

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HYDROLOGY

The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology

On the World Wide Web at <http://www.hydroweb.com>

VOLUME 9

2001



APPORTS DE L'HYDROCHIMIE ISOTOPIQUE À LA CONNAISSANCE DES ZONES DE RECHARGE EN ZONE ARIDE ET SEMI-ARIDE: CAS DU BASSIN DE MESKALA-KOURIMAT (MAROC)

**(Contribution of natural tracers to the knowledge of recharge in arid
and semi-arid zones: Meskala-Kourimat basin, Morocco)**

M. Bahir	Laboratoire d'Hydrogéologie, Faculté des Sciences Semlalia Marrakech, Maroc
M. Jalal	
B. Blavoux	

*Pour mieux comprendre les modalités de fonctionnement du système aquifère de Meskala-Kourimat, l'étude isotopique entreprise a montré la variation des teneurs en O^{18} des points d'eau avec l'altitude des zones de recharge des différents exutoires. Le gradient altitudinal en O^{18} , estimé à 0.25 ‰ par 100 m confirme par ailleurs la validité régionale de celui-ci par d'autres auteurs. La relation oxygène-18/deutérium ($\delta^2H = 7,74 * (\delta^{18}O) + 10,83$) traduit un régime atlantique des précipitation sans évaporation qui suggère une infiltration rapide, confirmée également par l'importante fracturation des calcaires et calcaires dolomitiques del'aquifère céno-mano-turonien de Meskala-Kourimat.*

*To better to understand the functioning of the Meskala-Kourimat aquifer system, an isotopic study showed the variation of the oxygen-18 content of water points with recharge zones at different elevations. The altitudinal gradient in oxygen-18, estimated to 0.25 ‰ per 100 m, confirms the regional validity of this value found by other authors. The relationship of oxygen-18/deuterium ($\delta^2H = 7.74 * (\delta^{18}O) + 10.83$) translates an atlantic precipitation regime without evaporation. This suggests rapid infiltration, which is confirmed by the importance of the fractures developed in limestones and dolomitic limestones of the cenomanian-turonian aquifer of Meskala-Kourimat.*

BREF APERÇU HISTORIQUE DES ÉTUDES ISOTOPIQUES AU MAROC

Faute d'appareillage de mesure des teneurs isotopiques des eaux et en raison du coût de ces analyses, les études isotopiques au Maroc sont encore très limitées. En tout 9 investigations isotopiques ont été réalisées dans le pays depuis la première en 1974 où Sauzay et Payne ont montré la contribution de l'oued Souss dans l'alimentation de la nappe libre du Souss par des analyses isotopiques portant sur le deutérium, oxygène 18 et tritium. La dernière investigation fût réalisée par Bouchaou en 1995 qui a utilisé les isotopes du milieu pour étudier les relations entre les aquifères Atlasiques et ceux de la plaine du Tadla. Il a montré par cet outil que l'Atlas de Béni-Mellal contribue avec 90 % dans l'alimentation de l'aquifère du Turonien de Tadla.

INTRODUCTION

La région de Meskala-Kourimat fait partie du grand synclinorium d'Essaouira (Figure 1). C'est une zone à climat semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 300 mm.

Du point de vue géologique, la région étudiée présente à l'affleurement des terrains diversifiées d'âge allant du Crétacé inférieur au quaternaire récent. Cependant la série stratigraphique (Figure 2) est dominée par les faciès carbonatés du Crétacé moyen et supérieur. La combinaison des effets de la tectonique et du diapirisme ont provoqué la compartimentation en plusieurs systèmes aquifères, dont celui de Meskala-Kourimat, traversé par l'oued Igrounzar représente l'essentiel de la ressource en eau de la région. Cet aquifère est logé dans les calcaires et calcaires dolomitiques du Cénomano-Turonien, le mur et le toit du système sont assurés respectivement par les argiles grises du Cénomaniens inférieur et les marnes blanches sénoniennes.

