

# 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



## **POLLUTION NITRATÉE DES EAUX SOUTERRAINES DU BASSIN SYNCLINAL D'ESSAOUIRA (MAROC)**

(Nitrate in groundwater of the Essaouira Synclinal Basin, Morocco)

<b>M. Bahir</b>	Laboratoire d'Hydrogéologie Faculté des Sciences Semlalia Marrakech, Maroc
<b>M. Jalal</b>	
<b>A. Mennani</b>	

---

*A l'opposé des régions à climat tempéré où les eaux de surface constituent la principale ressource en eau, les régions arides et semi-arides, tel le cas du Maroc, où les eaux souterraines sont les plus sollicitées, les aquifères fissurées en général et ceux du milieu karstique plus particulièrement renferment la plus importante réserve en eau. Cependant, cette dernière est souvent soumise à la pollution du fait de la rapidité de l'infiltration et de transit des eaux de recharge dans ces milieux. D'où la nécessité d'une gestion rationnelle et qualitative de cette ressource. Dans cette optique, un suivi du chimisme des eaux aussi bien de surface que souterraines des aquifères du bassin synclinal d'Essaouira a été mené pour évaluer qualitativement l'état de ces eaux. Cette étude a montré l'existence d'une pollution des eaux souterraines par les nitrates dans la région et montre la vulnérabilité des aquifères concernés. Ce qui rend de plus en plus difficile l'approvisionnement en eau potable de qualité acceptable, d'autant plus que la population ne dispose que de cette seule ressource.*

---

---

*In contrast to regions with a temperate climate, where surface waters constitute the main water resource, semi-arid and arid regions often depend only on groundwater. In the case of Morocco, fissured aquifers, and in particular those of karstic origin, contain the most important reserves of groundwater. However, groundwater is often subject to pollution due to rapid infiltration and migration of recharge waters in these environments. Rational management of the resource is necessary. The need to monitor the chemistry of surface and underground waters of the Essaouira synclinal basin has led to a qualitative evaluation of the state of these waters. This study shows the existence of groundwater pollution by nitrates and the vulnerability of these aquifers. The supply of acceptable quality drinking water has become increasingly difficult, all the more because the population depends on this sole resource.*

---

## INTRODUCTION

La ressource en eau dans le bassin synclinal d'Essaouira est presque exclusivement souterraine. Elle est contenue dans des réservoirs présentant des caractéristiques hydrodynamiques et hydrochimiques généralement favorables. Ces réservoirs assurent l'alimentation en eau potable ainsi que les besoins domestiques, et d'une façon moins importante l'irrigation des terrains agricoles (surtout le long des vallées des oueds) de cette zone. Tous ces besoins sont satisfaits grâce à des forages de captage, des puits domestiques et des sources.

### Hydrogéologie

Parmi les réservoirs (Figure1), on cite les plus importants et les plus exploités :

#### Zone côtière d'Essaouira

- Partie nord (entre l'oued Ksob et l'oued Tidzi)

Le Plio-quaternaire à matrice grés-calcaire marin ou dunaire renferme une nappe libre importante qui présente une conductivité hydraulique primaire par porosité. Le mur de cette nappe est formé par des marnes grises plastiques du Sénonien.

Le Turonien formé de calcaires et calcaires dolomitiques renferme une nappe libre à l'origine sur les affleurements du diapir de Tidzi et très rapidement captive sous les marnes sénoniennes dans la structure synclinale. Affecté par une fracturation orientée N110, il est probablement en contact direct avec le plio-quaternaire en certains endroits.

- Partie sud (entre l'oued Tidzi et l'oued Igouzoullene )

Le Barrémien-Aptien formé en général d'une alternance de marnes, de marno-calcaires et de

