Apports des isotopes stables et radioactifs à l'étude des modalités d'alimentations des aquifères d'Ain Oussera (Algérie) sous climat semi-aride.

Mebrouk. N * Stamboul. M ** et Issaadi. A ***

* Dépt d'hydrogéologie, Institut des Sciences de la Terre et d'aménagement du territoire, Univ. d' Oran.

** Institut de génie civil, laboratoire des ressources hydraulique, Centre universitaire de Laghouat, Algérie

*** Dépt d'Hydrogéologie, Institut des Sciences de la Terre, USTHB, Alger.

RESUME :

Dans la région d'Ain Oussera, c'est le secteur localement qualifié de plaine qui rassemble les ressources les plus importantes en eaux souterraines contenues essentiellement dans l'Albien gréseux. Les données piézomètriques montrent la possibilité d'interconnexion entre l'aquifère profond et l'aquifère superficiel. L'application des techniques isotopiques, permet de préciser les relations hydrodynamiques entre ces deux aquifères. Ainsi, les teneurs en isotopes stables (^{18}O) montrent que 75 % des eaux de l'aquifère superficiel sont d'origine Albien.

Mots clés : Aquifère, isotopes stables, altitude de recharge, bilan isotopique, Atlas Saharien, Algérie.

ABSTRACT :

In the area of "Ain Oussera", it is the sector which is locally qualified as a plain that assembles the most important underground water resources contained mainly in the sandy Albian. The piezometric data shows the possibility of interconnections between the deep aquifer and shallow aquifer. The application of isotope technics, allows a precise hydrodynamic relation ships between these two aquifers. Thus the stable isotope contents (^{18}O) show that 75% of shallow aquifer waters are originally Albian .

Keywords : Aquifer, stable isotope, recharge altitudes, isotopique balance, Saharian Atlas, Algeria

I. INTRODUCTION

Enserrés par les chaînes Atlasiques et telliennes, ennoyés sous un épais manteau détritique en place après le Miocène, les Hauts Plateaux algériens constituent un domaine particulier caractérisé par :

- Sa morphologie, marquée par la présence de nombreuses cuvettes de dimensions variées.
- Son hydrologie, l'endoréisme y est la règle et les oueds nés sur les contreforts atlasiques ou telliens n'ont souvent d'autre issue que les Dayas, Sebkhas ou Chotts qui parsèment la surface des Hauts Plateaux.
- Son hydrogéologie, aux aquifères liés aux formations Mio – Plio – Quaternaire, s'opposent les aquifères profonds installés dans les séries du Crétacé ou du Jurassique.

  Les liens entre eaux superficielles et eaux profondes sont généralement très étroits et le plus souvent leur étude se résumera à celle d'un aquifère monocouche.

Dans la région d'Ain Oussera, c'est le secteur localement qualifié de plaine qui rassemble les ressources aquifères les plus importantes.

Depuis plusieurs années, le problème de l'alimentation et des relations des différents aquifères

préoccupe les services de l'hydraulique. Il se pose notamment pour l'alimentation de l'aquifère superficiel du Mio – Plo – Quaternaire et sa relation avec l'aquifère Albien qui constitue la ressource la plus importante de la région.

Aucune étude isotopique n'ayant été effectué auparavant, notre objet sera de préciser les conditions de fonctionnement en milieux aride d'un aquifère né du mélange d'eaux souterraines superficielles et profondes.

L'application des techniques isotopiques (^{3}H, ^{18}O et ^{14}C) a été tentée pour déterminer les zones d'alimentations de l'aquifère superficiel et sa relation avec les nappes profondes.

Pour discuter cette hypothèse deux campagnes de prélèvement ont été réalisées sur un certain nombre de points d'eau de la région de Ain Oussera. Le dosage des teneurs en isotopes était destiné à apprécier la relation entre les différentes aquifères, l'importance des transits souterrains, l'ampleur des réserves susceptibles d'occuper le sous-sol dans la région.

