

TABLE DES MATIERES

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table des matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des photos	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I GESTION DES AQUIFERES TRANSFRONTALIERS	
INTRODUCTION.....	3
I.1.DEFINITION D’UN AQUIFERE TRANSFRONTALIER.....	3
I.2.LES GRANDS AQUIFERES TRANSFRONTALIERS DANS LE MONDE.....	5
I.3.LES ENJEUX DE LA GESTION DES AQUIFERES TRANSFRONTALIERS	7
I.4.LES ACTIONS MENEES	9
I.5.PRINCIPE DE LA GESTION DES AQUIFERES TRANSFRONTALIERS.....	11
CONCLUSION	12
CHAPITRE II : LA MOBILISATION DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA	
INTRODUCTION.....	13
II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	13
II.2.APERÇU CLIMATOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE	14
II.2.1.LES STATIONS DE MESURE	14
II.2.2.ETUDE DE LA VARIATION PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE :	15
II.2.3.ETUDE DE LA VARIATION PLUVIOMETRIQUE MENSUELLE :	15
II.2.4.ETUDE DE LA VARIATION PLUVIOMETRIQUE SAISONNIERE :	16
II.2.5.ETUDE DE LA TEMPERATURE :	17
II.2.6.DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN ET BAGNOULS:	17
II.3.CONTEXTE GEOLOGIQUE	18
II.3.1.DESCRPTION LITHO-STRATIGRAPHIQUE.....	19
II.4. HISTORIQUE DES FORAGES.....	20
II.5. CARACTERISTIQUES DES FORAGES DU CHAMP CAPTANT	22
II.5.1.LA PROFONDEUR	22
II.5.2 LE DIAMETRE DES FORAGES.....	24
II.5.3.LE NIVEAU STATIQUE	25

Table des matières

II.5.4 LE DEBIT DES FORAGES	25
II.5.4.1. Les essais par pompages.....	26
II.6. LES COUPES GEOLOGIQUES SYNTHETIQUES	26
II.7. LES PERTES DE BOUE DANS LES FORAGES	28
II.8. QUALITE PHYSICO CHIMIQUE DES EAUX.....	28
II.8.1.ANALYSES PAR LA BALANCE IONIQUE	28
II.8.2.LA TEMPERATURE DE L'EAU	29
II.8.3.LA CONDUCTIVITE	31
II.8.4.LA MINERALISATION	32
II.8.5.LE RESIDU SEC	33
II.8.6.LA CLASSIFICATION DES EAUX	34
II.9. REPRESENTATION GRAPHIQUE	35
II.9.1.DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF	35
II.9.1.1.Analyses anciennes des eaux souterraines du champ captant	35
II.9.1.2.Analyses récentes des eaux souterraines du champ captant	36
II.9.2.DIAGRAMME DE PIPER :	37
II.10.NORME DE POTABILITE.....	42
II.10.1.LES NORMES DE L'ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS).....	42
II.10.2.LES NORMES ALGERIENNES	42
II.11.LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES	43
CONCLUSION	44
CHAPITRE III : GESTION DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA	
INTRODUCTION :	45
III.1.IDENTIFICATION DE CHAMP CAPTANT	45
III.2 .CHOIX DES MATERIAUX POUR LES CANALISATIONS DES EAUX DU CHAMP CAPTANT	46
III.2 .1.LE CARACTERE CORROSIF D'UNE EAU	46
III.2 .1.1.L'indice de Larson.....	46
III.2 .1.2.L'indice de Leroy.....	47
III.2 .2.MINERALISATION.....	48
III.2 .3.TEMPERATURE	48
III.3 .DESCRIPTION DU RESEAU D'ADDUCTION.....	48
III.3 .1.LES CARACTERISTIQUES DU RESEAU	49
III.4 .VOLUME PRODUIT PAR LES FORAGES DU CHAMP CAPTANT.....	50
III.4 .1.VOLUME PRODUIT ANNUEL	51

Table des matières

III.4 .1.1.Champ captant Zouia 1	51
III.4 .1.2.Champ captant Zouia 2	52
III.4.2.VOLUME MOYEN MENSUEL PRODUIT POUR TOUT LE CHAMP CAPTANT DE ZOUIA	54
III.4.3.COMPARAISON ENTRE LE DEBIT THEORIQUE ET LE DEBIT EXPLOITE :	55
III.4.3.1.Champ captant 1.....	55
III.4.3.2.Champ captant 2.....	58
III.4.4.LE VOLUME PRODUIT ET VOLUME DISTRIBUE	60
III.4.5.L’AFFECTATION DES VOLUMES PRODUITS	60
III.5.PIEZOMETRIE DU CHAMP CAPTANT	62
III.6.ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DES FORAGES.....	63
CONCLUSION	63
CHAPITRE IV : LA PROTECTION DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA	
INTRODUCTION.....	65
IV.1.PERIMETRES DE PROTECTION	65
IV.1.1.PERIMETRE DE PROTECTION IMMEDIAT	66
IV.1.2.PERIMETRE DE PROTECTION RAPPROCHE	66
IV.1.3.PERIMETRE DE PROTECTION ELOIGNEE	66
IV.1.4.CRITERE DE DETERMINATION DES ZONES DE PROTECTION	67
IV.1.4.1. Le pouvoir épurateur du sol.....	67
IV.1.4.2.Le rabattement.....	67
IV.1.4.3.Le temps de transfert.....	68
IV.1.4.4. La distance.....	68
IV.1.4.5.Les limites d’écoulement.....	68
IV.1.5.LA DELIMITATION DE CES PERIMETRES	68
IV.1.5.1.Estimation du pouvoir épurateur des terrains traversés.....	68
IV.1.5.2.La méthode de Wyssling.....	70
IV.2.LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES SELON LA LEGISLATION ALGERIENNE ...	72
IV.2.1.LA LOI N°83-17 DU 16 JUILLET 1983 PORTANT CODE DES EAUX	72
IV.2.2.LA LOI N°05-12 DU 4 AOUT 2005 RELATIVE A L’EAU	73
IV.2.3.LE DECRET EXECUTIF N° 07-399 DU 23 DECEMBRE 2007	74
IV.2.4.LE DECRET EXECUTIF N°10-73 DU 06 FEVRIER 2010	75
IV.3.LA PROTECTION DES FORAGES DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA	75
IV.3.1.PERIMETRE DE PROTECTION IMMEDIAT :	75
IV.3.2.PERIMETRE DE PROTECTION RAPPROCHE :	78
CONCLUSION	80
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	81

Table des matières

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	83
ANNEXES	88

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Diagramme schématique d'un système aquifère transfrontière..... 3

Figure I.2 : Les différents types aquifères transfrontaliers..... 5

Figure I.3: Les aquifères transfrontaliers dans le monde 7

Figure II.1 : La localisation des forages de champ captant de Zouia. 14

Figure II.2 : Précipitations annuelles à la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 – 2018) 15

Figure II.3: Précipitations moyennes mensuelles à la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 - 2018) 16

Figure II.4 : Précipitations moyennes saisonnières à la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 - 2018) 16

Figure II.5 : Variation des températures moyennes annuelles de la station de Maghnia (1979 -2016)..... 17

Figure II.6 : Diagramme Ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen à la station de Maghnia (1979-2018)..... 18

Figure II.7: Contexte géographique et géologique de zone des forages(Bensaoula et al., 2005). 19

Figure II.8 : Les profondeurs des forages. 23

Figure II.9 : Longueurs forées des forages du champ captant de Zouia. 24

Figure II.10 : Côte de changement du diamètre d'équipement des forages 24

Figure II.11 : La variation des niveaux statiques dans les forages du champ captant de Zouia. 25

Figure II.12 : La variation des débits des forages du champ captant de Zouia. 25

Figure II.13 : Coupes géologiques et hydrogéologiques synthétiques 27

Figure II.14: Répartition des forages du champ captant de Zouia classés selon la température de l'eau 30

Figure II.15 : Variation du pH des eaux de forages du champ captant de Zouia. 31

Figure II.16: La répartition de la conductivité des forages de champ captant de Zouia 32

Figure II.17: La variation de la minéralisation dans le champ captant de Zouia. 33

Figure II.18: La variation de résidu sec des eaux des forages du champ captant de Zouia 34

Figure II.19: Anciennes analyses (groupe1)..... 36

Figure II.20: Anciennes analyses (groupe2)..... 36

Figure II.21 : La représentation graphique des analyses récentes des eaux des forages de Zouia (2018). 37

Figure II.22: La représentation graphique des analyses anciennes des eaux des forages de Zouia 38

Figure II.23 : L'évolution des eaux du forage BBS1 39

Figure II.24 : L'évolution des eaux du forage N2. 39

Figure II.25: L'évolution des eaux du forage Z2. 40

Figure II.26 : L'évolution des eaux du forage MS1 41

Figure II.27: L'évolution des eaux du forage N1. 41

Figure III.1 : Identification des champs captant 1 et 2 46

Figure III.2 : Le réseau d'adduction en eau potable du champ captant de Zouia..... 49

Figure III.3 : La variation annuelle du volume produit dans le champ captant Zouia 1 52

Figure III.4: La variation annuelle du volume produit dans le champ captant Zouia 2..... 53

Figure III.5 : La variation annuelle de volume global produit par les deux champs captant..... 53

Figure III.6: La Variation des volumes moyens mensuels produits pour le champ de Zouia. 55

Figure III.7: La variation de débit moyen annuel du champ captant Zouia 1. 57

Figure III.8 : La variation de débit moyen annuelle du champ captant Zouia 2..... 59

Figure III.9 : Comparaison entre le volume produit et distribué. 60

Figure III.10 : La localisation des communes alimentées par le champ captant de Zouia. 61

Liste des Figures

Figure III.11 : Affectation des volumes distribués.....	62
Figure III.12 : Etat actuel de fonctionnement des forages.....	63
Figure IV.1 : Les périmètres de protection des captages.....	67
Figure IV.2 : Détermination des isochrones.....	71
Figure IV.3 : Situation du Périmètre de protection du champ captant Zouia1	79
Figure IV.4 : Situation du Périmètre de protection du champ captant Zouia 2.	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les grands aquifères transfrontaliers dans le monde	6
Tableau I.2 : Les actions menées pour protéger les aquifères transfrontaliers mondiaux.	10
Tableau II.1 : Caractéristiques des stations de mesures.	14
Tableau II.2: Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 – 2018).	15
Tableau II.3: Répartition des précipitations moyennes saisonnières de la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 - 2018).	16
Tableau II.4 : Précipitations et température moyen mensuelle.	17
Tableau II.5: Cadre de réalisation des forages de Zouia, entreprise de réalisation et la durée.	22
Tableau II.6 : Longueur totale forée dans les dolomies et les couches de couverture.	23
Tableau II.7 : Classification de l'eau selon la température d'émergence.	29
Tableau II. 8: Formules de calcul de la minéralisation.	32
Tableau II.9 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité.	33
Tableau II.10 : Classification des eaux des forages.	34
Tableau II.11 : Les normes de potabilité des eaux (OMS)	42
Tableau II.12 : Les normes algériennes de potabilité	42
Tableau II.13 : Les analyses bactériologiques des eaux de forages du champ captant de Zouia (2018)	43
Tableau III.1 : Les résultats d'analyse de la dureté totale d'eau et le titre alcalimétrique complet.	47
Tableau III.2 : L'interprétation des valeurs des indices de corrosion	47
Tableau III.3 : la population et la dotation des différentes villes du couloir ouest et GUT en (l/j/hab)	61
Tableau III.4 : Le rabattement de la nappe au cours de la période (2008-2016) pour les forages MS3 et MS5) ..	63

LISTE DES PHOTOS

Photo III.1: La station de pompage Zouia 2..... 50

Photo III.2: La station de pompage Zouia 1 et l'anti béliet..... 50

PhotoIV.1 : Le périmètre immédiat visible sur une image Google Earth des forages Z5 et Z3..... 76

PhotoIV.2 : l'intérieur de périmètre de protection immédiat pour le forage Z4..... 76

PhotoIV.3 : le périmètre de protection immédiat pour le forage B2. 77

PhotoIV.4 : l'équipement hydraulique de forage B2..... 77

PhotoIV.5 : l'armoire de commande de forage B2..... 77

INTRODUCTION GENERALE

La situation alarmante des ressources en eau dans le monde d'une part et la surexploitation des ressources en eau souterraines d'autre part, sont l'un des problèmes les plus importants du 21^{ème} siècle. A cet effet, il est essentiel que les gouvernements de la plupart des pays, en particulier des pays en développement gèrent cette précieuse ressource d'une façon participative et solidaire. Ceci, dans l'intérêt du bien-être humain tout en protégeant l'écosystème dans le but d'un développement durable et la protection de cette ressource contre tout type de pollution.

Les aquifères transfrontaliers qui se partagent entre deux pays différents ou plus représentent souvent une partie très importante des ressources en eau d'un pays. L'utilisation de ces ressources mal contrôlée conduit souvent à leur surexploitation et pollution, avec des risques de crises et de conflits entre pays. C'est pourquoi il est obligatoire aujourd'hui que les états améliorent la connaissance de ces systèmes aquifères et gèrent ces ressources d'une manière équitable, durable et raisonnable.

Parmi les aquifères transfrontaliers on peut citer celui de la zone frontalière Algéro-Marocaine ou se trouve le champ captant de Zouia. Ce dernier a été mis en évidence dans le cadre d'un programme de renforcement de l'approvisionnement en eau potable du groupement urbain de Tlemcen (G.U.T), Maghnia et le couloir Ouest de la wilaya de Tlemcen.

Dans ce mémoire notre objectif consiste à étudier le champ captant de Zouia sous deux volets : la mobilisation des eaux souterraines et leur gestion.

Le présent travail est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, on propose une synthèse bibliographique sur la gestion des aquifères transfrontaliers et les difficultés rencontrées.

Dans le second chapitre, on présente une description détaillée du champ captant de Zouia à savoir son contexte climatique et géologique ainsi qu'une étude des forages ainsi qu'une étude hydro chimique des eaux souterraines captées.

Pour le troisième chapitre nous nous sommes intéressées à l'exploitation et la gestion des forages du champ captant de Zouia au cours de la dernière décennie.

Le quatrième chapitre est réservé à une synthèse sur les périmètres de protection et l'identification de la protection du champ captant de Zouia selon un décret de wilaya établi en 2014.

Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale et quelques recommandations.

Chapitre I : Gestion des aquifères

CHAPITRE I GESTION DES AQUIFERES TRANSFRONTALIERS :

INTRODUCTION

L'eau est l'une des ressources les plus "partagées" du monde. Elle est partagée entre plusieurs pays l'utilisant généralement de façon indépendante, et souvent intensive, en partie pour l'alimentation en eau potable, pour les usages industriels (Machard de Gramont et al., 2010) ainsi que pour l'irrigation. Les actions et les perturbations sur les ressources en eau dans un pays ont potentiellement une incidence sur les autres pays qui partagent cette même ressource transfrontalière (AGW-Net et al., 2015). Pour éviter ces problèmes une concertation et coordination entre les pays sont nécessaires en se basant sur une gestion durable et équitable de cette ressource (Machard de Gramont et al., 2010).

I.1.DEFINITION D'UN AQUIFERE TRANSFRONTALIER

Un aquifère transfrontalier est un système d'eau souterraine qui se partage entre deux pays différents ou plus (voir figure I.1).

Selon Diene (2016), un aquifère transfrontalier doit être caractérisé par :

- Terme d'extension (horizontale et verticale) ;
- recharge (les zones, les mécanismes, les taux) ;
- la capacité de stockage ;
- les schémas d'écoulement ;
- la relation avec les systèmes d'eau de la surface ;
- Sa vulnérabilité et les menaces existantes ;
- les niveaux et le potentiel d'exploitation actuels.

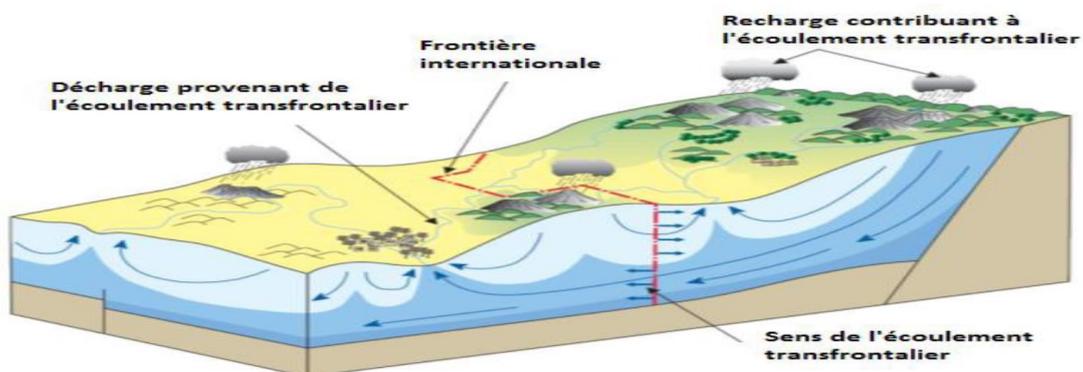
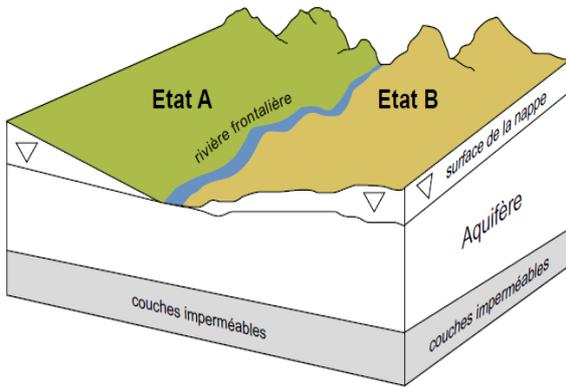


Figure I.1: Diagramme schématisé d'un système aquifère transfrontière

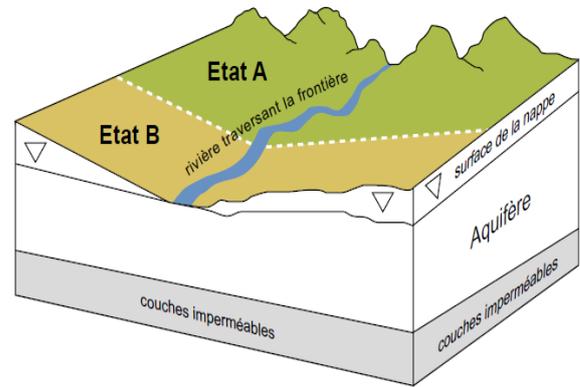
Source : (Diene , 2016).

Selon la figure I.2 les différents types aquifères transfrontaliers sont :



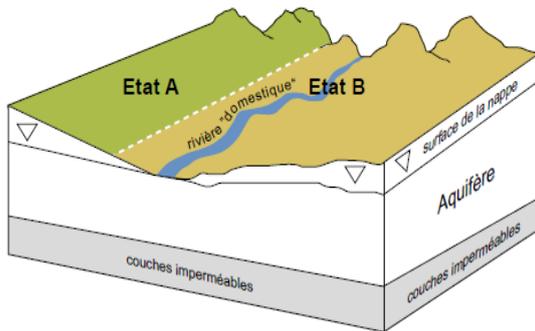
Type A:

Un aquifère libre qui est lié hydrauliquement avec une rivière, les deux coulent le long d'une frontière internationale (c.-à-d., la rivière forme la frontière entre deux États)



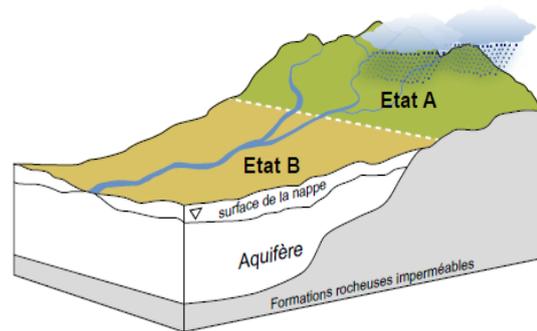
Type B:

Un aquifère libre traversé par une frontière internationale et lié hydrauliquement avec une rivière qui est également traversée par la même frontière internationale



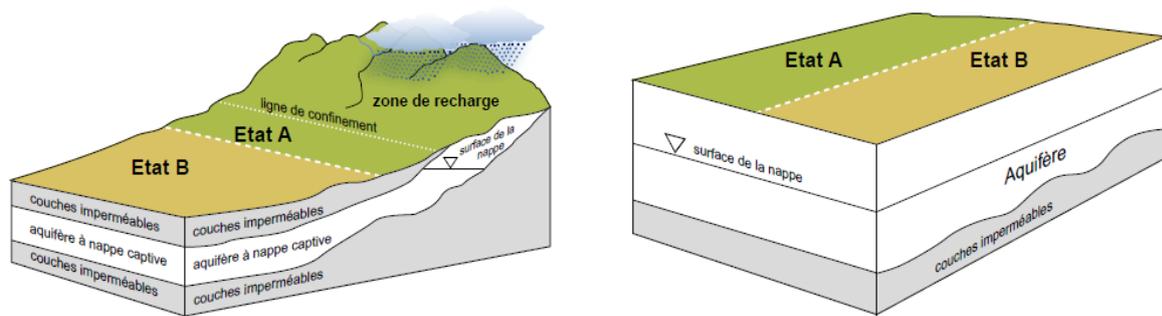
Type C:

Un aquifère libre qui traverse une frontière internationale et qui est hydraulique lié à une rivière qui coule (complètement) dans le territoire d'un État.



Type D:

Un aquifère libre qui est complètement dans le territoire d'un État, mais qui est lié hydrauliquement à une rivière qui coule à travers une frontière internationale (dans ce cas, l'aquifère se trouve toujours dans l'Etat situé «en aval»)



Type E:

Un aquifère captif, sans lien hydraulique avec un cours d'eau de surface, avec une zone de recharge (dans une zone où l'aquifère est libre) qui traverse une frontière internationale ou qui se trouve complètement dans un autre Etat.

Type F:

Un aquifère transfrontalier qui n'est lié à aucun cours d'eau de surface et dépourvu de toute recharge.

Figure I.2 : Les différents types aquifères transfrontaliers.

Source : (AGW-Net et al, 2015).

I.2.LES GRANDS AQUIFERES TRANSFRONTALIERS DANS LE MONDE

Les aquifères partagés au niveau international ou transfrontaliers jouent depuis longtemps un rôle important dans le maintien de l'approvisionnement en eau potable et de la production alimentaire, soutenant les moyens de subsistance de millions de personnes dans le monde (Wada et Heinrich, 2013).

Le tableau I.1 synthétise les grands aquifères transfrontaliers dans le monde :

Tableau I.1 : Les grands aquifères transfrontaliers dans le monde

Nom d'aquifère	Pays concernés
Taoudéni-Tanezrouft	Mauritanie, Mali, Burkina Faso Et Algérie
aquifères du bassin du Lac Tchad	Tchad, Niger, Nigeria Cameroun, Centrafrique Soudan, Algérie et Lybie
aquifères du bassin des Iullemeden	Niger, Nigeria, Mali, Algérie
Aquifères du bassin sénégal-mauritanien	Sénégal Mauritanie Gambie Guinée-Bissau
Aquifères du bassin côtier	Ghana, Togo, Bénin, Nigeria (en moindre mesure)
Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)	Algérie, Tunisie et Libye
aquifère des Grès Nubiens	Libye, Égypte, Tchad et Soudan
Système aquifère du Stampriet	Namibie, Botswana et Afrique du Sud
Système aquifère du Guarani	Brésil, Argentine, Paraguay Et Uruguay
aquifères du bassin du Mékong	Chine, Myanmar, Laos Thaïlande Cambodge Vietnam
Système aquifère du Rhin supérieur	France, Allemagne Suisse
Système aquifère du Carbonifère	France, Belgique
Système aquifère du Genevois	Suisse, France
Système aquifère de la Montagne et système aquifère côtier de la bande de Gaza	Territoires palestiniens, Israël.

Source : (Machard de Gramont et al ,2010) modifié

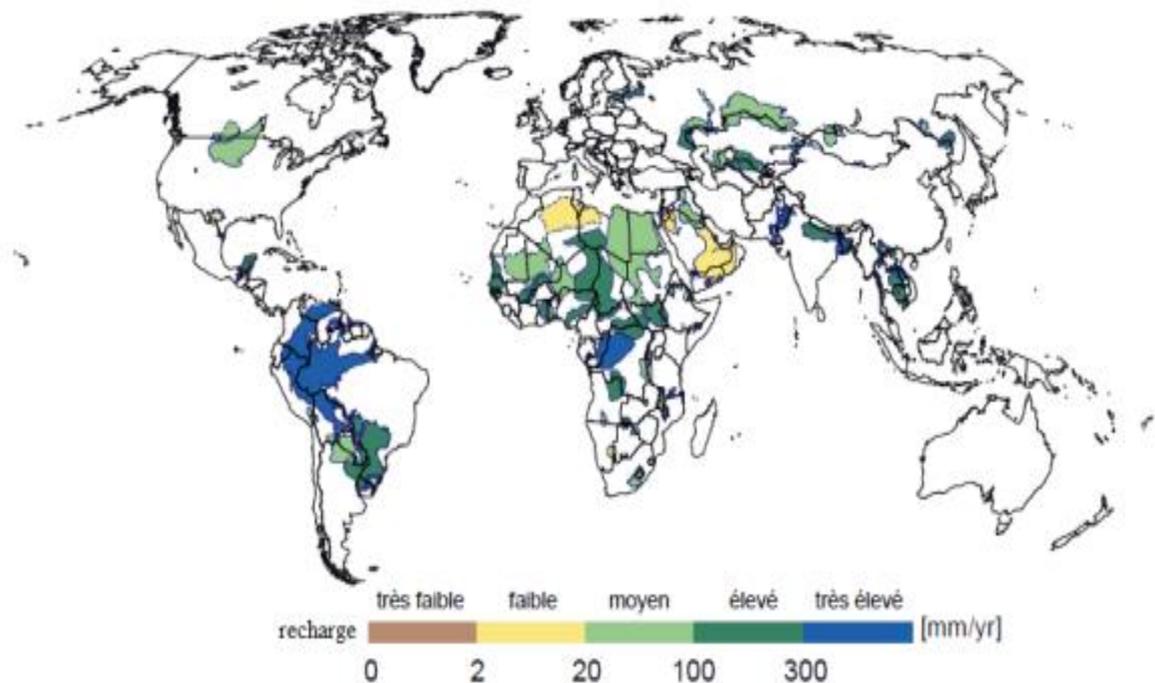


Figure I.3: Le taux de recharges des aquifères transfrontaliers dans le monde.

Source : (PHI-UNESCO et PNUE, 2016).

I.3.LES ENJEUX DE LA GESTION DES AQUIFERES TRANSFORTALIERS

Les aquifères souterrains représentent 90 % des ressources en eau douce de la planète, et de nombreux pays en dépendent de manière quasi exclusive pour assurer leur approvisionnement en eau pour la consommation humaine et pour l'irrigation (Petit jean, 2009). Il existe de nombreux écosystèmes terrestres et aquatiques transfrontaliers dans le monde mais leur exploitation est confrontée à des enjeux de gestion parmi lesquelles nous avons :

Le système aquifère du Taoudéni-Tanezrouft : se caractérise avec des eaux non renouvelables utilisées dans l'alimentation en eau pour la consommation humaine et divers autres usages pour tous les pays qui partagent cet aquifère. Cela cause la baisse de niveau piézométrique. L'exploitation de la ressource est donc de type minière et non-durable (Institut Méditerranéen de l'Eau, 2008 in (Guyomard , 2011)).

Le système aquifère du lac Tchad : Selon Machard de Gramont 2010, les enjeux principaux qui menacent l'aquifère du lac Tchad est la température élevée tout au long de l'année dans le bassin qui a causé un assèchement du Lac Tchad dont la surface s'est réduite de 90 % en 40 ans. Ceci a provoqué aussi le tarissement des ressources en eau avec une concentration importante en fluor au Nigeria et la pollution en nitrate des puits.

Le système aquifère d'Iullemeden : Selon Machard de Gramont 2010, l'aquifère multicouche du bassin des Iullemeden est menacé d'une surexploitation par une augmentation exponentielle des prélèvements qui dépassent la recharge moyenne, Ceci a engendré un déclin de l'artésianisme, une baisse des niveaux piézométriques et de la qualité des eaux (appel à des eaux de plus en plus minéralisées, salinisation des sols) (Guyomard , 2011)) et une pollution à origine industrielle, pollution par les pesticides et les déchets solides et liquides (Machard de Gramont et al. ,2010).

Le système aquifère du bassin sénégal-mauritanien : Selon Machard de Gramont 2010, les principaux problèmes qui menacent ce système aquifère est la pollution par les rejets d'eaux usées, les pesticides, les engrais et le fluor. Aussi, le changement climatique a causé un abaissement des nappes.

Le système aquifère du bassin côtier Ghana-Togo-Bénin Selon Machard de Gramont 2010, aquifère du bassin côtier Ghana-Togo-Bénin est touché par des plusieurs menaces tels que l'épuisement, la salinisation des systèmes aquifères côtiers et la pollution, déficit de recharge dû à une diminution de la pluviométrie et aux aménagements urbains et l'augmentation des besoins en eau potable, du fait de la croissance démographique.

Le système aquifère du Sahara Septentrional (SASS) : les enjeux des aquifères transfrontaliers de SASS sont la baisse du niveau de l'eau régulièrement à cause de forts pompage (observatoire du sahara et du sahel, 2003), accroissement excessif des profondeurs de pompage, remontées de nappes phréatiques (dues aux rejets d'eau usée, par exemple à Ouargla ou El Oued), salinisation des eaux, avec des impacts sur les trois pays, salinisation des sols (Taithe et al. , 2013).

Le système aquifère des Grès Nubiens : Selon Machard de Gramont 2010, Le système aquifère des Grès Nubiens, est en surexploitation en raison de l'utilisation surtout agricole mais également domestique.

Le système aquifère du Stampriet : Selon Machard de Gramont 2010, le Stampriet constitue la source principale d'eau douce pour les activités agricoles (abreuvement du bétail et un peu d'irrigation). Il est peu utilisé en Afrique du Sud et au Botswana. Cet aquifère a un grand enjeu qui concerne la qualité de l'aquifère qui se détériore vers l'Est, avec une salinisation progressive de la Namibie au Botswana.

Le système aquifère du Guarani : Selon Machard de Gramont 2010, le système aquifère du Guarani est menacé par la pollution industrielle, surexploitation de la ressource entraînant des baisses de niveaux piézométrique et le risque d'intrusion saline (secteur lié au Rio Uruguay).

Le système aquifère transfrontalier du bassin du Mékong : Selon Machard de Gramont (2010), le système aquifère du bassin du Mékong a plusieurs enjeux tels que le développement des pays et l'accroissement démographique. Comme les aquifères précédents l'aquifère de Mékong est menacé par la surexploitation, la pollution et la salinisation des systèmes d'aquifères.

Le système aquifère du Rhin supérieur : Selon Machard de Gramont (2010), le système aquifère du Rhin supérieur est une nappe très vulnérable qui correspond à une zone d'agriculture intensive et de forte densité de population. L'agriculture est la plus importante source de pollution (nitrates, phytosanitaires notamment atrazine). Des pollutions chimiques (chlorures) y sont dues à l'exploitation des mines de d'Alsace.

Le système aquifère du Carbonifère : Selon Machard de Gramont 2010, le système aquifère du Carbonifère est une nappe très exploitée pour l'eau potable et l'industrie. Elle est très vulnérable et menacée de pollution par le fluor.