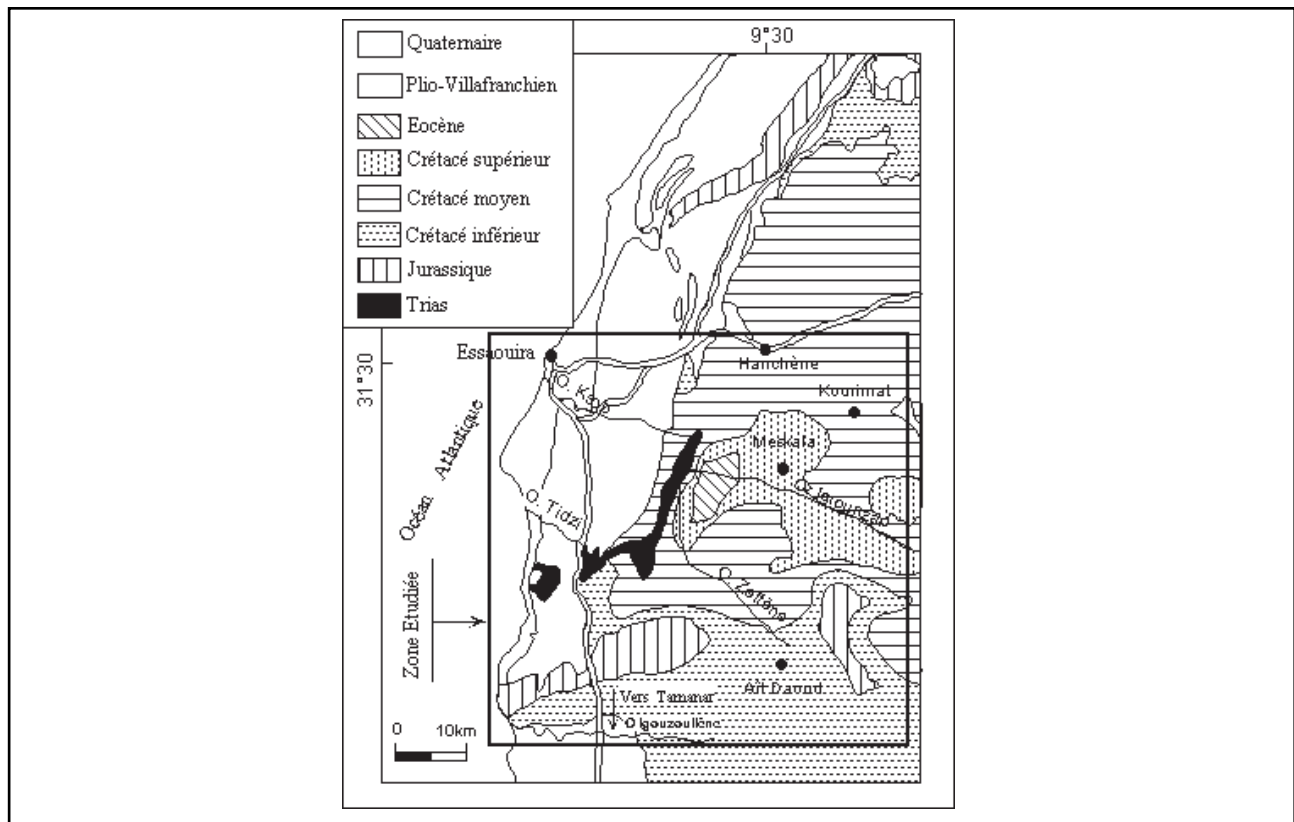


Figure 1. Carte géologique simplifiée du bassin synclinal d'Essaouira.

calcaires fossilifères et lumachelles fracturés et de grès, renferme une nappe généralement captive dont le mur est formé de marnes hautériennes.

L'Hautérien constitué d'argiles marneuses et silteuses plus ou moins altérées, alternant avec des calcaires siliceux fracturés, abrite une nappe tantôt libre, tantôt captive dont le mur est formé par les marnes du Valanginien.

Les niveaux aquifères jurassiques (Lias, Callovien, Portlandien-Berriasien) formés d'une alternance de marno-calcaires très fracturés, de calcaires sub-lithologiques et de calcaires dolomitiques fracturés.

### Bassin de Meskala-Kourimat

Siège d'une intense fracturation, le Cénomano-turonien, formé de calcaires et de calcaires dolomitiques, constitue un bon niveau aquifère, qui assure l'alimentation des sources importantes de la région (Jalal et al., 2001). Sa grande surface d'affleurement permet aussi la réception et l'infiltration des eaux météoriques et de celles transportées par les oueds.

## METHODOLOGIE

Dans la zone côtière d'Essaouira, les échantillons d'eau ont été prélevés sur environ 70 points d'eau durant les années 1995, 1996. Tandis que dans la région de Meskala-Kourimat, une campagne d'échantillonnage a été effectuée sur l'ensemble des puits et sources de Meskala-Kourimat (campagne de Décembre 1995-Janvier 1996, 55 échantillons). Les mesures des nitrates ont été effectuées avec un chromatographe en phase liquide et complétées par celles des autres éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), dosés par spectrophotométrie et par volumétrie (Tableau 1).

Tableau 1

Echantillons	T°C	C25°C	$\text{HCO}_3^-$	F <sup>-</sup>	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{SO}_4^-$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
1	19,0	1980	512,4		607,1	8,7	1094,7	343,2	214,5	207,0	4,7
2=824/52	18,0	2600	461,2		1082,8	67,5	785,2	324,8	215,5	437,0	4,7
4	19,0	1800	478,2		749,1	57,8	182,7	229,2	15,1	276,0	5,1
6	18,0	1820	392,8	1,5	887,5	29,4	108,2	168,0	140,6	368,0	3,9
8=1049/52	20,0	804	322,1	0,8	351,5	94,2	42,4	107,2	66,6	126,5	1,2
9	19,0	2460	392,8	3,6	621,3	82,5	99,6	84,0	97,3	370,5	2,0
13	19,0	1330	385,5	1,3	486,4	174,4	96,6	162,4	77,8	218,5	2,7
16	19,0	1080	324,5	0,7	468,6	80,3	38,8	147,2	70,5	149,5	2,0
17=820/52	16,0	382	168,4	0,2	227,2	22,4	23,7	52,8	38,7	57,5	3,5
18=93/52	20,0	1410	434,3		436,7	82,3	492,7	156,0	133,5	195,5	7,4
19=80/52	19,5	1460	456,3		507,7	325,1	151,2	145,6	96,3	241,5	16,4
21=75/52	18,0	1080	414,8		269,8	137,0	310,8	162,4	109,9	115,0	4,7
22=794/52	17,5	795	358,7		319,5	70,4	207,3	124,8	78,8	92,0	1,6
23	18,0	700	380,6		252,1	48,5	180,0	121,6	69,6	69,0	1,2
25=926/52	20,0	1040	405,0		305,3	65,0	216,4	141,6	78,8	103,5	1,6
26=796/52	19,5	352	251,3		145,6	66,5	11,8	86,4	43,8	34,5	0,5
27=792/52	18,0	531	348,9	0,2	245,0	55,9	31,7	114,4	58,4	69,0	4,3
28=898/52	16,0	567	414,8	0,3	227,2	52,2	64,2	104,0	82,7	57,5	0,8
29=907/52	20,0	765	292,8		266,3	69,0	221,9	124,8	126,5	57,5	1,6
30=664/52	20,0	780	327,0		273,4	67,1	212,1	122,0	111,1	80,5	2,3
31=107/52	18,5	752	378,2		177,5	79,7	277,8	146,4	61,4	80,5	2,3
32=108/52	22,0	579	331,8		145,5	57,9	29,0	88,8	39,4	57,5	4,7
33=816/52	20,0	2530	400,2		1178,6	169,3	315,1	296,8	162,2	506,0	4,3
34	23,0	1100	351,4	1,4	326,6	15,9	150,4	192,0	24,0	126,5	1,2
35=822/52	20,5	759	295,2	1,7	227,2	128,9	66,0	96,0	35,0	138,0	1,6
38	20,0	1810	466,0	1,2	468,6	125,8	630,8	326,0	137,8	207,0	11,7
40	21,0	2300	451,4		761,5	7,7	652,1	252,0	105,1	448,5	7,0

