



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université d'Oran 2

.....

Faculté des Sciences de la Terre,

Département des Sciences de la Terre et l'Univers

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de master en sciences de la terre

Option : Hydrogéologie

Spécialité : Eaux Souterraines et Environnement

Thème :

**Etat des lieux et réactualisation du contexte hydrogéologique du
synclinal d'El Bayadh**

Présenté par : FATIMA SMAIL et AMINATH ANJORIN

Soutenu le 30 septembre 2018, devant le jury composé de :

- M^r. Mansour. H . Rapporteur
- M^m. Ablaoui. H . Examinatrice
- M^r. Boursali. T . Président

Oran, 2018

REMERCIEMENT

Tout d'abord, louange à **ALLAH** le tout puissant, le tout miséricordieux qui nous a donné le courage et la force pour réaliser ce modeste travail, qui est le fruit de mes cinq dernières années d'étude, et pour tous ses bienfaits

On tient à exprimer toutes ma reconnaissance à Monsieur H. MANSOUR enseignant-chercheur au département des Sciences de la terre, qui a accepté de diriger ce travail, on le remercie également pour avoir bien voulu me faire profiter de ses connaissances et pour les conseils et orientations

On remercie également tous les enseignants du département des sciences de la terre de m'avoir beaucoup aidé dans nous parcours d'études.

Mes vifs remerciements à Monsieur T BORSALI enseignant-chercheur au département des Sciences de la terre, d'avoir accepté d'honoré la présidence du jury.

Nous sommes très sensibles à l'honneur que nous fait Madame H. ABLAOUI en acceptant de juger ce travail.

Mes remerciements sont adressés aussi à :

- La direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'El Bayadh.
- A toutes ces personnes, on tient à associer nos parents pour tous leurs aides

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents, en témoignage de ma profonde gratitude et de ma pleine reconnaissance pour tous les sacrifices qu'ils m'ont consacré, à la confiance totale qu'ils m'accordent et tout l'amour dont ils m'entourent.

A mes chers frères et sœurs : Houda, Samra, Rihab, Kadirou qui m'ont énormément supporté et qui jamais cessé de me soutenir

A ma chère et meilleure amie Soumia qui m'a soutenu et encouragé durant ce travail.

A Mohammed I qui m'a aidé et encouragé durant ce travail

A mon binôme Aminata A

A mes camarades et amies,

Nadjat ,Tita ,Samira ,Souad ,Mebarka ,Fatiha ,Houda ,Soumia ,Batoul ,Safaa ,Samia ,Khaoula
Khansaa , Souad M

Pour leur soutien moral et les beaux moments que nous avons pu passer ensemble durant tout le cycle d'étude.

A toute ma famille, à tous mes amis et à tous ceux qui me sont chers.

Que dieu vous garde tous !

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail
A AALIYAH

A mes chers parents, en témoignage de ma profonde gratitude et de ma pleine reconnaissance pour tous les sacrifices qu'ils m'ont consacré, à la confiance totale qu'ils m'accordent et tout l'amour dont ils m'entourent.

A mes chers frères et sœurs Mariam et Josué qui m'ont énormément supporté et qui jamais cessé de me soutenir

A mon binôme Fatima S.
A mes camarades et amies,

Pour leur soutien moral et les beaux moments que nous avons pu passer ensemble durant tout le cycle d'étude.

A toute ma famille, à tous mes amis et à tous ceux qui me sont chers.

Que dieu vous garde tous !

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

INTRODUCTION GENERALE :page 01

GENERALITES

CHAPITRE I: LA GEOLOGIE

I -GEOLOGIE :

I.1-Introductionpage 10

I.2-Historique des recherchespage 11

I. 3- Contexte géologique.....page13

3.1- Aperçu géologique de l'Atlas saharien central..... Page13

3.1.1 Sur le plan structuralpage 13

3.1.2. Sur le plan stratigraphiquepage 14

I.4-La géologie de synclinal d'EL BAYADH.....page18

4.1- Cadre géologique du secteur étudiépage 18

4.2-Les formations géologiques de synclinal d'El Bayadhpage 18

I.5- Stratigraphie.....page 21

I.6-Conclusionpage 22

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

II.1-Introductionpage 23

II.2-Etude des précipitationspage 23

II.2.1-Etude de la variabilité annuelle des précipitations :.....page 23

II.2.2-Etude des variations mensuelles des précipitations :.....page 25

II.2.3-Etude des précipitations saisonnières :.....page 26

II.3-Etude des températures :.....page 27

II.4-Evaporation :.....page 28

II.5-Particularite des vents de sable d'El bayadhpage 29

II.6-Insolation :.....page 30

II.7-ETUDE DU CLIMAT :	page 30
II.7.1-Méthode de Gaussen et Bagnouls :	page 30
II.7.2-Indice climatique :	page 31
a) Indice de de MARTONNE :	page 31
b) Indice de MORAL :	page 33
c) Indice climatique d'EMBERGER :	page 34
II.8-BILAN HYDROLOGIQUE :	page 35
A-Détermination de l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite	
.....	page35
B-Détermination du ruissellement par la méthode de Tixeront et Berkaloff :	page 36
C-Déficit d'écoulement (méthode de Verdeil) :	page 36
D-Infiltration :	page 38
II.9-CONCLUSION :	page 39
CHAPITRE03 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	
III.1-Introduction	page40
III.2- conséquences hydrogéologiques de la lithologie et de la structure.....	page40
2.1- La lithologie.....	page40
2.1.1- Les formations imperméables.....	page40
2.1.2- Les formations perméables.....	page40
III.2.2- La structure.....	page41
2.2.1- Le système des anticlinaux et synclinaux	page41
2-2-2- Le réseau des failles et les décrochements.....	page41
III.3- les différents aquifères dans les monts de djebel amour.....	page44
III.4-Les principales nappes de la région.....	page45
III.5-Inventaire des points d'eau.....	page46
III.6- La vulnérabilité a la pollution.....	page52
III.7-Conclusion	page54

CHAPITRE 04 : HYDROCHIMIE

IV.1 -Introduction	page55
IV.2- classification des eaux	page56
IV.3- Interprétation des données de mesure et d'analyse.....	page57
IV.4- Qualité des eaux pour l'irrigation selon le SAR.....	page66
IV.5- analyse bacteriologique	page70
IV.6-Conclusion	page71
CONCLUSION GENERALE	page 72

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel, indispensable à la vie et aux écosystèmes naturels. Elle constitue un bien à caractère socio-économique incontestable. Cependant la pénurie d'Eau est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés et particulièrement celles des pays en voie de développement.

Généralement ; les eaux de consommation humaine proviennent soit des eaux de surfaces, soit des eaux souterraines. L'importance de l'eau en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays est universellement reconnue. Aussi est-il nécessaire de la quantifier et de la gérer aussi rigoureusement que possible.

Si les ressources en eau de surface doivent être mobilisées pour les différents besoins (Agriculture, implantations de barrages et de retenues collinaires) en revanche et en raison des méthodes inadaptées actuellement utilisées, elles posent un problème majeur lorsqu'il s'agit de quantifier les éléments du bilan hydrique et cerner les problèmes de recharge des aquifères.

Plus de trois décennies de développement intense en matière d'infrastructure hydraulique ont permis de comprendre que le développement durable du pays devait passer incontestablement par une prise en charge de la question de l'eau sous ses multiples facettes. (BOUANANI.A, 2007).

Le déficit pluviométrique engendré, conjugué à des besoins croissants (augmentation des populations, multiplications des activités consommatrices d'eau telle que l'agriculture) fait que l'alimentation en eau augure dans un avenir proche de sérieux problèmes.

Le ministère des ressources en eaux, a inscrit dans ses priorités des actions pour une mobilisation de cette ressource à travers entre autres une meilleure connaissance des réservoirs et potentialités.

Dans cette optique, nous avons tenté le contexte hydrogéologique de synclinal d'El-Bayadh (Wilaya d'El Bayadh) à partir des données récoltées au niveau de la direction des ressources en eau de la wilaya d'El Bayadh.

INTRODUCTION

Ce travail a été scindé en quatre chapitres :

- **Un premier chapitre** pour présenter le cadre géologique de la région étudiée ;
- **un deuxième chapitre** donnera un aperçu sur le climat régnant sur la zone d'étude, ainsi que les différents éléments du bilan hydrologique ;
- **le troisième chapitre** a été consacré à l'étude : hydrogéologique, où nous essayerons de déterminer les formations perméables, qui jouent le rôle de réservoir, et celles qui semblent imperméables constituant les limites des aquifères ;
- **le quatrième chapitre** a été consacré à l'étude : hydro chimique qui portera sur les caractéristiques physico-chimiques, des eaux souterraines ce qui permettra de déterminer leur qualité ainsi que les différents faciès chimiques et enfin leur aptitude à l'alimentation en eau potable et /ou à l'irrigation.
- **Conclusion générale**

CONSIDERATIONS GENERALES

GENERALITES :

1 - Cadre géographique d'EL BAYADH:

L'Algérie du Nord est constituée de trois grands domaines géographiques distincts, depuis la méditerranée. Le Tell ou l'Atlas tellien occupe la partie la plus septentrionale. Au Sud de celui-ci fait suite les Hautes Plaines et les Haut Plateaux. Au Sud de ce domaine s'étale l'Atlas saharien qui limite le Sahara dans sa partie Nord.

Une autre subdivision a été proposée par **GUIRAUD (1973)** en se basant sur la paléogéographie, donnant ainsi six domaines du Nord au Sud :

- le domaine tellien
- le domaine tlemcenien
- le domaine des Hautes Plaines oranaises
- le domaine pré-atlasique
- le domaine atlasique
- le domaine saharien

L'Atlas saharien est déterminé comme étant une chaîne de montagnes qui s'étend depuis les confins algéro-marocains jusqu'aux Aurès, suivant une direction Nord-Est/Sud-Ouest.

L'Atlas saharien est subdivisé en trois zones :

- la zone occidentale occupée par les Monts des Ksour
- la zone centrale dominée par le Djebel Amour
- la zone orientale formée par les Monts des Ouled Naïl

Notre région d'étude d'El Bayadh (Géryville) située dans les monts de Djebel Amour (Atlas Saharien central), est circonscrite dans un espace délimité en longitude par 0⁰ (méridien de Greenwich) à 2⁰ Est, et en latitude par 31⁰ à 34⁰ Nord. El Bayadh est une commune de la wilaya d'El Bayadh, dont elle est le chef-lieu, située à 370 km au sud-est d'Oran, à 520 km au sud-ouest d'Alger et à 500 km au nord-est de Béchar. Le territoire de la commune d'El Bayadh se situe au nord de la wilaya du même nom (Figures.1 et.2).

CONSIDERATIONS GENERALES



Figure 01 : Plan de situation
à l'échelle nationale

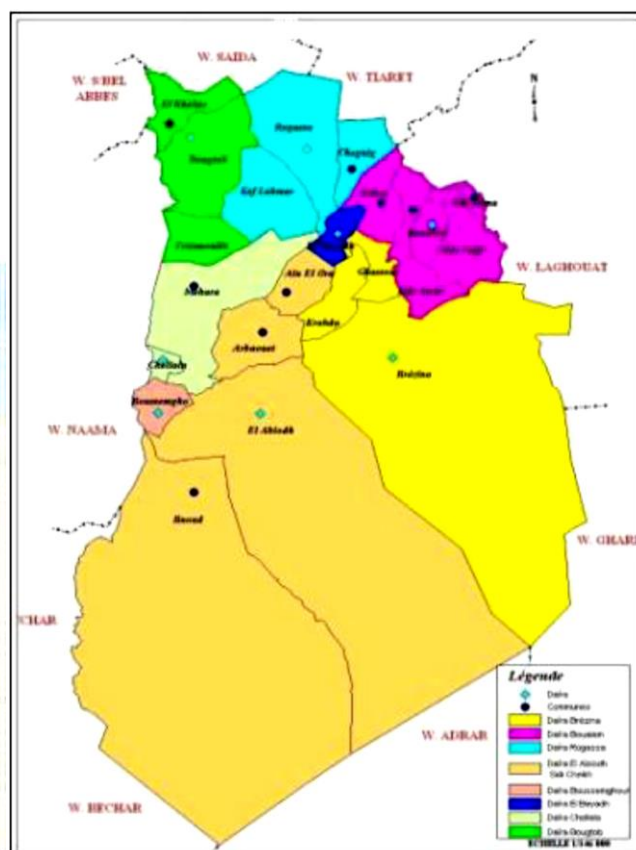


Figure 02 : Plan de situation de la ville
l'échelle de la wilaya

Les communes limitrophes d'El Bayadh, comme le montre la figure II.3, sont les suivantes :

- Cheguig,
- Rogassa,
- Stitten,
- El Mehara,
- Ain El Orak,
- Kraakda,
- Et Ghassoul.

CONSIDERATIONS GENERALES



Figure 03 : Communes limitrophes de la ville d'El Bayadh

2- Géomorphologie

La ville d'El Bayadh qui s'étend sur le synclinal d'El Bayadh est limitée au Nord par les djebels Mekther (1428m) et Zouireg (1509m), à l'Est par le djebel Ksel(2008m), au Sud par les djebels Eloustani (1921m), Bouderga (1872m) et Merdoufa (1578m) et à l'Ouest par le djebel E Biod(1453m)

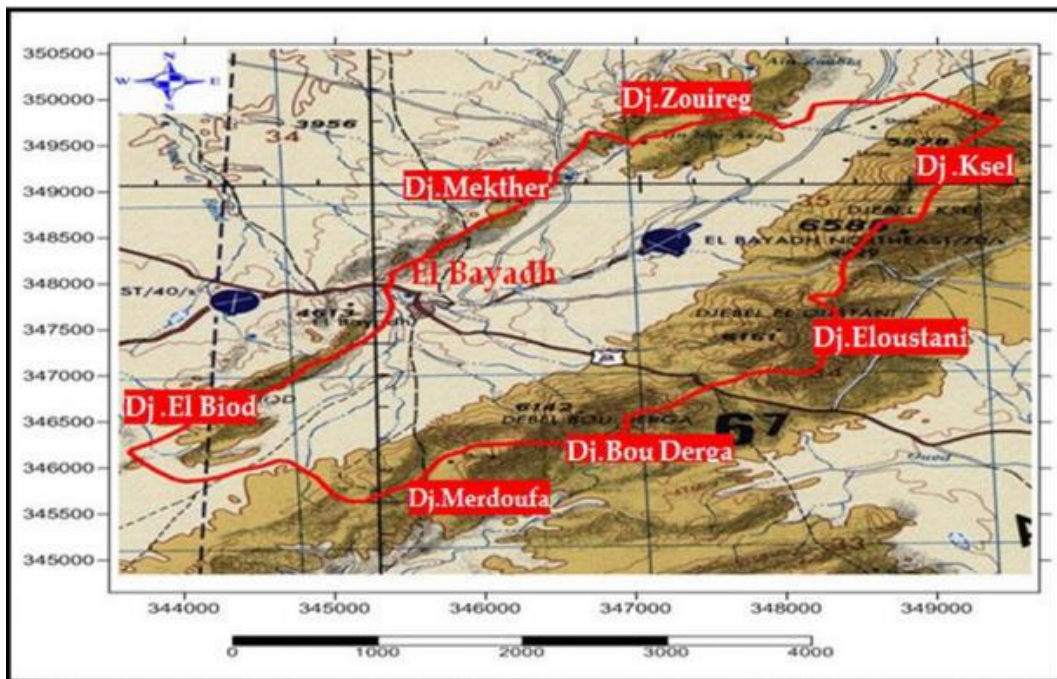


Figure 04 : Situation géographique de la ville d'El Bayadh in chaban Rabah 2016

La wilaya d'El Bayadh est constituée de trois ensembles physiques bien distincts, à savoir :

➤ Zone 1 des hautes plaines :

Bougtoab - El Kheiter -Tousmouline – Rogassa - Kef Lahmar –Cheguig et une partie de Mehara. Les altitudes varient entre 900 m à 1.400 m à Hassi Ben Hadjam (Mehara). Cette zone se caractérise par l'amplitude élevée (34 à El Kheiter), la faiblesse et l'irrégularité des

CONSIDERATIONS GENERALES

précipitations (208 à El Kheiter), la gelée (40 à 60 jours) et la présence de vents chauds (sirocco) avec des périodes sèches

➤ **Zone 2 Atlas Saharien :**

L'Atlas Saharien composé de 13 communes :

El Bayadh –Boualem - Sidi Amar - Sidi Taiffour - Sidi Slimane - Stitten - Ghassoul - Krakda - Ain El Orak –Arbaouet- Chellala - Mehara et Boussemgoun. Elle présente une situation bioclimatique (semiaride froid) relativement plus avantageuse par rapport à celle de la partie Saharienne de la Wilaya. Bénéficie de l'apport en eau et alluvions provenant des sommets et versants des reliefs montagneux dont les altitudes varient entre 1300 mètres et 2000 mètres (2008 m Djebel Ksel à l'Ouest de la localité de Stitten. Les précipitations sont relativement plus importantes par rapport aux autres zones l'hiver et plus rigoureux et l'enneigement dépasse 10 jours par an.

