

# APPROCHE GEOCHIMIQUE ET ISOTOPIQUE DES RELATIONS ENTRE LAC COLLINAIRE ET AQUIFERES : CAS DU BASSIN DE KAMECH, TUNISIE.

Gay D.\*, Albergel J\*\*, Grunberger O.\*\*\*, Nasri S.\*\*\*\*, Michelot J. L.\*\*\*\*\*, Montoroi J.P.\*\*\*

\* LHGI, UMR "Orsay Terre" CNRS- Univ. Paris-Sud, 91405 Orsay cedex, France,

\*\* IRD Mission en Tunisie, BP 434, 1004 Tunis-El- Menzah, Tunisie,

\*\*\* IRD, 32 av. Varagnat, 93143 Bondy cedex, France,

\*\*\*\* INRGREF rue 7050, B.P. 10 2080 Ariana

\*\*\*\*\* UMR "Orsay Terre" CNRS- Univ. Paris-Sud, 91405 Orsay cedex, France,

## RESUME

Un suivi hydrologique de la retenue de Kamech, en Tunisie, laisse supposer la possibilité d'infiltrations. Afin de préciser les relations entre le lac et l'aquifère sous-jacent, une étude géochimique et isotopique de reconnaissance a été réalisée. Cette étude a permis la caractérisation des trois groupes d'eaux du bassin versant, les eaux souterraines, les eaux de talweg, et les eaux du lac, préalable nécessaire à la détermination de l'influence du lac sur l'aquifère en aval. En raison des faibles dimensions du système, de fortes variations temporelles sont suspectées, sans que la durée de l'étude n'ait permis de les déterminer avec précision. Ces variations temporelles empêchent d'acquiescer une certitude sur une participation significative de la retenue à l'alimentation de la nappe. Ce type d'étude pourrait être amélioré en complétant la caractérisation spatiale par un suivi temporel. Ceci est actuellement réalisé sur trois autres retenues collinaires en Tunisie (El Oglia, El Gouazine et Dékikira).

**Mots clefs :** lac collinaire ; isotopes ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ) ; hydrochimie ; infiltration ; Tunisie.

## INTRODUCTION

Dans le cadre du programme européen « Hydromed », le lac collinaire de Kamech fait l'objet d'un suivi hydrologique depuis quatre ans (Albergel & Rejeb, 1997). L'objectif de la présente étude est de préciser les relations entre les différents types d'eaux de ce bassin, à l'aide de traceurs naturels chimiques et isotopiques.

Le lac de Kamech se situe au Nord-Est de la Tunisie, dans la péninsule du Cap Bon (Fig. 1). Le climat est de type méditerranéen humide, avec des précipitations annuelles qui varient entre 400 et 800mm/an. La pluviométrie maximum est enregistrée en décembre/janvier. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 14°C (in Rahaingomanana, 1998). D'un point de vue géologique, le bassin versant de Kamech se situe dans une zone d'affleurement du Vindobonien (Miocène moyen) présentant une alternance de marnes gypseuses et de banc de grès orientés NE-SW. Les sols du bassin versant sont à dominante calcimagnésique, bruns calcaires vertiques, tronqués ou hydromorphes. La végétation naturelle n'existe quasiment plus dans le bassin de Kamech, à l'exception des quelques hectares qui subsistent à l'aval des fronts de barres gréseuses. La création de la retenue a permis le développement d'une nouvelle irrigation ; 6ha du bassin sont irrigués à partir du lac (Mekki, 1999).



Fig. 1 : Localisation de la zone d'étude

La capacité du réservoir de Kamech est de 142 560m<sup>3</sup> pour un bassin versant de 2.45km<sup>2</sup>. Les caractéristiques principales du bassin versant et de la retenue sont résumées dans les tableaux 1 et 2.

TABLEAU 1 : caractéristiques du bassin versant.