Le système aquifère du Genevois : il y a Risque de contamination en raison de la pression urbaine (hydrocarbures, solvants chlorés) (Machard de Gramont et al., 2010). Les enjeux sont qualitatifs, en raison de la pression urbaine dans la région pouvant entraîner des pollutions par hydrocarbures ou solvants chlorés et en raison de pollutions aux nitrates existant en Suisse (Guyomard , 2011).

Le système aquifère de la Montagne et système aquifère côtier de la bande de Gaza : Les problèmes posés pour le système aquifère de la Montagne et système aquifère côtier de la bande de Gaza est la surexploitation et la salinisation (Petit, 2003), en plus les écoulements naturels diminuent et des biseaux salés se développent (sur le système aquifère côtier) de plus en plus (Machard de Gramont et al., 2010).

I.4.LES ACTIONS MENEES

La gestion des aquifères transfrontaliers partagés entre les différents états reste un problème mondial qu'il faut résoudre. A ce jour beaucoup d'efforts ont déjà porté pour protéger cette ressource avec la création d'organisme (projet, commission, organisation ...) pour faciliter la

concertation entre les pays sur la ressource partagée. Le tableau I.2 synthétise les actions menées sur les aquifères transfrontaliers mondiaux :

Tableau I.2 : Les actions menées pour protéger les aquifères transfrontaliers mondiaux.

Aquifères	Action mené
Taoudéni-Tanezrouft	Aucune action concertée des pays concernés. Ils existent autour l'aquifères des organisations concernant les rivières internationaux tel que : OMVS pour le Mali et la Mauritanie; ABN pour le Burkina Faso, le Mali et le Niger ; SASS pour l'Algérie .Ces organismes pourraient offrir le cadre pour une concertation.
L'aquifère du bassin du Lac Tchad	Commission du Bassin du Lac Tchad (CBLT) créée par les États riverains du lac Tchad et (Convention de Fort Lamy) pour (Cameroun, Niger, Nigeria, Tchad) cette dernière n'oblige pas la gestion partagée.
L'aquifère du bassin des Iullemeden	création projet « Gestion du risque hydrogéologique dans le Système Aquifère des Iullemeden »,
Aquifères du bassin sénégal-mauritanien	-2 organismes existent pour la gestion des fleuves partagés : l'OMVS et l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Gambie (OMVG). -pour la protection des aquifères il y'a toujours une concertation et gouvernance entre les pays
Aquifères du bassin côtier (Ghana-Togo-Bénin)	La création de projet « Gestion conjointe des ressources aquifères partagées » qui n'a pas duré. Il n'existe pas à l'heure actuelle de structure de concertation à l'échelle de du système aquifère entre les 3 pays (Ghana-Togo-Bénin), mais ils font partie de l'Autorité du Bassin de la Volta (ABV) créée en 2009 suite à l'entrée en vigueur d'accord en 2007.
Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)	- ils ont créé une structure technique permanente telle que (études hydrogéologiques, base de données, SIG, modèle hydrogéologique) -mettre en place « Mécanisme de concertation permanent pour SASS» mais il n'y a pas encore une gestion commune »
L'aquifère des Grès Nubiens	-la Signature d'une « Autorité conjointe pour l'étude et le développement des eaux de l'aquifère des Grès de Nubie » Ils ont globalement réussi à obtenir des résultats techniques implorants.
Le système aquifère du Stampriet	-en 2008 la création d'un projet qui permet des études hydrogéologiques et un modèle de gestion d'aquifères. A l'heure actuelle il n'ya aucune gestion transfrontalière mais il y a une proposition de l'Orange- Senqu River Basin Commission (ORASECOM),
Système aquifère du Guarani	-Le « Projet de protection environnementale et de développement durable du système aquifère du Guarani », a conduit une formalisation de coopération entre les quatre pays. - pour aider à la gestion du système aquifère ils ont créé quatre sous projet pilote.
L'aquifères du bassin du Mékong	-la signature d'un accord de coopération pour le développement durable du Bassin du fleuve Mékong, - la création de (Mékong River Commission). - La Chine et le Myanmar sont depuis 1996 « partenaires de dialogue » de l'accord uniquement pour les eaux du Mékong .
Système aquifère du Rhin supérieur	- l'accord de Bonn du 22 octobre 1975 signé entre la France, l'Allemagne et la Suisse entre les pays a créé une« Commission intergouvernementale »pour une coopération transfrontalière sur l'aquifère. - en 1999, la signature d'une convention de la protection de Rhin a remplacé les accords précédents. Dans cette convention ils ont décidé d'étendre les actions communes au bassin versant du Rhin aux eaux souterraines.

Système aquifère du Carbonifère	<p>-en 1994 la création d'une commission de la protection de l'Escaut (CIPE), devenue en 2002 Commission Internationale de l'Escaut (CIE),</p> <p>- En 1997, la signature d'un accord de coopération entre la Région wallonne et la Région flamande relatif à la nappe du calcaire carbonifère.</p> <p>-en 2000 une étude franco-belge de caractérisation du système aquifère a été menée.</p> <p>-deux rencontres en 2002 et 2007 ont eu lieu à Tournai, en 2002 pour un observatoire transfrontalier et le deuxième en 2007 pour affirmer la nécessité de signer une convention tripartite (France-Wallonie-Flandre)</p>
Système aquifère du Genevois	<p>- création d'un accord de caractère technique durant 30 ans intitulé « Arrangement relatif à la protection, à l'utilisation, et à la réalimentation de la nappe franco-suisse du Genevois », il est renouvelé en 2008 pour une même durée, c'est le meilleur exemple de la gestion des aquifères transfrontaliers.</p>
Système aquifère de la Montagne et système aquifère côtier de la bande de Gaza	<p>-L'efficacité de la Joint Water Commission, créée en 1994 par les accords d'Oslo.</p> <p>-l'accord de Genève de 2003, d'origine extra-gouvernementale concernant la définition d'une quantité maximale de prélèvement annuel de chacun des deux pays.</p>

Source : (Machard de Gramont et al., 2010) modifié.

D'après le tableau I.2, on remarque que les accords transfrontaliers fonctionnent bien pour les aquifères européens, tandis que pour les aquifères africains, la plupart des procédures ne sont pas applicables.

I.5.PRINCIPE DE LA GESTION DES AQUIFERES TRANSFRONTALIERS

Selon Diene (2016), les principes relatifs à la gestion des aquifères transfrontaliers sont basés sur :

- une bonne coopération entre les pays en respectant l'équité souveraine, l'intégrité territoriale, du bénéfice mutuelle et du concept de l'utilisation équitable et raisonnable de la ressource en eaux partagées.
- L'exploitation et la gestion des ressources en eaux ne doit produire aucun préjudice et se fait par une intention préalable de ne pas nuire à l'autre partie.
- Les états ont l'obligation de s'informer quotidiennement sur toutes les difficultés rencontrées sur le terrain qui peuvent affecter la ressource transfrontalière.
- Le partage des données entre les états consolide la relation de voisinage pour avoir d'une manière régulière des nouvelles données et de connaissances sur l'aquifère transfrontalier.

CONCLUSION

Les aquifères transfrontaliers, système d'eau souterraine qui se partage entre deux pays différents ou plus, sont de plusieurs types. Il est clair à travers cette revue bibliographique que beaucoup de difficultés sont enregistrées lors de leur exploitation qui sont différentes d'un aquifères à l'autre. Les contraintes rencontrées sont différentes d'un cas à un autre.

Ils convient que tous les pays dans le monde doivent parvenir à trouver une solution définitive aux enjeux qui menacent cette ressource. Pour cela les états et les différentes institutions responsables de la gestion des ressources souterraines doivent s'associer afin de régler ce problème d'une manière scientifique d'une part et politique d'autre part et effectuer une discipline collective, à tous les niveaux (locaux, nationaux, régionaux et mondiaux) pour une exploitation limitée et la protection de ces précieuses ressources.

Il apparait clairement à la fin de ce chapitre que l'aquifère de Zouia qui fait l'objectif de ce travail ne figure pas dans la liste des aquifères transfrontaliers du monde. Dans les chapitres suivants nous essayons de répondre aux questions suivantes : comment est exploité le champ captant de Zouia ? Est ce qu'il y a une convention avec les autorités marocaines ? Est-ce que la gestion de cet aquifère est bien menée ?

*Chapitre II : La mobilisation du champ captant
de Zouia*

CHAPITRE II : LA MOBILISATION DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA**INTRODUCTION**

Dans le cadre du renforcement de l'alimentation en eau potables de la population de la wilaya de Tlemcen, les autorités ont lancé des opérations de mobilisation des eaux souterraines par forages. Parmi les nombreuses campagnes de reconnaissance réalisées jusqu'à ce jour, nous citons celle qui a concerné la zone frontalière Algéro-Marocaine.

Le but de ces forages était de vérifier la présence d'aquifère dans la région de Zouia et estimer la productivité dans l'optique d'utiliser ces ressources pour le renforcement de l'AEP du groupement urbain de Tlemcen (GUT), Maghnia et le couloir ouest de la wilaya de Tlemcen qui comprend Nedroma, Ghazaouet, Bab Al Assa, Souhlia et Souani.

Ce chapitre est consacré à une description détaillée du champ captant à savoir son contexte climatique et géologique ainsi qu'une étude hydro chimique des eaux souterraines captées.

II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La région de Zouia est située sur la frontière Algéro-Marocaine, à une distance de 25 Km au sud-ouest de Maghnia. On y arrive par la route qui relie Maghnia à El Abed (Bensaoula et al., 2005).

D'après la figure II.1, les forages étudiés sont repartis sur une superficie d'environ 10 Km² et se situent en grande partie dans la commune de Béni Boussaid qui est limitée :

- à l'Est, par la commune de Béni-Senouss.
- au Sud par la commune de Bouihi.
- à l'Ouest par le Royaume Marocain.
- au nord par la commune de Maghnia et Sidi Medjahed.

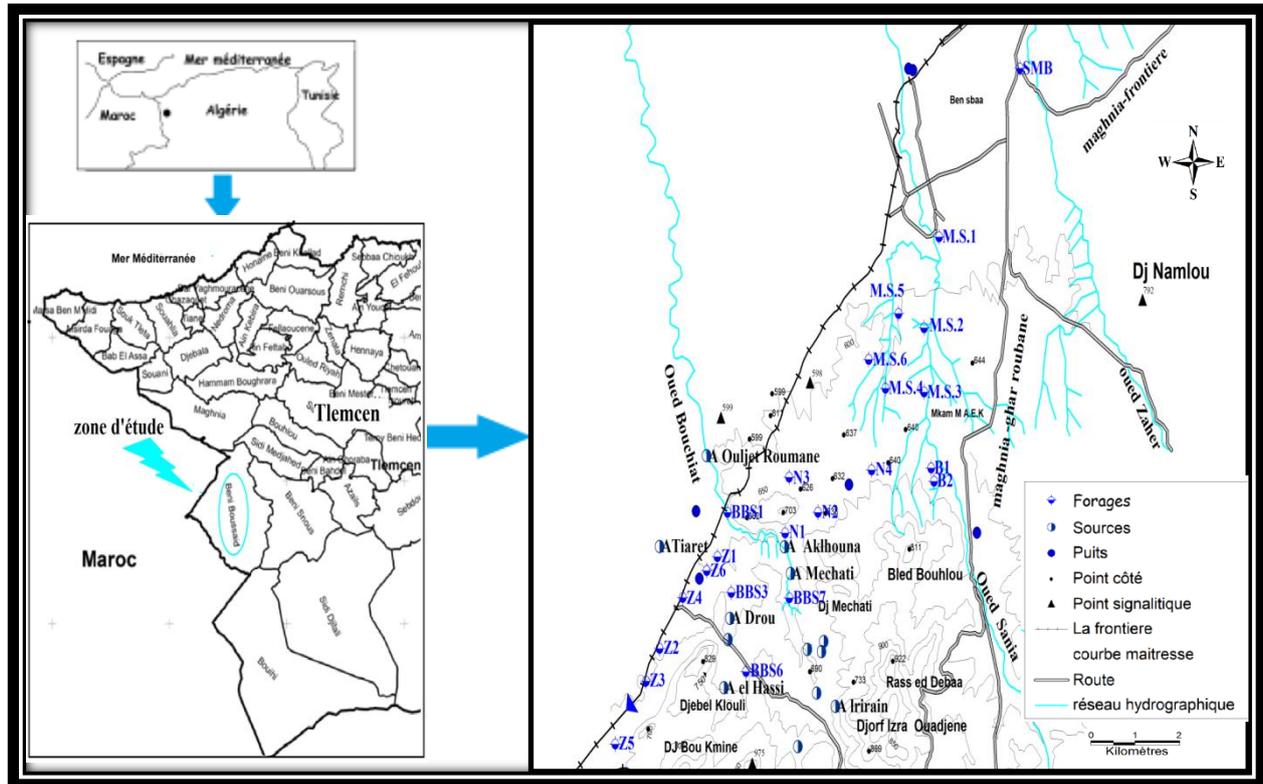


Figure II.1 : La localisation des forages de champ captant de Zouia.

II.2.APERÇU CLIMATOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE

Le climat qui règne sur la région de Zouia est un climat semi-aride avec des précipitations moyennes annuelles mesurées à la station du Barrage de Hammam Boughrara durant la période (1999 – 2018) sont de 283,11 mm.

II.2.1.LES STATIONS DE MESURE

Les caractéristiques des stations de mesures (Maghnia et Hamam Boughara) sont notées dont le tableau II.1 :

Tableau II.1 : Caractéristiques des stations de mesures.

Station	Coordonnés			Période d'observation	paramètres	Source
	Longitude	Latitude	Altitude (m)			
Maghnia	01°73W	34°85N	407m	1979 – 2016	Température	*
Hamam Bougharara	01°64W	34°89N	273m	1999 – 2018	Précipitation	**

*Boukhateb.A, 2018.

**Allam.A, 2017.

II.2.2.ETUDE DE LA VARIATION PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE :

La figure II.2 représente la variation des précipitations annuelles enregistrées à la station du Barrage de Hammam Boughrara au cours de la période (1999-2018), les précipitations oscillent entre 468,3mm observé en (2008/2009) et 157,7 mm enregistré en (2007/2008), avec une moyenne interannuelle de 283,11 mm.

On peut voir aussi sur ce graphe deux périodes de pluviométrie inférieure à la moyenne (2004-2008) et (2013-2018).

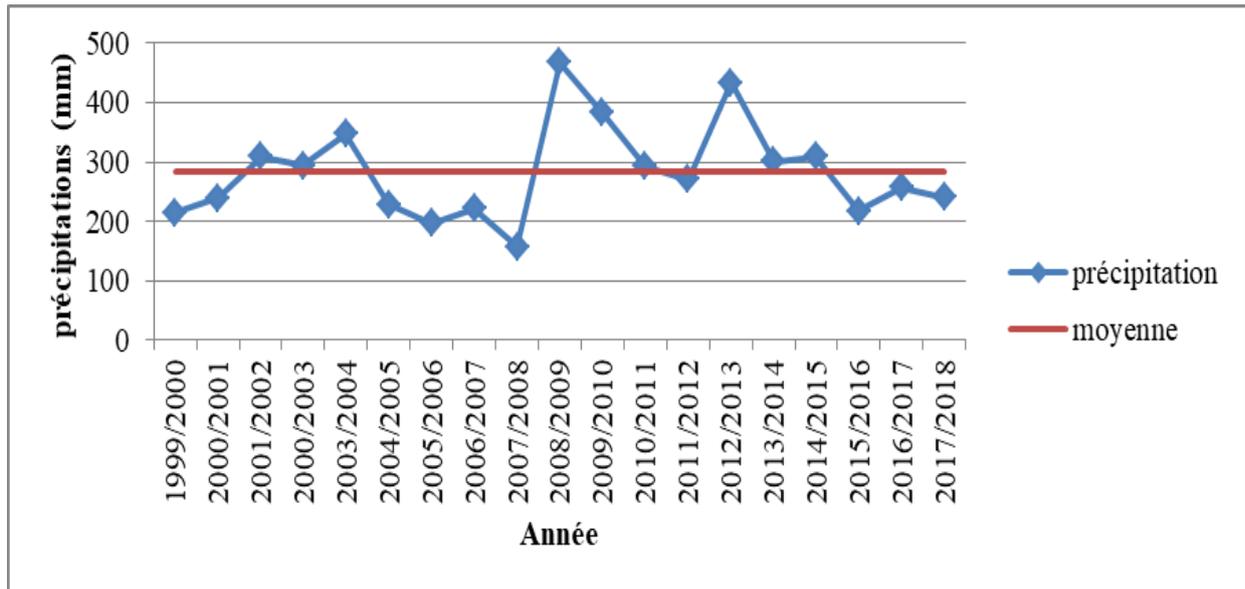


Figure II.2 : Précipitations annuelles à la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 – 2018)

II.2.3.ETUDE DE LA VARIATION PLUVIOMETRIQUE MENSUELLE :

Le tableau II.2 représente la variation des précipitations mensuelles de la station du Barrage de Hammam Boughrara durant la période (1999 – 2018) :

Tableau II.2: Répartition des précipitations moyennes mensuelles de la station du Barrage de Hammam Boughrara en mm (1999 – 2018).

Mois	S	O	N	D	J	F
P (mm)	15,78	32,91	45,75	40,72	41,03	30,73
Mois	M	A	M	J	J	A
P (mm)	25,46	22,55	21,59	3,07	0,84	2,68

D’après la figure II.3 on remarque des fluctuations des précipitations durant les 20 ans d’étude et on remarque que le mois le plus pluvieux est Novembre avec une précipitation de 45,75 mm, en revanche le mois le plus sec est juillet avec une précipitation de 0,84mm.

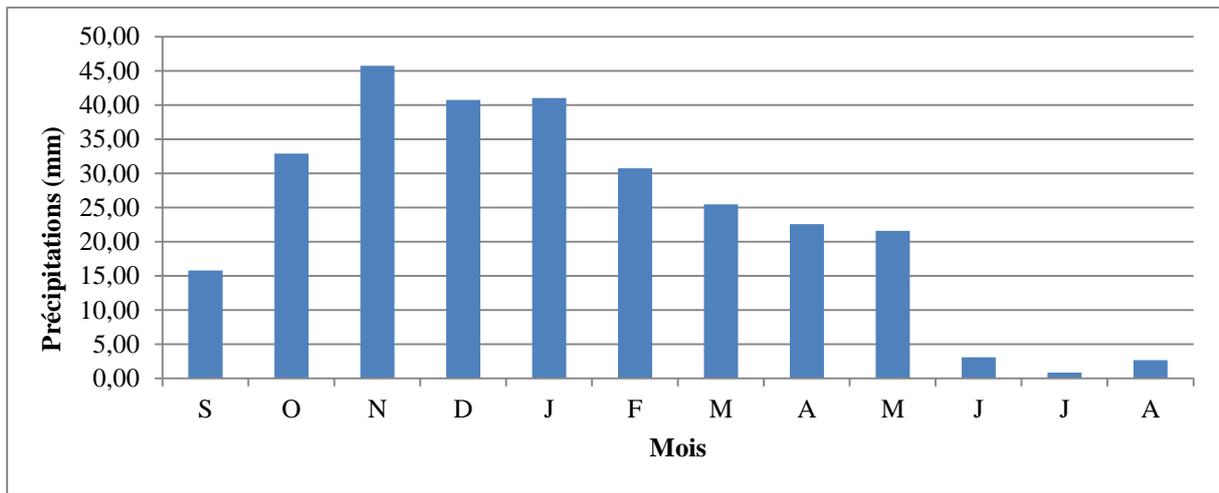


Figure II.3: Précipitations moyennes mensuelles à la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 - 2018)

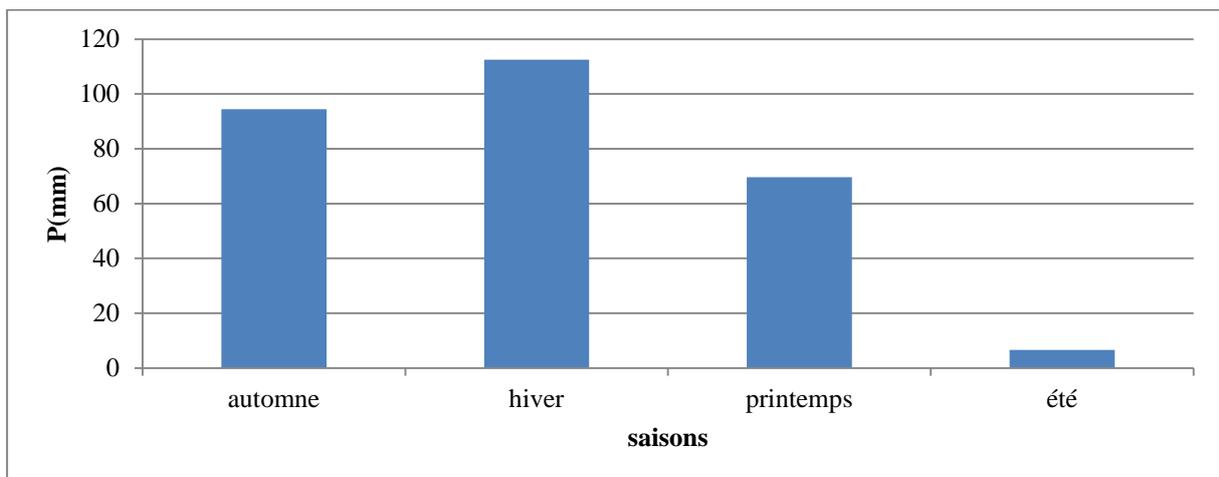
II.2.4.ETUDE DE LA VARIATION PLUVIOMETRIQUE SAISONNIERE :

Le tableau II.3 représente les valeurs des précipitations moyennes saisonnières de la station du Barrage de Hammam Boughrara au cours de la période (1999 - 2018)

Tableau II.3: Répartition des précipitations moyennes saisonnières de la station du Barrage de Hammam Boughrara en mm (1999 - 2018)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Mois	(S.O.N)	(D.J.F)	(M.A.M)	(J.Jt.A)
P (mm)	94,44	112,48	69,61	6,59

La Figure II.4 représente la variation moyenne saisonnière des précipitations durant la période (1999 - 2018) de la station du Barrage de Hammam Boughrara. L'analyse de la figure montre que la saison la plus pluvieuse est l'Hiver et la plus sèche est l'Eté.



FigureII.4 : Précipitations moyennes saisonnières à la station du Barrage de Hammam Boughrara (1999 - 2018)

II.2.5.ETUDE DE LA TEMPERATURE :

La figure II.5 représente la variation des températures moyenne annuelle de la station de Maghnia durant 1979/2016. On remarque des fluctuations de la température qui varie de 21,03 °C (2011) à 15,81 °C (1992) avec une température moyenne interannuelle de 17.84 °C.

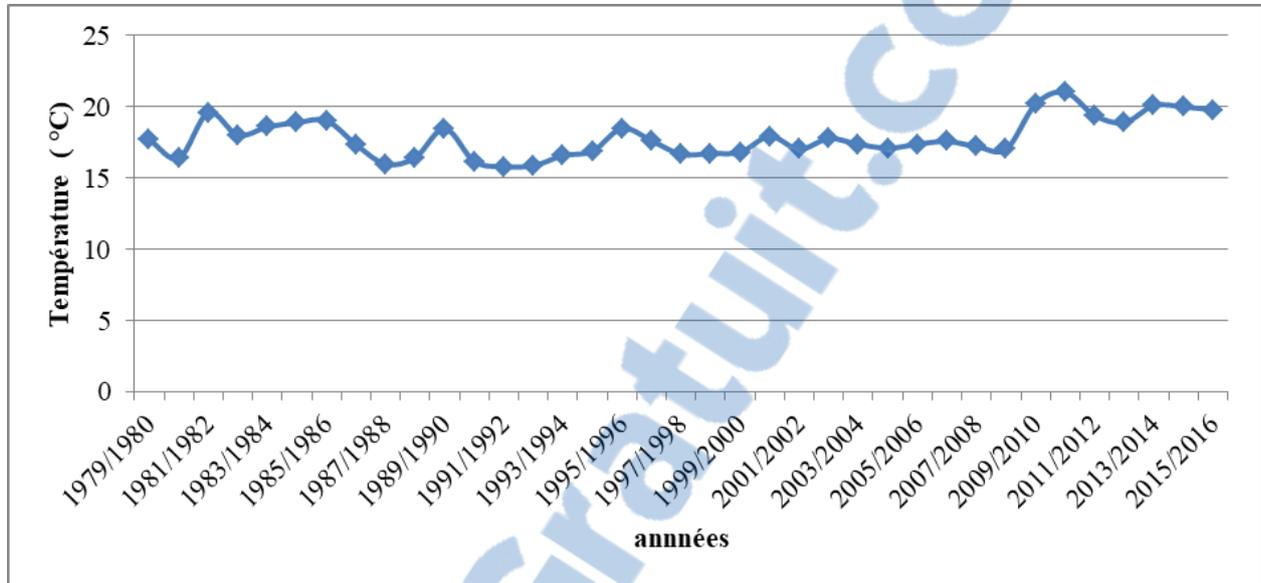


Figure II.5 : Variation des températures moyennes annuelles de la station de Maghnia (1979 -2016)

II.2.6.DIAGRAMME PLUVIOMETRIQUE DE GAUSSEN ET BAGNOULS:

L’indice de Gaussen s’exprime par un diagramme Ombrothermique qui est un type particulier de diagramme climatique représentant les variations mensuelles sur une année des températures et des précipitations selon des gradations standardisées : une gradation de l’échelle des précipitations correspond à deux gradations de l’échelle des températures : $P=2T$ (Benyettou et Bouklikha, 2017).

Un mois est considéré sec lorsque la courbe des températures ($T^{\circ}C$) est supérieure à celle des précipitations ($2T>P$). La partie du graphe comprise entre les deux courbes, traduit à la fois la durée et l’intensité de la sécheresse (Rezgui ,2016).

Tableau II.4 : Précipitations et température moyen mensuelle.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P	15,78	32,91	45,75	40,72	41,03	30,73	25,46	22,55	21,59	3,07	0,84	2,68
T	23,7	19,1	14,7	11,1	9,9	11,2	13,2	15,5	18,8	23,4	26,9	26,9

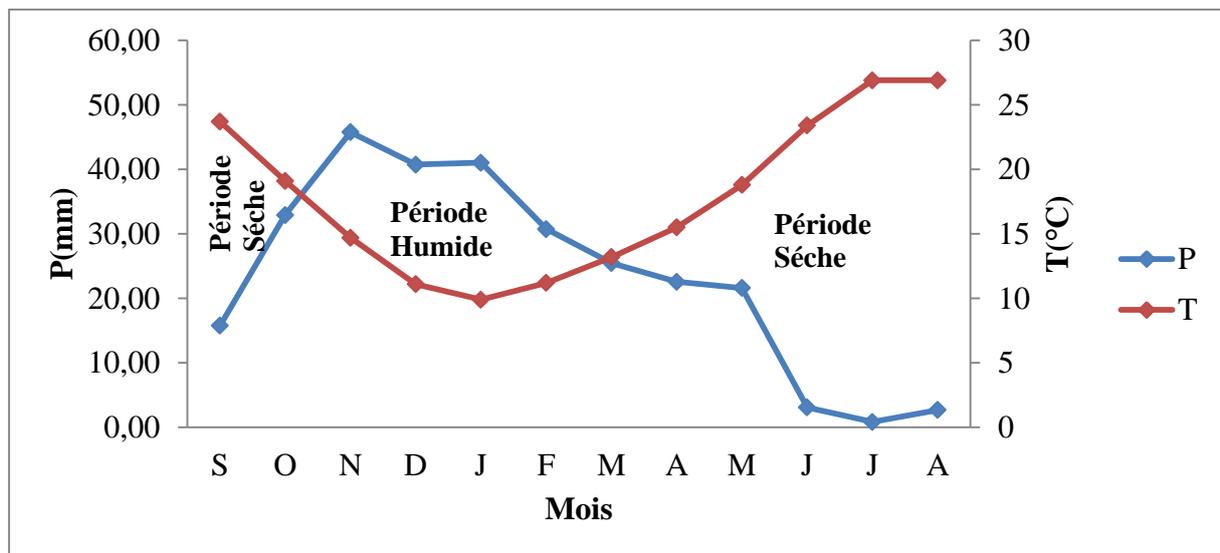


Figure II.6 : Diagramme Ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen à la station de Maghnia (1979-2018)

Après une étude des précipitations et de la température de la zone étudiée, le tracé du diagramme ombrothermique (figure II.6) permet de distinguer des périodes sèches et des périodes humides :

- Une période humide : s'étale d'Octobre à Mars.
- Une période sèche : occupant les mois (Avril, Mai, juin, Juillet, Aout et Septembre).

II.3.CONTEXTE GEOLOGIQUE

La zone concernée par la présente étude se trouve sur le versant nord-ouest du horst de Ghar-Roubane(Bensaoula et al, 2005). Cette zone se trouve au sud de Maghnia qui correspond à l'emplacement d'une fosse où se sont accumulés des sédiments du Miocène ou Quaternaire. (Belkherroubi , 2004). Cette plaine est bordée au sud par les premiers reliefs constitués par les formations du Kimméridgien et du Portlandien (Bensaoula et al, 2005).

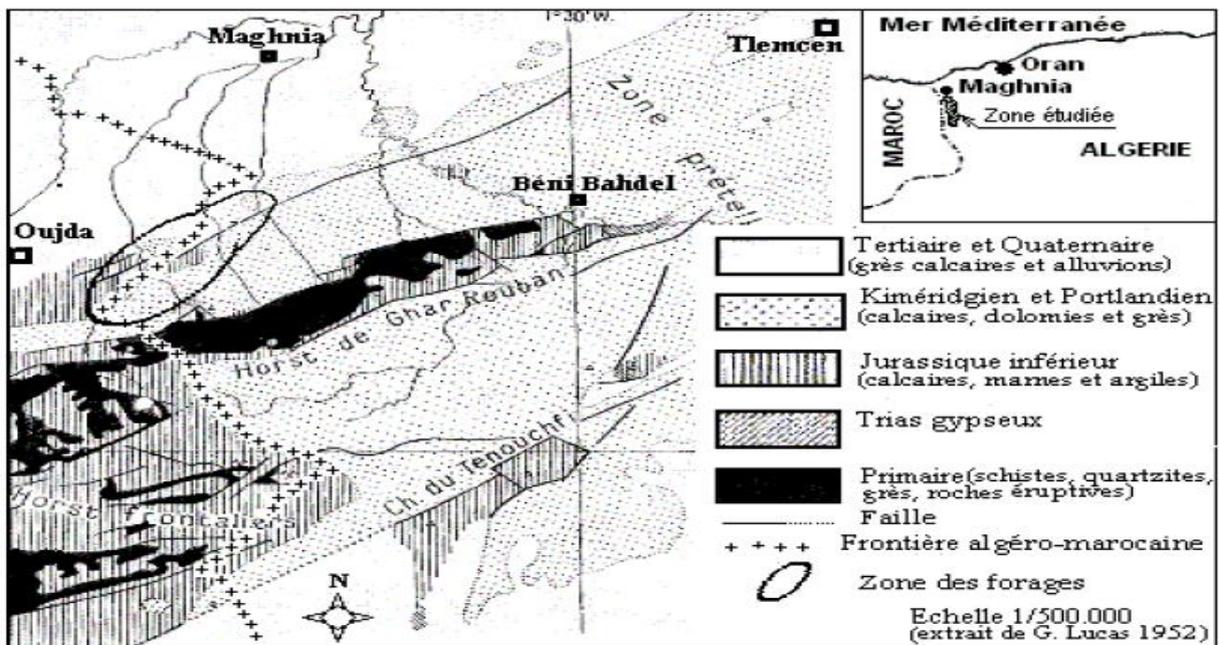


Figure II.7: Contexte géographique et géologique de zone des forages.

