

Cit this: *JOWSET*, 2019 (04), N°01, 411-427

Hydrogeological and hydrochemical study of Mellaha village, Oued Guir, Er-Rachidia, Morcco

Wafik Amina*¹, Ec-Chouafi Ensaf¹, Didi Salhddine², Ouzerbane Zakaria²

^[1] Faculté des Sciences Semlalia/ Université Cadi Ayyad, Département de Géologie, DLGR, URAC 43, Marrakech, Morocco.

^[2] Equipe Science de l'eau et ingénierie de l'environnement, Département de Géologie, Faculté des Science, Université Moulay Ismail, BP 11201, Zitoune, Meknes, Maroc

*Corresponding author, E-mail address: wafik@uca.ac.ma, ouzerbanegeophy@gmail.com

As part of the development of groundwater Mellaha village near of the province of Er-Rachidia and for severe climatic conditions and the risk of water shortage, a study proposed in collaboration with local associations, with the objective: to map the quantity of the Mellaha groundwater to assess the hygienic quality of well water used for water supply and agricultural practices. Data processing allowed the identification of column correlation showing limestone-marl alternations. This column correlation shows a continuous aquifer depth variation between 1.54m and 79.8m contained in the limestone formations of Bajocian. The sanitary analysis of water well reveals a moderate to very bad quality due to the concentration of chlorides and mineralization. To avoid potential health risks, the adoption of hygienic measures for wastewater, including water treatment of the affected wells, are recommended for the inhabitants of the village.

Received: 03 Augusto 2017

Accepted: 08 August 2018

Available online: 12 December 2018

Keywords:

Mellaha
Geology
Groundwater
Aquifer
quality

1. Introduction

Les eaux superficielles et souterraines constituent un volet primordial du patrimoine hydraulique national. Ces eaux mobilisables inégalement réparties au niveau des quatre coins du Maroc, représentent environ 21 Milliards de m³ se manifestant par 46 nappes superficielles et 32 nappes profondes bien identifiées et répertoriées (LAQUINA, 2006). Ce potentiel subit une détérioration et un stress hydrique qui s'aggrave de plus en plus, liés au réchauffement climatique et à l'utilisation irrationnelle.

Le site de Mellaha localisé à proximité de la province d'Er-Rachidia, (Carte de Rich-Boudnib 1/200 000), dispose d'un potentiel hydraulique, satisfait, par le biais des puits traditionnels et modernes, utilisé en majeure partie pour l'alimentation en eau potable et de façon plus modeste pour l'irrigation. Avec la sévérité des conditions climatiques de la zone et la croissance démographique se pose le problème de pénurie des ces eaux en vue de l'exploitation pratiquée. Par

ailleurs, le problème de la qualité de ces eaux est envisagé en raison de l'absence de réseaux d'assainissement conforme aux normes en vigueur; seules les fosses septiques sont utilisées.

2. Matériel et méthodes

Cette étude à pour ambition de contribuer à une meilleure connaissance hydrogéologique et hydrochimique du site. Nous proposons, dans un premier temps, de présenter le site d'étude en envisageant les différents contextes (géologie, topographie, climat, hydrologie, hydrogéologie). La qualité de l'eau des puits sera approchée, en rapport avec les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques réalisées sur les échantillons représentatifs du site.

(Fig.1).

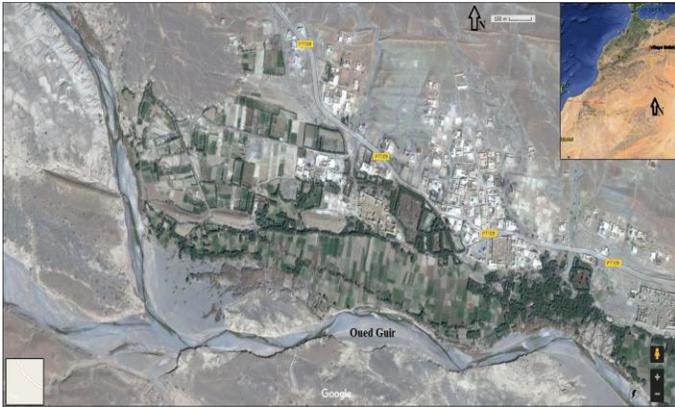


Fig.1 : Vue aérienne agrandie sur le village Mellaha (Google Earth).

3. Cadre géologique

Mellaha est un village marocain appartenant à la région de Drâa-Tafilalet et plus précisément à l'unité Guir-Bouanane. Il se situe à une distance de 17.2 Km de la ville de Gourrama, au point d'intersection du méridien $3^{\circ}57'55.5''$ Ouest et du parallèle $32^{\circ}14'48.7''$ Nord (Figure 1). Géologiquement, l'unité de Guir-Bouanane appartient au domaine du Haut-Atlas calcaire formant une gouttière synclinale sous forme dissymétrique (ABH Guir-Bouanane, 2009). Ce bassin se caractérise par sa diversité géologique montrant des formations (Figure 2) allant du Paléozoïque au Quaternaire (COMBE, 1977).

3.1. Paléozoïque : Représenté par des schistes apparaissant localement en zones réduites à la faveur d'anticlinaux faillés, ou en quelques boutonnières (Haut Guir). Il affleure aussi plus au sud à Erfoud, dans le bassin du Tafilalet et dans la région de Zagora.

3.2. Mésozoïque :

Le Trias comprenant des basaltes doléritiques, des marnes et argiles à niveaux salifères, joue un rôle important comme substratum imperméable de la série jurassique (COMBE, 1977).

Le Jurassique constitue la quasi-totalité de la chaîne, où le Lias inférieur calcaire-dolomitique est perméable et constitue le niveau présentant la plus grande continuité. Il donne à la chaîne l'originalité de ses formes structurales en arêtes redressées de calcaires dolomitiques massifs. Vient ensuite la série marneuse imperméable du Toarcien-Aalénien sur laquelle s'établissent les vallées, puis une nouvelle série de calcaires, calcaires marneux et marnes comportant généralement deux niveaux calcaires principaux (Aalénien supérieur et Dogger) (COMBE, 1977). Le Jurassique se termine par une série surtout gréseuse, continentale, de faciès rouge (Jurassique supérieur). (COMBE, 1977).

Le Crétacé, d'extension réduite, offre une série classique à trois termes :

- Crétacé inférieur grès et marnes rouges ;

- Cénomaniens marnes bariolées ;
- Turonien calcaires s'achève par des formations continentales rouges du Crétacé supérieur (COMBE, 1977)

3.3 Cénozoïque

Il est représenté par des formations continentales de remblayage (RIAD, 2003)

Le Tertiaire: Les seuls affleurements tertiaires bordent l'oued Todrha au Nord de Tinghir. Ils sont formés essentiellement de calcaires, de grès-calcaires plus au moins consolidés et de grès blancs violacés tendres et mal consolidés (RIAD, 2003)

Le Quaternaire est représenté par :

- Une série ancienne marquée par des dépôts sous forme d'encroûtements conglomératiques à éléments anguleux (RIAD, 2003).
- Une série moyenne constituant la majorité des encroûtements superficiels (RIAD, 2003).
- Le quaternaire récent est formé d'éboulis de pentes et d'alluvions bordant le parcours des oueds Ziz, Ghéris, Guir et Todrha (RIAD, 2003).

Le bassin de l'oued Guir au sein duquel la zone d'étude se positionne, jouit d'un climat sec marqué par des influences sahariennes en raison de sa localisation sur la retombée sud-est du Haut-Atlas oriental (Aït Hssaine, 2014). Il est caractérisé par un hiver froid et un été chaud, avec de faibles précipitations généralement mal réparties dans le temps et l'espace.

4. Aperçu sur la géologie de la zone d'étude

4.1. Géologie du site

Géologiquement, la zone d'étude Mellaha est marquée par la présence des corniches de calcaires du Bathonien bordant la cuvette de Baknou (Fig. 2, 3 et 4). En descendant vers l'Oued Guir, le Bajocien illustre l'alternance des couches calcaires subhorizontales litées avec un pendage de 20° et des séries marneuses qui procurent au terrain un caractère rigoureux (Figure 3). Le village de Mellaha est construit grossièrement suivant la direction Nord-Sud de la cuvette de Baknou, longeant la vallée quaternaire du Guir (Fig. 3). Les altitudes croissent du nord (1163 m) vers le sud (1591 m) ce qui explique le caractère rigoureux procuré à cette zone.