➤ **Zone 3 Prés Saharienne :**

La Prés Saharienne est constituée uniquement de trois communes qui sont : Brezina - El Abiodh Sidi Cheikh et Bnou. Partie la plus désavantagée, elle représente la superficie la plus importante de la Wilaya (71 % de la superficie totale).

Les altitudes décroissent du Nord au Sud de 1 000 à 500 m environ à la partie extrême Sud de la Wilaya où on note la présence de l'Erg Occidentale qui renforce l'aspect désertique de cette zone avec une période estivale plus longue et plus chaude. L'hiver est marqué par les gelées et des températures avoisinantes 0° C. Faisant partie de la zone Saharienne avec 129 mm comme hauteur des précipitations, elle présente une activité agricole limitée aux Ksour, caractéristique de l'agriculture Saharienne.

3- VEGETATION

Fortement liée au sol et au climat, la végétation dans la Wilaya présente des caractéristiques similaires à celles du milieu physique. La végétation prédominante est celle de la steppe, les forêts composées essentiellement de maquis et garrigues n'est présente que sur les sommets des montagnes de l'Atlas Saharien. Dans l'Atlas Saharien, les parcours sont variés et sont compris entre les isohyètes de 300 m et 400 m, il s'agit des zones steppiques les plus favorisées.

CONSIDERATIONS GENERALES

4- HYDRAULIQUE

La Wilaya compte 108 forages en exploitation d'AEP et irrigation d'un débit de 1 047 l/s, 34 puits avec une dotation de 44 l/s, et 09 ressources d'un débit de 29 l/s. Sur les 108 forages, 85 sont destinés pour la satisfaction des besoins AEP, 18 pour les besoins de l'industrie et le reste, à savoir 5 forages, 3 sont destinés à l'irrigation. La Wilaya dispose d'un grand barrage situé à Brézina (Sud de la Wilaya) pour une capacité initiale de 122.60 millions m³ et actuelle estimée à 108.47 Hm³. Ce barrage est destiné à l'irrigation d'une superficie de 1200 ha.

5-DONNEES HYDROGRAPHIQUES

Le réseau hydrographique du bassin versant alimentant le cours d'eau de la ville présente un chevelu assez dense dans la majorité de sa superficie. Ce bassin est traversé par :

- ✓ Oued Deffa au nord
- ✓ Oued Chadli au Sud-Est

Les caractéristiques du bassin versant d'Oued Deffa sont présentées dans le tableau 1.

Tableau101 : Caractéristiques du B.V d'Oued Deffa

DESIGNATION	UNITES	VALEURS
Surface	Km ²	108.20
Périmètre	Km	54.22
Longueur du talweg le plus long	Km	16.51
Altitude maximale	m	1940.0
Altitude minimale	m	1304.0

CONSIDERATIONS GENERALES

6)- Situation géographique et environnement du secteur étudié (Fig. 05)

Le secteur d'étude délimité par les services techniques de la D H W d'El Bayadh, s'étend de part et d'autre de la ville d'El Bayadh (Chef lieu de la wilaya) et s'étale plus vers le Nord - Est et le Sud -Ouest que vers le Nord et le Sud. Il s'allonge sur 65.70 Km et à une largeur moyenne de 9.56 Km et donc une superficie de 628.08 Km². Il est limité au Sud par les Djebels : Ksel (2008 m), El Ouastani (1921 m), Boudarga (1872 m) et l'El Orif (1587 m). Au Nord par les Djebels El Bïod (1453 m), Mekther (1428 m), et Zouireg (1509 m). Le climat est sub — désertique, froid plus ou moins pluvieux en hivers, sec et chaud en été.

➤ les sous bassins versants (synclinal d'El Bayadh) :

Le secteur étudié est subdivisé naturellement en quatre sous bassins versants qui sont du Nord- Est au Sud- Ouest

- ❖ Le sous bassin d'Oued El Hadjel
- ❖ le sous bassin d'Oued Deffa
- ❖ le sous bassin d'Oued Chadli
- ❖ le sous bassin d'Oued Merieres

CONSIDERATIONS GENERALES

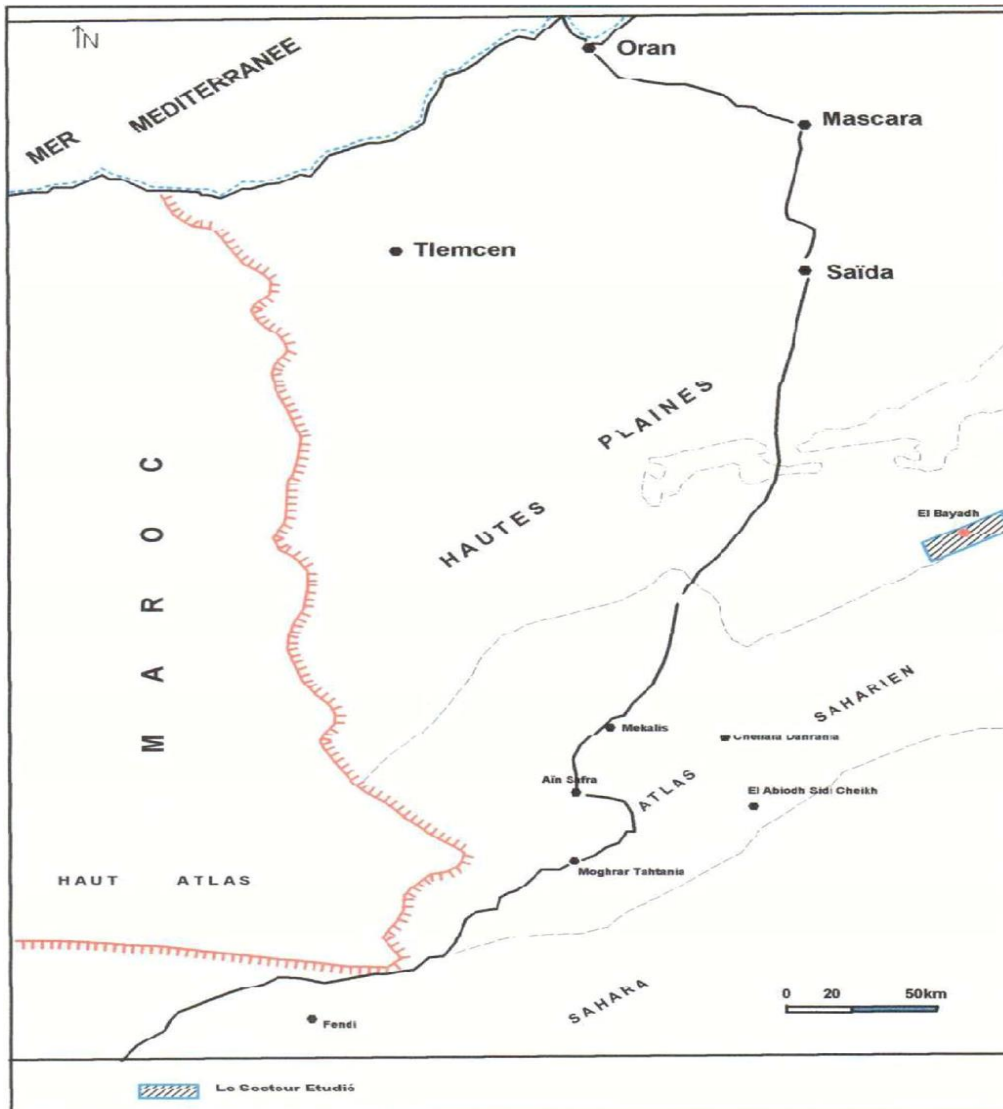


Figure05 :-Situation géographique du secteur étudié (Géo-water)

CHAPITRE I: LA GEOLOGIE :

I -GEOLOGIE :

I.1-Introduction :

Le domaine atlasique correspond à un vaste bassin mésozoïque, qui s'est individualisé dès le Trias, entre le craton saharien au Sud et la zone tellienne au Nord.

D'une longueur d'environ 1000 km, orientée SW-NE, la chaîne atlasique s'étend depuis la frontière marocaine jusqu'aux Aurès. Elle se compose de plis anticlinaux coffrés et de larges synclinaux à cœur crétacé déterminant ainsi de l'Ouest vers l'Est : les monts des Ksour, le djebel Amour et les monts des Ouled Naïl. La bande atlasique saharienne s'est formée à l'emplacement d'un sillon intercalé entre les Hauts Plateaux et la plateforme saharienne, où, sous l'effet de la subsidence, se sont accumulés durant le Secondaire et le Tertiaire de puissants dépôts néritiques et continentaux.

Les terrains du Jurassique supérieur et crétacé du Djebel Amour (région d'El Bayadh) sont situés à environ 400 kilomètres au Sud de la plaine oranaise. Ils s'organisent selon une transversale Nord-Sud en une succession de lignes principales de reliefs, orientés Nord – Est / Sud – Ouest. Il s'agit d'axes anticlinaux à noyaux Jurassiques, séparés par des aires synclinales crétacés, le plus souvent en forme perchée.

Durant le crétacé, les sédiments détritiques sont enregistrés dans plusieurs domaines atlasiques. Dans le cas de la région d'El Bayadh où ces sédiments constituent le réservoir principal dans la région, plusieurs travaux et recherches, réalisés pour l'exploitation, montrent qu'il s'agit de dépôts continentaux d'âge Barrémien -Aptien –Albien représentés par les grès de continental intercalaire.

I.2-Historique des recherches :

Au contraire des Atlas occidental et oriental, le djebel Amour, qui correspond à la région d'El Bayadh, n'a fait le sujet, auparavant, que de quelques expéditions de reconnaissance d'aspect général, effectuées par des pionniers de l'armée française, et de rares travaux académiques, géologiques et hydrogéologiques, réalisés par des chercheurs universitaires essentiellement français.

L'exploitation du domaine atlasique a débuté dans les années 1850. Il fait encore l'objet de recherches thématiques avec l'avènement des concepts de la géologie

- La période d'exploration : 1850-1911

C'est durant cette période que les pionniers **A. Pomel, J. Pouyane, Rocard, E. Ficheur, A. Peron, G.Cotteau, V. Cotteau et E. Ritter**, se consacrent à la stratigraphie de l'Algérie Nord.

La première synthèse cartographique au 1/800 000 est publiée en 1889 (**Pomel et Pouyane**). Les grands problèmes de la géologie algérienne étaient posés, notamment sur le plan tectonique (**Ficheur, 1883-1897**).

Cette période est couronnée, pour le domaine atlasique, par les ouvrages d'**E. Ritter (1902)** et de **G. B. M Flamand (1911)**. Le document de ce dernier regroupe des données fondamentales de la stratigraphie de la région de Djebel Amour.

- La seconde période : 1911-1952

C'est une période marquée essentiellement par la géologie saharienne et par l'important débat sur l'allochtonie en pays tellien. Plusieurs monographies régionales sont publiées sur le domaine atlasique : **R. Lafitte (1939), P. Delfau (1948), F. Roman et P. Russo (1948), J. Flandrin (1952)**. Certains de ces travaux avaient été réalisés à l'occasion du Congrès Géologique International d'Alger en 1952 qui vit la parution de la carte au 1/500 000 de l'Algérie.

Nous retiendrons de ces ouvrages que les préoccupations stratigraphiques dominent encore.

CHAPITRE I : la géologie

- La troisième période : 1952-1970

En dehors des travaux consacrés à la région tellienne et de l'intérêt porté à l'exploration pétrolière au Sahara, il faut signaler, en ce qui concerne les régions atlasiques, les travaux de :

* **A. CORNET (1952)**- carte géologique Atlas saharien central.

* **J. Emberger (1960)**. Esquisse géologique de la partie orientale des monts des Ouled Naïl.

* **J.P Bassoulet (1966 à 1973)** dans les monts des Ksour, qui apporte l'essentiel des données stratigraphiques sur les séries mésozoïques que consacrera sa thèse en 1973.

* **C. Caratini (1965 à 1968), R. Guiraud (1967 à 1973), D. Basseto et F. Coumes (1967) et N. Kazi Tani (1970)** dans la région de Bou Saâda.

Par ailleurs de 1945 à 1965, la **S N REPAL** a effectué des recherches dans la région. Entre 1964 et 1965. La **SONATRACH** a prospecté également par sondage l'Azreg de Laghouat et l'anticlinal d'Aïn Mehdi.

- La quatrième période : de 1970 à nos jours

C'est l'époque des études dite "modernes" dans l'Atlas saharien, les Aurès et les Hauts plateaux. Les objectifs étaient plusieurs :

Cartographie : lever des coupures au 1/200 000 d'Ain Rich, Brezina, Laghouat, El Bayadh, et réalisation des notices explicatives par les élèves-ingénieurs de l'IAP-IFP sous la direction de **D. Basseto** et de **J. Guillemot**. **Lever des coupures** au 1/50 000 par les équipes de **SONATRACH**.

Sédimentologie : ayant comme centre d'intérêt l'Atlas saharien par plusieurs chercheurs. **Une litho-stratigraphie** des unités essentiellement continentales est établie et un modèle sédimentaire pour ces séries fut proposé par **J. Delfaud en 1974**. Citons également le travail de **M. Herkat** sur le plan stratigraphique et sédimentologique.

Les travaux les plus récents concernant l'étude des principaux accidents de la chaîne et des structures associées réalisés par **A. BETTAHAR et N. Benkerrou**.

Les séries de l'Atlas saharien ne comportent pas que des séries jurassiques crétacées. C'est également une couverture tertiaire. **M. Mahboubi** a dans un travail récent (**1983-1990**), apporté des précisions sur ces formations continentales du Crétacé supérieur et du Tertiaire.

I. 3- Contexte géologique

3.1- Aperçu géologique de l'Atlas saharien central

3.1.1 Sur le plan structural

D'orientation globale NE-SO, le Djebel Amour fait partie de la chaîne atlasique. Dans l'ensemble, CORNET (1952) distingua la présence de deux principales unités tectoniques: les anticlinaux étroits et allongés et les synclinaux plus larges, plus longs, et perchés dans les terrains cénozoïque-turonien. Il est affecté par deux grands accidents qui correspondent aux accidents Nord et Sud atlasique. (Fig06.)

➤ **Accident Nord-atlasique :**

La limite entre l'Atlas saharien et les Hautes Plaines Oraïses est marquée par une ligne tectonique continue que l'on suit de Bou Arfa au Maroc jusqu'à Zahrez Chergui à l'Est de Boussada (EMBERGER, 1960). Cette faille se prolonge sur toute la bordure de la chaîne et met, à Mechria, les dolomies **Bjo-Bathonienne** en contact avec les grès du **calvo-oxfordien**. Une faille avec fort rejet (1.200m) au Nord-Ouest d'El-Bayadh. Limite vers le Nord-Ouest l'anticlinal chabket t Tikechkach-Djebel Taref, en effaçant la tonalité de son flanc Nord-Ouest dont il ne reste que des traces (CORNET, 1952).