Source : (Bensaoula et al., 2005).

II.3.1.DESCRPTION LITHO-STRATIGRAPHIQUE

Les formations du Paléozoïque : affleurent dans le horst de Ghar-Roubane situé au sud de la zone étudiée. Ce sont des formations généralement détritiques avec des épisodes organochimiques (Bensaoula et al., 2005).

Le Permo-Trias : il est visible au nord de Maghnia dans le horst frontalier sur le bord sud du horst de Ghar Roubane), plus spécialement dans (chebket El hamra) à l'ouest de « Touissit » (Boudjema , 2007).

Le Trias : s'est fortement déplacé et a pris des positions diapiriques (Bensaoula et al, 2005).

Le Lias mesure environ 300 m d'épaisseur. Il montre d'abord des calcaires massifs puis des dolomies puissantes et ensuite des calcaires blancs porcelanés du Domérien. Des calcaires argileux à *Cancellophycus* représentent le Toarcien et le même faciès se poursuit dans l'Aalénien avec des bancs plus calcaires, durs, foncés à fossiles siliceux (Bensaoula et al, 2005).

Le Bajocien : Deux parties représentent l'Est du horst: l'une orientale marneuse à ammonites pyriteuses, l'autre occidentale à calcaire oolithique ferrugineux reposant indifféremment sur le Toarcien ou sur le Carixien, ou directement sur le socle (Mimouni et Mahboubi , 2014).

Le Bathonien : Le Bathonien est particulièrement représenté à l'Est par des calcaires micro gréseux, alors que la partie Ouest présente des calcaires à oolithes ferrugineux avec un ciment très hématitisé (Mimouni et Mahboubi , 2014).

Le Callovo-Oxfordien : c'est un ensemble grésopélique avec des alternances de marnes et des épais bancs de grès très riches en ammonites de grandes tailles et des figures de sédimentation liées aux agents hydrodynamiques. A l'activité organique et aux conditions diagénétiques, cet ensemble affleure aux Djebel Tizinbine et Djebels Boukhelal (Madouni, 2013).

L'Oxfordien supérieur au Kimmeridgien supérieur, les grès de Boumediene : cette formation est représentée essentiellement par des sédiments terrigènes à caractères molassiques avec des bioturbations affectant souvent les faciès supérieurs des bancs gréseux. Ces grès à intercalations marneuses et à ciment calcaire sont connus dans les Traras, les monts du Kef, la partie inférieure de talus des Béni-Boussaid et la barrière de Ras Asfour (Boudjema, 2007).

Le kimméridgien-Portlandien : Le Portlandien, est caractérisé par une série de calcaire sublithographique, rarement oolithique ou pseudo oolithique riche en stylolithes. Elles constituent les hautes falaises de Deglen et Khemis (1200m). Aussi des dolomies massives, finement grenus à intercalation de calcaires sublithographiques, et des calcaires argileux (Mimouni et Mahboubi, 2014).

Le miocène : transgressif, il est formé par des grès qui s'appuient directement sur le jurassique au Nord et au sud de la plaine de Maghnia. Plus on s'éloigne de ce contact plus le pourcentage des marnes augmente. Ainsi, les grès sont remplacés progressivement par des horizons argileux ou marneux (500 m d'épaisseur) (Mimouni et Mahboubi , 2014).

Au sommet se trouve une série complexe de dépôts discontinus d'alluvions avec quelques lambeaux de basaltes d'âge plio-quadernaire (Bonnet, 1996 in Bensaoula et al, 2005).

II.4. HISTORIQUE DES FORAGES

L'aquifère profond de la zone frontalière Algéro-Marocaine est capté par un ensemble de forages repartis en deux champs captant :

- Zouia 1 qui comprend 10 forages était réalisé en 2002 dans le cadre du programme d'urgence destiné à renforcer l'alimentation en eau potable du couloir ouest et Maghnia et mise en service en 2004 avec une production moyenne de 20000 m³/j (ADE).

- Zouia 2 qui comprend 12 forages était réalisé en 2009 destiné pour satisfaire les besoins en eau potable du groupement urbain de Tlemcen et mis en service en 2011 avec une production moyenne de 20000 m³/j (ADE).

- Les premiers forages ont été implantés après une étude géophysique par sondage électrique et sur la base des photographies aérienne à l'échelle 1/20000 mené en 2001 pour le compte de l'ANRH (Bensaoula et al, 2005).

-En 2010 le champ captant de Zouia 1 est mis en veille à cause d'une rupture au niveau de la conduite de 500 mm qui relie les eaux de Zouia avec le réseau de BMG (Bouhlou, Maghnia, Ghazaouat) et un fort rabattement de la nappe. ce scénario crée un déficit en eau de l'ordre de 9154,33 m³/j (Hadjila et Saber, 2017).

-En mai 2011 la SDEM (station de dessalement de Souk Tlata) a été mise en service pour couvrir les besoins en eau potable d'une population de plus de 300 000 habitants. Les forages du champ captant de Zouia sont mis en veille (Mahamedi et Brahami , 2016).

-Le champ captant de Zouia est réutilisé en 2016 à cause d'un manque de production de la station de dessalement d'eau de mer de Souk Tleta (50 000 m³/jour) au lieu de 200 000 m³/jour). A cet effet, ces deux champs captant sont mis en marche pour sécuriser l'alimentation en eau potable de la ville de Maghnia et le couloir Ouest (Nedroma-Ghazaouet-Souahlia).

-Selon l'ADE (algérienne des eaux) la surexploitation de la nappe de Zouia durant l'année 2016 a provoqué un fort rabattement dans le champ captant de Zouia 02, pour compenser le volume de la SDEM de Souk Tleta. Ce problème a provoqué un arrêt de six forages. En mai 2018 un programme d'urgence est lancé par la direction des ressources en eaux de Tlemcen pour une opération de réhabilitation et développement de six forages pour améliorer la production, vu que le problème de la production de la station de dessalement existe toujours.

Tableau II.5: Cadre de réalisation des forages de Zouia, entreprise de réalisation et la durée.

Nom de forage	Le cadre de l'opération de financement	Entreprise de réalisation	Période de réalisation	Durée de réalisation
Z5	Renforcement de l'AEP de la wilaya de Tlemcen	YUFIE	07/2002 au 11/03/2003	8 mois
Z2		Génie forage	06/2001 au 02/2003	1 an et 8 mois
Z3			06/01/2003 au 02/03/2003	2 mois
Z4		STEEP forage	04/02/2003 au 15/08/2003	6 mois
MS3	Transfert des eaux du champ captant de zouia	YUFIE	08/2007 au 03/2008	7 mois
MS4			09/2007 au 03/2008	6mois
MS5			09/2007 au 03/2008	6mois
B2			06/2007 au 9/2007	3 mois
N3		SHAOLIN	08/2007 au 04/2008	8 mois
B1	Programme inventaire de l'ANRH concernant la connaissance par forage hydraulique	YUFIE	29/09/2003 au 21/04/2004	6mois
Z6	Réhabilitation de 11 forages d'exploitation de wilaya de Tlemcen	YUFIE	09/03/2005 au 30/07/2005	4 mois

II.5. CARACTERISTIQUES DES FORAGES DU CHAMP CAPTANT

Le forage d'eau est une infrastructure inscrite aujourd'hui dans un cadre de développement durable, de gestion et de protection de la ressource (Bouselsal , 2013). Nous donnons dans ce qui suit les principales caractéristiques des forages de Zouia.

II.5.1.LA PROFONDEUR

La figure II.8 montre que la profondeur des forages varie d'un forage à l'autre, de 285 m (N1) à 1240 m (MS3) avec une longueur totale forée de 15,192 km. Ce sont des forages généralement profonds.

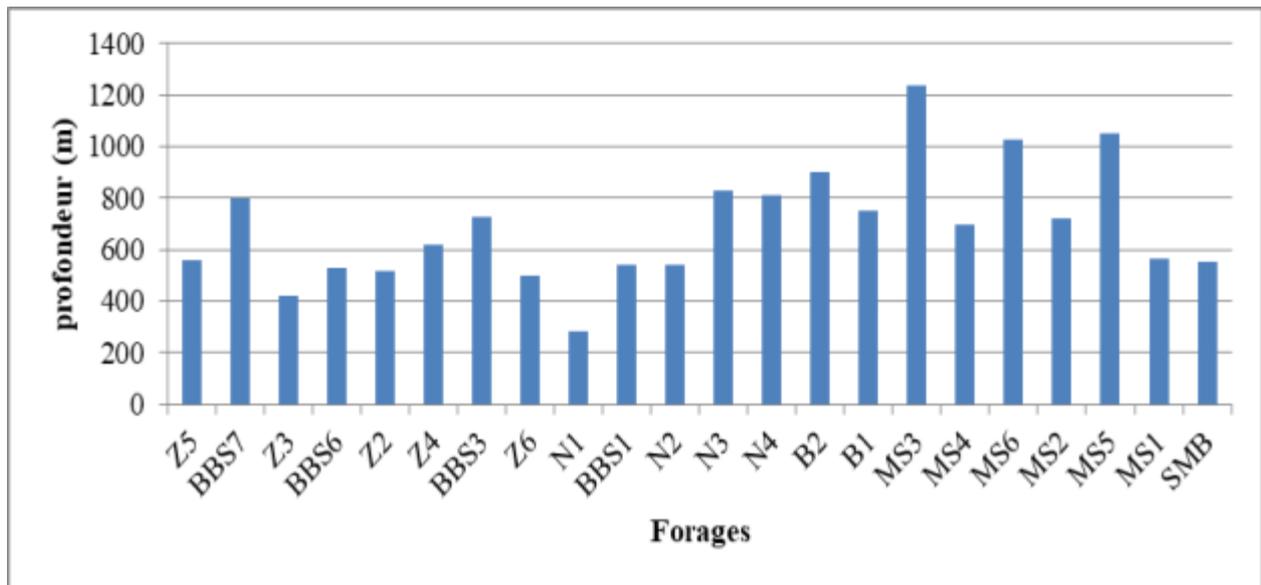


Figure II.8 : Les profondeurs des forages.

Dans ce qui suit nous nous sommes intéressés à identifier dans chaque forage, sur la base de sa coupe lithologique, la côte du toit de l'aquifère. Les dolomies qui constituent le principal niveau productif constituent une longueur cumulée (pour l'ensemble des forages) de 2268 m tandis que les couches de couverture non productives cumulent une longueur de 6616 m (voir la figure II.9 et Tableau II.6).

Tableau II.6 : Longueur totale forée dans les dolomies et les couches de couverture

Forage	dolomies	Couverture
Z1	10	311
Z 2	279	241
Z3	240	180
Z4	250	250
Z5	409	151
Z6	93	407
B2	170	730
B1	137	663
MS1	47	613
MS3	130	1110
MS4	433	330
MS5	50	1000
SMB	20	630
Total	2268	6616

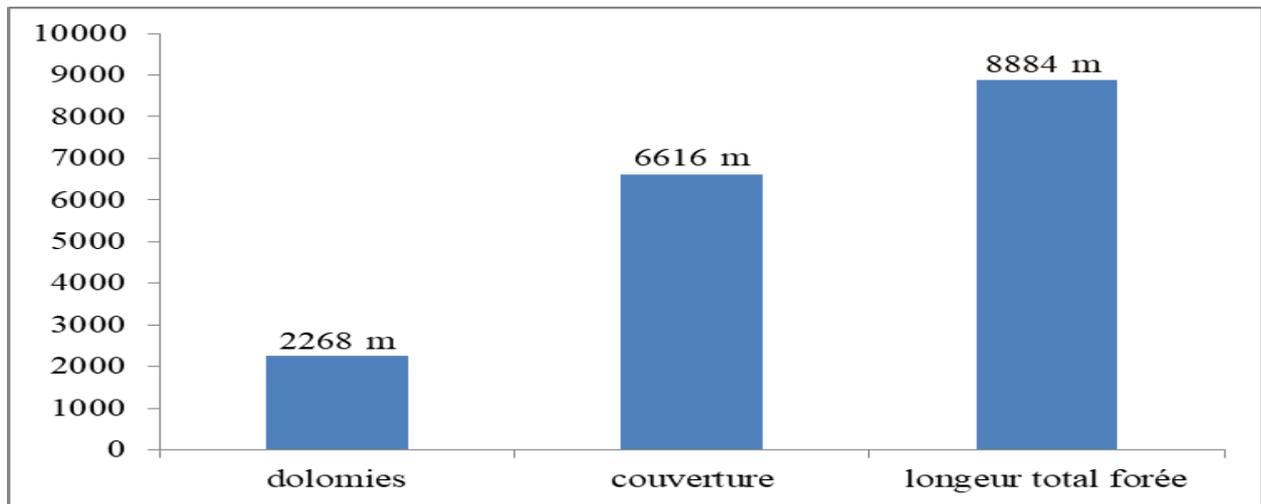


Figure II.9 : Longueurs forées des forages du champ captant de Zouia.

Les couches de couverture correspondent aux formations gréseuses et grésopélitiques de l’Oxfordien et du Callovo-Oxfordien qui sont globalement non productives. La longueur forée dans les dolomies productives du Bajo- Bathonien ne représente que 26 % du linéaire total réalisé.

II.5.2 LE DIAMETRE DES FORAGES.

En moyenne les forages du champ captant de Zouia ont été forés avec l’outil de diamètre de 17’’1/2 et équipés avec des tubages pleins API (American Petroleum Institute) de diamètre 13’’3/8, et des crépines de diamètre inférieur. La jonction a été faite par des cônes de réduction de 9’’5/8. La cote du changement de diamètre varie de 300 m (Z3, Z2, Z4, Z6 et N1) à 420 m (MS5). Ceci est illustré par la figure II.10. La réduction du diamètre est due particulièrement à des raisons économiques et des contraintes techniques telle que (dureté de terrain, capacité de la machine, etc....)

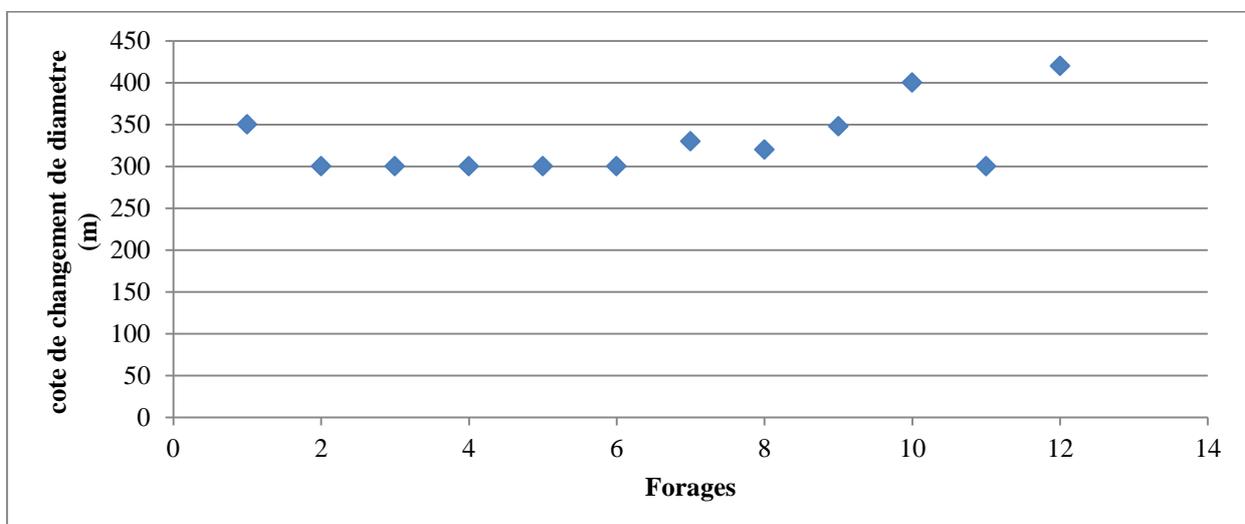


Figure II.10 : Côte de changement du diamètre d’équipement des forages

II.5.3.LE NIVEAU STATIQUE

Le niveau statique dans les forages du champ captant de Zouia est assez profond. La figure II.11 montre que 54,54% des forages présentent un niveau statique d'une valeur comprise entre 100 à 130 m de profondeur. Ceci rend le coût des ouvrages élevé et leur exploitation coûteuse.(Bensaoula et al, 2005). Le niveau statique le moins profond est enregistré dans le forage MS1 où il est à 23 m et le plus profond est à 155.75 m observé dans le forage BBS6.

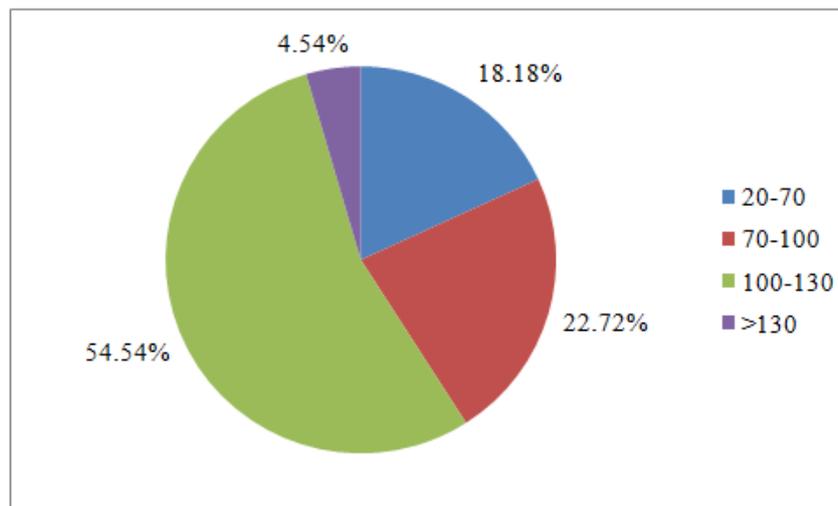


Figure II.11 : La variation des niveaux statiques dans les forages du champ captant de Zouia.

II.5.4 LE DEBIT DES FORAGES

La figure II.12 montre que 54.55% des forages du champ captant de Zouia ont un débit compris entre 20-30 l/s et 45.45 % des forages avec un débit qui oscille entre 30-50 l/s. Il est à remarquer que les forages étudiés présentent des débits importants.

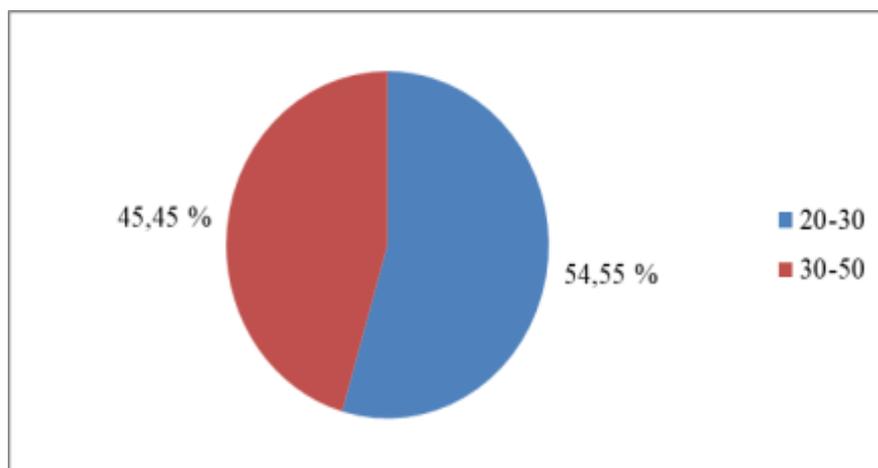


Figure II.12 : La variation des débits des forages du champ captant de Zouia.

II.5.4.1. Les essais par pompages

Il consiste à abaisser par pompage la surface piézométrique de la nappe et à mesurer, en fonction du temps, les variations du niveau de cette surface ainsi que le débit pompé. Le pompage est effectué dans un puits et l'évolution dans le temps de la surface piézométrique est suivie au moyen de piézomètres implantés aux alentours du puits (Moulay et Seddiki, 2017).

Selon CICR (Comité international de la Croix-Rouge), 2011, l'essai par palier est conçu pour déterminer le rapport à court terme entre le rendement et le rabattement du forage testé. Il consiste à effectuer des pompages dans le forage, avec une série de paliers à débits différents, le débit augmentant habituellement à chaque palier.

- Commencer par un débit de pompage faible, et l'augmenter à chaque palier, sans débrancher la pompe entre les paliers.
- Prévoir 4 à 5 paliers au total.
- Tous les paliers devraient avoir la même durée de 60 à 120 minutes.
- Le débit du dernier palier devrait être égal ou supérieur au débit d'exploitation.

Pour les forages du champ captant de Zouia nous n'avons pu trouver que trois essais par paliers correspondant aux forages N3, B2 et MS3. Les courbes caractéristiques tracées ne permettent aucune interprétation valable. Pour cette raison nous n'avons pas considéré ces essais dans notre travail. Les anomalies suivantes ont été relevées :

- Pour le forage N3 on remarque que pour le même débit de 31 l/s il existe deux rabattements différents ;
- Les paliers ne correspondent pas à des débits graduellement croissants ;
- Des paliers à débits égaux donnent des rabattements différents (MS3) ;
- Le niveau statique au début de chaque palier n'est pas le même (N3).

II.6. LES COUPES GEOLOGIQUES SYNTHETIQUES

La figure II.13 présente des coupes synthétiques orientées du Sud Ouest vers le Nord Est. On a précisé les parties productives (dolomies) et non productive (couverture), niveau de perte totale de boue, les niveaux statiques et les failles probables dans cette zone qui se présente en Horst et Graben.

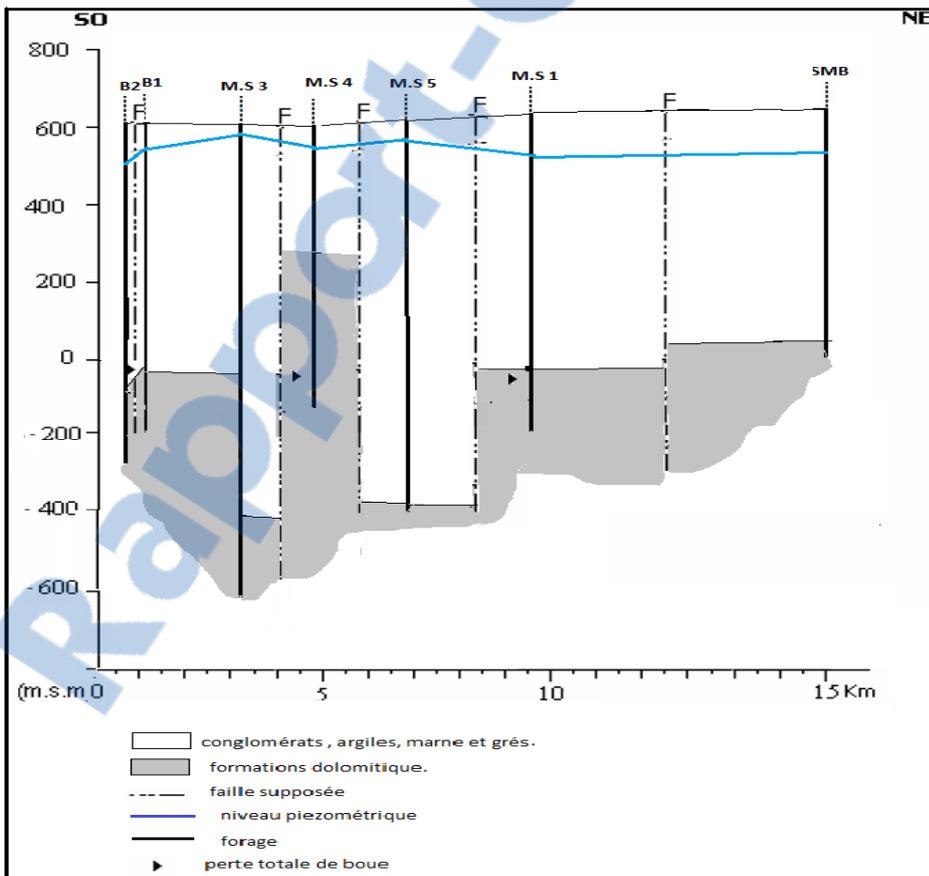
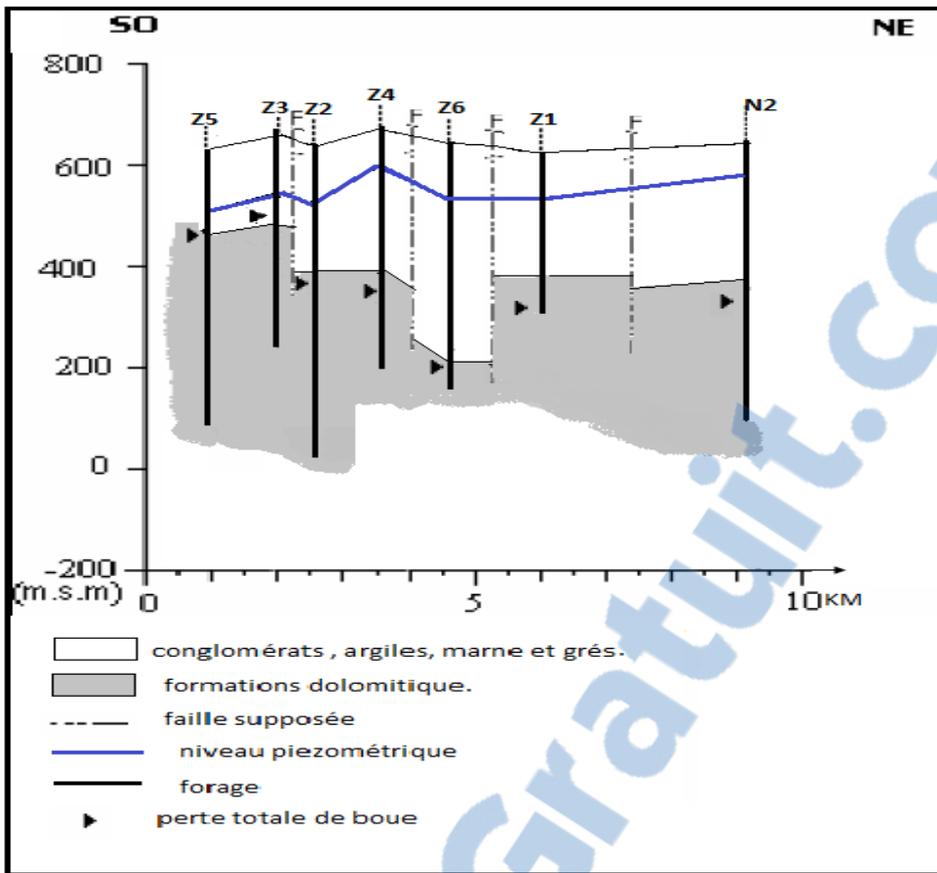


Figure II.13 : Coupes géologiques et hydrogéologiques synthétiques

D'après les figures II.13 synthétiques des informations géologiques et hydrogéologiques des 13 coupes lithologiques disponibles on distingue que :

- Les forages se situent dans une zone structurellement faillée.
- Ils sont tubés jusqu'au toit des dolomies ceci permettrait une alimentation de la nappe contenue dans les grès par la nappe ascendante des dolomies (Bensaoula et al, 2005).
- Le niveau statique est presque le même pour toute la nappe.
- En allant du sud-ouest vers le nord-est de Z5 à N2 et de B2 à SMB , on remarque que le toit des dolomies du Bajo-Bathonien est plus profond.
- L'altitude est comprise entre 560 m (Z5) et 540 m (N2) pour la coupe 1, et de 645m (SMB) à 629 m (B2) pour la coupe 2.

II.7. LES PERTES DE BOUE DANS LES FORAGES

Dans le forage toute perte de boue indique au foreur un changement de pression (dépression en l'occurrence dans le milieu foré), elle indique généralement la présence de systèmes de fractures naturelles dans les terrains traversés (ADEME et al., 2016).

-La longueur totale forée dans les dolomies du champ captant de Zouia est de 2268m où 9 pertes totales de boue ont été enregistrées. La fréquence des pertes est de 4 pertes/km. La cause principale des pertes totales de boue dans la zone étudiée est la large fissuration des dolomies voire leur karstification.

II.8. QUALITE PHYSICO CHIMIQUE DES EAUX

La minéralogie de la plupart des eaux est dominée par huit (8) ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, potassium, sodium et les anions: chlorures, nitrates, bicarbonates et sulfates (Moussa Nomao , 2017).

II.8.1. ANALYSES PAR LA BALANCE IONIQUE

La méthode des balances ioniques permet de contrôler la qualité des analyses effectuées sur les éléments majeurs. Cette démarche de validation est un préalable indispensable à la présentation des résultats d'analyse et à leur interprétation (Ollagnier et Vittecoq, 2007).

Le calcul des balances ioniques se fonde sur la relation suivante :

$$\text{NICB} = 100 \times \frac{|\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}|}{\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}}$$

Où :

NICB (Normalized Inorganic Charge Balance) : La balance ionique exprimée en pourcentage,

- $\sum \text{Cations}$: La somme des cations (unités en meq/l),
- $\sum \text{Anions}$: La somme des anions (unités en meq/l).

Tout écart doit ainsi être interprété comme un biais induit lors de l'analyse. En règle générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante :

- $-1\% < \text{NICB} < 1\%$: Fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- $-5\% < \text{NICB} < 5\%$: Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- $-10\% < \text{NICB} < 10\%$: Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- $\text{NICB} < 10\%$ ou $\text{NICB} > 10\%$: Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses (Ollagnier et Vittecoq, 2007).

De nombre de 33 analyses des eaux des forages du champ captant de Zouia : 52 % des résultats d'analyses présentent une fiabilité excellente, 39% Fiabilité acceptable, et 9% Mauvaise fiabilité

II.8.2.LA TEMPERATURE DE L'EAU

Les eaux profondes du champ captant de Zouia sont généralement des eaux à haute température. En effet cette dernière joue un rôle important dans la solubilité des sels dissous et dans l'activité chimique et aussi il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau (Nechem , 2009).

D'après le tableau II.7, selon leur température les eaux sont classées :

Tableau II.7 : Classification de l'eau selon la température d'émergence.

Désignation	Température à l'émergence
Eaux froides	Moins de 20°C
Eaux hypothermales	20°C à 35°C
Eaux thermales	35°C à 50°C
Eaux hyperthermales	Au-dessus de 50°C

Source : (Bézèlges-Courtade et Bes-De-Berc, 2007)



Dans la zone concernée par notre étude, la température des eaux des forages du champ captant de Zouia varie de 21 °C à 47°C, et selon le tableau II.9 ces eaux peuvent être classées en deux catégories :

- La catégorie des eaux hypothermales regroupe 11 forage (Z5,Z3 ,Z2,Z4 ,N3,MS3, MS2, MS5, SMB,BBS1) d'une température variant de 20 °C à 35°C .
- La catégorie des eaux thermales comprend les forages suivant :(N1,N2 ,N4,B2 ,B1, MS3 ,BBS7, MS4,MS6et MS1) d'une température variant de 35 °C à 47 °C .

On distingue à partir de la figure II.14 que les forages Z5, Z3, Z2, Z4, Z1, BBS1 et N3 captent la même tranche de l'aquifère avec une eau hypothermale, tandis que les forages N1, N2, N4, B2, B1 une tranche d'aquifère d'une eau thermique.

L'augmentation de la température des forages du champ captant de Zouia semble être fonction de la profondeur.

