

RESSOURCES HYDRIQUES DU BASSIN SYNCLINAL D'ESSAOUIRA (MAROC)

M. Bahir*, A. Mennani*, M. Jalal* et N. Youbi*

RESUME

Le bassin synclinal d'Essaouira est constitué d'un ensemble d'unités synclinales dont les principales sont l'unité synclinale de Bouabout en amont et celle d'Essaouira en aval. Ces deux unités renferment l'essentiel des ressources en eau de la région et qui sont contenues dans l'aquifère du Céno-mano-Turonien de Bouabout et les aquifères du Turonien et du Plio-Quaternaire de la zone synclinale d'Essaouira.

Le cours d'eau nommé Igrounzar en amont et Ksob en aval est la principale rivière qui traverse le bassin. Il est pérenne grâce aux sources Céno-mano-Turonien de l'amont. Plus de 50 % du volume d'eau de ce cours d'eau s'écoule entre novembre et janvier. Des jaugeages différentiels effectués au cours du cycle hydrologique 1990-1991 (Fekri, 1993) ont montré que l'oued ksob alimente les aquifères Plio-Quaternaire et Turonien par des débits respectifs de 42 l/s et 64 l/s.

L'étude hydrogéologique des aquifères du bassin a montré que les eaux souterraines s'écoulent du SE vers le NW dans l'aquifère Plio-Quaternaire et vers le Nord-Ouest, le Nord-Est et vers l'Ouest au niveau de l'aquifère Céno-mano-Turonien.

L'étude hydrochimique a permis d'identifier l'origine des minéralisations des eaux, leurs faciès et leurs qualités.

L'hydrologie isotopique a permis d'estimer les aires de recharges des aquifères, leurs inter-actions et de définir les relations entre les deux unités constituant le bassin.

Mots clés: *Essaouira, Aquifères, Hydrochimie, isotopie, recharge.*

RESUMEN

La cuenca sinclinal de Essaouira está constituida por un conjunto de unidades sinclinales, siendo las principales la de Bouabout (en la zona frontal) y la de Essaouira (en la zona trasera). Estas unidades contienen las reservas de agua más importantes de la región que se encuentran en el acuífero Cenomaniense-Turonense de Bouabout y en los acuíferos del Turonense y Plio-Cuaternario de la zona sinclinal de Essaouira.

El principal río que atraviesa esta cuenca es el denominado Igrounzar (en la zona frontal) y Ksob (en la zona trasera). Es un río perenne gracias a las fuentes Cenomanienses-Turonenses de la zona frontal. Más del 50 % del volumen de agua de este río fluye entre los meses de noviembre y enero. Medidas de aforo diferenciales efectuadas a lo largo del ciclo hidrológico 1990-1991 (Fekri, 1993) demuestran que el Oued Ksob alimenta los acuíferos Plio-Cuaternarios y turonense por flujos de 42 l/s y 64 l/s, respectivamente.

El estudio hidrogeológico de los acuíferos de esta cuenca muestra que las aguas subterráneas fluyen del SE hacia el noroeste en el acuífero Plio-Cuaternario, y hacia el noroeste, el noreste y el oeste a nivel del acuífero Cenomaniense-Turonense.

El estudio hidroquímico permite identificar el origen de las mineralizaciones de las aguas, sus facies y sus calidades.

La hidrología isotópica permite estimar las áreas de recarga de los acuíferos y sus interacciones, y definir las relaciones entre las dos unidades que constituyen la cuenca. También muestra que la recarga de los acuíferos por las lluvias eficaces se produce sin una notable evaporación.

Palabras clave: *Acuíferos, recarga, hidroquímica, Esszouira, Marruecos.*

* Département de Géologie. Faculté des Sciences Semlalia. B.P. 2390 Marrakech, Maroc. E-mail: bahir@aucam.ac.ma

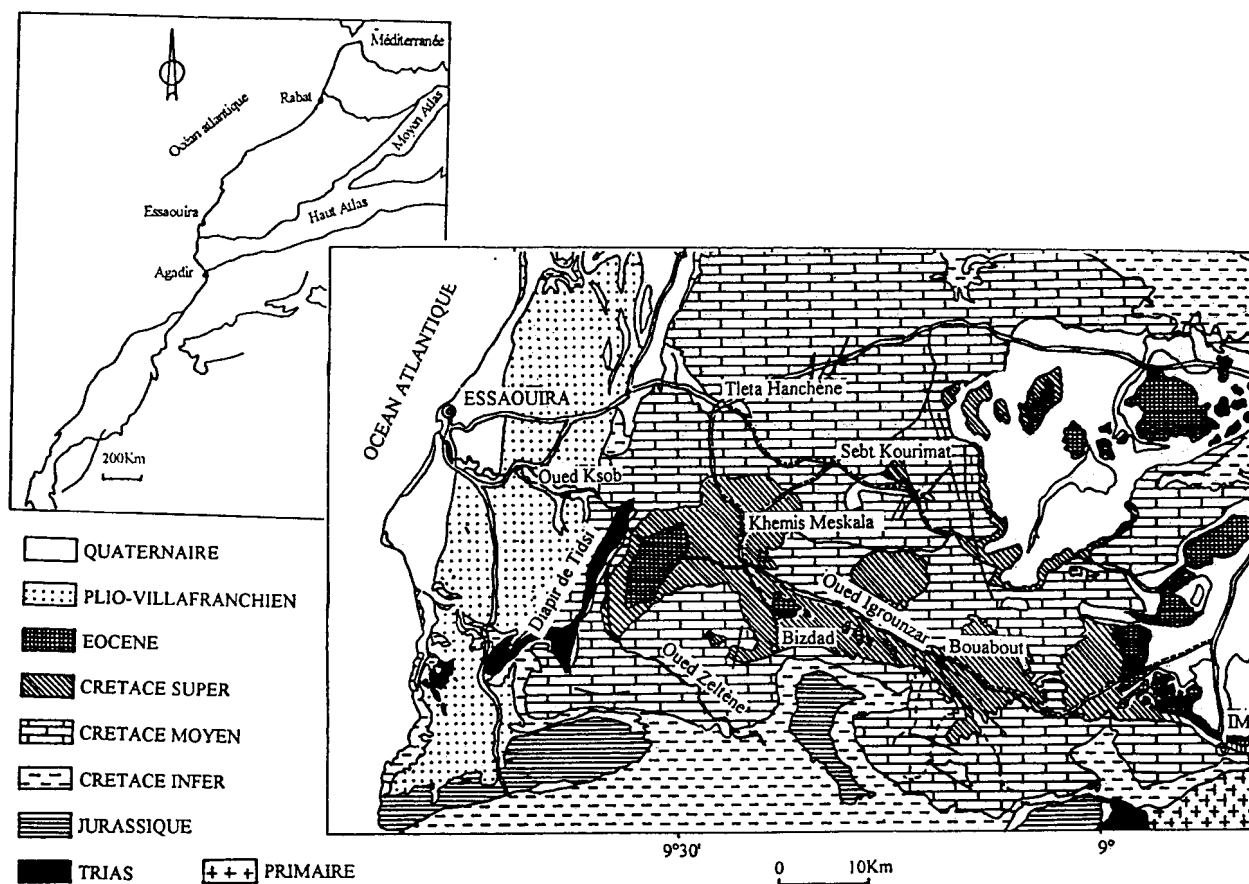


Fig. 1.—Contexte géologique régional du bassin synclinal d'Essaouira (d'après la carte géologique du Maroc, au 1/500.000. Feuille de Marrakech).

