

# Les ressources en eau du barrage d'el Haouareb et des nappes adjacentes, vallée du Merguellil, Tunisie centrale

Christian LEDUC\*, Ridha BEJI\*\*, Roger CALVEZ\*\*\*

\*IRD, UMR HydroSciences Montpellier, France

\*\*DGRE, CRDA Kairouan, Tunisie

\*\*\*IRD, US DIVHA, Tunis, Tunisie

**Résumé** — Dans la vallée du Merguellil, le barrage d'el Haouareb sépare le haut-bassin, très varié dans sa géologie, sa morphologie et son hydrologie, de la vaste plaine alluviale, plus homogène, élément de la plaine de Kairouan. Le barrage construit en 1989 bloque tous les écoulements vers l'aval et provoque involontairement l'infiltration des eaux de surface vers un karst puissant, lui-même en contact avec plusieurs aquifères. Les interactions entre les diverses composantes hydrologiques régionales sont nombreuses et encore insuffisamment quantifiées. Nous donnons ici l'état des connaissances actuelles et les prochaines recherches à entreprendre. Comme attendu en milieu méditerranéen semi-aride, les apports au barrage sont très variables dans le temps. A plus de 60 %, ils disparaissent dans le karst. La recharge des aquifères, qui s'effectuait autrefois lors des crues les plus fortes du Merguellil, connaît donc un nouveau régime. Les années les plus humides induisent toujours une remontée des piézométries des nappes adjacentes (Aïn el Beidha à l'amont, alluvions de la plaine de Kairouan à l'aval). Cependant, le trait régional majeur est la surexploitation de la nappe alluviale par des forages de plus en plus nombreux répondant à une forte extension de l'irrigation. La baisse de cette nappe dépasse 1 m/an par endroits et rien ne peut présumer une diminution de cette chute dans les prochaines années.

**Abstract** — **Water resources in the El Haouareb reservoir and connected aquifers (Merguellil valley, central Tunisia).** The El Haouareb dam splits the Merguellil catchment into an upstream basin, characterized by a varying geology, morphology and hydrology, and a large alluvial plain, more homogeneous, part of the broad Kairouan plain. The dam, built in 1989, stops the whole surface runoff and unintentionally favours infiltration to a large karst, which is connected with several aquifers. Interactions between the different components of the regional hydrology are many-sided and insufficiently quantified by now. The present paper intends to sum up the present knowledge and the future research to be developed. As usual in Mediterranean semi-arid regions, surface runoff reaching the dam is very variable in time. Over 60 % of it disappears into the karst. Aquifer recharge, that occurred in the past mainly during the greatest Merguellil floods, has now turned to a new regime. The rainiest years still induce a rise in the water table close to the dam (Aïn el Beidha aquifer upstream, the Kairouan plain downstream). But the most important figure at the regional level is the overexploitation of the alluvial aquifer by boreholes, more and more numerous because of the rapid extension of irrigation. The drop in the alluvial water table is over 1 m/yr in many places and this fall will go on in the future.

## Introduction

Le bassin versant du Merguellil (figure 1) est un des trois grands bassins qui aboutissent dans la plaine de Kairouan. Il comporte une partie amont (1 200 km<sup>2</sup>), relativement montagneuse, très variée dans sa topographie et son occupation des sols, et une partie aval, vaste plaine totalement colonisée par l'agriculture. Entre les deux, le barrage d'el Haouareb, construit en 1989, retient toutes les eaux de l'oued. Comme tous les milieux méditerranéens et semi-arides, le bassin est caractérisé par une très forte variabilité spatiale et temporelle des précipitations. Il se trouve entre les isohyètes 250 et 500 mm et l'évaporation mesurée sur bac varie généralement entre 1 500 et 2 000 mm/an. De nombreux aménagements de protection contre l'érosion ont été et sont construits dans le bassin amont et modifient très sensiblement les écoulements de surface. Plusieurs systèmes aquifères différenciés existent à l'amont ; leurs échanges sont mal connus, tout comme les liens entre le réseau hydrographique et les nappes. A l'aval, une grande nappe phréatique est contenue dans les alluvions de la plaine. Elle représente le plus important réservoir aquifère de la Tunisie centrale. Elle communique avec les nappes de l'amont et d'autres nappes latérales. L'infiltration des eaux de l'oued lors des crues était probablement la principale source d'alimentation de la nappe alluviale ; depuis la construction du barrage, cette recharge n'existe plus du tout.