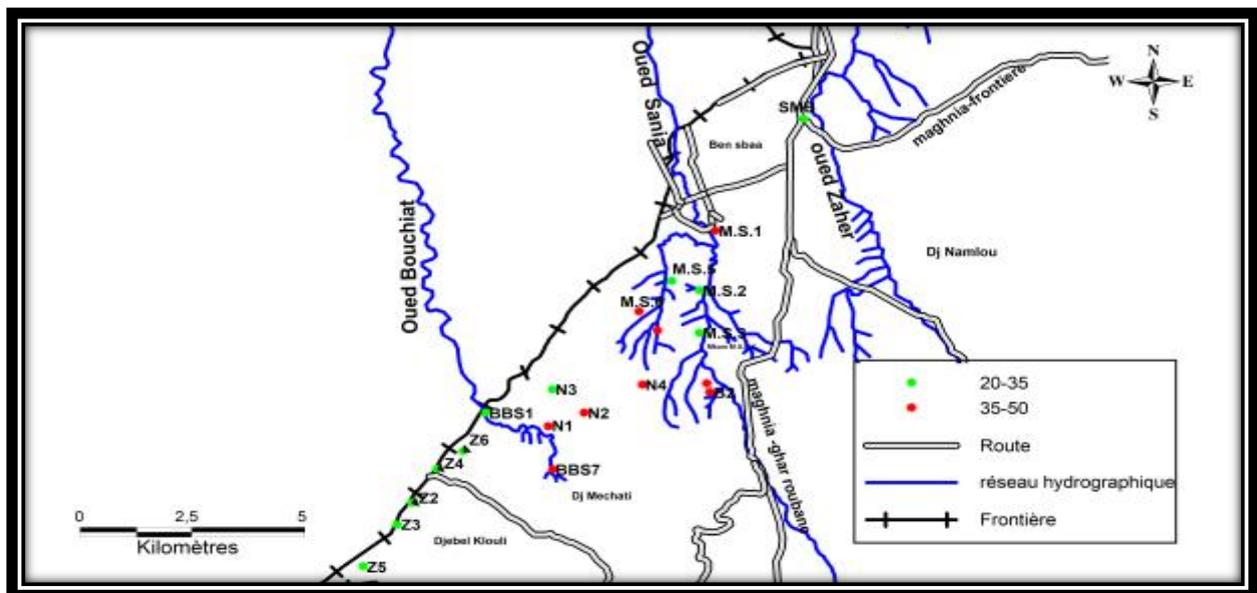


Figure II.14: Répartition des forages du champ captant de Zouia classés selon la température de l'eau

II.8.3.Le pH :

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes H⁺ présents dans cette eau (Moussa Noma, 2017). Une eau de pH égal à 7 est dite neutre. Une eau de pH inférieur à 7 est dite acide, et inversement une eau de pH supérieur à 7 est dite basique (Ollagnier et Vittecoq, 2007). La nature des terrains traversés par les eaux est la cause naturelle, provoquant des variations importantes du pH. (Nouayti et al, 2015).

La figure II.15 montre que le pH des eaux des forages de champ de Zouia varie de 6.79 (N1) à 7.63(SMB).

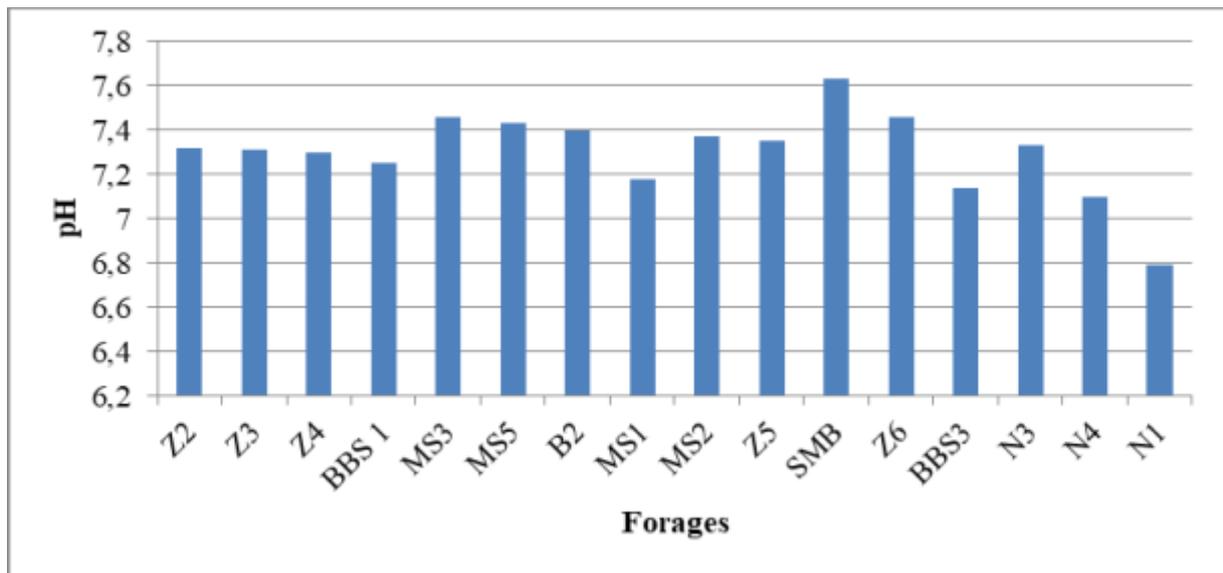


Figure II.15 : Variation du pH des eaux de forages du champ captant de Zouia.

II.8.3.LA CONDUCTIVITE

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau (Ghazali et Zaid , 2013). Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température, elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$. La conductivité donne une idée sur le degré de minéralisation (Nouayti et al, 2015).

La conductivité électrique est élevée pour les eaux souterraines de Zouia. Elle varie entre 774 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (SMB) et 1827 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MS5). D'après la figure II.16 on remarque que la conductivité électrique est importante sur tout le champ captant. On peut observer aussi que la conductivité des forages devient importante lorsque la température augmente.

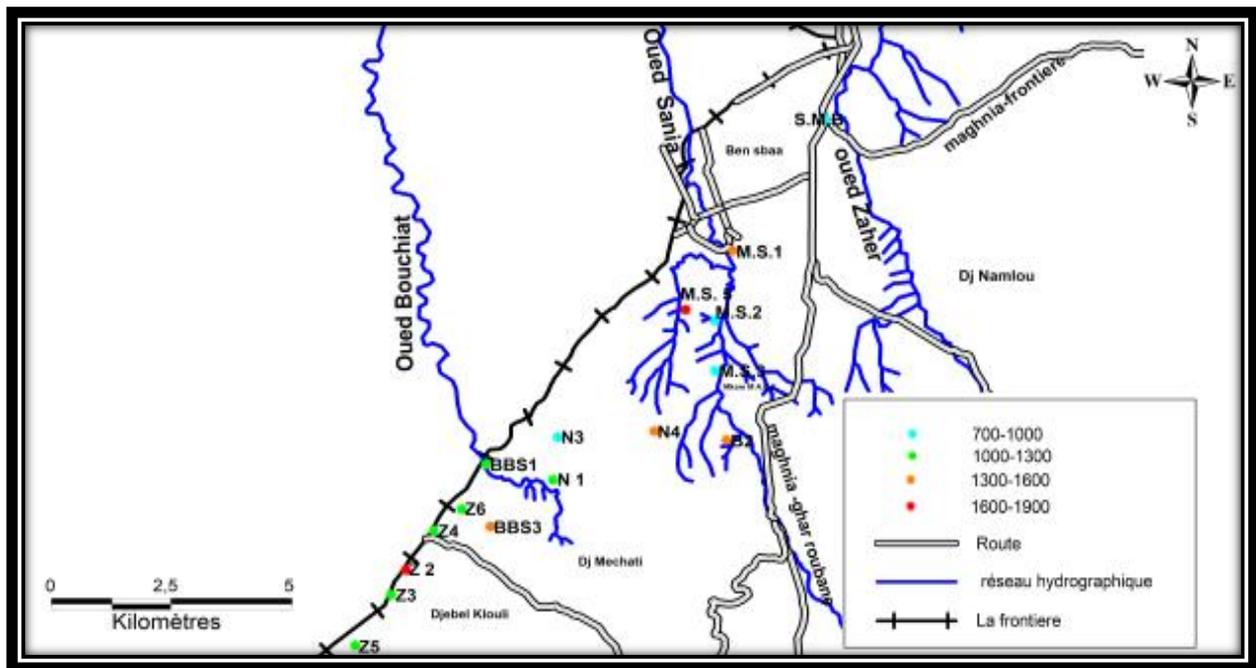


Figure II.16: La répartition de la conductivité des forages de champ captant de Zouia

II.8.4.LA MINERALISATION

La minéralisation d’une eau présente la quantité total de sels dissous exprimée en milligrammes par litre d’eau (AFSSA, 2008), Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d’une eau et sa conductivité. Toutefois, La minéralisation déterminée par pesée de l’extrait sec n’est pas rigoureusement identique à celle calculée à partir de la conductivité. (Rodier, 1980).

La minéralisation a été calculée à partir des formules disponibles dans le tableau II.8 :

Tableau II. 8: Formules de calcul de la minéralisation.

conductivité (µS/cm)	Minéralisation (mg/L)
Pour une conductivité comprise entre 333 et 833 µS/cm	$0,715920 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20^\circ \text{ C}$
Pour une conductivité comprise entre 833 et 10000µS/cm	$0,758544 \times \text{conductivité } (\mu\text{S/cm}) \text{ à } 20^\circ \text{ C}$

Source :(Rodier, 1980).

Les eaux des forages du champ captant de Zouia ont une minéralisation relativement forte qui varie de 554,12 mg/L (SMB) à 1385,85 mg/L (MS5) (voir la figure II.17 et le tableau II.9).

Les fortes minéralisations ont été acquises à des profondeurs importantes par un lessivage des formations carbonatées mises en évidence par les forages et les formations évaporitiques du Trias sous-jacent (Bensaoula et al, 2005).

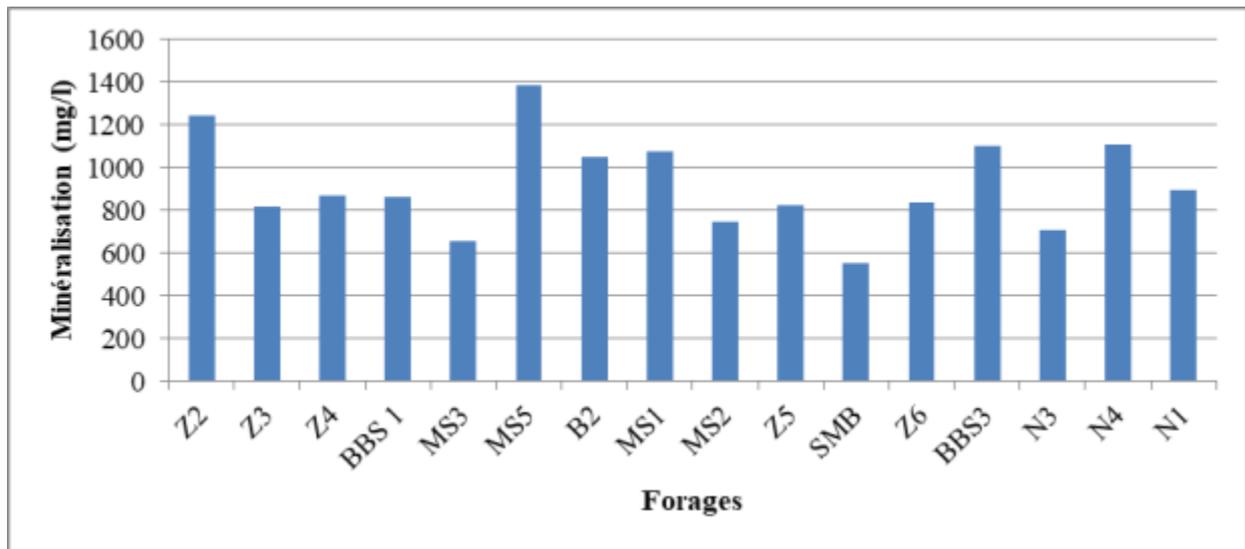


Figure II.17: La variation de la minéralisation dans le champ captant de Zouia.

Tableau II.9 : Calcul de la minéralisation à partir de la conductivité

Forage	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation (mg/l)	Catégories
Z3	1079	818,47	Les eaux moyennement minéralisées 500-1000 mg/l
Z4	1147	870,05	
BBS1	1137	862,46	
MS3	865	656,14	
MS2	987	748,68	
Z5	1086	823,78	
SMB	774	554,12	
Z6	1108	840,47	
N3	938	711,51	
N1	1184	898,12	
BBS3	1452	1101,41	Les eaux minéralisées 1000-1500 mg/l
N4	1465	1111,27	
MS5	1827	1385,86	
B2	1384	1049,82	
MS1	1420	1077,13	
Z2	1642	1245,53	

II.8.5.LE RESIDU SEC

Il représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenus dans l'eau, obtenue par pesées après dessiccation de l'échantillon à 110°C (Belhamdou, 2013). D'après la figure II.18, les eaux souterraines étudiées présentent des résidus secs élevés qui varient de 650 mg/l (MS3) à 2800 mg/l (MS5) tout en restant en dessous des normes de potabilité. Les valeurs de résidu sec ont une tendance à évoluer dans le même sens que la température de l'eau.

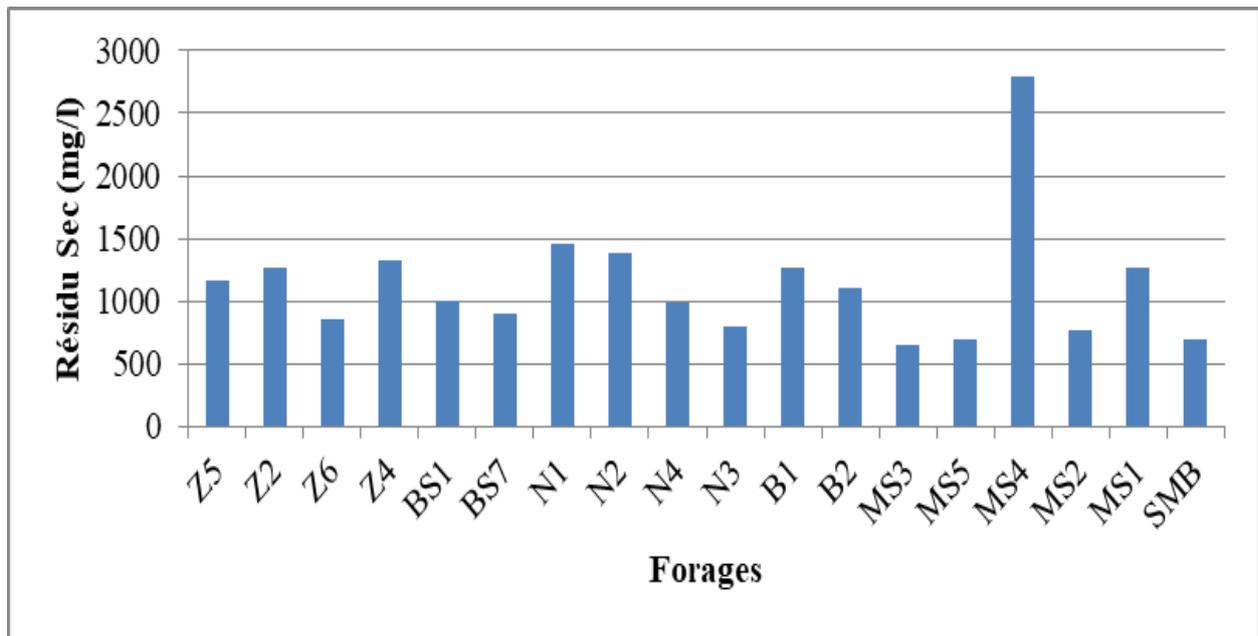


Figure II.18: La variation de résidu sec des eaux des forages du champ captant de Zouïa.

II.8.6.LA CLASSIFICATION DES EAUX

Le tableau II.10 ci-dessous présente la classification des eaux du champ captant de Zouïa, selon l’anion et cation prédominant, en trois groupes :

Tableau II.10 : Classification des eaux des forages.

Groupe	Forage	Type	Facies	
Eaux Chlorurées	Z5(1)	Na>> Mg>Ca	Cl> HCO ₃ >>Cl	Chloruré Sodique
	Z5(2)	Na	Cl>= HCO ₃	Chloruré Sodique
	N1(3)	Na	Cl>= HCO ₃	Chloruré Sodique
	N2 (1)	Na	Cl> HCO ₃	Chloruré Sodique
	N4	Na	Cl> HCO ₃	Chloruré Sodique
	M.S.1(1)	Na >> Mg >Ca	Cl >>> HCO ₃	Chloruré Sodique
	M.S.1(2)	Na > Mg	Cl > HCO ₃	Chloruré Sodique
	M.S.1(3)	Na	Cl	Chloruré Sodique
	B2(2)	Na	Cl> HCO ₃	Chloruré Sodique
	M.S.4	Na	Cl	Chloruré Sodique
	N2(2)	Ca> Mg>Na	Cl> HCO ₃	Chloruré Calcique
	N2(3)	Ca= Mg	Cl>HCO ₃	Chloruré Calcique
Eaux sulfatées	Z2(2)	Na > Mg;	SO ₄ ≥ Cl ≥ HCO ₃	Sulfatées Sodique
	M.S.2	Na> Mg>Ca	SO ₄ >= HCO ₃ >Cl	Sulfatées Sodique
	BBS 6	Mg>Na	SO ₄ >=Cl> HCO ₃	Sulfatées Magnésiennes

Eaux Bicarbonatées	SMB	Na> Mg>Ca	HCO ₃ >=Cl>>SO ₄	Bicarbonaté Sodique
	N1(1)	Na	HCO ₃ > Cl	Bicarbonaté Sodique
	Z2(2)	Na > Mg	HCO ₃ > Cl > SO ₄	Bicarbonaté Sodique
	N1 (2)	Mg >> Ca > Na	HCO ₃ >> Cl	Bicarbonaté Magnésienne
	Z6	Mg>=Na>Ca	HCO ₃ >Cl> SO ₄	Bicarbonaté Magnésienne
	M.S.5	Mg>Ca>Na	HCO ₃ >>Cl	Bicarbonaté Magnésienne
	M.S.3	Mg>Ca>Na	HCO ₃ >>> SO ₄	Bicarbonaté Magnésienne
	M.S.5	Mg>Ca>Na	HCO ₃ >>Cl	Bicarbonaté Magnésienne
	N3	Mg>Na>=Ca	HCO ₃ >Cl	Bicarbonaté Magnésienne
	BBS1(1)	Na	HCO ₃ >Cl	Bicarbonaté Sodique
	BBS1(2)	Na> Mg>>Ca	HCO ₃ >Cl	Bicarbonaté Sodique
	BBS1(3)	Mg>Na>>Ca	HCO ₃ >Cl	Bicarbonaté Magnésienne
	BBS3	Ca>= Mg>Na	HCO ₃ >Cl	Bicarbonaté Calcique
	BBS7	Mg>Na>Ca	HCO ₃ ->Cl> SO ₄	Bicarbonaté Magnésienne
	Z4	Na	HCO ₃ >Cl	Bicarbonaté Sodique

II.9. REPRESENTATION GRAPHIQUE

Dans ce qui suit nous faisons une représentation graphique sur deux types de diagrammes Shoeller Berkaloff et Piper.

II.9.1. DIAGRAMME DE SCHOELLER BERKALOFF

Pour une étude hydro chimique des eaux de Zouia on a utilisé le diagramme de Schoeller-Berkaloff qui permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée (Benyazza, 2014). La classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine le type de faciès des eaux (Bounab et Tamzait, 2014).

II.9.1.1. Analyses anciennes des eaux souterraines du champ captant

Les résultats des anciennes analyses des eaux de Zouia sont représentés en deux groupes pour permettre une meilleure lisibilité du graphe (figure II.19 et figure II.20)

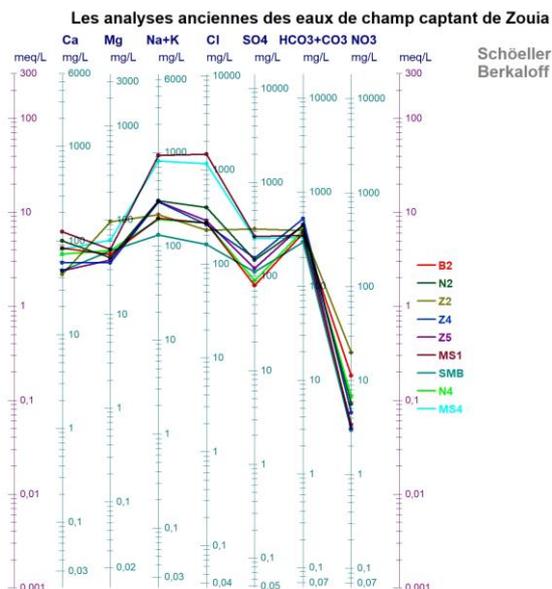


Figure II.19: Anciennes analyses (groupe1)

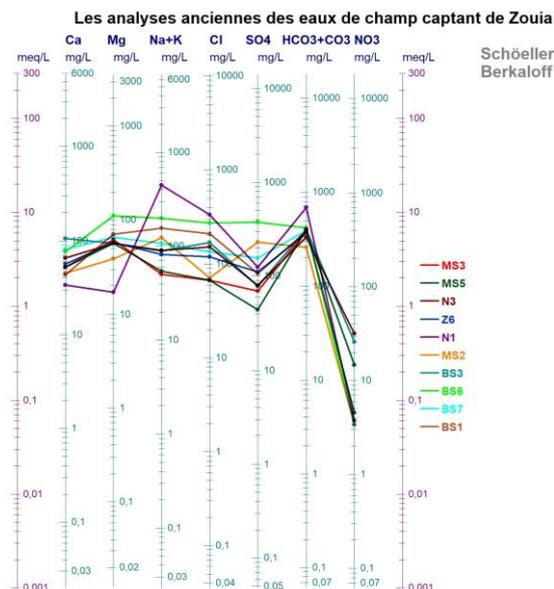


Figure II.20: Anciennes analyses (groupe2)

Les données des prélèvements anciens des forages du champ captant de Zouia, représentées sur le diagramme de Schoeller (figure II.19 et figure II.20), indiquent que la majorité des points sont de deux faciès (chloruré et Bicarbonaté) ce qui confirme les résultats obtenus dans le tableau II.10.

II.9.1.2. Analyses récentes des eaux souterraines du champ captant

Les résultats d'analyses récentes d'eau de forage représentés dans le diagramme de Schoeller (figure II.21) montrent quatre types de faciès :

- Faciès Bicarbonaté Magnésien : MS3, SMB.
- Faciès Chloruré Calcique : B2, N1.
- Faciès Chloruré Magnésien : BBS3, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, BBS1, MS2, N3, N4.

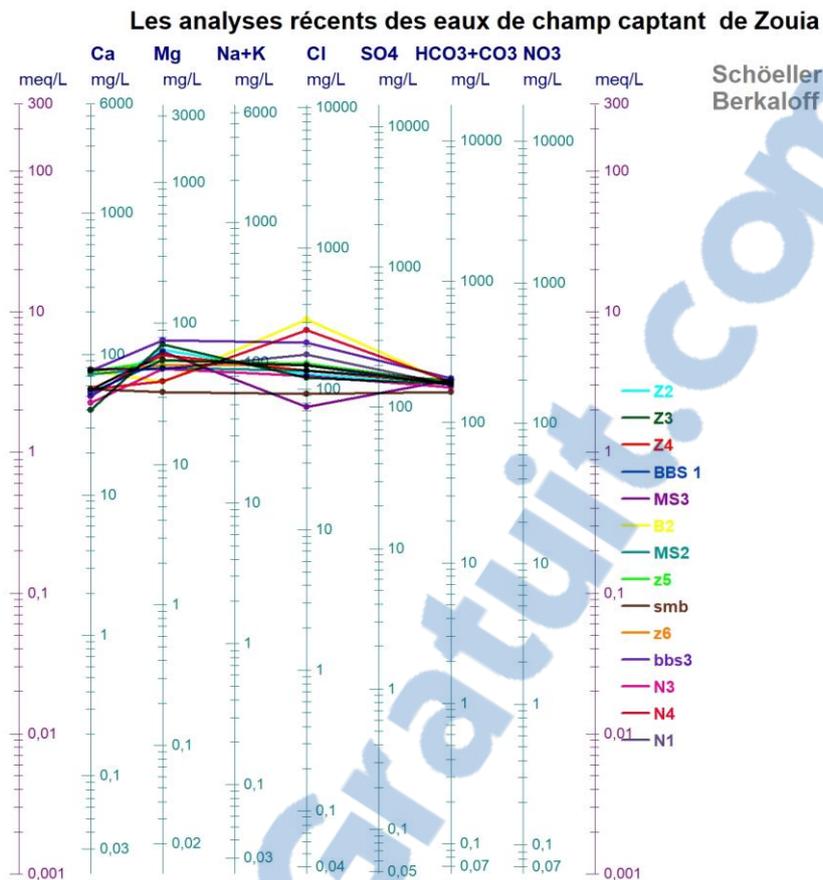


Figure II.21 : La représentation graphique des analyses récentes des eaux des forages de Zouia (2018).

Le changement du faciès des eaux est due probablement au fait que les prélèvements des échantillons pour cette campagne d'analyses ont été faits au niveau de station de pompage et non in situ c'est-à-dire à la sortie du forage.

II.9.2.DIGRAMME DE PIPER :

Le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les eaux entre elles (Dahbi.M, 2016). Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global (Sekiou F. et Kellil A., 2014). Le diagramme de piper pour les analyses anciennes des eaux de forage de Zouia confirme les résultats trouvés précédemment.

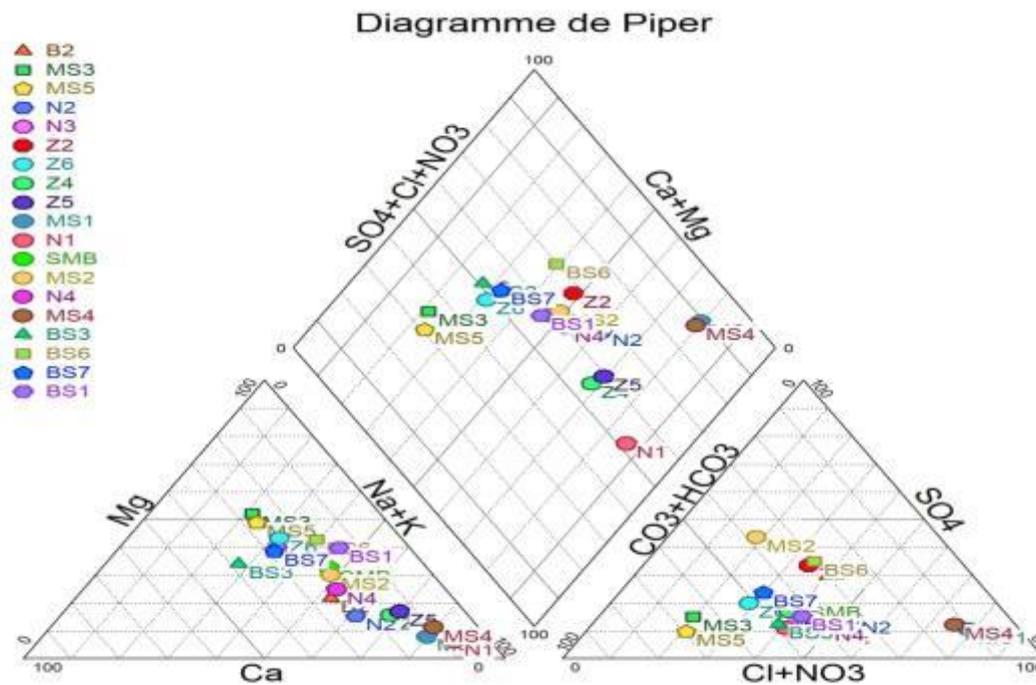


Figure II.22: La représentation graphique des analyses anciennes des eaux des forages de Zouia.

La figure II.22 représente le diagramme de piper pour les anciens prélèvements des eaux de forages du champ captant de Zouia, on remarque que :

- Les anions dominants sont les bicarbonates et chlorures pour quelques forages
- Les cations dominants sont le sodium et le potassium pour une bonne partie des forages. La majorité ne montre aucune prédominance.

Les eaux de forages N1 et MS4 se détachent du groupe avec un faciès bicarbonaté sodique et potassique et un faciès chloruré sodique.

II.10.Evolution de la qualité physico chimique.

Les forages ci-dessous ont bénéficié de plusieurs prélèvements de plusieurs sources telles que (ADE, bureau d'étude, bulletin hydrogéologique) :

a.Forage BBS1

La représentation graphique des résultats d'analyse physico-chimique par le diagramme de Piper pour le forage BBS1 (figure II.23) montre que les points se regroupent dans le losange bicarbonaté sodique et potassique avec une teneur élevée en Sodium et bicarbonate pour la date 30/02/2006. La température reste stable de 33 °C.

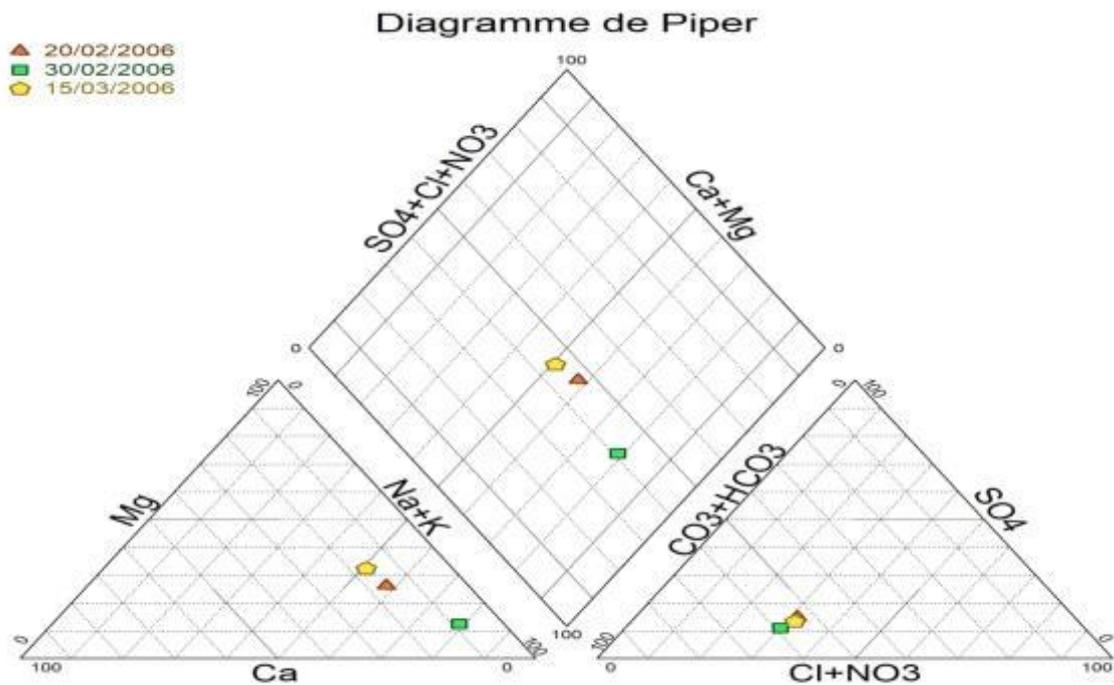


Figure II.23 : l'évolution des eaux du forage BBS1

b. Forage N2

D'après la figure II.24 on remarque que pour la date 20/03/2004 l'eau appartient à la famille Chlorurée Sodique et Potassique ou sulfaté et pour les deux autres prélèvements les points sont regroupés dans le losange chloruré sulfaté calcique et Magnésien avec une température qui varie de 35.5°C à 43 °C. Les deux analyses du mois de juin montrent le même faciès mais très différent de celui du mois de mars.