II. CONTEXTE HYDOGEOLOGIQUE

La plaine d'Ain Oussera montre un relief relativement peu tourmenté. L'altitude y varie de 700 à 800 mètres. Elle augmente faiblement du nord au sud. Les dépôts du Mio – Plio – Quaternaires, essentiellement formés par des conglomérats et poudingues bien perméables, sont très étendus dans la plaine, plus de 600 puits, dont la profondeur varie de 3 à 50 mètres, sollicitent ces formations.

L'eau de cette formation présente des qualités physico – chimiques assez bonne, le résidu sec moyen est de 1,5 g/l.

Une seconde ressource de moindre importance est constituée par l'aquifère des calcaires turoniens dont la profondeur varie de 15 à 50 mètres au niveau de la plaine à plus de 570 m vers le nord (forage d'El Khachem), le débit d'exploitation est très faible.

Les dépôts du Cénomanien servent partout de mur à cet aquifère, dont le rendement très bas, la profondeur considérable du gisement et la forte minéralisation, font qu'il n'offre guère de prospection encourageante pour la région.

Toutes les études réalisées jusque-là, aussi bien celles de l'ANRH (agence nationale des ressources hydriques) d'Alger, depuis 1960, que le projet de prospection et de recherche scientifique sur la vallée de l'Oued Touil, réalisé par une équipe soviétique (1967) et par Ayad A (1984), ont confirmé la présence d'un aquifère important dans l'Albien.

Dans la plaine d'Ain Oussera, l'Albien est constitué par des grès continentaux perméables.

Cette formation affleure en plusieurs points sur la plaine, tandis qu'ailleurs, le toit de l'aquifère est proche de la surface du sol. En outre, à l'inverse de la formation aptienne, l'Albien se montre peu cloisonné par les argiles. Plusieurs forages, d'une profondeur de 100 à 300 mètres, captent ces grès albiens.

Les débits varient de 20 à 75 l/s et les débits spécifiques sont de l'ordre de 2 à 5 m/l/s. L'eau est généralement de bonne qualité et présente un résidu sec inférieur à 1 g/l.

L'autre aquifère profond localisé dans le Barrémien est moins connu, seul un forage profond de 500 mètres a permit de confirmer la qualité du réservoir. Cependant, l'eau est inutilisable, son résidu sec étant de 3,9 g/l.

L'étude piézomètrique a permit de délimiter deux grandes zones d'écoulements : Un secteur à écoulements convergents, à l'Est de la plaine. Un autre à écoulements divergents, à l'Ouest de la plaine. Ces écoulements sont drainés par les oueds de la région avec des gradients hydrauliques plus faibles à l'Est qu'à l'Ouest.

