d'eau alimentent l'oasis de Fatnassa Nord et les trois autres sont véhiculées pour irriguer celle de Fatnassa Sud.

La gestion hydraulique dans l'oasis est assurée par un groupement d'intérêt collectif (GIC) qui contrôle et planifie le tour d'eau. L'eau est payée à l'heure d'irrigation 2,5 DT/heure (Dinar tunisien) et la recette collectée par le groupement doit couvrir les différents frais et dépenses (salaires, énergie, entretien et maintenance, etc.).

L'oasis est actuellement desservie en eau d'irrigation par trois antennes : A1, A2 et A3, véhiculant chacun une main d'eau de 24 l/s allouée aux parcelles de l'oasis sous la forme d'un tour d'eau, et acheminée dans un réseau de séguis bétonnées. Sur chaque antenne, on trouve une série de bornes d'irrigation dont chacune irrigue un ensemble de parcelles formant un îlot d'irrigation (tableau 1).

2.2 Protocole

L'expérimentation consiste à réaliser un suivi temporel des volumes et de la salinité des eaux d'irrigation et de drainage, et un suivi spatio-temporel du niveau de la nappe superficielle et de sa salinité à l'échelle de l'oasis (figure 1) et de la parcelle (figure 2). La salinité des eaux est classiquement évaluée par la mesure de la conductivité électrique. Les volumes sont évalués par différentes méthodes : intégration temporelle de mesures du débit dans les drains, ou jaugeage

TAB. 1 – Gestion de l'irrigation dans l'oasis de Fatnassa Nord (d'après les données du GIC de l'oasis, 2003).

Antennes d'irrigation	A1	A2	A3	Oasis
Nombre parcelles gérées par le GIC	245	111	111	467
Surface moyenne par parcelle (ha)	0,15	0,35	0,32	0,15 à 0,35
Nombre de bornes d'irrigation	11	9	8	28
Main d'eau (l/s)	24	24	24	72
Tour d'eau planifié (Nombre jours)	25	27	25	25 à 27
Régularité du tour d'eau	régulier	27 j à 35 j	25 j à 30 j	25 j à 35 j
Nombre d'extensions illicites	0	28	10	38

automatique dans les canaux d'irrigation bétonnés.

L'expérimentation a été mise en place au mois d'avril 2003. Neuf stations de mesure ont été installées et réparties de la façon suivante :

- 3 stations pour la caractérisation et le suivi de l'eau d'irrigation : 1 sur le partiteur pour contrôler l'entrée à l'échelle de l'oasis (débit, salinité et distribution) et 2 sur les seguias S1 et S2 pour contrôler le tour d'eau et l'entrée à l'échelle de la parcelle (débit, température) ;
- 4 stations pour la caractérisation et le suivi de l'eau de drainage : 1 sur le regard de drainage pour mesurer le débit et la salinité de l'eau drainée à la sortie de la parcelle et 3 au niveau des trois rejets de l'oasis (R1, R2 et R3) pour le suivi de la salinité et du débit de l'eau drainée à la sortie de l'oasis ;
- 2 stations de suivi piézométrique (PiézoB1 et PiézoB2) installées à la parcelle pour déterminer la relation entre le débit et la charge au-dessus du drain et suivre la dynamique de la nappe en fonction des importations et des exportations hydriques au niveau de la parcelle. Le piézomètre B1 est situé à 2 m du puits (pompage de 6 m) afin de suivre l'impact des prélèvements qui y sont effectués.

Le suivi de la piézométrie et de la salinité de la nappe a démarré depuis l'année 2001 avec 27 piézomètres installés sur l'ensemble de l'oasis. Ces mesures sont complétées par des observations sur le terrain.

3 Résultats et discussion

Dans ce qui suit, nous nous limitons à présenter les premiers résultats relatifs aux mesures collectées à l'échelle de la parcelle en vue de comprendre les relations entre la gestion de l'eau et le bilan des sels.

3.1 L'irrigation et son impact sur la profondeur de la nappe

Deux mesures de la profondeur de la nappe superficielle sont réalisées en continu sur la parcelle au pas de temps de dix minutes. Depuis le mois d'avril 2003 jusqu'au mois d'octobre 2003, sept irrigations (ou épisodes d'irrigation) ont été réalisées avec une fréquence variant entre 23 à 30 jours reflétant l'irrégularité du tour d'eau sur la parcelle. Les volumes d'eau et quantités de sels apportés sont présentés sur le tableau 2.

