



## Etat des lieux des Eaux Souterraines dans les oasis de la Saoura et effets de contraintes (Sud-ouest, Algérie)

Abderrahmane Mekkaoui <sup>1✉</sup>, Sarra Ameri <sup>2</sup>, Touhami Merzougui <sup>3</sup>, Abdeldjalil Belkendil <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire "FIMAS", Université TAHRI Mohamed, Béchar, Algérie

<sup>2</sup> Centre Universitaire "NOUR Bachir el Bayadh", Algérie

<sup>3</sup> Département de Génie civil & Hydraulique, Université TAHRI Mohamed, Béchar, Algérie

<sup>4</sup> Direction d'hydraulique, subdivision de Kénadsa, Béchar, Algérie

**Résumé.** La vallée de la Saoura, espace géographique célèbre, se situe dans le Sud-Ouest d'Algérie. Il compte 14 oasis, exploitant des eaux souterraines, agencées en un système hydrogéologique, scindé par l'oued Saoura en deux compartiments : oriental interconnecté, dit actif (nappe phréatique du grand erg occidental, nappes des terrasses et inféroflux de l'oued Saoura), et occidental passif, non connecté (nappe de Hamada de Guir et celle du Cambro-Ordovicien). C'est ainsi qu'il s'agit de système vulnérable. Ces eaux se caractérisent d'une température de 16.2°C à 31.4°C. Le résidu sec « RS » est contrasté, variant de 280 à 7000 mg/l. Le pH varie de 7.1 à 7,85. Les chlorures sont comprises entre 33 et 2800 mg/l. De même, les sulfates s'échelonnent de 12 et 1800 mg/l. Les bicarbonates varient de 281 à 470 mg/l, et le calcium entre 34 et 568 mg/l. Le magnésium est faible, de 13 à 105 mg/l, et le Sodium atteint 2235 mg/l. Ces eaux se rangent en "chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne", "chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique" et "hyper chlorurées sodiques". Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) s'échelonnent entre 0 mg/l à >160mg/l dont 22% d'échantillons dépasse la norme de 50mg/l. La conjugaison de facteurs naturels et actions anthropiques, affecte, aujourd'hui le chimisme de ce système, notamment inféroflux et les terrasses, dessinant un zonage : inféroflux hyper salé, terrasses 1, 2, 3 salées et nappe phréatique eau douce, qui ne cessent de se diffuser d'avantage et c'est ainsi que les oasis de la Saoura sont en péril.

**Mots-clés:** Saoura, système hydrogéologique, compartiments, contraintes, détérioration, nitrates.

**Abstract.** The Saoura Valley, a famous geographical area, is located in the South West of Algeria.

CORRESPONDENCE :

✉ Béchar, BP : 417, 08000, Algérie

✉ mekkaouidh15@gmail.com (A.M.),

sarraameri@gmail.com (S.A), touhamime@yahoo.fr

(T.M.), algeria7002@gmail.com (A.B.)

ARTICLE HISTORY:

Received: 15.12.2022

Received in final form: 15.07.2023

Accepted: 01.08.2023

It has 14 oases, exploiting groundwater, arranged in a hydrogeological system, split by the Saoura wadi into two compartments: interconnected oriental, known as active phreatic groundwater of the great western erg, aquifers of the terraces and inferoflux of the Saoura wadi) and western unconnected consisting of groundwater from the Hamada of Guir and groundwater from the Cambro-Ordovician. This makes it a vulnerable system. The water temperature ranges from 16.2°C to 31.4°C. The dry residue (RS) varies from 280 to 7000 mg/l. The pH varies from 7.1 to 7.85. Chlorides ranged from 33 to 2800 mg/l. Similarly, sulphates range from 12 to 1800 mg/l. Bicarbonates range from 281 to 470 mg/l, and calcium from 34 to 568 mg/l. Magnesium is low, ranging from 13 to 105 mg/l, and Sodium reaches 2235 mg/l. These waters are classified as "chloride, sulphate, calcium and magnesium", "Sodium and potassium chloride or sodium sulphate" and "sodium hyperchloride". The Nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) range from 0 mg/l to >160mg/l, with 22% of samples exceeding the 50mg/l standard. The combination of natural factors and man-made actions is currently affecting the chemistry of this system, particularly in the lower reaches and terraces, creating a zoning system: hyper-salty lower reaches, salty terraces 1, 2 and 3 and freshwater groundwater, which is becoming increasingly widespread, and this is why the oases of the Saoura are in danger.

**Keywords:** Saoura, hydrogeological system, compartments, constraints, deterioration, nitrates

---

## Introduction

Une oasis désigne un espace géographique restreint, fertile, grâce à la présence d'eau dans un désert, qui se produit à proximité d'une source d'eau ou lorsqu'une nappe phréatique est suffisamment proche de la surface du sol ou parfois sur le lit de rivières venant se perdre dans le désert. L'eau constitue ainsi une condition préalable, sans laquelle l'oasis ne peut pas exister. Ces espaces sont donc aménagés et cultivés par l'homme dans un environnement hostile, au sein des zones arides et désertiques (Jouve, 2012). Ils existent dans la plupart des grandes régions sèches du monde : à titre indicatif, sur le pourtour du Sahara, au Maghreb, au Sahel, au moyen orient, sur la côte occidentale de l'Amérique latine et en Asie centrale (Lacoste, 1992). Ces espaces portent principalement des palmiers-dattiers comme étant la strate supérieure, accompagnées de la superposition de deux étages végétaux permettant de créer un environnement propice au développement des cultures. La strate arbustive constitue des arbres fruitiers, tel que les grenadiers, des vignes accrochées aux palmiers, des pommiers, des orangers, des abricotiers, des pêchers etc. La strate herbacée avec les plantes basses pour le fourrage, le maraîchage avec de nombreuses variétés oasiennes, des plantes aromatiques et médicinales. Les plantes fourragères alimentent les troupeaux qui, par leur fumier, maintiennent la fertilité des sols. Il s'agit d'un écosystème spécifique adapté aux zones extrêmement arides (Vidal de la Blache, 1994 ; Yang et al., 2018).

Dans le Sahara algérien, les oasis à palmier-dattier bénéficient d'immenses réserves hydriques : près de 31000 milliards de m<sup>3</sup> (Margat et Lemarchand, 2008) et 60000 milliards de m<sup>3</sup> (Cote, 2002), assurant un rôle socioéconomique prépondérant dans le développement des zones arides (Sghaier, 1994) et maintenant des populations contre l'exode (Bouaziz et al, 2017 ; Yousfi et Ait Ahmed, 1992 ; Kouzmine, 2012 ; Kouzmine et al, 2009 ; Bisson et Jarir, 1986). En outre, les oasis abritent un système ingénieux et ancestrale de mobilisation d'eau, sur lequel s'arrange une organisation

sociale solide et équitable (Remini, 2006 ; Remini et Achour, 2008 ; Remini et al, 2010 ; Remini et al 2014). En outre, elles tendent de devenir des pôles touristiques par excellence. Les moyens de prélèvement d'eau, sont aujourd'hui profondément modifiés par la mise en œuvre des moyens modernes et l'urbanisation massive (Dubost, 2002), entraînant une surconsommation et un excès de rejet des eaux usées. La prolifération des captages, notamment les forages engendre des pressions en plus sur les ressources en eau de la petite hydraulique traditionnelle à la moyenne hydraulique, voir même la grande.

La vallée de la Saoura est ornée d'oasis verdoyantes le long de son parcours de plus de 250km, qui puisent de l'eau des nappes de terrasses et inféro-flux de la Saoura et de la nappe phréatique du grand erg occidental. Cependant, les sollicitations de ces sources, la croissance démographique, la sécheresse, l'urbanisme, le pompage en hausse conduisent aux surexploitations et aux détériorations qualitatives de cette ressources (Ameri et al, 2014).

Au sein de cette entité géographique, la ressource en eau est soumise aux effets conjugués des facteurs naturels et actions anthropiques.

Cet article s'attache à dresser un état des lieux des ressources en eau souterraine, de fonctionnement de système, à évoquer son évolution qualitative. Puis il remonte aux causes et aux contraintes qui pèsent sur ces ressources. L'eau, dans l'oasis, devrait a priori, comme toute denrée rare, être considérée comme une ressource à protéger. Il s'agit d'étude expérimentale axée sur une compilation bibliographique et une campagne d'échantillonnage, qui s'est déroulée en septembre 2020. L'évolution hydrochimique s'est effectuée par la comparaison aux travaux de nos prédécesseurs (Merzougui, 2011; Combes, 1966 ; Conrad et Roche, 1965 ; Chavaillon, 1964).

## **1. Présentation de site d'étude**

L'oued Saoura, dit communément la "vallée de la Saoura", cantonne dans le Sud-Ouest d'Algérie. Il s'agit d'un territoire étroit allongé dans la direction MW-SE, bordé à l'est par les dunes du grand erg occidental, à l'ouest par le plateau rocailleux de la Hamada de Guir et les monts de l'Ougarta, au Nord par la dépression d'Abadla et au sud par la dépression du Touat (figure 1). Cette bande se situe approximativement entre 00°50' et 02°30' des longitudes ouest et 29°00' et 30°50' des latitudes Nord.

Le cours de la Saoura est orné d'oasis verdoyantes sur un parcours de 250 km. Elle compte 14 principales oasis qui se relaient sur plus de 250 km, du Nord-ouest vers le Sud-est : Iqli ; Mazzer ; Béni Abbes ; Tamtert ; Elouata; Agdal ; Guerzim ; Beni Yakhlef ; Kerzaf ; Timoudi ; Ouled Khoudeir ; Timgharine ; Elksabi ; Hassi Abdellah. Ce sont des agglomérations qui connaissent une remarquable transformation sur les plans d'urbanisme et socioéconomique.