Introduction

Le bassin synclinal d'Essaouira est situé dans le Haut Atlas Occidental, il s'étend sur une superficie de 600 km² environ. Le climat dominant est de type semi-aride avec des précipitations très variables, dont la moyenne ne dépasse pas les 300 mm/an et des températures qui peuvent atteindre 45 °C au mois d'août. Le bassin se caractérise par deux saisons l'une sèche allant d'avril à septembre, l'autre humide s'étend d'octobre à mars. Ce bassin comprend plusieurs systèmes aquifères dont les structures et les ressources sont souvent mal connues. Les plus importants de ces systèmes appartiennent à deux unités synclinales: l'unité de Bouabout située dans la partie Est du bassin et l'unité synclinale d'Essaouira qui représente la partie Ouest du bassin. Ces deux unités sont séparées par le diapir de Tidzi qui ment à l'affleurement des terrains triasiques (fig. 1).

Cette note vise la synthèse des données hydrogéologiques et hydrogéochimiques dont le but de com-

prendre le fonctionnement des systèmes aquifères du bassin synclinal d'Essaouira et déduire la relation qui peut exister entre les deux unités qui le constituent.

Contexte géologique

D'un point de vue stratigraphique, les affleurements sont constitués de terrains dont l'âge s'échelonne entre le Crétacé gréseux à la base et à dominance carbonaté alternant avec des passées de marnes, le Tertiaire formé de marnes phosphatées et de grès et le Quaternaire constitué de grès et conglomérats. Le Trias visible au niveau du diapir de Tidzi est formé d'argiles rouges salifères et de dolérites (fig. 2).

De point de vue structural, le bassin fait partie du sillon nord-atlasique défini par Ambroggi (1963) comme étant une zone de plissements modérés. La structure du bassin est représentée par une succession d'anticlinaux et de synclinaux qui ont résulté

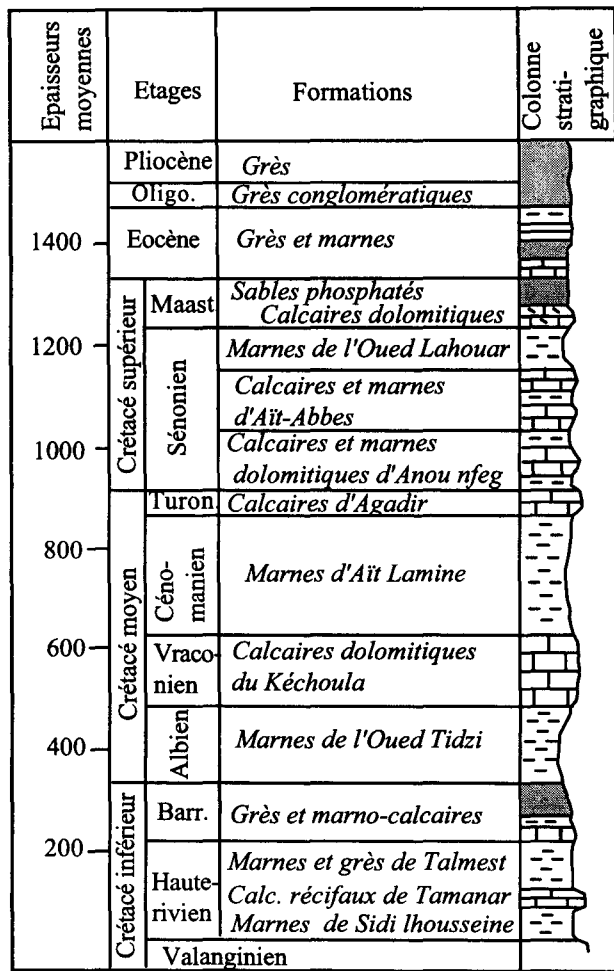


Fig. 2.—Log stratigraphique synthétique du Crétacé du bassin synclinal d'Essaouira (Duffaud et al., 1966).

de la combinaison des effets de la tectonique atlasique et du diapirisme (fig. 3). L'ensemble du bassin est fragmenté par d'importants accidents qui se prolongent sous la couverture et qui sont hérités de la phase tectonique hercynienne (Souid, 1983; Medina, 1994).

Contexte hydrogéologique

Dans le bassin synclinal d'Essaouira, les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau pour la consommation quotidienne des habitants. La combinaison des effets de la tectonique et du diapirisme ont provoqué la compartimentation du bassin en plusieurs systèmes aquifères dont le fonctionnement et les relations hydrauliques sont mal connus. Parmi ces sous bassins, les cuvettes synclinales d'Essaouira et de Bouabout, séparées

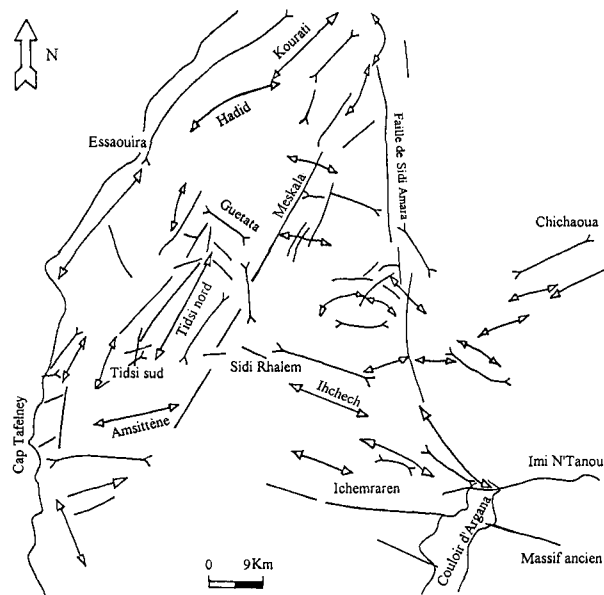


Fig. 3.—Structures plissées et principaux accidents profonds du bassin synclinal d'Essaouira (d'après les travaux de Souid, 1983; Cherkaoui, 1989; Medina, 1994 et Amghar, 1995).

par le diapir de Tidzi, correspondent à l'essentiel des ressources en eau.

Dans la cuvette synclinale de Bouabout, située à l'Est du bassin, l'aquifère du Cénomano-Turonien reste le plus important. Il est formé de calcaires dolomitiques fracturés alternant avec des marnes, son mur est représenté par les marnes grises du Cénomannien inférieur. Cet aquifère est capté dans les zones les plus basses par des sources à débit très variable.

Dans la cuvette synclinale d'Essaouira, les prospections hydrogéologiques ont mis en évidence deux principaux aquifères. Le Plio-Quaternaire à matrice gréseuse, dont le mur est représenté par les marnes sénoniennes, et le Turonien calcaro-dolomitique fracturé, son mur est constitué de marnes cénomanniennes. Ces deux aquifères sont superposés et sont captés par des puits, des forages et des sources (fig. 4). Ils ont fait l'objet d'étude hydrogéologique et hydrogéochimique.