Surface BV	ha	245,5
Périmètre BV	km	7,25
Indice de compacité		1,3
longueur du rectangle équivalent	km	2,72
largeur du rectangle équivalent	km	0,9
Altitude maximale	m	203
Altitude minimale	m	95
Indice de pente	m/km	40
Dénivelée	m	108

TABLEAU 2 : caractéristiques de la retenue.

Année de construction		1991
Latitude Nord		36°52'18"
Longitude Est		10°32'03"
Volume au déversement (Vi)	m <sup>3</sup>	142560
Surface au déversement (Si)	ha	4,466
Hauteur de la digue	m	10
Longueur de la digue	m	125
Nature du déversoir		béton triangulaire
Hauteur du déversoir	m	8,71
Largeur du déversoir	m	8,85
Diamètre de la conduite	mm	300

L'étude du bilan hydrologique de la retenue permet de supposer l'existence d'échanges entre la retenue et l'aquifère. Ce bilan peut se résumer par l'équation suivante :

$$\Delta V = (V_r + V_p + V_{esc} + V_f) - (V_{ev} + V_d + V_{vi} + V_i + V_u)$$

avec  $\Delta V$  : variation de stock dans la retenue,  $V_r$  : apports en provenance du ruissellement des versants,  $V_{esc}$  : apports souterrains,  $V_p$  : apports des précipitations tombant directement sur la retenue,  $V_f$  : apports dus à la fonte des neiges,  $V_{ev}$  : volume d'eau évaporé,  $V_d$  : volume déversé,  $V_{vi}$  : volume sortant par la vanne de vidange,  $V_i$  : pertes par infiltration, et  $V_u$  : volume d'eau prélevé pour divers usages, essentiellement l'irrigation (voir, par exemple CES-ORSTOM, 1996, 1997).

Par clôture du bilan, on détermine au niveau journalier  $V_{esc}-V_i$ . On constate alors qu'il est généralement négatif, même durant les mois d'hiver. Ceci suggère une perte par infiltration dominante, mais n'exclut pas pour autant un apport souterrain qui serait néanmoins inférieur à l'infiltration.

Afin de préciser les relations entre le lac et l'aquifère sous-jacent, une étude géochimique et isotopique de reconnaissance a été réalisée. On cherche à savoir s'il y a une fuite, qu'elle est son importance et si elle alimente un aquifère en aval. Les prélèvements ont été effectués du 15 mars au 10 avril 1999 (GAY, 1999).

### Les caractéristiques géochimiques et isotopiques des eaux du bassin :

Des mesures de teneurs en isotopes stables (oxygène 18 et deutérium) ont été réalisées sur 29 échantillons d'eaux (Fig. 1) : 2 échantillons du lac, 12 échantillons d'eau de surface, 12 échantillons d'eau souterraine, ainsi que 3 échantillons prélevés à trois jours d'intervalle dans un bac contenant de l'eau du lac. Les résultats de ces analyses sont présentés sous forme de graphiques mettant en relation les teneurs en deutérium et les teneurs en oxygène 18. Dans ce type de graphique, les points représentatifs des précipitations s'alignent sur une droite de pente 8 qui caractérise un processus de condensation à l'équilibre isotopique, et d'ordonnée à l'origine (d) variable. A l'échelle mondiale, en particulier pour les précipitations d'origine océaniques, d est très proche de 10 :  $\delta^2H=8\delta^{18}O+10$  (Craig 1961)

Lorsque la vapeur à l'origine des précipitations provient d'une mer fermée, telle la Méditerranée,  $d$  est supérieur à 10. Ainsi, ce paramètre peut atteindre une valeur de +22 dans le bassin de la Méditerranée orientale (Gat & Carmi, 1970). Pour ce qui concerne la Tunisie septentrionale, l'influence méditerranéenne se traduit par une valeur de  $d$  voisine de 12.5 (station de Tunis-Carthage, IAEA/WMO, 1999).