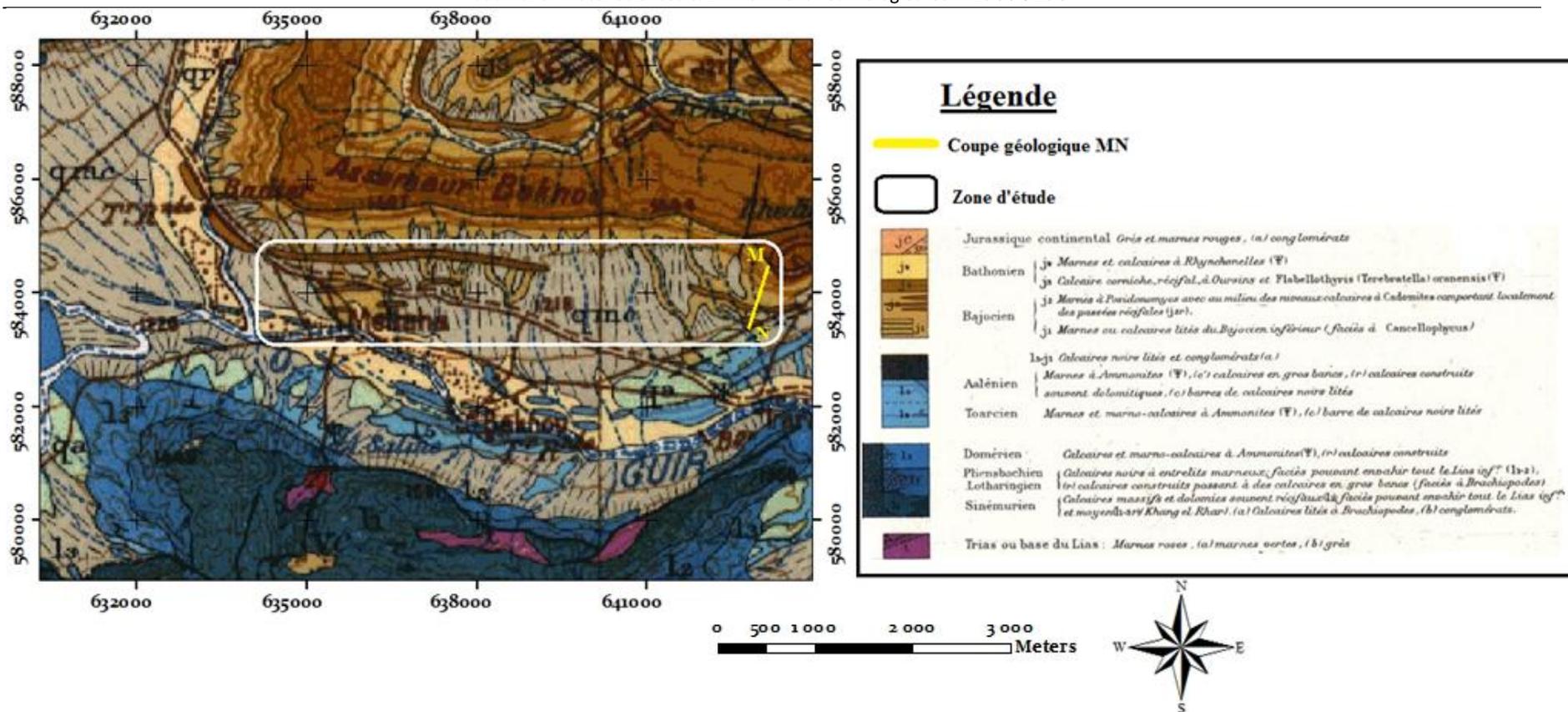


Fig. 2 : Carte géologique de Rich-Boudnib 1/200 000 montrant le site d'étude et la coupe MN.

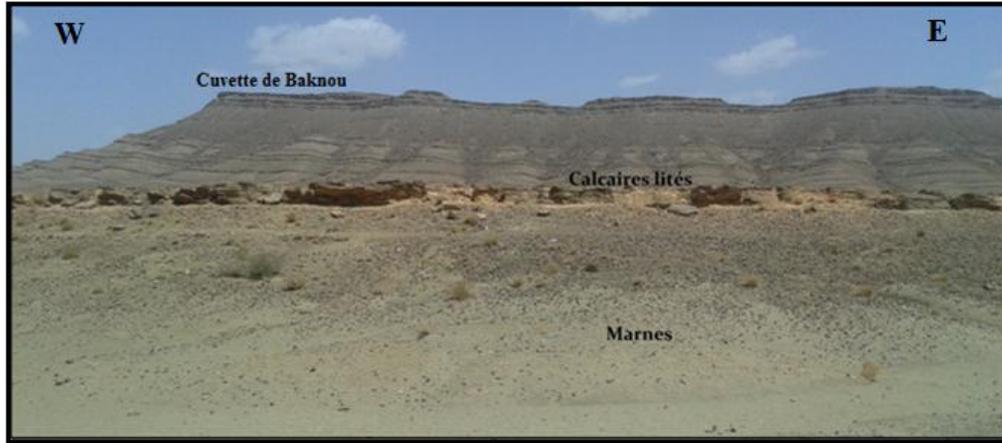


Fig. 3 a : Formations géologiques du Bajocien du site d'étude.



Fig.3b : Formations géologiques du Bathonien-Bajocien su site d'étude suivant la direction W-E

Age	Lithologie	Formations
Bathonien	[Symbol: thin horizontal lines]	Calcaire corniche
	[Symbol: dotted pattern]	Marnes et calcaires
Bajocien	[Symbol: thin horizontal lines]	Marnes avec au milieu des niveaux calcaires
	[Symbol: dotted pattern]	Calcaires lités (Pendage de 20°) et Marnes
	[Symbol: thin horizontal lines]	
	[Symbol: thin horizontal lines]	
Aalénien	[Symbol: thin horizontal lines]	Marnes, calcaires en gros bancs, calcaires dolomitiques, barres de calcaires noirs lités
	[Symbol: thin horizontal lines]	
Toarcien	[Symbol: thin horizontal lines]	Marnes et marno-calcaires, barres de calcaires noirs lités
	[Symbol: thin horizontal lines]	
Domérien	[Symbol: thin horizontal lines]	Calcaires et marno-calcaires,
	[Symbol: thin horizontal lines]	
Sinémurien	[Symbol: thin horizontal lines]	
	[Symbol: thin horizontal lines]	
	[Symbol: thin horizontal lines]	Calcaires massifs et dolomies
	[Symbol: thin horizontal lines]	
Trias ou base du Lias	[Symbol: dotted pattern]	Marnes roses

Fig. 3c : Log stratigraphique du village Mellaha.