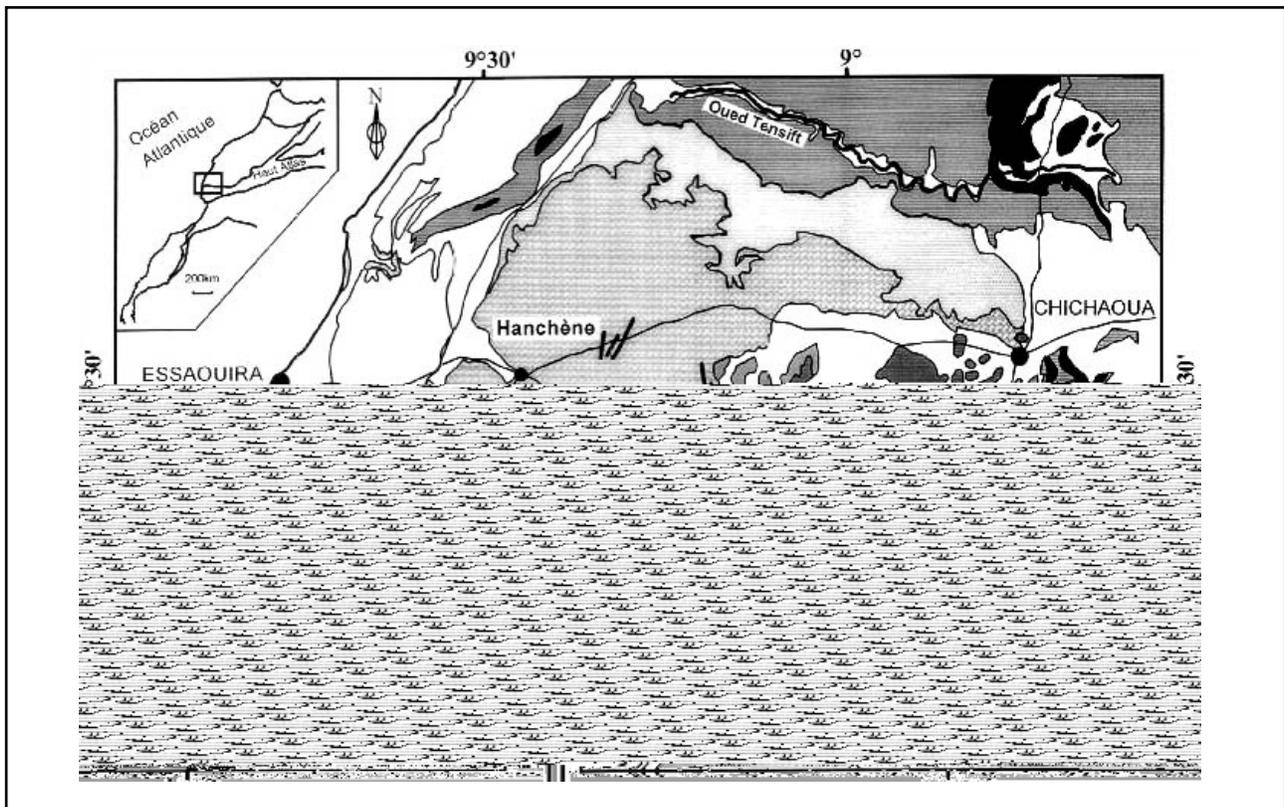


Figure 1. Carte géologique du bassin d'Essaouira (d'après la carte géologique du Maroc, 1/500 000, feuille de Marrakech). 1, Paléozoïque ; 2, Trias ; 3, Jurassique ; 4, Crétacé inférieur ; 5, Crétacé moyen ; 6, Crétacé supérieur ; 7, Eocène ; 8, Plio-Villafranchien ; 9, Quaternaire.