% Table 1

Echantillons	T°C	C25°C	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
42=809/52	18,0	506	305,0	0,2	95,9	<b>49,7</b>	40,7	96,0	28,3	46,0	1,6
44=805/52	21,0	990	427,0		273,4	<b>66,6</b>	69,7	124,0	52,8	126,5	2,3
45=958/52	20,0	519	329,4		103,0	<b>54,3</b>	56,7	84,0	36,0	34,5	1,2
48=807/52	21,0	1020	378,2		216,6	<b>25,9</b>	378,6	124,0	90,2	115,0	2,3
51=105/52	15,0	2010	300,1	7,1	216,6	<b>0,6</b>	2270,4	568,0	253,9	92,0	6,6
53	19,0	1070	378,2		216,6	<b>43,5</b>	423,3	164,0	88,8	92,0	3,5
55	20,0	970	329,4	0,6	184,6	<b>14,9</b>	381,5	140,8	79,2	80,5	6,3
56	16,0	737	431,9		195,3	<b>40,5</b>	112,1	112,0	66,7	92,0	2,3
57=610/52	20,0	520	312,3	0,3	117,2	<b>40,8</b>	30,1	84,0	35,5	46,0	1,2
58=613/52	19,0	990	375,8		333,7	<b>59,1</b>	75,9	120,0	61,9	161,0	1,6
59	19,0	1160	380,6		401,2	<b>71,0</b>	124,7	114,0	81,4	207,0	1,2
60=Igrounzar	17,0	847	214,7		81,7	<b>68,8</b>	79,9	72,8	40,8	43,7	7,8
61=678/52	17,0	1512	236,7		273,4	<b>75,6</b>	253,6	135,2	38,9	172,5	5,9
62=677/52	18,0	1717	441,6		305,3	<b>27,6</b>	338,4	142,4	93,4	207,0	6,6
63=827/52	20,0	2604	253,8		571,6	<b>435,1</b>	296,8	199,6	113,8	322,0	20,7
64	18,5	2130	258,6		418,9	<b>225,7</b>	380,3	145,4	94,6	287,5	10,5
65	17,0	765	236,7	0,3	92,3	<b>88,1</b>	67,0	87,2	38,9	43,7	2,0
66=681/52	18,0	506	241,6		71,0	<b>44,3</b>	10,1	57,7	32,1	32,2	2,0
67=828/52	20,0	823	290,4		74,6	<b>177,6</b>	127,1	120,0	64,3	43,7	14,8
68=829/52	18,0	1006	185,4		174,0	<b>160,6</b>	83,6	127,2	11,0	108,1	20,3
69=398/52	17,0	780	244,0		113,6	<b>123,8</b>	31,6	96,0	25,0	69,0	17,2
70=O.Zeltene	13,5	927	180,6		95,9	<b>37,9</b>	180,0	96,0	30,2	50,6	5,9
73=610/52	21,0	771	290,4	0,2	120,7	<b>32,4</b>	26,5	56,0	44,6	69,0	3,9
77=Bou Setta	21,0	625	236,7	1,4	92,3	<b>31,4</b>	22,6	68,0	20,6	48,3	1,6
79=1317/52	21,0	952	327,0	0,3	120,7	<b>19,4</b>	138,0	93,6	62,4	73,6	5,9
80=141/52	20,5	920	405,0	0,2	110,1	<b>37,9</b>	26,7	99,2	36,5	57,5	4,3
81=681/52	21,0	528	251,3		67,5	<b>28,3</b>	26,4	70,4	15,8	29,9	2,4
82=Ait Daoud	18,6	897	353,8	0,2	110,1	<b>59,8</b>	30,5	102,4	29,8	50,6	12,5

RESULTATSETINTERPRETATIONS

Sur la totalité des points d'eau échantillonnés dans la zone côtière d'Essaouira, 27 puits (Figure 2) ont montré des teneurs en nitrates supérieures à la norme admise par l'O.M.S.