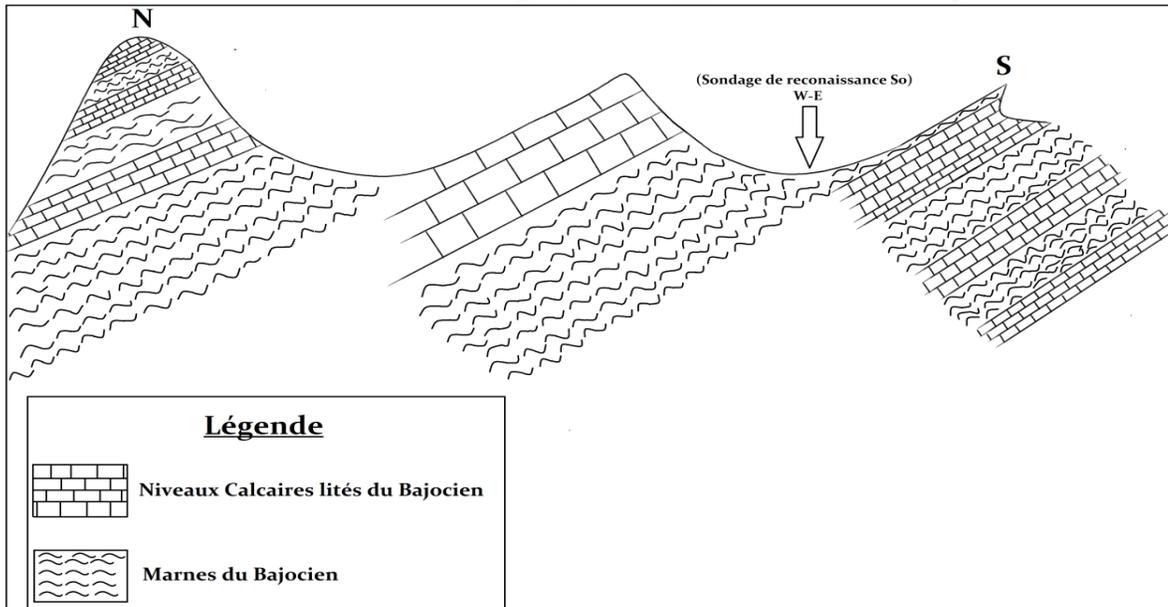
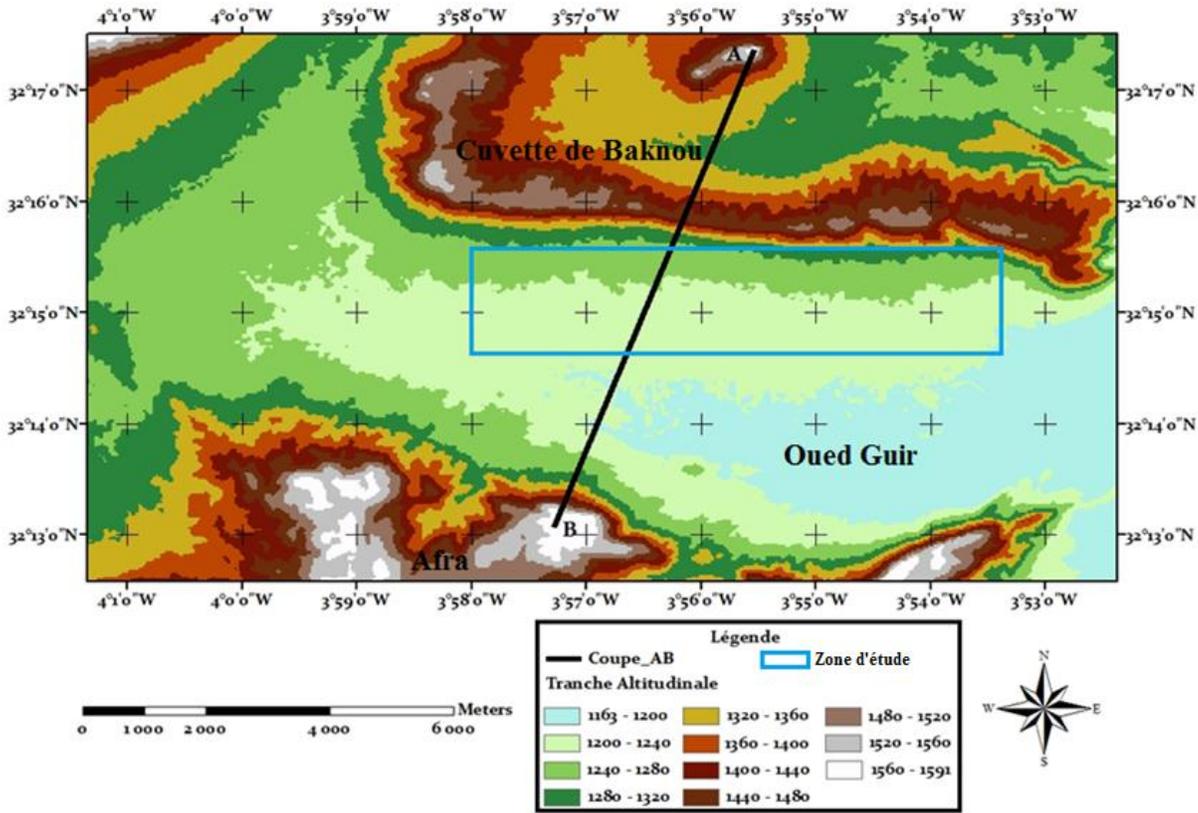


Fig. 4 : (a) Tranches altitudinales au niveau de la zone d'étude Mellaha. (b) Coupe géologique NS dans le secteur de Mellaha

4.2. Aperçu climatique de la zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Guir intègre plusieurs stations pluviométriques (Gourrama, Kaddoussa, Tazouguert, Boudnib, Bouanane,...) (Fig. 5). Les précipitations annuelles maximales enregistrées au niveau de la station pluviométrique Kaddoussa sur la

période 1982-83/2008-09 arrivent jusqu'à 165,2 mm, alors que l'année la plus humide affichée au niveau de la station pluviométrique Tazouguert révèle une quantité de 147,9 mm. Les courbes montrent des évolutions apparemment semblables pour ces deux stations.

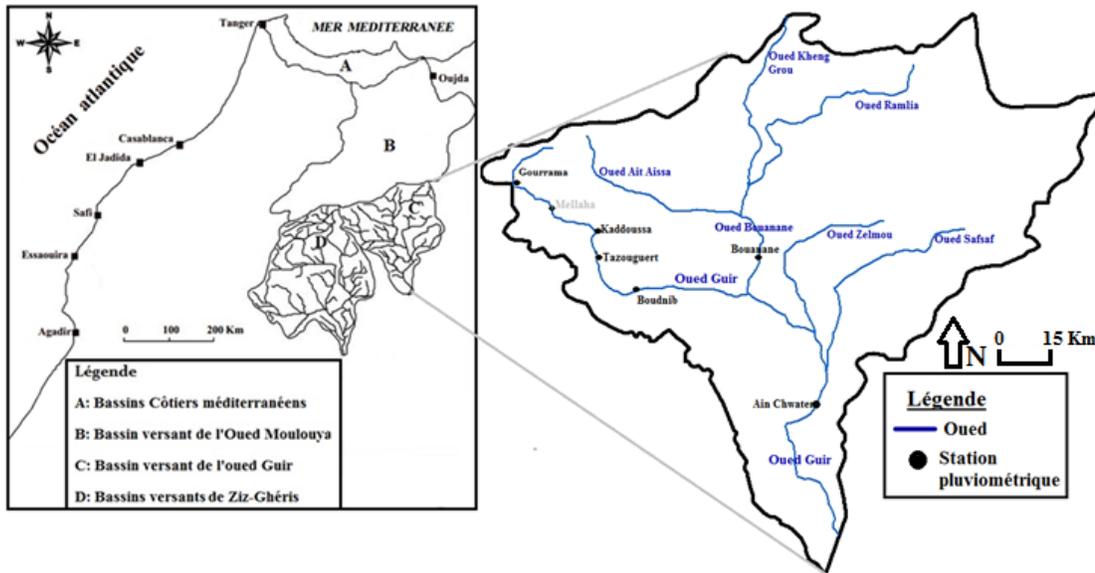


Fig. 5 a : Localisation des stations pluviométriques du bassin versant de Guir-Ziz-Rheris dans la partie nord de la carte du Maroc.

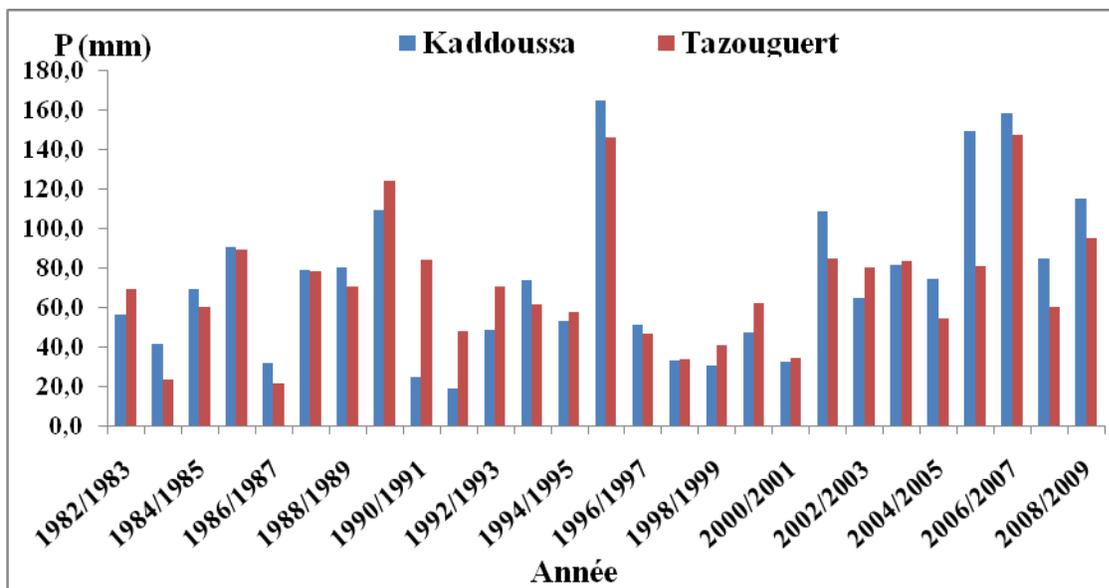


Fig. 5b: Représentation des données pluviométriques des stations de Kaddoussa, Tazouguert (ABH Er-Rachidia, 2010). Le paramètre température est mesuré uniquement au niveau de la station Kaddoussa sur une période de 27 ans

Selon le graphique ci-dessous La température annuelle mesurée au niveau de la station Kaddoussa révèle une

valeur maximale fluctuante entre 28°C en 2008-2009 et 34°C en 2004-2005, aussi une valeur minimale

atteignant 1,90 °C enregistrée en 2008-2009 et une valeur moyenne de 20°C.