Un processus d'évaporation dans un environnement naturel engendre des phénomènes de fractionnement isotopique hors-équilibre. Lors de l'évaporation, les isotopes lourds ( $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ ) resteront préférentiellement dans la phase la plus « condensée ». Ainsi la vapeur d'eau se formant à partir d'une surface liquide sera appauvrie en isotopes lourds, tandis que l'eau résiduelle sera enrichie par rapport à l'eau initiale. Dans un diagramme  $\delta^2\text{H}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$ , une pente inférieure à 8 est caractéristique d'un processus d'évaporation. Cette pente dépend principalement de l'humidité relative de l'air  $hr$ , au moment de l'évaporation. Elle peut diminuer jusqu'à 3 lorsque  $hr$  est très faible. (Gonfiantini, 1986).

Dans le cas de Kamech, les trois échantillons prélevés dans le bac permettent d'établir une droite d'évaporation, puisque dans un graphique  $\delta^2\text{H}$  versus  $\delta^{18}\text{O}$  ils définissent, à partir du point représentatif de l'eau du lac, une droite d'équation  $\delta^2\text{H} = 4.9 \delta^{18}\text{O} - 5.1$  (Fig.2). Il est remarquable que le point représentatif d'un échantillon d'eau du lac prélevée en août 98 se situe également sur cette droite, avec des teneurs isotopiques plus élevées. Ceci suggère que les conditions d'évaporations sont relativement proches d'une saison à l'autre, et donc que les humidités relatives de l'air sont similaires.

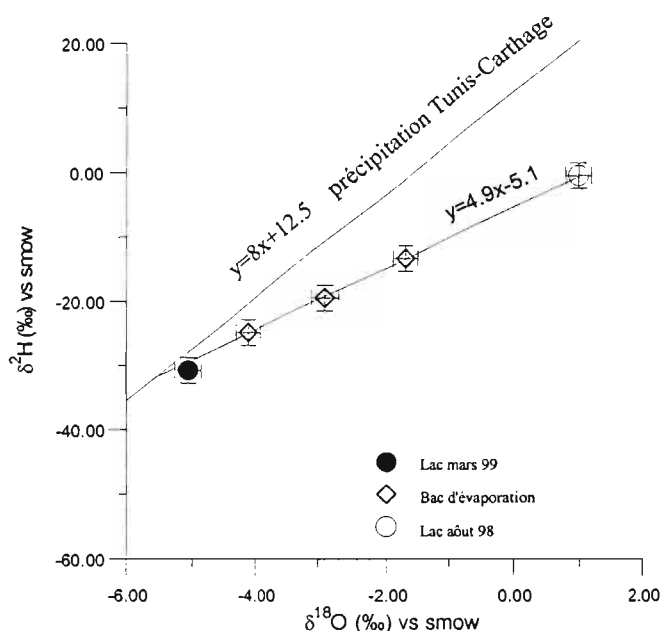


Fig. 2 : Droite d'évaporation

Les résultats des analyses chimiques sont présentés de façon synthétique, dans les tableaux 3, 4, 5, et 6.

TABLEAU 3: moyennes des teneurs chimiques des eaux des puits.

	$\text{Ca}^{++}$ meq/l	$\text{Mg}^{++}$ meq/l	$\text{K}^+$ meq/l	$\text{Na}^+$ meq/l	$\text{HCO}_3^-$ meq/l	$\text{Cl}^-$ meq/l	$\text{NO}_3^-$ meq/l	$\text{SO}_4^{--}$ meq/l	$\text{SiO}_2$ (mg/l)	cond ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH
Moyenne	10,2	5,65	1,24	14,09	5,64	14,33	1,04	9,45	8,8	2953,	7,50
Minimum	4,6	0,10	0,07	6,33	1,66	6,76	0,03	0,52	1,0	1343	6,87
Maximum	23,9	13,23	8,89	22,03	8,90	30,60	8,22	28,65	19,1	5910	8,33

TABLEAU 4: moyennes des teneurs chimiques des eaux de source.