Cet oued prend naissance au niveau de l'oasis d'Igli, indiquant le point de confluence entre l'oued Guir et celui de la Zousfana et il meurt dans la Sebkhia el Mellah vers le Sud, près de Kerzaz, désignant ainsi un bassin endoréique. Il est à noter qu'au niveau de Foug El Kheneg, près de l'oasis de Hassi Abdallah, cet oued se bifurque en donnant naissance à deux oueds ; Souireg qui conduit les flux de la Saoura vers l'immense dépression de Sebkhia el Melah. Le second dit oued Messaoud ne coule vers le Touat, qu'après le débordement de cette dernière.

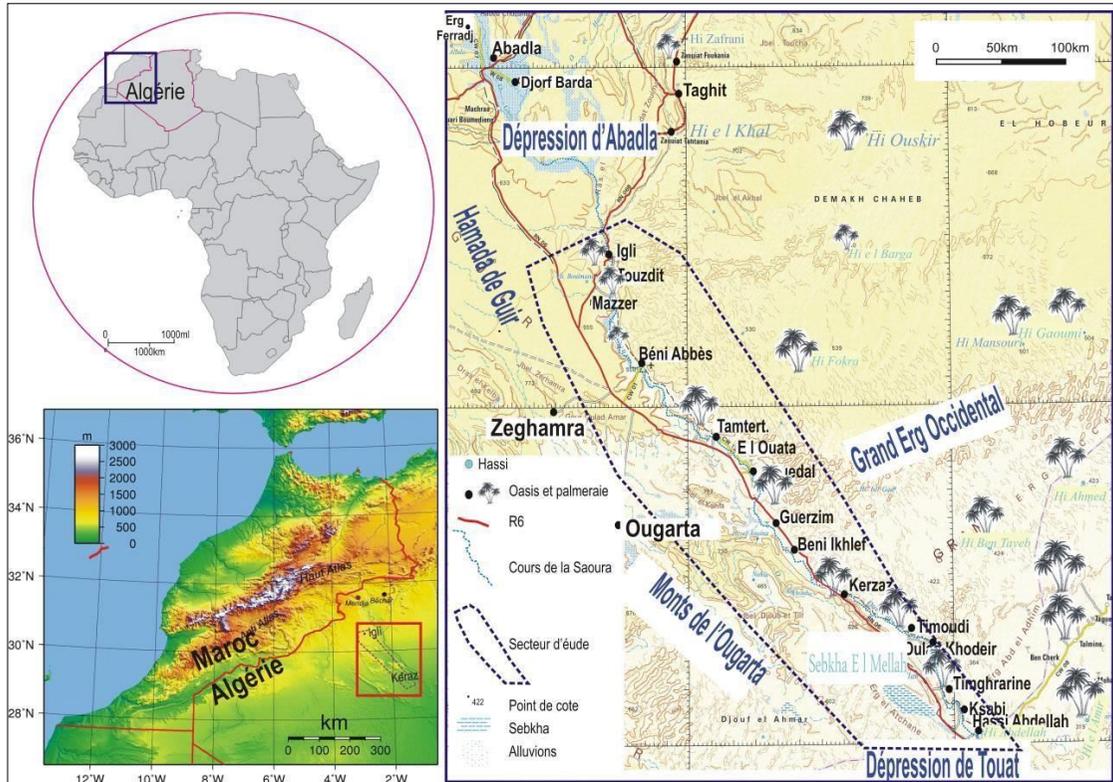


Figure 1. Situation géographique de la vallée de la Saoura

Source : Tirée de la carte de Béchar, NH-30 à 1/500 000e

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel

La compilation bibliographique est axée sur les travaux de nos prédécesseurs, portant essentiellement sur les aspects hydrogéologiques et hydro-chimiques (Conrad et Roche 1965; ; Roche; 1973 ; Yousefi et Ait Ahmed, 1992 ; Mebrouk, 2007 ; Merzougui et al, 2008)

La reconnaissance et l'inventaire des ouvrages comportent l'ensemble des points d'eau existants (puits, sources, forages et foggaras) (Tableau 1). Notons que cet inventaire n'est pas exhaustif.

**Tableau 1.** Inventaire des points d'eau dans la Saoura

Oasis	Forage	Puits	Source	Foggara*	Total
Igji	4	12	-	-	16
Béni Abbès	3	4	1	6	14
El Ouata	1	20	-	-	21
Tamtert	1	8	-	-	09
Ben Yakhlef	4	5	-	-	09
Kerzaz	8	3	-	-	11
Timoudi	4	8	-	-	12
Ouled Khodeir	5	4	-	-	09
Ksabi	7	3	-	-	10
Nbre Total	37	67	1	6	111

\* puits en ligne

La campagne d'échantillonnage fut réalisée en septembre, 2020. Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des bouteilles propres, rincées plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermées hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon, selon les standards (Rodier, 1984). En plus, le technicien est doté de : GPS (Global Positioning System) de marque Garmin etrex, pour la prise des coordonnées géographiques des points d'eau ; un appareil photo pour la prise de vues; une glacière pour entreposer les échantillons d'eau afin de les transporter au laboratoire de l'ANRH d'Adrar; une multisonde HQ40d de marque HACH, pour des mesures in situ; cartes topographiques de Béni abbés et Kerzaz à 1/200 000e.

## 2.2. Méthodes

Pendant les analyses in situ, la température, le pH et la conductivité électrique pour chaque point d'eau ont été mesurés à l'aide d'une multisonde. Ensuite, les analyses sont effectuées en laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, d'Adrar (ANRH), dont les analyses sont indiquées sur le tableau 2.

**Tableau 2.** Analyses chimiques des eaux souterraines de la Saoura

Oasis	T C	PH	CE	RS	Ca	Mg	Na	K	CL-	SO4-	NO3-	HCO3-	TH	TA C
Elouata	25,3	7,6	0,8	530	42	42	45	9,1	120	95	48	119	26	10
Elouata	26,3	7,4	0,7	480	76	16	35,5	7	90	70	28	122	25	10
Elouata	26,1	7,4	0,7	440	76	16	35,8	7	95	75	9	122	25	10
Elouata	24,2	7,4	0,8	500	84	13	45	6	65	160	0	113	26	9
Elouata	25,9	7,7	0,7	450	59	21	45	6,8	110	78	14	125	23	10
Elouata	23,1	7,6	0,9	560	67	16	80	7,6	140	80	48	107	23	9
Elouata	24,3	7,6	1,1	740	63	16	150	5,2	220	80	19	183	22	15
Elouata	20,5	7,7	1,2	780	76	16	145,5	8,3	185	180	12	195	25	16
Elouata	25,4	7,4	1,2	800	72	34	124,6	12,2	160	275	9	110	32	9

Etat des lieux des Eaux Souterraines dans les oasis de la Saoura et effets de contraintes 141

<b>Elouata</b>	26,7	7,6	0,8	510	76	26	37,9	6,6	105	83	53	119	29	10
<b>B abbes</b>	16,2	7,7	1,6	1100	114	24	194,4	7,6	150	385	75	125	38	10
<b>B abbes</b>	19,6	7,5	1,2	800	84	50	90	11,8	148	280	53	113	41	9
<b>Beni abbes</b>	25,5	7,7	0,9	560	84	24	43,6	5,9	116	110	35	107	31	9
<b>Beni abbes</b>	21,3	7,8	1,1	710	80	24	105,8	7,9	100	260	25	156	29	13
<b>Beni abbes</b>	24,2	7,6	1,1	670	34	47	107,6	7,9	100	260	21	140	27	12
<b>Beni abbes</b>	24,3	7,8	1	620	84	18	85	6,7	108	180	26	146	28	12
<b>Beni abbes</b>	23,9	7,5	1	620	72	21	90	5,4	120	200	34	104	27	9
<b>Beni abbes</b>	25,3	7,4	0,9	600	84	24	60	5,7	90	210	1,8	146	31	12
<b>Beni abbes</b>	26,6	7,6	1,2	780	80	21	120,9	6,5	160	240	35	107	28	9
<b>Beni abbes</b>	31,4	7,5	1,7	1050	122	26	171,8	3,3	295	230	15	128	41	11
<b>Beni abbes</b>	30	7,5	1,6	970	97	58	133,6	2,8	185	380	21	119	47	10
<b>Beni abbes</b>	26,1	7,7	0,6	391	59	16	33,5	3,5	50	100	26	104	21	9
<b>Beni abbes</b>	24,4	7,7	0,5	350	46	13	40	2,7	60	70	17	125	17	10
<b>Igli</b>	24	7,6	0,5	340	46	13	32,5	3	50	28	30	156	17	13
<b>Igli</b>	24,8	7,6	0,5	340	59	5	28,9	2,2	60	30	59	76	17	6
<b>Igli</b>	25,1	7,6	0,6	380	46	13	37	2,2	54	50	35	122	17	10
<b>Igli</b>	26,7	7,7	0,5	320	38	16	32	2,3	35	45	23	137	16	11
<b>Igli</b>	17,4	7,5	0,5	340	46	11	34	2,2	40	40	31	125	16	10
<b>Igli</b>	24,9	7,4	10	7000	568	276	1760	10,5	###	1800	0	229	253	19
<b>Igli</b>	23,2	7,8	3,1	2000	257	74	260	10,7	395	925	40	37	94	3
<b>Igli</b>	26,2	7,8	0,7	430	67	8	50	3	80	120	15	82	20	7
<b>Igli</b>	25,9	7,8	0,5	300	42	5	40	2,4	70	50	14	82	13	7
<b>Igli</b>	22,9	7,7	0,5	290	42	5	31,4	6,8	50	60	3	79	13	7
<b>Igli</b>	25,2	7,5	0,5	300	34	26	17	2,4	45	65	23	73	19	6
<b>Igli</b>	25,8	7,5	0,4	280	38	5	29,4	2,1	33	50	21	92	12	8
<b>Igli</b>	20,9	7,4	0,5	340	51	13	31,4	2,4	58	65	40	70	18	6
<b>Elouata</b>	24,8	7,4	1,1	700	118	24	60	6,2	120	205	45	146	39	12
<b>Kerzaz</b>	23,3	7,4	0,9	560	26	76	45	7	110	120	63	85	29	7
<b>Kerzaz</b>	26	7,8	1,2	740	84	42	95	8,5	142	280	2	125	38	10
<b>Kerzaz</b>	21,8	7,6	1	600	80	29	49,1	5,5	85	198	5	125	32	10