➤ **Accident sud-atlasique :**

Cette ligne tectonique presque continue, depuis Agadir au Maroc jusqu'à Gabès en Tunisie, sépare le Sahara au Sud de l'Atlas saharien au Nord. Elle correspond à une série de flexures atténuées aux extrémités et se terminant le plus souvent dans des périclinaux. Les premières observations réalisées dans la région de Brézina-El Abiod montrent qu'il ne s'agit pas d'un accident unique, mais d'une bande récemment tectonisée à l'intérieur de laquelle les accidents se relaient avec un léger décrochement (CORNET, 1952).

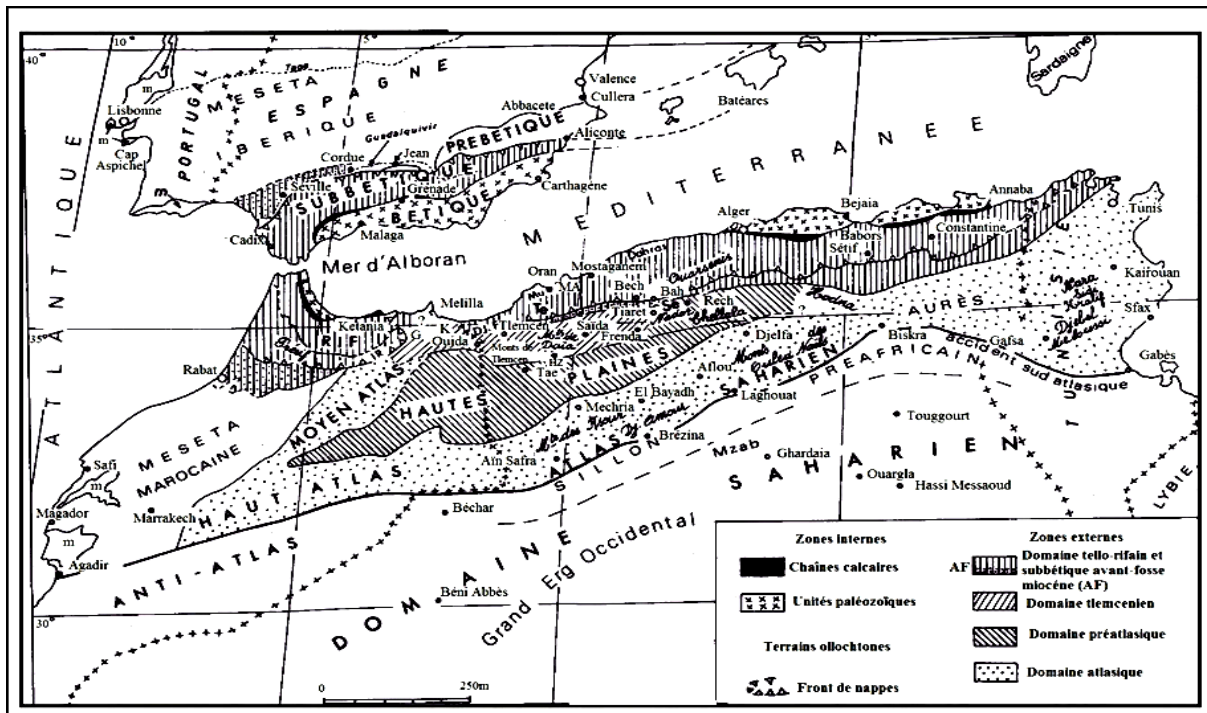


Figure06 : Schéma structural de la chaîne Alpine de la Méditerranée occidentale (BENEST, 1985).

3.1.2. Sur le plan stratigraphique :

L'examen de la carte géologique au 1/200.000 d'El Bayadh montre une succession litho-stratigraphique représentée par une série sédimentaire allant du Trias au Tertiaire

a- Le Trias

Les affleurements triasiques sont localisés généralement au cœur des structures anticlinales et en contact anormal, sous forme de pointements subcirculaires correspondant soit à des diapirs, soit à des éjections le long des accidents tectoniques : Flan Nord de Dj. Aïssa et dans l'extrémité Nord-Est de Dj. Gantara.

b- Le Jurassique

➤ Malm: il est représenté par le :

-Callovo-oxfordien : constitué essentiellement par des grès de teinte grise très durs, à intercalations d'argile et de calcaire, la puissance varie de 800 à 1500 m. Il affleure généralement dans les anticlinaux.

CHAPITRE I : la géologie

-Kimméridgien : la partie inférieure est constituée par des argiles gréseuses verdâtres à petits bancs de calcaire, la puissance varie de 125 à 200 m. La partie supérieure est constituée d'une alternance de bancs de grès avec des argiles gris verdâtre de 600 à 650 m d'épaisseur.

c- Infra Crétacé

C'est une série sédimentaire de 500 à 600 m d'épaisseur, formée d'une assise gréseuse, comprenant le sommet du Jurassique et la base du Crétacé.

d- Crétacé

Les dépôts du Crétacé sont développés dans la région et se répartissent comme suivant :

- Valanginien-Hauterivien : Il s'agit d'une série sédimentaire constituée à la base d'argile verte à petits bancs de calcaire gris et jaunâtre, au sommet par une alternance de grès et d'argiles à petits bancs de calcaire.

- Albien-Aptien- Barrémien : Cette série affleure sur de grandes surfaces et de façon monotone. Sur la carte d'El Bayadh, elle est composée de grès alternant avec des argiles rouges bruns.

- Cénomaniens: la partie inférieure de cet étage est caractérisée par une sédimentation de grès verdâtres à brunâtre, à intercalation d'argile. La partie supérieure est représentée par des argiles verdâtres, localement gypseuses et de marnes grisâtres vers le sommet. Les bancs de gypses sont épais de 0.1 à 2.50m.

- Turonien : Ces dépôts sont représentés par une assise de calcaire pélitomorphe, massif et dur, de 30 à 120 m puissances.

e- Tertiaire

Les dépôts du tertiaire montrent dans la région une sédimentation détritique représentés par des conglomérats, des galets et des argiles sableuses.

f-Quaternaire

Ces affleurements sont constitués d'éboulis, d'alluvions anciennes et récentes et de dépôts éoliens formés de dunes de sables.

CHAPITRE I : la géologie

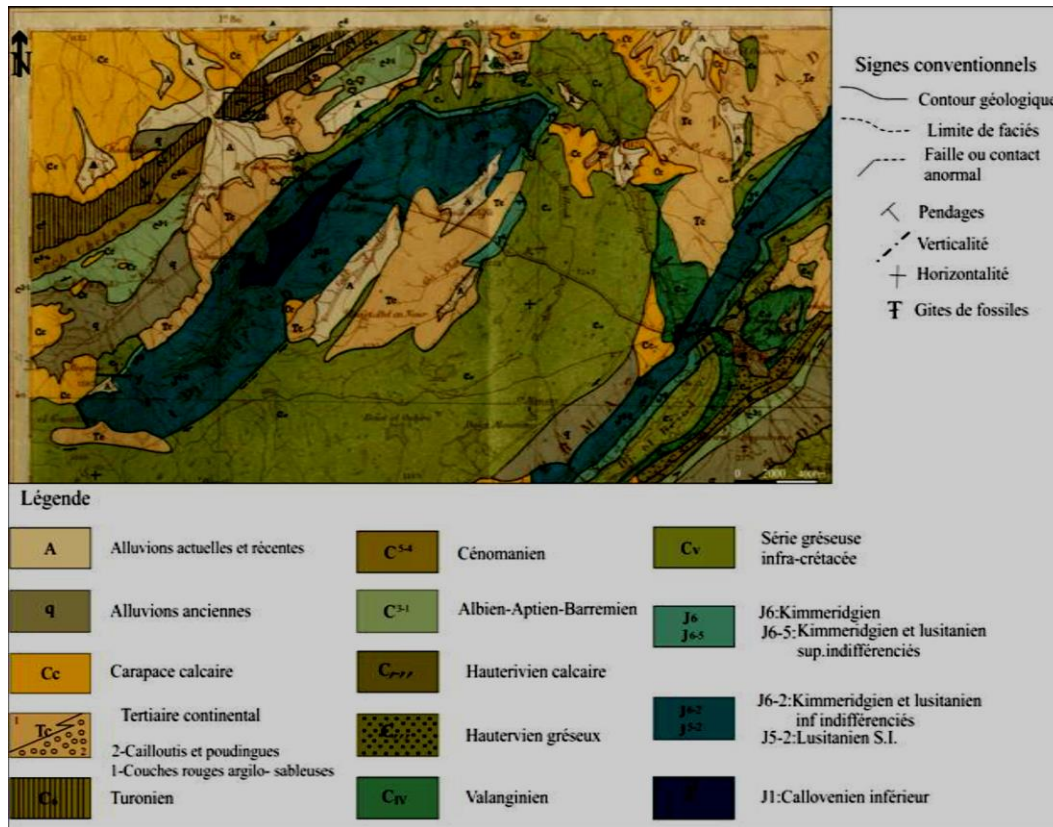


Figure07 : Extrait de la carte géologique d'El Bayadh au 1/200.000 (BETTER 1950)

Pour résumer cette série géologique très diversifiée et complexe, nous présentons un log synthétique dressé par M.STAMBOUL, 1988

CHAPITRE I : la géologie

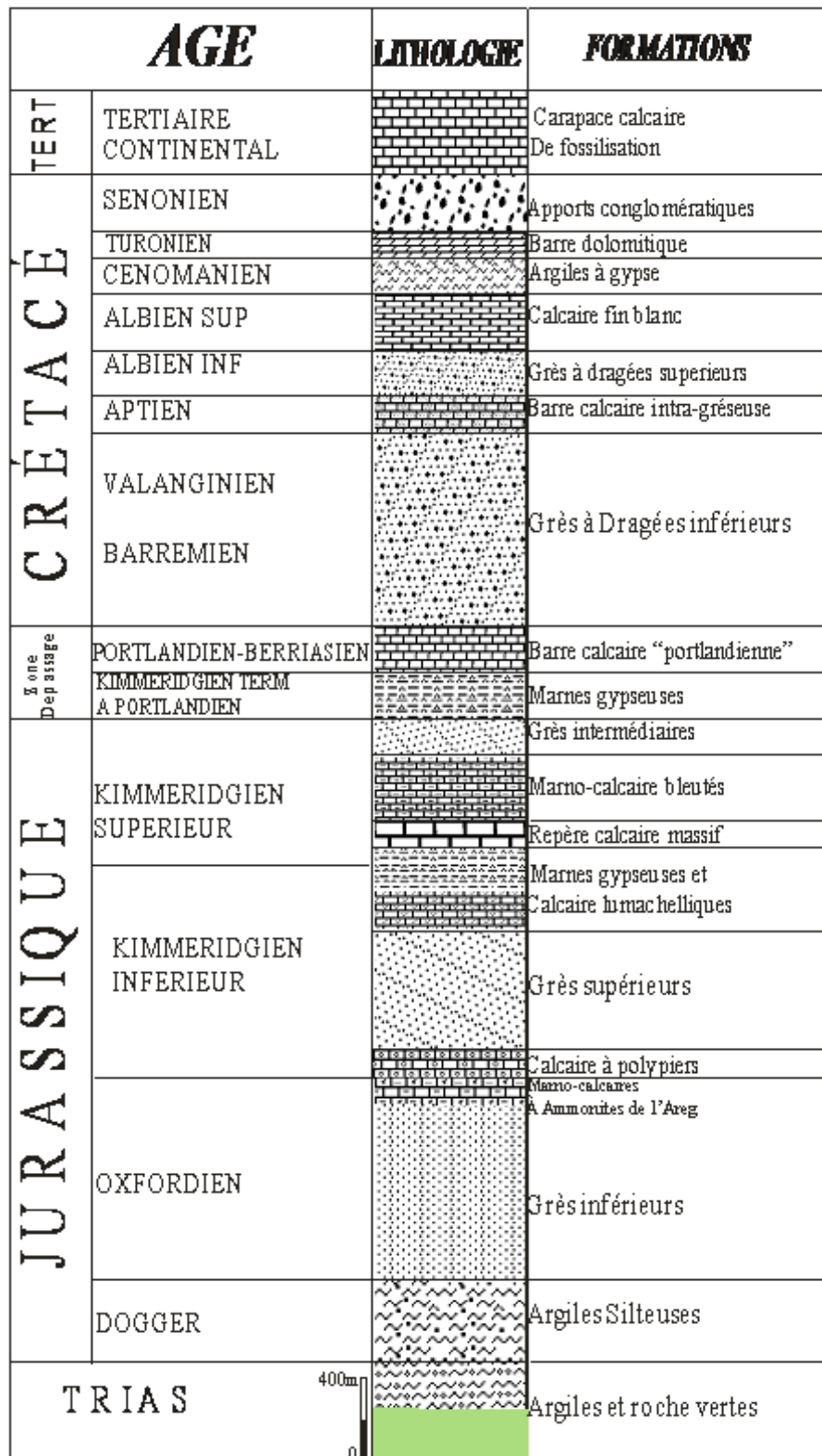


Figure08 : Log géologique de la région d'El Bayadh (M.STAMBOUL, 1988).

I.4-La géologie de synclinal d'EL BAYADH

4.1- Cadre géologique du secteur étudié :

Faisant partie de l'atlas saharien central (Djebel Amour), le secteur étudié de magnifiques affleurements d'une série mésozoïque de dépôts discordants, représentés par des faciès d'érosion se situant dans les dépressions créées lors de l'orogénèse alpine qui a touché le domaine secondaire alpin. Afin d'établir la série litho stratigraphique la plus complète que possible et suite à d'incessants déplacements, nous avons choisi la localité d'El Kheneg située sur le flanc septentrional pour lever une coupe ou les faciès lithologiques stratigraphiques, structurologiques ainsi que les indices de fissurations ont été pris en compte. Elle est de coordonnées Lambert

X1= 340800.03, Y1=344158.37, X2=343175.69 ; Y2=340966.03

Au-dessous de la première séquence gréseuse, on voit apparaître des marno-calcaires assez schisteux offrant quelques ammonites et quelques lamellibranches, ils sont très peu épais à l'affleurement (28 m) et leur épaisseur totale reste inconnue. Vers leur sommet ils montrent des arrivages de détritiques terrigènes annonçant la première séquence gréseuse (les grès de base)

4.2-Les formations géologiques de synclinal d'El Bayadh :

4.2.1-Les grès de base :

Il s'agit essentiellement de grès moyens à fins assez massifs d'une moyenne de 01 m d'épaisseur souvent bien lités, sombre à la patine, fortement diaclases, se débitant en blocs parallélépipédiques suite aux actions conjuguées de diaclases (au moins deux directions) et de la stratification initiale, montrant de temps à autre des micas (psammites) et renfermant des calcaires et des dolomies en bancs d'une moyenne de 02 m très riches en crinoïdes et en lamellibranches. D'un point de vue séquentiel les calcaires et dolomies coiffent des séquences assez rythmiques allant des grès et se terminant par des carbonates. Vers le haut les niveaux carbonatés cèdent de la place à des grès francs leur épaisseur totale est de 700 m

4.2.2-Les grès et calcaires

Au-dessus des grès de base, on voit apparaître des grès moyens à fins semblables aux premiers, admettant des calcaires bleus très indurés. Ils sont très riches en bois fossiles, lamellibranches,

CHAPITRE I : la géologie

brachiopodes, gastéropodes et polypiers. Un niveau à plantes semble limité à cette séquence ; On sépare, les grès et calcaires des grès hauts (venant au-dessus) par une épaisse couche de marnes rouges brunâtres (épaisseur 50m), admettant vers son sommet des bancs de grès centimétriques à décimétriques rougeâtres. Notons que les calcaires bleus sont plus développés à l'Est qu'à l'Ouest, et sont bien visibles dans la région de Tiniet ouled Momen où ils sont affectés par un pendage accentué

4.2.3-Les grès de haut :

La dénomination de haut vient du fait que cette séquence gréseuse forme les reliefs les plus énergétiques de la région, notamment les Djebel : Ksel et Boudarga. Ce sont des grès moyens à fins à patine noirâtre par laquelle ils se reconnaissent facilement au paysage, blanc à la cassure en bancs massifs lités et bien stratifiés ou présentant des stratifications obliques très larges. Ils admettent également des niveaux marneux rouges brunâtres, Dans le détail cette séquence de 600m d'épaisseur présente des séquences s'enchaînant chacune comme suit :

- Grès moyens en bancs massifs à stratification oblique ou les plans de sédimentation montrent un pendage très faible
- Grès fins en bancs massifs lités et très indurés,
- Grès fins à très fins en bancs centimétriques à décimétriques à joints marneux passant au fur et à mesure à des marnes rouges qui coiffent la séquence.