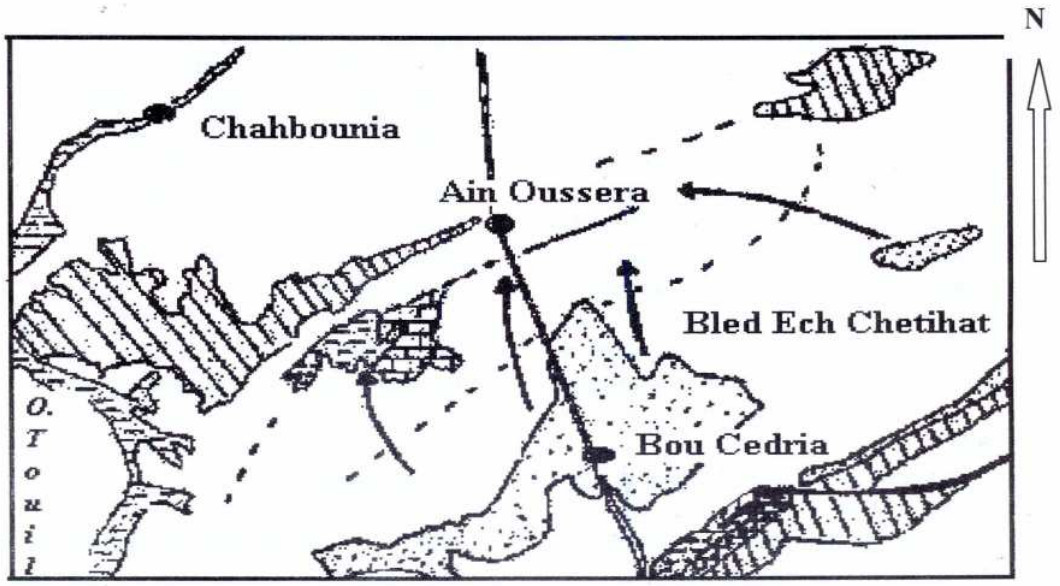
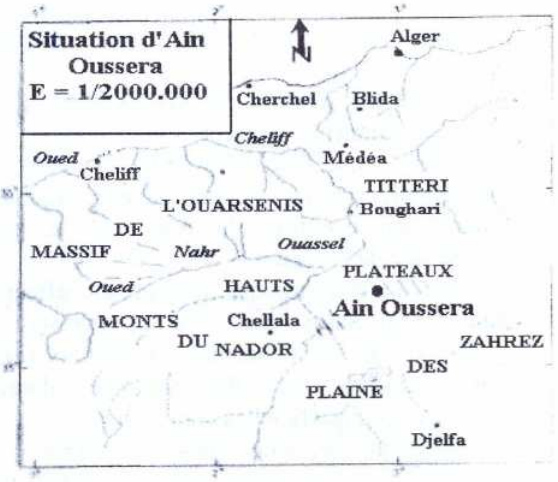


Fig. n° 1 : Carte hydrogéologique schématique de la région d'Ain Oussera.(Les flèches indiquent la circulation présumée dans l'aquifère Albien)
Schematic hydrogeological map of Ain Oussera. (arrows indicate the supposed flow in the Albian aquifer)

1 2 3 4 5

1 – Quaternaire : Croûte calcaire, argiles et galets.
2 – Cénomano – Turonien : Calcaires et marnes.
3 – Albien : Grés et marnes.
4 – Aptien : Calcaires et argiles.
5 – Barrémien : grés, argiles gréseuse, dolomies.

alimentation albienne
zone de mélange



III. RESULTATS ET INTERPRETATION :

Les analyses ont été effectuées au laboratoire d'hydrologie isotopique du H.C.R (haut commissariat à la recherche, Alger).

1.TENEURS EN ISOTOPES DANS LES EAUX DE PLUIE : TENEURS EN TRITIUM ET OXYGENE 18 :

Les analyses des eaux réalisées entre Mai 1990 et Mars 1991 ont montré des variations de la teneur en Tritium comprises entre 4 et 16 U.T et – 9.0 à + 9.0 $^{0}/_{00}$ pour ^{18}O, la valeur la plus élevée apparaît en Août 1990, tandis que la plus faible se montre en Janvier 1991 pour leTritium et en Février pour ^{18}O.

Dans la région d'Ain Oussera, l'irrégularité des précipitations et leur caractère aliatoire, influencent fortement la composition isotopique des eaux de pluie, qui montrent clairement l'effet de l'évaporation dans l'atmosphère. Cet état serait caractéristique des zones arides.

Conrad G et Fontes J.C (1970), suivie de Yousfi M (1984) ont réalisé des observations tout à faits semblables aux nôtres dans le Sud algérien (région de Beni Abbés) :

23 Avril 1968 pluie de 0.2 mm $^{18}O = + 13.6\ ^{0}/_{00}$

16 Octobre 1967 pluie de 21.7 mm $^{18}O = - 9.7\ ^{0}/_{00}$.

Ils admettent que :

- Les précipitations les plus chargées sont généralement les plus faibles.
- Les faibles pluies subiraient une évaporation au cours de leur chute, ce qui entraînerait un enrichissement en isotopes lourds.