<b>Kerzaz</b>	21,7	7,6	1,2	800	54	39	150,4	10,5	96	330	3	168	29	14
<b>Kerzaz</b>	26,1	7,7	1,2	790	63	37	130	10,4	80	310	11	214	31	18
<b>Kerzaz</b>	19,3	7,7	1	600	63	21	106	11,2	72	240	1,3	162	24	13
<b>Kerzaz</b>	23,8	7,7	1,1	730	63	39	115	10,2	86	310	25	156	32	13
<b>Kerzaz</b>	24	7,6	0,7	430	63	13	45	6,2	70	130	25	104	21	9
<b>Kerzaz</b>	24,5	7,7	0,6	410	59	18	40	8,5	63	120	9	113	22	9
<b>Ouled khoder</b>	20,8	7,5	3,1	1945	168	95	335	47	530	620	85	110	80	9
<b>Ouled khoder</b>	25,8	7,4	3,1	1950	181	111	300	42	530	650	60	92	89	8
<b>Ouled khoder</b>	22,6	7,5	3,3	2150	173	97	391,2	44,9	620	620	80	101	82	8
<b>Ouled khoder</b>	27,3	7,7	3	1880	122	84	326,9	45,3	500	640	85	95	64	8
<b>Ouled khoder</b>	26,4	7,7	2,4	1500	84	89	247,1	51,3	380	470	100	110	57	9
<b>Ouled khoder</b>	26,6	7,4	2,6	1640	126	105	247,8	51,3	470	470	75	76	74	6
<b>Ouled khoder</b>	26,4	7,6	1,7	1160	105	45	170	46,1	280	260	110	82	44	7
<b>Ouled khoder</b>	20,4	7,6	1,2	1150	135	34	209,2	12,8	320	300	65	110	47	9
<b>Ouled khoder</b>	26	7,7	1,5	950	88	50	150	12	240	250	68	104	42	9
<b>Ouled khoder</b>	22,8	7,5	1,4	900	118	21	130	20	280	120	75	95	38	8

Enfin, plusieurs logiciels ont été utilisés : Diagramm - conçu aux traitements d'hydrochimie ; Excel, qui facilite énormément les calculs et des graphes ; Origine, qui permet de tracer des graphes ; Corel Draw, qui permet reproduire des schémas et des figures.

### 3. Résultats et interprétations

#### 3.1. Géologie

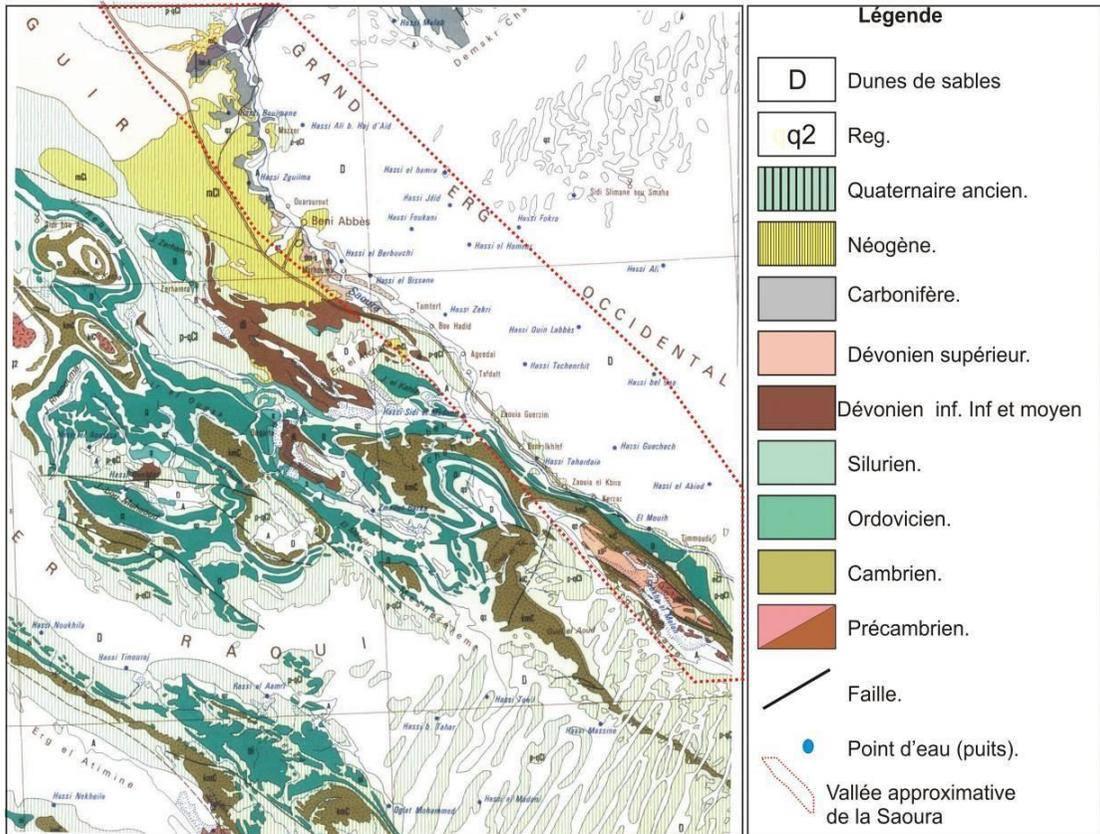
La Saoura se rattache aux monts de l'Ougarta, qui correspondent aux zones externes de la chaîne hercynienne (Michard, 1976 ; Mekkaoui, 2015). La carte ci-dessous (figure 3) illustre la géologie du secteur d'étude.

En effet, aux limites de la Saoura, on distingue :

-Socle du Précambrien formé de formations volcaniques qui apparaissent dans les noyaux de certaines structures anticlinales (Alimen et al, 1952 ; Ait Kaci, 1990). L'affleurement le plus ample est celui de la structure de sebkha el Melah, contenant une puissante série de turbidités (>3500m), associées à des coulées basaltiques,

andésitiques et des tufs, recoupés par des dolérites et des monzonites (Mekkaoui, 2015).

- Couverture paléozoïque cumule une épaisseur de + 5000m. Elle est plissée en train de plis; anticlinaux serrés et synclinaux larges (Alimen et al, 1952 ; Donzeau, 1971) dont l'ossature est constituée par les grès et les quartzites du Cambro-Ordovicien (figure 4), (Mekkaoui, 2015).



**Figure 3.** Carte géologique de la vallée de la Saoura

**Source :** Tirée de la carte géologique du Maroc à 1/500 000e, 1985

- Terrains crétacés et tertiaires, sont sub-tabulaires, constituent le plateau de Kemkem et la Hamada de Guir. Ce sont des argiles gréseuses à la base et des calcaires lacustres silicifiés (figure 4)

- Le Quaternaire récent et moyen sont représentés par des regs, des dunes et des alluvions de la Saoura, sous forme de terrasses.

- Le Quaternaire ancien, selon les spécialistes du Quaternaire (Alimen, et al, 1952 ; Chavaillon, 1974), il se compose (figure 5) : (1) des terrasses anciennes (Pliocène - Villafranchien) formées d'une série détritique surmontée de conglomérats et de sables; (2) des terrasses moyennes (Pléistocène) (Saourien) formées d'une série d'encroûtement surmontée par des sables fluviéo-éoliens avec des passées marneuses

qui correspondent à une sédimentation lacustre ; (3) des terrasses supérieures (Holocène) composées d’une alternance de sable et de graviers à stratification entrecroisée avec présence de sables alluvionnaires.

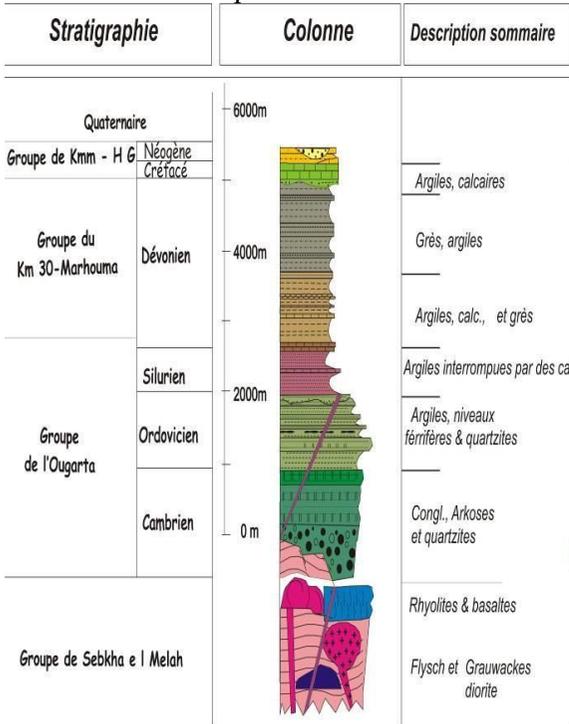


Figure 4. Coupe lithostratigraphique des monts de l'Ougarta (Mekkaoui, 2015)

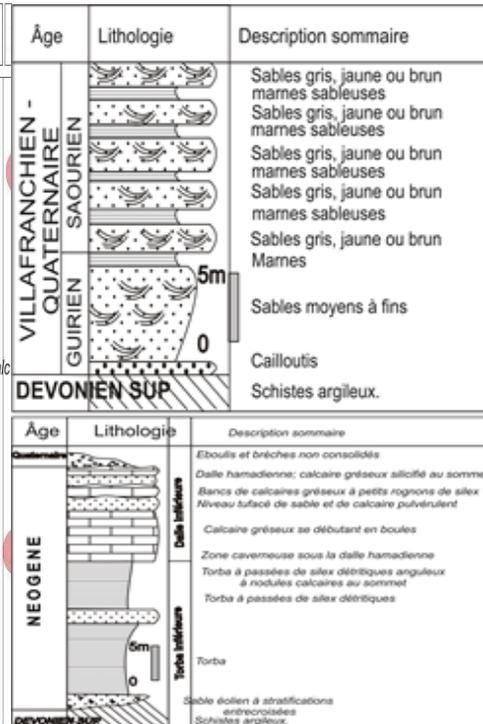


Figure 5. Coupes litho stratigraphiques du Tertiaire et du Quaternaire des monts de l'Ougarta

De cet empilement découle l'existence des aquifères (grès, quartzites et calcaires) et des formations imperméables. Ces terrains sont affectés de failles régionales pourront jouer le rôle de drains (Failles NW-SE ; Failles NE-SW (Ksiksou) ; Failles E-W).