Nous pensons qu'il s'agit d'une sédimentation de cordons représentée par des séquences de chenal de marée. Ces grès sont fortement fissurés (deux directions de diaclases).

4.2.4-Les marnes à cargneules :

Il s'agit de plus de 500m de marnes vertes et grises, admettant deux dalles de lumachelles et se terminant par une centaine de mètres de calcaires jaunâtres assez marneux, vacuolaires offrant parfois des géodes à aspect de cargneules. Au-dessous des calcaires les marnes admettent des gypses, Vers le Nord- Est cette séquence montre un plus grand développement de niveaux carbonatés.

4.2.5- Les grès inférieurs à dragées :

C'est une séquence de 100m d'épaisseur de grès en bancs décimétriques ou centimétriques grossiers à moyens rougeâtres, à stratifications obliques et chenaux et à dragées de quartz. Ils sont fortement diaclases.

4.2.6- Les calcaires à lumachelles :

Cette séquence est marneuse et calcaire. Elle admet à sa base une masse de marne verte d'une centaine de mètres d'épaisseur, montrant vers son sommet des gypses et se terminant par des calcaires lumachéliques (à huître 30 m), à brachiopodes (Térébratules).

4.2.7- Les grès supérieurs à dragées

Ce sont les grès fluviatiles très célèbres du continental intercalaire représentés essentiellement par des grès tendres rosâtres, grossiers à chenaux, dragées de quartz et bois fossiles. Dans le syn.-forme d'El Bayadh, ils ne sont représentés que par une bande très étroite et très allongée suivant la direction du grand axe du syn-forme. Son épaisseur locale est de 70 m, alors qu'ailleurs ces grès peuvent faire facilement 15000m.

4.2.8- Les sables argileux rouges :

Il s'agit du premier produit d'altération des reliefs ; Ils affleurent dans les dépressions et se caractérisent par des sables argileux rouges brunâtres pouvant admettre de rares niveaux de poudingues vers leurs sommets.

4.2.9- La carapace de fossilisation :

C'est un résultat de fossilisation des dépôts sous-jacents, son épaisseur varie largement d'une région à l'autre. Ce sont des calcaires blanchâtres contenant des concrétions carbonatées et des galets des dépôts plus anciens. Elle est tabulaire.

4.2.10- Les alluvions anciennes et récentes :

Ces dépôts occupent les abords des oueds et se caractérisent par des faciès fluviaux. Les rainasses hautes, plus anciennes montrent des poudingues à éléments mal classés constitués par les faciès de la région, baignant dans une masse sableuse. Les axes des oueds quand à eux montrent des cailloutis et des sables ; Ils sont les plus basses terrasses et donc les plus récentes.

I.5- STRATIGRAPHIE :

On prendra les datations d'A. Cornet 1952 comme référence

5.1- Les grès de base : correspondent au Lusitanien, le Kimméridgien et Lusitanien indifférencié et au Kimméridgien et Lusitanien supérieur indifférencié.

5.2- Les grès et calcaires correspondent au kimméridgien

5.3- Les grès de haut sont l'équivalent de la série de transition entre le Malm et le Crétacé et correspondent à l'Infra Crétacé de A. Cornet 1952 et à la formation d'Aïssa de J. P Bassoullet 1973.

5.4- Les marnes à cargneules sont l'équivalent stratigraphique du Valanginien.

5.5- Les grès inférieurs à dragées correspondent au Barrémien de Flamand 1911 et à l'Hautérevien gréseux d'A. Cornet 1952.

5.6- Les calcaires à lumachelles seraient l'équivalent stratigraphique de l'Aptien de Flamand 1911 et de l'Hautérevien calcaire d'A. Cornet 1952.

5.7- Les grès supérieurs à dragées : sont l'équivalent de l'Albien de Flamand 1911 et du Barrémien — Aptien — Albien de A. Cornet 1952.

5.8- Les sables argileux rouges : sont l'équivalent des terrains des Gours (Oligo - Miocène) Flamand 1911, Miocène supérieur M. Mahboubi 1984 et Tertiaire continental de A. Cornet 1952.

5.9- La carapace de fossilisation : correspond à la carapace calcaire de A. Cornet 1952 est serai Pliocène.

5.10- Les alluvions anciennes et récentes : sont et comme leur nom l'indique, du Quaternaire récent et de l'actuel.

I.6-Conclusion :

Le remplissage de ce « bassin » montre de puissantes séries jurassiques/crétacés inférieures détritiques dans leur ensemble. Elles engendrent une suite d'aquifères multicouches ayant souvent de bonnes qualités réservoirs.

Beaucoup de ces aquifères sont situés à des profondeurs trop importantes. Les formations gréseuses du Crétacé inférieur représentent le meilleur aquifère de la région en raison d'une lithologie puissante. Elles affleurent au cœur des synclinaux. Cette situation en fait des objets vulnérables d'où nécessité de mesures de protection des ressources en eau.

L'étude tectonique montre des structures anticlinales et synclinales très peu affectées par les accidents.

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

II.1-INTRODUCTION :

Nous examinons les paramètres climatiques, en particulier les précipitations, les températures, le vent et l'évaporation puis nous déterminerons le type de climat de la région étudiée. Un essai de détermination des éléments du bilan (ruissellement et infiltration) a été tenté.

Pour cette étude nous avons pris les données climatiques de la station d'El Bayadh pour une période allant de 1980 à 2012.

Cette station est installée à une altitude de 1350 m, aux coordonnées géographiques indiquées dans le tableau N°2.

Tableau N°2 : Présentation de la station d'El Bayadh

Station	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Période
El Bayadh	33° 40' 271'' N	01° 00' 345'' E	1350	1980-2012

II.2- ETUDE DES PRECIPITATIONS :

II.2.1-Etude de la variabilité annuelle des précipitations (Tableau N°3) :

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

Tableau N°3 : Valeurs des précipitations annuelles à la station d'El Bayadh.

Année	P (mm)	Année	P (mm)
1980-1981	251	1996-1997	276,8
1981-1982	295,8	1997-1998	254,9
1982-1983	209,7	1998-1999	173,2
1983-1984	155,6	1999-2000	164,7
1984-1985	189,7	2000-2001	142
1985-1986	344,9	2001-2002	112,8
1986-1987	279	2002-2003	191,1
1987-1988	220,4	2003-2004	397,8
1988-1989	237,9	2004-2005	137,1
1989-1990	298,9	2005-2006	404,9
1990-1991	312,4	2006-2007	202
1991-1992	379,3	2007-2008	160,5
1992-1993	235,3	2008-2009	484,4
1993-1994	157,8	2009-2010	322,5
1994-1995	306	2010-2011	371,4
1995-1996	391,8	2011-2012	368,6

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

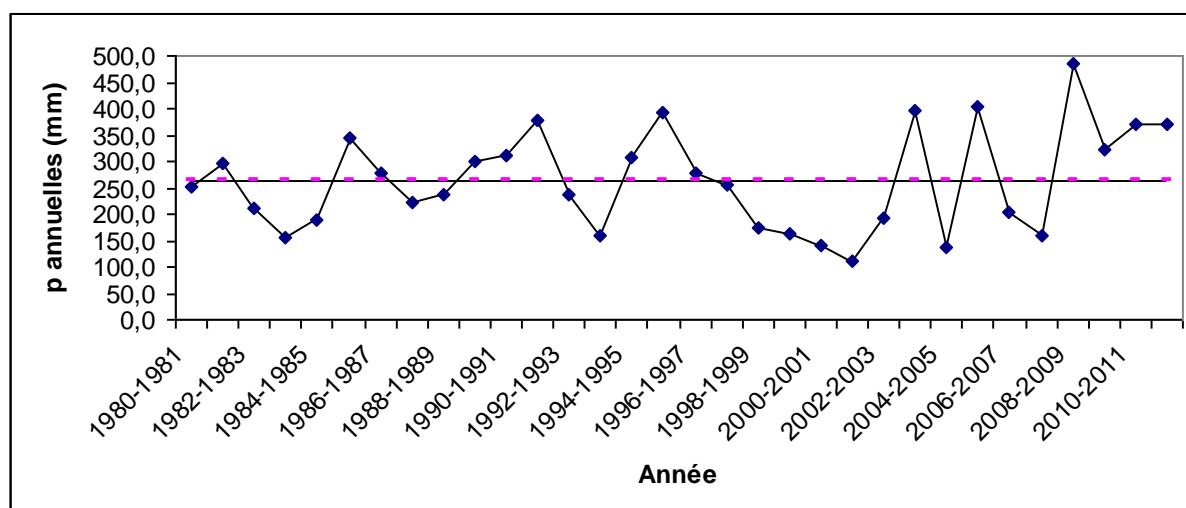


Figure 09 : Diagramme des précipitations annuelles (mm)

Nous constatons que la courbe ne présente pas une symétrie par rapport à la moyenne des précipitations annuelles qui est d'environ 263 mm/an calculé sur une période d'observation de 33 ans. Ceci dénote d'une irrégularité interannuelle très marquée des précipitations.

Seules les hauteurs des précipitations annuelles enregistrées durant les périodes 1981-1982, 1985-1987, 1989-1992, 1994-1997, 2003-2004, 2005-2006 et 2008-2011 sont supérieures à la moyenne annuelle.

L'année pluvieuse est celle de 2008-2009 avec une hauteur de 484mm, et l'année la plus sèche celle de 2001-2002 avec 113 mm.

II.2.2- Etude des variations mensuelles des précipitations (Tableau N°4) :

Le tableau ci-dessous regroupe les valeurs des hauteurs des précipitations mensuelles de la station de la région.

Tableau N°4 : Valeurs mensuelles moyennes des précipitations.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P (mm)	26	34,9	25,4	23	22,8	19,2	30,2	25,7	21,6	16,9	4,6	13,1	263,4

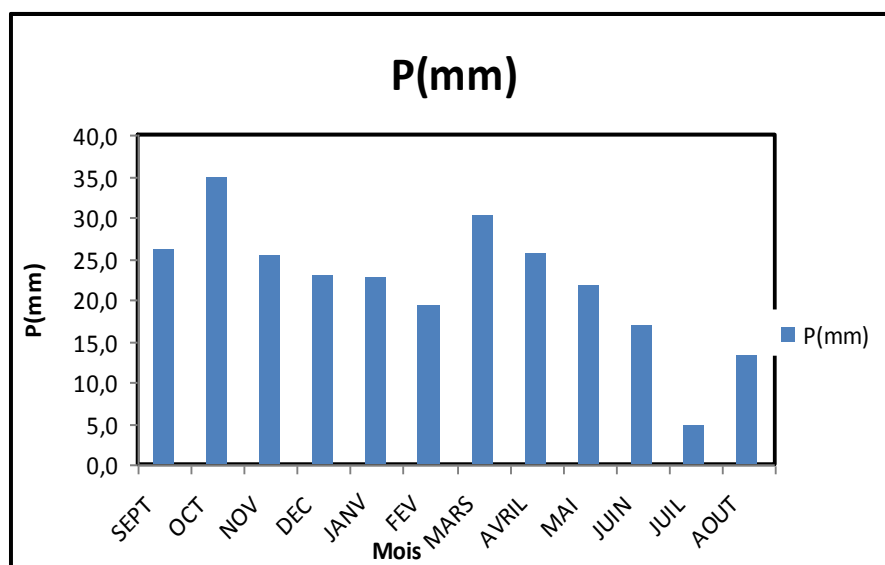


Figure10 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm).

Nous pouvons remarquer que les mois les plus pluvieux sont Octobre et Mars et le mois de Juillet est le plus sec.

II.2.3- Etude des variations des précipitations saisonnières (Tableau N°5) :

Tableau N°5 : Les valeurs moyennes saisonnières des précipitations (mm)

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Indice saisonnier
P (mm)	86,30	65	77,50	34,60	APHE

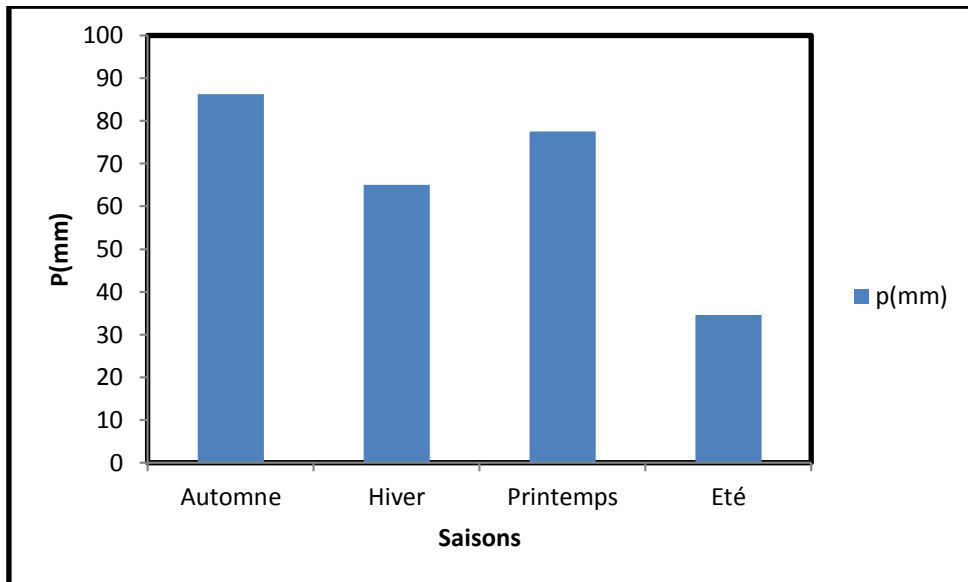


Figure11 : Histogramme des précipitations saisonnières (mm).

Le tableau N°5 montre que l'automne est le plus humide et l'été le plus sec.

Cette distribution des précipitations montre un indice saisonnier de type APHE, ce qui montre que les apports par les précipitations offrent une meilleure recharge des aquifères durant la période pluvieuse.

II. 3- ETUDE DES TEMPERATURES (Tableau N°6) :

Les températures moyennes mensuelles et annuelles agissent directement sur le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques. Elles permettent avec les précipitations le calcul des indices climatiques et le déficit d'écoulement.

Nous avons pris en considération :

- les moyennes mensuelles et annuelles des températures maxima (T_M) ;
- les moyennes mensuelles et annuelles des températures minima (T_m) ;
- les moyennes mensuelles et annuelles des températures moyennes $(T_M+T_m)/2$.