La température mensuelle représente une variation saisonnière marquante avec un hiver extrêmement froid (Fig. 6 et 7). Où le mois Janvier montre une température minimale atteignant -2,70°C et un été très chaud, où les mois Juillet et Août sont les plus chauds avec des températures allant jusqu'à 41 °C. La température augmente avec la diminution de l'altitude et l'ouverture aux influences sahariennes (AÏT HSSAINE, 2014).

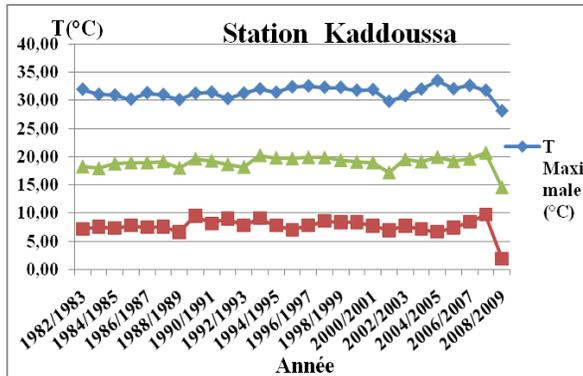


Fig. 6: Représentation de la température annuelle au niveau de la station Kaddoussa pour la période 1982-83/2008-09 (ABH Er-Rachidia, 2010).

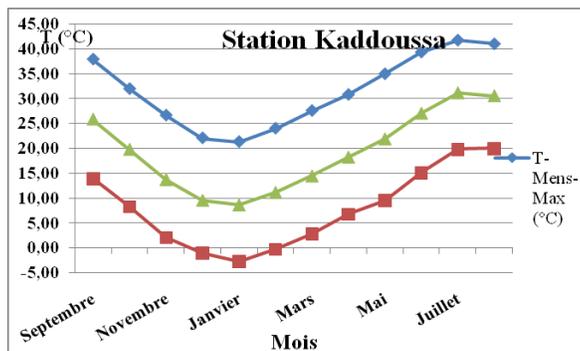


Fig. 7: Représentation de la température mensuelle au niveau de la station Kaddoussa pour la période 1982-83/2008-09 (ABH Er-Rachidia, 2010).

Concernant le régime de l'évaporation, il est analogue à celui observé sur la retenue du barrage Hassan Eddakhil sur l'oued Ziz dont la moyenne observée est de l'ordre de 2.400 mm/an (ABH Guir-Bouanane, 2009). Le bassin de l'oued Guir signale la dominance des vents de direction Nord-Est, le chergui à composition chaude et sèche en provenance du Sud-Est souffle essentiellement au printemps et en automne (ABH Guir-Bouanane, 2009).

4.3. Cadre hydrologique et hydrogéologique

Hydrologiquement, Le bassin versant de l'oued Guir occupe une superficie de 2392 Km² (AÏT HSSAINE, 2014) avec un indice de compacité de Gravelius K_G de 1,93 lui procurant une forme allongée et une densité de drainage de 0,37 (RIAD, 2003). La pente moyenne présente une valeur de 1,49% indiquant une topographie plus ou moins rigoureuse à fond plat déterminant la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire Ain Chwater (RIAD, 2003).

Le bassin versant de l'oued Guir se caractérise par la présence de trois affluents (Oued Guir, Oued Ait Aïssa, Oued Zelmou) (Fig. 8). L'oued Guir est considéré comme l'un des plus longs et des plus puissants oueds d'Afrique du Nord avec une longueur de drain principal de 91.45 Km (Aït Hssaine, 2014). Ce dernier prend sa source dans le Haut Atlas de Gourrama (Jebel Mesrouh 2736 m) et fait suite vers l'Est à la crête du Jebel Ayachi (3721 m) (Aït Hssaine, 2014), plus en allant vers le territoire algérien forme avec l'Oued Zousfana la Saoura qui se perd dans le désert (Aït Hssaine, 2014).

Le tableau ci-dessous montre l'apport total du bassin qui est évalué à 211 Mm³/an. Ces eaux sont apportées surtout par l'oued Guir, le sous bassin Ait Aïssa-Bouanane et le sous bassin aval oued Zelmou.

Tab. 1 : Distribution des volumes d'apport au niveau du bassin versant de l'oued Guir en Mm³ (ABH Guir-Bouanane, 2004).

Unité	Oued Guir	Sous -bassin Ait Aïssa-Bouanane	Sous bassin aval Oued Zelmou
Apport (mm ³)	58.3	130.3	22.4

À travers les études hydrogéologiques effectuées par ABH de Guir-Bouanane, l'unité de Guir-Bouanane consigne l'existence d'un potentiel hydraulique important se traduisant par deux grands domaines (Figure 9) :

- Les hauts bassins des oueds Guir et Bouanane ;
 - Le bassin crétacé d'Er-Rachidia-Boudnib.
- Les hauts bassins des oueds Guir et Bouanane renferment deux grands aquifères séparés par le niveau imperméable du Toarcien-Aalénien et un système de nappes phréatiques du Quaternaire :
- Les réseaux fissurés du Lias inférieur formant un système relativement continu et hautement productif. (ABH Guir-Bouanane, 2009)
 - Les réseaux en nappes de la série Aalénienne (Dogger), fragmentés en bassins séparés dans chaque cuvette synclinale. (ABH Guir-Bouanane, 2009)

Les ressources en eau au niveau de bassin versant de l'oued Guir sont employées dans :

- Le secteur agricole et les cultures irriguées ;
- L'alimentation en eau potable ;

Le tableau ci-dessous rapporte la croissance du taux de la demande en eau potable et en eau d'irrigation au niveau du bassin Guir-Ziz-Ghêris-Drâa, qui est le cas du bassin de l'oued Guir. Le bilan hydrique négatif estimé renseigne sur le devenir catastrophique des ces ressources en vertu des surexploitations exercées.

Au niveau de l'unité Guir-Bouanane, les ressources en eau mobilisées sont estimées à 30 Mm³ dont 12 Mm³/an sont exploitées par l'intermédiaire des khetaras, puits et drains et 22 Mm³ par forages (ABH Guir-Bouanane, 2009). Ces dernières sont utilisées dans les périmètres irrigués avec un volume annuel de l'ordre 85 Mm³ dont 59 Mm³ provenant des eaux de surface et 26 Mm³ sous forme de prélèvements souterrains (forages, puits, khetaras, drains) et aussi pour l'alimentation en eau

potable avec un volume atteignant 6.71 Mm³ distribué entre les centres urbains et le monde rural. (ABH Guir-Bouanane, 2009).

5. Résultats et discussions

5.1. Chimie des eaux souterraines

Les échantillons d'eau récoltés au niveau du village Mellaha sont formés des eaux de puits de la région. Ces échantillons ont été prélevés dans des flacons préalablement nettoyés et rincés ensuite au niveau de chaque site par l'eau de l'échantillon, remplis et bien fermé. Ces derniers sont destinés aux analyses physico-chimiques afin de constituer une idée sur la qualité de l'eau de la zone surtout qu'elle est à usage domestique (Alimentation en eau potable) et de façon plus modeste à usage agricole (terres agricoles irriguées). (Fig. 10, tab. 2)