Les sources situées le long de l'oued Igrounzar qui drainent l'aquifère cénomano-turonien de la cuvette synclinale de Bouabout (fig. 5) ont fait l'objet d'étude hydrodynamique (Laftouhi, 1991) selon la méthodologie de Mangin (1975). Les principaux résultats figurent dans le tableau 1 qui montre que les coefficients de tarissement et les volumes des réserves dynamiques et totales sont très variables. Les sources étudiées appartiennent à la classe des systèmes karstiques complexes (fig. 6). L'établissement d'une carte piézométrique de cet

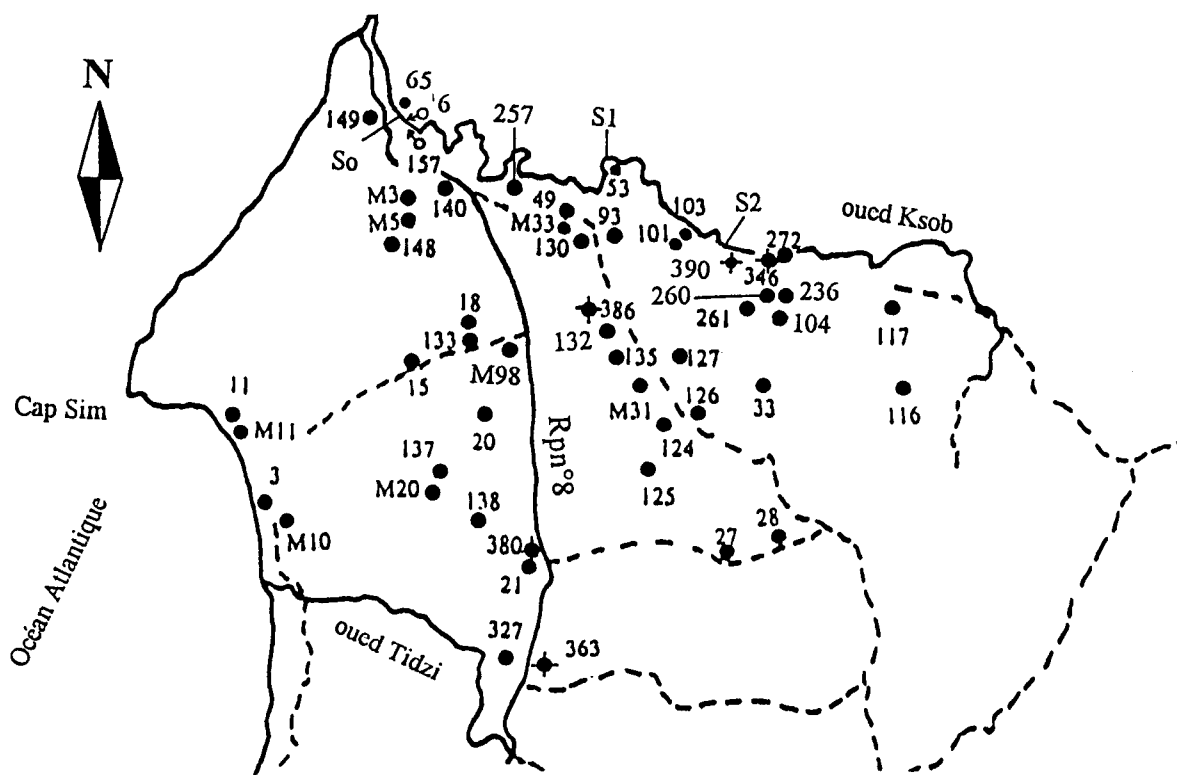


Fig. 4.—Situation des points d'eau dans la zone synclinale d'Essaouira.

Tableau 1.—Caractéristiques hydrodynamiques des sources étudiées

N.° IRE	t (j)	Q_i (l/s)	Q_{R0} (l/s)	α (j ⁻¹)	V_d (m ³)	V_t (m ³)	k	n (j ⁻¹)	E (j ⁻¹)
676/52	90	10,0	15,00	0,00276	313000	400000	0,78	0,011	0,078
1317/52	60	8,5	10,80	0,00276	266100	759000	0,35	0,017	0,033
1318/52	86	31,0	44,00	0,00350	770000	1890000	0,41	0,011	0,007
1319/52	36	13,0	15,00	0,00322	349000	716000	0,48	0,028	0,017

aquifère en janvier 1997 à montré plusieurs sens d'écoulement au sein de cet aquifère. Il s'écoule vers le Nord-Ouest dans sa partie sud, vers le Nord-Est dans sa partie nord-orientale et vers l'ouest au nord de l'anticlinal Jbel kechoula qui constitue avec Jbel Jehair des limites étanches du système aquifère (fig. 7). Les gradients hydrauliques sont variables en fonction des variations latérales de faciès et de l'intensité de la fracturation des calcaires et calcaires dolomitiques de l'aquifère.

Dans la zone synclinale d'Essaouira, la piézométrie de l'aquifère plio-quadernaire a montré que celui-ci s'écoule globalement du SE vers le NW, mais au sud de cet aquifère ce sens d'écoulement est contrarié par le diapir caché d'Essaouira qui oblige les lignes de courant à suivre une trajectoire Est-Ouest (fig. 8). Dans les deux cas, les eaux de

cet aquifère rejoignent l'océan atlantique, son exutoire naturel. Les gradients hydrauliques sont importants à proximité du dôme caché d'Essaouira et du diapir de Tidzi. Cet aquifère manifeste d'importantes variations piézométriques à la suite d'événements hydro-climatiques (Mennani *et al.*, sous presse).

Le nombre restreint de points d'eaux captant l'aquifère turonien n'a pas permis l'établissement de sa carte piézométrique.

Contexte hydrogéochemique

Les eaux souterraines du bassin synclinal d'Essaouira captées par des puits, des forages et des sources, ont été échantillonnées pendant l'été de