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

Tableau N°6: Les valeurs de la température moyenne, maxima, et minima

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	JU	JL	A	Annuelles
T_m (°C)	14,9	9,6	4,3	1,0	-0,1	1,1	2,8	6	15,7	17,73	19,9	19,0	8,7
T_M (°C)	32,5	20,8	14,3	9,6	8,6	12,1	17	16,6	22,5	34,5	34,8	38,6	21,8
T_{moy} (°C)	23,7	15,2	9,3	5,3	4,3	6,6	9,9	11,3	16	25,1	27,4	28,8	15,3

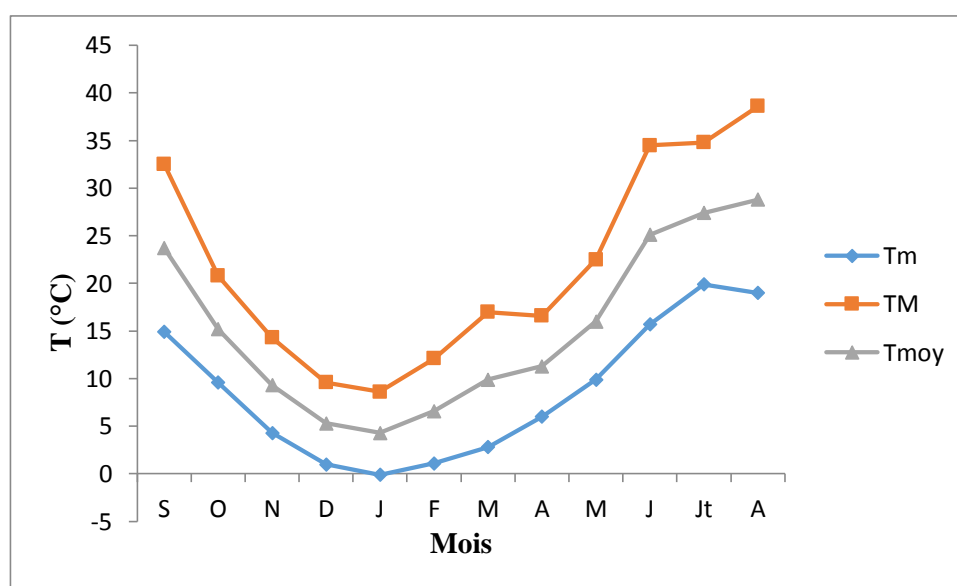


Figure12 : Courbe des températures (°C).

Les températures moyennes mensuelles des minima sont comprises entre (-0,1°C) en Janvier et 20 °C en Juillet.

Les moyennes mensuelles des maxima varient entre 8,6 °C en Janvier et 38,6 °C en Août. En ce qui concerne les températures moyennes, la plus forte est en Août (28,8 °C) et la plus faible en Janvier (4,3 °C).

II.4-EVAPORATION (Tableau N°7) :

Pour l'étude de l'évaporation, il vaut mieux prendre les variations saisonnières d'une période. Pour cela on a utilisé les valeurs suivantes :

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

Tableau N°7 : Evaporations moyennes saisonnières (mm)

Saison	Été	Automne	Hiver	Printemps
ETP (mm)	26,8	15,7	25,6	13,5

Les variations des évaporations mentionnées dans le tableau ci-dessus sont représentées par la figure suivante :

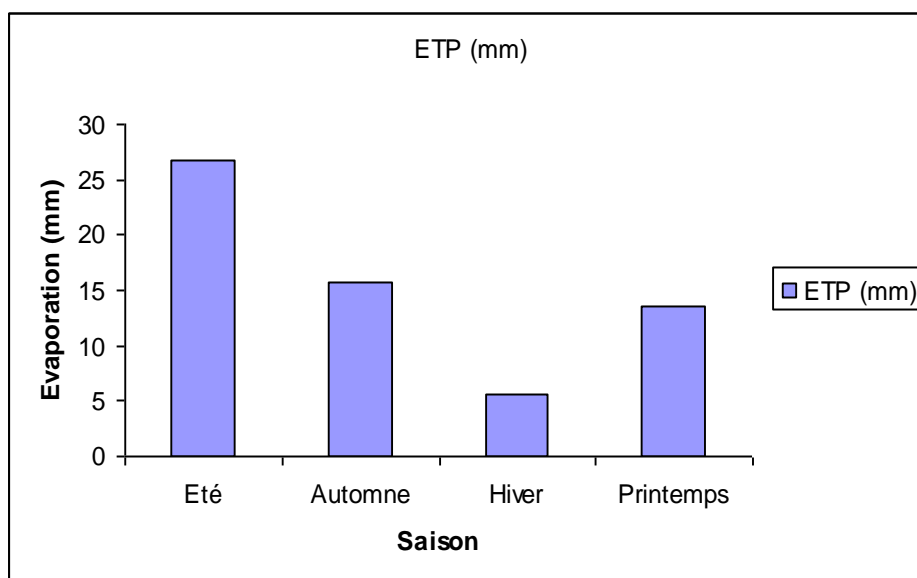


Figure13 : Histogramme des évaporations saisonnières (mm).

A partir de l'histogramme, on peut dire que l'évaporation est très intense en été et faible en hiver ce qui nous permet de voir qu'il y a une grande relation entre l'évaporation et les températures.

II.5-PARTICULARITE DES VENTS DE SABLE D'EL BAYADH :

Dans la région d'El Bayadh, les vents prédominants sont :

- **Les vents du Nord** : fréquents pendant les mois de Janvier, Février, Mars, Octobre, et Décembre ;
- **Les vents du Sud** : prédominants du mois d'Avril jusqu'à celui de Septembre avec quelque fois des vents soufflant du Nord au Sud ;

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

- *Les vents d'Ouest* : sont présents durant toute l'année avec une certaine force remarquable durant les saisons estivales et printanières.

II.6- INSOLATION : (Tableau N°8)

Elle représente les tranches de temps ou durée de persistance du soleil (en heures) sur une durée de 16 ans, les durées maximales d'insolation sont représentées, à El Bayadh, par trois mois, les plus chauds dépassant 99 heures d'insolation pour Juin, Juillet et Août. Les durées minimales concernent le mois de Décembre et de Janvier avec une valeur inférieure à 60 heures.

Tableau N°8 : Durée de l'insolation à la station d'El Bayadh

MOIS	JA N	FE V	MAR	AV	MAI	JUN	JUL	AU	SEP	OCT	NOV	DEC
Durée (h)	85,5	62,3	74,14	84,9	95,08	109,8	109,8	99,4	89,43	77,43	66,9	57,87

II.7-ETUDE DU CLIMAT :

7.1- Méthode de Gaussen et Bagnouls :

Pour Gaussen et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égal au double de la température moyenne exprimée en degrés Celsius ($P \leq 2T$).

Cette relation permet d'établir des diagrammes pluviothermiques sur lesquels la température est portée à une échelle double de celle des précipitations.

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

Tableau N°9 : Température et précipitation, moyenne mensuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P (mm)	28,0	40,1	24,1	25,7	23,9	19,3	29,5	27,2	23,1	17	5,9	13,4
T (°C)	23,7	15,2	9,3	5,3	4,3	6,6	9,9	11,3	16	25,1	27,4	28,8
2T (°C)	47,4	30,4	18,6	10,6	8,6	13,2	19,8	22,6	32	50,2	54,8	57,6

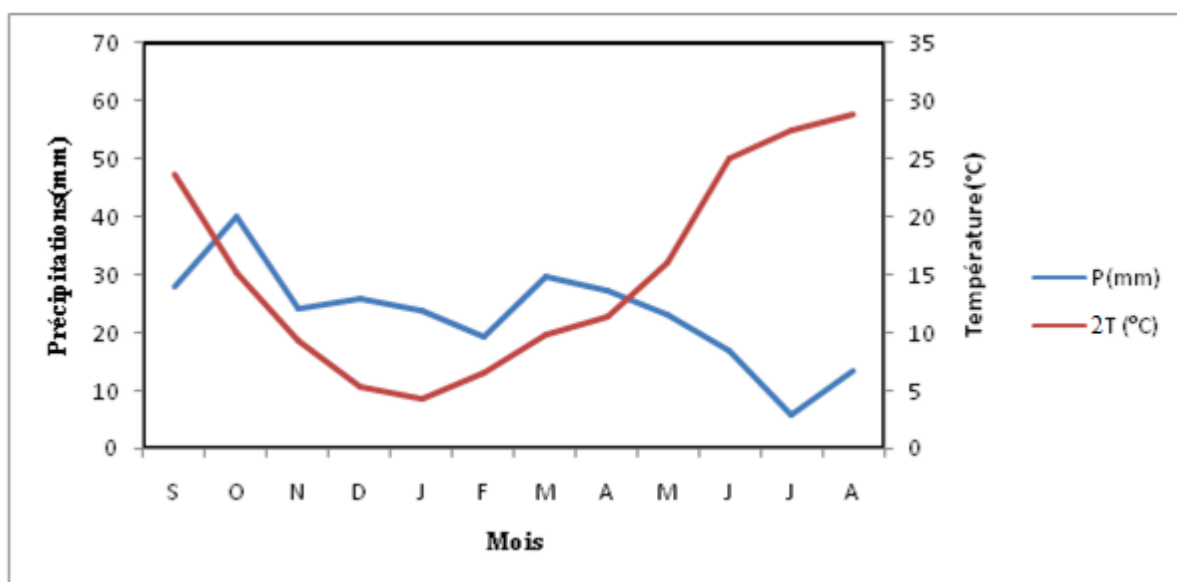


Figure14 : Diagramme pluviothermique.

D'après le diagramme pluviothermique de la station d'El Bayadh :

- La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.

- Pour les mois humides, la courbe des précipitations passe au-dessus de la courbe des températures.

Donc, nous constatons qu'on a une période humide allant de la mi-octobre jusqu'à la fin Avril et une période sèche couvrant les autres mois de l'année.

7.2- Indice climatique :

a) Indice de DE MARTONNE :

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

Pour : $20 < I < 30$: climat tempéré

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$7,5 < I < 10$: climat steppique

$5 < I < 7,5$: climat désertique

Et $I < 5$: climat hyper-aride

- Indice d'aridité annuel (I) :

$$I = P / T + 10$$

$$I = 263,4 / (15,3 + 10)$$

$$I = 10,41.$$

La station d'El Bayadh, enregistre un indice « I » égale à 10.41, montrant ainsi un régime semi-aride. De même la position de la station sur l'abaque (figure 15) se situe à la limite entre le régime semi-aride et aride.

- Indice d'aridité mensuel (i) :

$$i = 12p / t + 10$$

Tableau N°10 : Valeurs de l'indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
I	9,97	19,09	14,98	20,15	20,06	13,95	17,79	15,32	10,66	5,81	1,89	4,14

D'après le tableau N° 10, on constate que les mois de Juillet et Août présentent un régime hyper-aride et le mois de Juin un régime désertique.

Pour le mois de Septembre un régime steppique et pour les mois de Mai, Octobre, Novembre, Décembre, Février, Janvier, Mars et Avril un régime semi-aride.

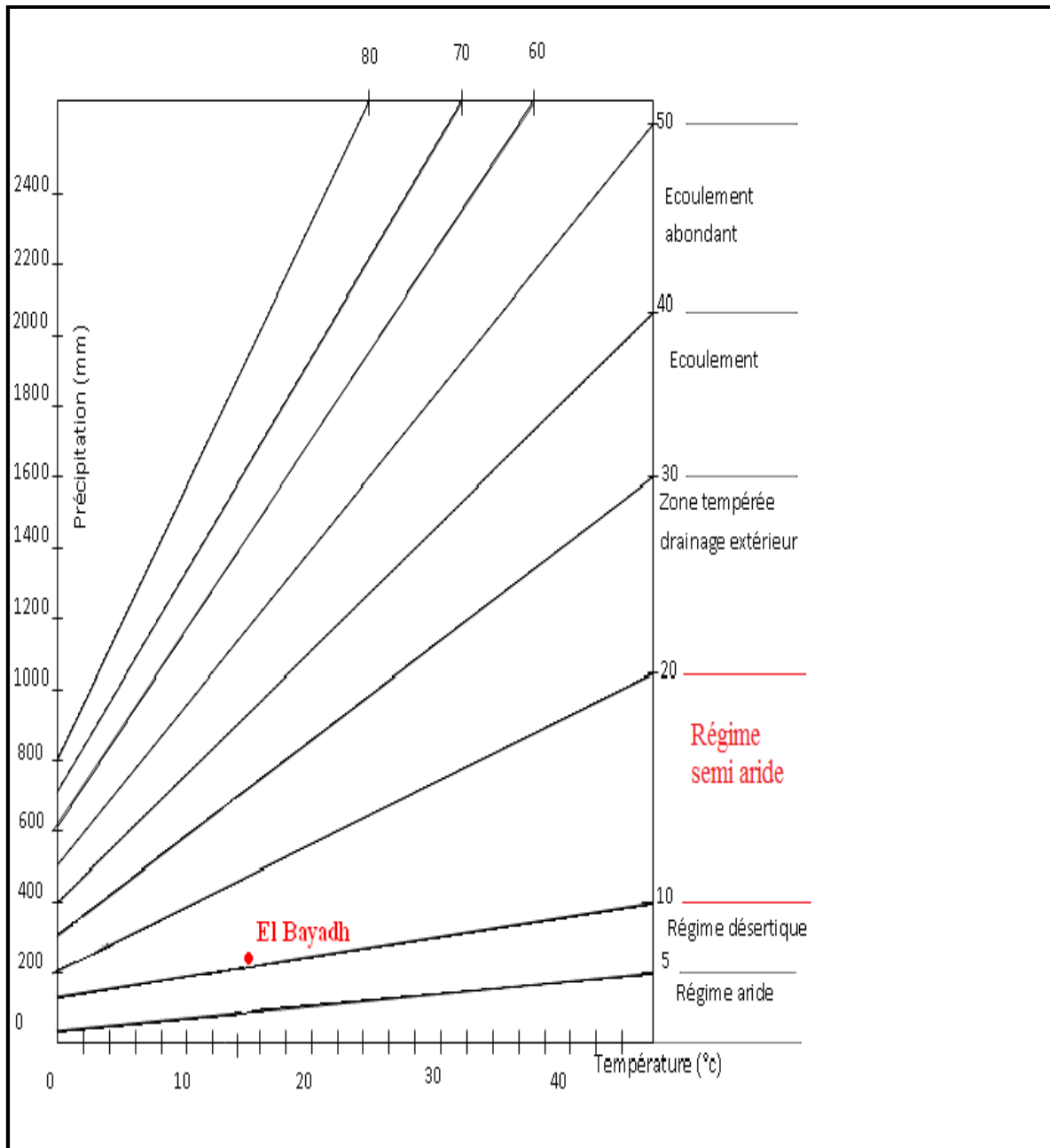


Figure15 : Abaque de l'indice d'aridité de DE MARTONNE

b) Indice de MORAL :

- Indice annuel (I_A) :

$$I_A = P/T^2 - 10T + 200$$

$$= 263,4/(15,3)^2 - (15,3 \cdot 10) + 200$$

$$I_A = 0,94$$

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

- Indice mensuel (I_m) :

$$I_m = 12P/T^2 - 10T + 200$$

Les quatre types de mois indiqués par moral sont :

- Mois pluvieux : $P_m > 0,1 t_m^2 + t_m + 30$
- Mois humide : $0,1 t_m^2 + t_m + 30 > P_m > 0,1 t_m^2 + t_m + 20$
- Mois sec : $0,1 t_m^2 + t_m + 20 > P_m > 0,1 t_m^2 + t_m + 10$
- Mois aride : $P_m < 0,1 t_m^2 + t_m + 10$

Tableau N°11 : Calcul de l'indice mensuel de Moral

MOIS	SEPT	OCT	NOV	DEC	JANV	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
P (mm)	28	40,1	24,1	25,7	23,9	19,3	29,5	27,2	23,1	17,1	5,9	13,4
T (°C)	23,7	15,2	9,3	5,3	4,3	6,6	9,9	11,3	16	25,1	27,3	28,8
Im	0,67	1,41	1,54	1,57	1,56	1,30	1,81	1,28	0,76	0,38	0,08	0,24
Type	Aride	Humide							Aride			

A l'échelle annuelle, huit mois de l'année marquent un régime humide qui favorise d'avantage la recharge des nappes par les apports des précipitations et des températures.

c) Indice climatique d'Emberger :

Emberger a proposé un indice climatique ayant pour l'équation :

$$Q_2 = 2000P/M^2 - m^2$$

Avec :

P : précipitation moyennes annuelles (mm) ;

M : moyennes des maxima de température en (°K) du mois le plus chaud ;

m : moyenne des minima de température en (°K) du mois le plus froid ;

Q₂ : quotient pluviométrique d'Emberger.