En réponse à chaque apport hydrique, on enregistre une remontée rapide de la nappe superficielle (figure 3). Cette recharge de la nappe par l'eau d'irrigation est suivie d'un tarissement progressif

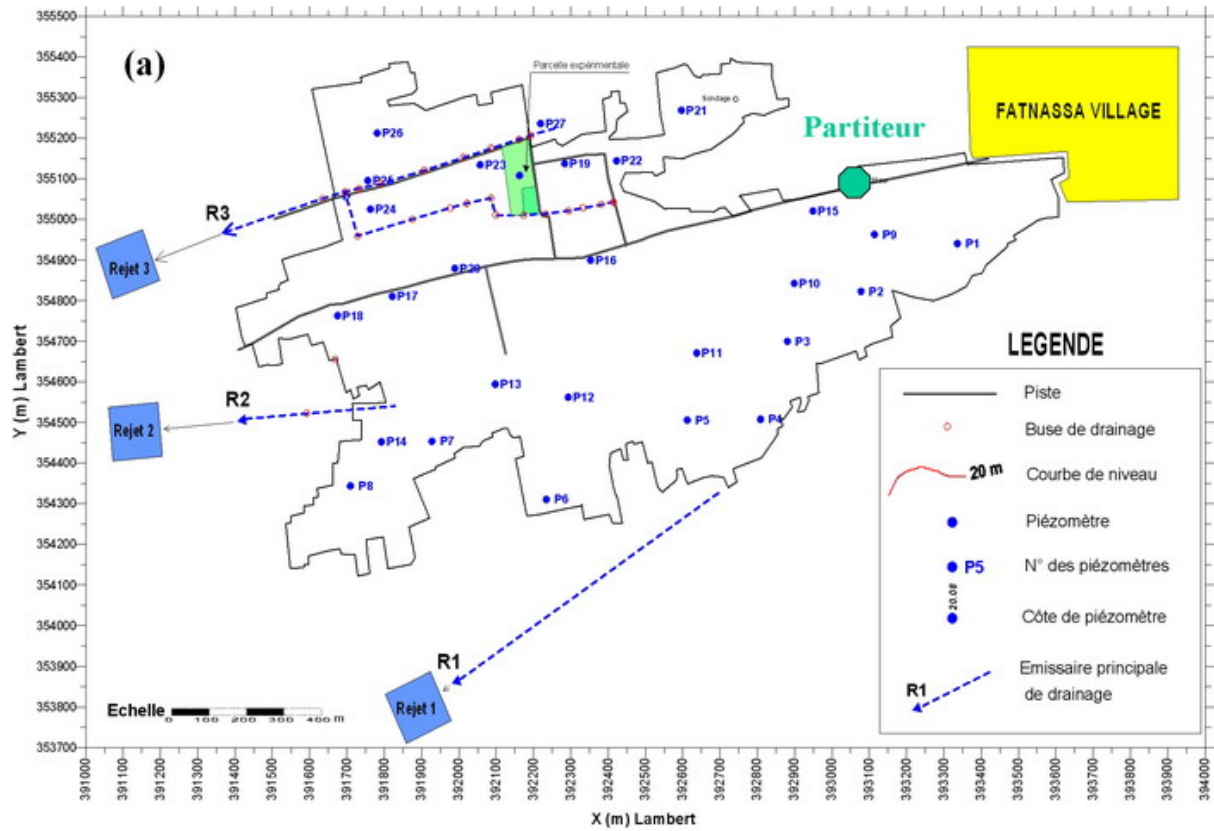


FIG. 1 – Dispositif expérimental à l'échelle de l'oasis.