	$\text{Ca}^{++}$ meq/l	$\text{Mg}^{++}$ meq/l	$\text{K}^+$ meq/l	$\text{Na}^+$ meq/l	$\text{HCO}_3^-$ meq/l	$\text{Cl}^-$ meq/l	$\text{NO}_3^-$ meq/l	$\text{SO}_4^{--}$ meq/l	$\text{SiO}_2$ (mg/l)	cond ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	pH
--	---------------------------	---------------------------	-----------------------	------------------------	---------------------------	------------------------	--------------------------	-----------------------------	--------------------------	-------------------------------------	----

Moyenne	8,15	6,20	0,19	14,23	5,36	13,03	0,23	8,29	9,05	2359	8,14
Minimum	5,25	2,25	0,09	7,95	4,23	7,81	0,00	2,33	6,4	1482	7,4
Maximum	12,31	10,88	0,30	23,67	6,69	22,37	0,72	18,75	11,0	2980	8,69

TABLEAU 5: moyennes des teneurs chimiques des eaux du Talweg.

	$Ca^{++}$ meq/l	$Mg^{++}$ meq/l	$K^+$ meq/l	$Na^+$ meq/l	$HCO_3^-$ meq/l	$Cl^-$ meq/l	$NO_3^-$ meq/l	$SO_4^{--}$ meq/l	$SiO_2$ (mg/l)	cond ( $\mu S/cm$ )	pH
Moyenne	9,73	7,72	0,22	13,43	5,63	12,54	0,10	12,61	6,06	2666	8,17
Minimum	3,60	3,44	0,12	6,00	3,17	4,51	0,00	4,17	3,4	1184	7,30
Maximum	12,81	10,82	0,30	18,54	8,50	25,41	0,42	22,92	7,7	3490	8,36

TABLEAU 6: moyennes des teneurs chimiques des eaux du lac.

	$Ca^{++}$ meq/l	$Mg^{++}$ meq/l	$K^+$ meq/l	$Na^+$ meq/l	$HCO_3^-$ meq/l	$Cl^-$ meq/l	$NO_3^-$ meq/l	$SO_4^{--}$ meq/l	$SiO_2$ (mg/l)	cond ( $\mu S/cm$ )	pH
KL7	3,40	2,43	0,16	5,33	5,67	4,11	0,02	1,56	3,5	980	8,98
KL14	3,21	2,19	0,13	5,19	2,39	4,11	0,00	3,31	3,3	1001	8,92
Moyenne	3,31	2,31	0,14	5,26	4,03	4,11	0,01	2,44	3,4	990,5	8,95

### Les eaux souterraines :

Les eaux prélevées dans les puits (tab.3) sont les eaux les plus minéralisées. Leurs teneurs en  $SiO_2$  sont significativement supérieures à celles des autres eaux. Leur faciès est chloruré-sulfaté - sodique et calcique. La pression partielle équilibrante de  $CO_2$  calculée pour ces eaux est de  $10^{-2,1}$  atm en moyenne. Cette  $pCO_2$  indique une recharge par infiltration au travers de sols relativement actifs. Ces eaux souterraines sont saturées vis-à-vis de la calcite, elles sont sous-saturées en gypse et en silice. Elles présentent les plus hautes teneurs en nitrate de l'ensemble des eaux du bassin.

- Les eaux de source (tab.4) présentent une conductivité moyenne plus faible que celles des puits, principalement en raison de leurs teneurs en nitrate et en potassium plus faibles. Leur pression partielle de  $CO_2$  moyenne, de  $10^{-3,05}$  atm est intermédiaire entre celle d'un sol et celle de l'atmosphère.
- Dans le diagramme  $\delta^2H$  versus  $\delta^{18}O$  (Fig.3), les points représentatifs des eaux souterraines se situent autour de la droite d'évaporation. Ils sont assez bien regroupés entre  $-4$  et  $-5$ ‰ vs SMOW en  $^{18}O$  et autour de  $-30$ ‰ vs SMOW en  $^2H$ . En prenant en compte la marge d'erreur sur les mesures, les teneurs isotopiques des eaux souterraines sont comparables aux teneurs moyennes annuelles des précipitations ( $-4,5$ ‰ vs SMOW en  $^{18}O$ , et  $-25,8$ ‰ vs SMOW en  $^2H$ ), à l'exception des eaux de certains puits situés en aval du lac qui présentent des teneurs en isotopes lourds légèrement supérieures.