Date	Tritium (U.T)	Oxygène $18^{0}/_{00}$
Mai 1990	13.9 + 1.3	+ 0.6
Juin	11.2 + 1.1	+ 1.5
Juil	15.1 + 1.3	- 1.6
Aout	13.4 + 1.2	- 2.5
Sept	11.4 + 1.1	- 2.6
Oct	7.3 + 0.9	- 2.0
Nov	6.1 + 0.9	- 4.7
Dec	6.8 + 0.8	- 5.7
Janv 1991	4.6 + 0.7	- 5.0
Fev	7.2 + 0.9	- 9.0
Mars	8.7 + 1.2	- 4.5
Avril		+ 1.33
Mai		- 2.3
Juin		- 0.7
Juil		+ 8.7
Aout		+ 9.4
Sept		- 1.5
Oct		- 4.4
Nov		- 5.3
Dec		- 4.9

Tableau n° 1 :Résultats des analyses isotopiques des précipitations de la région d'Ain Oussera.
Results of isotopic analyses of tne Ain Oussera area Precipitations.

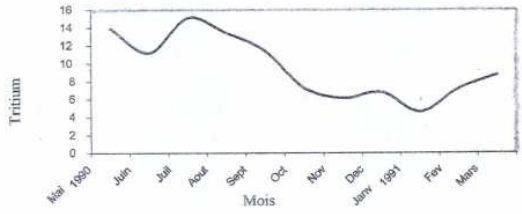


Fig. n° 2 : Teneurs en ^{18}O des précipitations. (mai 1990 – dec 1991)
^{18}O contents and of precipitations

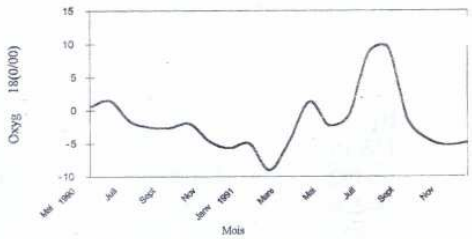


Fig. n° 3 : Teneurs en tritium des précipitations (mai 1990-mars 1991)
Tritium contents of precipitations.

2.TENEURS EN OXYGENE 18 DES EAUX DE PLAINE

Les valeurs élevées apparaissent généralement au niveau de la plaine, ce qui témoignent d'une recharge actuelle récente. Elles se rapprochent en outre, de la valeur moyenne en $^{18}O^{0}/_{00}$ des précipitations, calculées sur une années, et qui est égale à – 0.988 $^{0}/_{00}$. Les faibles valeurs se localisent au niveau des zones de recharge situées au sud de la plaine.

Nous avons tenté trois types de corrélations :

Entre les côtes piézométriques des différents points d'eaux de la plaine et leurs teneurs en ^{18}O, .

Le coefficient de corrélation R = 0.255 traduit une très mauvaise relation entre les deux paramètres.

Entre les altitudes des points d'eaux et leurs teneurs en ^{18}O , là aussi, la valeur R = 0.261 traduit une mauvaise relation.

Entre les altitudes des points d'eaux se trouvant à proximité de la zone de recharge et leurs teneurs en ^{18} O, R = 0.787, confirme la bonne relation entre ces deux paramètres.

L'équation de la droite qui permet d'apprécier les altitudes d'alimentation, au niveau de la zone de recharge, à partir de la teneur en ^{18} O est :

$$^{18}O\ ^{0}/_{00} = 0.0456\ H - 43.17$$

Ainsi les eaux de plaine sont alimentées à partir d'une tranche d'altitude (>800m), cette tranche d'altitude correspond aux affleurements des grés Albien.