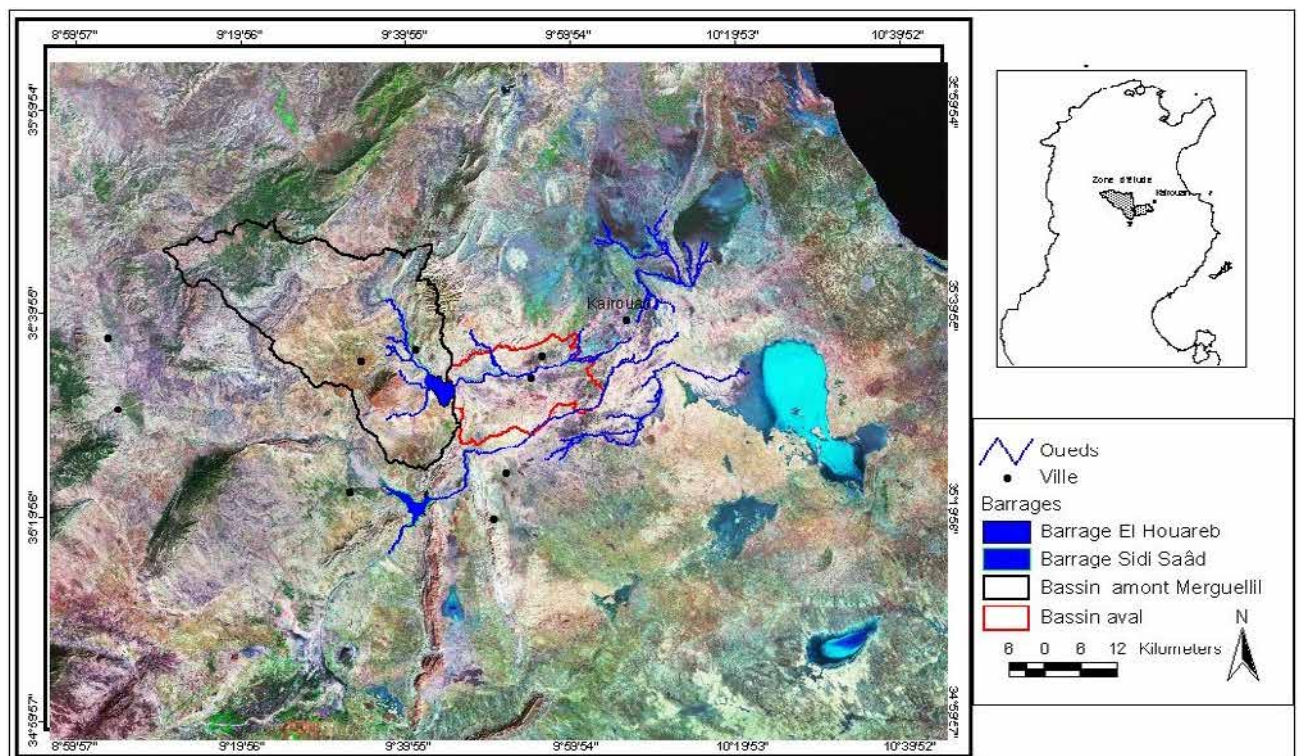


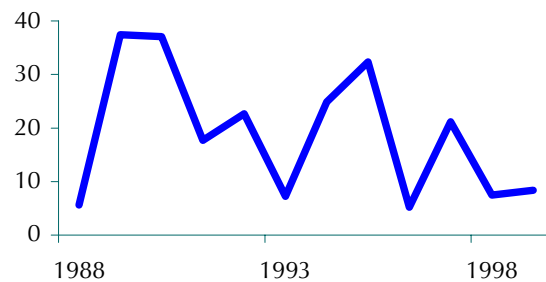
Figure 1. Localisation du bassin versant du Merguellil.