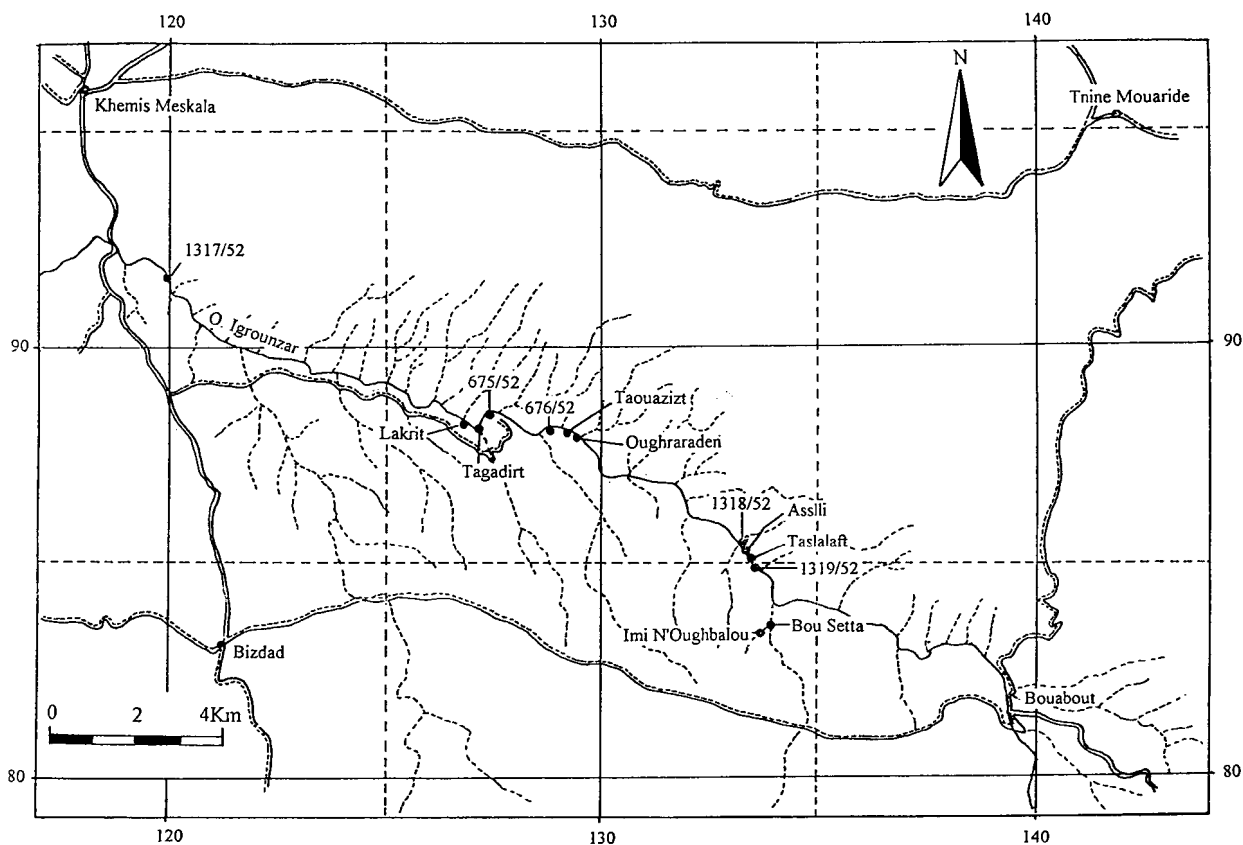


Fig. 5.—Situation des sources dans la zone synclinale de Bouabout.

Tableau 2.—Analyses hydrochimiques des sources et des eaux de l'oued Igrounzar

Echantillons	T °C	χ 25° μS/cm	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	F ⁻ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca/Mg	B.I (%)
J1 = Oughbalou	23,2	736	213	57,7	73,9	32,8	2,56	72,3	34,2	33,8	1,3	1,28	-1,02
J2 = Bou setta	21,5	633	196	47,0	26,1	34,1	1,16	68,9	22,5	28,1	3,4	1,86	1,54
J3 = 1319/52	20,6	869	228	56,9	138,7	27,8	0,06	89,9	44,7	26,0	2,9	1,22	-0,70
J4 = Taslalaft	20,6	876	215	58,3	137,6	27,2	*	91,2	44,7	27,2	2,7	1,24	1,26
J5 = Oued	21,8	892	216	68,1	148,5	27,1	0,07	83,8	48,5	33,1	3,1	1,05	-0,37
J6 = Asslli	19,8	802	196	59,3	141,9	28,4	*	86,5	44,9	31,2	2,7	1,17	2,35
J7 = 1318/52	20,6	845	221	53,8	122,1	27,1	*	86,1	43,9	25,4	3,2	1,19	1,00
J8 = Oued	20,2	856	224	56,4	126,1	26,8	0,03	87,1	44,5	27,8	2,9	1,19	0,89
J9 = Oughraden	16,7	1102	302	87,2	179,0	13,4	0,09	106,0	61,3	43,0	3,3	1,05	-0,57
J10 = Taouazizt	19,5	1020	267	80,7	164,9	18,0	0,05	95,9	57,2	37,5	3,0	1,02	-0,63
J11 = 676/52	18,9	1024	177	83,3	168,1	20,6	*	68,8	54,0	38,6	3,2	0,77	-0,45
J12 = 675/52	19,5	1094	279	93,4	189,7	12,7	0,17	102,0	61,2	44,4	3,4	1,01	-0,91
J13 = Tagadirt	18,0	1300	260	135,0	233,6	17,9	0,11	105,0	75,9	65,3	3,5	0,84	0,78
J14 = Lakrit	17,8	1591	328	156,0	265,2	15,2	*	116,0	92,0	71,0	3,4	0,76	-0,61

1995. Les résultats des analyses figurent dans les tableaux 2 et 3.

Dans la cuvette de Bouabout, les eaux de l'aquifère céno-mano-turonien, captées par des sources, se caractérisent par une grande variabilité chimique. En effet, la conductivité électrique varie de

633 à 1591 μS/cm et indique une augmentation de la minéralisation des eaux de l'amont vers l'aval de ce système. Cette augmentation, traduit celle des concentrations en bicarbonates, sulfates, chlorures, calcium, et magnésium dans les mêmes proportions. Le faciès chimique des eaux est mixte bicarbonaté

Tableau 3.—Analyses hydrochimiques des points d'eau de la cuvette synclinale d'Essaouira

N.º IRE	HCO ₃	F	Cl	Br	NO ₃	SO ₄	Na	K	Ca	Mg
101	283		278,6		13,4	164,2	148,48	5	97,4	68,1
106	272		427,2	0,6	13,2	172,1	226,13	7.386	98,7	58,3
11	284		145,1	0,88	62,7	45,4	126,47	16,02	55,2	26,2
116	232		501,9	1,56	135	85,9	214,38	2.164	157	74,9
117	533		160,9		168	94,5	160,81	5.812	53,2	93
125	199		1.070,8	2,9	42	100	303,37	4.495	300	114
127	138		1.203,3		103	108	326,98	6.481	322	111
13	387	1,2	311,1	0,64	101	63,6	216,37	15	135	33,7
131	289		438	0,84	38,4	140	232,89	3.248	119	72,9
132	190		676,4	1,88	57,8	124,6	257,89	4.036	162	82,3
138	146		1.722,7	4,2	187	141	587,8	5.941	325	140
140	329		602,4	1,4	37,5	138,6	264,5	4.641	178	67
149	321	3,1	1.089	1.879	111	142,9	591,74	7.448	104	79,5
15	257		1.005,5	2,75	66	186,6	443,88	15	256	92,4
157	344		434	1	12,4	152,2	247,27	4.287	117	76,8
20	174		860	2,4	94,1	181,2	413,95	11,41	147	66,1
21	287		324		1,4	370,3	376,19	20,76	53,9	37,4
252	326		378	0,925	29,1	146,4	202,04	3.303	114	64,8
259	329		270,8	0,425	14,7	156,2	168,67	4.362	97,4	68,7
260	270		325,3	0,56	14,1	168,8	184,18	4.024	96,1	69,6
261	335		389,9	1,24	72,7	125,1	211,69	4.087	131	70,6
27	370		128,5		66,7	30,2	105,58	1.595	64,5	37,4
272	349	0,08	353,2	0,64	13,4	171,6	212,35	5,27	100	73,6
278	448		312,5	0,76	27,2	160,3	198,5	4.297	110	81,4
3	486		466,6	1.368	3,8	84	315,22	6,54	107	54,6
327	958		751	7,1	73,4	225,4	535,38	6.109	200	128
33	134		621,6	1,76	86,6	48,4	235,05	3.863	160	54
346	382		335,8	0,74	7,4	144,1	193	5.576	123	73,2
376	343		248	0,8	49,2	93,4	151,5	3.966	106	52,5
45	891	1	5.019,8	18,05	55,8	771,9	3.133,1	116,4	272	400
54	239		263,6	0,46	9,4	463,1	147,95	5.102	190	60
6	932	0,2	197,1	1,68	49,6	182,9	261,18	3.802	187	83,3
65	950		170,8	1,12	15,4	198,8	253,55	6.203	142	85,4
93	923	0,16	257,5	0,67	34,4	148,6	373,63	3.191	98,7	83,7
OUED	511		333,8	0,7	15	165,3	229,06	4.087	94,7	76,1
amont de 6	485		562,8	1.625	14,1	199,6	362,03	6.061	92,2	108

et sulfate calcique et magnésien avec des teneurs en chlorures et sodium significatives (fig. 9). La minéralisation des eaux est due au lessivage de la matrice calcaro-dolomitique riche en évaporites de l'aquifère et de son substratum (Jalal *et al.*, sous presse). L'échantillonnage à pas de temps mensuel sur plus de deux cycles hydrologiques permet de montrer la grande variabilité de la minéralisation d'une même source et la complexité des courbes de distribution de fréquence des conductivités électriques (fig. 10). Notons aussi l'absence de toute corrélation significative entre le débit des sources et leurs minéralisations (fig. 11). Ceci ne permet pas d'approcher le fonctionnement hydrodynamique du système.