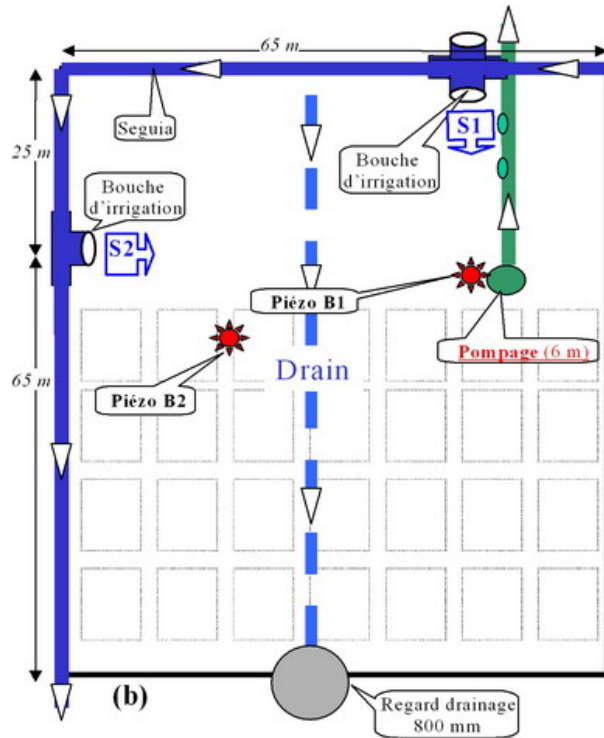


FIG. 2 – Dispositif expérimental à l'échelle de la parcelle.

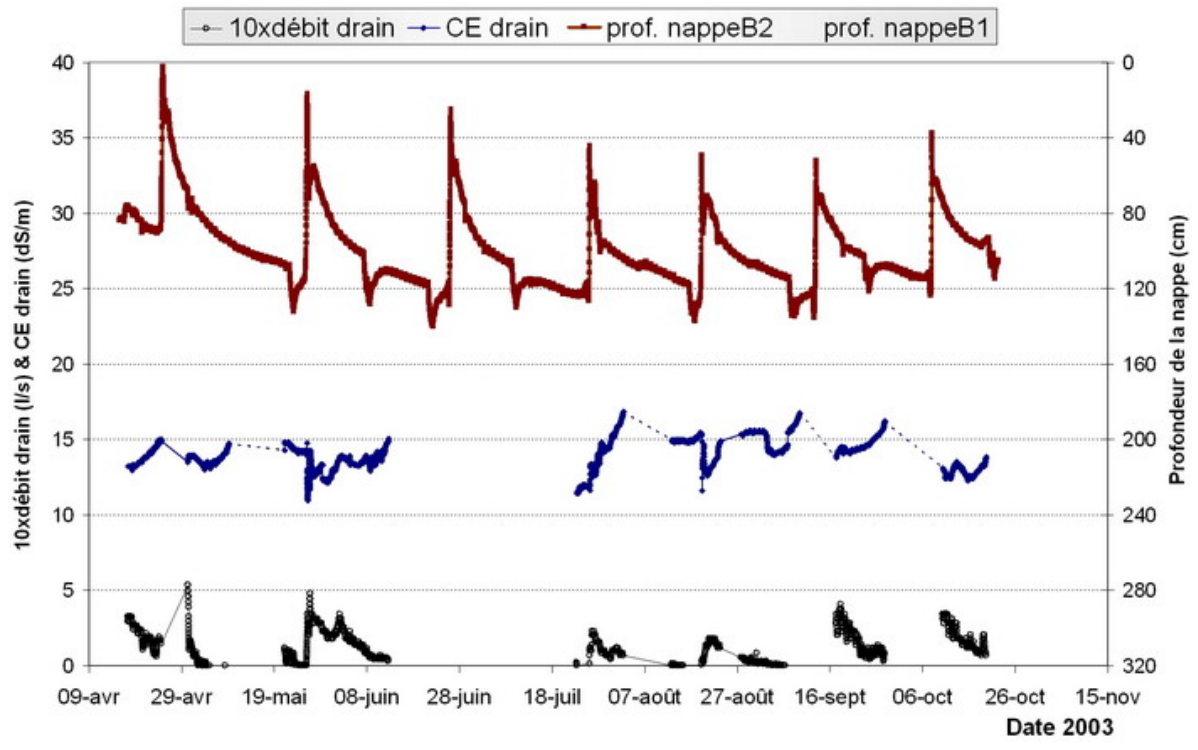


FIG. 3 – Evolution temporelle de la profondeur de la nappe, de la salinité (CE, conductivité électrique) et du débit des eaux de drainage en fonction des irrigations au niveau de la parcelle.

sous l'effet conjugué du drainage et de l'évapotranspiration.

Bien que la dose et la fréquence des irrigations soient presque constantes dans le temps, on observe que le niveau atteint par la nappe après les irrigations est fonction de la demande climatique (figure 3). La nappe est affleurante après la première irrigation mi-avril et ne remonte qu'à 50 cm de profondeur à la cinquième irrigation mi-août. Ce résultat s'explique par l'effet de déstockage de l'eau du sol liée à l'évapotranspiration.