Les études les plus anciennes sur l'hydrogéologie régionale datent d'avant l'indépendance de la Tunisie. Les mesures des années 60 et 70 avaient abouti à la première modélisation mathématique (Besbes, 1975), réactualisée ensuite par Chaieb (1988) et Nazoumou (2002). Malgré ces travaux et les mesures qui se prolongent de manière plus ou moins continue et dense depuis cette époque, les connaissances scientifiques sont encore fragmentaires et bien des incertitudes demeurent.

## Le barrage d'el Haouareb

Le ruissellement sur le haut bassin du Merguellil est très variable dans le temps. Il existe une incertitude sur les apports annuels au barrage d'el Haouareb puisque deux affluents du Merguellil ne sont pas mesurés et que le reste du bassin est contrôlé par une série de stations hydrométriques dont la plus à l'aval n'est pas la plus fiable. Tels qu'évalués actuellement (figure 2), les apports annuels au barrage ont varié entre un minimum de 5,2 Mm<sup>3</sup> en 1996/97 et un maximum de 37,4 Mm<sup>3</sup> en 1989-1990, la moyenne étant de 17,4

Mm<sup>3</sup>, c'est-à-dire bien loin de la capacité maximale du barrage, 95 Mm<sup>3</sup>. Kingumbi *et al.* (2004) estime que les apports au barrage sont constitués à 5 % par les pluies tombant sur la retenue, à 12 % par les débits de base et à 83 % par les débits de crue.



**Figure 2.** Variation des apports annuels au barrage d'el Haouareb (en millions de m<sup>3</sup>).

Le barrage d'el Haouareb est construit sur une ligne de faille qui limite le profond fossé d'effondrement de la plaine de Kairouan. Il repose en partie sur des alluvions récentes et en partie sur un karst actif. Les travaux d'aménagement de l'évacuateur de crue du barrage ont dégagé une partie de ce karst et donné naissance à une source pérenne dont le débit est très lié au niveau de la retenue. D'autres conduits karstiques provoquent des pertes très importantes dans la retenue. Le bilan actuel répartit l'eau de la retenue en 63 % d'infiltration vers les nappes, 25 % de reprise évaporatoire et 12 % d'usages aval (prélèvement et lâcher). Cette situation originale est cependant loin d'être unique en Afrique du Nord.

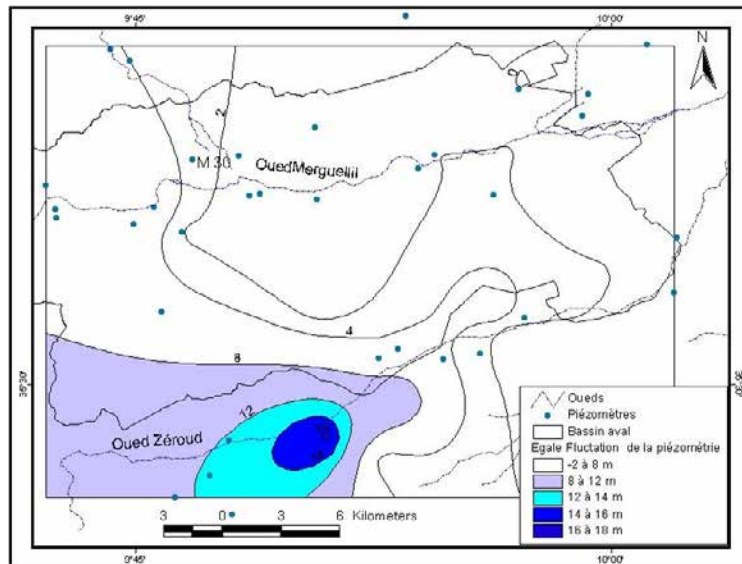
Une première approche de la dynamique de vidange du barrage a été entreprise par Kingumbi *et al.* (2004). Nous reprenons actuellement cette étude afin de préciser les processus en jeu et leur évolution dans le temps en fonction de l'accumulation des sédiments dans la retenue.