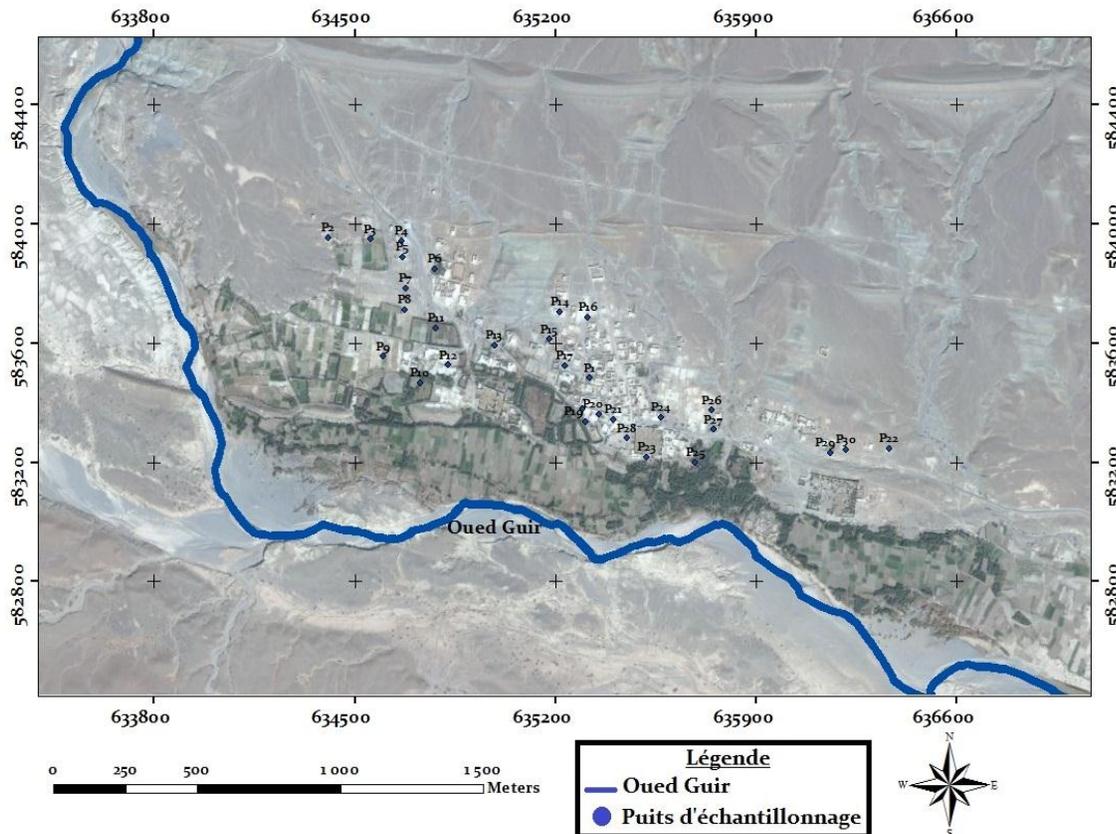


Fig. 10: Distribution des puits d'échantillonnage au niveau du village Mellaha.



A

Fig. 11 : A- Mesures prises sur terrain. B- Mode opératoire au laboratoire pour doser les éléments et oxydes et lecture de l'absorbance sur le spectromètre.

Techniques et méthodes d'analyses :

Les eaux prélevées au niveau du village Mellaha ont fait l'objet premièrement de mesures in-situ et deuxièmement d'analyses au laboratoire (Fig. 11).

Sur le terrain : La mesure des paramètres physico-chimiques non conservatifs des eaux des puits du village Mellaha a été exécutée in situ pour : la conductivité électrique (C), le potentiel hydrogène (pH), la température de l'eau (Tea).

Piézométrie : Niveau de l'eau : La mesure du niveau statique de la nappe permet de constituer une idée sur son état hydrologique lors de l'échantillonnage. Ce paramètre a été relevé sur le site à l'aide d'une sonde électrique à niveau piézométrique sur ruban métrique permettant, au contact de l'eau du puits, de donner un signal sonore. Une carte piézométrique a été réalisée à partir des mesures du niveau piézométrique (NP) dans 30 puits visités dans le village de Mellaha (Tab. 2, Fig. 12).

Température de l'eau

La température de l'eau renseigne sur la profondeur de l'écoulement souterrain, son origine. Ce paramètre a été mesuré in situ à l'aide d'un pH-mètre de type CyberScan PH 11 EUTECH possédant un thermomètre intégré (Tabl. 2, Fig. 13).

PH : Le potentiel hydrogène permet de mesurer la concentration en ions H^+ afin de caractériser l'acidité ou la basicité de l'eau échantillonnée suivant la relation ($PH = -\text{Log}[H_3O^+]$). Ce paramètre a été mesuré sur le site à l'aide d'un PH-mètre de type CyberScan PH 11 EUTECH (Tab. 2, Fig. 14).

Conductivité électrique : La conductivité électrique permet de donner un aperçu global sur la minéralisation en solution dans l'eau qui participe à la rendre électriquement conductrice. Ce paramètre a été mesuré sur terrain à l'aide d'un conductimètre de type HANNA HI 99300 à une température de 20°C (Tab. 2, Fig. 15).

Les erreurs enregistrées sont dues en partie à l'appareillage utilisé selon sa résolution et en autre partie aux analyses exécutées au laboratoire (dilutions, ...). D'où lors de l'exécution de ces opérations, il faut être rigoureux dans la manipulation des instruments de mesures et des analyses pour obtenir des résultats fiables.

Tab.2 : Données collectées concernant les puits du village Mellaha

Puit	X m	Y m	Z m	H m	N-P m	C µS/cm	Minéralisation mg/l	pH	Tea °C	Année du creusement	Profondeur initiale m
P ₁	635319,78	583482,13	1230	7	1223	1234	936,04	7,18	21,7	-	-
P ₂	634406,38	583952,949	1249	9	1240	626	448,17	8,67	20,5	1996	12
P ₃	634554,91	583947,96	1248	12	1236	770	551,26	8,45	24,5	-	-
P ₄	634664,49	583942,388	1246	11	1235	806	577,03	8,61	21,5	2000	12
P ₅	634667,47	583888,304	1252	12,8	1239,2	862	653,86	8,5	21,9	2010	12
P ₆	634779,3	583849,01	1250	15	1235	881	668,28	9,01	24,9	1995	-
P ₇	634677,96	583783,03	1243	10,8	1232,2	980	743,37	8,38	21,1	1995	-
P ₈	634675,71	583710,88	1240	9	1231	1028	779,78	8,38	22,9	-	-
P ₉	634600,62	583554,6	1233	6,5	1226,5	1165	883,70	8,56	18,8	1990	7
P ₁₀	634727,46	583465,55	1232	8	1224	1461	1108,23	8,7	20,8	2002	10
P ₁₁	634781,75	583651,16	1234	7	1227	1068	810,12	8,25	21,1	2001	-
P ₁₂	634825,73	583525,95	1230	8	1222	1311	994,45	8,3	19,5	1965	8
P ₁₃	634989,93	583592,71	1237	11,5	1225,5	2777	2106,48	8,37	21,1	1998	10,5
P ₁₄	635215,68	583703,327	1243	11	1232	1020	773,71	8,32	21,3	1970	-
P ₁₅	635178,29	583611,68	1239	11	1228	970	735,79	8,18	24,3	1985	-
P ₁₆	635314,11	583685,49	1238	11	1227	1304	989,14	8,52	20,7	1985	10
P ₁₇	635232,82	583523,59	1234	9	1225	2190	1661,21	8,12	20,7	1875	-
P ₁₈	635295,59	583380,76	1219	8	1211	1275	967,14	8,9	19,9	1965	-
P ₁₉	635304,31	583335,84	1246	8	1238	1387	1052,10	8,6	20,1	1975	-
P ₂₀	635350,79	583360,53	1245	8	1237	1320	1001,28	8,22	20,2	-	-
P ₂₁	635401,65	583344,45	1234	7	1227	1350	1024,03	8,23	20,6	-	-
P ₂₂	636366,87	583246,272	1236	6,5	1229,5	2343	1777,27	8,35	20,9	1975	12
P ₂₃	635517,95	583218,28	1239	6	1233	1526	1157,54	8,27	19	1980	6
P ₂₄	635567,47	583351,834	1231	7	1224	1319	1000,52	8,35	20,5	-	-
P ₂₅	635686,35	583200,04	1236	3	1233	1316	998,24	8,28	18,8	-	-
P ₂₆	635745,48	583374,61	1227	6	1221	1309	992,93	8,51	20,6	1975	6
P ₂₇	635753,47	583309,501	1237	9	1228	1245	944,39	8,61	20,6	-	-
P ₂₈	635449,6	583280,31	1231	9	1222	1454	1102,92	8,61	20,9	1993	10
P ₂₉	636160,62	583231,84	1230	9	1221	924	700,89	8,59	21,1	2011	9
P ₃₀	636213,91	583243,6	1233	9,5	1223,5	1255	951,97	8,48	21,1	2011	9