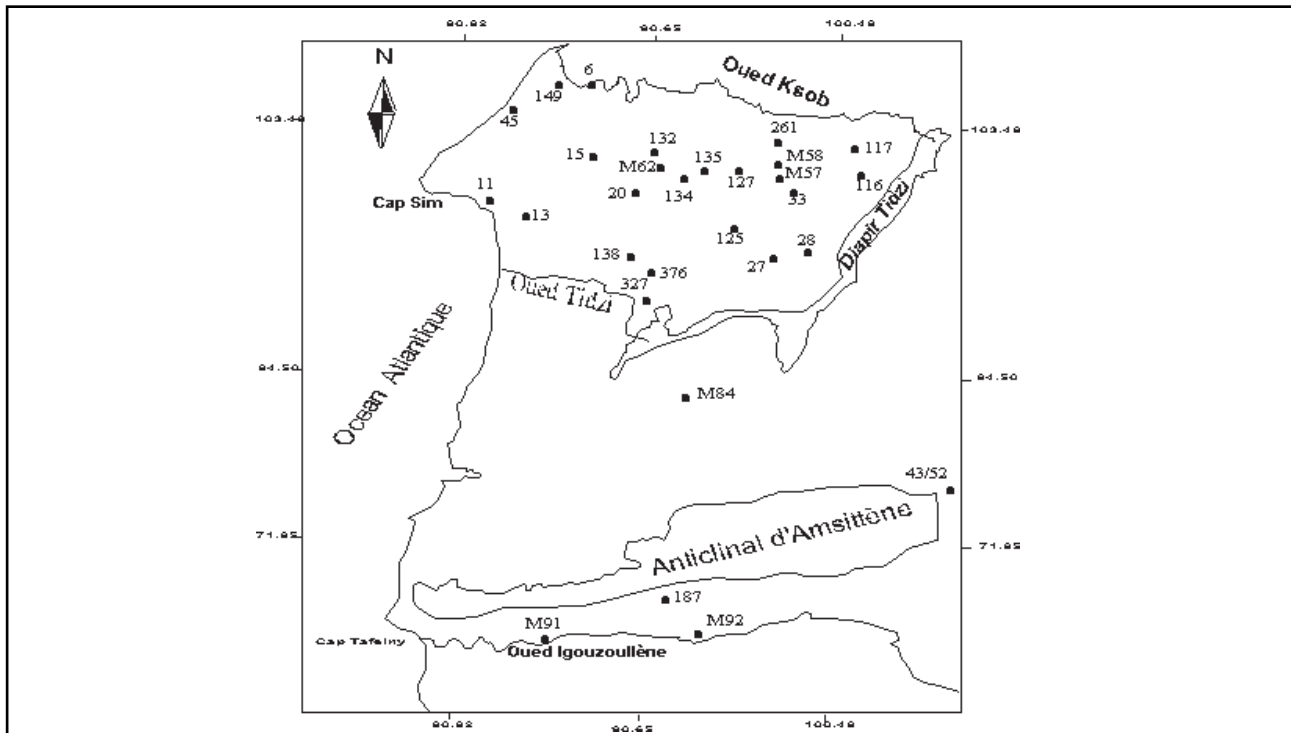


Figure 2. Carte de situation des points d'eau dont le teneurs en nitrates dépassent la norme OMS.

(45 mg/l) (Tableau 2). Ce problème se rencontre dans l'aquifère plio-quaternaire (Tableau 3) (partie nord du secteur) où certains puits ont révélé des teneurs allant jusqu'à 273 mg/l (puits N° IRE 327/51 en Janvier 1996), ainsi que dans la partie sud au niveau des aquifères Barrémien-Aptien (puits M84) et Hautérvien (puits 187/5, M91 et M92) (Tableau 4).

La présence dans certains puits, de concentrations excessives en nitrates constitue un indice de pollution, et par conséquent, un risque pour la santé des nourrissons (moins de 6 mois). Elle peut causer des troubles circulatoires: Méthémoglobinémie ou «blue baby syndrome» (Rajagopal et Graham, 1989), comme elle peut provoquer le cancer de l'estomac (Chakrawaty, 1989 in El tayab el seddig, 1993). Les nitrates peuvent aussi provoquer l'hypertension et sont les précurseurs de nitrosamines cancérigènes (Magee et Barnes, 1956; Castany, 1982). La pollution des eaux souterraines par les nitrates peut avoir plusieurs origines (Faillat, 1986): (i) mise en solution à

Tableau 2

Echantillons	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
101/51	283	278,6	13,4	164,2	97,4	68,1	148,48	5
106/51	272	427,2	13,2	172,1	98,7	58,3	226,13	7,4
11./51	284	145,1	62,7	45,4	55,2	26,2	126,5	16
116/51	232	501,9	135	85,9	157	74,9	214,4	2,2
117/51	533	160,9	168	94,5	53,2	93	160,81	5,8
125/51	199	1070,8	42	100	300	114	303,4	4,5
127/51	138	1203,3	103	108	322	111	327	6,5
13/51	387	311,1	101	63,6	135	33,7	216,4	15
131/51	289	438	38,4	140	119	72,9	232,9	3,3
132/51	190	676,4	57,8	214,6	162	82,3	257,9	4
138/51	146	1722,7	187	141	325	140	587,8	5,9
140/51	329	602,4	37,5	138,6	178	67	264,5	4,6
149/51	321	1089	111	142,9	104	79,5	591,7	7,4
15/51	257	1005,5	66	186,6	256	92,4	443,9	15
157/51	344	434	12,4	152,2	117	76,8	247,3	4,3
20/51	174	860	94,1	181,2	147	66,1	413,9	11,4
21/51	287	324	1,4	370,3	53,9	37,4	376,2	20,8
252/51	326	378	29,1	146,4	114	64,8	202	3,3
259/51	329	270,8	14,7	156,2	97,4	68,7	168,7	4,4
260/51	270	325,3	14,1	168,8	96,1	69,6	184,2	4
261/51	335	389,9	27,7	125,1	131	70,6	211,7	4,1
27/51	370	128,5	66,7	30,2	64,5	37,4	105,6	1,6
272/51	349	353,2	13,4	171,6	100	73,6	212,4	5,3
278/51	448	312,5	27,2	160,3	110	81,4	198,5	4,3
3./51	486	466,6	3,8	84	107	54,6	315,2	6,5
327/51	958	751	73,4	225,4	200	128	535,4	6,1
33/51	134	621,6	86,6	48,4	160	54	235	3,8
346/51	382	335,8	7,4	144,1	123	73,2	193	5,6
376/51	343	248	49,2	93,4	106	52,5	151,5	3,9
45/51	891	5019,8	55,8	771,9	272	400	3133	116,4
54/51	239	263,6	9,4	463,1	190	60	148	5,1
6./51	932	197,1	49,6	182,9	187	83,3	261,2	3,8
65/51	950	170,8	15,4	198,8	142	85,4	253,6	6,2
93/51	923	257,5	34,4	148,6	98,7	83,7	373,6	3,2
oued	511	333,8	15	165,3	94,7	76,1	229,1	4,1
oued amont de 6	485	562,8	14,1	199,6	92,2	108	362	6,1