N° point d'eau	Altitude (m)	^{18} O %	N° point d'eau	Altitude (m)	^{18} O %
P12	800.721	-6.978	84-221	695.718	-5.738
01-192	689.174	-6.721	02-220	735.065	-5.762
P9	705.919	-6.790	08-220	717.950	-6.293
P7	737.528	-6.686	102-221	715.007	-6.357
P10	788.278	-6.879	129-221	745.849	-5.477
60-221	755.330	-7.627	105-221	703.839	-6.433
59-221	799.713	-6.468	27-220	724.784	-6.085
52-221	765.177	-6.633	28-220	747.331	-5.518
34-221	766.849	-5.034	31-220	726.609	-5.896
58-221	794.020	-6.225	45-220	786.383	-5.969
22-221	858.522	-8.839	42-220	719.669	-5.533
18-221	820.322	-6.392	F4	693.875	-5.337
10-221	815.987	-5.898	23-220	771.185	-6.099
127-221	812.542	-6.265	15-251	870.664	-1.625
123-221	794.129	-5.227	16-251	827.033	-4.918
124-221	773.532	-4.822	08-251	795.054	-5.848
P4	753.514	-6.463	22-251	784.223	-5.959
P6	721.773	-6.666	09-251	793.077	-6.201
P3	767.612	-6.181	02-251	805.368	-5.655
42-221	714.399	-5.901	F626	767.183	-8.989
104-192	708.468	-5.776	51-250	755.800	-6.319
86-192	707.653	-5.863	127-250	793.360	-5.994
36-221	738.382	-6.649	128-250	784.042	-5.610
04-221	769.084	-6.192	101-250	770.500	-2.343
B4	725.220	-6.449	45-250	762.525	-6.436
B1	718.482	-6.151	87-250	789.155	-5.995
116-192	703.672	-6.077	21-281	820.168	-6.532
86-192	697.597	-6.009	13-281	828.663	-7.085
18-220	709.220	-6.013	36-281	777.794	-5.331
39-221	733.982	-5.623	130-219	753.642	-5.354
64-221	713.961	-6.770			

Tableau n° 2 : Résultats de l'analyse de l'oxygène - 18 des eaux de la région d'Ain Oussera.

Results of oxygen – 18 analyses of Ain Oussera area grounwaters.

BILAN ISOTOPIQUE :

L'altitude de recharge calculée suggère une participation des eaux de l'Albien à l'alimentation de l'aquifère superficiel du Mio – Plo – Quaternaire. Cette participation peut être quantifiée par l'utilisation du bilan isotopique (^{18}O) :

(1) $\delta\,^{18}O_M = (1-X)\,^{18}O_P + X\,^{18}O_A$

où $\delta\,^{18}O_M$ est la teneur en ^{18}O du mélange (aquifère du Mio – Plio - Quaternaire dans notre cas), $^{18}O_P$ celle de l'eau provenant des précipitations, celle des eaux de l'Albien est X, la fraction de l'alimentation fournie par les eaux de l'Albien.

La valeur de – 6,35 $^{0}/_{00}$ SMOW (valeur moyenne des eaux de l'Albien) a été adoptée comme représentative de la teneur en ^{18}O, elle correspond à la moyenne des échantillons prélevés au flanc Sud du synclinal d'Ain Oussera. L'incertitude dans la détermination des teneurs en ^{18}O est de – 0,2 %. La valeur moyenne du mélange est de – 5 $^{0}/_{00}$, celle adoptée pour les précipitations est - 0,988 $^{0}/_{00}$.

L'application numérique de l'équation (1) donne une valeur de X = 75 %. La plaine d'Ain Oussera est donc alimentée à 75% par les affleurements gréseux de l'Albien, alors que la contribution des précipitations est estimée à 25%.