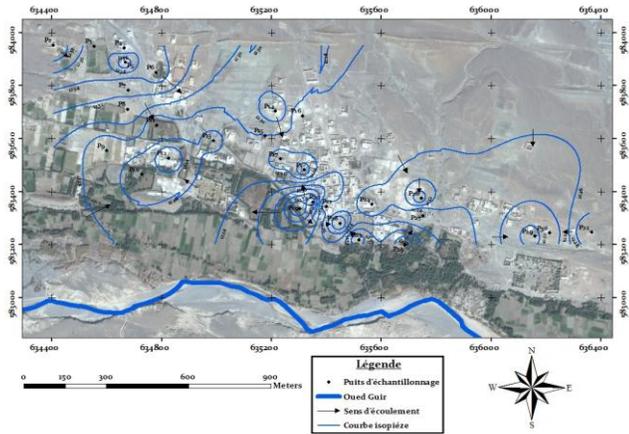


Fig. 12 : Carte piézométrique de la zone d'étude

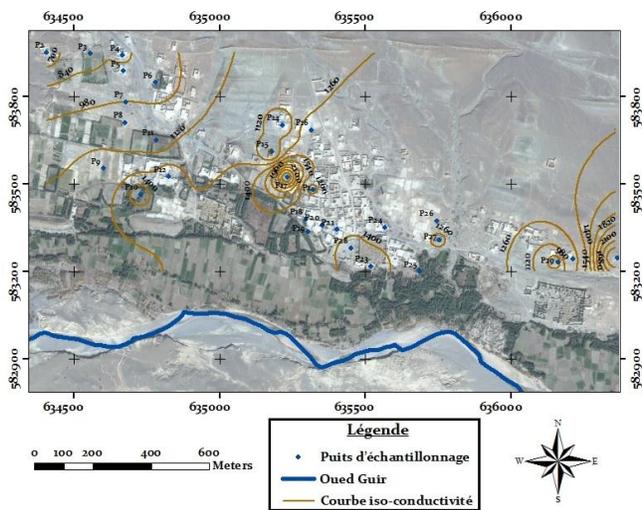


Fig. 15 : Carte de variation spatiale de la conductivité électrique au niveau du village Mellaha

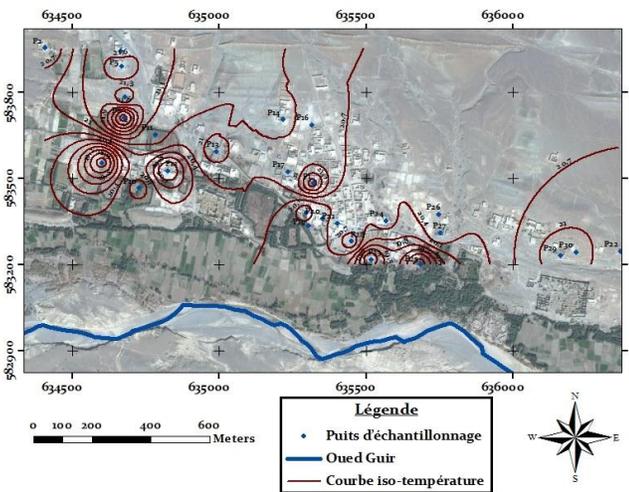


Fig. 13 : Carte de la variation spatiale de la température des eaux de puits du village Mellaha.

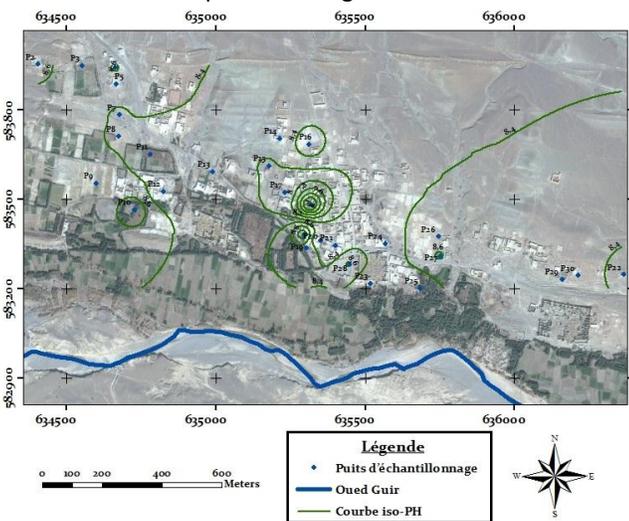


Fig. 14 : Carte de variation spatiale du pH des eaux des puits du village Mellaha

Au laboratoire : Au laboratoire d'Hydrobiologie Ecotoxicologie et Assainissement (LHEA) du département de biologie, les analyses exécutées sur les échantillons prélevés ont porté sur les éléments chimiques majeurs : i) Anions (Chlore Cl^- , Sulfates SO_4^{2-} , Nitrates NO_3^- , Bicarbonates HCO_3^- , Carbonates CO_3^{2-}) ; ii) Cations (Sodium Na^+ , Magnésium Mg^{2+} , Calcium Ca^{2+} , Potassium K^+) (Tab. 3).

Tab.3 : Mode opératoire adoptées pour les analyses des éléments majeurs.

Elément	Mode opératoire
$\text{CO}_3, \text{HCO}_3$	AFNOR (T90-036)
SO_4	RODIER 7 ^{ème} édition
Cl	AFNOR (T90-014)
DT (Ca, Mg)	RODIER 9 ^{ème} édition
DC (Ca)	RODIER 8 ^{ème} édition
NO_3	RODIER 9 ^{ème} édition

Dosage des bicarbonates CO_3^{2-} : Pour doser les ions carbonates (CO_3^{2-}), on neutralise à l'aide de l'acide chlorhydrique HCL (N/50) le volume d'eau à analyser (25 ml) auquel on ajoute 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine (indicateur coloré) permettant le développement d'une coloration rose indiquant la présence des ions carbonatés (pH 8.3). Ainsi, à partir de la prise d'essai et du volume de HCL versé pour obtenir le virage marqué par la décoloration complète de cette solution rose, la concentration en CO_3^{2-} est déterminée.

Dosages des bicarbonates HCO_3^-

Le dosage des ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) est identique à celui des carbonates. Dans ce cas il y'a changement de l'indicateur coloré (le vert de Bromocrésol). La neutralisation de l'eau à analyser (25 ml) est atteinte lors de l'observation du virage marqué par la disparition de la coloration bleu verdâtre et l'apparition d'une coloration jaune (pH 4,5). Ainsi, selon le volume de HCL versé pour obtenir le virage, la concentration en HCO_3^- est déterminée.

Dosage des sulfates SO_4^{2-}

Pour doser les sulfates SO_4^{2-} , on ajoute à une prise d'essai d'eau à analyser de 39 ml, une solution de chlorure de barium stabilisée par Tween 20 (5 ml) et une solution chlorhydrique (1 ml) à agiter et attendre pendant 15 min. La lecture de la DO est faite à l'aide un spectromètre réglé à une longueur d'onde de 650 nm. La concentration en sulfates est obtenue à partir de la courbe d'étalonnage ($\text{DO} = f[\text{SO}_4^{2-}]$).

Dosage des chlorures Cl^-

Pour doser les chlorures Cl^- :

- Premièrement, on neutralise à l'aide de l'acide nitrique dilué HNO_3 , une prise d'essai d'eau à analyser de 50 ml à laquelle on ajoute quelques gouttes de la solution alcoolique de phénolphthaléine, jusqu'à disparition de la coloration rose (eaux alcalines).

Puis, on ajoute à la même prise d'essai un volume de 1ml de la solution de chromates de potassium (N/10) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, qu'on neutralise avec le nitrate d'argent AgNO_3 jusqu'à disparition de la coloration jaune et apparition d'une très faible teinte brunâtre. Ainsi, selon le volume d' AgNO_3 versé pour obtenir le virage, la concentration en Cl^- est déterminée.

Dosage du calcium Ca^{2+} et du magnésium Mg^{2+}

Pour doser le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+} (Dureté totale), on titre avec l'acide éthylène diamine tétraacétique EDTA (N/50) une prise d'essai d'eau à analyser de 50 ml à laquelle on ajoute une solution tampon et trois gouttes du noir d'ériochrome T, jusqu'à disparition de la coloration rouge et apparition de la coloration bleue. Ainsi, à partir de la prise d'essai et du volume d'EDTA versé pour obtenir le virage du rouge au bleu, la concentration totale en calcium et magnésium est déterminée.

Dosage du calcium Ca^{2+}

La dureté calcique (Figure 49) renseigne sur la concentration en ions calcium Ca^{2+} . Pour doser Ca^{2+} , on titre avec la solution de l'EDTA (N/50) une prise d'essai de 10 ml à laquelle on ajoute une solution d'hydroxyde

de sodium NaOH (2 ml) et une pointe de spatule de la murexide en poudre, jusqu'à obtention du virage allant du rose au violet. Ainsi, à partir de la prise d'essai et du volume d'EDTA versé pour obtenir le virage, la concentration en calcium est déterminée. La différence entre la concentration totale en Ca^{2+} et Mg^{2+} et celles en Ca^{2+} donne la concentration en cations Mg^{2+} .

Dosage des nitrates NO_3^-

Pour doser les nitrates NO_3^- , on fait passer sur une colonne cadmium cuivre facilitant la réduction de ces derniers en nitrites, une prise d'essai de l'eau à analyser (5ml) à laquelle on ajoute 5ml de la solution tampon où l'ensemble est ajusté à 50 ml. Après, on fait couler les premiers 25ml et on récupère les 2^{ème} 25 ml auxquelles on ajoute 0.5 ml du réactif de diazotation permettant de former une coloration rose. La lecture de la DO est faite, après 30 min à l'aide un spectromètre réglé à une longueur d'onde de 537 nm. La concentration en nitrates est obtenue à partir de la courbe d'étalonnage ($\text{DO} = f[\text{NO}_3^-]$).