Les opérations de pompage réalisées par l'agriculteur, soit pour irriguer sa parcelle, soit pour fournir de l'eau à une parcelle située à la périphérie de l'oasis (extension) sont très aisément repérables sur le piézomètre B1, situé à 2 m du pompage (figure 4). A proximité du puits, la nappe réagit instantanément au pompage pour s'abaisser sous la cote de la sonde de mesure (située à une profondeur de 1,85 m). A l'arrêt du pompage, elle remonte, soit à son niveau initial, soit à une cote inférieure si le pompage est prolongé.

3.2 Le drainage à la parcelle

Les débits de drainage enregistrés présentent une évolution cohérente avec les occurrences d'irrigation et la dynamique de la nappe. On observe un pic de débit concomitant avec les apports d'eau (figure 3). Des perturbations de débit sont également observées en liaison avec la mise en route du pompage (figure 4).

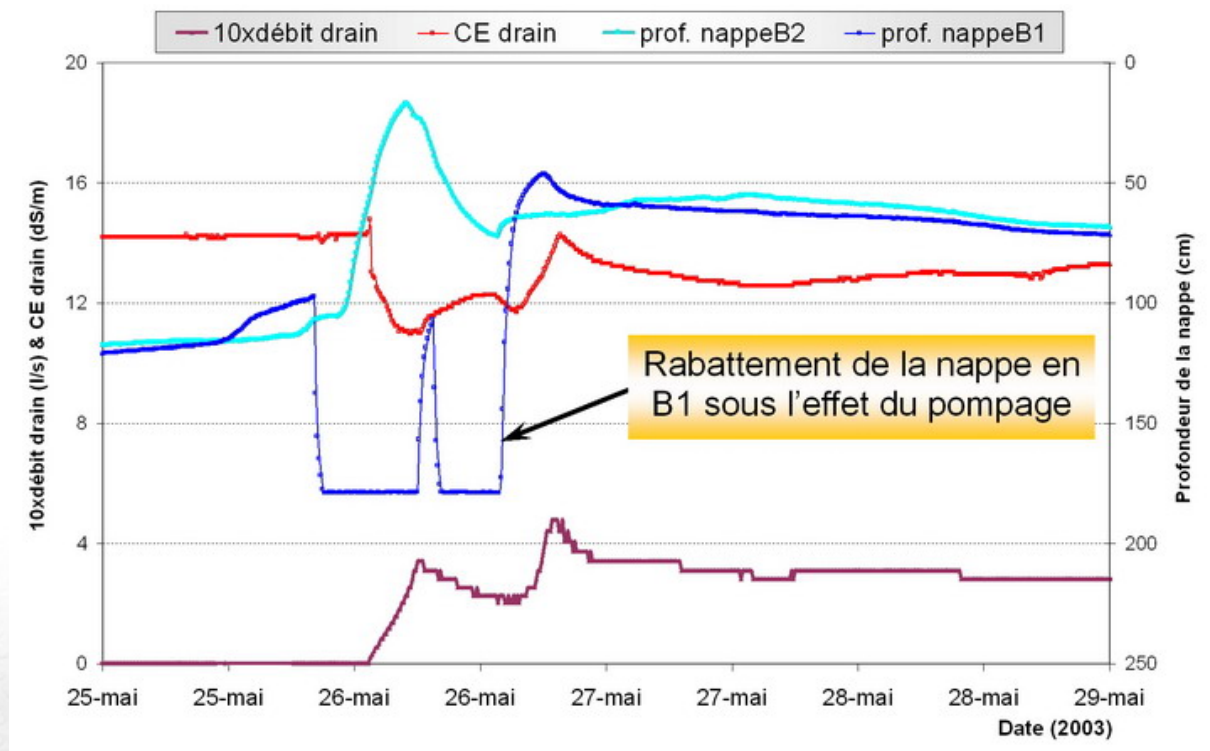


FIG. 4 – Evolution temporelle de la profondeur de la nappe, de la salinité (CE, conductivité électrique) et du débit des eaux de drainage en fonction des irrigations et des exportations au niveau de la parcelle.

La mesure de la conductivité électrique (CE) à la sortie du drain présente également des allures cohérentes. Les variations au cours de la saison et en fonction des épisodes d'apport hydrique mettent en évidence les effets de dilution de l'eau de drainage par l'eau d'irrigation nettement plus douce.