3.TENEURS EN TRITIUM DES EAUX DE LA PLAINE :

Dans la plaine d'Ain Oussera, les teneurs en tritium des eaux varient entre 0 et 6.5 U.T. Les quelques échantillons analysés, quoique peu nombreux, nous paraissent donner une idée sur les Variations spatiales et saisonnières de la teneur en ^{3}H des eaux d'Ain Oussera. On distingue :

- des eaux anciennes, de teneur < 1 U.T qui caractérise les forages profonds(> à 150 m) captant les grés Albien.
- des eaux antérieures à 1952, de teneur < 2.4 U.T caractérise le mélange d'eau profonde et superficielle (80 m> profondeur< 150 m).
- et des eaux récentes, pour des teneurs > 2.4 U.T correspondant à des zones de recharge

L'alimentation de la nappe, par les eaux de pluie existe, mais elle parait très faible.

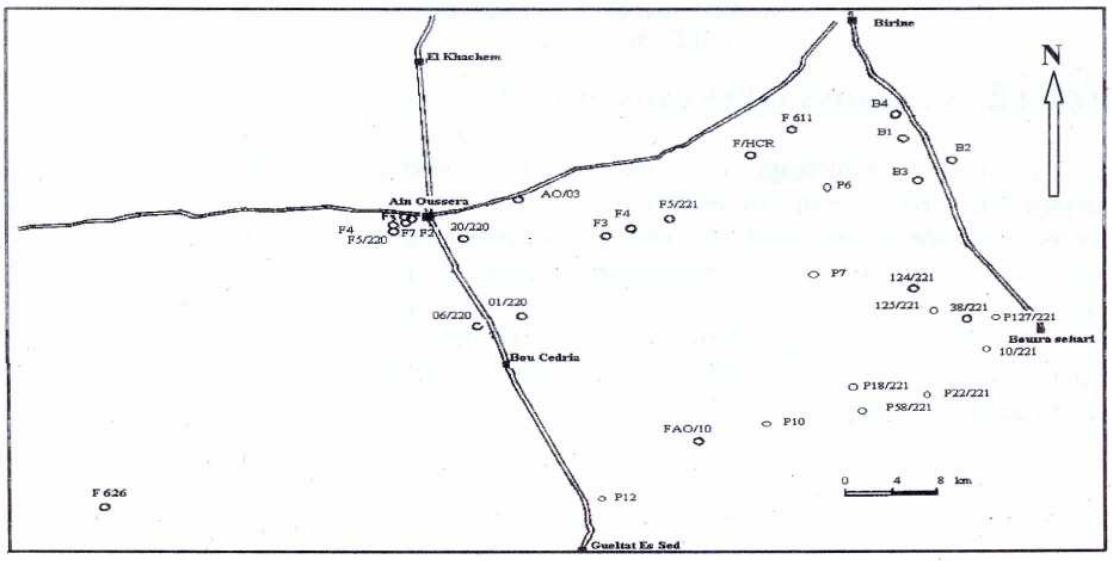


Fig. n° 4 : Localisation des points de prélèvement. The sampling sites.
F_4O Forage ou puits et son numéro et sa teneur en tritium.
Boring or well and its number and tritium contents.

Teneurs en Tritium et en ^{18}O de quelques échantillons de la plaine.				
	Mai 1990		Novembre 1990	
N° IRE	Tritium (U.T)	Oxygène 18	Tritium (U.T)	Oxygène 18
F4-220	0.1±0.6	-6.4	3.4±0.8	-6.6
F2-220	2.9±0.8	-6.7		
F5-220	0	-6.4		
F7-220	1.4±0.7	-6.7	0.9±0.7	-6.7
F3-220	0	-6.8	0.7±0.7	-6.5
06-220	0.6±0.7	-6.3	0	-6.5
01-220	0.4±0.5	-6.5	6.5±0.9	-6.5
20-220	0	-6.9		
38-221	3.6±0.8	-6.8		
124-221	1.0±0.7	-5.3		
125-221	0.8±0.7	-6		
B4	1.5±0.7	-7.5	1.1±0.7	-7.6
B3	0.2±0.6		0.1±0.7	-7.4
B2	2.1±0.8			
FAO-10	0	-7.6	1.0±0.7	-8
AO-03	0.4±0.5	-6.6		
F 611	0	-7.4	0	-7.1
F. HCR	1.0±0.6	-7.3	2.9±0.8	-7.6
F4-221	2.6±0.8	-6.1		
F3-221	1.4±0.7	-7.2	0.9±0.7	-7.6
F5-221			1.8±0.8	-7.5