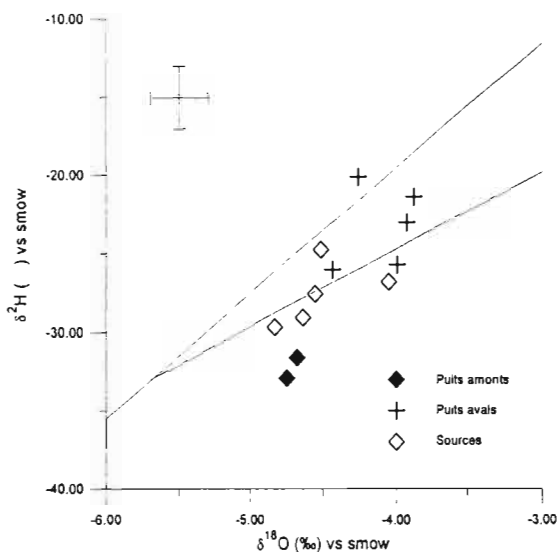


Fig. 3 : Diagramme  $\delta^2H$  vs  $\delta^{18}O$  des eaux souterraines

### Les eaux de talweg :

Les eaux des talwegs (tab.5), comme les eaux de source, ont des  $pCO_2$  intermédiaires entre une  $pCO_2$  de sol et la  $pCO_2$  atmosphérique. Ces eaux sont à saturation vis-à-vis de la calcite, de la dolomite, et de la magnésite, et sont sous-saturées en gypse et silice. Leur minéralisation est très variable : dans certains cas, elle peut être plus faible que le minimum des eaux de sources et de puits, et dans d'autres cas, plus fortes que le maximum pour les eaux des sources. Elles peuvent donc être considérées comme un groupe d'origine mixte, résultant d'un mélange entre eaux de ruissellement, et eaux souterraines.

- Dans un diagramme  $\delta^2H$  versus  $\delta^{18}O$  (Fig.4), les points représentatifs des eaux d'écoulement de surface sont, pour la plupart, regroupées autour de la droite d'évaporation vers des teneurs en isotopes lourds plus élevées que celles des eaux souterraines (entre -4 et -3‰ vs SMOW en  $^{18}O$  et entre -21,5 et -25,8‰ vs SMOW en  $^2H$ ). Cette position, proche de celle de la moyenne des précipitations du mois de mars, suggère que la contribution du ruissellement récent est largement majoritaire.

### L'eau du lac :

- Les eaux du lac (tab.6) sont les eaux les moins minéralisées du bassin. Les ions dominants sont le chlorure et le sodium. Le lac est faiblement chargé en sulfate. La pression partielle équilibrante de  $CO_2$  est de  $10^{-3,9}$  atm, très proche de l'équilibre avec l'atmosphère. Les indices de saturation montrent que l'eau est saturée vis à vis de l'aragonite, de la calcite, de la dolomite et de la magnésite, et sous-saturée en silice et en gypse.

Dans le diagramme  $\delta^2H$  versus  $\delta^{18}O$  (Fig.4), l'eau du lac semble être la moins évaporée de toutes les eaux. Elle est très proche de la pluie moyenne des mois d'hiver.