Le coefficient de passage de la conductivité électrique vers la teneur en sels dissous dans l'eau exprimés en g/l a été établi (figure 5). Une étroite corrélation est obtenue ($R^2 = 0,995$) incluant l'eau d'irrigation, ce qui témoigne que l'origine de la nappe de surface est constituée par l'eau d'irrigation. Le coefficient de passage est de 0,72, il sera utilisé dans les analyses suivantes pour traduire les conductivités électriques en taux de sels dissous.

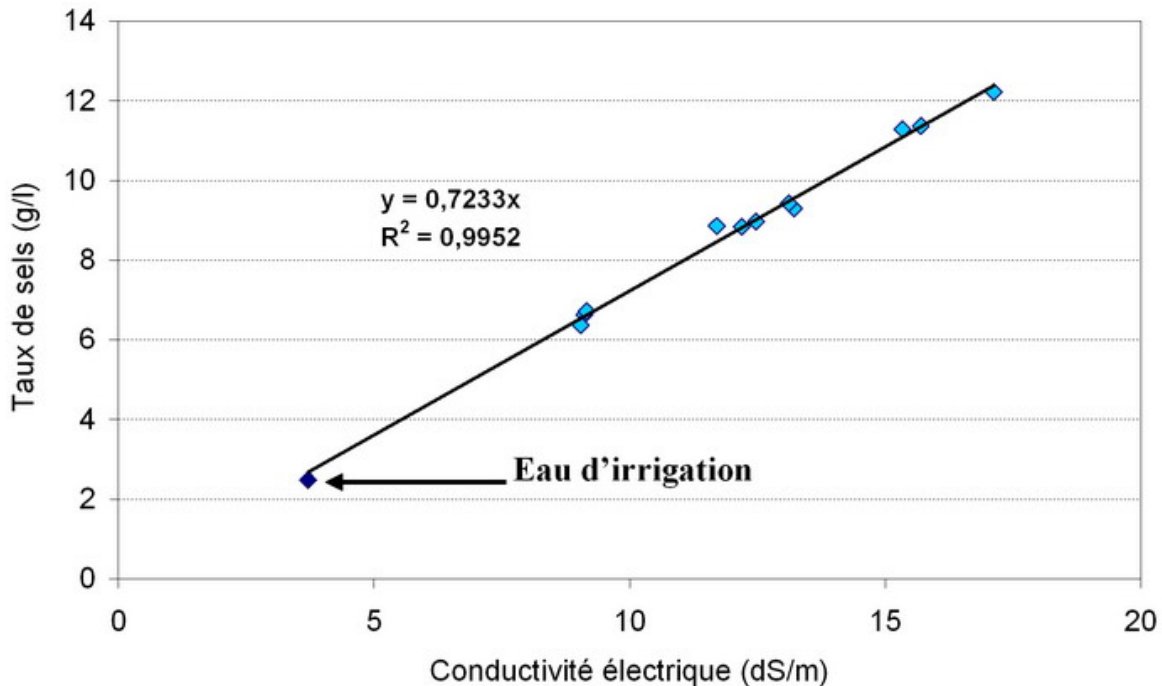


FIG. 5 – Relation entre conductivité électrique et quantité de sels dissous dans l'eau de nappe et dans l'eau d'irrigation de l'oasis de Fatnassa (analyses réalisées à l'INRGREF).

D'après ces résultats, on constate que le drain enterré à 1,2 m de profondeur présente un fonctionnement normal repérable par la variation immédiate de son débit en fonction des importations et des exportations hydriques réalisées sur la parcelle. La question est cependant de déterminer si, à l'échelle de l'année, en intégrant la variation saisonnière, le drainage souterrain évacue bien la quantité des sels apportée par l'irrigation.

Cet objectif n'a été que partiellement atteint, en raison d'une part de la mise en place récente de l'expérimentation et, d'autre part, des nombreuses données de débit manquantes dues à un problème technique. Seuls deux épisodes d'irrigation I2 (25 mai au 12 juin) et I5 (19 août au 5 septembre) bénéficient de suffisamment d'informations pour y parvenir.

3.3 Estimation des bilans hydrique et salin à la parcelle sur deux épisodes

Les bilans hydriques et salins sont établis pour les deux épisodes I2 et I5 et qui correspondent chacun à une durée d'environ 20 jours. En revanche, les quantités d'eau d'irrigation et de sels importées correspondantes ont pu être estimées sur l'ensemble de la période de suivi (tableau 2).