## La nappe alluviale à l'aval du barrage

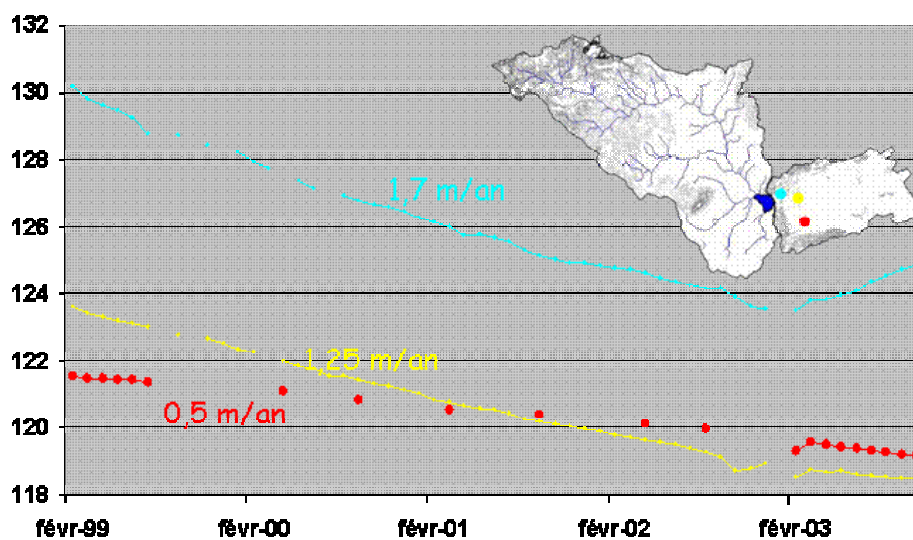
En régime naturel, le fonctionnement de la nappe alluviale était probablement assez simple. Il n'existe aucun indice d'une quelconque recharge diffuse, ce qui n'est pas surprenant sous un climat semi-aride lorsque la zone non-saturée présente une forte épaisseur. L'alimentation de la nappe, en dehors des échanges avec les autres aquifères, devait provenir de l'infiltration des crues exceptionnelles des oueds. La crue de 1969 (fig. 3) illustre ce mode de recharge : dans la basse vallée du Merguellil, la hausse piézométrique ne dépasse 2 m que dans son extrémité occidentale alors qu'elle atteint ou dépasse 10 m dans la vallée du Zéroud. La hausse de nappe n'est qu'une image imparfaite de la recharge ayant traversé la zone non saturée puisqu'elle est également liée aux caractéristiques hydrodynamiques locales.

Au cours des dernières décennies, l'anthropisation a profondément modifié le paysage hydrologique : réalisation du barrage bloquant tous les écoulements à l'aval, multiplication des forages d'irrigation et des prélèvements AEP. La baisse actuelle de la nappe alluviale à l'aval du barrage (figure 4), importante et généralisée, témoigne d'une surexploitation liée d'abord au développement agricole régional, qui représente de loin la principale ponction dans la nappe (environ 50 des 60 millions de m<sup>3</sup> prélevés annuellement selon les chiffres officiels). La menace pesant sur une ressource d'importance nationale est donc grande, immédiate et évidente.

Malgré le phénomène majeur de perturbation par les pompages, la piézométrie reste sensible aux fluctuations climatiques et peut montrer des hausses occasionnelles résultant d'épisodes humides qui permettent une recharge par l'intermédiaire de la partie amont du bassin versant. La figure 4 montre ainsi une hausse significative de la piézométrie au printemps 2003, après plusieurs années de baisse ininterrompue. Tout comme la baisse, la hausse a une amplitude variable dans l'espace, à rattacher à la variabilité des caractéristiques hydrodynamiques dans la nappe alluviale.



**Figure 3.** Carte de la hausse piézométrique entre août 1969 et janvier 1970, suite aux très fortes inondations de 1969.



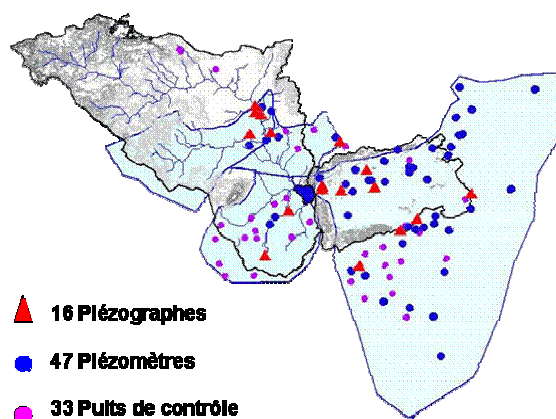
**Figure 4.** Différenciation géographique de la baisse piézométrique entre 1999 et 2004 de la nappe alluviale (cotes NGT en m).