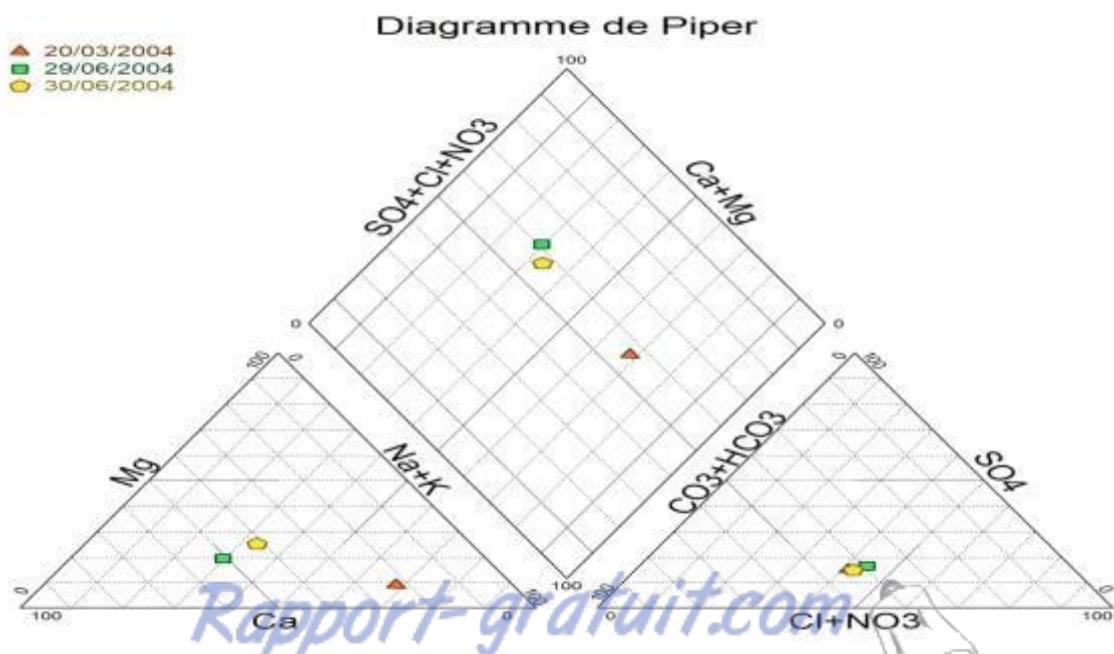


Figure II.24 : L'évolution des eaux du forage N2.

c. Forage Z2

Les résultats des trois prélèvements portés sur le diagramme de PIPER pour le forage Z2 (figure II.25) ne montrent aucun changement de faciès des eaux. Les trois analyses concernent des eaux de faciès de la famille Chlorurée Sodique et Potassique ou sulfaté Sodique avec une température stable de 21 °C. La qualité de l'eau n'a pas changé.

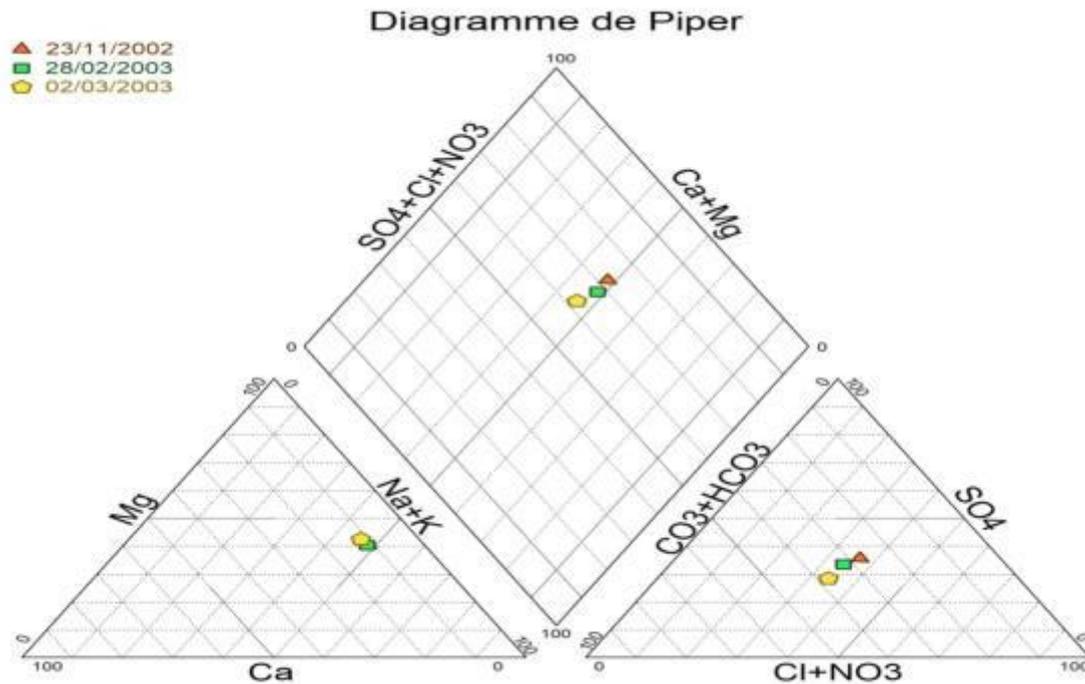


Figure II.25: L'évolution des eaux du forage Z2.

d. Forage MS1

Ces résultats portés sur le diagramme de PIPER (figure II.26) pour le forage MS1 montrent que l'eau n'a pas changé de faciès. Le premier et le dernier prélèvement montrent exactement le même faciès ce qui n'est pas le cas pour les deux autres. Le diagramme montre aussi la prédominance en Chlorure et sodium. La température varie de 43°C à 46°C.

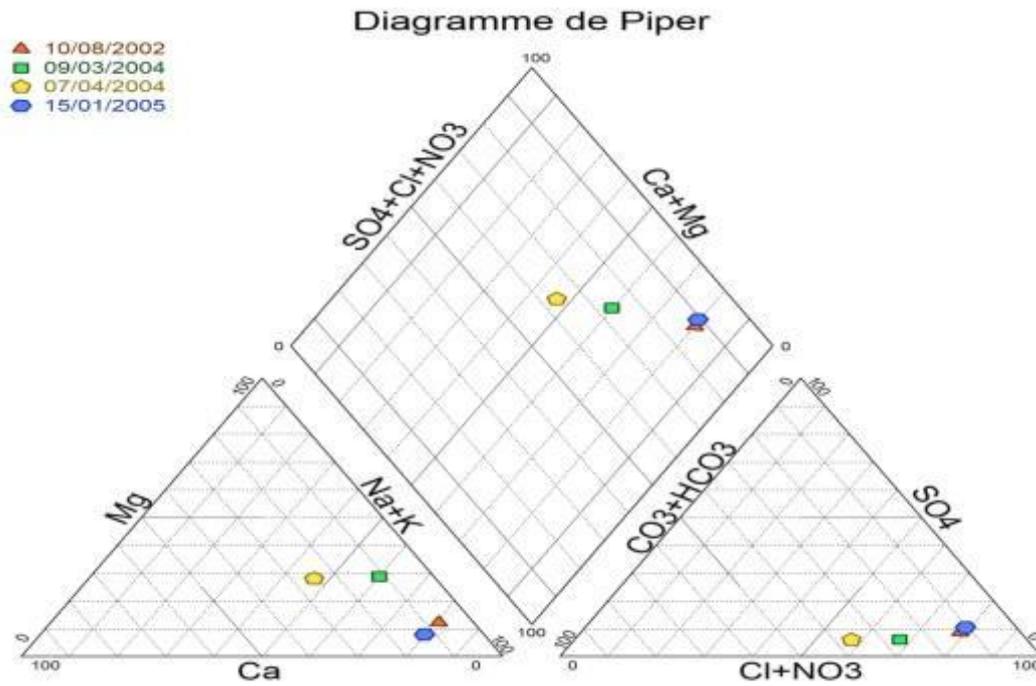


Figure II.26 : L'évolution des eaux du forage MS1

e.Forages N1

La représentation des résultats d'analyse sur le diagramme de PIPER (Figure II.27) pour le forage N1 montre que l'eau a changé de facies. Les prélèvements des mois de mars et juillet 2003 montrent le même facies de la famille chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique qui évolue vers un facies de la famille bicarbonatée calcique et magnésienne avec une température qui varie de 39 °C à 42°C. Ce dernier facies correspond bien à la nature géologique du réservoir aquifère.

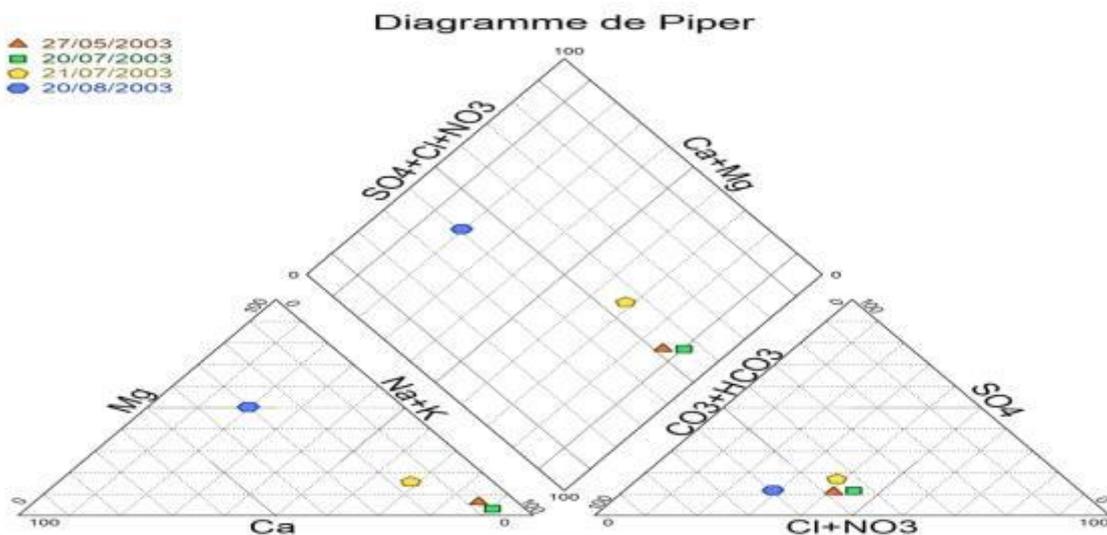


Figure II.27: L'évolution des eaux du forage N1.

II.10.NORME DE POTABILITE

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) : Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau (Bouti et Brik , 2017).

II.10.1.LES NORMES DE L'ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE (OMS)

Les tableaux (tableau II.11 et Tableau II.12) ci-dessous représentent les normes des eaux destinées à l'alimentation en eau potable selon l'Organisation Mondiale de la santé (OMS) :

Tableau II.11 : Les normes de potabilité des eaux (OMS)

Substances	Concentration maximale acceptable.	Concentration maximale admissible.
Turbidité	5 unités	25 unités
Ph	7.0-8.5	6.5-9.2
Calcium	75 mg/l	200 mg/l
Magnésium	50 mg/l	150 mg/l
Sulfate	200 mg/l	400 mg/l
Chlorure	200 mg/l	600 mg/l
Nitrate	-	45 mg/l

Source : (Rodier, 1980)

II.10.2.LES NORMES ALGERIENNES

L'Algérie s'est basée sur les normes internationales, pour établir ses propres normes, on peut dire que c'est une combinaison de différentes normes qui existent sur le plan international (voir tableau II.12) (Bouti et Brik , 2017).

Tableau II.12 : Les normes Algériennes de potabilité.

Paramètres	Unités	Valeurs indicatives
Turbidité	NTU	5
Température	°C	25
Concentration en ions hydrogène	Unité pH	6,5-9
Calcium	Mg/l	200
Potassium	Mg/l	12
Sodium	Mg/l	200
Sulfate	Mg/l	400
Chlorure	Mg/l	500
Nitrate	Mg/l	50

Source : (Décret exécutif, 2011)

En faisant une comparaison des résultats des anciennes analyses d'eaux de forages du champ captant de Zouia avec les normes OMS et algériennes, on peut dire que la majorité des eaux de forages est dans les normes, à l'exception des forages suivants qui présentent des teneurs élevées en sodium et en chlorure : BBS1, MS1, MS4.

- La majorité des forages du champ captant de Zouia ont une température élevée qui dépasse les normes de l'OMS et algériennes.
- Les analyses récentes des eaux de forages sont conformes aux normes algériennes et OMS.

II.11.LES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les analyses bactériologiques représentées dans le (tableau II.13) ont été effectuées au niveau du laboratoire de la station de traitement de Hammam Boughrara et consistent à la recherche des germes aérobies, Coliformes fécaux, Streptocoques et clostridium sulfito-réducteurs.

Tableau II.13 : Les analyses bactériologiques des eaux de forages du champ captant de Zouia (2018)

Forage	germes aérobies à 37 °C/ml	germes aérobies à 22 °C/ml	germes aérobies à 37°C/100m	Coliformes Fécaux /100 ml	Strepto- coques D/50 ml	Clostridium S-R à 46°C/ml
BBS1	20	53	7	A	A	A
Z3	12	15	0	A	A	A
Z4	17	30	10	A	A	A
SMB	18	22	2	A	A	A
Z5	15	18	0	A	A	A
Z6	12	16	0	A	A	A
MS1	17	23	0	A	A	A
BBS3	18	29	5	A	A	A
Z2	15	55	1	A	A	A
BBS6	12	20	3	A	A	A
MS3	14	19	0	A	A	A
MS2	12	19	0	A	A	A
B2	18	23	0	A	A	A
N3	19	26	7	A	A	A
N4	11	17	0	A	A	A
N1	20	24	7	A	A	A
MS4	18	22	0	A	A	A
MS5	11	17	0	A	A	A
BBS7	20	37	1	A	A	A
MS6	13	21	0	A	A	A
N2	19	41	8	A	A	A
Norme	< 20	<100	< 10	A	A	A

Remarque : A veut dire absence.

Les analyses bactériologiques récentes des eaux de forages montrent une conformité aux normes algériennes.

CONCLUSION

Le champ captant de Zouia se trouve dans la frontière Algéro-Marocaine sur le horst de Ghar-Roubane situé au sud de la zone étudiée avec des formations paléozoïque. Les forages au nombre de 22 sont repartis sur une superficie de 10 Km² avec une longueur totale forée de 15,192 km. Ce sont des forages généralement profonds. Les eaux souterraines captées sont d'une température qui varie de 21 °C à 47 °C et sont généralement chargées en sel minéraux (résidu sec qui varie de 0.65 g/l à 2,8 g/l).

Après une étude hydro chimique, on a conclu que les eaux de forages du champ captant de Zouia sont de trois facies (chloruré, bicarbonaté et sulfaté) liés nettement à la nature des terrains traversés et sont généralement des eaux potables qui sont conformes aux normes OMS et algériennes.

Chapitre III : Gestion du champ captant de Zouia

CHAPITRE III : GESTION DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA**INTRODUCTION :**

Tout le long de ce chapitre nous nous sommes intéressées à l'exploitation et la gestion des forages du champ captant de Zouia au cours de la dernière décennie.

III.1.IDENTIFICATION DE CHAMP CAPTANT

Le champ de captage de Zouia est composé de 22 forages destinés tous pour satisfaire les besoins en eau potable du couloir ouest de la wilaya de Tlemcen ainsi que le groupement urbain de Tlemcen.

La figure III.1 ci-dessous montre que le champ captant de Zouia au sens large se trouve dans la frontière Algéro-Marocaine et pour des raisons de facilité de gestion il est partagé en deux champs captant :

- Le champ captant Zouia 1 qui comprend les forages suivant (Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, BBS1, BBS3et BBS6 et les deux anciens forages SMB et MS1 un peu éloignés.
- Le champ captant Zouia 2 qui regroupe les forages suivant (BBS7, N1, N2, N3, N4, B2, B1, MS3, MS6, MS2 et MS5).
- les dates de réalisation du champ captant de Zouia sont comprises entre 2002-2005 pour le champ captant Zouia 1 et de 2005-2007 pour le champ captant Zouia 2. La mise en place de ces deux champs de captage est due à la nécessité de produire un volume d'eau plus important ou augmenter le débit d'exploitation des forages existants.

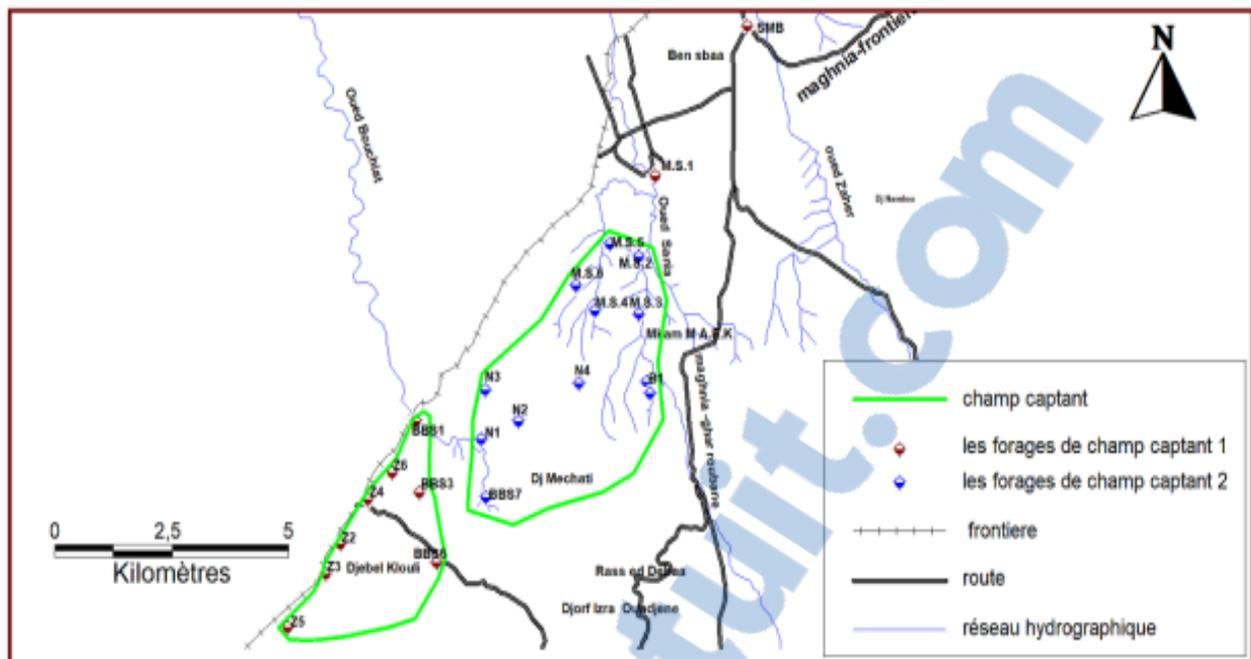


Figure III.1 : Identification des champs captant 1 et 2

III.2 .CHOIX DES MATERIAUX POUR LES CANALISATIONS DES EAUX DU CHAMP CAPTANT

Les eaux des forages du champ captant de Zouia sont des eaux caractérisées par une minéralisation importante et une température élevée ce qui pourrait favoriser la corrosion des conduites qui vont les acheminer. Pour cette raison le choix d'un matériau résistant est important.

III.2 .1.LE CARACTERE CORROSIF D'UNE EAU

Une eau corrosive est caractérisée par la production de l'hydroxyde ferreux, puis ferrique. Cela entraîne la formation de nodules, voire de tubercules pouvant à terme diminuer la section des conduites (Zerrouk, 2003). Pour déterminer le caractère corrosif d'une eau il faut calculer les deux indices de Larson et de Leroy.

III.2 .1.1.L'indice de Larson

Permet de déterminer la corrosivité d'une eau à partir des concentrations en ions chlorures, sulfates et bicarbonates (Anonyme (a) ,2006) , par la formule suivante :

$$I_L = \frac{[Cl^-] + 2X[So_4^{-2}]}{[HCo_3^-]}$$

III.2 .1.2.L'indice de Leroy

L'indice de Leroy est égal au rapport du TAC sur le TH, permet de confirmer ou non la tendance à la corrosion d'une eau (Anonyme (a) ,2006), l'eau est considérée comme non corrosive si l'indice est compris entre 0,7 et 1,3 (Anonyme (b) ,2006).

Le tableau III.1 représente les résultats de l'indice de Leroy pour les eaux de forages de champ captant de Zouia :

Tableau III.1 : Les résultats d'analyse de la dureté totale d'eau et le titre alcalimétrique complet.

forage	date	Tac	TH	TAC/TH
Z2	13/03/2018	22,2	40,5	0,55
Z3	13/03/2018	22,2	39	0,6
Z4	13/03/2018	22,2	38,5	0,6
BBS 1	13/03/2018	22	36	0,61
MS3	13/03/2018	23,6	38,5	0,61
MS5	13/03/2018	20,4	39	0,52
B2	15/05/2018	30,2	35	0,86
MS1	15/05/2018	28	48	0,58
MS2	15/05/2018	31,4	38	0,83
Z5	15/05/2018	30	41	0,73
SMB	15/05/2018	27,2	27,5	0,99
Z6	15/05/2018	30,4	40	0,76
BBS3	11/07/2018	32,8	50,5	0,65
N3	12/07/2018	29	31	0,94
N4	13/07/2018	31,4	30	1,04
N1	28/11/2018	30,2	39	0,74

Source : ADE modifié.

Le tableau III.2 montre l'interprétation que l'on peut faire des valeurs des indices de corrosion :

Tableau III.2 : L'interprétation des valeurs des indices de corrosion

Ic	Tendance
< 0,2	Pas de tendance à la corrosion
0,2 à 0,4	Faible tendance
0,4 à 0,5	Légère tendance
0,5 à 1	Tendance moyenne
>1	Nette tendance à la corrosion

Source : (Anonyme (b) ,2006).

Après le calcul des deux indices et leur comparaison avec le tableau III.2, on distingue que :

- les eaux du champ captant de Zouia sont des eaux à caractère corrosif.

III.2 .2.MINERALISATION

La minéralisation des eaux est principalement régie par les phénomènes de dissolution et de précipitation des minéraux (calcite, dolomite, anhydrite, gypse et halite) (Hamlaoui et al, 2012).

Les eaux du champ captant de Zouia sont subdivisées en deux groupes :

- des eaux qui sont moyennement minéralisées 500-1000 mg/l
- des eaux minéralisées 1000-1500 mg/l qui favorisent le phénomène de corrosion des conduites.

III.2 .3.TEMPERATURE

La température de l'eau est un paramètre d'une grande utilité en ce qui concerne les études hydrogéologiques (Hidaoui et Louannas , 2015), En effet celle-ci joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels et dans la détermination du pH, pour la compréhension de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels (Rodier et al ,2005).

Les eaux du champ captant de Zouia sont de température élevée qui dépasse parfois 40 °C ce qui favorise la corrosion.

Tenant compte de toutes les considérations citées précédemment, l'idéal est l'utilisation d'une conduite en fonte ductile. Les problèmes d'agressivité intérieure ou extérieure sont tout à écarter, la durée de vie est beaucoup plus importante que les autres types de canalisation (Belkherroubi , 2004).

III.3 .DESCRIPTION DU RESEAU D'ADDUCTION

La figure III.2 montre bien que le réseau d'adduction du champ captant de Zouia est composé de :

- deux stations de pompage.
- Quatre réservoirs.
- deux conduites qui acheminent les eaux de Zouia1 et Zouia 2 vers les points d'utilisation.

D'après la figure III.2 l'acheminement des eaux du champ captant Zouia 2 se fait par une adduction à partir des forages jusqu'à l'aval de la station de traitement de Bouhlou où il se

raccorde à la conduite du transfert (Barrage de Béni Bahdel –Oran) (Belabbaci , 2011) mais actuellement les eaux de Zouia 2 sont mélangées avec les eaux de Zouia 1 à l'aide d'un bypass qu'est situé près du forage MS1 pour alimenter les agglomérations de Maghnia et le couloir Ouest .

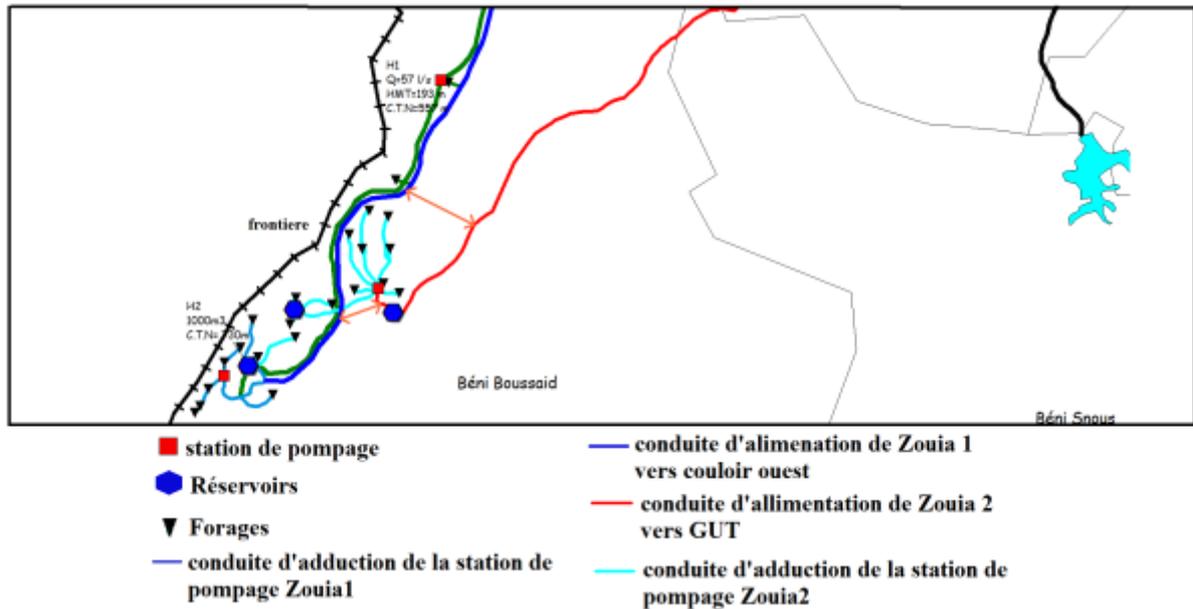


Figure III.2 : Le réseau d'adduction en eau potable du champ captant de Zouia.

III.3 .1.LES CARACTERISTIQUES DU RESEAU

Selon l'ADE, le réseau d'adduction du champ captant de Zouia est caractérisé par :

- la conduite du champ captant Zouia 1 : destinée pour alimenter les agglomérations de Maghnia et couloir ouest avec un linéaire de réseau gravitaire de 26.35 km et 2 km pour le refoulement et un diamètre de 500 /600 mm.
- la conduite du champ captant Zouia 2 : destinée pour alimenter les agglomérations du groupement urbain de Tlemcen avec un linéaire de réseau gravitaire de 25 km et 7.2 km pour le refoulement et un diamètre de 600 /800 mm.
- La station de refoulement Zouia 1 est mise en service en 2004 avec une capacité de pompage de 14 399 m³/j, elle est équipée de 3 pompes et un anti bélier (voir la photo III.2).
- La station de refoulement Zouia 2 est mise en service en 2013 avec une capacité de pompage de 25 920 m³/j, elle est équipée de 5 pompes (voir la photo III.1).
- Quatre réservoirs d'une capacité qui varie de 200 m³/j à 5000 m³/j.



Photo III.1 : La station de pompage Zouia 2.



Photo III.2: La station de pompage Zouia 1 et l'anti-bélier.

III.4 .VOLUME PRODUIT PAR LES FORAGES DU CHAMP CAPTANT

Les volumes produits des champs captant Zouia 1 et Zouia 2 sont mesurés mensuellement d'une manière continue. Il y a des ruptures causées par des pannes de GEPI ou des arrêts volontaires pour la mise en veille des forages.

III.4 .1.VOLUME PRODUIT ANNUEL

III.4 .1.1.Champ captant Zouia 1

La figure III.3 représente la variation annuelle des volumes produits par les forages du champ captant de Zouia 1 durant la période 2005-2018. Ces derniers varient de 74 m³/an (forage MS1 en 2014) à 1168570 m³/an (B1 en 2010). On remarque que les forages du champ captant Zouia 1 n'ont pas été exploités durant la période (2005 - 2011) de la même manière et le forage Zouia 2 fonctionne pendant toutes les années, par contre BBS6 et BBS3 l'ont été juste pour quelque années.

Les forages du champ captant de Zouia sont désormais utilisés comme une ressource de secours en cas d'arrêt de la station de dessalement. Ce qui explique que dans la figure les volumes produits sont très faibles à la suite de la mise en service de la station de dessalement de Souk Tlata durant les années 2013, 2014 et 2015.

La station de dessalement de Souk Tlata pose un problème et ne produit pas le volume prévu de 200.000 m³/jour destiné pour alimenter Maghnia et le couloir ouest depuis l'année 2016. L'ADE, unité de production Tlemcen, exploite les forages de champ captant de Zouia pour compenser le volume manquant de la SDEM de Souk Tlata, ce qui est montré dans la figure. L'exploitation est maximale durant les années 2016, 2017, et 2018.

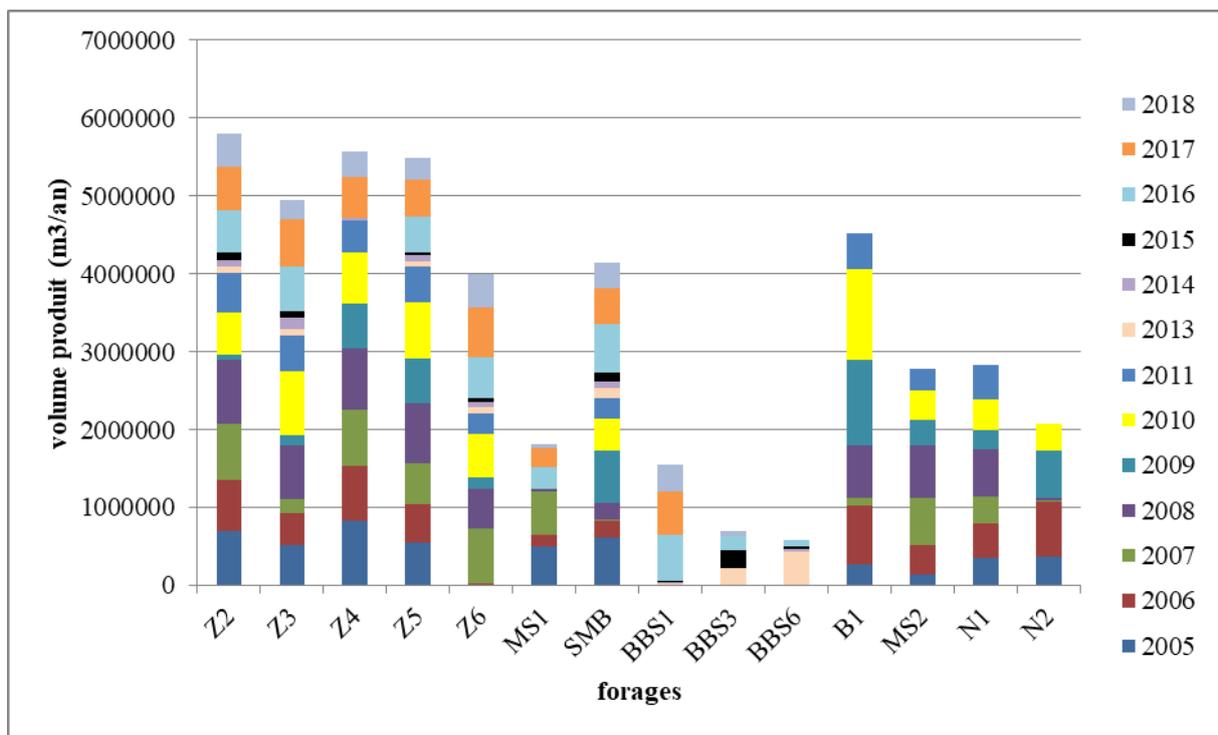


Figure III.3 : La variation annuelle du volume produit dans le champ captant Zouia 1.