Tableau n° 3 : Résultats de l'analyse isotopique des eaux de la région d'Ain Oussera.
Results of isotopic analyses of the Ain Oussera area grounwaters.
n° IRE : Inventaire des ressources en eau.
n° IRE : Water resources inventory.

4.TENEUR EN CARBONE 14 DES EAUX DE LA PLAINE :

L'examen du pourcentage en C_{14} dans les six piézomètres montre une variation nette des teneurs.
Le pourcentage le plus élevé est celui de P4, tandis que le plus faible correspond à P6. Le piézomètre P6 capterait donc une eau ancienne, tandis que les eaux de P4 seraient récentes. Pour les autres piézomètres, ce sont des eaux intermédiaires, d'origine ancienne, avec des apports récents en quantités variables.

N° point d'eau	C_{14} en %
P4	69.6
P6	19.8
P7	42.0
P10	22.9
P12	30.0
P15	31.0

5. CONCLUSION :

La composition isotopique des eaux de la plaine d'Ain Oussera varie aussi bien dans l'espace que dans le temps. Bien que nous ne disposions pas de teneurs en Deutérium, il est clair que les eaux de la nappe n'ont pas une origine unique.

La faible teneur en Tritium, le faible pourcentage en C_{14}, semble montrer que les eaux de la nappe sont généralement anciennes.

A l'inverse, d'autres valeurs concernant aussi bien l'oxygène 18, le Tritium, que le carbone 14 Témoignent de l'existence d'une recharge actuelle.

Les valeurs intermédiaires correspondent donc bien à des mélanges entres nappes profondes et superficielles.

BIBLIOGRAPHIE :

[1] **Abusada S. M. (1980) :** Quelques problèmes du gisement et de l'exploitation des eaux souterraines en zone aride : Koweit (Arabie Nord - Est). Thèse de Doctorat de Spécialité, 263 p, 7 fig, 46 tab.

[2] **Achi K. (1970) :** Etude hydrogéologique de la zone Nord - Occidentale du bassin du Hodna. Thèse Doctorat 3ème Cycle, Alger, 260 p, 31 Pl.

[3] **Allemoz M. et Olive Ph. (1980) :** Recharge of groundwaters in Arides Areas, Case of the Djeffara Plain in Tripolitania, Lybian Arab Jamahiriya. Pp 181-190.

[4] **Ayad A. (1983) :** Etude hydrogéologique de la nappe d'Ain Oussera, n° 83, DHYG. 011, 48 p (INRH, Alger).

[5] **Ayad A. (1984) :** Notice sur les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe Albienne de la plaine d'Ain Oussera. n° 84,DHYG. 018 , 22 p (ANRH, Alger).,

[6] **Ayad A. (1983) :** Projet de champ de captage pour la nouvelle ville d'Ain Oussera n°84, DHYG. 032, 22 p (ANRH, Alger).

[7] **Ayad A. (1987) :** Exploitation des forages F4, F5, F6, F7 et F8 du champ de captage d'Ain Oussera. n°87, DHYG. 053, (INRH, Alger).

[8] **Ayad A. (1987) :** Rapport de fin de travaux des forages F4, F5, F6, F7 et F8 du champ de captage d'Ain Oussera. n°73, DHYG. 087, (INRH, Alger).

[9] **Bakacowics M, Blavoux B et Mawcin B (1974) :** Apport de traçage isotopique naturel à la connaissance d'un système karstique, J. of hydrology, 23, pp 141-158.