Tableau 3

Echantillons	T°C	c25°C	HCO3-	Cl-	NO3-	SO4--	Ca++	Mg++	Na+	K+
140/51	19	1660	363,56	738,40	<b>42,49</b>	177,84	179,60	56,64	333,50	3,12
11./51	18	3180	263,52	1654,30	<b>133,42</b>	290,71	172,40	101,04	736,00	35,10
20/51	22	2020	209,84	1029,50	<b>106,28</b>	221,20	159,20	76,32	471,50	7,02
M20	23	2110	383,08	972,70	<b>22,51</b>	163,94	164,00	61,92	414,00	9,75
28/51	23	2430	339,16	1136,00	<b>70,57</b>	137,49	227,20	109,44	333,50	3,51
125/51	24	2455	226,92	1228,30	<b>58,46</b>	106,41	279,60	63,12	368,00	3,12
135/51	22	1645	219,60	788,00	<b>61,95</b>	164,75	155,20	73,68	287,50	2,34
117/51	22	824,00	192,76	227,20	<b>199,19</b>	133,13	76,40	17,52	241,50	3,12
116/51	22	1740	285,48	670,95	<b>165,50</b>	143,50	194,40	69,12	299,00	1,93
104/51	22	1420	268,40	546,70	<b>1,56</b>	168,30	152,00	53,28	287,50	3,51
33/51	21	1550	285,48	646,10	<b>115,22</b>	84,33	172,00	43,20	299,00	2,34
M57	23	1030	234,24	276,90	<b>149,47</b>	163,39	147,20	13,92	144,90	3,51
M58	23	1070	478,24	351,45	<b>71,81</b>	103,14	112,80	37,44	207,00	3,51
261/51	23	1340	265,96	436,65	<b>79,60</b>	178,38	146,80	48,72	241,50	2,34
M61	23	1140	339,16	365,65	<b>24,45</b>	120,86	110,80	56,88	218,50	1,56
M62	21,5	1200	287,92	397,60	<b>59,61</b>	174,84	124,00	44,16	253,00	8,58
386/51		1070	268,40	404,70	<b>30,41</b>	189,29	90,40	69,12	241,50	5,07
134/51	23	2610	192,76	1139,55	<b>110,75</b>	146,13	282,40	108,00	437,00	92,00
M66	23,5	2410	236,68	976,25	<b>10,63</b>	314,70	246,40	116,64	345,00	8,58
M67	23	1480	263,52	536,05	<b>6,45</b>	178,93	152,00	65,76	241,50	8,19
363/51	24	1520	331,84	553,05	<b>16,01</b>	89,78	128,00	59,52	276,00	2,73
327/51	21,5	1110	162,26	422,45	<b>273,20</b>	78,60	92,00	27,84	253,00	5,07
43/52	18,5	2187	439,20	340,80	<b>295,76</b>	332,15	183,20	106,08	174,80	33,63

Tableau 4

Echantillons	T°C	c25°C	HCO3-	Cl-	NO3-	SO4--	Ca++	Mg++	Na+	K+
M84	22	1443	344,04	294,65	<b>124,06</b>	138,31	90,00	24,24	211,60	14,47
187/51	19	2137	148,84	546,45	<b>60,22</b>	245,40	150,00	43,44	322,00	23,46
M91	19	1682	307,44	369,20	<b>62,01</b>	152,80	159,20	48,96	170,20	7,04
M92	22	5660	317,20	1689,60	<b>106,44</b>	449,40	476,80	121,44	713,00	29,70

partir des roches; (ii) apports météoriques; (iii) apports par le sol et les plantes; (iv) engrais; (v) apports par les polluants domestiques. Dans le cas de la zone côtière d'Essaouira, le dernier facteur semble être le plus accusé. En effet les eaux météoriques ont une teneur top faible: 0,57 mg/l pour la pluie échantillonnée à la station météorologique de la ville d'Essaouira et ne dépassant pas dans le pire des cas 1 mg/l. Quand à l'apport par les plantes et les engrais, il est négligeable puisque l'utilisation des fertilisants chimiques est trop limitée, voir inexistante en raison de la nature vivrière de l'agriculture pratiquée. La surface des terrains irriguées dans la zone étudiée est très faible, elle se limite à quelques rares cas le long des vallées des oueds de la région. La quasi totalité des eaux est donc destinée à l'alimentation en eau potable et à des usages domestiques des habitants aussi bien dans le domaine rural qu'urbain. La mise en solution à partir des roches n'aboutira pas à une contamination sélectionnée vue la circulation des eaux souterraines.

Reste donc le dernier facteur, celui des polluants domestiques, c'est à dire que cette pollution est donc un phénomène ponctuel, que les captages seulement sont pollués et a pour origine les méthodes traditionnelles de puisage. Ces méthodes font qu'une partie importante d'eau se déverse autour des puits, constituant des flaques quasi-permanentes qui s'enrichissent en nitrates par les déchets du bétail lors de l'abreuvement. A l'appui de cette hypothèse, on remarque que les teneurs en nitrates des échantillons de Décembre et Janvier (1996), après les pluies exceptionnelles sont nettement supérieures à celles de la campagne d'été (Juin 1995).

Pour les prélèvements effectués sur l'ensemble des puits et sources de Meskala-Kourimat (campagne de Décembre 1995- Janvier 1996, 55 échantillons), les teneurs enregistrées ont permis de tracer le graphe de la Figure 3. Les nitrates présentent une distribution de fréquence qui est hyperbolique avec plus de 50 % des échantillons ayant des teneurs comprises entre 0 et 100 mg/l. Plus exactement les teneurs s'échelonnent entre 0,61 et 435,08 mg/l, avec plus de 60 % d'échantillons qui dépassent la norme mondiale de potabilité.

Or on sait que dans la région, il y a absence de toute activité industrielle et l'agriculture est très peu développée. En l'absence de tout apport de cet élément azoté par les engrais, la source potentielle de contamination serait liée dans ce cas, également, à la mauvaise protection des ouvrages hydrauliques et les méthodes de puisage traditionnelles. Une autre cause de moindre importance peut être la pollution domestique, notamment les fosses septiques.