A la station d'El Bayadh, cet indice est de l'ordre de 26,13.

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

Le report de cet indice sur le climagramme d'Emberger (figure 16) montre que la région d'El Bayadh présente un climat semi-aride à hiver froid.

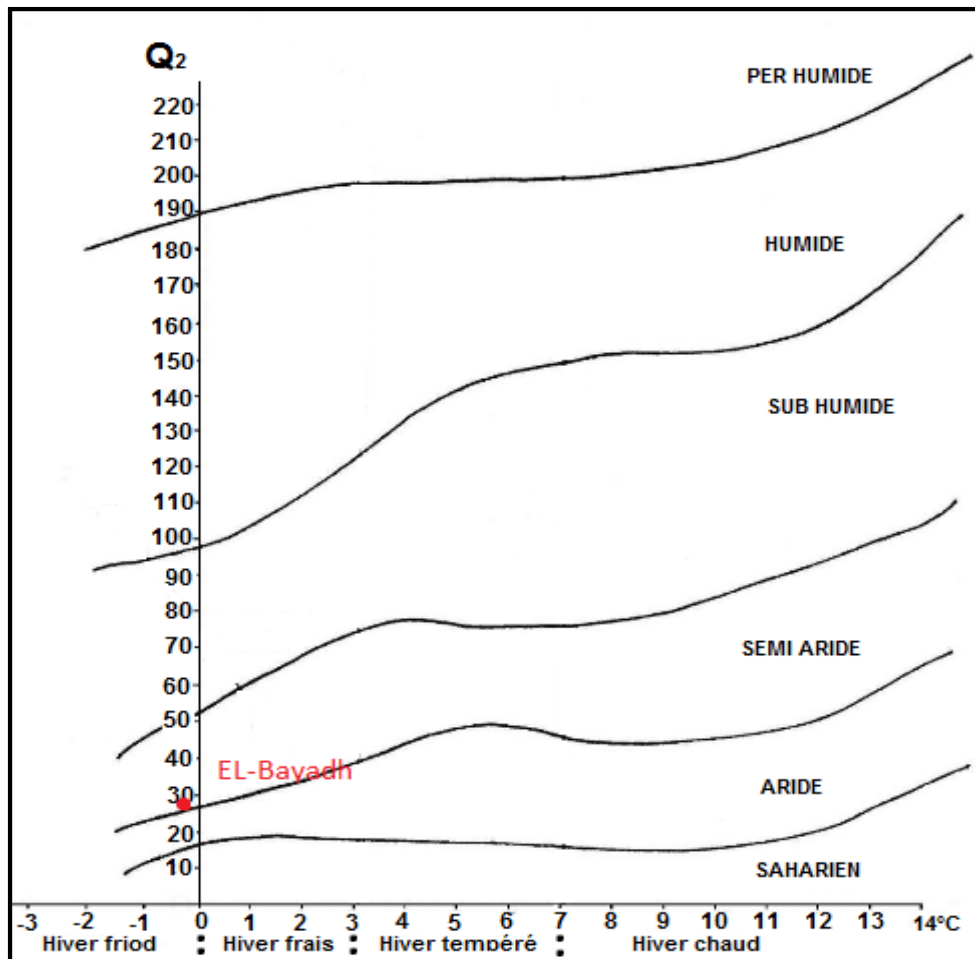


Figure16 :Climagramme d'Emberger.

II.8 -BILAN HYDROLOGIQUE :

A- Détermination de l'évapotranspiration potentielle par la méthode de Thornthwaite :

La méthode de Thornthwaite permet de déterminer les valeurs des évapotranspirations potentielle, mensuelle et annuelle.

La méthode consiste à calculer pour chaque mois une valeur d'évapotranspiration potentielle à l'aide de tableau et d'un abaque. Elle est ensuite corrigée en fonction de la latitude et de la durée du jour.

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

Tableau N°12 : Valeurs des évapotranspirations mensuelles et annuelles.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Annuel
P (mm)	28	40,1	24,1	25,7	23,9	19,3	29,5	27,2	23,1	17,1	5,9	13,4	263,4
T_{moy} (°C)	23,7	15,2	9,3	5,3	4,3	6,6	9,9	11,3	16	25,1	27,4	28,8	15,3
ETP (mm)	101,0	59,3	26,2	10,9	7,7	13,4	27,2	42,5	71,7	116,9	149,5	143,4	769,8

B-Détermination du ruissellement par la méthode de Tixeront et Berkaloff :

Le ruissellement est donné par la formule : $R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$

Avec R : ruissellement ;ETP : l'évapotranspiration potentielles annuelle et P : précipitations moyennes annuelles.

Pour la station d'El Bayadh le calcul du ruissellement nous donne une valeur de :

R= 10,27 mm/an.

C-Déficit d'écoulement (méthode de Verdeil) :

L'abaque de Verdeil donne directement les valeurs du déficit d'écoulement en (mm) en fonction des précipitations moyennes annuelles P (mm).

L'utilisation de cet abaque (figure 17) donne une valeur du déficit de 248 mm soit 94,15% de précipitations.Les écoulements déduits pourront donc être estimés à environ 15 mm.

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE



Figure17 : Déficit d'écoulement (Méthode de Verdeil).

CHAPITRE II : CLIMATOLOGIE

D -Infiltration(I) :

L'infiltration (I) est donnée par la relation suivante : $I = P - (D + R)$

Où

I : infiltration (mm)

P : précipitations moyenne annuelle (mm)

D : déficit d'écoulement (mm)

R : ruissellement (mm)

Le tableau suivant regroupe les éléments du bilan hydrologique à savoir l'infiltration, le déficit d'écoulement et le ruissellement.

Tableau N° 13: Eléments du bilan hydrologique.

	P	D	R	I
mm	263,4	248	10,27	5,13
% de P	-	94,15	3,89	1,94

II.9-CONCLUSION :

Apartir de l'étude climatique de la station d'El Bayadh, nous avons abouti aux résultats suivants :

- Une moyenne annuelle des précipitations de 263,4 mm, avec Janvier le mois le plus froid ($-0,1^{\circ}\text{C}$) et celui d'Août ($\geq 38,6^{\circ}\text{C}$) le plus chaud;
- A l'échelle saisonnière, l'étude des précipitations montre que l'automne est la saison la plus humide et l'été correspond à la saison la plus sèche ;
- L'analyse des relevés thermiques donne une température moyenne annuelle de 15°C ;
- Au niveau de la station, la période excédentaire s'étend d'octobre à avril tandis que la période déficitaire d'avril à septembre ;
- Que la zone est soumise à un climat de type semi-aride à hiver froid ;
- L'établissement du bilan hydrologique a conduit à l'estimation des éléments qui sont : un déficit d'écoulement de 248 mm, un ruissellement de 10,27 mm et une infiltration « I » égale à 5,13 mm.

CHAPITRE03 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

III.1-INTRODUCTION :

La région d'El Bayadh se trouve dans une zone d'intersection de deux bassins versants qui sont : le bassin versant des hauts plateaux oranais qui occupe la partie nord de la Wilaya et le bassin versant du Sahara qui engendre la partie sud de la région. (M. DAHMANI, 2006).

Seule les séries allant du Jurassique supérieur au Quaternaire présentent un intérêt hydrogéologique. Cet ensemble est constitué par une alternance de grès, de sable, de sable argileux et d'argile, de calcaire, de dolomie et de marnes ainsi que des évaporites. L'ensemble de ces séries se comportent comme trois grandes entités perméables auxquels correspondent trois grands systèmes aquifères : la nappe phréatique ou encore appelé la nappe alluviale superficielle et libre, la nappe du complexe Terminal (CT) et la nappe du continental intercalaire (CI). (Rapport Hydraulique El Bayadh, 2003).

-Le but de l'étude Hydrogéologique est l'identification et la description des unités géologiques ayant un intérêt important sur le plan des ressources en eau du synclinal d'El Bayadh

III.2- CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES DE LA LITHOLOGIE ET DE LA STRUCTURE

2.1- La lithologie :

Nous pouvons distinguer

2.1.1 Les formations imperméables :

- Les marnes rouges (lie de vin)
- Les marnes à cargneules : dans la région d'El Bayadh cette formation comprend, 200m environ de marnes gris-bleuâtre et 200m environ d'argiles versicolores à gypse.

2.1.2- Les formations perméables :

a)- Formations à perméabilité de fissures

- Les grès de base : série puissante de 700m, c'est une alternance de grès d'argiles et de calcaires dolomitiques.
- Les grès et calcaires épaisseur de 50m.

CHAPITRE III : étude hydrogéologique

- Les grès de haut puissante série de faciès gréseux 600m
- Les grès inférieurs à dragées : épaisseur de 100m
- Les calcaires à lumachelles : des calcaires diaclases d'épaisseur de 130m
- Les grès supérieurs à dragées : épaisseur de 70m

b)- Formations présentant à la fois une perméabilité d'interstices et une perméabilité de fissures : Toutes les formations citées précédemment présentent une perméabilité mixte.

c)- Formations à perméabilité d'interstices :

Nous classons ici les sables argileux rouges et les alluvions anciennes et récentes

III.2.2- La structure

2.2.1- Le système des anticlinaux et des synclinaux :

a)- Les anticlinaux :

Correspondant à des structures coffrées, d'orientation générale NE – SW, affectant les formations du Jurassique et du Crétacé. Ils jouent, notamment l'anticlinal de Djebel Ksel, un rôle important sur le plan Hydrogéologique, car ils constituent des frontières entre les nappes du synclinal El Bayadh et celles d'en dehors (vers le Nord et le Sud). L'anticlinal secondaire aligné depuis Chebkat Tekchekache et passant dans la région de Mekther constitue une structure bien individualisée dans le corps structural général qui reste synclinal

b) Les synclinaux :

Ce sont des cuvettes dont largeur dépasse les 10km avec une longueur dépassant les 80km (Cuvette d'EL Bayadh) et dont l'axe est orienté NE-SW. Au cœur des synclinaux ; les couches sont subhorizontales ou présentent un faible pendage ; C'est au niveau de ces cuvettes que se trouvent les nappes importantes.

2-2-2- Le réseau des failles et les décrochements :

a)- Les failles :

- ✓ Les failles de direction N140E :

Jouent un rôle de drain. Au niveau des Oueds elles contribuent à faire apparaître un certain nombre de sources dans les zones fissurées (Ain sidi Ahmed, Ain Benzargua)

CHAPITRE III : étude hydrogéologique

- ✓ Les failles de N50 et N70E :

Jouent le même rôle et sont responsables de l'émergence de plusieurs sources dont le débit est faible (Ain Mguaoucheche, Ain Oum Redjem)

b) La faille Nord atlasique : Elle peut servir de drain quand elle met des niveaux perméables les uns en contact des autres (grés de base, grés et calcaires, les grés de hautetc), comme elle peut servir d'écran quand les imperméables (les marnes lie de vin, marnes à cargneules, les marnes au-dessous des calcaires limachelliques) se mettent en contact avec les perméables.

c)-Décrochement :

- Décrochement (plus au moins N-S) :

Ce sont d'importants décrochements dextres (thniat Ouled Moumen), responsables souvent des pertes totales aux niveaux des Oueds descendants vers le Sud de L'Atlas Saharien.

d)-Les fissures :

Les fissures sont le résultat des transformations lentes que subissent les formations indurées. Elles ont généralement l'orientation des forces qui les ont engendrées c'est-à-dire que leurs directions coïncident avec les orientations majeures du réseau de failles atlasiques. Sur le plan hydrogéologique elles jouent un grand rôle car elles facilitent l'infiltration de l'eau en direction des nappes profondes participant à leur alimentation.

CHAPITRE III : étude hydrogéologique

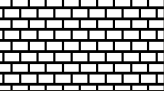
<i>AGE</i>		<i>LITHOLOGIE</i>	<i>FORMATIONS</i>	<i>PERMÉABILITÉ</i>
TERT	TERTIAIRE CONTINENTAL		Carapace calcaire De fossilisation	Mixte : interstices et de fissures Imperméable
	CRÉTACÉ		SENONIEN	Apports conglomératiques
TURONIEN			Barre dolomitique	Fissures et cheneux
CENOMANIEN			Argiles à gypse	Imperméable
ALBIEN SUP			Calcaire fin blanc	Fissures
ALBIEN INF			Grès à dragées superieurs	Mixte : interstices et de fissures
APTIEN			Barre calcaire intra-gréseuse	Fissures
VALANGINIEN BARREMIEN			Grès à Dragées inférieurs	Mixte : interstices et de fissures
<i>Zone De passage</i>	PORTLANDIEN-BERRIASIEN	Barre calcaire "portlandienne"	Fissures	
	KIMMERIDGIEN TERM A PORTLANDIEN	Marnes gypseuses	Imperméable	
JURASSIQUE	KIMMERIDGIEN SUPERIEUR		Grès intermédiaires	Mixte : interstices et de fissures
			Marno-calcaire bleutés	Imperméable
			Repère calcaire massif	
	KIMMERIDGIEN INFÉRIEUR		Marnes gypseuses et Calcaire lumachelliques	Imperméable
			Grès supérieurs	Mixte : interstices et de fissures
	OXFORDIEN		Calcaire à polypiers Marno-calcaires À Ammonites de l'Areg	Fissures
			Grès inférieurs	Mixte : interstices et de fissures
DOGGER	Argiles Silteuses	Imperméable		
TRIAS		Argiles et roche vertes	Imperméable	

Figure 18: Log hydrogéologique de la région d'étude (Djebel Amour)

(M. STAMBOUL-1998)

III.3- LES DIFFERENTS AQUIFERES DANS LES MONTS DE DJEBEL AMOUR :

En partant de la lithologie des terrains qui constituent le Djebel Amour, nous pouvons distinguer plusieurs niveaux aquifères d'importance variable.

Plusieurs dizaines de sources surgissent dans de Djebel Amour, les plus importantes sont celles qui naissent dans les formations gréseuses du Barrémien, Aptien, Albien et qui apparaissent au niveau de plusieurs synclinaux.

3.1- L'aquifère superficiel (Mio–Plio–Quaternaire) :

L'aquifère intéresse un ensemble de formations attribuées au Mio–Pliocène qui s'étendent au niveau de la dépression qui se situe à l'Est et au SE de Djebel Amour.

Ces formations, dont les affleurements sont d'extension réduite, ne peuvent constituer à elles seules un aquifère important, mais les ressources qu'elles renferment pourraient répondre aux besoins domestiques et agricoles à petite échelle.

La surface du niveau statique de cet aquifère reste en communication directe avec le réseau hydrographique drainant les eaux superficielles.

3.2- L'aquifère du Turonien :

La nappe est installée dans le réseau de fissures qui affecte les calcaires dolomitiques. L'étude de certains Djebels de la région a montré un karst superficiel caractérisé par la présence de fissures dont l'ouverture varie de 1 à 20mm et présentant une orientation préférentielle N 130° E.

Le karst profond ne nous est pas connu, seules les émergences qui se situent au contact des calcaires et les marnes cénomaniennes permettent de présumer de son existence.

3.3- L'aquifère du Barrémien, Aptien, Albien :

C'est un aquifère multicouche avec un système supérieur libre est un système inférieur captif.

L'épaisseur de cette formation dépasse les 1000m et présente une perméabilité mixte.

3.4- L'aquifère du Néocomien supérieur :

Il s'agit ici aussi d'un aquifère karstique de peu d'importance en raison des faibles dimensions du bassin d'alimentation, cependant des émergences pérennes drainent cet ensemble ; elles apparaissent au contact des marnes du Néocomien inférieur.

III.3.5- Les aquifères du Jurassique :

Ces aquifères sont peu connus, ils intéressent les formations du Kimméridgien inférieur et moyen; il s'agit de systèmes captifs.