Les termes du bilan sont exprimés pour les deux épisodes d'irrigation (tableau 3). Les doses d'irrigation apportées sont d'environ 156 mm pour I2 et 110 mm pour I5. Les quantités de sels

apportées par ces eaux sont de 4,7 t/ha pour I2 et 3,5 t/ha pour I5. A la suite de ces irrigations, le réseau de drainage a permis d'évacuer une lame d'eau de 36 mm pour I2 et 12 mm pour I5 et une quantité de sels d'environ 3,6 t/ha pour I2 et 1,3 t/ha pour I5 (figure 6). La fraction de lessivage déduite de ces résultats est de 23 % et de 10 % respectivement pour les deux périodes d'irrigation I2 et I5. Pour un sol léger analogue aux conditions de notre parcelle, la fraction de lessivage généralement recommandée est de l'ordre de 15 % (NEA, 1983[5]) La variabilité temporelle de la fraction de lessivage ne permet pas de raisonner à l'échelle d'un seul épisode et met en évidence la nécessité de raisonner la question du lessivage à l'échelle annuelle.

TAB. 2 – Quantités d'eau et de sels correspondantes apportées par irrigation au niveau de la parcelle.

Episode d'irrigation	Volume d'irrigation (m ³)	Sels apportés (kg)
I1	953	2 901
I2	1 274	3 946
I3	1 140	3 559
I4	935	2 880
I5	878	2 834
I6	1 127	3 518
I7	939	2 895
Total	7 246	22 533

TAB. 3 – Bilan hydrosalin à l'échelle de la parcelle pour les deux épisodes I2 et I5.

	Bilan épisode I2 25 mai au 12 juin		Bilan épisode I5 19 août au 5 septembre	
	m ³ d'eau/ha	kg sels/ha	m ³ d'eau/ha	kg sels/ha
Entrée : irrigation	1 565	4 734	1 096	3 543
Sortie : drainage	363	3 600	118	1 299
Balance (irrigation - drainage)	1 203	1 134	979	2 244
Fraction de lessivage et proportion de sels évacués	23,2 %	76 %	10,7 %	36,6 %

Le bilan de sels (entrée - sortie) estimé est positif pour les deux périodes considérées. Si 76 % des sels sont évacués lors de l'épisode I2, cette proportion tombe à seulement 36 % pour l'épisode estival. Il est donc probable que le bilan est excédentaire pour l'ensemble de la période étudiée, entre avril et octobre 2003. En effet, malgré les problèmes d'acquisition de mesure, la figure 3 illustre la régularité du comportement des différentes variables suivies et les résultats obtenus nous semblent extrapolables, du moins qualitativement.

3.4 Influence du pompage

Les conclusions de la section précédente sont à pondérer par l'importance considérable que semblent constituer les pompages sur le régime hydrique et salin de la parcelle. Jusqu'à présent, cette évaluation des pompages n'est que qualitative car le débit de la pompe n'a pas été mesuré. Seuls les démarrages et les arrêts des pompages ont pu être comptabilisés grâce à la mesure piézométrique (figure 6).

Durant la période de mesure du 15 avril au 22 octobre 2003, le temps de pompage effectif est évalué à 470 h. Nous avons effectué une première estimation du débit sur la base des déclarations de l'agriculteur qui estime le débit de la pompe à environ 5 l/s. Ce débit, multiplié par le temps de

pompage, équivaldrait à un volume pompé d'environ 8 500 m³, soit environ 1 000 mm pompés à l'échelle de la parcelle sur l'ensemble de la campagne. Hormis le volume drainé, ce volume pompé excède déjà les irrigations apportées, évaluées à un volume de 7 250 m³, soit 906 mm (tableau 2). Ce débit n'est donc pas réaliste et nécessite une mesure particulière, notamment en terme de régime de pompage. De plus, sur ce volume très important, nous ne connaissons pas la proportion réinjectée dans la parcelle et celle déviée vers l'extension.

Le positionnement du puits en bordure de la parcelle est également à prendre en compte. La nappe captée par ce puits est donc prélevée pour partie dans la parcelle voisine. Cette nappe est rechargée par des irrigations non comptabilisées dans le bilan.

L'influence des pompages se répercute sur l'ensemble des variables mesurées. La différence de cote piézométrique entre le piézomètre proche du forage (B1) et celui localisé à environ 50 m du forage (B2) s'accroît avec la progression de la campagne en saison estivale et l'intensification des pompages. Quasiment confondues au cours des mois d'avril et de mai, les deux cotes piézométriques présentent au mois d'octobre une différence de cote systématique de plus de 20 cm.