Les données hydrologiques montrent que l'eau du lac, au mois de mars, résulte d'un mélange complexe : eaux de pluie des mois de décembre-janvier, eaux évaporées de la saison sèche, eaux de ruissellement liées aux dernières pluies du mois, eaux du talweg amont. L'étude des teneurs isotopiques permet de préciser que la pluie de la dernière saison pluvieuse est le pôle qui domine ce mélange. Ceci s'explique par le fait qu'aux mois de janvier et février, le lac subit une série de débordements liés à des pluies importantes qui engendre des crues. On peut alors considérer qu'à ce moment, l'eau du lac est presque entièrement renouvelée. La contribution correspondant aux eaux évaporées de la saison sèche, ainsi que le volume d'eau provenant du talweg amont deviennent alors négligeables. Le lac est donc essentiellement rempli par des eaux de ruissellement et les précipitations directes. Cette eau n'a quasiment pas subi de transit souterrain, c'est pourquoi ses teneurs en éléments dissous (en particulier la silice) sont faibles.

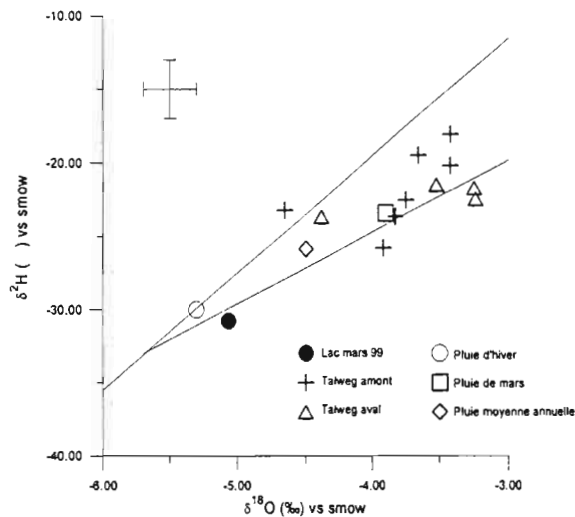


Fig. 4 : Diagramme  $\delta^2H$  vs  $\delta^{18}O$  des eaux de surface

### Influence du lac sur l'aquifère :

Les teneurs en isotopes lourds des eaux prélevées dans les puits en aval du barrage sont plus élevées que celles des eaux du lac en mars (Fig.5). Si le lac participe significativement à l'alimentation de l'aquifère alluvial en aval, il faudrait admettre que l'on retrouve dans l'aquifère en mars, à environ 500m du lac, des eaux du lac évaporées pendant la saison sèche, 6 à 8 mois plus tôt. La vitesse de percolation dans l'aquifère qui correspondrait à cette situation ( $V_{\text{efficace}} \approx 3 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$ ), ne semble pas aberrante pour ce type d'aquifère. Toutefois, cette possibilité d'alimentation de l'aquifère par le lac reste à l'état d'hypothèse de travail pour deux raisons majeures :

1. Il semble, d'après la structure et la topographie du bassin, que des apports latéraux puisse compliquer le bilan de l'aquifère en aval de la retenue. Ces apports latéraux pourraient être à l'origine des teneurs en isotopes lourds d'un échantillon d'eau prélevé dans le talweg en aval immédiat de la retenue, teneurs en isotopes lourds sensiblement plus élevées que celles de l'eau du lac en mars.
2. La courte durée de l'étude n'a pas permis d'obtenir des données assez espacées dans le temps pour avoir une idée précise de l'évolution des caractéristiques chimiques et isotopiques des différents pôles impliqués dans les mélanges.