### 3.2. Hydrogéologie

#### 3.2.1. Système hydrogéologique

Selon nos prédécesseurs, quatre nappes sont agencées en un système aquifère qui comprend :

- Nappe du Grand Erg Occidental est la plus ample, elle borde le côté gauche de la Saoura, sur toute sa longueur. Il s’agit d’une vaste nappe, merveilleusement cachéesous le système dunaire du grand erg occidental, et se prolongeant au Nord -Est, vers les pays de daïas(Nord de Ghardaia) et au Sud-Ouest (plateau de Tadmait et la dépression de Touat). La carte piézométrique montre des écoulements vers la Saoura, et vers le Sud (Schoeller, 1945 ; Cornet, 1952). Cette

nappe est alimentée essentiellement par les oueds septentrionaux, auxquelles s'ajoute les infiltrations des eaux météoriques dans les sables et les crues au niveau du djebel el Kehla (Schoeller, 1955 ;Roche, 1973).

- Nappe des terrasses et inféro-flux, l'inféro -flux de la vallée de la Saoura constitue le niveau de base d'eaux souterraines. Ce niveau est alimenté par les crues de l'oued Saoura, qui s'infiltré sous les alluvions, le long de la vallée de la Saoura. La profondeur du niveau piézométrique varie généralement de zéro (Guelta "mare") à trois mètres au dessous du sol (Roche, 1973).

- Nappe du Cambro Ordovicien (Paléozoïque) est peu étudiée, exploitée par des forages au niveau de l'oasis de Zeghamra et elle jaillit en surface sous forme de sources à l'Ougarta, à Bou M'haoued et dans el Kseib (Roche, 1973). Elle circule dans les grès et les quartzites du Cambro-Ordovicien.

- Nappe de Hamada de Guir ; la Hamada de Hamada du Guir se situe à droite de la vallée de la Saoura, sous forme de plateau faiblement incliné, depuis Boudenibe (1150m) jusqu'au chaîne de l'Ougarta (650m) avec une largeur de 110km et une longueur de 200km. Le plateau est orienté NW-SE, les calcaires constituent l'aquifère, dont la recharge est complexe, assurée d'une part, par les périodes humides du quaternaires, d'autre part, par un système des oueds (Oued Aicha, Oued El Abiod, Oued Aârfedj). Cette nappe montre un écoulement dans l'ensemble suivant l'allongement de la Hamada NW-SE (Combes,1966).

### **3.2.2. Fonctionnement du système hydrogéologique**

Ces différentes nappes sont agencées dans un système hydrogéologique complexe, scindé par le cours de la Saoura en deux compartiments (fig. 6) (Mekkaoui et al, 2005) :

- Compartiment Oriental Actif, il est interconnecté et comprend la nappe phréatique du grand erg occidental, les nappes des terrasses et l'inféro-flux de la Saoura

- Compartiment Occidental passif comprend la nappe de la Hamada de Guir et celle du Cambro-ordovicien (Paléozoïque).

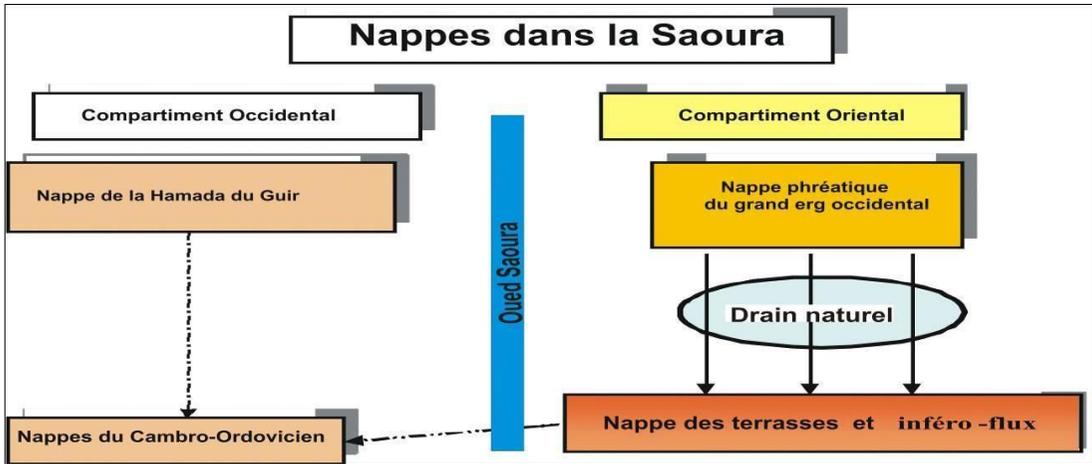


Figure 7. Coupes hydrogéologiques à travers le compartiment oriental de la Saoura

Source : Roche, 1973 (modifié)

L'interconnexion du compartiment oriental est illustré selon la coupe ci-dessous (fig. 7), elle conceptualise le cheminement des eaux des eaux souterraines de la nappe phréatique du grand erg occidental vers l'inféro-flux, qui empruntent les failles et des couloirs de fracturation affectant le plateau de la rive gauche de la Saoura (Roche, 1973). Les palmeraies puisent de l'eau de l'inféro-flux et des terrasses alluviales. Entre autres, des puits en lignes "foggaras" acheminent l'eau des nappes phréatique du grand erg occidental vers les parcelles agricoles.

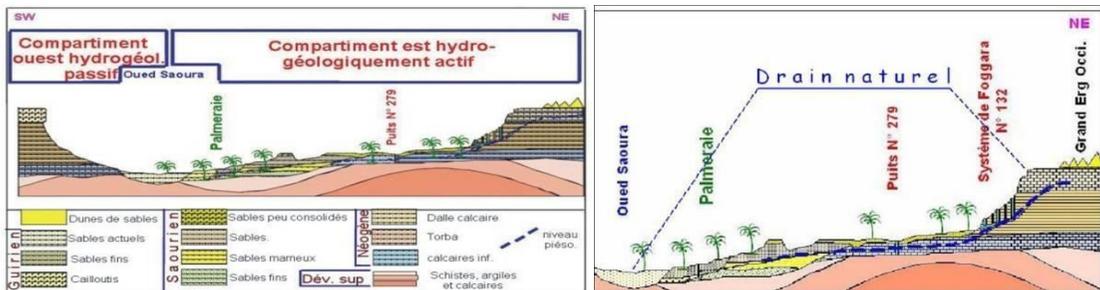


Figure 7. Coupes hydrogéologiques à travers le compartiment oriental de la Saoura

Source : Roche, 1973 (modifié)

### 3.3. Hydrochimie des eaux souterraines

#### 3.3.1. Balance ionique

La balance ionique représente la première étape pour tester la fiabilité des analyses hydro-chimiques. Elle s'exprime ainsi (anions et cations sont calculés en meq/l):

$$\text{Balance ionique} = 100 \times \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}}$$

56 des analyses chimiques sont satisfaites à la balance ionique, attestées par une forte corrélation ( $R^2 = 0,9423$ ), réparties en analyses excellentes, acceptables et médiocres (figure 8).

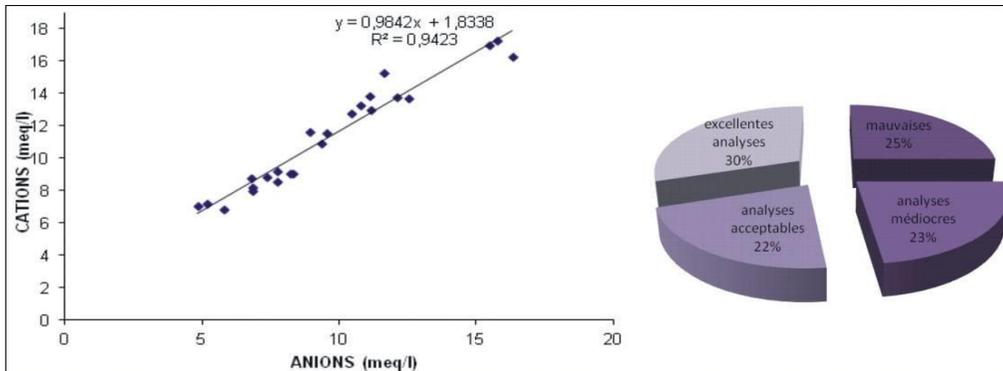


Figure 8. Balance ionique des analyses hydro chimiques de la Saoura

### 3.3.2. Statistiques

#### • Statistiques descriptive

D'après le tableau 3, pour les ions  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , la dispersion est importante ( $\text{CV} > 0,5$ ), sauf les ions  $\text{HCO}_3^-$ , ( $\text{CV} < 0,5$ ).