III.4- LES PRINCIPALES NAPPES DE LA REGION :

LA NAPPE ALLUVIALE (LA NAPPE PHREATIQUE)

La nappe alluviale est comprise dans les dépôts sableux fins de type fluviatile, localement intercalées de lentilles d'argiles sableuses et gypseuses. Son épaisseur est variable, cette zone est actuellement occupée par de nombreux puits et forages équipés de groupe motopompes.

LA NAPPE DU COMPLEXE TERMINAL

La nappe du Complexe Terminal d'âge mio-pliocène englobe les assises perméables du Sénonien conglomératique et du Mio-Pliocène. En fait, il est possible d'y distinguer deux à trois aquifères, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces ensembles sont représentés par des formations calcaires et des dolomies du Sénonien et de l'Eocène inférieur, par des sables, grès et graviers et par des sables du Mio-Pliocène. Cette formation est exploitée par de nombreux forages (50) dont les débits d'exploitation peuvent parfois atteindre 50 l/s au niveau des forages profonds (250m) (M.STAMBOUL, 1988).

LA NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE

La nappe du continental intercalaire (CI) est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé inférieur. C'est un système multicouche de profondeur très variable qui peut atteindre parfois très localement 2000 m, et dont l'épaisseur varie de 200 à 400 m. Sa recharge s'effectue par infiltration des précipitations sur les bordures du bassin et tout le long des oueds qui descendent des massifs montagneux (M.STAMBOUL, 1988).

III.5-Inventaire des points d'eau :

➤ Les sources :

Une vingtaine de sources, sont ressenties et dont la majorité dans les formations gréseuses du jurassique et de l'infra-crétacé qui affleurent sur les flancs du synclinal. Il s'agit en effet d'une ligne de sources, de direction Nord- Est, Sud- Ouest, qui apparait à Djebel ksel (Ain sidi Ahmed, Ain Oum Redjem), à Djebel Zouiregue (Ouina EL Bayadh), à Djebel Mkther (Ain Mekther) d'autres se localisent dans les alluvions (Ain Likene, Ain El LOUH). Les conditions d'émergence sont généralement celles de débordement, ce qui mis évidence la présence d'un réseau de failles affectant les formations aquifères.

➤ Les puits :

Plus de deux cent quatre-vingt-dix (295), puits à travers le synclinal d'El Bayadh ont été ressenties leurs profondeurs, oscillent entre 3à50m, ce sont des puits ordinaires à grand rayon, utilisés par les nomades ou les agriculteurs. Leurs niveaux statiques peuvent atteindre 49m, et leurs débits varient en fonction de la nappe captée.

➤ Les forages :

D'importance décroissante la majorité des captent les nappes suivantes :

- Nappe des alluvions Quaternaire (124points d'eau)
- Nappe du Tertiaire Continental (85points d'eau)
- Nappe de l'Infra-Crétacé (42 points d'eau)
- Nappa du valanginien (25points d'eau)
- Nappe du continental Intercalaire (grés supérieur à dragée 22 points d'eau)
- Nappe de l'Hauterivien (grés inférieurs à dragées 13 points d'eau)
- Nappe de l'Hauterivien calcaires (12points d'eau)
- Nappe du jurassique (10points d'eau)

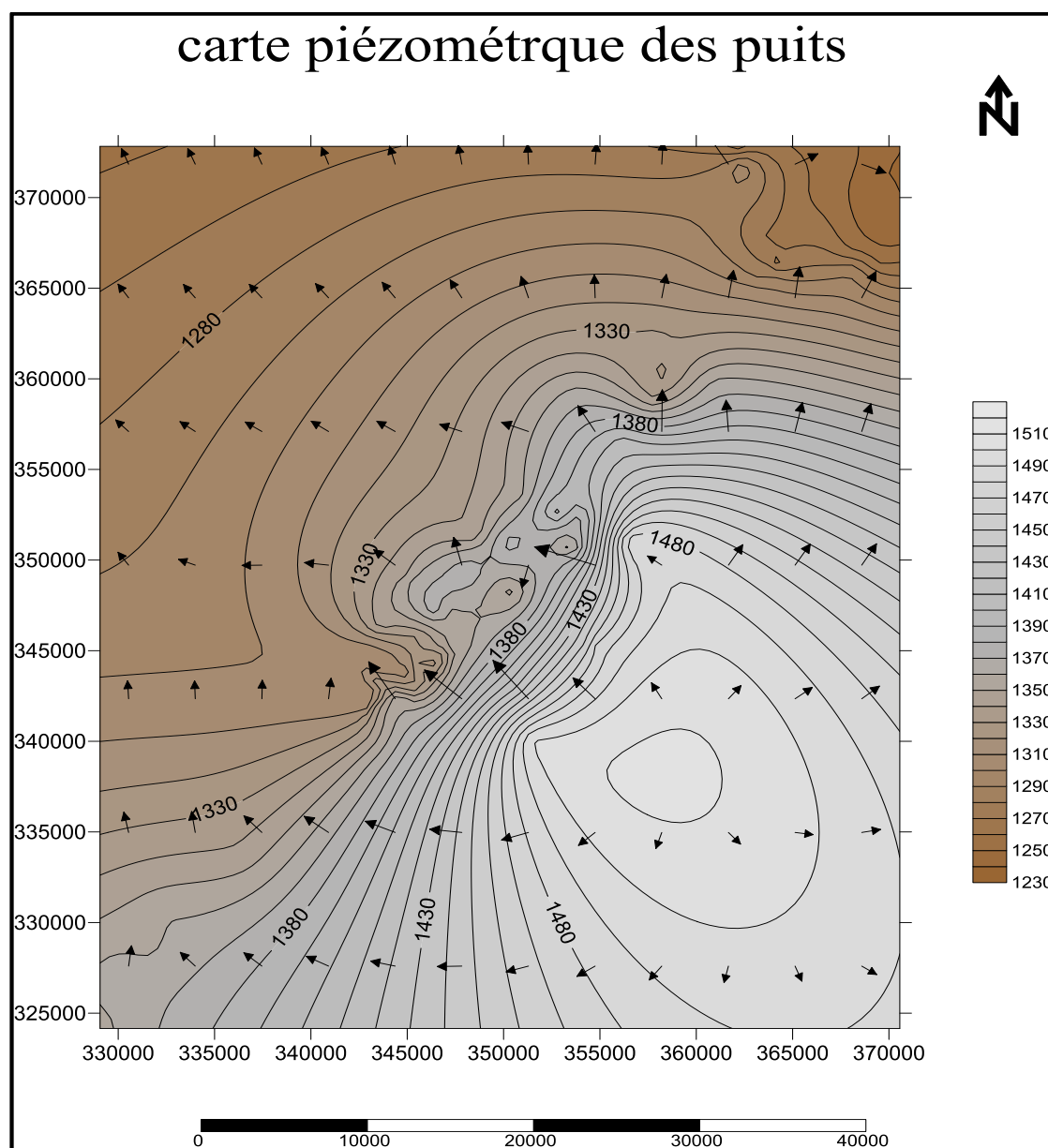


Figure n19 : Carte piézométrique pour les puits de synclinal d'El-Bayadh (2010)

Interprétation :

La carte piézométrique représente une synthèse importante dans l'étude hydrogéologique et son interprétation contribue à l'étude éventuelle du comportement hydrodynamique de la nappe.

L'étude piézométrique effectuée à partir des mesures des niveaux d'eau dans les différents points d'eau (puits) du synclinal d'El-Bayadh, montre que l'écoulement des eaux souterraines suit

03 sens :

-centre vers le Nord

-centre vers le Nord-Ouest

CHAPITRE III : étude hydrogéologique

-De la partie sud on a de l'Est vers l'Ouest

Les courbes hydroisoypes sont trop serrées donc on a un gradient hydraulique qui est important

Au centre on a un gradient hydraulique important qui est probablement dû à un changement de faciès.

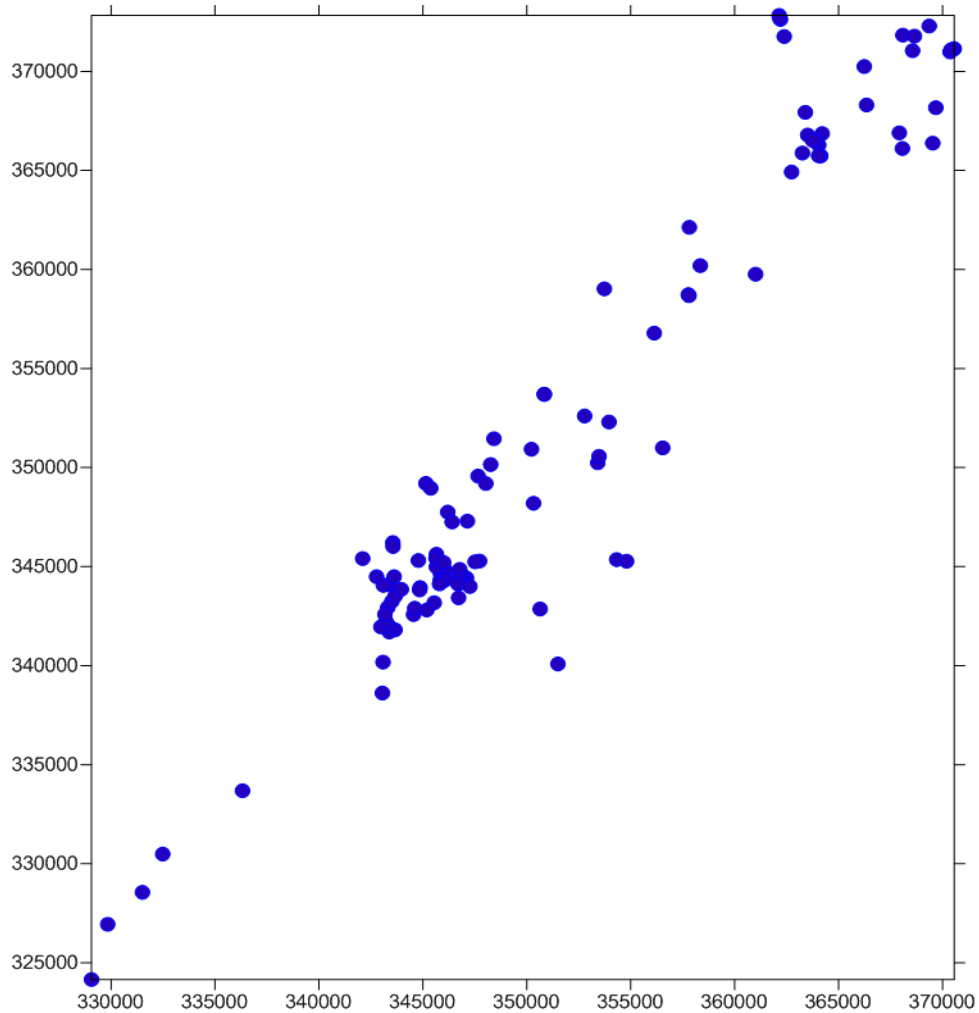


Figure n20 : Carte d'inventaire des points (puits) d'eau du notre secteur(2010)

III.6- LA VULNERABILITE A LA POLLUTION :

Suite aux données géologiques et hydrogéologiques ; Nous avons distingué et séparé des zones vulnérables à la pollution. Nous les avons classés par ordre de risque croissant dans le temps

- Zone des marnes à cargneules
- Zone des grès supérieurs à dragées
- Zone des grès inférieurs à dragées et calcaires lumachéliques
- Zone des grès de base, des grès et calcaires et des grès de haut de l'Infra-Crétacé
- Zones des terrains Tertiaire et Quaternaire

On distingue deux grands agents polluants qui présentent, des nuisances majeures sur la quantité et la qualité des eaux souterraines, ainsi que sur la couverture végétale.

L'agent le plus polluant concerne les eaux usées domestiques Ces derniers traversent le flanc septentrional du synclinal (**zone d'alimentation des nappes souterraines**), au niveau d'El

Kheneg qui est une zone de failles .C'est sans doute le point le plus noir d'un point de vue environnemental concernant la ville d'EL Bayadh. En effet l'infiltration est très importante dans les formations de grès de base, grès et calcaires et grès de haut. Le deuxième point à évoquer étant la décharge publique actuelle se situant sur les formations perméables et fissures du flanc septentrional.

L'emplacement de la future décharge semble être bon tant par sa position sur les marnes à cargneules du Valanginien imperméables et par le fait qu'il est situé en dehors du synclinal.

Le tableau ci-dessous, résume les limites des zones polluées, leurs coordonnées et leurs dimensions.

CHAPITRE III : étude hydrogéologique

Tableau n14 : Limites et dimension des zones polluées et vulnérables à la pollution

Zones vulnérables à la pollution	Polluants	Limite gauche X1	Limite droite X2	Limite supérieur Y1	Limite inférieur Y2	Périmètre en km	Surface en km ²
Zones des marnes à cargneules	Eaux usées domestiques	343348.87	346942.89	343440.98	346756.94	11.45	5.97
		337965.87	343416.64	338210.39	344316.09	18.9	3.59
Zones des grés supérieurs à dragées	Eaux usées domestiques	338117.81	349498.59	336934.31	345400.32	29.07	6.27
Zones des grés inférieur à dragées et calcaires lumachéliques	Eaux usées domestiques	337708.03	348555.82	337783.08	345634	28.28	6.03
Zones des grés de base les grés et calcaires et les grés de hauts de l'infra Crétacé	Eaux usées domestiques et décharge publique	328884.17	361690.65	322393.12	358321.64	120.15	130.93
		322340.61	342874.5	323349.9	355291.33	69.28	60.25
		332563.44	367673.56	336434.14	376541.07	119.46	51.1
Zones des terrains Tertiaires et Quaternaires	Eaux usées domestiques	327789.81	339146.92	328088.5	337837.8	38.63	62.64
		338234.52	352631.74	334553.97	346820.87	42.16	44.88
		363153.5	344745.73	343199.18	345729.55	7.4	1.97
		344669.39	370032.08	344872.92	374271.65	111.88	171.99

Conclusion :

- Les différentes aquifères dans les monts de djebel amour :
 - L'aquifère superficiel (Mio–Plio–Quaternaire)
 - L'aquifère du Turonien
 - L'aquifère du Barrémien, Aptien, Albien
 - L'aquifère du Néocomien supérieur :
 - Les aquifères du Jurassique
- Les principales nappes de la region :
 - La nappe alluviale (la nappe phreatique)
 - La nappe du complexe terminal
 - La nappe du continental intercalaire

CHAPITRE 04 : HYDROCHIMIE

1- INTRODUCTION :

L'étude hydro chimique des eaux souterraines permet de confirmer les résultats de la prospection hydrogéologique, de connaître la qualité et les faciès des eaux.

La qualité des eaux de la nappe a pu être définie à partir des puits étudiés. On note bien que l'hétérogénéité lithologique de l'aquifère qui joue un rôle très important.

Le but de cette étude est de présenter de façon uniforme les éléments essentiels des analyses chimiques effectuées sur les eaux des forages étudiés.

C'est dans cet objectif qu'ont été analysés 08 échantillons pris dans forages et des sources, Tous captant la nappe...

Les analyses chimiques ont été effectuées au laboratoire de l'ANRH elles sont représentées dans le tableau N°1, et concernent les paramètres suivants :

Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, CO₃⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻, et NO₂⁻.

1.1- Etat des eaux souterraines :

Les différentes couches des terrains traversés ainsi que les minéraux qu'elles renferment, sont des éléments déterminants pour étudier les eaux souterraines. Dans le sol il existe deux types de minéraux :

Les solubles (ex : CaCl₂, Na Cl, et CaCO₃) et les non solubles (ex : SiO₄).

La pénétration des eaux dans le sol fait dissoudre les minéraux solubles lors de leur passages tout en les intégrant dans leur composition d'où le terme d'eaux «minéral».