## Les autres nappes

A l'amont du barrage d'el Haouareb, trois aquifères existent. Ils sont de bien moindre extension horizontale et verticale que la nappe alluviale à l'aval mais jouent un rôle essentiel dans cette partie du bassin du fait de leur capacité de stockage saisonnier et interannuel. D'amont en aval (figure 5), il s'agit des nappes de Bou Hafna, Hafouz, Aïn el Beidha.

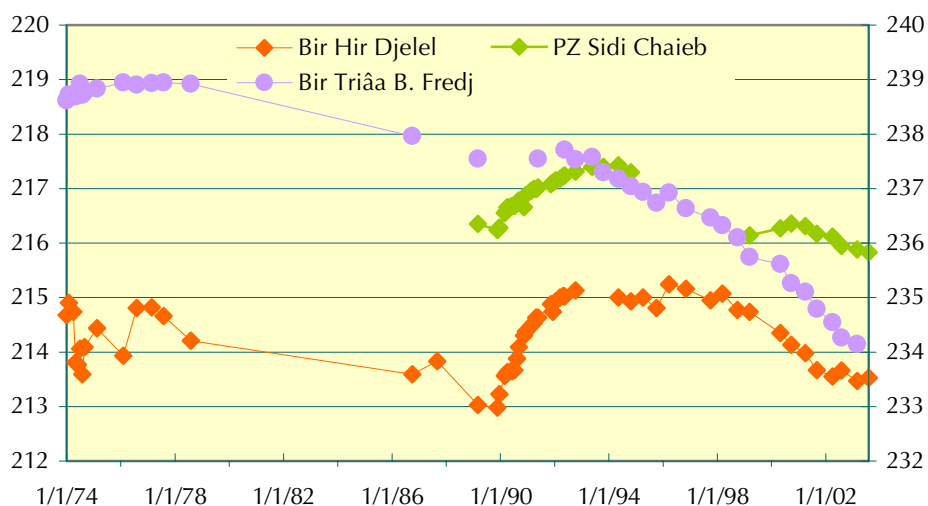
La partie du bassin la plus à l'amont ne montre pas d'aptitude aquifère significative. Les échanges entre aquifères et réseau hydrographique existent dans les deux sens et il n'est pas possible à l'heure actuelle de proposer une estimation véritablement fiable des bilans, flux et stock, de ces trois aquifères.





**Figure 5.** Les différents systèmes aquifères et le réseau de surveillance piézométrique.

Autant qu'on puisse en juger par l'analyse d'un nombre trop réduit de piézomètres (figure 6), la construction du barrage d'el Haouareb a eu un impact sur la piézométrie de la nappe d'Aïn el Beidha : la remontée de la nappe ainsi induite serait d'au moins 1,5 m sur les piézomètres de l'aval, mais elle est difficile à discerner au piézomètre le plus à l'amont (Bir Triaa). Le mouvement de baisse observé en ce dernier point a commencé au début des années 80. Plus accentué qu'à l'aval, ce mouvement est probablement dû à la fois à la péjoration climatique et à l'augmentation des prélèvements.