Tableau 3. Paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines

Variable	Nbre d'éch.	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Coeff de Variation(CV)
$\text{Ca}^{++}$ (mg/l)	56	26	568	89,9	77,3	0.85
$\text{Mg}^{++}$ (mg/l)	56	5	276	37,8	42,2	1.11
$\text{Na}^{++}$ (mg/l)	56	17	1760	138,3	238	1.72
$\text{K}^+$ (mg/l)	56	2,1	51,3	11,8	13,8	1.16
$\text{Cl}^-$ (mg/l)	56	33	2800	211	380,3	1.8
$\text{SO}_4^{--}$ (mg/l)	56	28	1800	250,9	282,4	1.12
$\text{NO}_3^{--}$ (mg/l)	56	0	110	34,8	27,7	1.79
$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	56	37	229	119	35,4	0.26

#### • Matrice de corrélation

Le tableau 4 indique les corrélations entre les éléments chimiques.

Tableau 4. Matrice de corrélation

	T °C	PH	COND	RS	Ca	Mg	Na	K	CL-	SO4--	NO3-	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TH	TAC
T °C	1,00													
PH	0,046	1,00												
CONS	0,058	-0,03	1,00											

RS	-0,057	-0,13	0,890	1,00										
Ca	0,088	-0,15	0,821	0,772	1,00									
Mg	0,148	-0,12	0,824	0,740	0,585	1,00								
Na	-0,04	0,024	0,938	0,935	0,749	0,736	1,00							
K	-0,04	0,031	0,775	0,685	0,58	0,747	0,74	1,00						
Cl	0,072	-0,16	0,884	0,899	0,800	0,732	0,882	0,698	1,00					
SO4	-0,05	-0,02	0,866	0,908	0,72	0,800	0,89	0,720	0,759	1,00				
NO3	0,043	-0,07	0,361	0,287	0,35	0,374	0,27	0,373	0,42	0,170	1,00			
HCO3	-0,2	0,105	0,073	0,113	-0,1	-0,01	0,12	-0,05	-0,05	0,098	-0,48	1,00		
TH	0,115	-0,13	0,934	0,842	0,86	0,896	0,83	0,758	0,844	0,858	0,406	-0,014	1,00	
TAC	-0,03	0,178	0,134	0,015	-0,1	0,052	0,12	0,002	-0,01	0,050	-0,383	0,930	0,042	1,00

Il ressort : (1) très fortes corrélations ( $r$  de 0.9 à 0.99), telle que  $Ca^{++}_Mg^{++}$  ;  $Ca^{++}_Cl$ ;  $Ca^{++}_SO_4^{--}$  ;  $Na^{++}_SO_4$  et  $TAC\_HCO_3$  ; (2) fortes corrélations ( $r$  de 0,70 à 0.90), tel que  $K-NO_3$  ;  $Cl-SO_4$  ;  $Ca^{++}-Na^{+}$  ; (3) moyennes à faibles corrélations ( $r$  de 0.35-0.5) -  $K-Cl$  ;  $K-SO_4$  ; (4) corrélation insignifiante ( $r < 0.35$ ) pour le reste des éléments non cités précédemment.

### 3.3.3. Caractérisation hydro-chimiques des eaux souterraines de la Saoura

Les valeurs du pH des eaux des puits étudiés se trouvent dans la zone normale ; des valeurs elles varient entre 7.1 à 7,85 pour le pH. Les températures varient de 16,2 à 31.4°C. Les valeurs de la conductivité électrique (CE) indiquent une large variation de la composition chimique des eaux ; elle varie entre un minimum de 720  $\mu S/cm$  et un maximum de 10470  $\mu S/cm$ . Les valeurs des chlorures varient entre 33 mg/l et 2800 mg/l. Elles dépassent dans 60 % des cas la valeur guide fixée (750 mg/l) par la norme relative aux eaux destinées à la production de l'eau potable (200 mg/l à 500 mg/l) (OMS, 2003). La dureté totale de l'eau TH est rattachée principalement à la quantité de calcium et de magnésium dans l'eau. Dans ces analyses d'eau : La TH varie entre 12mg/l et 253 mg/l. Les valeurs du  $Mg^{2+}$  varient entre 5 et 276 mg/l avec une moyenne de 140.5 mg/L et les valeurs du  $Ca^{2+}$  varient entre 26 mg/l et 568 mg/l avec une moyenne de 292 mg/L. Pour tous les points d'eaux étudiés. Le titre alcalimétrique complet (TAC) dans les échantillons d'eau analysés est dû essentiellement à la présence des ions bicarbonates ( $HCO_3^-$ ). Le TAC se situe dans l'intervalle compris entre 3 à 25 mg/l, ce qui se traduit par de très faibles concentrations en ions bicarbonates.

### 3.3.4. Faciès

Les eaux souterraines de la Saoura appartiennent aux familles des "eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes", "chlorurées sodiques et potassiques ou sulfatées sodiques" et "hyper-chlorurées sodiques" (figure 9).

Il est clair que la majorité de ces ressources occupent le faciès des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes. Les points qui occupent le faciès des eaux Hyper chlorurées sodiques sont rares et ils correspondent à l'inféroflux, au

niveau de Timoudi et Béni Abbés. Cette répartition spatiale de ces faciès chimiques dépend de la nature lithologique de l'aquifère et des conditions d'infiltration.

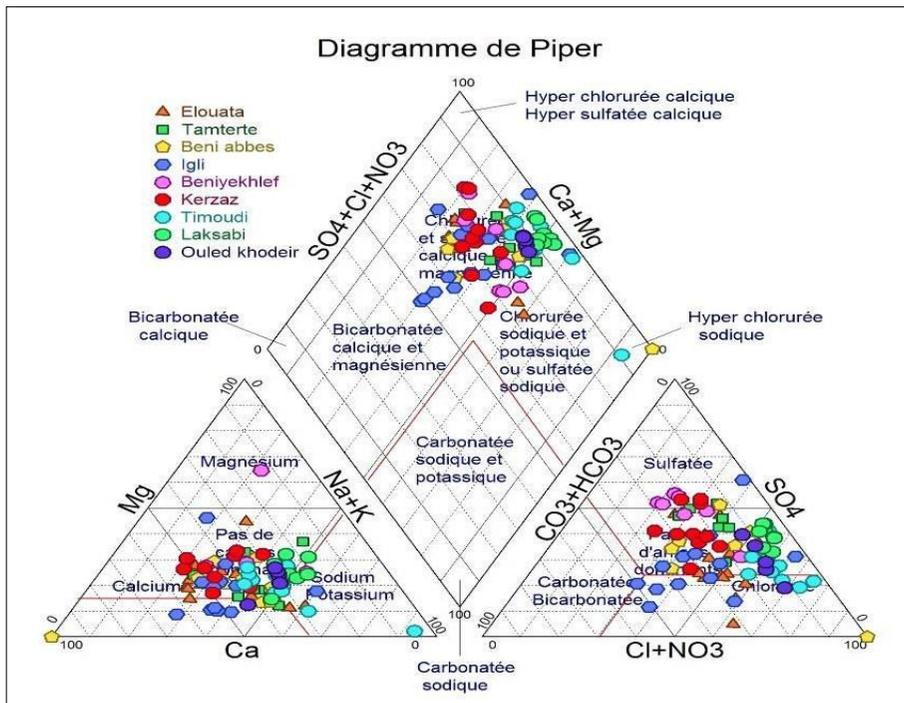


Figure 9. Diagramme triangulaire de Piper des eaux souterraines de la Saoura

### 3.3.5. Rapports caractéristiques

- $\text{Na}^+ / \text{Cl}$  est affecté sur une échelle arithmétique avec en abscisse la teneur en milliéquivalent du sodium et en ordonnée celle des chlorures. La relation entre ces deux éléments peut mettre en évidence le long d'une ligne droite de pente 1:1 qui représente la dissolution d'halite. La lithologie correspond des niveaux argileux évaporitiques (figure 10 A).
- Le rapport  $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$  montre que la majorité des points se trouvent en dessous de la droite de pente 1:1, suggérant qu'il ne s'agit pas uniquement de dissolution de calcaires (figure 10 B)
- Pour  $\text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ , le nuage de points se localisent proche à l'axe  $\text{HCO}_3^-$ , admettant la présence et de dissolution de dolomies (figure 10 C).
- Pour  $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ , les points se répartissent au-dessus et en dessous de la droite de la dissolution de gypse, traduisant la dissolution de gypse (figure 10 D).
- Le rapport  $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}$  suggère la dissolution des formations argilo-évaporitiques, et carbonatées (figure 10 E).
- $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$  : le rapport des alcalino-terreux atteste de la dissolution des calcaires dolomitiques (figure 10 F).

- Pour  $Ca^{2+}+Mg^{2+}/HCO_3^-$ , les points se concentrent du côté des bicarbonates ( $HCO_3^-$ ), suggérant une origine qui provient pas des calcaires dolomitiques (figure 10 G),
- Pour  $SO_4^{2-}/Mg^{2+}$ , la figure 10 H montre que les points sont repartis de par et d'autres de la ligne 1:1 traduisant la dissolution des évaporites magnésiennes
- Le rapport  $SO_4^{2-}/ Cl^-$  indique un excès de  $Cl^-$ , ce qui suggère vraisemblablement une dissolution des d'argiles évaporitiques (figure 10. I).

L'origines des éléments chimiques est due à la dissolution des sels, des argiles évaporitiques, des calcaires dolomitiques et des sulfates. La salinité de l'eau souterraine peut avoir soit une origine carbonatée soit évaporitique ou salifère.