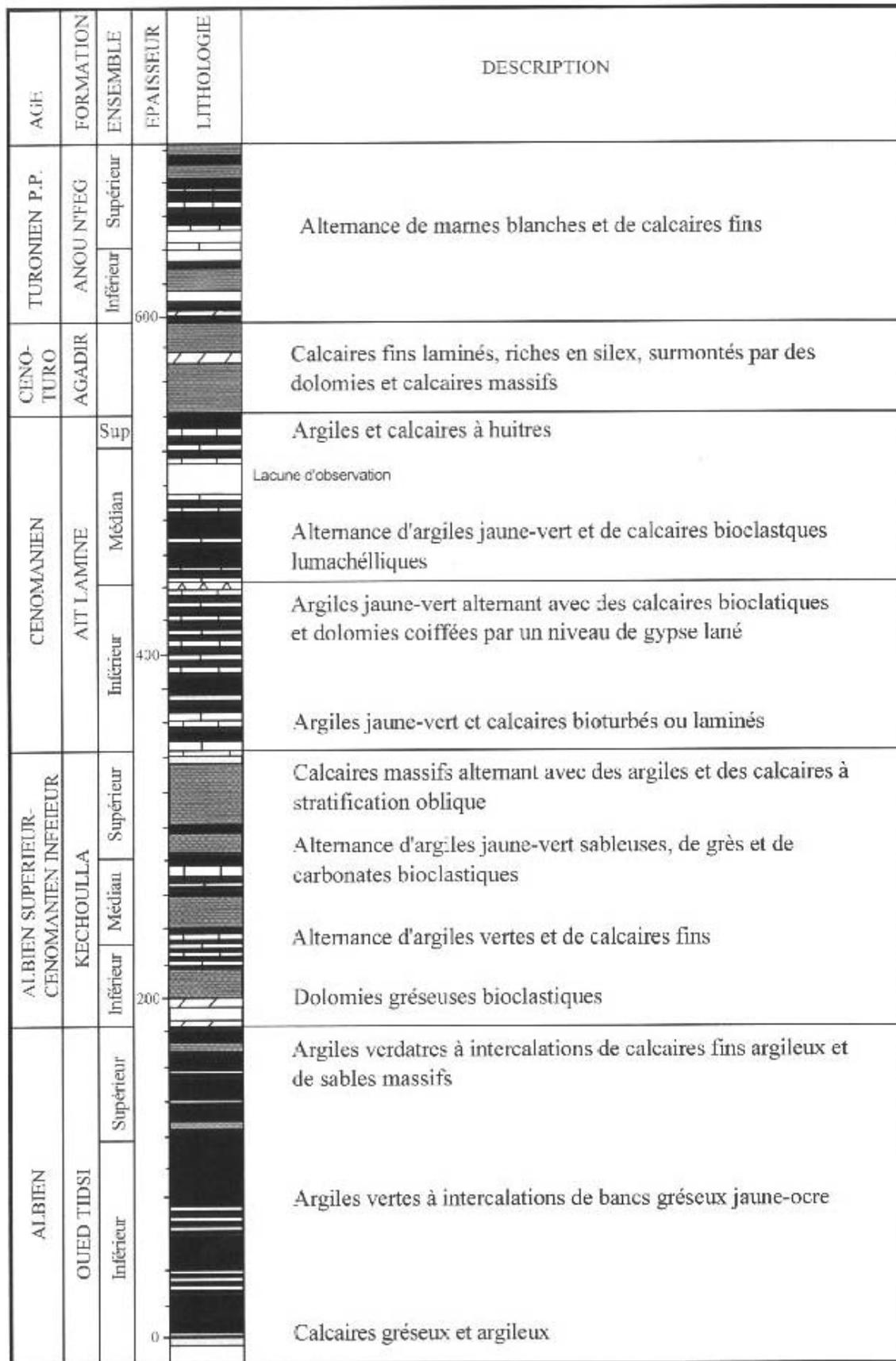


Figure 2. Lithologie des formations du Crétacé moyen à Jbel Aganane, au sud de Kourimat (Içame, 1994).

Hydrologie isotopique

Oxygène-18 dans les eaux souterraines:

Les analyses isotopiques ont été effectuées au laboratoire d'hydrogéologie de la faculté des sciences d'Avignon dans le cadre de l'action intégrée 901/95, financé par la coopération Marocco-Française. Parmi les méthodes de l'hydrologie isotopique, celles fondées sur l'étude des variations naturelles des teneurs en isotopes constitutifs de la molécule d'eau sont devenues d'un usage courant (FONTES, 1976 ; MOLINARI, 1977 ; IAEA, 1981). Elles sont particulièrement adaptées aux régions caractérisées par d'importantes variations d'altitude et/ou soumises à des conditions climatiques marquées (ARANYOSSI, 1989), comme le cas du bassin synclinal d'Essaouira. L'estimation des aires d'alimentation des aquifères est nécessaire pour l'estimation des réserves en eaux souterraines et pour la délimitation des périmètres de protection de ces ressources. Pour la détermination des altitudes de recharge des aquifères, on a recours aux isotopes du milieu (Blavoux, 1978), qui revêt un intérêt particulier dans le cas du bassin synclinal de Meskala-Kourimat où les aires d'alimentation des sources et puits sont mal connues.

Plusieurs points d'eau (sources, puits et forages) ont fait l'objet d'analyses isotopiques portant sur le dosage des teneurs en oxygène-18 (Figure3; Table1).