*les forages B1, MS2, N1 et N2 appartiennent actuellement au champ captant Zouia 2.

III.4 .1.2.Champ captant Zouia 2

La figure III.4 représente la variation annuelle des volumes produits par les forages de champ captant Zouia 2 durant la période 2013-2018 qui varie de 396 m³/mois (B2 en 2015) et 662541 m³/mois (MS3 en 2016).

D'après la figure III.4 on distingue que les volumes produits du champ captant Zouia 2 sont supérieurs à ceux du champ captant Zouia 1 car sa capacité de production et le nombre de forages est plus important. On remarque aussi qu'au cours de la période 2013-2014 le volume produit est le même pour tous les forages du champ et depuis 2016 le volume produit à commencer à augmenter à cause des arrêts de la SDEM de Souk Tlata .

La diminution des précipitations d'une part et la surexploitation des deux champs captant Zouia1 et 2 durant les années 2015,2016 et 2017 d'autre part a provoqué un fort rabattement dans la nappe ce qui a entraîné un mal fonctionnement des groupes électro pompe immergés (GEP) et par la suite leur détérioration. En 2017 l'unité de production ADE de Tlemcen a entamé un plan d'action en changeant la cote de calage des GEPI pour atteindre le nouveau niveau statique de la nappe. Cette opération a été réalisée avec succès dans 4 forages (BBS3, Z4, B2 et N1) mais a échoué pour les forages (B1, MS4, MS5, MS6, N2 et BBS7). Ceci a contraint, les services compétents à engager une opération de travaux de réhabilitation des (06) six forages en 2018 ce qui explique la diminution de volume produit.

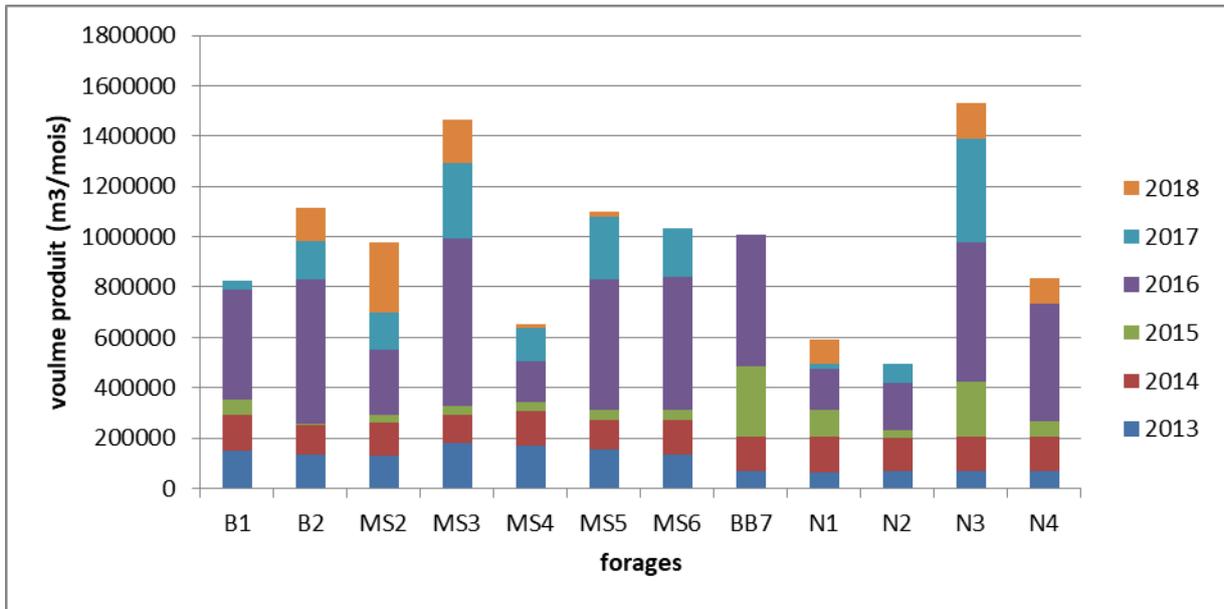


Figure III.4: La variation annuelle du volume produit dans le champ captant Zouia 2.

III.4 .2.LE VOLUME PRODUIT POUR TOUT LE CHAMP CAPTANT :

D’après la figure III.5 on remarque que le champ captant été exploité d’une manière très irrégulière mais à fort volumes produits qui chutent en 2011 à cause de l’arrivé des volume produits par la SDEM de Souk Tlata qui justifie la diminution du pompage au niveau du champ captant. Ce volume augmente des qu’il y a des des difficultés au niveau de la SDEM.

La somme des débits théoriques limités par les essais de pompages est de 280 l/s pour champ captant 1 et 370 l/s pour champ captant 2 ce qui détermine que le champ captant 2 a la capacité de produire plus.

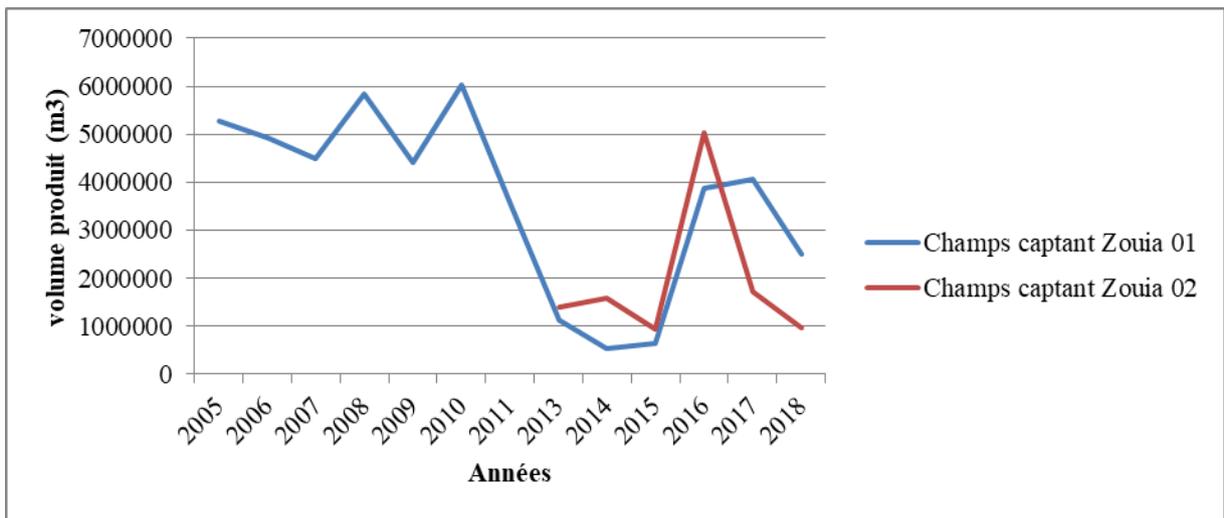


Figure III.5 : La variation annuelle de volume global produit par les deux champs captant.

III.4.2. VOLUME MOYEN MENSUEL PRODUIT POUR TOUT LE CHAMP CAPTANT DE ZOUIA

La figure III.6 représente la variation moyenne mensuelle des volumes qui ont été produits pour la période 2013-2018 dans tout le champ captant. Malheureusement nous n'avons pas pu collecter les données mensuelles avant 2013 car le champ captant est géré par l'unité production de Tlemcen. Les volumes produits du champ captant varient de 39770 m³/mois (juillet 2013) à 852747 m³/mois (Février 2016).

On remarque que la production mensuelle durant les années 2013, 2014 et 2015 est irrégulière et les mois d'hiver enregistrent une hausse de volumes produits. Ceci est dû à la compensation du volume manquant de la SDEM Souk Tleta durant cette saison. Cet arrêt peut être expliqué par l'augmentation de la turbidité de l'eau de mer à proximité de la station de dessalement.

Les volumes produits sont maximaux durant les années 2016, 2017 et 2018 à cause des pannes de la SDEM de Souk Tlata .

On distingue que l'augmentation ou la diminution des volumes produits sont due à des causes techniques tel que les pannes du groupement électro pompe immergée , des arrêts volontaires des forages du champs captant de Zouia ou le système de compensation des volumes manquant de la SDEM de Souk Tlata depuis l'année 2016.

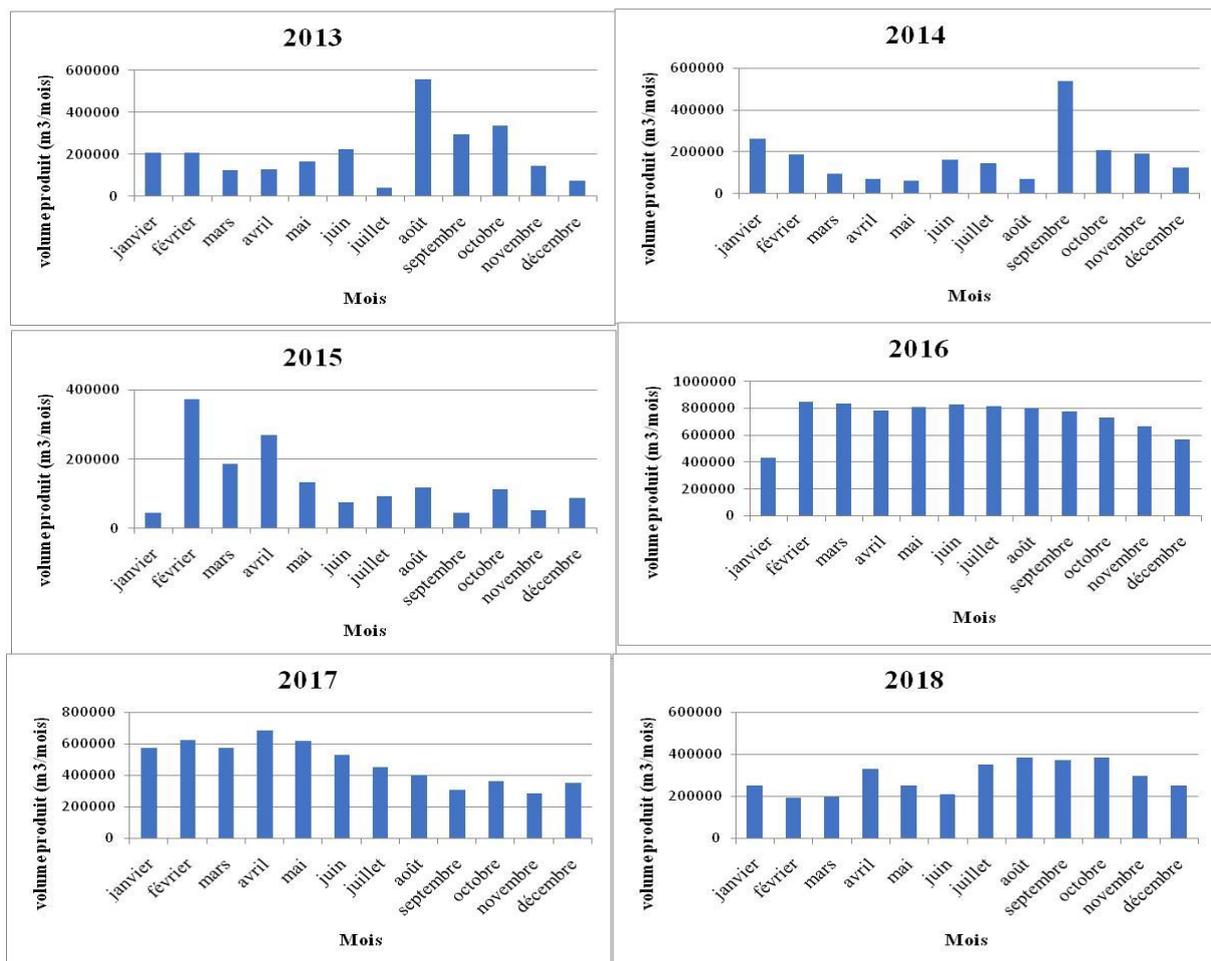


Figure III.6: La Variation des volumes moyens mensuels produits pour le champ de Zouia.

III.4.3.COMPARAISON ENTRE LE DEBIT THEORIQUE ET LE DEBIT EXPLOITE :

Les débits théoriques correspondent aux débits mentionnés sur les fiches de forages et qui sont théoriquement déterminés à partir des essais par pompage. Les figures ci-dessous (figure III.7 et figure III.8) représentent une comparaison entre le débit théorique et le débit réellement pompé durant la période 2013-2018. Le débit exploité a été calculé à partir des volumes annuels produits en tenant compte du nombre d’heures de pompage.

La nappe de Zouia est captée par deux champs captant important (Zouia 1 et Zouia 2) représente une ressource importante dans la région avec une capacité de production de 650 l/s.

III.4.3.1.Champ captant 1

La variation de débit exploité du champ captant Zouia 1 durant la période 2013-2018 varie de 9 l/s (MS1 2018) à 36 l/s (SMB 2013) avec un débit théorique limité par les essais par pompage compris entre (20 l/s et 35 l/s). La capacité de production du champ capant Zouia 1 est de 280 l/s.

D'après la figure (figure III.7) on remarque une diminution de débit exploité pour la majorité des forages au cours des années 2013 et 2014, on peut observer aussi que le forage Z4 à un débit nul en 2013 ce qui est dû à des pannes de GEPI.

Une augmentation a été constatée durant les années (2015, 2016, 2017 et 2018) car la SDEM de Souk Tlata ne produit pas le volume prévu ce qui conduit à l'exploitation des forages pour compenser le volume manquant avec un débit exploité maximal enregistré en 2016 pour tous les forages.

Après une comparaison entre le débit théorique et le débit pompé on peut dire que 80 % des forages sont exploités à débit inférieur au débit théorique à l'exception les forages (BBS1) qui est surexploité.

Rapport-Gratuit.com

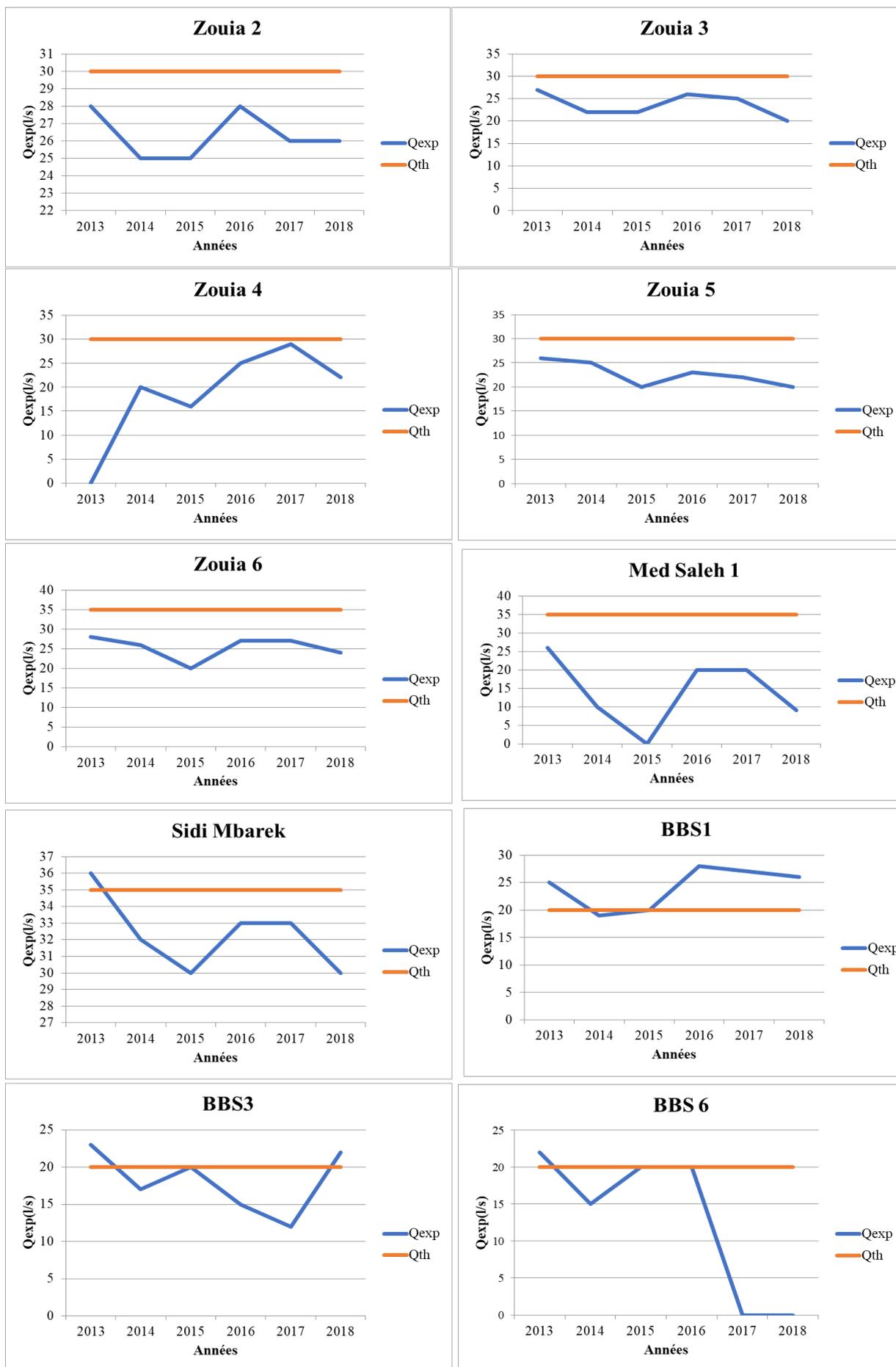


Figure III.7: La variation de débit moyen annuel du champ captant Zouia 1.

III.4.3.2. Champ captant 2

Le champ captant Zouia 2 a une capacité de production plus élevée que le champ captant Zouia 1 avec une capacité de production de 370 l/s, on remarque d'après la (figure III.8) que le débit exploité du champ captant Zouia 2 durant la période 2013-2018 varie entre 7 l/s (N1 2017) et 30 l/s (B1 2014).

Les débits exploités au cours des années 2013 et 2014 sont presque constants pour la plupart des forages du champ captant. On peut observer aussi que les débits minimaux des forages sont enregistrés au cours de l'année 2015 à cause des arrêts volontaire et des pannes de GEPI. Il faut remarquer que les volumes produits maximaux sont enregistrés durant l'année 2016 à la suite d'une panne de la SDEM de Souk Tlata. Le recours aux eaux souterraines de Zouia était la solution de secours.

Pour l'année 2018 on remarque que le débit est nul dans les forages suivant (B1, MS 4, MS5, MS6, N2 et BBS7) à cause des travaux de réhabilitations qui sont entamés dans ces derniers. D'après la DRE, le forage N4 est à l'arrêt depuis 2016 à cause des pannes et des fuites enregistré au niveau du forage.

On distingue d'après la figure que les forages sont exploités avec des débits inférieurs aux débits théoriques limités par les essais de pompage.

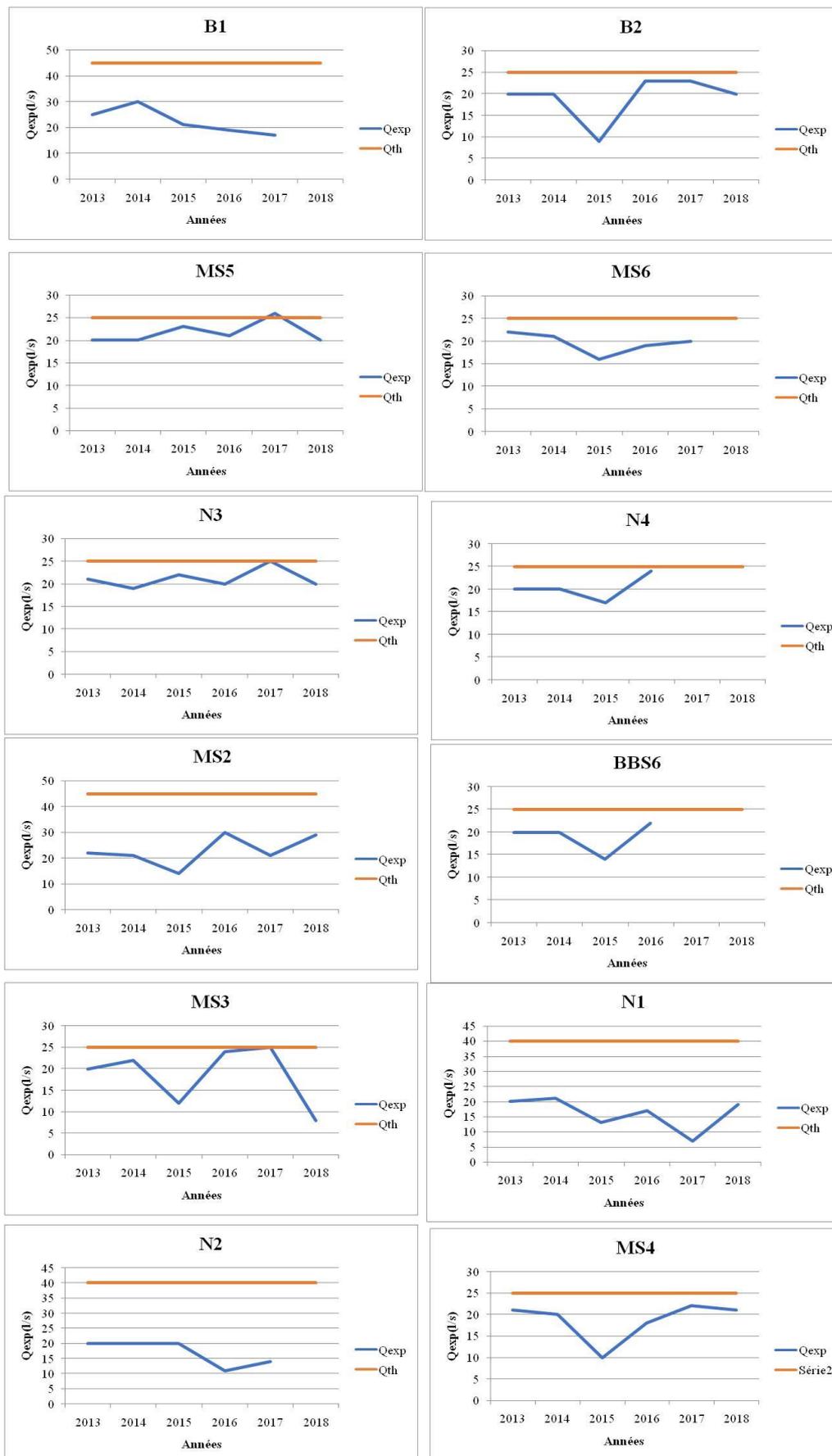


Figure III.8 : La variation de débit moyen annuelle du champ captant Zouia 2

III.4.4.LE VOLUME PRODUIT ET VOLUME DISTRIBUE

La figure III.9 représente une comparaison entre le volume produit et distribué du champ captant de Zouia au cours de la période 2013-2018. On distingue une légère diminution du volume distribué par rapport à celui produit ce qui peut être expliqué par les fuites du réseau avec un pourcentage du volume perdu de 5%.

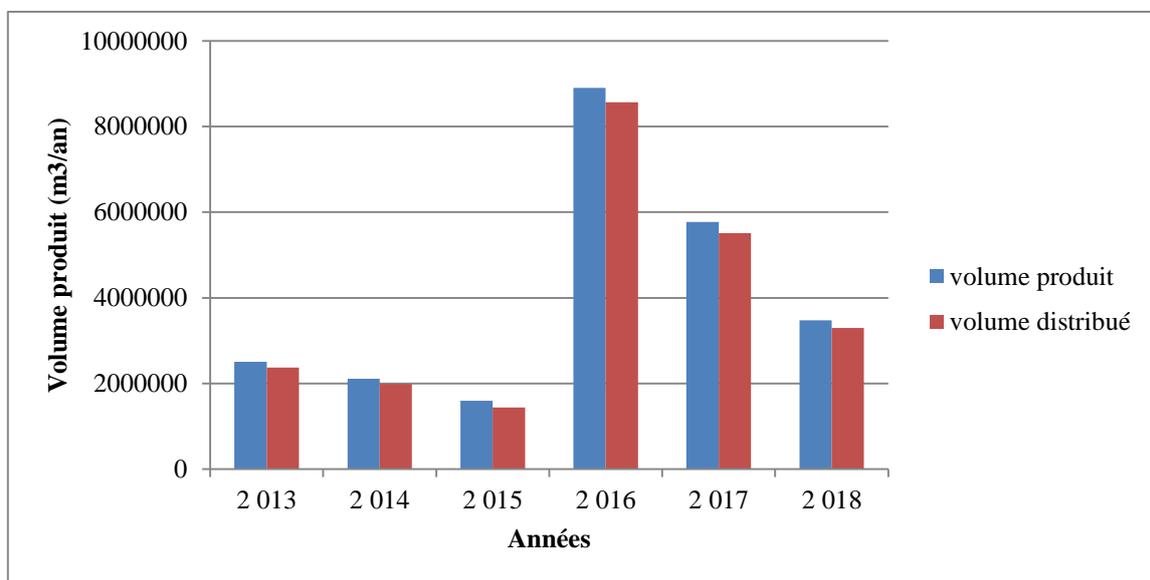


Figure III.9 :Comparaison entre le volume produit et distribué.

III.4.5.L'AFFECTION DES VOLUMES PRODUITS

Les deux champs captant de Zouia ont été réalisés après un déficit en matière d'alimentation en eau potable qui a touché le GUT et le couloir ouest de la wilaya de Tlemcen qui comprend essentiellement (Maghnia, Nedroma, Souhlia, Bab Assa et Ghazaouat) (voir figure III.10). Cette situation est aggravée d'avantage par l'accroissement des populations et des demandes des autres secteurs (Belkherroubi, 2004).

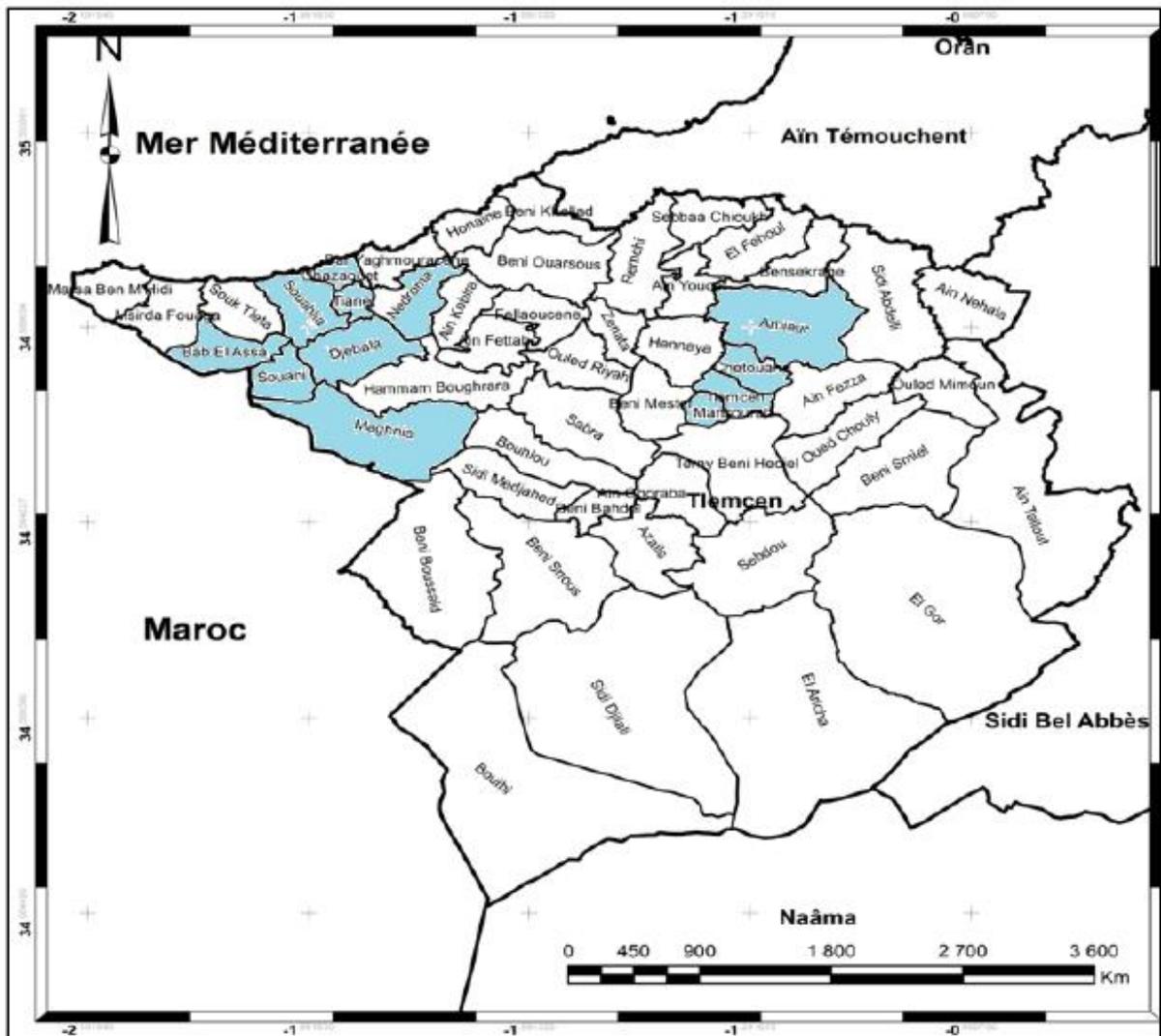


Figure III.10 : La localisation des communes alimentées par le champ captant de Zouia.

Source : (Office national de la météorologie, 2018) modifié

Tableau III.3 : La population et la dotation des différentes villes du couloir ouest et GUT en (l/j/hab).

	Population	dotation (l/j/hab)
MAGHNIA	143626	150
BAB EL ASSA	11409	120
SOUANI	10948	120
GHAZAOUAT	34443	150
NEDROMA	33869	150
SOUAHLIA	23712	150
GUT	293714	150

Source : ADE,2018

La figure III.11 représente les affectations des eaux en provenance du champ captant de Zouia durant la période 2013-2018. On peut voir que pour les années 2013, 2014 et 2015 la plus grosse part était destinée pour le GUT avec un taux en baisse de 55 % à 29%.

De 2015 à 2018, la plus grosse part du volume produit est affectée pour Maghnia et le couloir ouest avec un taux en hausse de 71% à 100%. Ce mode de fonctionnement a été possible grâce à la mise en service de la SDEM de Souk Tleta.