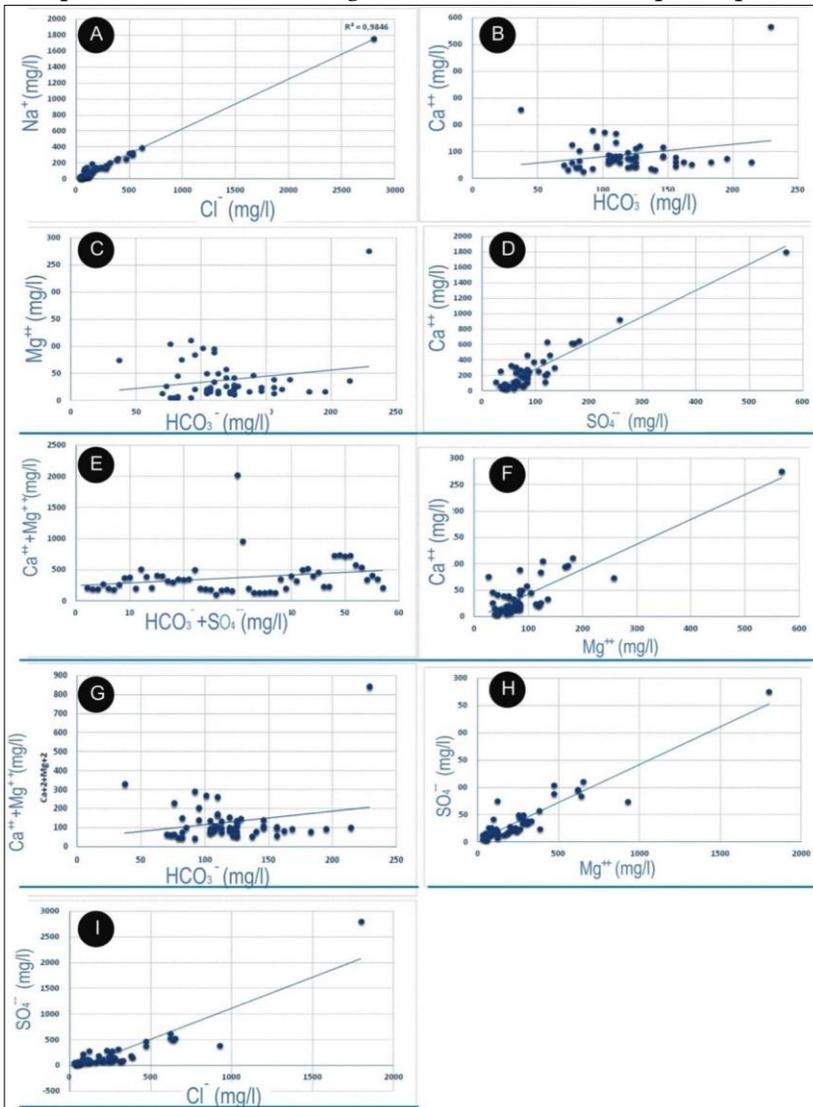


Figure 10. Rapports d'éléments chimiques des eaux de la Saoura

### 3.3.6. Évolution hydro-chimique du système de la Saoura

• **Évolution hydro chimique globale et facies**

Elle consiste en une comparaison des analyses d'eau selon des campagne enchainées ou séparées par des intervalles de temps, ou selon un transect passant de l'oued vers le grand erg occidental (de l'inféroflux de l'oued Saoura à la nappephréatique du grand erg occidental). La figure 11 représente l'évolution hydro chimique du système hydrologique de la Saoura permettant de constater ce qui suit :

- nappe du grand erg occidental et celle de Hamada de Guir, sont chimiquement dans un état stationnaire ;
- pour les autres nappes, leurs compositions chimiques varient dans le temps.

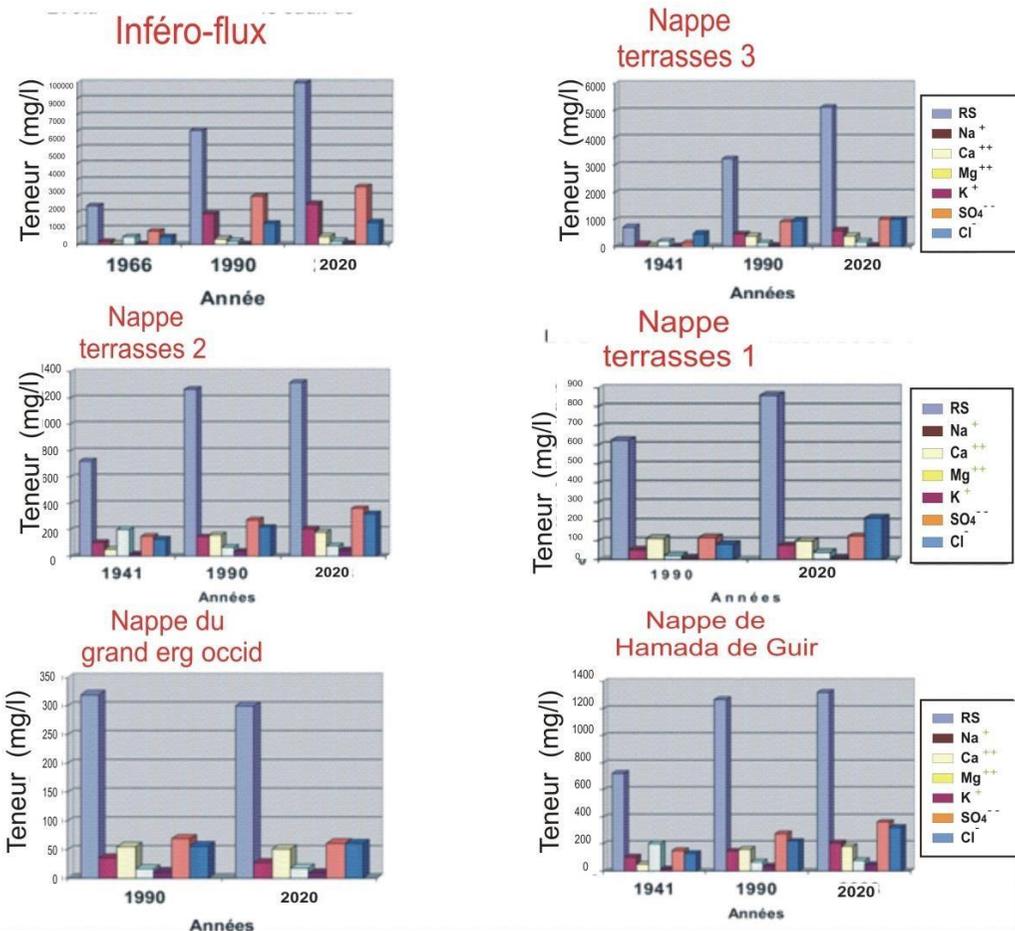


Figure 11. Evolution globale du système hydrogéologique de la Saoura

• **Evolution selon un transect NE-SW**

Le compartiment oriental actif connaît une remarquable évolution dans le RS (figure 12): le RS de l'inféro flux de la Saoura était de l'ordre de 5000mg/l en 1966 (Roche, 1973).

En revanche, la concentration du RS s'est multipliée par 5 pour atteindre 20000

mg/l, se transformant d'une eau salée en une eau hyper salée. Les eaux des terrasses de la Saoura indiquent une remarquable évolution entre 1966 et l'année 2020. Seule la nappe phréatique du grand erg occidental n'indique pas d'évolution entre 1963-1966 et 2020.

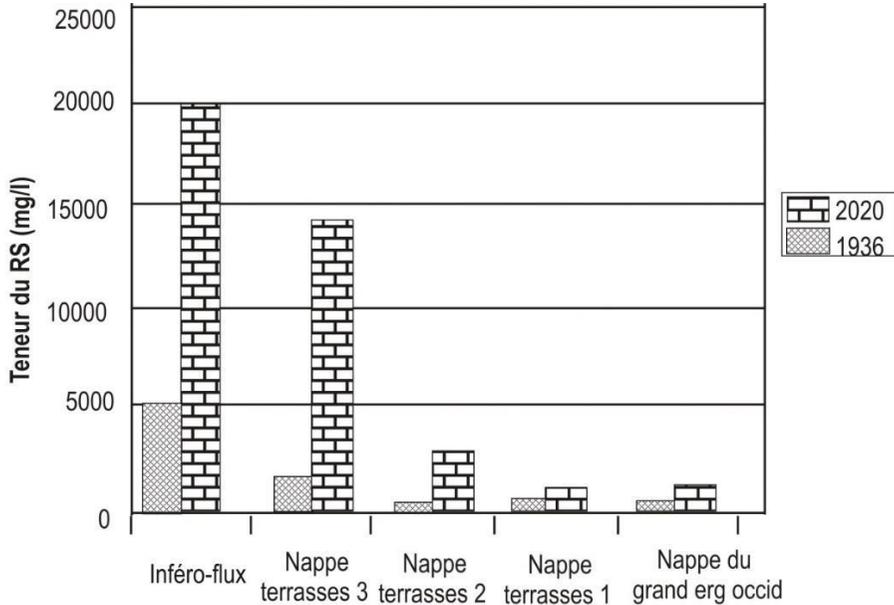


Figure 12. Evolution selon un transect SW-NE

Seule la nappe du grand erg occidental et celle de la hamada du Guir sont dans un état stationnaire, du point de vue chimique, les restes des nappes montrent bien des changements progressifs, et par conséquent se sont chargés en sels (tableau 5).

Tableau 5. Évolution des différents faciès chimiques

Nappe	Faciès chimiques		bservations
	1963/1966	2020	
nappe du grand erg occidental.	Sulfaté calcique		Augmentation des teneurs $Ca^{++}$ et $SO_4^{--}$
nappe des terrasses 1	Sulfaté calcique	Chloruré calcique	Augmentation des teneurs $Cl^-$
nappe des terrasses 2	Chloruré sulfaté sodique et calcique	Sulfaté sodique	Augmentation des ions $Na^+$
nappe des terrasses 3	Bicarbonaté sodique	Chloruré sodique	Augmentation considérable en ions $Na^+$ et $Cl^-$
Inféroflux	Bicarbonaté calcique	Chloruré sodique	Augmentation considérable en ions $Na^+$ et $Cl^-$

### 3.4. Vulnérabilité et indice de pollution

Les teneurs de  $\text{NO}_3 > 50\text{mg/l}$  sont considérées comme indice de pollution. En effet, Les points d'eau infectés de pollution représentent 22% de l'ensemble (figure 13).