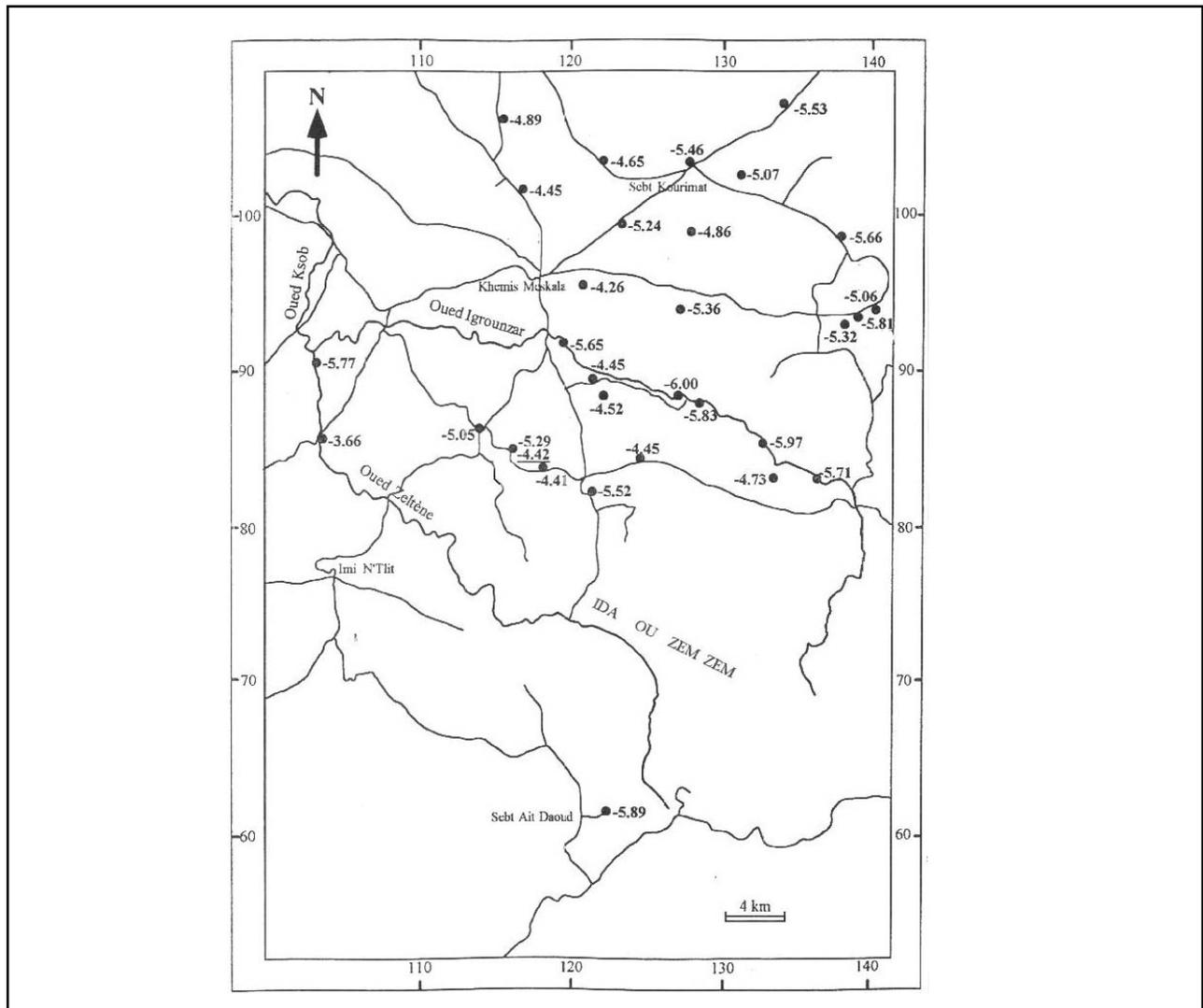


Figure 3. Répartition spatiale des teneurs en oxygène-18 des eaux souterraines.

Tableau 1. Teneurs en Oxygène-18 et Mesures de la Conductivité à 25 °C des Eaux Souterraines de la Région (Z, Altitude ; T, Température ; C, Conductivité).