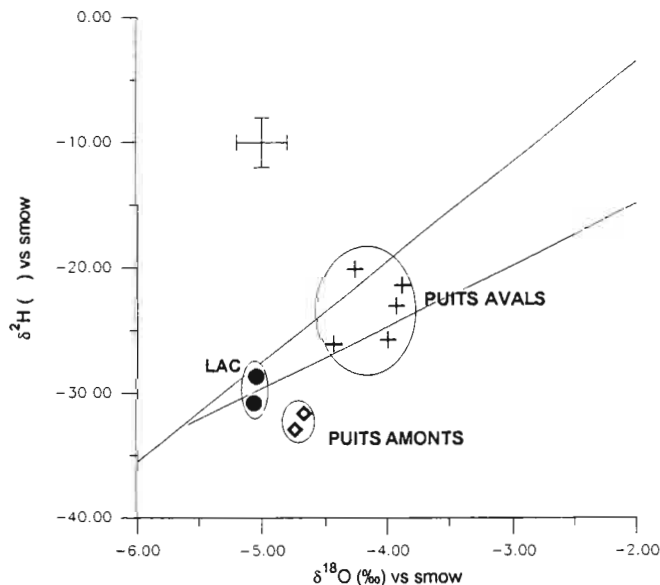


Fig. 5 : Influence du lac sur l'aquifère

## CONCLUSION :

L'étude des teneurs chimiques des eaux du bassin, (eaux souterraines, eaux de talweg, eaux du lac), montre que, hormis celles du lac, les eaux ne présentent pas de grandes différences de faciès. De fortes variations de teneurs en éléments dissous sont observées à l'intérieur des différents groupes. Cependant les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les eaux souterraines, en particulier pour le sulfate et la silice, les temps de contact avec la roche (marnes gypseuses et grès) étant évidemment plus long pour ces eaux souterraines que pour les eaux prélevées en surface.

Les résultats des mesures isotopiques ( $^{18}\text{O}$  et  $^2\text{H}$ ) montrent que les eaux souterraines se distinguent bien des eaux de surface, mais que l'eau du lac est la moins évaporée de toutes. L'échantillonnage ayant eu lieu au mois de mars, les teneurs en isotopes stables de l'eau du lac reflètent directement celles des précipitations hivernales, sans que l'évaporation ait eu le temps de les affecter significativement.

L'ensemble des données acquises ne permet pas de mettre en évidence avec certitude une participation significative de la retenue à l'alimentation de l'aquifère en aval. Toutefois, cette première reconnaissance n'a pu fournir qu'une image " instantanée " d'un système que ses faibles dimensions rendent particulièrement sensibles aux variations temporelles.

Ce type d'étude pourrait donc être amélioré en complétant la caractérisation spatiale par un suivi temporel. Ceci est actuellement réalisé, sur trois autres retenues collinaires en Tunisie (El Oglia, El Gouazine et Dékikira).

## BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL, J. & REJEB, M. (1997) Les lacs collinaires en Tunisie ; enjeux, contraintes et perspectives. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, 83,2.
- CES-ORSTOM (1996) Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1994-1995, Tunis, 140p.
- CES-ORSTOM (1997) Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1996-1997, Tunis, 200p.
- CRAIG, M. (1961) Isotopic variations in meteoric water. *Science*, 133, p1702-1703.
- GAT, J.R. & CARMI, I. (1970) Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area, *J. Geophys. Res.* 75, 3039.
- GAY, D., (1999) Géochimie isotopique des relations hydrologiques entre lac de retenue et aquifères. lac collinaire de Kamech, Tunisie. Mém. DEA Hydrologie, Hydrogéologie, Géochimie et Géostatistique, Univ. Paris-Sud, Orsay.
- GONFIANTINI, R., (1986) Environmental isotopes in lake studies. In : *Handbook of environmental isotope geochemistry*. Volume II (ed. by Fontes J. C. & Fritz P.), 113-163. Elsevier, Amsterdam.
- IAEA/WMO, (1999) Global network for isotopes in precipitation, the GNIP database, Release3. <http://www.iaea.org>.
- MEKKI, I., (1999) Etude intégrée du bassin versant de Kamech et de l'exploitation de l'eau collectée pour l'irrigation. Troisième cycle INAT, Année de spécialisation. (Tunisie).
- RAHAINGOMANANA, N.,(1998) Caractérisation géochimique des lacs collinaires de la Tunisie semi-aride et régulation géochimique du phosphore. *Thèse de doctorat Univ. Montpellier I*, 308 p.