Le risque de contamination de la nappe par les nitrates est en outre dû au développement de l'habitat informel dans les grands centres ruraux. Ce qui a amené l'administration de l'Hydraulique Marocaine a créé, depuis 1990, un réseau de contrôle de la qualité aussi bien physico-chimique que bactériologique des eaux souterraines de la région de Meskala-Kourimat. Ce réseau quoique peu dense, au nombre de 3 points d'eau et d'un échantillonnage par an, permet de suivre l'évolution interannuelle des nitrates. Ces trois points d'eau assurent l'alimentation en eau potable des agglomérations rurales dépassant les 10.000 habitants, sont les N° IRE 75/52, 430/52, 434/52. L'évolution des teneurs en nitrates, reportée sur la Figure 4, montre que les fluctuations sont très importantes d'une année à l'autre et sont supérieures à la norme de potabilité admise par l'O.M.S. (45 mg/l).

Le puits alimentant le centre de Sebt kourimat, 75/52 capte les calcaires lumachéliques du Cénomani supérieur. Il présente des teneurs en nitrates qui oscillent entre 50 et 100 mg/l. L'étude du contexte de cet ouvrage nous a permis de penser à plusieurs sources de contamination nitratée des eaux souterraines ; la faible profondeur du plan d'eau facilitant ainsi l'arrivée de tout

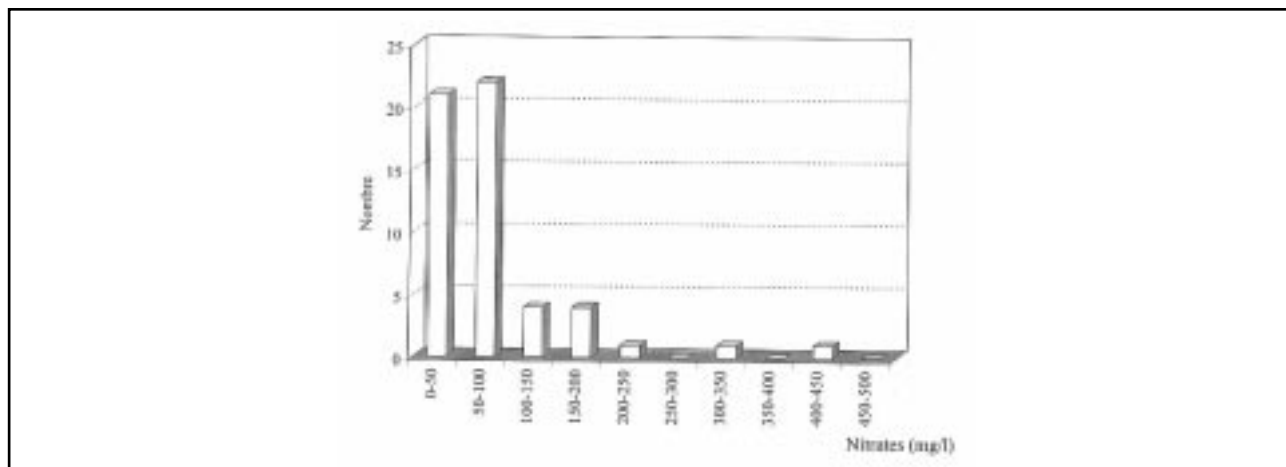


Figure 3. Histogramme de fréquence des teneurs en nitrates des eaux de Meskala-Kourimat.

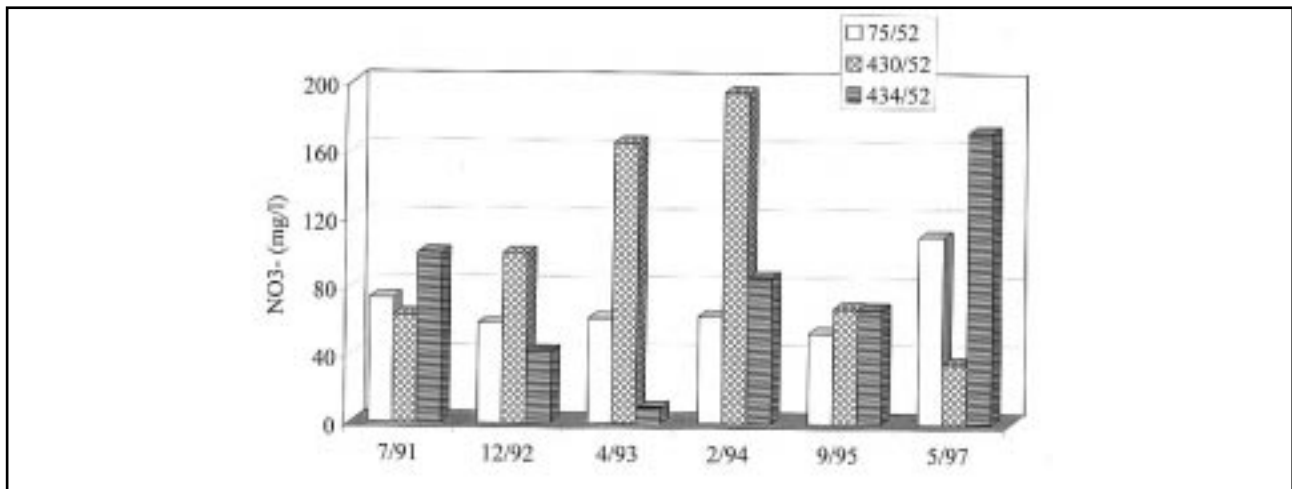


Figure 4. Evolution inter-annuelles des teneurs en nitrates des puits 75/52, 430/520, et 434/52.