Echantillons	Date	Nature	Z(m)	T(°C)	C à 25°	δ (‰) O ¹⁸
675/52	03/11/95	Source	540	**		-6
676/52	03/11/95	Source	580	**		-5,83
867/52	03/11/95	Source	205	**		-5,77
865/52	03/11/95	Puits	255	**		-3,66
824/52	11/12/95	Puits	360	18	2600	-4,89
1049/52	11/12/95	Puits	430	20	804	-4,45
801/52	15/12/95	Puits	390	19,5	1460	-5,65
75/52	15/12/95	Puits	465	18	1080	-5,46
796/52	15/12/95	Puits	545	19,5	352	-5,53
898/52	15/12/95	Puits	498	16	567	-5,07
108/52	16/01/96	Puits	460	22	579	-5,24
N°40	16/01/96	Puits	450	21	2300	-4,26
809/52	16/01/96	Puits	630	18	506	-5,36
807/52	17/01/96	Puits	515	21	1020	-4,86
105/52	17/01/96	Puits	600	15	2010	-5,66
1374/52	17/01/96	Puits	655	16	737	-5,06
610/52	17/01/96	Source	675	20	520	-4,85
613/52	17/01/96	Source	690	19	990	-5,32
678/52	02/02/96	Source	500	17	1495	-4,52
677/52	02/02/96	Source	470	18	1699	-4,45
827/52	02/02/96	Puits	620	20	2576	-4,45
N°65	02/02/96	Puits	570	17	756	-4,41
681/52	02/02/96	Source	690	18	995	-4,42
829/52	02/02/96	Puits	640	18	500	-5,05
610/52	18/06/96	Source	675	21	771	-5,81
Tagmount	19/06/96	Oued	785	26,5	596	-5,71
A Bou setta	19/06/96	Source	740	21	625	-4,73
1319/52	19/06/96	Source	650	19,5	815	-5,97
1317/52	19/06/96	Source	405	21	952	-5,65
141/52	20/06/96	Puits	631	20,5	920	-5,52
681/52	20/06/96	Source	640	21	528	-5,29
A, Ait Daoud	20/06/96	Source	1160	18,5	897	-5,89
65/52	16/01/97	Puits	396	20	4185	-4,92
257/52	17/01/97	Source	361	22	1855	-5,69
1020/52	18/01/97	Puits	380	21	1280	-5,76

Les eaux souterraines de la région présente des teneurs en oxygène-18 qui varient entre $-6,02\delta\text{‰}$ et $-3,66\delta\text{‰}$. Cette dernière et forte valeur a été enregistrée au niveau du puits (N°IRE 865/52) en novembre 95, qui capte les écoulements hypodermiques de l'oued Zeltène. Cet enrichissement isotopique serait lié à l'évaporation des eaux de l'oued avant son infiltration. Hormis ce point élevé on peut distinguer deux groupes principaux.

Le premier représente les points d'eau les plus appauvries en oxygène-18, composés par les sources karstiques de l'oued Igrounzar qui affichent des teneurs entre $-6\delta\text{‰}$ et $-5\delta\text{‰}$. En adoptant le gradient altimétrique de $-0,26\delta\text{‰}$ par 100m établi par Bouchaou et al. 1995 pour l'Atlas de Béni-Mellal, on peut calculer l'altitude des aires de recharge de ces sources. Ce dernier serait compris entre 900 et 1200 mètres correspondant à l'affleurement des terrains du Crétacé moyen au niveau du flanc nord de l'anticlinal des Ida Ou Zemzem.

Le deuxième groupe présente des teneurs plus enrichis en oxygène-18, allant de $-5\delta\text{‰}$ à $-4\delta\text{‰}$. Ces teneurs plus fortes enregistrées par les points d'eau situés dans la partie nord de la région étudiée témoignent d'une recharge locale à des altitudes plus basses.

Relation Oxygène18-Deutérium

Les points d'eau échantillons en juin 1996 ont fait l'objet de mesures en deutérium. Les résultats obtenus (Table 2) ont été reportés sur le diagramme $\delta^2\text{H} = f(\delta^{18}\text{O})$ (Figure 4). Les points représentatifs des différents échantillons ainsi que d'autres situés dans la zone côtière d'Essaouira s'alignent bien selon une droite d'équation : $\delta^2\text{H} = 7,74*(\delta^{18}\text{O}) + 10,83$

Tableau 2 Teneurs en Oxygène-18, Deutérium et Estimation des Altitudes de Recharge de Quelques Points de la Région.