[10] **Bernard B., Bouger A., Chauve A. et Mudry. (1979) :** Utilisation des isotopes du milieu à la prospection de la chaîne karstique du Jura ; Revue de géologie dynamique et de géographie physique. Vol 21, Fasc 4, pp295-306.

[11] **Caratini C. (1967) :** Evolution paléogéographique et structurale de la régionde Chellala-Reibell. (Département de Médea et Tiaret, Algérie). Bull. Soc. Géol. De France (7), IX, pp 850-858.

ServEtude géologique de la région de Chellala –Reibell.Publ. Serv. Carte géol. Algérie, Alger, n. sér., n° 40, 2 vol., pp 1-311, 107 fig, 8 pl.

[13] **Conrad G. et Fontes J. Ch (1970) :** Hydrologie isotopique du Sahara Occidental. IAEA. SM 129/24.pp405-419.

[14] **Fontes J. Ch. (1976) :** Les isotopes du milieu dans les eaux naturelles. La houille blanche n°3/4. pp 205-209.

[15] **Fontes J. Ch. (1989)** : Isotopes et ressources en eaux. Hydrogéologie, n° 3. pp 135-142.

[16] Fontes J. Ch, Garnier J.M. (1976) : Correction des activités apparentes en Carbone 14 du Carbone dissous : estimation de la vitesse des eaux en nappes captives. Résumé C.R. Ann. SC. Terre. Soc. Geol. Fr. , p 170.

[17] Issaadi A. (1992) : Le thermalisme dans son cadre géostructural. Thèse Doctorat d'état, Alger, 274 p, 141 fig, 43 tab.

[18] Kabbaj A, Zeryoui I, Carlier et Marce A. (1976) : Contribution des isotopes du milieu à l'étude des grands aquifères du Maroc IAEA, VIENNE, pp 492-510.

[19] Laggoun R. et Mancet J.C. (1971) : Alimentation en eau potable d'Ain Oussera, exécution d'un forage d'exploitation, Compte rendu de fin de travaux. 11p, 7 pl. (S.E.S, Alger).

[20] Lapchini N. (1976) : Alimentation en eau d'Ain Oussera. n° 72, Hyg. 72. 5 p (D.E.M.R.H, Alger).

[21] Luppi G. M. (1980) : Rapport on the environmental isotope investigation in Djeffara plaine, A.I.E.A.

[22] Manset J. C. et Tonnon J.N (1967) : Etude hydrogéologique à l'aérodrome d'Ain Oussera, N° 21. 10/DH. 1. 4 p, 2 pl. (S.E.S, Alger).

[23] Mook W.G. (1976) : The dissolution – exçhange model for dating groundwater with ^{14}C. In « Interpretation of environnemental isotop and hydrochemical data in groundwater hydrology », IAEA, VIENNA, pp 213-225.

[24] Moussu H. et Vuillaumi Y. (1972) : Etude par la méthode isotopique de la nappe des sables « Maestrichtien » et du Continental Terminal du Sénégal. 35 p.

[25] Pearson F.J.Jr et Hamshaw B.B. (11970) : Sources of dissolved carbonate species in grounwater and their effect's on Carbone 14 dating. In « Isotopes in hydrology 1970 », proceed symp. IAEA, VIENNA, pp 271-286.

[26] Souag M. (1985) : Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique des massifs carbonatés septentrionaux de la région de Constantine. Thèse Doctorat 3ème cycle, Université de Paris Sud, 195 p.

[27] Strojexport. (1979) : Etude géophysique de la région d'Ain Oussera à Ain El Hadjel, 30 p, 7 pls

[28] Yousfi M. (1984) : Etude géochimique et isotopique de l'évaporation et de l'infiltration en zone non saturée, sous climat aride, Beni Abbès, Algérie. Doct. 3 ème cycle, Alger, 97 p, 56 figs.