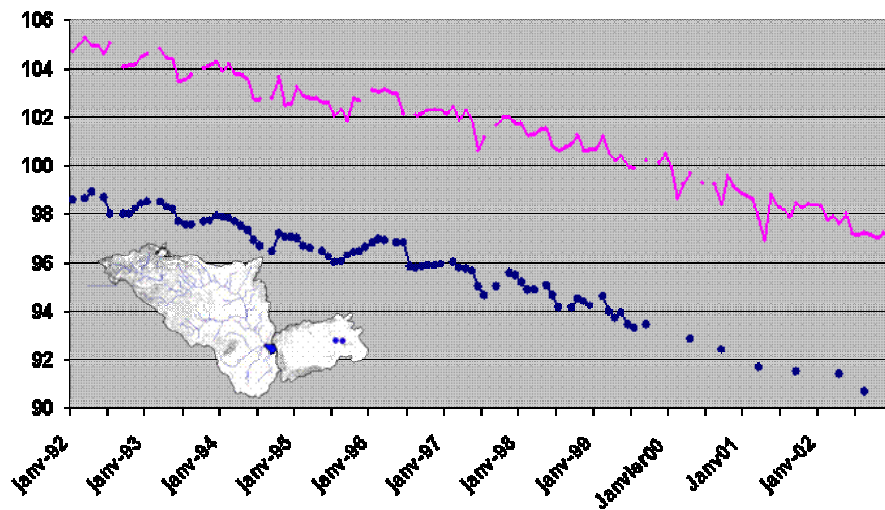


**Figure 6.** Impact de la construction du barrage d'el Haouareb sur la piézométrie de la nappe d'Aïn el Beidha (cotes NGT en m).

## Les problèmes rencontrés

Comme partout lorsque l'on analyse la piézométrie d'une nappe largement sollicitée par les pompages, il faut s'interroger sur la représentativité des mesures réalisées (quelques enregistrements en continu mais surtout des suivis mensuels). La figure 7 montre que les perturbations instantanées provoquées par les pompages dépassent 1 m et que l'interprétation de fluctuations piézométriques de moindre ampleur (saisonniers ou interannuels) est hasardeuse. La baisse à long terme reste pourtant parfaitement visible et mesurable : pour ces deux piézomètres, elle est d'environ 0,7 m/an.

Le principal problème actuel est la quantification raisonnablement précise des flux entrants et sortants. Les études antérieures ont montré qu'il existait un très fort décalage entre les estimations officielles des prélèvements et les résultats des enquêtes de terrain, qui semblent indiquer des consommations bien supérieures. Il faudra prochainement développer d'autres approches, comme l'utilisation de la télédétection pour repérer les ouvrages d'exploitation de la nappe et apprécier l'évolution des surfaces irriguées.

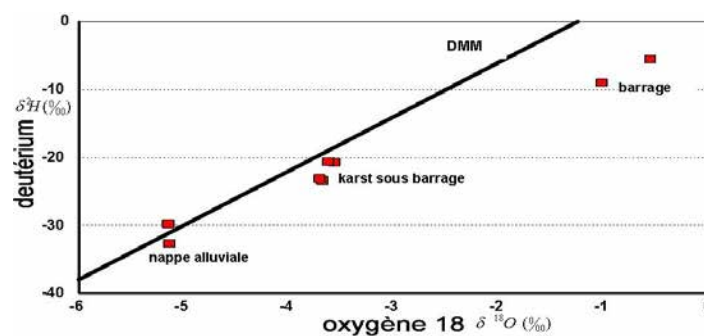


**Figure 7.** Variation à long terme de deux piézomètres de la nappe alluviale (cotes NGT en m).

Tout comme les débits sortants, les débits entrants sont mal connus. Les flux souterrains alimentant la nappe alluviale en provenance d'autres aquifères sont très difficilement évaluables. L'infiltration sous la retenue d'el Haouareb est beaucoup plus facile à quantifier, mais la répartition de cet apport entre nappe d'Aïn el Beidha, karst tunisien et nappe alluviale est inconnue.

Autre terme du bilan non maîtrisé jusqu'à présent, le retour des eaux d'irrigation à la nappe est actuellement inconnu. Des estimations simplificatrices basées sur la demande agronomique laissent supposer que l'irrigation apportée pourrait dépasser la demande des plantes mais aucun élément n'a jusqu'à présent identifié un transfert de cet excès d'eau jusqu'à la nappe.

L'analyse hydrodynamique seule ne permet pas d'éclaircir toutes les incertitudes et doit être complétée, notamment par des investigations géochimiques. La figure 8 montre que les divers compartiments du cycle hydrologique ont des signatures isotopiques ( $^2\text{H}$  et  $^{18}\text{O}$ ) très différenciées, qui peuvent permettre de marquer les contributions respectives à la nappe alluviale. Des travaux géochimiques ont été réalisés et se poursuivent encore (par exemple Ben Hamouda, 1997 ; Montoroi *et al.*, 2002 ; les thèses en cours sous la direction de K. Zouari à l'ENI de Sfax).