Dans la zone synclinale d'Essaouira, les eaux des aquifères plio-quadernaire et turonien sont de même nature chloruré-sodique (fig. 9). Leurs conductivités électriques varient entre 860 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et plus de 4500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. La minéralisation des eaux

résulte principalement des effets combinés de la matrice des aquifères et de l'influence des terrains triasiques salifères qui est due au contact des deux nappes avec ces formations au niveau des dômes et diapir (Mennani *et al.*, sous presse). Par ailleurs, la nappe plio-quadernaire subit l'action des embruns marins et aérosols, ce qui fait que les eaux plio-quadernaires sont plus minéralisées que celle du Turonien. La carte de répartition de la conductivité électrique (fig. 12) au sein de la nappe plio-quadernaire, montre une évolution vers l'Ouest et le Sud en rapport avec l'augmentation de la minéralisation en particulier des teneurs en chlorures et sodium. Ceci s'explique à l'Ouest par l'effet des embruns marins et aérosols et au Sud par l'action des terrains triasiques.

Si l'on compare les analyses chimiques des deux systèmes aquifères (tableaux 2 et 3), on constate d'une manière générale que les eaux de l'unité synclinale d'Essaouira sont les plus chargées. Ceci

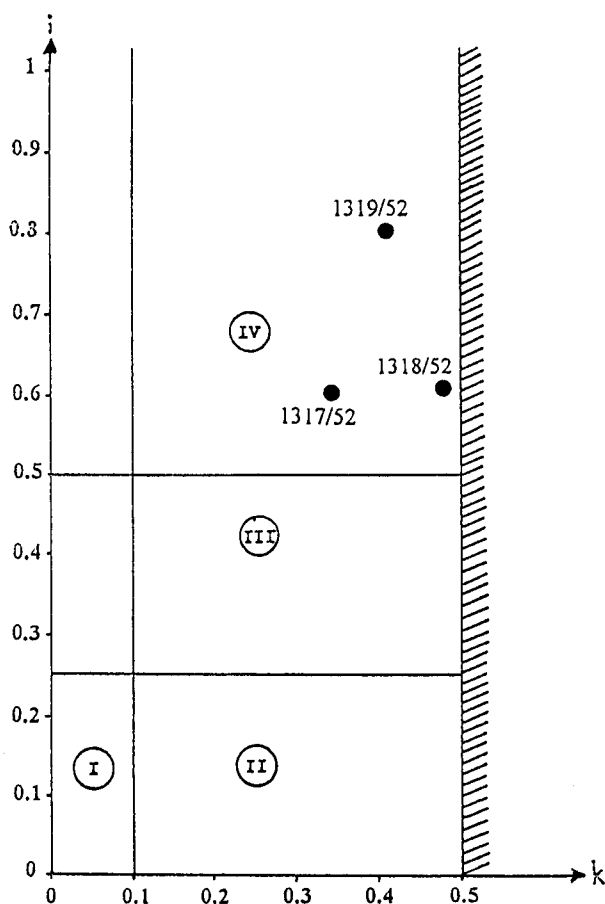


Fig. 6.—Position des points correspondant à trois sources de la zone synclinale de Bouabout dans la classification proposée par Mangin, 1975 (d'après Laftouhi, 1991).

serait dû à la combinaison de l'influence de la matrice des aquifères et au lessivage des terrains triasiques salifères avec lesquels ils entrent en contact par endroits, en plus des effets des embruns marins et des aérosols puisque l'Océan Atlantique constitue la limite ouest de cette unité. Les eaux de l'unité de Bouabout sont moins chargées vue la nature lithologique des terrains empruntés par les écoulements souterrains (calcaires dolomitiques) et l'absence de toute influence externe puisque l'aquifère céno-mano-turonien de cette unité est à l'abri des influences océaniques et de tout contact avec le Trias.

La relation chimique qui pourrait exister entre les deux unités est probablement masquée par le fait que les eaux des sources céno-mano-turonniennes de l'amont subissent les effets de l'évaporation et lessivent les terrains salifères du Trias le long de leur parcours, avant de s'infiltrer vers les aquifères plio-quadernaire et turonien de la zone synclinale d'Essaouira ce qui modifie leur chimisme.

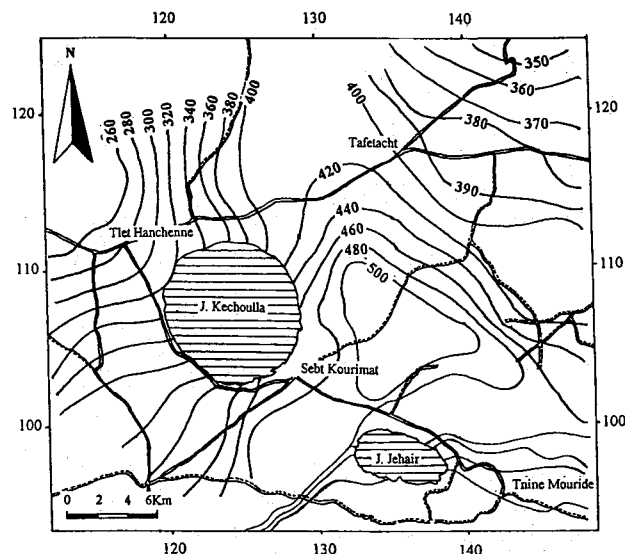


Fig. 7.—Carte piézométrique de l'aquifère Céno-mano-Turonien (janvier, 1997).

Sur le plan de la qualité des eaux et à l'exception de certains puits captant le Plio-Quaternaire dont les teneurs en nitrates dépassent la norme de 45 mg/l; ce qui met en évidence la vulnérabilité de cet aquifère et sa pollution ponctuelle par les nitrates qui serait due aux activités pastorales et domestiques, la majorité des eaux souterraines du bassin synclinale d'Essaouira restent de qualité acceptable pour tout usage (alimentation en eau potable, usages domestiques, industriels, agricoles...).

Hydrologie isotopique

Dans le bassin synclinale d'Essaouira, les systèmes aquifères sont très complexes et hétérogènes, leur alimentation provient essentiellement des infiltrations des eaux de pluies. Outre la détermination des aires de recharge des aquifères (Fontes, 1976; Blavoux, 1978), les données des analyses isotopiques du milieu (oxygène 18 et deutérium) fournissent des informations fondamentales pour la compréhension du régime des eaux souterraines.

Dans ce sens, un certain nombre de points d'eau captant les différents aquifères ont connu des analyses de l'oxygène 18 et du deutérium. Analyses dont les résultats sont regroupés dans le tableau 4.