Sources	Altitude d'émergence	Altitude de recharge connue	Altitude de recharge estimée	Compagne Nov. 1995 $\text{O}^{18}(\text{‰})$	Compagne Juin. 1995 $\text{O}^{18}(\text{‰})$	Compagne Juin 1996 $\text{H}^2(\text{‰})$
676/52	580		1100-1200	-5,83		
675/52	540		1100-1200	-6		
867/52	255		1100-1200	-5,77		
610/52	675		1100-1200	-	-5,85	-35,7
681/52	640	900-1000		-	-5,29	-28,9
Bou Setta	740	700-800		-	-4,73	-28,3
1319/52	650		1100-1200	-	-5,97	-35,7
1317/52	405		1000-1100	-	-5,65	-35,3
141/52	631		1000-1100	-	-5,52	-30,9
Ait Daoud	1160	1100-1200		-	-5,89	-35,9

Cette droite est peu différente de celle des eaux météoriques mondiales (DMM) définie par Craig (1961), et traduit un régime atlantique des précipitations. Aucune de ces eaux n'est marquée de façon significative par l'évaporation. Cette absence d'enrichissement par évaporation suggère sous ce climat, une infiltration rapide des eaux météoriques. L'effet isotopique dû à l'évaporation est donc probablement négligeable devant celui induit par les variations des altitudes de recharge.

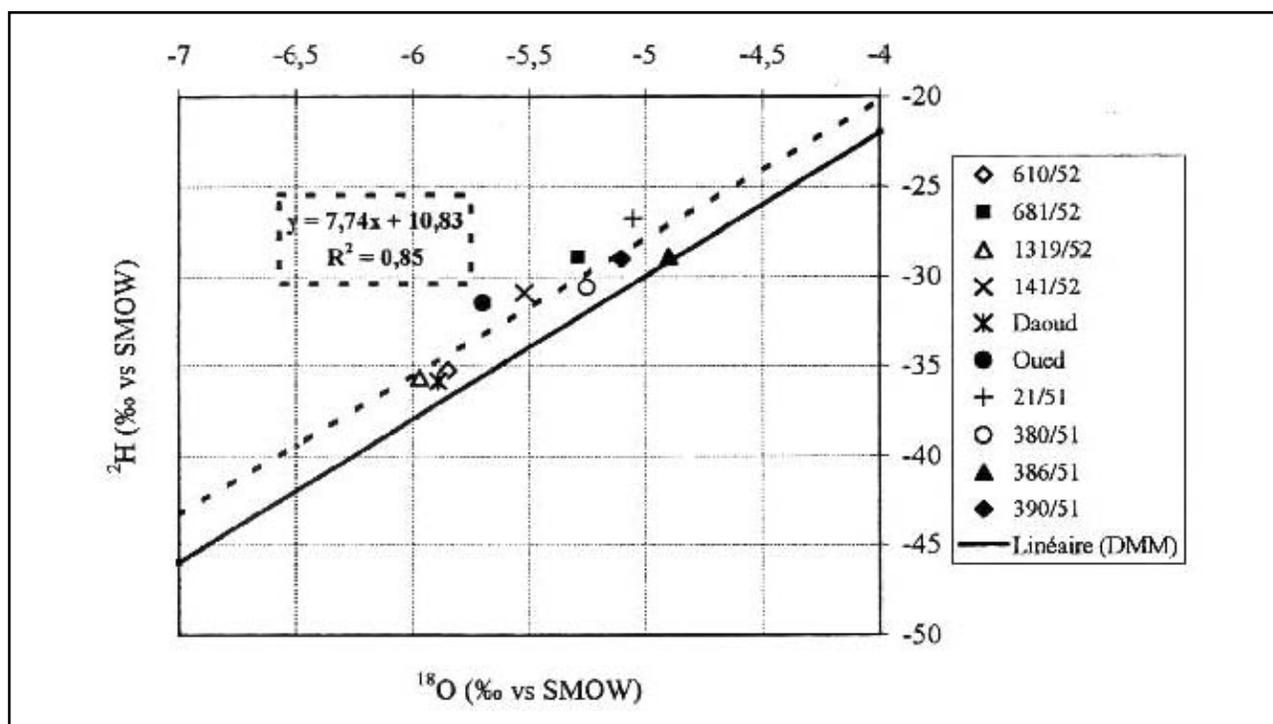


Figure 4. Relation oxygène-18, deutérium dans les eaux souterraines de la région.

Le gradient de variation des teneurs en isotopes stables doit, en toute rigueur, être établi à partir des mesures sur les échantillons de précipitations collectées à différentes altitude dans la région supposée de recharge. Ne disposant pas de cette collection d'échantillons et compte tenu du contexte hydrogéologique karstique qui ne permet pas de délimiter facilement, les zones d'alimentation des principales sources, nous avons tenté de vérifier la validité régionale du gradient en O-18 (0,3‰ par 100m) proposé par MARCE (1975) et KABBAJ (1978) et celle de BOUCHAOU (0.26‰ par 100 m).