L'effet des pompages sur les autres variables mesurées, débit de drainage et conductivité électrique, est également perceptible (figures 3 et 4). Toutefois, en l'absence de données relatives à l'évolution du stock d'eau et de sels dans le sol, il est difficile de déterminer le poids de ce pompage sur le bilan d'eau et des sels à l'échelle de la parcelle.

4 Conclusion

L'estimation des bilans hydrique et salin a été effectuée à l'échelle d'une parcelle, du mois d'avril au mois d'octobre 2003. Au cours de cette période, plus de 900 mm d'eau ont été apportés, ce qui correspond à 28 t/ha de sels. Ce chiffre traduit l'importance du drainage pour contrôler la salinité.

Si le réseau de drainage répond de manière cohérente aux épisodes d'irrigation, la quantité de sels évacuée par drainage durant la période examinée est cependant bien inférieure à celle importée par l'eau irrigation. Pour être exhaustive, cette évaluation devra porter sur l'année entière en raison de la forte variation saisonnière de la fraction de lessivage.

Sur la parcelle considérée, le pompage traduit une gestion complexe de l'eau entre l'oasis et les extensions et il est nécessaire de mieux estimer le poids de cette gestion dans l'établissement du bilan. En revanche nous pouvons d'ores et déjà supposer que l'effet du pompage est sans doute d'un ordre de grandeur significatif par rapport à celui du drainage et contribue probablement à rééquilibrer le bilan salin.

Références

- [1] CRUESI et UNESCO, 1970. Recherche et formation en matière d'irrigation avec les eaux salées. Rapport technique 1962-1969, Paris, France, 243 p.
- [2] Kassah A., 1996. Les oasis tunisiennes : Aménagement hydro-agricole et développement en zone aride. Tunis : Edition CERES, Série géographique n° 13, 346 p.
- [3] Mamou A., 1990. Caractérisation, évaluation et gestion des ressources en eau du sud tunisien. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Paris-Sud, Orsay, France, 541 p.
- [4] Henia L., 1993. Climat et bilan de l'eau en Tunisie. Essai de régionalisation climatique par les bilans hydriques. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis. 381 p.