L'analyse de ces résultats permet de distinguer les différents aquifères: les teneurs en oxygène 18 des eaux plio-quadernaires sont autour de $-4 \delta \text{‰}$ vs SMOW, celles des eaux turoniennes sont autour de $-5 \delta \text{‰}$ vs SMOW tandis que celles des eaux du Céno-mano-Turonien de Bouabout sont autour de $-6 \delta \text{‰}$ vs SMOW. Les teneurs en oxygène 18 sont

Tableau 4.—Analyses isotopiques des eaux souterraines du Bassin synclinal d'Essaouira

Point d'eau	Altitude (m)	Nov. 1995		Juin 1996		Novembre 1996		Aquifère
		^{18}O	^{18}O	^2H	^{18}O	^2H		
3./51	18	-4,19						Plio-quat.
21/51	89,6	-4,81			-5,05	-26,80		Plio-quat.
272/51	105,5	-4,35						Plio-quat.
327/51	130				-4,55	-26,20		Plio-quat.
6./51	12	-4,88						Turonien
147/51	30	-4,47						Turonien
65/51	15	-4,53						Turonien
380/51	135	-5,24			-5,25	-30,60		Turonien
346/51	110	-5,11						Turonien
386/51	105				-4,90	-28,90		Turonien
390/51	95				-5,10	-29,00		Turonien
M98	90				-5,00	-28,80		Turonien
676/51	580	-5,83						Cén.Tur.
675/51	540	-6,00						Cén.Tur.
867/51	255	-5,77						Cén.Tur.
610/52	675		-5,85	-35,70				Cén.Tur.
ait daoud	1.160		-5,89	-35,90				Cén.Tur.
1.319/52	650		-5,97	-35,70				Cén.Tur.
681/52	640		-5,29	-28,90				Cén.Tur.
bou setta	740		-4,73	-28,30				Cén.Tur.
1.317/52	405		-5,65	-35,30				Cén.Tur.
141/52	631		-5,52	-30,90				Cén.Tur.

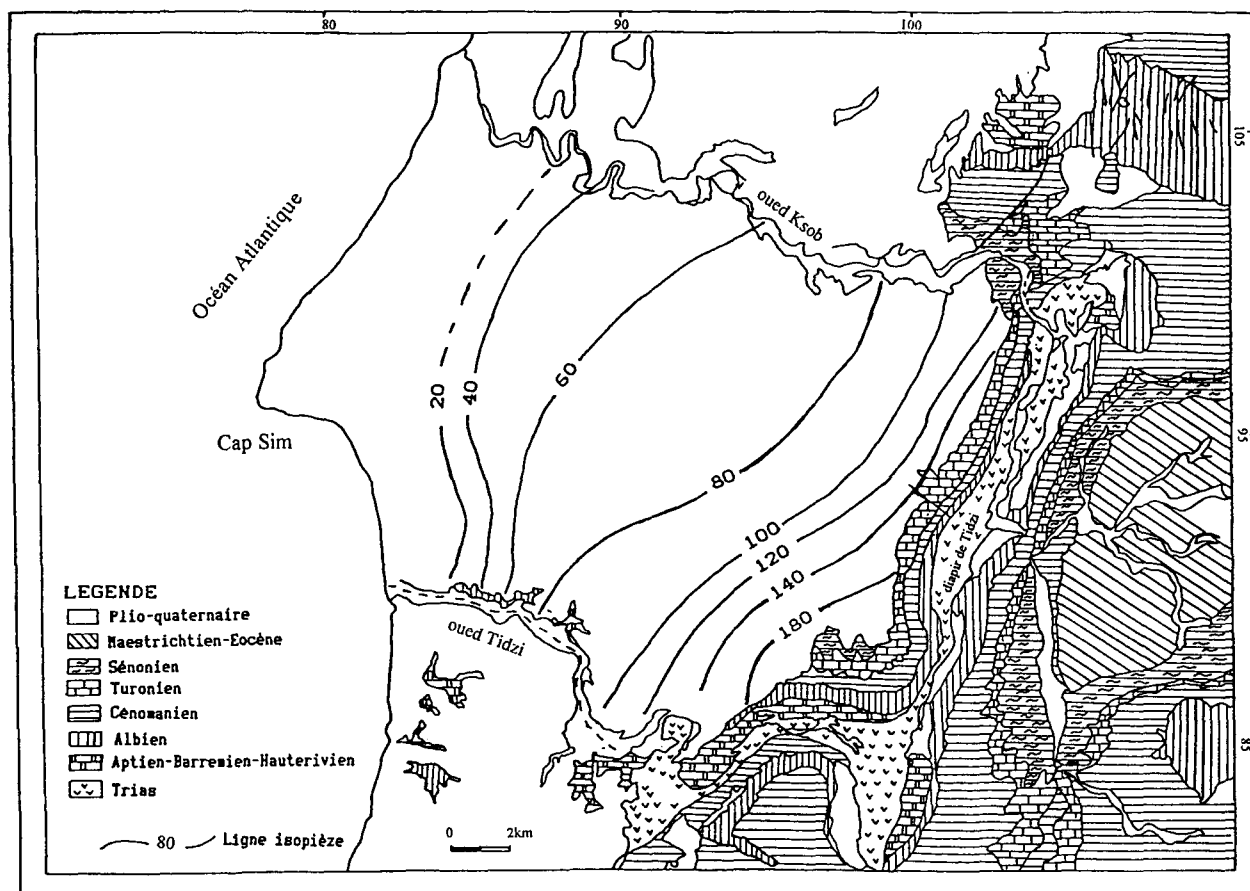


Fig. 8.—Carte piézométrique de l'aquifère Plio-Quaternaire (juin, 1995).

donc de plus en plus négatives au fur et à mesure que l'altitude des recharges augmente. Ceci témoigne d'une recharge locale pour chacun de ces aquifères et permet de déduire l'absence de toute relation entre les deux unités synclinales, celle de Bouabou et celle d'Essaouira, et qui sont séparées par la barrière constituée d'argiles salifères et de dolérites triasiques du diapir de Tidzi.

En fait il n'y a pas absence totale de relation entre les deux unités puisque les sources amont du Cénomano-Turonien alimentent par le biais de l'oued ksob les aquifères Plio-Quaternaire et Turonien de la zone synclinale d'Essaouira, mais après avoir été enrichies en isotopes par évaporation le long de leur trajet et après avoir lessivé les sels triasiques du diapir de Tidzi.

Au sein de chacune des unités du bassin, et en tenant compte de la différence des aires de recharges, on a pu déterminer un gradient isotopique de l'oxygène 18 avec l'altitude de l'ordre de $-0,25 \delta \text{‰}$ vs SMOW. Ce gradient est proche de ceux calculés par Marcé ($-0,3 \delta \text{‰}$ vs SMOW en 1975) et Bouchaou ($-0,26 \delta \text{‰}$ vs SMOW en 1995) dans d'autres régions du Maroc.

Les échantillons prélevés en juin 1996 dans l'unité de Bouabou et en novembre de la même année dans l'unité synclinale d'Essaouira ont été analysés pour le deutérium et l'oxygène 18. Le report de ces analyses sur un diagramme oxygène 18 - deutérium (fig. 13), permet de voir que tous les points sont alignés sur une droite de pente 7,55 avec un excès de deutérium de $9,2 \delta \text{‰}$ vs SMOW ($n = 13$ et $r = 0,92$). Cette droite est parallèle à celle des eaux météoriques mondiales de pente 8 avec un excès en deutérium de $10 \delta \text{‰}$ vs SMOW définie par Craig (1961). Ceci signifie que la recharge des aquifères au sein des deux unités s'effectue par des pluies qui s'infiltrent rapidement sans être évaporées. La rapidité de l'infiltration serait favorisée par les conditions des affleurements dans les zones d'alimentation marquées par la présence de lapiez, d'une topographie accentuée qui ne permet pas le séjour des eaux à la surface et par la fracturation intense.