On ne dispose que de la seule source (Ait Daoud) dont le bassin d'alimentation bien connu à partir de la géologie, se situe à une altitude moyenne entre 1100 et 1200mètres, et présente une teneur moyenne en oxygène-18 de -5,89 d‰. Elle peut servir de référence puisqu'il a été vérifié sur le diagramme $\delta^2\text{H} = f(\delta^{18}\text{O})$ que son eau n'était pas marquée par l'évaporation, les sources karstiques de l'oued Igrounzar présentant des teneurs isotopiques analogues ont leurs zones d'alimentation situés à la même altitude moyenne. Cette altitude correspond à celle des affleurements du Cénomano-Turonien du flanc nord de l'anticlinal des Ida Ou Zemez, qui constitue dans la partie sud de la région la principale zone d'alimentation des sources.

Les deux sources Bou Setta et 681/52 dans le même contexte hydrogéologique se différencient par des teneurs plus enrichies en oxygène-18. La source 681/52 présente une teneur de -5,29d‰ qui s'explique par une zone d'alimentation plus basse due à l'abaissement du synclinal vers l'ouest (Figure 5). Par contre la source Bou Setta appartenant à l'aquifère Sénonien a son aire alimentation locale situé à une altitude moyenne de l'ordre de 800 mètres. Cette source présente une teneur en oxygène-18 de -4,73 d‰ avec une différence de -1 d/°° par rapport à l'autre source. La dénivelée d'altitude des impluviums des deux sources étant de 400 mètres, le gradient isotopique calculé est de l'ordre de -0,25 d‰ par 100 mètres compatible avec d'autres gradients calculés dans d'autre