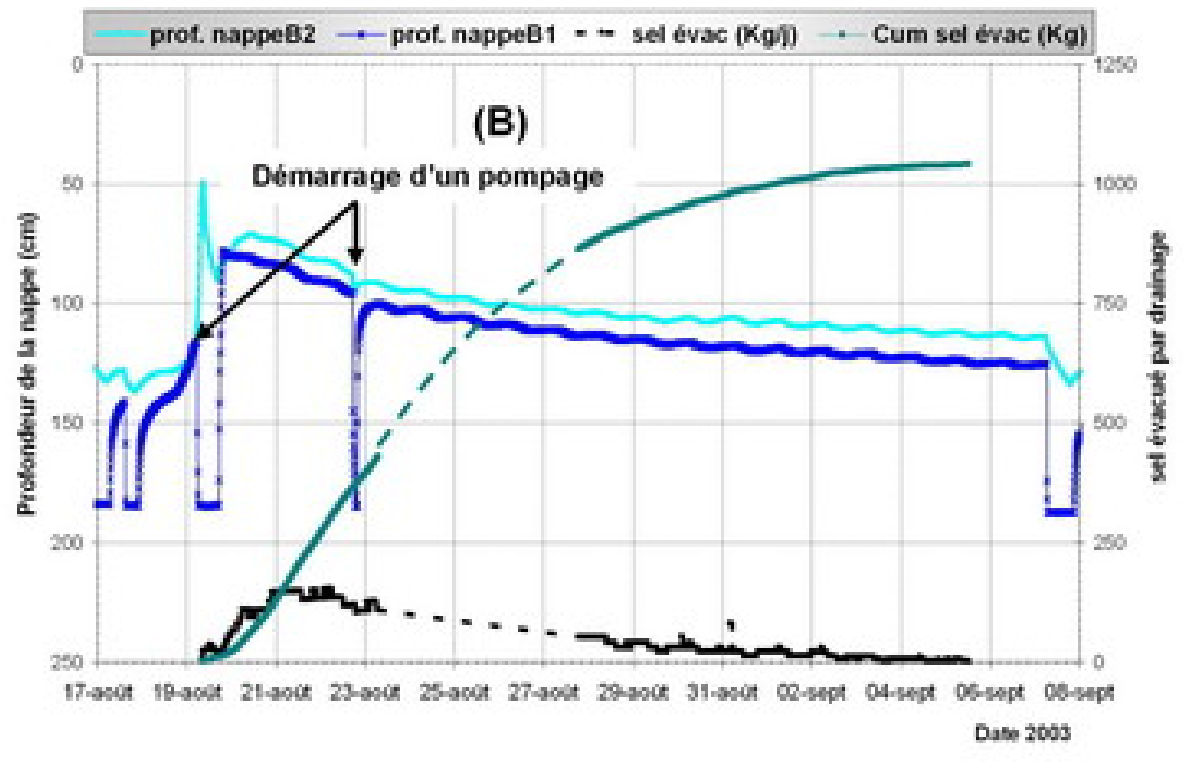
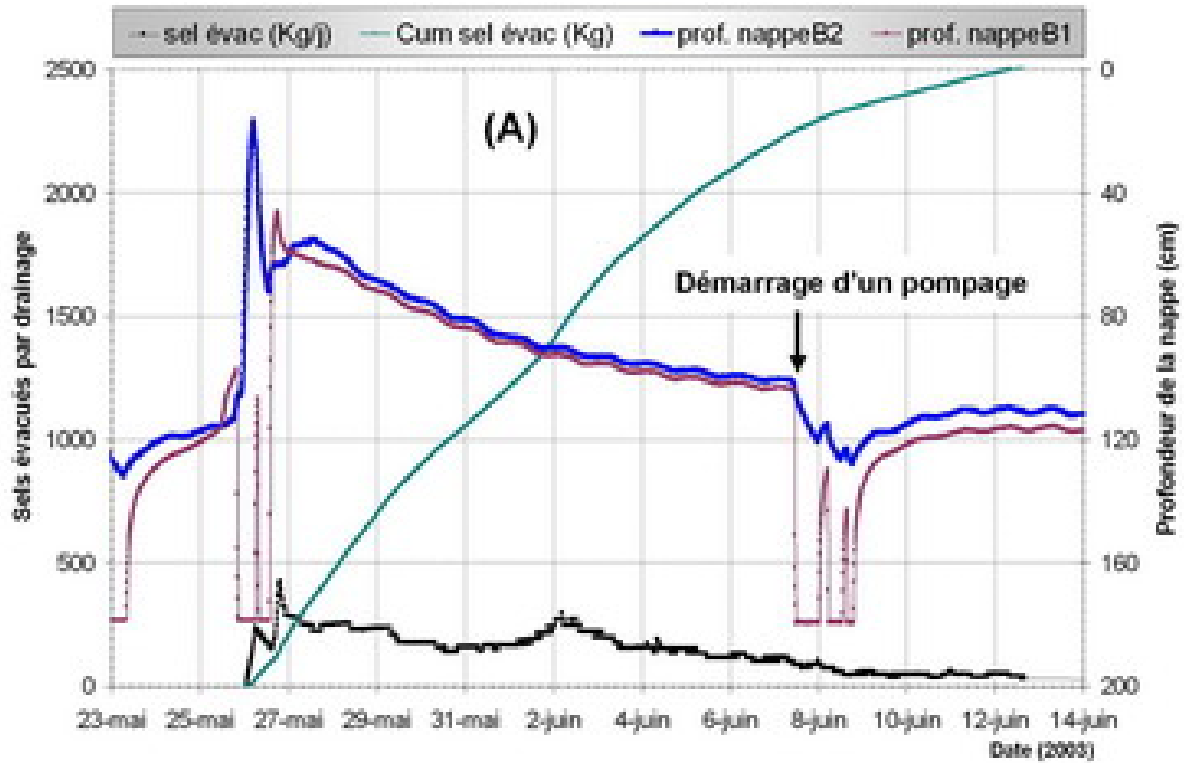


FIG. 6 – Evolution temporelle de la profondeur de la nappe (cm) et de la quantité des sels évacués par drainage (kg) au niveau de la parcelle pendant les épisodes I2 (A) et I5 (B).

- [5] NEA, 1983. Projet de rénovation et de création d'oasis dans la Nefzaoua. Données de base , volume 1 : Paramètres de l'irrigation. Ministère de l'Agriculture, Tunis, Tunisie, 40 p
- [6] STUDI et BRL Ingénierie, 1999. Projet d'amélioration des périmètres irrigués dans les oasis du Sud. Projet de Kébili. Première tranche, phase I, volume 2, oasis de Fatnassa. Edition définitive, 21 p. et annexes.