Conclusion

Cette étude nous a permis de déduire l'absence de toute relation entre les deux unités du bassin synclinal d'Essaouira. Ceci se traduit à différents niveaux:

— Au niveau de la piézométrie, si l'aquifère plio-quaternaire présente un sens d'écoulement global du SE vers le NW, l'aquifère cénomano-turonien a montré plusieurs sens d'écoulement: Il s'écoule vers le Nord-Ouest dans sa partie sud, vers

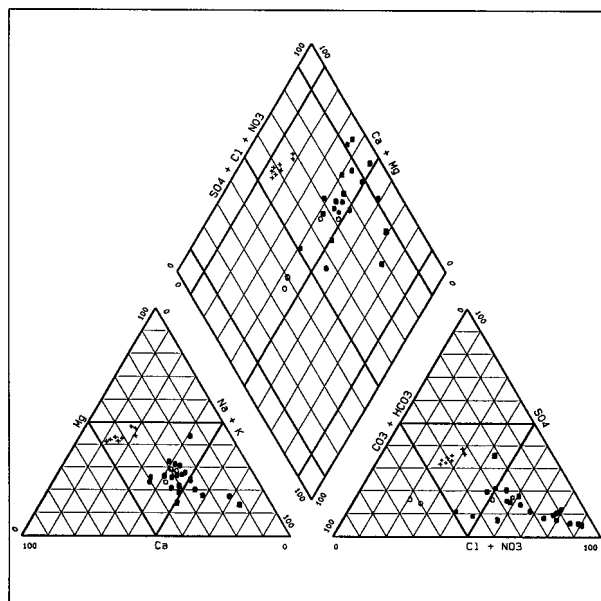


Fig. 9.—Faciès chimiques des eaux souterraines du bassin synclinale d'Essaouira.

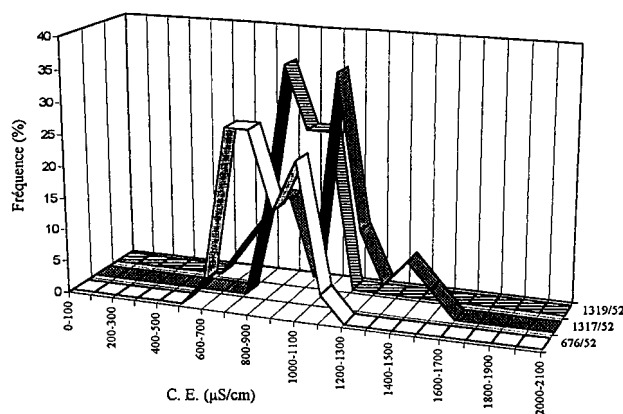


Fig. 10.—Distribution des fréquences (%) des conductivités électriques de trois sources karstiques de la zone synclinale de Bouabou.

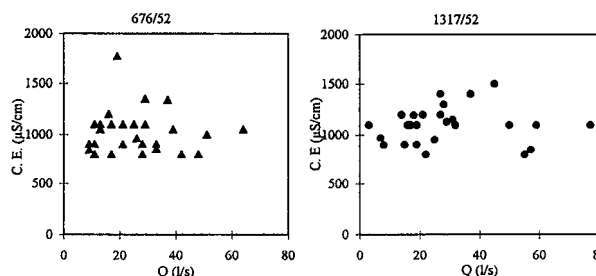


Fig. 11.—Minéralisation des eaux des sources de la zone synclinale de Bouabou en fonction du débit.

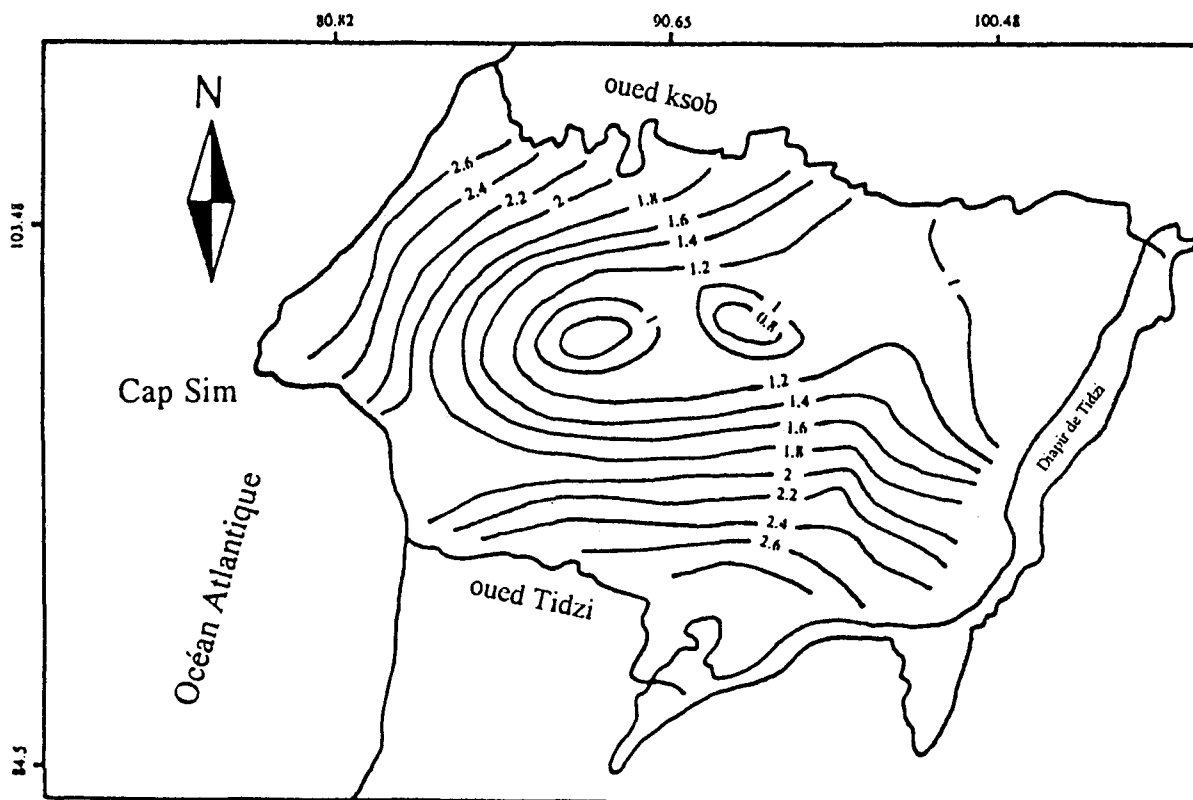


Fig. 12.—Répartition des conductivités électriques des eaux Plio-Quaternaires de la zone synclinale d'Essaouira.