Dosage du sodium Na^+ et du potassium K^+

L'absence de maintenance du spectrophotomètre de flamme a brisé la continuation du travail. Ceci n'a permis d'effectuer le dosage du sodium et du potassium, l'absence de ces deux éléments est un obstacle pour compléter le bilan ionique et donc faire sortir le diagramme de Piper.

Paramètres physico-chimiques

Les résultats collectés concernant les paramètres caractérisant l'aspect physique des eaux étudiées sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Température : Selon les résultats obtenus (Tab. 4), les eaux de puits de la zone d'étude montrent que le degré de température ne présente pas de grandes variations d'un puits à l'autre. Généralement, Ce paramètre rentre dans la plage des valeurs maximales exigées par la norme marocaine 03.07.001 avec un minimum de 18°C enregistré au niveau des puits (P_9 , P_{25}) et un maximum de 22 °C enregistré au niveau des puits (P_8). La moyenne enregistrée des températures des différents puits est de 20°C, ce qui correspond aux températures d'eaux souterraines peu profondes.

pH : Le pH des eaux de puits analysées oscille entre 7,18 (pour P_1) et 8,9 (pour P_{18}). La moyenne des valeurs du PH est de 8,3 (tableau 2 et 4). Généralement, les eaux analysées des différents puits du village sont des eaux alcalines. Cette alcalinité est expliquée par la

nature de l'aquifère composé majoritairement de calcaires.

Concernant la potabilité, ces eaux ne posent pas de problème pour la santé en raison de leur appartenance à la gamme exigée par la NM 03.07.00. Mais, elles sont associées à des problèmes d'entartrage.

Conductivité électrique : Les eaux de puits analysées présentent des conductivités électriques très variables allant de 626 $\mu\text{S/cm}$ (au niveau de P₂) jusqu'à 2343 $\mu\text{S/cm}$ (au niveau de P₂₂). La moyenne des valeurs mesurées est de 1231 $\mu\text{S/cm}$ (tableaux 2 et 4). Généralement, ces eaux reflètent un degré de minéralisation très important expliqué par la composition de la roche aquifère constituée des calcaires, ajoutant aussi le lessivage qu'elle subisse par ces eaux séjournant.

Concernant la potabilité, les valeurs de la conductivité de ces eaux rentrent dans la gamme fixée par la NM 03.07.00. Le P₁₃ présente une valeur très élevée (valeur anormale), qui dépasse celle précisée par la norme, faisant appel à un traitement avant utilisation.

Tab.4 : Paramètres caractéristiques de l'aspect physique des eaux de puits testées

Puits	PH	T _{ea} (°C)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	M.G (mg/l)
P ₅	8,50	21,9	862	653,86
P ₈	8,38	22,9	1028	779,78
P ₁₂	8,30	19,5	1311	994,45
P ₁₃	8,37	21,1	2777	2106,48
P ₁₆	8,52	20,7	1304	989,14
P ₁₇	8,12	20,7	2190	1661,21
P ₂₁	8,23	20,6	1350	1024,03
P ₂₃	8,27	19,0	1526	1157,54
P ₂₆	8,51	20,6	1309	992,93
P ₂₈	8,61	20,9	1454	1102,92
V.M.A (NM 03.07.001, 2006)	6,5-9,0	12-30	<2500	<600

5.2 Chimie élémentaire des eaux

D'après les réseaux des puits répartis sur l'ensemble du village Mellaha, dix points d'eau comme étant des échantillons représentatifs ont fait l'objet d'analyses des éléments majeurs pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale de la qualité des eaux souterraines étudiées (Tab. 5). L'ensemble des résultats obtenus sont comme suit :

Sulfates : Les sulfates, dans les conditions naturelles, se présentent dans l'eau sous forme de soufre dissous et parviennent principalement de deux origines : géochimique et atmosphérique. (DELISTE et SCHMIDT, 1977). La teneur en sulfates caractérisant les eaux analysées oscille entre 33,2 mg/l (pour P₂₁) et 146,6 mg/l (pour P₁₇). Généralement, les valeurs enregistrées sont inférieures à la valeur fixée par les normes O.M.S relatives à la qualité des eaux destinées à la production de l'eau potable. Les eaux de puits étudiées présentent des concentrations

Carbonates et bicarbonates : Les eaux de puits étudiées présentent des concentrations élevées en carbonates fluctuant entre 19,9 mg/l (pour P₂₆) et 30,7 mg/l (pour P₁₃). Concernant la teneur en bicarbonates, les valeurs enregistrées sont très élevées et oscillent entre un minimum de 239,2 mg/l (pour P₁₂) et un maximum de 456,4 mg/l (pour P₁₇). Ces eaux présentent des valeurs supérieures à la valeur exigée par l'O.M.S permettant de décrire le caractère minéralisé agressif et dur pouvant-être expliqué par la circulation de ces eaux dans le réservoir aquifère et les interactions qu'elles subissent au contact de la roche réservoir calcaire.

Chlorures : Les chlorures se présentent naturellement dans les eaux souterraines sous forme de sel de sodium (NaCl) ou de potassium (KCl). Les eaux riches en chlorures ont un effet nocif sur la santé surtout pour les personnes ayant des maladies cardio-vasculaires ou rénales (MEMBRATEC, 2008).

Les teneurs en chlorures des points d'eau analysés oscillent entre un minimum de 103,4 mg/l (pour P₅) et un maximum de 1437,1 mg/l (pour P₁₂). Le P₅ est conforme aux normes fixées par l'O.M.S, contrairement aux autres puits renfermant des eaux avec des teneurs dépassant la valeur guide surtout pour le P₁₂ avec une valeur de 1437 mg/l et le P₂₁ avec une valeur de 1219 mg/l. Ces valeurs élevées peuvent-être dues à l'utilisation des engrais agricoles et au retour des eaux d'irrigation. Ce seraient généralement des chlorures d'origine anthropique.

Calcium et Magnésium : Le calcium est un élément naturel contenu dans les eaux souterraines. Les teneurs en calcium des eaux étudiées présentent des valeurs fluctuant entre un minimum de 126 mg/l (pour P₅) et un maximum de 366 mg/l (pour P₁₂). A l'exception du puits 12 montrant la valeur maximale, l'ensemble des autres puits possèdent des concentrations inférieures à la valeur guide exigée par les normes de l'O.M.S (<250 mg/l). Les teneurs élevées enregistrées peuvent-être attribuées à dissolution de la calcite de la roche

réservoir. Le magnésium se présente dans les eaux naturelles en faibles quantités, sa concentration dépend de la composition des roches traversées. Les teneurs en magnésium dans les points d'eau analysés oscillent entre un minimum de 33,8 mg/l au niveau du P₅ et un maximum de 157,2 mg/l au niveau du P₁₂. Ces valeurs enregistrées sont faibles ne dépassent pas la valeur exigée par l'O.M.S, sauf une exception pour les puits (P₁₂, P₁₆, P₂₁) qui dépassent la valeur de la norme. La source du magnésium peut-être attribuée au contact de l'eau avec les roches calcaires constituant le réservoir aquifère de la zone.

Nitrates : Les ions nitrates sont naturellement rares dans les eaux, leur excès est dû généralement aux activités anthropiques à travers les méthodes traditionnelles de puisage, les pratiques agricoles intensives (utilisation des engrais) et la pollution domestique (fosses septiques).

Les teneurs en nitrates des points d'eau étudiés fluctuent entre un minimum de 0,3 mg/l au niveau du P₅ et un maximum de 7.53 mg/l au niveau du P₂₁. Ces valeurs enregistrées restent inférieures à la valeur guide fixée par les normes de l'O.M.S (< 50 mg/l). De ce fait, ces eaux analysées ne sont pas vassale à un risque de pollution par les nitrates.