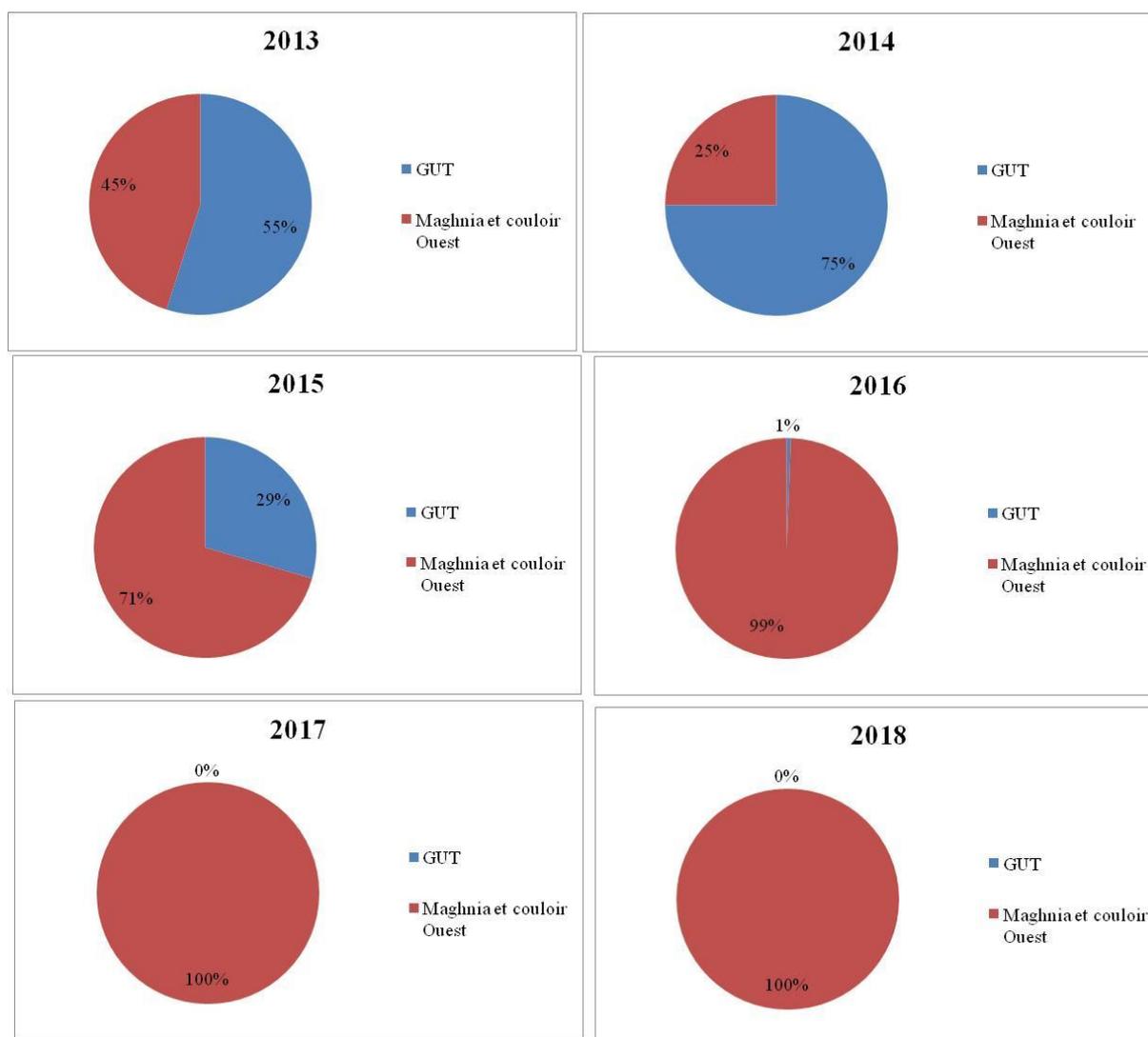


Figure III.11 : Affectation des volumes distribués.

III.5. PIEZOMETRIE DU CHAMP CAPTANT

Selon l'ADE, les niveaux piézométriques du champ captant de Zouia ne sont pas surveillés régulièrement à cause de la structure des forages qui ne permet pas l'introduction d'une sonde piézométrique (il faut démonter l'équipement des forages pour mesurer les niveaux piézométriques). Les seules données disponibles sont celles relatives aux forages MS5 et MS3. Elles sont données dans le tableau suivant. Si ces données sont correctes, le rabattement de la nappe sur 8 ans d'exploitation est assez important pour un débit d'exploitation variable

compris entre 15 et 25 L/s.

Tableau III.4 : Le rabattement de la nappe au cours de la période (2008-2016) pour les forages MS3 et MS5).

Forage	NS (2008)	NS (2016)	Rabattement de la nappe (m)	Cote de calage (m) de la pompe
MS5	58	116	58	186
MS3	38	86,4	48,4	177

III.6.ÉTAT DE FONCTIONNEMENT DES FORAGES

La figure III.12 montre que 64 % des forages sont en service, 36% sont en arrêt pour défaut de GEPI et ont bénéficié de travaux de réhabilitation par la SOGERWIT depuis le 8/05/2018.

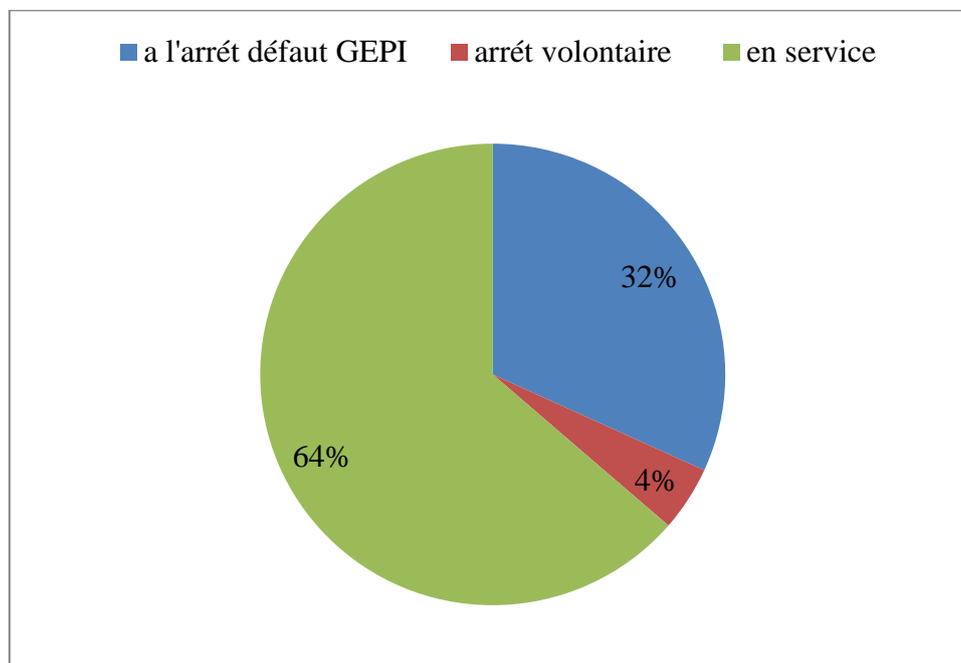


Figure III.12 : Etat actuel de fonctionnement des forages.

CONCLUSION

Les données dont nous disposons, montrent que les volumes produits maximaux sont enregistrés à partir de l'année 2016 surtout en Hiver, à cause des arrêts techniques de la SDEM de Souk Tlata dus à la turbidité de l'eau de mer.

L'exploitation permanente et continue de la nappe de Zouia et les faibles précipitations enregistrées dans la région ont engendrée un fort rabattement dans la nappe et a entraîné un disfonctionnement des GEPI installés dans les forages parfois leur détérioration.

Le débit d'exploitation durant la période (2013-2018) pour les deux champs captant est inférieur au débit théorique limité par les essais pompage sauf pour les deux forages (SMB et BBS1) qui sont en état de surexploitation.

*Chapitre IV : La protection du champ captant de
Zouia*

CHAPITRE IV : LA PROTECTION DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA

INTRODUCTION

Dans un champ captant les eaux souterraines sont menacées par différents types de pollution engendrés par les diverses activités que connaît la région. A cet effet, il est nécessaire de prendre des mesures adéquates afin de réduire le risque de contamination de ces ressources. Ce qui rend l'établissement des périmètres de protection une priorité (Mohamed et Kahboub, 2017).

L'Algérie a depuis son indépendance adopté plusieurs politiques en établissant des textes législatifs réglementant aussi bien la mobilisation, la gestion et la protection des ressources en eau des risques de la pollution (Zeghid, 2013).

L'approvisionnement en eau de la population de la wilaya de Tlemcen est assurée non seulement à partir des eaux souterraines mais aussi principalement des eaux en provenance des SDEM de Souk Tleta et Honaine. Il faut noter que ces derniers temps la teneur en bore dans les eaux provenant de la SDEM de Souk Tleta dépasse légèrement la valeur maximale admissible recommandée par l'OMS qui est de 1 mg/L. Même si de telles concentrations en bore dans l'eau potable dépassent légèrement la norme suscitée, elles pourraient provoquer des risques sanitaires chez les consommateurs (Aggab, 2014).

Par conséquent, la qualité des eaux souterraines captées par forages reste la meilleure. En cas d'un arrêt prolongé des stations de dessalement les autorités compétentes vont recourir de nouveau à l'utilisation des eaux souterraines tel que celles du champ captant de Zouia d'où la nécessité de les préserver.

IV.1.PERIMETRES DE PROTECTION

Ils correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable. Ils constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées (Frioua, 2014).

Généralement, quand il s'agit de la protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine, trois périmètres différents sont définis: le périmètre de protection immédiat, le périmètre de protection rapproché et le périmètre de protection éloigné (Cherifi et Bensmain, 2017) (figure IV.1).

IV.1.1.PERIMETRE DE PROTECTION IMMEDIAT

Premier niveau de protection, obligatoire, comprend le terrain directement adjacent au point de captage. Son rôle est d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et d'éviter les injections directes des substances polluantes à l'intérieur ou à proximité de captage. Alors, il vise à éliminer tout risque de contamination directe de l'eau captée. (Fellah, 2011)

IV.1.2.PERIMETRE DE PROTECTION RAPPROCHE

Il délimite le secteur dans lequel toute pollution ponctuelle accidentelle est susceptible d'attendre rapidement le captage, soit par ruissellement superficiel, soit par migration souterraines des substances polluantes (Bouzara et Ensaad, 2018).Son objectif est de protéger le captage contre les pollutions entraînées principalement par les écoulements souterrains (Frioua, 2014).

À l'intérieur de ce périmètre sont interdits ou réglementés toutes activités et tous dépôts ou installations de nature à nuire directement ou indirectement à la qualité des eaux (Vernoux et al., 2010).

IV.1.3.PERIMETRE DE PROTECTION ELOIGNEE

Ce périmètre n'est pas obligatoire. Il correspond théoriquement à la totalité de l'aire (ou zone) d'alimentation de l'ouvrage et permet d'attirer l'attention sur la présence d'une ressource captée pour l'alimentation en eau potable et donc sur la nécessité de vigilance pour que les activités existantes et futures ne portent pas préjudice à la qualité des eaux souterraines captées (Marchal, 2007).

Il protège la ressource de toute pollution ponctuelle ou diffuse qui pourrait affecter la qualité de l'eau sur des longues distances comme les substances chimiques ou peu dégradables ainsi que les substances radioactives (Vassolo, 2014).

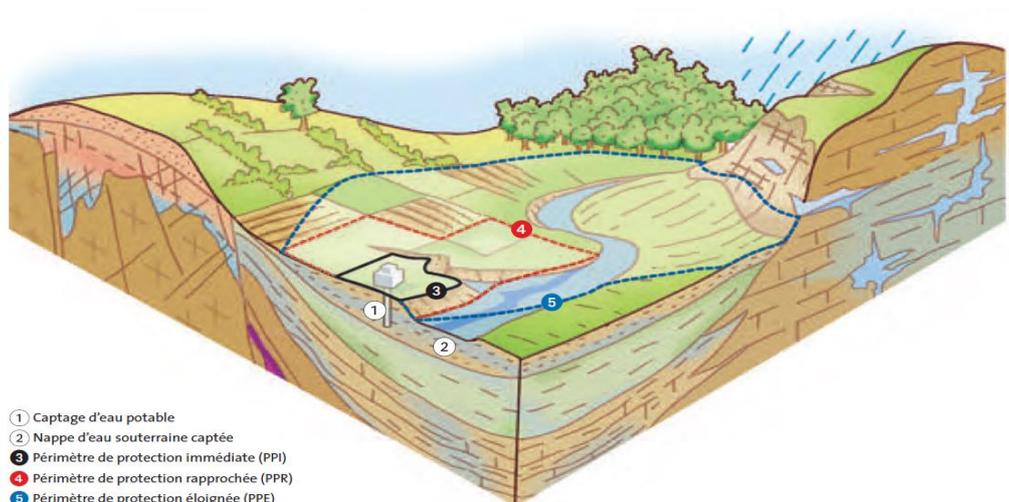


Figure IV.1 : Les périmètres de protection des captages (Vernoux et al., 2010)

IV.1.4.CRITERE DE DETERMINATION DES ZONES DE PROTECTION

Selon Lallemand Barres et Roux (1999), l'analyse des réglementations existantes met en évidence certains critères qui sont utilisés pour délimiter les zones de protection. Les valeurs attribuées aux critères représentent des limites au-dessus ou au-dessous desquelles le critère considéré cesse de fournir le degré de protection souhaité. Cinq critères peuvent être pris en compte :

- Le pouvoir épurateur du sol
- Le rabattement
- Le temps de transfert
- La distance
- Les limites d'écoulement.

IV.1.4.1. Le pouvoir épurateur du sol

Le pouvoir épurateur du sol puis de la zone saturée est important pour éviter la propagation d'une pollution en direction de la nappe. La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe si le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée est efficace (Bouzara et Ensaad, 2018).

IV.1.4.2.Le rabattement

Ce critère propre aux puits et forages est lié au concept de la zone d'influence ou le niveau de la nappe est rabattu par le pompage et la zone d'appel ou l'ensemble des lignes de courant se dirigent vers le captage. Il est très important de délimiter la zone d'appel du captage car toute

pollution intervenant dans cette zone aboutira au captage. Le rabattement dépend du débit de pompage moyen journalier ou débit fictif (Lallemand Barres et Roux, 1999).

IV.1.4.3. Le temps de transfert

Le temps de transfert est un critère basé le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée dans la nappe jusqu'à l'arrivée au captage. Il faut également tenir compte du transfert en zone non saturée. Ce critère inclut plus de processus physiques que les autres critères ; il comprend en effet la convection, la dispersion et l'interaction solide-soluté (Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999).

IV.1.4.4. La distance

Selon Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999, la délimitation du périmètre de protection repose sur la détermination d'un rayon ou d'une distance mesurée entre le puits de pompage et un point concerné. Ce critère a l'inconvénient de ne pas tenir compte des processus d'écoulement et de transfert du polluant. C'est un critère arbitraire qu'il est difficile de justifier scientifiquement. Ce critère ne doit être en compte que lorsqu'il s'avère impossible de calculer les temps de transfert.

IV.1.4.5. Les limites d'écoulement

Une délimitation des périmètres de protection basée sur ce critère consiste à utiliser les caractéristiques physiques, topographiques ou hydrogéologiques qui contrôlent l'écoulement : les limites peuvent être par exemple une rivière, un canal, une ligne de partage des eaux souterraines, les limites d'alimentation, une limite étanche (limite d'aquifère) (Lallemand Barres et Roux, 1999).

IV.1.5. LA DELIMITATION DE CES PERIMETRES

Il existe plusieurs méthodes pour délimiter les périmètres de protection. Dans ce qui suit nous allons en présenter deux. La première est basée sur le pouvoir épurateur du sol et la seconde sur le temps de transfert. Ces méthodes sont bien développées dans le document de Lallemand Barres et Roux (1999).

IV.1.5.1. Estimation du pouvoir épurateur des terrains traversés

Une méthode empirique, mise au point par Rehse, consiste à estimer dans quelle mesure un polluant déversé en surface du sol verra sa teneur diminuer après parcours verticale jusqu'à la nappe, puis après un parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement (Lallemand Barres et Roux, 1999).

Pour cela des index sont attribués aux différents types de roches qui sont implicitement liées à la perméabilité et au pouvoir de rétention des constituants des matériaux et qui tiennent également compte de l'épaisseur. Les quatre premiers mètres qui constituent la tranche de terrain pouvant être affectés par des travaux de terrassement, de canalisation, ne sont pas pris en compte dans le calcul (Lallemand Barres et Roux, 1999).

Rehse a proposé une méthode empirique de calcul du pouvoir épurateur du sol, lors du transfert d'un polluant, de la surface du sol jusqu'à l'aquifère par circulation vertical, par écoulement horizontal dans l'aquifère jusqu'au captage (Lallemand Barres et Roux, 1999).

Les différentes catégories de sol pouvant être rencontrées ont été classées en fonction de la granulométrie. L'auteur a défini les épaisseurs de sol nécessaires, en condition non saturées pour une épuration des eaux polluées. De même, pour quatre catégories de constituants de l'aquifère, il détermine une longueur de trajet, fonction de la vitesse effective, nécessaire pour compléter cette épuration (Lallemand Barres et Roux, 1999).

Les paramètres physiques et hydrodynamiques des différents matériaux ayant servi à calculer les épaisseurs H et les distances L peuvent être trouvées en détail dans le livre de Lallemand Barres et Roux (1999).

$$I = \frac{1}{H} \text{ avec } H : \text{ épaisseur en mètres sur la tranche verticale}$$

$$\text{Ou } I = \frac{1}{L} \text{ avec } L : \text{ longueur en mètre du trajet horizontal dans la nappe}$$

Le pouvoir épurateur des terrains, est calculé par :

$$M_x = (M_d + M_r)$$

M_x : pouvoir épurateur sur la totalité du transfert.

M_d : pouvoir épurateur sur le trajet vertical.

M_r : pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

L'épuration est complète si : $M_x = 1$

Sur le trajet vertical, le pouvoir épurateur est égale à :

$$M_d = h_1 I_1 + h_2 I_2 + h_3 I_3 \dots$$

h_1, h_2, h_3 : hauteur des différentes catégories de terrains rencontrées.

I_1, I_2, I_3 : index .

Si $Md \geq 1$: cela signifie que l'épuration est totale dans les couches de couverture, et que la délimitation d'un périmètre de protection rapprochée n'est pas nécessaire selon Rehse.

Si $Md < 1$ la dépollution n'est pas totale. Elle doit se poursuivre dans la roche aquifère lors du transfert horizontal.

Soit $Mr = 1 - Md$ le pouvoir épurateur dans l'aquifère.

La distance l à parcourir horizontalement pour une épuration totale sera :

$$l = \frac{Mr}{Ia} \quad \text{Ou } Ia \text{ index correspondant au matériau aquifère.}$$

l : correspondrait dans ce cas à la limite de la zone de protection rapprochée

S'il n'y a pas de couverture, toute l'épuration doit se faire horizontalement Mr doit être égal à 1.

$$L = \frac{1}{Ia}$$

IV.1.5.2. La méthode de Wyssling

Cette méthode consiste à calculer dans un premier temps, la zone d'appel du captage, puis à chercher la distance correspondant au temps de transfert souhaité, dans la direction d'écoulement. Cette méthode demande un pompage d'essai et certaines données : porosité efficace, perméabilité, épaisseur de l'aquifère, gradient (Lallemand Barres et Roux, 1999).

Les données utilisées sont les suivantes :

b = épaisseur de l'aquifère en m

K = perméabilité en m /s

I = gradient

ω = porosité efficace

Q = débit du puits m^3/s

Dans un premier temps on détermine la zone d'appel par le calcul. Dans une nappe libre, si B est la largeur du front d'appel.

On a :

$$Q = K B b i \quad B = \frac{Q}{K b i} \text{ en mètres.}$$

$$\text{Le rayon d'appel : } X_0 = \frac{Q}{2\pi K b i}$$

$$\text{La largeur du front d'appel à hauteur du captage : } B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2K b i}$$

$$\text{D'autre part la vitesse effective } U \text{ est égale : } U = \frac{K i}{\omega}$$

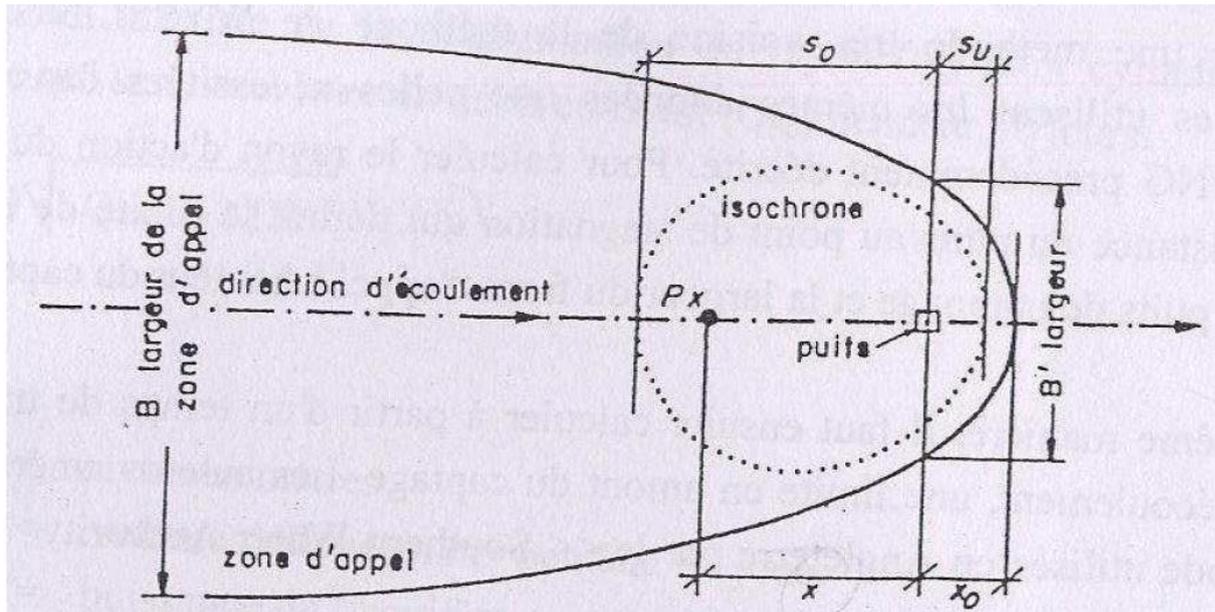


Figure IV.2 : Détermination des isochrones (Lallemand Barres et Roux, 1999).

Une fois déterminée la zone d'appel, on cherche sur la direction d'écoulement la distance correspondant à un temps de transfert souhaité, par exemple 50 jours, c'est-à-dire l'isochrone 50 jours. Cette distance est calculée par les formules suivantes :

$$S_0 = S_u = \frac{\pm l + \sqrt{l(l + 8X_0)}}{2}$$

S_0 : Distance en amont du captage depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps de transfert t souhaité en m.

S_u : Distance en aval du captage ; sur l'axe d'écoulement depuis le puits jusqu'à la distance correspondant au temps t souhaité.

$$l = U \times t$$

Cette formule donne une valeur approchée de S_O et S_U .

Cette méthode est simple à utiliser. Elle demande un pompage d'essai et les données exposées précédemment. Elle suppose le milieu homogène.

IV.2.LA PROTECTION DES EAUX SOUTERRAINES SELON LA LEGISLATION ALGERIENNE

L'Algérie a adopté plusieurs politiques concernant la protection des ressources en eau souterraine. Généralement elles sont matérialisées par le code des eaux mais aussi par le code de la protection de l'environnement et le code de la santé publique (Cherifi et Bensmain, 2017).

Nous citons dans ce qui suit les principaux textes législatifs ayant permis la réglementation du secteur de l'eau et l'élaboration de lois relatives à la protection des eaux souterraines :

- La loi n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux (J.O.R.A., 1983).
- La loi n°05-12 du 4 aout 2005 relative à l'eau (J.O.R.A., 2005).
- Le décret exécutif n° 07-399 du 23 décembre 2007 relatif au périmètre de protection qualitative des ressources en eau (J.O.R.A., 2007).
- Le décret exécutif n°10-73 du 06 février 2010 relatif à la protection quantitative des nappes aquifères (J.O.R.A., 2010).

IV.2.1.LA LOI N°83-17 DU 16 JUILLET 1983 PORTANT CODE DES EAUX

Cette loi prévoit la protection des eaux souterraines de l'article 109 à l'article 124 par des périmètres de protection qualitative et quantitative. D'après l'article 110 le périmètre de protection est définie comme un contour délimitant un domaine géographique ou toutes les activités à l'intérieur des périmètres de protection qui peuvent contaminer les ressources en eaux souterraines sont interdites ou réglementées. Ces activités sont mentionnées dans l'article 111 concernant notamment :

- L'exécution des puits et forages.
- L'exploitation des carrières.
- L'installation de canalisation, réservoirs et dépôts d'hydrocarbure.
- L'installation de canalisations des eaux usées de toutes natures.
- L'établissement de toutes constructions.

- L'épandage de fumier, engrais et tous produits destinés à la fertilisation des sols et à la protection des cultures.
- Les dépôts d'ordures, immondices, détritiques radio-actifs, d'une manière générale, tout produit et matière susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.

La protection des ressources en eaux souterraines doit également être protégée par une protection qualitative de tous les types des captages (source, puits, forages) et une protection quantitative de toutes les parties vulnérables des nappes souterraines surexploitées ou menacées de l'être, à l'intérieur desquelles sont :

- Interdites toutes réalisations de travaux de fonçage de puits ou forages ou toute modification des installations existantes destinées à augmenter les débits prélevés.
- Soumis à autorisation, les travaux de remplacement de réaménagement des installations hydrauliques existantes, sans augmentation des volumes d'eau prélevés.

IV.2.2.LA LOI N°05-12 DU 4 AOUT 2005 RELATIVE A L'EAU

Il a été rajouté par rapport la loi 1983 la notion de protection quantitative. Cette loi a comme objet d'établir les principes et règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale (J.O.R.A., 2005).Elle a abordé la protection des eaux souterraines soit par des périmètres de protection qualitative ou quantitative à travers les articles 38 jusqu'au l'article 52 :

Un périmètre de protection quantitative pour les nappes aquifères surexploitées ou menacées de l'être, il est institué des périmètres de protection quantitative en vue d'assurer la préservation de leurs ressources en eau (J.O.R.A., 2005).

Un périmètre de protection qualitative : Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de prévention des risques de pollution (J.O.R.A., 2005).

* un périmètre de protection immédiate dont les terrains doivent être acquis par l'Etat et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés ;

* un périmètre de protection rapprochée à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle (J.O.R.A., 2005) ;

* un périmètre de protection éloignée à l'intérieur duquel sont réglementés les dépôts, activités ou installations visés à l'alinéa précédent (J.O.R.A., 2005).

IV.2.3.LE DECRET EXECUTIF N° 07-399 DU 23 DECEMBRE 2007

D'après l'article 1 l'objectif de ce décret est de fixer les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection qualitative des ressources en eau, la nomenclature des périmètres de protection, ainsi que les mesures de réglementation d'activités dans chaque périmètre de protection qualitative.

La protection qualitative des ressources en eau est assurée par trois types de périmètres de protection (mentionné dans l'article 2) :

- Le périmètre de protection immédiat.
- Le périmètre de protection rapprochée.
- Le périmètre de protection éloigné.

Il est exigé les conditions et les modalités de création et de délimitation des périmètres de protection en deux sections:

- Les champs d'application
- La procédure d'instauration des périmètres de protection qualitative.

Selon l'article 4, la protection qualitative autour des parties vulnérables des nappes d'eau souterraines ou des oueds est assurée exclusivement par l'établissement d'un périmètre de protection rapprochée et d'un périmètre de protection éloignée (J.O.R.A., 2007).

La procédure d'instauration des périmètres de protection qualitative des ressources en eau est menée selon les modalités mentionnée dans l'article 7 :

- réalisation d'une étude technique à l'initiative de l'organisme chargé de la création et de la délimitation des périmètres de protection qualitative ;
- communication de l'étude technique, pour avis et observations, aux institutions concernées par la création et la délimitation des périmètres de protection qualitative ;
- Approbation de l'étude par l'administration chargée des ressources en eau ;
- Instauration des périmètres de protection qualitative.

Le décret exécutif n° 07-399 a exigé une étude technique pour délimiter les périmètres de protection qualitative autour :

- Des ouvrages et d'installations de mobilisation des eaux souterraines ainsi que de certaines parties vulnérables de nappes d'eaux souterraines.

IV.2.4.LE DECRET EXECUTIF N°10-73 DU 06 FEVRIER 2010

Ce décret a pour objet de fixer les modalités de délimitation de périmètre de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau (J.O.R.A., 2010). Le but d'un dispositif de protection quantitative est de garantir la conservation des ressources par des prélèvements d'eau raisonnables par rapport à la capacité renouvelable de l'aquifère soit par l'évitement de la surexploitation de la nappe aquifère. Donc sur cette base toute nappe aquifère, dont le bilan hydrogéologique fait ressortir un déséquilibre chronique entre les prélèvements d'eau et les capacités renouvelables de l'aquifère, traduisant soit une situation de surexploitation, soit une évolution pouvant conduire à une situation de surexploitation, fait l'objet d'un dispositif de protection quantitative (J.O.R.A., 2010).

Selon l'article 3, l'administration chargée des ressources en eau initie l'élaboration d'un dossier technique comportant :

- un rapport hydrogéologique faisant notamment ressortir la (les) zone(s) de l'aquifère caractérisée(s) par une surexploitation ou une menace de surexploitation.
- un plan de délimitation géographique du périmètre de protection quantitative de la (des) zone(s) de l'aquifère concernée(s).
- un document proposant les différentes mesures susceptibles d'être prises pour assurer la protection quantitative de la nappe aquifère concernée.

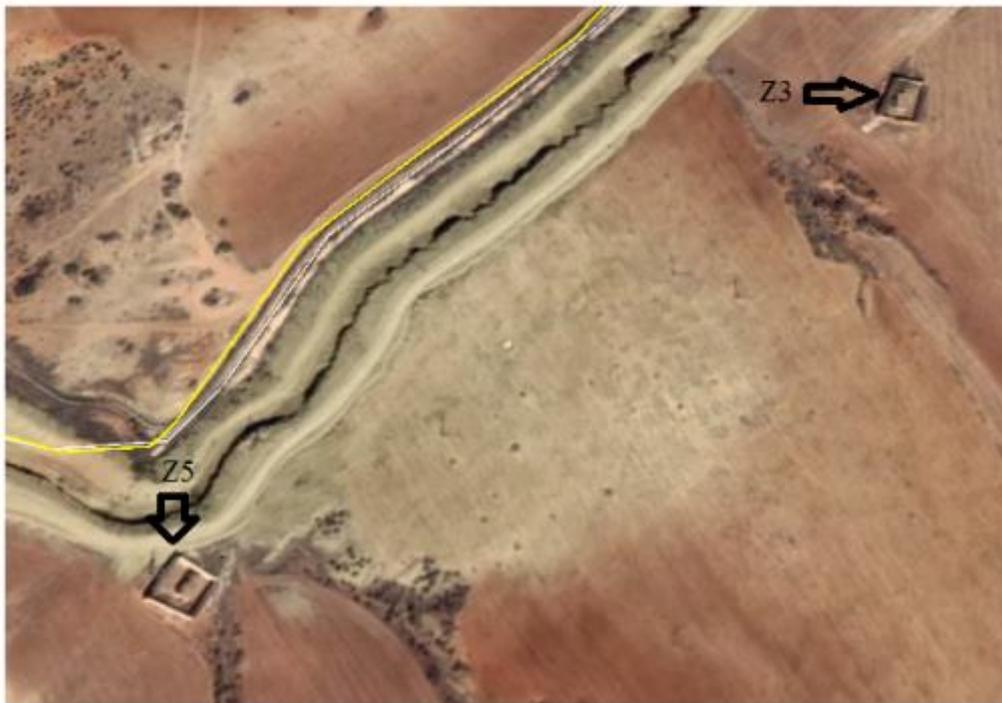
IV.3.LA PROTECTION DES FORAGES DU CHAMP CAPTANT DE ZOUIA

Vu à l'importance des forages du champ captant de Zouia qui alimente une population de 551721habitant, il est impératif de préserver cette ressource en eaux et donc l'établissement d'un périmètre de protection est indispensable.