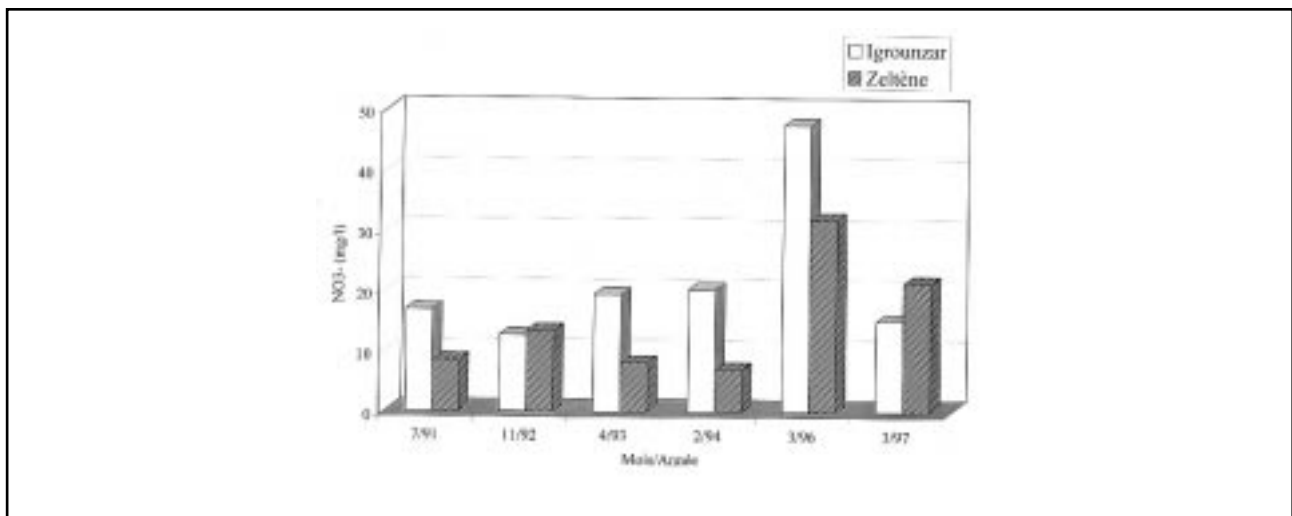


Figure 5. Evolution inter-annuelles des teneurs en nitrates des oueds Igrounzar et Zeltène.

flux polluant, l'absence de tout réseau d'assainissement au niveau du centre de Kourimat poussant les habitants à utiliser les fosses septiques, l'existence à côté du puits d'un cimetière, ainsi que l'existence de flaques d'eau permanentes au voisinage immédiat du puits.

Le puits 430/52 assure l'alimentation en eau potable du centre rural d'Aît Daoud. Il présente également des variations importantes des teneurs en nitrates. La plus forte valeur, est celle enregistrée en Février 1994, qui est de 194 mg/l.

Le puits 434/52 pourvoie en eau potable le centre de Tlet Hanchène, il capte le Cénomanién supérieur et présente des teneurs très contrastées allant de 10 mg/l (Avril 1994) à plus de 170 mg/l (Mai 1997).

Le suivi de la qualité des eaux a concerné également les eaux de surface, en l'occurrence les oueds Igrounzar et Zeltène. L'évolution interannuelle des teneurs en nitrates reportée sur la Figure 5, montre que les teneurs en nitrates restent en général inférieures à 20 mg/l. Le prélèvement de 1996 constitue un cas d'exception puisque les eaux échantillonnées au mois de Mars présentent des teneurs plus fortes (48mg/l à Igrounzar et 31 mg/l à Zeltène). De même, on note que les eaux de l'oued Igrounzar sont en général plus nitratées que celle de l'oued Zeltène, ce qui semble être lié à une concentration des habitants et à une activité somme toute modeste, un peu plus importante dans la vallée de l'Igrounzar. En ce qui concerne la confluence des deux oueds,



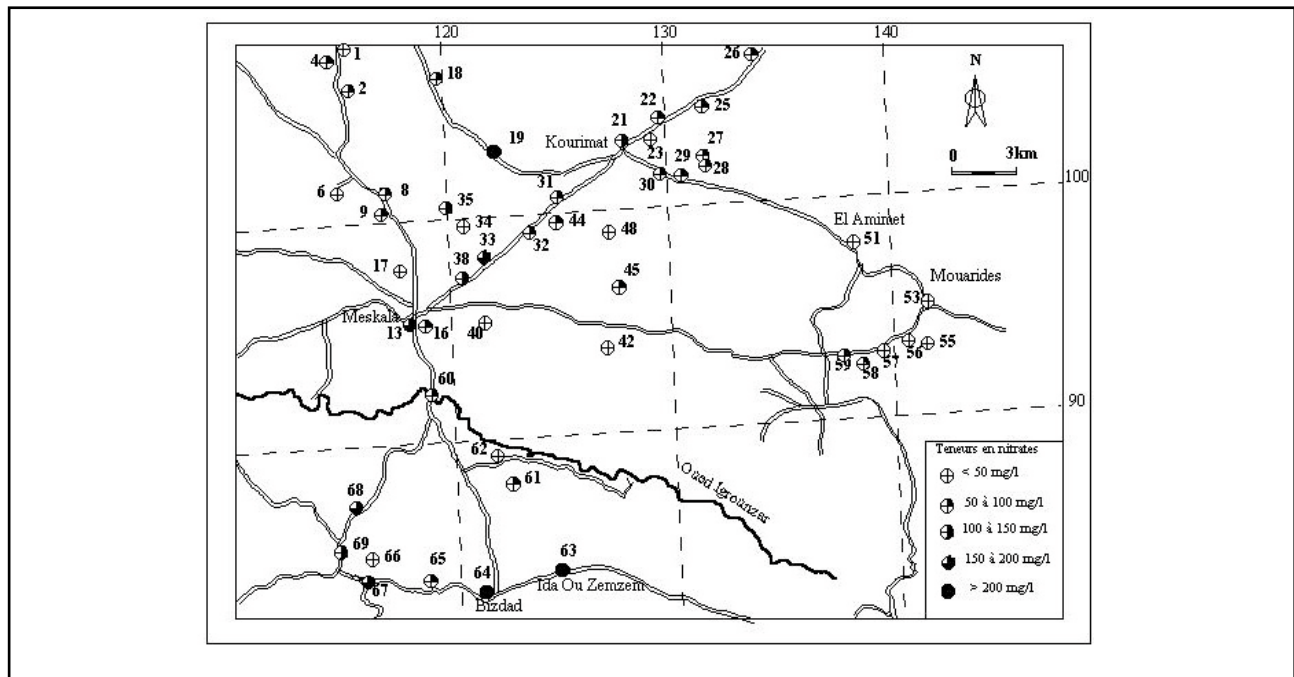


Figure 6. Répartition spatiale des nitrates des eaux de Meskala-Kourimat.