**Figure 8.** Signatures isotopiques: eaux de surface soumises à forte évaporation, karst en partie réalimenté par l'infiltration des eaux du barrage, nappe hors de l'influence du barrage.

## Modélisation des écoulements souterrains

Diverses modélisations numériques des écoulements dans la nappe de Kairouan ont déjà été réalisées, la plus récente étant celle de Nazoumou (2002). Cependant, certaines approximations retenues jusque-là (modèle d'aquifère captif alors qu'il s'agit d'une nappe libre ; estimations des prélèvements basées sur les

seuls chiffres officiels) rendent le calage et les simulations incertains. Il a donc été décidé de recommencer ce travail avec des schématisations plus proches de la réalité. Ceci implique notamment de définir la géométrie de la nappe alluviale et de préciser davantage la distribution des pompages et leur évolution dans le temps. Même si la modélisation envisagée n'est qu'hydrodynamique, elle devra prendre en compte les acquis des études hydrochimiques pour préciser les différents flux entrants et sortants. Après calage, une analyse de sensibilité sera entreprise afin de définir le degré de précision des résultats du modèle et sa fiabilité.

La phase d'exploitation du modèle qui suivra aura comme objectif essentiel de démêler dans l'évolution des dernières décennies les parts respectives des fluctuations climatiques et de l'intervention humaine dans la variation de la piézométrie. Le modèle pourra être exploité pour définir des scénarios d'évolution possible permettant une gestion durable des ressources en eau dans la région au cours des prochaines décennies, soit en simulant un état moyen, soit en introduisant des chroniques reconstituées de fluctuation climatique.

La phase ultime du travail sera la "dégradation" du modèle, autrement dit l'extraction des règles essentielles de son fonctionnement actuel et futur pour introduction dans un modèle plus global prenant en compte les aspects socio-économiques.

## Conclusion et perspectives

Les incertitudes pesant sur les différents termes du bilan hydrologique sont importantes et des investigations doivent encore être entreprises afin de réduire sensiblement les marges d'erreur. Cet effort est indispensable si l'on veut proposer une estimation fiable de la surexploitation de la nappe alluviale de Kairouan et de son évolution au cours des prochaines décennies. Il faudra démêler la part des facteurs climatique et anthropique dans l'évolution récente.

La composante qualité des eaux devra être mieux prise en compte. En effet, la sollicitation de niveaux toujours plus profonds induira probablement des augmentations de la minéralisation des eaux pompées. Ce phénomène devrait encore être aggravé par le lessivage des sels stockés depuis des siècles dans la zone non saturée par les eaux d'irrigation. Quelques analyses complémentaires (<sup>15</sup>N par exemple) devraient nous permettre de mieux cerner ces éléments.

## Bibliographie

- BEN HAMOUDA M.F., 1997. Utilisation des techniques nucléaires dans l'étude de la recharge artificielle des nappes. Contribution à l'étude de la nappe de Kairouan. Mémoire de DEA, INAT, Tunisie, 79 p.
- BESBES M., 1975. Etude hydrogéologique de la plaine de Kairouan sur modèles mathématiques. Rapport CIG-EMP/DGRE LHM/RD/75/16, Fontainebleau, France, 121 p.
- CHAIEB H., 1988. Contribution à la réactualisation des modèles hydrogéologiques de la plaine de Kairouan. Mémoire de DEA, Faculté des sciences de Tunis, Tunisie, 77 p.
- KINGUMBI A., BESBES M., BOURGES J., GARETTA P., 2004. Evaluation des transferts entre barrage et aquifères par la méthode de bilan d'une retenue en zone semi-aride. Cas d'El Haouareb en Tunisie centrale. Revue des Sciences de l'Eau, 17/2, 213-225.
- MONTOROI J.P., GRUNBERGER O., NASRI S., 2002. Groundwater geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia. Applied Geochemistry 17 (2002) 1047-1060.
- NAZOU MOU Y., 2002. Impact des barrages sur la recharge des nappes en zone aride : étude par modélisation numérique sur le cas de Kairouan (Tunisie centrale). Thèse de doctorat, ENIT, Tunisie, 221 p.