IV.3.1.PERIMETRE DE PROTECTION IMMEDIAT :

Nous n'avons pas pu visiter les 22 forages du champ captant de Zouia mais nous avons réussi à nous approcher de certains d'entre eux. Pour le reste, nous avons utilisé Google Earth pour savoir si la protection immédiate était appliquée pour tous les forages ou non.

On distingue d'après les photos ci-dessous que la globalité des forages du champ captant de Zouia sont munis d'un périmètre de protection immédiat (photoIV.1 et photoIV.2)



PhotoIV.1 : Le périmètre immédiat visible sur une image Google Earth des forages Z5 et Z3.



PhotoIV.2 : L'intérieur de périmètre de protection immédiat pour le forage Z4.



PhotoIV.3 : Le périmètre de protection immédiat pour le forage B2.



PhotoIV.4 : L'équipement hydraulique de forage B2.



PhotoIV.5 : L'armoire de commande de forage B2



IV.3.2.PERIMETRE DE PROTECTION RAPPROCHE :

Au cours de nos recherches nous avons trouvé un arrêté du wali établi en 2014 portant les zones de protection à travers la wilaya de Tlemcen tel que : Béni Boussaid, Terny, Béni Bahdel, Aricha, SAF-SAF, Béni Mester et Lalla Setti. Cette approche visait principalement à réglementer les demandes de fonçage de puits et les travaux de forage effectués par le secteur privé pour éviter la surexploitation des nappes. Cet arrêté comprend les articles (traduits de la langue originale, l'arabe) suivants:

L'article 1 : sont établis au niveau des unités hydrologiques de la wilaya de Tlemcen des périmètres de protection pour protéger les eaux souterraines des types de pollutions dans ces zones.

L'article 2 : la prospection ou l'exploitation des eaux souterraines à l'intérieur de ces zones de protection sont strictement interdites, à l'exception l'exploitation des eaux destinées à la consommation humaine ou de cheptel ou les aires d'irrigation exploitées avant la signature du présent arrêté.

L'article 3 : les périmètres de protection de ses zones sont délimités selon les coordonnées

- Unités hydrographique des monts de Tlemcen.
- périmètre du champ captant Zouia 1 et 2.

d'après les figures ci-dessous (figure IV.3 et figure IV.4) on peut observer que la délimitation des zones de protection des champs captants Zouia 1 et Zouia 2 a été faite probablement par la méthode des distances à cause de l'absence des données hydrogéologique et du manque des moyens. En effet les forages des champs captants ne sont pas très éloignés les uns des autres (400 a 2750m). Mais on peut remarquer que la distance de protection n'est pas la même partout (varie de 200 m à 1500m), une question se pose : pourquoi?

Aussi, la zone de protection pour le champ captant Zouia 1 est limitée à l'Est par la frontière Algéro-Marocaine ce qui laisse apparaître l'absence d'une convention entre l'Algérie et le Maroc dans le cadre de la gestion de cet aquifère.

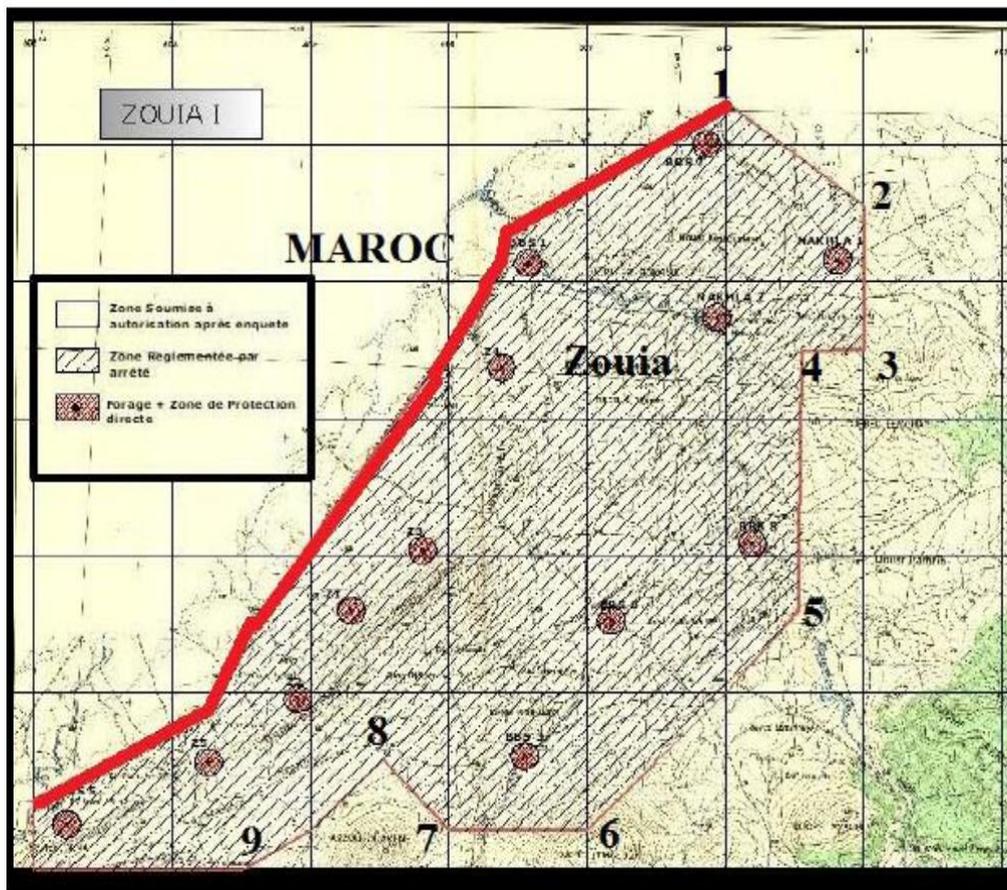


Figure IV.3 : Situation du Périmètre de protection du champ captant Zouia

Source : extrait de l'arrêté du Wali 2014.

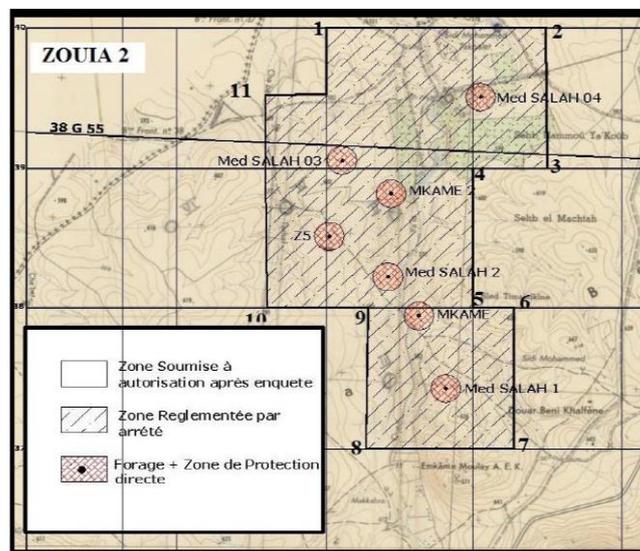


Figure IV.4 : Situation du Périmètre de protection du champ captant Zouia 2.

Source : extrait de l'arrêté de wali 2014.

CONCLUSION

Les eaux souterraines du champ captant de Zouia sont protégées aussi bien par l'installation de périmètres de protection immédiats et rapprochés mais aussi par le fait qu'elles sont contenues dans des réservoirs profonds donc loin de toute contamination qui viendrait de la surface.

Les autorités locales de Tlemcen ont bien vu l'importance des eaux souterraines dans l'approvisionnement en eau potable de la population. L'arrêté de wilaya établi spécialement pour la mise en place de zones de protection, aussi bien contre la pollution que la surexploitation, des principaux champs captant de la région dont celui de Zouia en est une preuve.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les eaux souterraines restent dans nos jours une ressource précieuse de meilleure qualité que les eaux déminéralisées et les eaux superficielles. En raison de sa fragilité, de sa précarité et même de son irrégularité, cette ressource nécessite une attention particulière pour sa mobilisation et sa gestion. Ces derniers dans les plupart des cas ont un caractère transfrontalier ce qui rend leur gestion plus difficile.

Parmi les aquifères transfrontaliers on peut citer le champ captant de Zouia qui chevauche sur le territoire algérien et marocain ce qui rend son exploitation et gestion plus compliquée vu l'absence de convention entre les pays concernés.

Les forages du champ captant de Zouia se répartissent sur une zone de 10Km² de superficie sur le versant nord-ouest du horst de Ghar-Roubane, une zone structurellement faillée. Les forages sont d'une profondeur comprise entre de 285 m (N1) et 1240 m (MS3) et une longueur totale forée de 15,192 km. Les couches de couverture de ces forages correspondent aux formations gréseuses et grésopélitiques de l'Oxfordien et du Callovo-Oxfordien qui sont globalement non productives et les dolomies productives correspond à des formations du Bajo- Bathonien qui deviennent plus profondes en allant du Sud-Ouest vers le Nord-Est.

Les eaux souterraines des forages du champ captant de Zouia sont caractérisées par trois facies (chloruré, bicarbonaté ou sulfaté) avec une température élevée qui varie de 20°C à 47°C et une minéralisation comprise entre 554,12 mg/L et 1385,85 mg/L ce qui favorise le phénomène de corrosion ce qui justifié le choix des conduites et des équipements des forages anti corrosion.

Selon l'ADE, le réseau d'adduction du champ captant de Zouia est équipé de deux stations de pompage d'une capacité qui varie de 14 399 m³/j à 25 920 m³/j, quatre réservoirs d'une capacité comprise entre 200 m³/j et 5000 m³/j et deux conduites en fonte ductile qui acheminent les eaux de Zouia1 et Zouia 2 vers les points d'utilisation.

Le champ captant de Zouia comporte 22 forages qui sont repartis en deux champs captant. Les eaux mobilisées sont utilisées pour combler le déficit en eau des agglomérations de GUT, Maghnia et le couloir Nord-Ouest de la wilaya. Ces derniers ont été exploités d'une manière très irrégulière au cours des années mais à fort volumes produits. En 2011 à la suite de la mise en service de la SDEM de Souk Tleta, le champ captant en question a été quelques peu mis en veille mais aussi utilisé comme une ressource de secours en cas de fort besoin. Le pompage au niveau des forages du champ captant a atteint son maximum en 2016 à cause des problèmes techniques enregistrés au niveau de la SDEM de Souk Tleta. L'exploitation

permanente et continue de cet aquifère d'une part et les faibles précipitations enregistrées sur la région ont engendré un exceptionnel rabattement dans la nappe ce qui a entraîné un mal fonctionnement des GEPI.

En 2014, le champ captant de Zouia a bénéficié d'une protection par décret de Wali, dans lequel les zones de protection des différents champs captant du territoire de la wilaya de Tlemcen sont délimitées. La protection des forages du champ captant de Zouia est matérialisée par des périmètres de protection immédiats et rapprochés.

Nous ne saurons terminer ce travail sans faire quelques recommandations :

- Pour la préservation de la nappe de Zouia il faut réduire les débits de pompages pour diminuer le rabattement et faire une exploitation plus régulière
- il faut pomper à des faibles débits continus plutôt qu'un fort débit discontinu pour éviter les forts rabattements et pour réduire les risques du colmatage du forage dû à la formation d'incrustations.
- Pour une meilleure gestion il faut faire un suivi piézométrique des forages afin de mieux voir les rabattements à long terme au niveau de la nappe.
- Pour les forages qui sont en réhabilitation il faut choisir un matériel qui supporte l'action corrosive des eaux et installer un piézomètre pour contrôler la nappe.
- les prélèvements des échantillons d'eau ne doit pas se faire au niveau de la station de pompage mais plutôt à la sortie du forage.
- il faut entretenir et surveiller les forages qui ne sont pas exploités (mis en veille) et les mettre en service de temps en temps pour éviter la détérioration des équipements de pompage et l'usure de la colonne montante
- Respecter la distance délimitée par les périmètres de protection.

Bibliographie

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADEME et BRGM, 2016, Fluides de forage et de complétion, Note technique N°023.
- Agence française de sécurité sanitaire des aliments(AFSSA), 2008, Lignes directrices pour l'évaluation des eaux minérales naturelles au regard de la sécurité sanitaire, ([www. AFSSA.fr](http://www.AFSSA.fr)).
- Aggab C., 2014, Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la station de dessalement de Souk Tleta (NW, ALGERIE), mémoire, Université de Tlemcen.
- AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC, 2015, L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique, un manuel de formation.
- Anonyme (a), 2006, Les analyses physico-chimiques d'une eau, Memotec n°32.
- Anonyme (b), 2006, Agressivité et corrosivité, Memotec n°17.
- Belhamdou N., 2013, Etude hydrogéologique et hydro chimique de la nappe de continentale intercalaire de la région de in Salah, mémoire, Université kasdi merbah Ouargla.
- Belkheroubi A., 2004, Adduction du couloir ouest de la wilaya de Tlemcen à partir du champ captant de Beni Boussaid, mémoire, université de Tlemcen.
- Bensaoula F., Adjim M. et Bensalah M., 2005, Les forages récents dans les aquifères des monts de Tlemcen, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 04, Juin 2005, pp.7-15; Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen.
- Bensaoula F.,Bensalah M.et Achachi A. , 2005, Etude des circulations d'eaux profondes dans les dolomies du Dogger de Zouia (Bordure occidentale des Monts de Tlemcen, nord-ouest Algérien) ;Bulletin d'Hydrogéologie N°21(2005),Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel édition Peter Lang.
- Benyazza A., 2014, Evaluation des facies hydro-chimique des eaux souterraines de la region d'in-salah (wilaya de tamanrasset),mémoire,Universite kasdi merbah Ouargla.
- Benyettou M.A et Bouklikha A., 2017, Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie, mémoire, Université de Tlemcen.
- Bézèlgues-Courtade S. et Bes-De-Berc S., 2007 , Inventaire des sources thermales de Guadeloupe,document publique , rapport final ,BRGM/ RP-55060-FR.
- Boudjema S., 2007, Modelisation de la nappe de la plaine de Maghnia, mémoire en magister, Université d'Oran.

Références Bibliographiques

- Boukhateb A., 2018, Etude de la qualité des eaux rejetées par la maïserie de Maghnia, mémoire, Université de Tlemcen.
- Bounab R. et Tamzait K., 2014, Caractérisation Hydrochimique des eaux souterraines et de surface vis-à-vis des métaux lourds, cas des Oueds Djemaa-Zitouna (Bejaia), mémoire, Université A.Mira de Bejaia.
- Bouselsal B., 2014, Forage d'eau procédés et mesures, cours, Université de Kasdi Merbah-Ouargla.
- Bouti N. et Brik F., 2017, Etude d'évolution de la qualité des eaux de la nappe du miopliocène destinée à l'aep (cas de la cuvette de Ouargla), mémoire, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- Bouzara C. et Ensaad R., 2018, Contribution à la protection des eaux souterraines soumises aux pressions agricoles - Cas de la plaine du Haut Cheliff -, mémoire, Université Djillali Bounaama - Khemis Miliana.
- Brahami I. et Mahamedi A., 2016, Schéma optimal de l'utilisation des ressources en eau dans le Groupement Urbain de Tlemcen, mémoire, université de Tlemcen.
- Cherifi M.S et Bensmain Y., 2017, Contribution à l'étude de la protection des eaux souterraines dans le groupement urbaine de Tlemcen, mémoire, université de Tlemcen.
- Comité international de la Croix-Rouge, 2011, guide pratique pour les essais de pompages de puits, revue technique. Le site : <https://shop.icrc.org/revue-technique-guide-pratique-pour-les-essais-de-pompage-de-puits.html> consulté le 08/06/2019
- Dahbi M., 2016, Etude hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines de la région de reggane (wilaya d'adrar), université de Tlemcen.
- Fellah H.S, 2011, La cartographie de vulnérabilité et du risque de pollution des eaux souterraines dans le groupement urbain de Tlemcen, mémoire, université de Tlemcen.
- Frioua S., 2014, Localisation et caractérisation des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra à l'aide du SIG, mémoire, université de Mohamed khider Biskra.
- Ghazali D. et Zaid A., 2013, étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source ainsalama-jerri (région de Meknes –Maroc), Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 12, pp. 25-36, laboratoire de Chimie-Biologie appliquée à l'environnement. Département de Biologie, Université Moulay Ismail, faculté des Sciences, Meknès, Maroc.
- Guyomard M., 2011, La gestion concertée des eaux souterraines transfrontalières, Synthèse documentaire .

Références Bibliographiques

- Hadjila O. et Saber I., 2017, Etude de sécurisation de l'alimentation en eau potable des grandes agglomérations de la Willaya de Tlemcen, mémoire, université de Tlemcen.
- Hidaoui A. et Louannas A., 2015, Etude du système traditionnel d'irrigation au Sahara, exemple des Foggaras de la région d'Adrar (Touat), mémoire, université de Tlemcen.
- Journal Officiel de la République Algérienne N° 35 du 27-05-1998 ,arrêté interministériel du 25 Ramadhan 1418 correspondant au 24 janvier 1998 modifiant et complétant l'arrêté du 14 Safar 1415 correspondant au 23 juillet 1994 relatif aux spécifications microbiologiques de certaines denrées alimentaires.
- Journal Officiel de la République Algérienne N° 18 du 23 mars 2011, décret exécutif n° 11-125 du 17 RabieEthani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine
- Journal Officiel de la République Algérienne N°11 du 10/02/2010, Décret exécutif n°10-73 du 21 Safer 1431 correspondant au 06 février 2010 relatif à la protection quantitative des nappes aquifères.
- Journal Officiel de la République Algérienne N°30 du 19/07/1983, Lois n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux.
- Journal Officiel de la République Algérienne N°60 du 04/09/2005, Loi n°05-12 du 28 JoumadaEthania 1426 correspondant au 4 aout 2005 relative à l'eau.
- Journal Officiel de la République Algérienne N°80 du 26/12/2007, Décret exécutif n°07- 399 du 14 DhouElhidja 1428 correspondant au 23 décembre 2007 relatif au périmètre de protection qualitative des ressources en eau.
- Lalam A., 2017, Caractérisations, classification et statistique multivariable des eaux de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de MAGHNIA,mémoire,Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen.
- Lallemand Barres A. et Roux J.C, 1999, Périmètre de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humain, Édition BRGM.
- Machard de Gramont .H,Noel .C,Oliver .J.L.,Pennequin .D,Rama .M et Stephan .R .M ,2010,Vers une gestion concertée des systèmes aquifères concertée transfrontaliers, guide méthodologique , Agence Francaise De Développement, édition à savoir .
- Madouni A., 2013, Modélisation du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Maghnia avec le logiciel poteau, mémoire, université de Tlemcen.
- Marchal J.P., 2007, Eaux destinées à la consommation humaine. Guide pour la protection des captages publics. Départements du Gard et de l'Hérault. Rapport final. BRGM/rp-55699-fr.

Références Bibliographiques

- Mimouni D. et Mahboubi H., 2014, Etude géologique de l'indice de minéralisation : « Djbel Deglen » (partie sud des monts de Ghar Roubane, Tlemcen, Algérie), mémoire, université de Tlemcen.
- Mohamed A.B et Kahboub B., 2017, Le suivi hydrogéologique des travaux de forages d'eau pour l'alimentation en eau potable de la nouvelle ville de Blida (dans la plaine de la Mitidja, Bouinane,), mémoire, Université Djillali Bounaama de Khemis-Miliana.
- Moulay O.Y et Seddiki Y., 2017, Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa), mémoire, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- Moussa Nomao I., 2017, Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des forages à usage particulier et semi-industriels à Ouagadougou (Burkina Faso), mémoire, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.
- Nechem D., 2009, Qualité des eaux des sources thermales, Cas des sources du Djebel Safia (Hadjar Soud) Nord Est Algérien, mémoire, université Badji Mokhtar-Annaba.
- Nouayti N., Khattach D. et Hilali M., 2015, Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc); Journal of Materials and Environmental Science ISSN : 2028-2508 vol.6 No.4(2015), pp. 1068-1081.
- OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel), 2003, Système aquifère du Sahara Septentrional, gestion commune d'un bassin transfrontalier, Résultats de la première phase du SASS.
- Office national de la météorologie, 2018, Fiche technique, Réduction d'échelle et modélisation climatique avec une application à la gestion des forêts en Algérie.
- Ollagnier S. et Vittecoq B., 2007, Suivi de la qualité des eaux souterraines de Martinique, campagne de saison des pluies 2006 : Résultats et interprétation, document public, rapport final, BRGM/RP-55499-FR.
- Petit Jean O., 2009, La question des aquifères souterrains transfrontaliers.
- PHI-UNESCO et PNUE, 2016, Aquifères transfrontières et systèmes d'eaux souterraines des Petits États insulaires en développement, État et tendances, Résumé à l'intention des décideurs. Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), Nairobi.
- Rezgui F., 2016, Contribution à l'étude d'un inventaire exhaustif de la flore de la région de Nedroma, mémoire, Université de Tlemcen.
- Rodier J., 1980, L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 6^{ème} édition: Dunod, Paris.

Références Bibliographiques

- Rodier J., 2005, L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8^{ème} édition: Dunod, Paris
- Sekiou F. et Kellil A., 2014, caractérisation et classification empirique, graphique et statistique multivariée d'eaux de source embouteillées de l'Algérie), Larhyss Journal , ISSN 1112-3680, n° 12 , pp. 225-246, Département d'Hydraulique, Université d'Oum EL Bouaghi. Site :<https://www.partagedeseaux.info/La-question-des-aquiferes-souterrains-transfrontaliers> consulté le 03/02/2019
- Taithe A., Galland F. et Tertais B., 2013, Les aquifères transfrontaliers : caractérisation des tensions et coopérations, Rapport n° 393/FRS/PSSI .
- Vassolo S., 2014, Guide national de détermination des périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine. Coopération Allemande / Institut Fédéral des Géosciences et Ressources Naturelles (BGR) / GPES Gestion et Protection des Ressources en Eau Souterraine au Burundi.
- Vernoux J.F, Buchet R., Blum A., Wullemier A. et James O., 2010, Améliorer la protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine , N°ISBN 978-2-7159-2484-0 BRGM.
- Zeghid K., 2013, Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines karstiques. cas du bassin versant du Meffrouche, mémoire de magister, université de Tlemcen.
- Zerrouk M., 2003, L'inhibition de la corrosion par des dérivés d'aniline, mémoire, université de Ouargla .

Annexes

Annexes

ANNEXES

Annexe A: Précipitations mensuelles à la station du Barrage de Hammam Boughrara en mm (1999 – 2018)

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Pann uelle
1999/2000	20,5	18,7	50,8	60,2	0,5	-	6	8,7	49,1	0,5	-	-	215
2000/2001	15,9	71,4	50	26	32	26,6	9,1	4,3	3,3	-	-	-	238,6
2001/2002	15,1	27	113,7	24,5	1,8	3	8,3	60,5	36,8	0,5	-	17,4	308,6
2000/2003	-	10,3	68,5	14,3	68,7	66,5	19,3	27,2	15,5	3,3	-	-	293,6
2003/2004	4,3	27	33,8	47,2	36,5	17,2	104	17,9	50,2	4,1	-	4,4	346,6
2004/2005	1,8	25,4	32,5	58,8	17,5	50,7	34,1	4,5	3,3	-	-	-	228,6
2005/2006	2,5	2,5	34,4	5,7	54,6	34	18,8	12,6	21,1	1,2	9,7	-	197,1
2006/2007	38	21,3	7,7	29	8,8	25,3	5,3	80,2	5,4	-	-	-	221
2007/2008	8,3	34,4	56,5	27,1	16,1	7,8	-	4,8	2,7	-	-	-	157,7
2008/2009	35,2	146,6	58,8	76,4	92,4	11,5	18,2	21,3	6,4	1,5	-	-	468,3
2009/2010	85,4	1,3	31,8	17,3	39,9	33,8	65,9	52,6	17,7	16,8	-	20,5	383
2010/2011	3,6	71,8	13,3	18,8	12,5	28,2	19	44,3	64,3	13,2	-	3,6	292,6
2011/2012	0,8	54,3	80,6	24,5	11,8	50,8	23,7	17,3	5	1,4	0,6	-	270,8
2012/2013	23	44	131,3	19,3	67	39,9	33,9	31,7	35,5	-	5,6	2,4	433,6
2013/2014	11,6	-	32,3	93,4	53,5	36,5	40,9	6,8	15,4	9,9	-	-	300,3
2014/2015	20,7	4,3	32,7	76,1	71,5	33,1	31,4	5,8	26,2	4,3	-	2,6	308,7
2015/2016	8,6	30,9	10,2	-	13,7	54	34,9	19,3	44	1,7	-	-	217,3
2016/2017	4,5	3,5	27,1	54,2	117,3	22,2	10,9	8,7	8,4	-	-	-	256,8
2017/2018	-	30,5	3,3	100,9	63,5	42,8	-	-	-	-	-	-	241
												Pmoy	283,1 1

Source : (Boukhateb , 2018)

Annexe B: Valeurs des Températures moyennes annuelles (1979/1980-2015/2016)

Années	T (°C)	Années	T (°C)	Années	T (°C)
79/80	17,7	92/93	15,88	05/06	17,38
80/81	16,4	93/94	16,59	06/07	17,58
81/82	19,6	94/95	16,89	07/08	17,22
82/83	18,02	95/96	18,5	08/09	17,04
83/84	18,6	96/97	17,63	09/10	20,19
84/85	18,9	97/98	16,68	10/11	21,03
85/86	19,03	98/99	16,74	11/12	19,4
86/87	17,35	99/00	16,82	12/13	18,9
87/88	15,98	00/01	17,93	13/14	20,1
88/89	16,45	01/02	17,03	14/15	20,00
89/90	18,48	02/03	17,78	15/16	19,8
90/91	16,18	03/04	17,38	Tmoy	17,9
91/92	15,81	04/05	17,11		

Source : (Lalam , 2017)

Annexe C : L'arrête de dimensionnement de zone de protection pour le champ captant de Zouia établie par DRE.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

ولاية تلمسان
مديرية الموارد المائية

القرار رقم **276** المؤرخ في **12** فيفري 2014
ينظم إنشاء مناطق محمية لحماية المياه
الجوفية عبر ولاية تلمسان.

ولاية تلمسان
مديرية التنظيم والشؤون العامة
مصلحة الشؤون القانونية والمنازعات
تأشير المطابقة لمشروع قرار
رقم **377** في **11** فيفري 2014

ان السيد والي ولاية تلمسان

- بمقتضى الأمر رقم 58/75 المؤرخ في 1975/09/26 المتعلق بالقانون المدني المعدل و المتمم بالقانون رقم 10/05 المؤرخ في 2005/06/20

- بمقتضى القانون رقم 17/83 المؤرخ في 1983/07/16 المتضمن قانون المياه المعدل و المتمم بالأمر رقم 13/96 المؤرخ في 1996/09/15

- بمقتضى القانون رقم 09/84 المؤرخ في 04 فيفري 1984 المتعلق بالتنظيم الإقليمي للبلاد.

- بمقتضى القانون رقم 30/90 المؤرخ في 01 ديسمبر 1990 المتضمن قانون أملاك الدولة المعدل و المتمم.

- نظرا للقانون رقم 10-03 المؤرخ في 19 جويلية 2003 و المتعلق بحماية البيئة في إطار التنمية المستدامة.

- نظرا للقانون رقم 20-04 المؤرخ في 25 ديسمبر 2004 و المتعلق بالوقاية من الأخطار الكبرى و تسيير الكوارث في إطار التنمية المستدامة.

- بمقتضى القانون رقم 10/11 المؤرخ في 22 جوان 2011 المتعلق بالبلدية.

- بمقتضى القانون رقم 07/12 المؤرخ في 21 فيفري 2012 المتعلق بالولاية.

- نظرا للمرسوم رقم 373-83 المؤرخ في 28 ماي 1983 الذي يحدد سلطات الوالي في ميدان الأمن و المحافظة على النظام العام

- بمقتضى المرسوم رقم 05/84 المؤرخ في 02 جانفي 1984 المتعلق بتطبيق المادة 143 من القانون رقم 17/83 المشار إليه أعلاه.

- نظرا للمرسوم رقم 105-84 المؤرخ في 12 ماي 1984 و المتعلق بتأسيس محيط لحماية المنشآت و الهياكل الأساسية

- نظرا للمرسوم رقم 385-84 المؤرخ في 22 ديسمبر 1984 الذي يحدد التدابير المخصصة لحماية التركيبات و المنشآت و الوسائل

- نظرا للمرسوم رقم 231-85 المؤرخ في 25 أوت 1985 الذي يحدد شروط تنظيم التدخلات و الإسعافات و تنفيذها عند وقوع الكوارث

- نظرا للمرسوم رقم 232-85 المؤرخ في 25 أوت 1985 المتضمن الوقاية من أخطار الكوارث

- نظرا للتعليمية الوزارية رقم 244 المؤرخة في 07 جويلية 2011 المتضمنة تخفيف الإجراءات بمنح رخص استعمال الوارد المائية.

- نظرا للتعليمية الوزارية رقم 063 المؤرخة في 12 جانفي 2014 المتضمنة مخطط تحسين الخدمة العمومية.

- بناء على المحضر المؤرخ في 31/10/2013 المتضمن تنصيب السيد ساسي أحمد عبد الحفيظ واليا لولاية تلمسان،

- نظرا للتعليمية الولائية رقم 2308 المؤرخة في 16 أكتوبر 2000 المتضمنة إجراءات منح رخص الحفر و التنقيب،

- نظرا لتقرير مدير الموارد المائية لولاية تلمسان حول وضعية الموارد المائية.

-02-

رقم 276 المؤرخ في 12 فيفري 2014 المتضمن إنشاء مناطق محمية لحماية المياه الجوفية عبر ولاية تلمسان

باقتراح من السيد مدير الموارد المائية لولاية تلمسان

يقرر

الأولى : تنشأ على مستوى الوحدات الهيدروجيولوجية لولاية تلمسان مناطق محمية للحفاظ على المياه الجوفية و حمايتها من كل أنواع التلوث في محيط هذه المناطق .

دوة 2 : يمنع منعاً باتاً التنقيب أو استغلال المياه الجوفية على مستوى المناطق المحمية باستثناء استخراج المياه الموجهة لحاجيات المواطنين (الشرب) أو ترويين المواشي و سقي المساحات المسقية الموجودة قبل تاريخ إمضاء هذا القرار .

الدوة 3 : يحدد محيط المناطق المحمية كما يلي :

- الحوض الهيدروغرافي لهضاب تلمسان :

منطقة الزوية حقل جنب المياه الجوفية رقم 01 و 02

Zouia 2			Zouia 1		
Points	Coordonnée s	Coordonnée s Y	Point s	Coordonnée s X	Coordonnées Y
1	613 000	3 840.000	1	610 000	3 836.33
2	614 460	3 840.000	2	611 000	3 835.66
3	614 460	3 839.000	3	611 000	3 834.66
4	614 110	3 839.000	4	610 400	3 834.66
5	614 110	3 838.000	5	610 400	3 832.66
6	614 330	3 838.000	6	609 000	3 831.00
7	614 330	3 837.000	7	608 000	3 831.00
8	613 280	3 838.000	8	607 660	3 831.53
9	613 180	3 838.000	9	606 760	3 830.77
10	612 600	3 839.500			