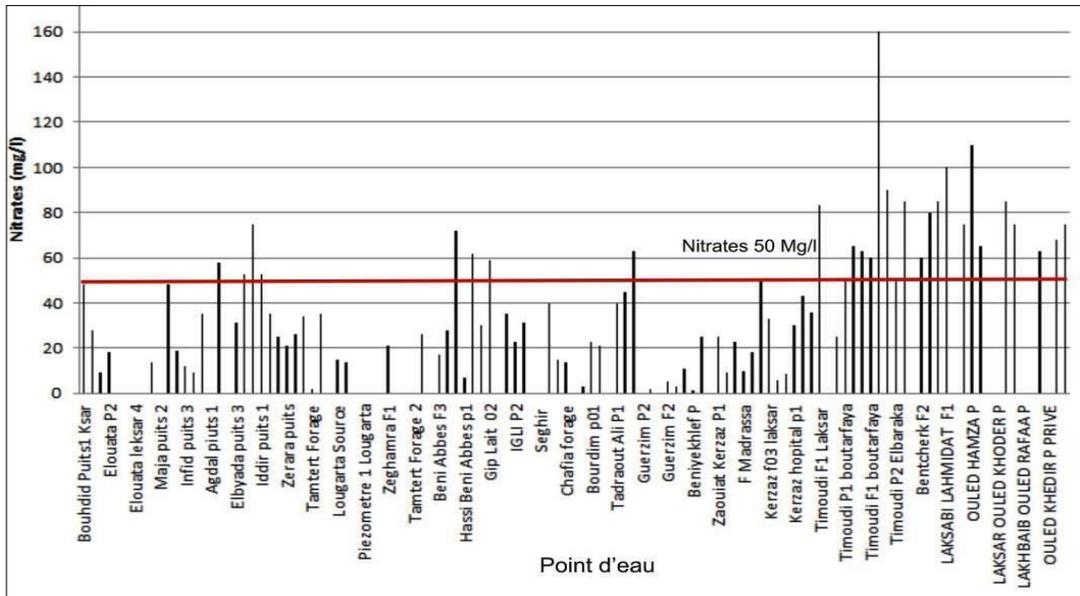


Figure 13. Nitrates dans les eaux souterraines de la Saoura

### 3.5. Facteurs responsables de la détérioration et discussions

Les eaux souterraines subissent les effets conjugués des contraintes naturelles et anthropiques, résumées principalement ci-dessous.

- Contraintes du climat

Cette contrée se caractérise en général par un apport pluviométrique modeste (20mm/an à 40mm/an), très inégalement réparti dans l'espace et très irrégulier dans le temps (Dubief, 1963). En plus les sécheresses météorologiques récurrentes.

- Vulnérabilité du système hydrogéologique

Le système hydrogéologique est prédisposé à la diffusion de la salinité par le phénomène d'osmose.

- Lessivages des terrains salifères et évaporitiques

L'interdépendance entre les eaux superficielles et souterraines peut affecter qualitativement les unes comme les autres. Les oueds coulent vers la Saoura et au cours de leur parcours, ils lessivent les formations évaporitiques et salifères, jurassiques, crétacées et quaternaires, pour les concentrer dans l'inféro-flux de la Saoura. Ce processus s'accélère sous le rayonnement intense du soleil.

- Démographie

Comme par ailleurs, la démographie induit une grande pression sur les ressources en eau, et ayant l'impact le plus important sur l'eau, notamment dans les

régions arides. La population des oasis a connu un développement galopant (DPAT, 2015).

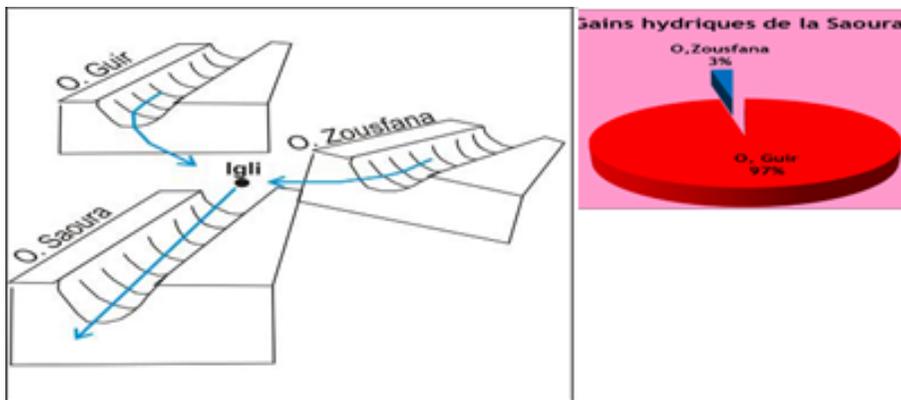
- Mutation du pays des foggaras et développement de nouveaux périmètres

Le monde de foggara (Saoura, Gourara, Touat et Tidikelt), mode ingénieux de captage et mobilisation d'eau, gouvernant au passé, est aujourd'hui à l'abandon, par le fait que cette technique ancestrale n'a plus sa place dans le monde actuel. La moitié des foggaras ne fonctionnent plus aujourd'hui.

Les foggaras dans la vallée de la Saoura sont aussi livrées à l'abandon. Les puits à balancier restent inanimés, témoignant d'un passé glorieux de l'effort physique.

- Aménagements hydrauliques et assèchement de la Saoura

Le verrouillage du cours de Guir a permis d'acquérir d'énormes avantages en amont, mais les régions aval, en occurrence la vallée de la Saoura se prive des apports du Guir (97%) et par la suite, elle ne bénéficie que des apports modestes de la Zousfana (3%) (figure 15), et c'est ainsi que la Saoura connaisse une véritable pénurie d'eau (Ameri et al, 2014). Au niveau d'Abadla, la construction du barrage de reprise donne un privilège au développement d'un périmètre agricole moderne dans la plaine d'Abadla, qui malheureusement ne jouissait pas de base paysanne et n'a donné que des résultats mitigés.



**Figure 15.** Gains hydriques de la Saoura (Ameri, 2018)

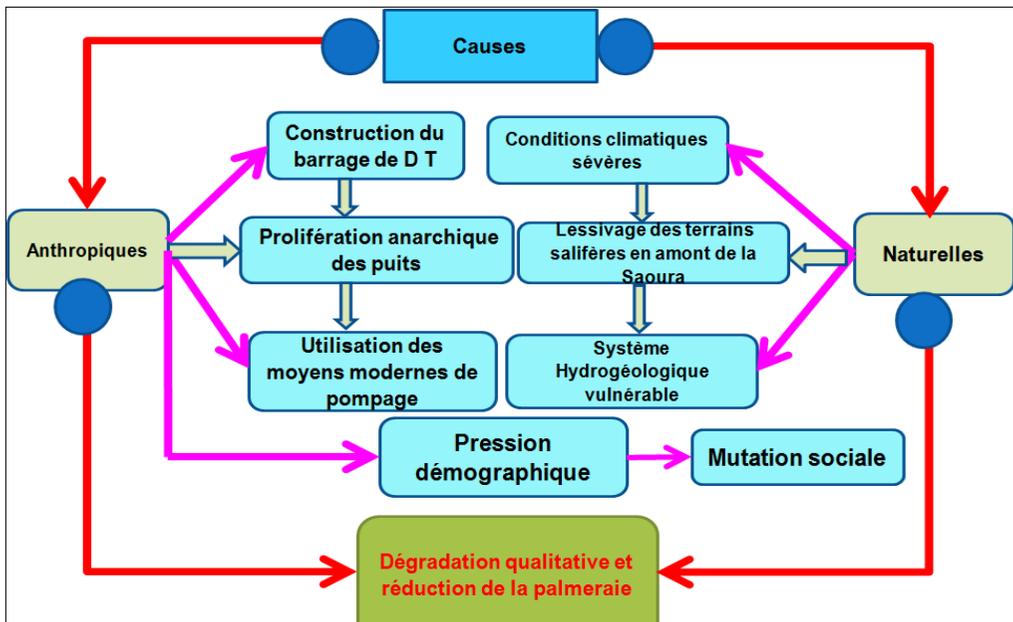
- Verrouillage de l'oued Guir par le Barrage de Djorf Torba, de 360 Millions m<sup>3</sup> de capacité, destiné à l'irrigation de la plaine d'Abadla (5400ha) a grandement influencée négativement l'hydrologie de la Saoura. Du point de vue étude quantitative ; au passé, la Saoura recevrait les apports du Guir (200 millions m<sup>3</sup>/an) et ceux de la Zousfana (6 millions m<sup>3</sup>/an). Aujourd'hui les apports sont réduits se limitant aux rares et faibles de la Zousfana.

- Les forçages incontrôlés des puits dans le compartiment oriental fertile de la vallée, les détériorations quantitative et qualitative des eaux enregistrées dans les palmeraies poussent les propriétaires à creuser des nouveaux puits d'une façon anarchique, dans l'espoir de pallier cette difficulté. Or, réellement, chaque nouveau

puits réalisé est en quelque sorte une interdiction à la circulation naturelle des eaux de la nappe du grand erg occidental vers l'inféro-flux et par conséquent, l'équilibre entre les deux eaux est complètement bouleversé, laissant place aux phénomènes à une diffusion des sels par différence de concentration.

- Pompage intense, en utilisant les moyens modernes provoque une baisse dans les niveaux statiques des nappes. A ce titre, les résurgences des eaux de la nappe phréatique du grand erg occidental sont tarées, du aux pompages intensifiés dans le Tidékelt et le Tadmaït.

La détérioration qualitative et quantitative de ces eaux remonte au déficit hydrique de la Saoura, aux longues périodes de sécheresse récurrentes et au verrouillage de Guir par le barrage de Djorf Torba. Les conditions géologiques imposent un système hydrogéologique vulnérable. La prolifération des captages, les pompages excessifs, les rejets liquides affectent négativement la qualité et la quantité de ces ressources. La figure ci-dessous (figure 16) synthétise les causes responsables.