Tab. 5 : Données élémentaires de l'analyse des échantillons d'eau en mg/l prélevés au niveau du village Mellaha pour dix points d'eaux

Puits	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻
P ₅	72,4	22,8	363,7	103,4	126,0	34,8	0,30
P ₈	65,4	20,4	410,0	268,1	150,0	33,8	0,39
P ₁₂	35,9	22,8	239,2	1437,1	366,0	157,2	1,50
P ₁₃	90,5	30,7	353,9	241,8	132,0	50,4	0,90
P ₁₆	142,6	24,7	396,9	862,2	226,0	109,2	7,14
P ₁₇	146,6	25,2	456,4	378,5	174,0	55,2	1,92
P ₂₁	33,2	21,6	397,8	1219,7	242,0	108,0	7,53
P ₂₃	103,4	21,6	358,8	276,9	142,0	58,8	1,05
P ₂₆	144,1	19,9	383,2	283,9	154,0	52,8	1,26
P ₂₈	125,4	24,0	351,5	273,4	150,0	55,2	1,20
Normes O.M.S	<250	-	<200	<250	<270	<50	<50

5.3. Qualité globale des eaux souterraines étudiées

L'appréciation de la qualité des eaux souterraines s'opère à travers l'étude des paramètres de pollution et par interprétation de la qualité globale sur la base d'une grille simplifiée élaborée par le Ministère chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement. Cette grille regroupe trois paramètres indicateurs de pollution physico-chimique et azotée, qui sont : i) la conductivité électrique et les ions chlorures

qui renseignent sur la qualité minéralogique des eaux ; ii) les nitrates autant que principaux indicateurs d'une pollution d'une eau souterraine.

* les eaux des puits 5 et 8 présentent généralement une bonne qualité. Cet état est dû :

- aux chlorures révélant une concentration ne dépassant pas 268,1 mg/l (bonne qualité) ;
- aux nitrates, avec des valeurs allant jusqu'à 0,39 mg/l (excellente qualité) ;
- la minéralisation, avec une valeur maximale de 1028 µS/cm.

* les eaux des puits 17, 23, 26,28 montrent une moyenne qualité, en raison de la minéralisation qui oscille entre 1309 et 2190 µS/cm. Globalement, la qualité des chlorures est excellente.

* les eaux des puits 13 et 16 révèlent une mauvaise qualité liée aux teneurs en chlorures (pour P₁₆) et à la minéralisation allant jusqu'à 2777 µS/cm (pour P₁₃).

* Les points 12 et 21 montrent une eau de très mauvaise qualité expliquée par les fortes teneurs en chlorures allant de 1219 mg/l à 1437,1 mg/l.

6. Conclusion

Le présent travail effectué au niveau du village Mellaha au voisinage du centre urbain de Gourrama, combine l'ensemble des disciplines (la géologie, la télédétection, et l'hydrochimie) afin de caractériser les eaux souterraines présentes au niveau de ce site. L'étude montre que la zone est constituée d'une alternance de marnes et de calcaires du Bothonien au Bajocien. La zone est fortement fracturée. Les linéaments ressortis par télédétection et validés sur le terrain, présentent une direction de 30-40°E et une autre direction de 130-140°SE et correspondent à des failles, des travertins de la cuvette et à des fractures. La fracturation marquant la zone rend les marnes compactes productives. Elle indique aussi la présence des zones de recharge en allant vers l'est, pouvant alimenter l'aquifère de la zone pendant les périodes pluviales.

L'étude hydrochimique, des points d'eaux collectés au niveau du village Mellaha, a concerné d'une part le suivi de la variation spatiale des paramètres physico-chimiques (conductivité, PH, température de l'eau) mesurés sur terrain et d'autre part la caractérisation de la chimie élémentaire de ces eaux (analyse des éléments majeurs).

Corrélation des données obtenues : Les données hydrogéologiques montrent la présence d'un aquifère continu, indiquant une baisse du niveau d'eau du fait de l'exploitation. Ainsi, la fracturation marquant la zone

valide l'infiltration, mettant en évidence des zones de recharge pendant les périodes pluviales.

Concernant la qualité, ces eaux présentent une bonne, moyenne à très mauvaise qualité expliquée par : i) les concentrations élevées en chlorures pouvant contribuer à des problèmes de santé pour les gens ayant une hypertension ; ii) le taux élevé de la minéralisation nécessitant un traitement avant utilisation (Tab. 6).

Tab.6 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines (MATEE, 2003).

	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	[Cl ⁻] (mg/l)	[NO ₃ ⁻] (mg/l)
Excellente	<400	<200	<5
Bonne	400-1300	200-300	5-25
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100
Très mauvaise	>3000	>1000	>100

Les échantillons des eaux de puits analysées, présentent de fortes concentrations en chlorures (pour P₁₆, P₁₂, P₂₁) et un taux de minéralisation important (pour P₁₃, P₁₇, P₂₃, P₂₆ et P₂₈). Ces eaux indiquent une bonne, moyenne à très mauvaise qualité, faisant appel à un traitement de potabilité. Aussi, la présence des fosses septiques contribue à la toxicité des eaux provoquant des problèmes de santé. A l'issue de ce travail nous recommandons d'installer un réseau d'assainissement conforme aux normes d'hygiène ; de mener une étude physico-chimique et bactériologique complète pour détailler la qualité des eaux de la zone. Généralement, les points échantillonnés à l'exception du P₅ et P₈ ont une moyenne à très mauvaise qualité (Tab. 7).

Tab.7 : Qualité globale des eaux souterraines de la zone d'étude Mellaha

Puits	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cl ⁻ (mg/l)	[NO ₃ ⁻] (mg/l)	Qualité globale
P ₅	862	103,4	0,30	Bonne
P ₈	1028	268,1	0,39	Bonne
P ₁₂	1311	1437,1	1,50	Très mauvaise
P ₁₃	2777	241,8	0,90	Mauvaise
P ₁₆	1304	862,2	7,14	Mauvaise
P ₁₇	2190	378,5	1,92	Moyenne
P ₂₁	1350	1219,7	7,53	Très mauvaise
P ₂₃	1526	276,9	1,05	Moyenne
P ₂₆	1309	283,9	1,26	Moyenne
P ₂₈	1454	273,4	1,20	Moyenne

Remerciements : Au terme de ce travail, nous remercions Agence Bassin Hydraulique de Guir-Ziz-Rhris pour nous avoir fourni les données hydrauliques et climatiques. Nous voulons également remercier les habitants du village Mellaha en général et la famille Ouzerbane en particulier pour leur accueil. Nous remercions également Professeure Naila Ouazzani de FSSM, pour le soutien analytique.

7. Références bibliographiques

1. ABH Guir-Bouanane : *Les bassins hydrauliques du Maroc (le bassin hydraulique de Guir-Bouanane)*. 2004. Rapport inédit, 183.
2. ABH Guir-Bouanane : *Les bassins hydrauliques du Maroc (le bassin hydraulique de Guir-Bouanane)*. 2009. Rapport inédit, 126.
3. ABH Er-Rachidia : *Les bassins hydrauliques du Maroc. Séries actualisées des données des pluies et des températures*, 2010, 2
4. A.A. Aithssaine, *Éléments sur l'hydrologie de la partie atlasique de l'oued Guir (Maroc sud-oriental) et sur l'inondation catastrophique du 10 octobre 2008*. 2014. *Physio-Géo - January 2014*, 337
5. BRGM/RP, *Contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Guyane, conformément à la directive cadre européenne sur l'eau, 2008 : Rapport, collaboration entre Direction régionale de l'environnement Guyane-Office nationale de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA)-BGRM (Géosciences pour une terre durable)*, 1352p.
6. M Combe: *Ressource en eau tome 3(Haut Atlas calcaire), Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, Rabat, 1977*, 231, 116.
7. C Deliste, J Schmidt : *The effects of sulphur on water and aquatic life in Canada*. Dans: *Sulphur and its inorganic derivatives in the Canadian environment*, 1977. NRCC No. 15015, Conseil national de recherches du Canada.
8. A Laouina : *Prospective Maroc 2030 : Gestion durable des ressources naturelles et de la biodiversité au Maroc*, 2006. *Rapport, Haut Commissariat au Plan*, 118.
9. MATEE : *(Ministère chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement Etat de la Qualité des Ressources en Eau au Maroc 2000/2001)*, 2003. *Rapport officiel*, 17.
10. J Margat, M Combe. *Haut-Atlas calcaire «Hydrogéologie du Maroc»*. 1997, 19^{ème} Congrès géologique international d'Alger, *monographies régionales, 3ème série : MAROC n° 4 et Notes et M. Ser. Géol. Maroc*, 96, 245-262.
11. NM 03.07.001: *Norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine*, 2006. *Bulletin Officiel N° 5404*.
12. Membrattec: *L'eau un créneau limpide pour Membrattec*, 2008. *Publication : Entreprise de Membrattec*, 58-59.
13. ONEP, *Projet d'adductions régionales d'alimentation en eau potable, évaluation environnementale du projet*, 2010. *Rapport*

officiel de l'office national de l'électricité et de l'eau potable,
99.

14. S Riad, *Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc*. **2003**. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, cotutelle entre l'université des sciences et technologie de Lille et l'université d'Ibno Zohr d'Agadir, 147.
15. A Vignou, *Etude régionale des isotopes stables des eaux souterraines du Maroc en lien avec les précipitations*. **2008**. Rapport pour Baccalauréat ressources géologiques,. UQAM, 26.