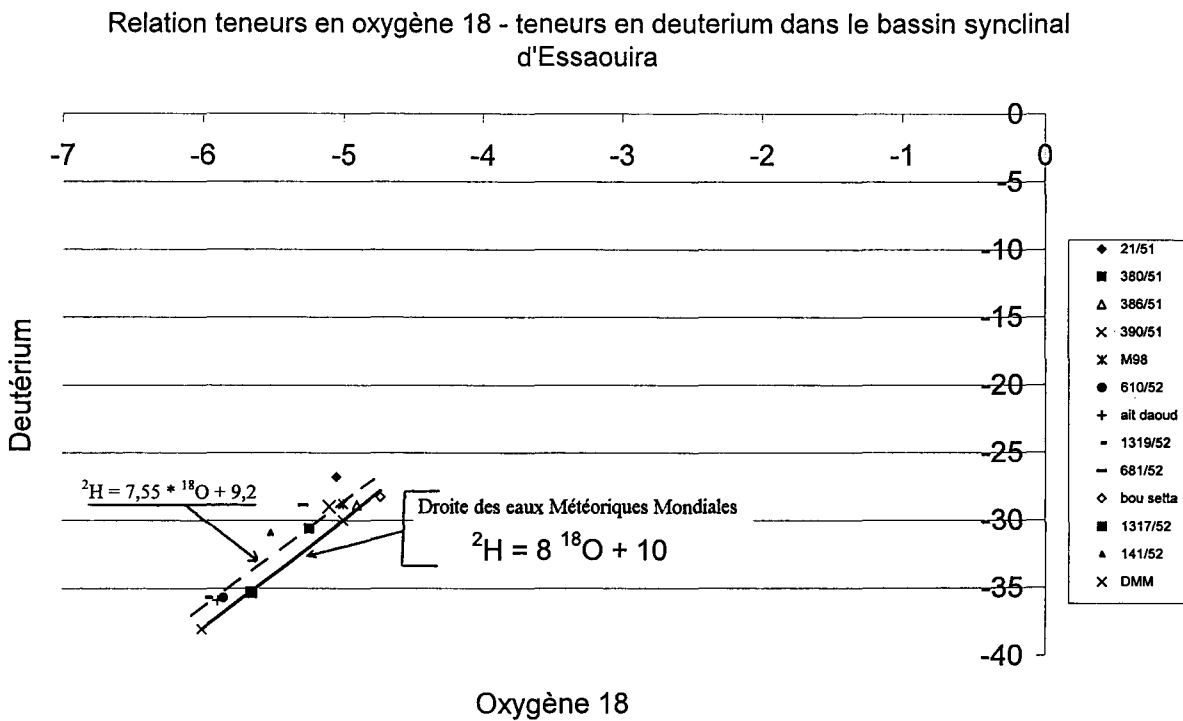


Fig. 13.—Relation entre deuterium et oxygène 18 dans les eaux souterraines du bassin synclinal d'Essaouira.

le Nord-Est dans sa partie nord-orientale et vers l'Ouest au Nord de Jbel kechoula.

— Au niveau du chimisme, la minéralisation des eaux de l'unité synclinale d'Essaouira est influencée par l'action combinée des terrains salifères triasiques et les effets marins (aérosols et embruns marins). Les eaux de cette unité sont donc plus chargées que celles de Bouabout dont la minéralisation provient essentiellement du lessivage de la matrice calcaro-dolomitique de l'aquifère Cénomano-Turonien et des niveaux évaporitiques du Cénomanién.

— Sur le plan isotopique chacun des aquifères des deux unités présente une teneur moyenne propre en oxygène 18 qui témoigne de sa recharge locale et qui s'effectue sans évaporation notable. Ces teneurs s'appauvrissent avec l'augmentation de l'altitude avec laquelle elles présentent un gradient voisin de $-0,25 \delta \text{‰ vs SMOW}$.

— La relation qui pourrait exister entre les deux unités est masquée par l'action combinée de l'évaporation des eaux des sources amont et leur lessivage des terrains triasiques salifères avant de s'infiltrer vers les aquifères de l'unité avale.

References

- Ambroggi, R. (1963). Etude géologique du versant méridional du Haut Atlas occidental et de la plaine de Souss. *Notes et Mém. Serv. Géol., Maroc*, 157: 322.
- Amghar, M. (1995). *Tectonique et inversions géodynamiques post-rift dans le Haut Atlas occidental: Structures, instabilités tectoniques et magmatisme liés à l'ouverture de l'Atlantique central et la collision Afrique-Europe*. Thèse d'Etat Fac. Sc. Semlalia, U.C.A., Marrakech.
- 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'état, Paris, 6: 333.
- Bouchaou, L., Michelot, J. C., Chauve, P., Mania, J. et Mudry, J. (1995). Apports des isotopes stables à l'étude des modalités d'alimentation des aquifères du Tadla (Maroc) sous climat semi-aride, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 320: 95-101.
- Cherkaoui, T. E. (1988). Fichier des seismes du Maroc et des régions voisines 1906-1984. *Trav. Inst. Sc., série Géol. et Géog. phys.*: 17-150.
- Craig, H. (1961). Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in naturel waters. *Science*, 133: 1833-1834.
- Duffaud, F., Brun, L. et Fontbote, J. M. (1966). Le bassin du sud-ouest marocain. In Reyre, D. Bassins sédimentaires du littoral africain. *Symp. New Delhi, Publ. Assoc. Serv. Géol. Afric.*, Paris, I: 5-26.
- Fekri, A. (1993). *Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrogéochimique de la zone synclinale d'Essaouira (Bassin synclinal d'Essaouira)*. Thèse 3ème cycle, Marrakech, 172 págs.
- Fontes, J. C. (1976). *Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles: quelques aspects*. Thèse d'Etat. Paris 6, Paris, 208 págs.
- Jalal, M., Blavoux, B., Bahir, M., Bellion, Y., Puig, J., Laftouhi, N., Mennani, A. et Daniel, M. Etude du fonctionnement du système aquifère karstique Cénomano-Turonien de l'oued Igrounzar (Synclitorium d'Essaouira, Maroc). *African Earth Sci.* (soumis).
- Laftouhi, N. (1991). *Hydrogéologie et hydrogéochimie de l'aquifère turonien du bassin synclinal de Meskala-Kourimat-Ida ou Zemzem (Essaouira, Maroc)*. Thèse 3ème cycle, Marrakech.
- Mangin, A. (1975). Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. *Thèse de Doctorat Es-Sc. Nat. Univ. Dijon, Ann. Spéléo.*, 29: 283-332, 495-601; 30: 21-124.
- Marce, A. (1975). Contribution des méthodes 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, Royaume du Maroc*, Ed. B.R.G.M., 75 SGN 447 LAB., 131 págs.
- Medina, F. (1994). *Evolution structurale du Haut Atlas Occidental et des régions voisines du Trias à l'actuel, dans le cadre de l'ouverture de l'Atlas Atlantique Central et de la collision Afrique-Europe*. Thèse d'état, Rabat, 272 págs.
- Mennani, A., Blavoux, B., Bahir, M., Bellion, Y., Jalal, M. et Daniel, M. Apport des analyses chimiques et isotopiques à la connaissance du fonctionnement des aquifères Plio-Quaternaire et Turonien de la zone synclinale d'Essaouira (Maroc Occidental). *African Earth Sci.* (soumis).
- Souid, A. (1983). *Etude tectonique et microtectonique des injections du Trias dans le bassin d'Essaouira pendant les compressions alpines dans l'avant-pays atlasique (Maroc)*. Thèse 3ème cycle, Montpellier, 101 págs.

Recibido el 13 de marzo de 2000.

Aceptado el 27 de julio de 2000.