**Figure 16.** Synthèse des facteurs naturels et actions anthropiques responsables de la détérioration des ressources en eau dans le bassin versant de la Saoura

## Conclusion

La vallée de la Saoura est un espace géographique allongé dans le sens d'écoulement de l'oued Saoura. Elle est ornée d'oasis, qui connaissent d'importants changements socioéconomiques et tendent à devenir des véritables villes sahariennes. Le sous-sol de cette contrée est bien pourvu d'eau souterraine, agencé en un système hydrogéologique vulnérable. Ce système compte deux compartiments : (1) oriental,

composé de la nappe phréatique du grand erg occidental, qui communique à l'inféoflux de la Saoura par l'intermédiaire des nappes des terrasses et (2) occidental se composant par deux nappes - nappe de la hamada de Guir et celle du Cambro-orodovicien.

Les eaux de ce système se caractérisent de pH peu variable (neutre à légèrement basique) 7,1 à 7,8. Les températures suggèrent des valeurs de 16,2°C à 31,4°C, la conductivité électrique varie de 446 microseims/cm à 10470 microseims/cm, dont la minéralisation occupe une large gamme de minéralisation faible à minéralisation très forte. Le résidu sec s'échelonne de 280 mg/l à 7000 mg/l. Ces eaux se classent en trois faciès "chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne", "chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique" et "hyper chlorurées sodiques". Ces eaux subissent la conjugaison des impacts anthropiques et naturels.

Aujourd'hui, on assiste à un zonning chimique : inféro-flux hyper-salé (RS>15000mg/l), terrasses salées (15000>RS>600mg/l) et un liseré d'eau douce (RS<600mg/l), qui ne cesse de se rétrécir, à raison de la diffusion des sels par osmose. Une telle situation donne à réfléchir sur le devenir des oasis de la Saoura.

## Déclaration de divulgation

Aucun conflit d'intérêts potentiel n'a été signalé par les auteurs.

## Références bibliographiques

- Ait Kaci, A. (1990). *Evolution lithostratigraphique et sédimentologique des monts d'Ougarta pendant le Cambrien (Sahara algérien nord-occidental)*. Thèse de doctorat, Université d'Alger, 193 p.
- Alimen, H., LeMaitre, D., Menchikoff N., Petter, G., & Poueyoto, A. (1952). Les chaînes d'Ougarta et la Saoura. XIX C. G.I., Alger, Monogr. Région., 1er Sér. Algérie, n°15.
- Ameri, S. (2018). *Hydrologie et Envasement des Barrages en zone aride : Cas du barrage de Djorf Torba*. Thèse de doctorat, Université de Béchar, 202 p.
- Ameri, S., Mekkaoui, A., & Merzougui, T. (2014). La Saoura, Espace hydraulique en crise : Impacts des facteurs naturels et actions anthropiques sur les ressources hydriques (Sud-Ouest, Algérie). *International Journal for Environment & Global Climate Change*, 2(3), 55-65.
- Bisson, J. & Jarir, M. (1968). Ksour du Gourara et du Tafilet : de l'ouverture de la société oasienne à la fermeture de la maison. *Annuaire de l'Afrique du Nord*, Aix-en Provence, XXV, pp. 229-345.
- Bouaziz, A., Hammani, A., & Kuper, M. (2017). Gestion intégrée et durable des territoires oasiens. *Actes du colloque international des Oasis, Zagora*, 13-15 avril 2016, ANDZOA, IAV Hassan II, INRA, Rabat.
- Chavaillon, J. (1964). Etude stratigraphique des formations quaternaires du Sahara nord-occidental (de Colomb-Bechar à Reggane). *Publication Centre de Recherches sur les Zones Arides, (série géologie) 5*, 393 p.
- Chavaillon, J. (1964). Les formations quaternaires du Sahara Nord Occidental. Publication du C.R.Z.A., série géol. n°5, C.N.R.S., 393 p.

- Combes, M. (1966). Etude hydrogéologique de la hamada du Guir. Commune de Béchar Département de la Saoura. *Etude S.E.S. :68/DH.1M.1'1/C.de la circons.des T.P.H. des Oasis et de la Saoura*, 14 p.
- Conrad, G. & Roche, M.A. (1965). Étude stratigraphique et hydrogéologique de l'extrémité méridionale de la Hamada du Guir. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7, 695–712.
- Cornet, A. (1952). Essai sui: l'hydrogéologie du Grand Erg Occidental et des régions limitrophes. Travaux de l'Institut de Recherche du Sahara, VIII, pp. 71-122.
- Cote, M. (2002). Des oasis aux zones de mise en valeur –l'étonnant renouveau de l'agriculture saharienne. *Méditerranée*, 99 (34), 5–14.
- Donzeau, M. (1971). *Etude structurale dans le Paléozoïque des Monts d'Ougarta*. Thèse doctorat Faculté des Sciences, Oray, France.
- DPAT. (2015). *Bulletin de la direction de planification et aménagement de territoire, wilaya de Béchar*. Dubief, J. (1963). *Le climat du Sahara*. CNRS : Paris, 275 p.
- Dubost, D. (2002). *Écologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes*, Biskra : CRSTRA, 423p.
- Jouve, Ph. (2012). Les oasis du Maghreb, des agro-écosystèmes de plus en plus menacés. Comment renforcer leur durabilité ? *Courrier de l'environnement de l'INRA* 62, pp. 113-122
- Kouzmine, Y. (2004). *Mutations des espaces sahariens du Sud-ouest algérien. Fragilisation d'un équilibre oasien ancestral*. Thèse doctorat, Université Paris, France.
- Kouzmine, Y. (2012). *Le Sahara algérien. Intégration nationale et développement régional*, Paris:L'Harmattan.
- Kouzmine, Y., Fontaine J., Otmane T., & Yousfi B. (2009). Étapes de la construction d'un désert : l'espace saharien algérien entre convoitises économiques, projets politiques et aménagement du territoire. *Annales de géographie*, 670, pp. 659-685.
- Lacoste, Y. (1992). Oasis. *Encyclopædia Universalis*. XVI, pp. 113-120.
- Margat & Lemarchand. L. (2008). Les nappes fossiles du Sahara », in *La Recherche*, 421 : 60-64.
- Mebrouk, L. (2007). *Etude hydrochimique et isotopique des eaux de la vallée de la Saoura (Sahara Nord Occidental)*. Thèse doctorat, Université d'Oran 2, 243 p.
- Mekkaoui, A. (2015). *Le magmatisme basique de l'axe Damrane-Kahal Tabelbala (Daoura, Monts de l'Ougarta, Sud-Ouest Algérie) : géologie, pétrologie, géochimie et contexte géodynamique*, Université d'Oran 2, 257 p.
- Mekkaoui, A., Merzougui, T., & Graine Kh. (2005). *Hydrogéologie de Béni Abbès : potentialités, hydrodynamique et conséquences sur la palmeraie*, 2ème Séminaire sur l'eau, mars 2005, Centre universitaire de Béchar.
- Merzougui, T. (2011). *Caractérisation hydrogéologique et modélisation d'un aquifère alluvial en zone hyper aride: cas de la nappe de la palmeraie de Beni Abbes (vallée de la Saoura, sud-ouest Algérien)*. Mémoire de magister, Université Tlemcen Abou Bekr Belkaid, 193 p.
- Merzougui, T., Kabour, A., & Bouanani, A. (2008). *Un modèle de gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyperaride : Cas de l'oasis de Béni Abbès (Vallée de la Saoura, Sud-Ouest algérien)*, 13e Congrès Mondial de l'Eau, 1-4 septembre, Montpellier, France.
- Michard, A. (1976). *Eléments de Géologie Marocaine*. Notes et mémoires du service géologique du Maroc, Rabat, 252 p.
- OMS (2003). *Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality*. Geneva.
- Remini, B. (2006). *La foggara : dégradation d'un système de captage et d'irrigation*. 14th International Soil Conservation Organization Conference - Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments, 14-19 mai, Marrakech, Morocco.

- Remini, B. (2010). La problématique de l'eau en Algérie du Nord. *LARHYSS Journal* 08, pp. 27-46.
- Remini, B., & Achour B. (2008). Vers la disparition de la plus grande foggara d'Algérie : la foggara d'El Meghier. *Sécheresse*, 19, pp. 217-221.
- Remini, B., Achour B., & Kechad, R. (2014). The sharing of water in the oases of Timimoun heritage cultural declining. *LARHYSS Journal*, 18, 7-17.
- Roche, M.A. (1973). Hydrogéologie de la haute Saoura (Sahara nord occidental). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie* 43, pp. 10-71.
- Rodier, J. (1984). *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*, 7ème édition. Paris : Dunod.
- Schoeller, H. (1955). Géochimie des eaux souterraines, application aux eaux des gisements de pétrol. *Fev. Inst. Franc. Pétr. et ann. combust. liqu.*, 213 p.
- Scholler, H. (1945). L'hydrogéologie d'une partie de la vallée de Saoura et du grand d'erg occidental. *bull, soc, géol.fr.* 5, XV, pp. 563-585.
- Sghaier, M. (1994). Les agro-systèmes de production en Tunisie : Fonctionnement, rôle et adaptation aux changements écologiques et socio-économiques. *Actes du séminaires "agriculture oasiennes"*, Avril, 1994, Degache (Tunisie) GRIDAO, INRA de Tunisie, 14 p.
- Vidal-Lablache, P. (1994). La France de l'est (Lorraine-Alsace). Paris : La Découverte, 285 p.
- Wang, Y. & Zhao, T. (2018). Impacts of urbanization-related factors on CO2 emissions: Evidence from China's three regions with varied urbanization levels. *Atmospheric Pollution Research* 9, pp. 15-26.
- Yousfi, N. & Ait-Ahmed, C. (1992). *Contribution à l'étude hydro-géologique de la Grande Source et de la palmeraie de Béni- Abbès (Sahara occidental)*. Mémoire Ingénieur d'Etat, Université d'Oran-Algérie, 440 p.