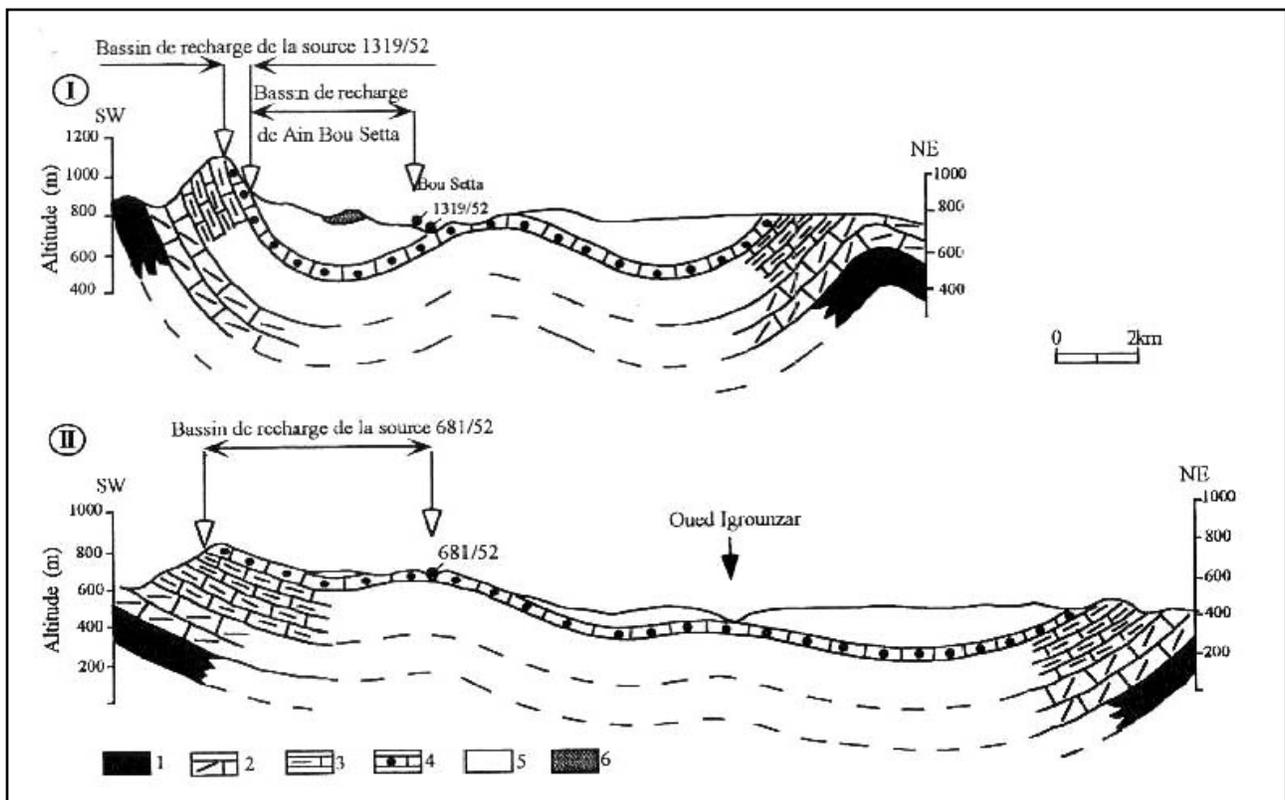


Figure 5. Détermination des altitudes des aires d'alimentation de quelques sources.

bassins au Maroc. Marcé (1975) et Bouchaou (1995) avaient trouvé de gradients de $-0,3 \text{ ‰ O18}$ par 100 m et $-0,26 \text{ ‰ O18}$ par 100m.

CONCLUSION

L'étude isotopique entreprise a montré qu'on est en présence d'un régime atlantique des précipitations, aucune des eaux n'est marquée par l'évaporation. La présence de lapiez dans les zones d'alimentation du système aquifère, d'une topographie accentuée qui ne favorise pas le séjour des eaux à la surface et l'importance de la fracturation des calcaires et calcaires dolomitiques de l'aquifère cénomano-turonien seraient responsables de cette infiltration rapide des précipitations.

Les variations des teneurs en O-18 sont essentiellement interprétées en termes de différences d'altitude de recharge. Le gradient altitudinal en O-18, estimé à 0.25 ‰ par 100 m, est très voisin de celui proposé par BOUCHAOU (1995) et MARCE (1975). Sa validité régionale est ainsi confirmée.

L'analyse des données isotopiques a permis en outre de déterminer les aires de recharge du système aquifère de Meskala-Kuorimat, en effet les précipitations sur le flanc nord de l'anticlinal des Ida ou Zemzem (900-1200) participent à l'alimentation des sources de l'oued Igrounzar.

BIBLIOGRAPHIE

ARANYOSSI J.F.; (1989). Quelques exemples pratiques d'application des isotopes de l'environnement aux études hydrogéologiques. *Hydrogéologie*, 3, 159-166.

BLAVOUX B.; (1978). Etude du cycle de l'eau au moyen de l'oxygène-18 et du tritium. Possibilités et limites de la méthode des isotopes du milieu en hydrologie de la zone tempérée. Thèse d'Etat, Univ. De P. et M. Curie, Paris6.

BOUCHAOU L.; (1995). Fonctionnement des aquifères Atlasiques et relation avec les aquifères de la plaine. Cas de l'Atlas de Béni-Mellal et la plaine du Tadla (Maroc). Thèse d'Etat, Fac. Sc. Semlalia Marrakech.

CRAIG H.; (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, vol.133, 1702-1703.

FONTES J. Ch.; (1976). Isotope du milieu et cycle des eaux naturelles : Quelques aspects. Thèse d'Etat ès-Sc. Naturelles, Paris, 218p.

IAEA; (1981). Stable isotope hydrology. Deutérium and oxygen-18 in the water cycle. Technical Reports series, n°210, 339 p., Vienne, Austria.

KABBAJ A.; IZERYOUHI, Ph. CARLIER, A. MARCE; (1978). Contribution des isotopes du milieu à l'étude des grands aquifères du Maroc. In *Isotope Hydrology*, IAEA., Vienne, 491-524.

MARCE A.; (1975). Contribution des molécules isotopiques à l'étude des modalités d'alimentation et de renouvellement des réserves de quelques nappes souterraines du Maroc. Rapport du Ministère des Travaux Publics et des Communications. Ed. BRGM., 75 SGN 447 LAB., 131p.

MOLINARI J.; (1977). Quelques remarques pratiques et une présentation commode facilitant l'exploitation des variations naturelles en deutérium et en oxygène-18 dans les eaux. *J. of Hydrol*, 32, pp. 383-392.

SAUZAY et PAYNE; (1974). Contribution des traceurs isotopiques naturels à l'étude de l'alimentation de la nappe phréatique du Souss. *Bull. BRGM (2)*, III, 3-1997, p. 227-243.

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

M. Bahir
Laboratoire d'Hydrogéologie
Faculté des Sciences Semlalia
B.P. 2390
Marrakech
Maroc

E-mail: bahir@ucam.ac.ma