les mesures effectuées sur les eaux de l'oued Ksob montrent que les teneurs en nitrates, d'amont en aval, dépassent rarement 20 mg/l.

En résumé, les résultats physico-chimiques obtenus sur les eaux souterraines de l'aquifère Céno-mano-turonien de la région de Meskala-Kourimat montrent que ces eaux dépassent les normes de l'O.M.S., pour les nitrates (Figure 6).

Pour le reste des éléments, du point de vue de la qualité de l'eau, la majorité des points d'eau du bassin d'Essaouira dépassent les normes de potabilité en certains éléments, notamment en chlorures et sodium pour les nappes plio-quaternaires, turoniennes (Mennani et al., 2001), barrémien-aptienne et hautérivienne, mais aussi en sulfates, calcium ou en chlorures et sodium pour les niveaux aquifères jurassiques (Bahir et Mennani, 2001). Ceci est dû d'une part à l'influence des terrains triasiques salifères sur la plupart des eaux souterraines de la région, d'autre part à la proximité de cette zone de l'Océan Atlantique (action des embruns marins et des aérosols et par endroit de l'intrusion marine).

Notons aussi que les aléas climatiques peuvent aussi être accusés pour la dégradation de la qualité de l'eau et aboutir à sa concentration en sels et en éléments chimiques solubles, puisque le bassin synclinal d'Essaouira fait partie des zones semi-arides où l'hiver est souvent court et la température en général élevée. Ceci provoque fréquemment des périodes de sécheresse intense sur la majorité des mois de l'année, ce qui peut être à l'origine d'une évaporation importante qui touche surtout les nappes situées dans les formations superficielles (nappes libres). C'est, en effet, le cas de la plupart des aquifères du bassin d'Essaouira où l'évaporation entraîne la concentration des eaux en éléments chimiques. Ce fait est aggravé en outre par la recharge limitée à cause des faibles précipitations.

Au niveau des aquifères jurassiques, les teneurs anormales de certains points d'eau en sulfates et calcium est le résultat de la richesse de la matrice de ces aquifères en évaporites (gypse et anhydrites).

## CONCLUSION

Au Maroc, les normes sont alignés sur celles de l'O.M.S. il faut souligner que les normes internationales de potabilité des eaux souterraines nous semblent plus sévères pour le cas des pays arides et semi-arides.

La dégradation de la qualité de la ressource dans le bassin d'Essaouira et principalement la pollution des eaux souterraines par les nitrates montrent bien la vulnérabilité des aquifères étudiés, et rend de plus en plus difficile l'approvisionnement en eau de qualité acceptable, surtout que la population de la région ne dispose que de ces eaux pour sa consommation quotidienne. Des précautions d'hygiène immédiates doivent donc être prises notamment autour des puits pour améliorer la qualité de l'eau, afin d'enrayer la dégradation de la ressource, d'autant plus que les faibles concentrations en nitrates signalées par des études précédentes laissent penser que cette contamination des eaux de la région est un phénomène relativement récent.. Dans ce sens, il faut exiger la suppression des flaques quasi-permanentes, ainsi que des fosses septiques plus près des puits. Dans les centres ruraux, la contamination des eaux par les nitrates, est dû principalement au développement de l'habitat informel caractérisés par l'absence d'un réseau d'assainissement.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bahir M. et A. Mennani; (2001). Contribution à l'étude de certains niveaux aquifères jurassiques de la zone côtière d'Essaouira (MAROC). GAIA Geosciences, N° 16, 8p.
- Castany G.; (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Edition Dunod, Paris, 236p.
- El Tayeb El Saddig M.; (1993). Les systèmes aquifères de la région de Génina-Adré (Confins Soudano-Tchadiens) : Hydrogéologie, hydrochimie, et géochimie isotopique. Thèse Université. Avignon.
- Faillat J.P.; (1986) Aquifères fissurés en zone tropicale humide : Structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'ouest). Thèse d'Etat. USTL, Montpellier, 536p.
- Jalal M., B. Blavoux, M. Bahir, Y. Bellion, N.E. Laftouhi, J.M. Puig, A. Mennani, et M. Daniel; (2001). Etude du fonctionnement du système aquifère karstique céno-mano-turonien de l'oued Igrounzar (Bassin d'Essaouira, Maroc). Journal of African Earth Sciences, mars 2001.
- Magee P.N. et J.M. Barnes; (1956). Br. J. Cancer, 10, p.p. 114.
- Mennani A., B. Blavoux, M. Bahir, Y. Bellion, M. Daniel; (2001). Apports des analyses chimiques et isotopiques à la connaissance du fonctionnement des aquifères plio-quatérnaires et turonien de la zone synclinale d'Essaouira (MAROC). Journal of African Earth Sciences, mars 2001.
- O.M.S.; (World Health Organization); (1984). Guidelines water quality. Genève (Suisse).
- Rajagopal et T. Graham; (1989). Expert opinion and groundwater quality protection. The case of nitrate in drinking water. Groundwater, vol. 27, n°6, 11-1989.

---

### ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

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

**E-mail: [bahir@ucam.ac.ma](mailto:bahir@ucam.ac.ma)**

---