La minéralisation devient de plus en plus importante au fur et à mesure que les eaux pénètrent en profondeur. Plus les eaux descendent d'avantage, plus la température augmente, c'est cet accroissement de chaleur qui facilite la dissolution des minéraux. La connaissance de la composition du sous-sol, les minéraux qu'il renferme et la prédominance des uns par rapport aux autres se fait l'influence de tous les éléments dissous dans l'eau, il a été dit que « la classification des eaux minérales, habituellement adaptée et entièrement basée sur la composition chimique » et que « la géologie peut contribuer à donner un fil conducteur pour la description des sources » **M. Dalloni.**

Les eaux arrivent à la surface fortement ou faiblement minéralisées; cela est dû à la vitesse d'ascension. Dans le cas où la montée des eaux est rapide (aidée par la poussée des gaz dissouts), la déperdition des minéraux est minime. Par contre, la teneur de la longue circulation permettra aux eaux de déposer beaucoup plus de leurs minéraux, cette lenteur est à

l'origine également du refroidissement. A ce stade commencent les dépôts des particules solubilisées auparavant.

2- Méthodologie :

Les analyses des échantillons d'eau des paramètres physicochimiques ont été réalisées à l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques) elles ne concernent qu'un seul point d'eau (Synclinale d'ELBAYADH).

3- Classification des eaux :

3.1- Classification selon la température de l'eau à l'émergence :

La température est un facteur plus important sur le plan physico-chimique en accélérant les cinétiques de réaction et sur le plan microbiologie en favorisant le développement microbien (Popoff, 1991).

La température des eaux de la région varie de 23°C à 27°C.

3.2- Classification selon la composition chimique de l'eau :

Les classifications des eaux sont nombreuses, la plus habituellement retenue étant fondée sur la composition chimique, suivant l'ion principal. On distingue des groupes qui se divisent en types d'après l'ion le plus abondant.

- Le groupe des eaux carbonatées pauvres en anion sulfaté se trouve dans les régions de volcanisme récent, les types sont soit sodiques soit calciques.
- Le groupe des eaux chlorurées, le plus souvent du type sodique fréquemment associé au Trias et zones pétrolifères.
- Le groupe des eaux sulfatées se divise en types calciques ou sodiques.
- Le groupe des eaux sulfatées du type sodique constitue la plupart des eaux minérales.

- Classification selon Stabler :

Basée sur l'équilibre entre les cations et les anions (l'électroneutralité des eaux).

CHAPITRE IV : hydrochimie

Tableau N°15 : les résultats en quantité en réaction

Les ions	Les points d'eau							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Ca ²⁺	4.3	5.5	7	4.6	4.5	7.5	4.7	6
Mg ²⁺	3.74	2.83	2.83	2.43	2.6	2.83	2.32	2.12
Na ⁺	2.06	2.13	3.8	1.56	1.3 4	1.91	0.95	1.86
K ⁺	0.05	0.50	0.07	0.08	0.1 0	0.18	0.04	0.15
Cl ⁻	2.74	3	5	2.5	2.2	2.75	2	2.9
SO ₄ ²⁻	1.20	1.45	1.45	1.12	1.2 2	2.07	1.3	2.31
HCO ₃ ⁻	5.2	5.2	7	5.7	5.4	6.4	4.7	4.6

- faciès et formules caractéristiques :

Tableau N°16 : classification des eaux selon les ions majeurs (Stabler).

Points d'eau	Formule caractéristique	Faciès chimique
F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8	$r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- / \geq r\text{SO}_4^{2-}$ $/r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r\text{K}^+ + r\text{Na}^+$	Bicarbonatée calcique

4- Interprétation des données de mesure et d'analyse

4.1- les caractéristiques organoleptiques des eaux des forages :

F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8.

- la couleur : eau limpide (incolore).
- l'odeur : sans odeur.
- la saveur : aucun goût.

4.2- Les caractéristiques physicochimiques des eaux des forages

Les résultats des analyses physicochimiques des eaux sont représentés dans le tableau suivant :

CHAPITRE IV : hydrochimie

Tableau N°17: les analyses physico chimique des eaux étudiées

TA Paramètres	Unités	Les forages d'eaux								Normes Algérien nes	Observations
		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8		
Ca ²⁺	mg/L	86	110	140	92	90	150	94	120	75 à 200	Bonne
	meq/L	4.3	5.5	7	4.6	4.5	7.5	4.7	6		
Mg ²⁺	mg/L	44. 95	34	34	29.2	31. 6	34	27.9 4	25.5 1	150	//
	meq/L	3.7 4	2.8 3	2.8 3	2.43	2.6	2.8 3	2.32	2.12		
Na ⁺	mg/L	47. 4	49. 1	88	36.1	30. 9	44	22	43	200	//
	meq/L	2.0 6	2.1 3	3.8	1.56	1.3 4	1.9 1	0.95	1.86		
K ⁺	mg/L	2.1	6.1	2.9	3.1	4.1	7.3	1.9	5.9	20	//
	meq/L	0.0 5	0.5 0	0.0 7	0.08	0.1 0	0.1 8	0.04	0.15		
∑Cations	meq/L	10. 15	10. 96	13. 7	8.67	8.5 4	12. 39	8.01	10.1 3	-	//
Cl ⁻	mg/L	97. 6	106 .5	177 .5	88.7 5	79. 9	97. 7	71	105. 6	200 à 500	//
	meq/L	2.7 4	3	5	2.5	2.2	2.7 5	2	2.9		
SO ₄ ²⁻	mg/L	58	69. 4	65	54	59	99. 7	62	111	200 à 400	//
	meq/L	1.2 0	1.4 5	1.3 5	1.12	1.2 2	2.0 7	1.3	2.31		
HCO ₃ ⁻	mg/L	317	317	427	353	329	390	290	286	-	//
	meq/L	5.2	5.2	7	5.7	5.4	6.4	4.75	4.6		
NO ₃	mg/L	3	25	8	11.3	6.6	50. 94	8.9	38.8 7	50	//
	meq/L	0.0 4	0.4 0	0.1 2	0.18	0.1 0	0.8 2	0.14	0.62		
∑ Anions	meq/L	9.1 8	10. 05	13. 47	9.5	8.9 2	12. 04	8.19	10.4 3	-	-
BI	%	5	4.2 3	0.8 4	4.5	2.6	1.4 3	1.1	1.4	5	//
pH	×	7.5	7.5	7.4	7.16	7.6	7.5	7.8	7.8	6.5 à 8.5	//
Conductivité	μS/cm	580	865	716	879	771	985	801	996	2800	//
Minéralisatio n	mg/L	578 .5	532	573	472	513	683	464	663. 7	-	//
RS(110°C)	mg/L	589	539	955	487	521	144 0	471	669	(1500- 2000) à 180°C	//
TAC	°F	26	26	35	29	27	32	23.7	23.5	-	-
	meq/L	5.2	5.2	7	5.8	5.4	6.4	6.54	4.7		
MES (110°C)	mg/L									-	-
Turbidité	NTU	0.51	0.41	0.53	0.94	0.49	0.45	0.4	0.43	-	-

CHAPITRE IV : hydrochimie

INTERPRETATION ET DISCUSSION :

A- Potentiel d'hydrogène pH

Le pH d'une solution varie en fonction de la concentration en ions (H_3O^+) ou H^+ . Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité.

Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Les valeurs du pH dans notre secteur sont comprises entre 7 et 7,97 elles sont donc dans les normes algériennes (6,5-8,5).

B- Conductivité :

Selon J. Rodier (1984), elle permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau.

La conductivité augmente lorsque la teneur en sels dissous augmente. Elle est l'inverse de la résistivité électrique, l'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m), en hydrochimie (mS/cm).

On distingue :

-Conductivité importante dans les d'eau : F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8.

C- La minéralisation :

C'est la quantité des sels minéraux contenus dans l'eau, elle est estimée à partir de la mesure de la conductivité, caractéristique électrique de l'eau qui traduit l'aptitude à laisser passer un courant.

La minéralisation totale est l'ensemble de tous les composants des sels dans l'eau après une évaporation à 180°C (J. Mercier 2000, le grand livre de l'eau).

Tableau N°18 : la relation entre la Conductivité et la minéralisation (J. Rodier, 1996).

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	Minéralisation (mg/l)
Conductivité < 100	Très faible
Conductivité < 200	Faible
Conductivité < 333	Moyenne
Conductivité < 666	Moyenne accentuée
Conductivité < 1000	Importante
1000 < Conductivité	Elevée

Les valeurs de minéralisation, conductivité ainsi que le résidu sec sont reportés dans le

CHAPITRE IV : hydrochimie

Tableau N°19 : valeurs des minéralisations, conductivité et résidu sec

Pour les différents points d'eau

Points d'eau	Minéralisation	Conductivité (µS/cm)	Résidu sec mg/L
F1	578.5	580	589
F2	532	865	539
F3	573	716	955
F4	472	879	487
F5	513.3	771	521
F6	683	985	680
F7	464	801	471
F8	663.7	996	669

E- Résidu sec :

Sa détermination permet d'estimer essentiellement la teneur en matières dissoutes. Les recommandations algériennes indiquent pour le résidu sec une valeur maximale de 2000mg/l.

Les valeurs de résidu sec dans notre région sont comprises entre 471 et 955, ce sont des valeurs moyennes et acceptables ne dépassant pas les normes.

F- La dureté totale :

La dureté hydrométrique totale de l'eau correspond à la somme des concentrations des ions Calcium (Ca^{2+}) et de celle des ions magnésium (Mg^{2+}), elle est donnée en degré français.

$$\text{TH} = r (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ 5 meq/l}$$

La dureté s'exprime en équivalent de carbonate de calcium ou calcaire (CaCO_3).

Tableau N°20 : classification des eaux à partir de la dureté.

Dureté en °F	Dureté en mg/l de CaCO_3	Qualification de l'eau
0 – 3	0 – 30	Très douce
3 – 6	31 – 60	Douce
6 – 12	61 – 120	Moyennement douce
12 – 18	121 – 180	Dure
≥ 18	≥ 180	Très dure

Les valeurs de la dureté totale des différents points d'eau sont reportées dans le tableau suivant :

CHAPITRE IV : hydrochimie

Echantillon	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
TH (°F)	40.2	41.6	69.5	35.15	35.5	51.6	35.1	41.05

D'après le tableau, on a une eau très dure dans tous les points d'eau.

Turbidité :

La mesure de la turbidité permet de donner une information visuelle sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microbiologiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des Usages sont relatives car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire.

Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre

Tableau N°21 : classe de turbidité usuelle.

NTU ≤ 5	Eau claire
5 ≤ NTU	Eau légèrement rube
NTU ≥ 50	Eau trouble

NTU : (Néphélobimétrie Turbidité Unit).

Les normes algériennes recommandent comme valeur limite 5 NTU. Les valeurs de la turbidité des différents points d'eau sont reportées dans le tableau suivant :

Echantillon	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Turbidité	0.51	0.41	0.53	0.94	0.49	0.45	0.4	0.43

G- Les cations :

- L'ion calcium Ca^{2+} : il est généralement l'élément dominant des eaux, Les directives du conseil des communautés européennes indiquent comme teneur de calcium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 100mg/l, par contre les normes algériennes préconisent une concentration varie de 75mg/l à 200mg/l comme concentration maximum.

Pour les eaux étudiées la concentration de calcium est la plus dominante, elle est de 55mg/L.

Le dosage de l'ion calcium (Ca^{2+}) : il est dosé par complexométrie à l'EDTA en présence d'un indicateur coloré (Muréxide).

CHAPITRE IV : hydrochimie

- L'ion magnésium Mg^{2+} :

Les normes algériennes donnent pour l'ion magnésium une concentration maximum de 150mg/l, alors que la directive du conseil des communautés européennes indique une teneur de 50mg/l.

La teneur de l'ion magnésium des eaux étudiées est de 15mg/l. Donc la teneur mesurée est en dessous des normes algériennes.

Le dosage de l'ion magnésium (Mg^{2+}) : sa teneur est calculée par la différence des valeurs du degré hydrotimétrique (TH) et de l'ion calcium (Ca^{2+}).

- L'ion sodium Na^+ :

Les normes algériennes recommandent une valeur limite de 200mg/l de Na^+ , la concentration trouvée pour les eaux du forage Thenia sud 1 est de 23mg/l. Donc la teneur respecte les normes algériennes.

Le dosage des sodiums (Na^+) est fait par spectrométrie d'absorption à flamme (AURORA AI 1200).

- L'ion potassium K^+ :

La valeur de l'ion potassium est relativement faible pour le forage Thenia sud 1.

La concentration présentée dans les normes algériennes est de 12mg/l.

Le dosage de l'ion potassiums (K^+) se fait comme pour l'ion sodium.

H- les anions :

1- Les chlorures Cl^- :

Les teneurs en chlorures des eaux sont liées principalement à la nature des terrains traversés par ces eaux.

Les recommandations de l'O.M.S. indiquent pour les chlorures une valeur limite 200 mg/l, les eaux de ces forages ont une teneur admissible de 34mg/l conforme aux normes de potabilités.

Le dosage des chlorures : ils sont dosés par volumétrie en milieu neutre par une solution titrée de nitrates d'argent en présence de bicarbonate de potassium.

2- l'ion sulfate SO_4^{2-} :

La teneur en ion sulfate pour les eaux de forage Thenia sud 1 est toujours dans les normes de potabilités algériennes elle est de 46 mg/l.

Le dosage de l'ion sulfate SO_4^{2-} : il est dosé par méthode gravimétrique en présence d'acide chlorhydrique.

3- l'ion bicarbonate HCO_3^- :

CHAPITRE IV : hydrochimie

La teneur en bicarbonate dépend essentiellement des terrains traversés, les normes algériennes et les recommandations de l'O.M.S ne fixent aucune valeur pour ce paramètre puisque qu'elle que soit la teneur en bicarbonate dans l'eau de consommation la potabilité n'est pas affectée.

En ce qui concerne les eaux étudiées la concentration en bicarbonate est la plus dominante, elle est de 176 mg/l.

Le dosage l'ion bicarbonate HCO_3^- : il est dosé par volumétrie en présence d'acide chlorhydrique et d'un indicateur coloré (verte de Bromothymol).

4.3- Contrôle des analyses par la balance ionique :

Les analyses peuvent être contrôlées par la balance ionique (BI):

$$BI = \left| \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} \right| \times 100$$

Avec : BI : Balance ionique en %

r : quantité en réaction (en meq/l)

Si : $BI < 2$ Bonne analyse.

$2 < BI < 5$ Analyses acceptable.

$BI > 5$ Mauvaise analyse.

La valeur de la balance ionique des eaux étudiées est dans le tableau suivant :

Tableau N°22: Résultat du calcul de la balance ionique.

Points d'eau	Balance ionique (BI)	Résultat
F1	5	Analyses acceptable
F2	4.2	Analyses acceptable
F3	0.84	Bonne analyse
F4	4.5	Analyses acceptable
F5	2.6	Analyses acceptable
F6	1.43	Bonne analyse
F7	1.1	Bonne analyse
F8	1.4	Bonne analyse

4.4- Représentations graphiques de la qualité de l'eau :

Les eaux prennent au cours de leur trajet des faciès différentes dont on peut suivre l'évolution en classant les eaux en fonction des teneurs des anions et des cations et en utilisant des diagrammes. Les diagrammes permettent de comparer les eaux entre elles et de les classer en famille chimiques. Cette représentation sert à déterminer les faciès des eaux et leur

CHAPITRE IV : hydrochimie

potabilité. Pour déterminer les différents faciès traversés par les eaux de différents points et de classer en familles chimiques nous avons utilisé les diagrammes de Piper, de Schoeller Berkaloff et celui de Stiff.

4.4.1- Diagramme de Piper : (figure N°21)

La représentation des analyses chimiques dans le diagramme de Piper permet d'avoir une approche de la composition chimique d'une eau. Ce diagramme est établi à partir des quantités en réaction en pourcentage.

Les résultats ont été reportés dans le diagramme de Piper. La position des points représentatifs des anions et des cations caractérise la composition chimique de l'eau.

Selon le diagramme, les eaux appartiennent au type bicarbonaté calcique.

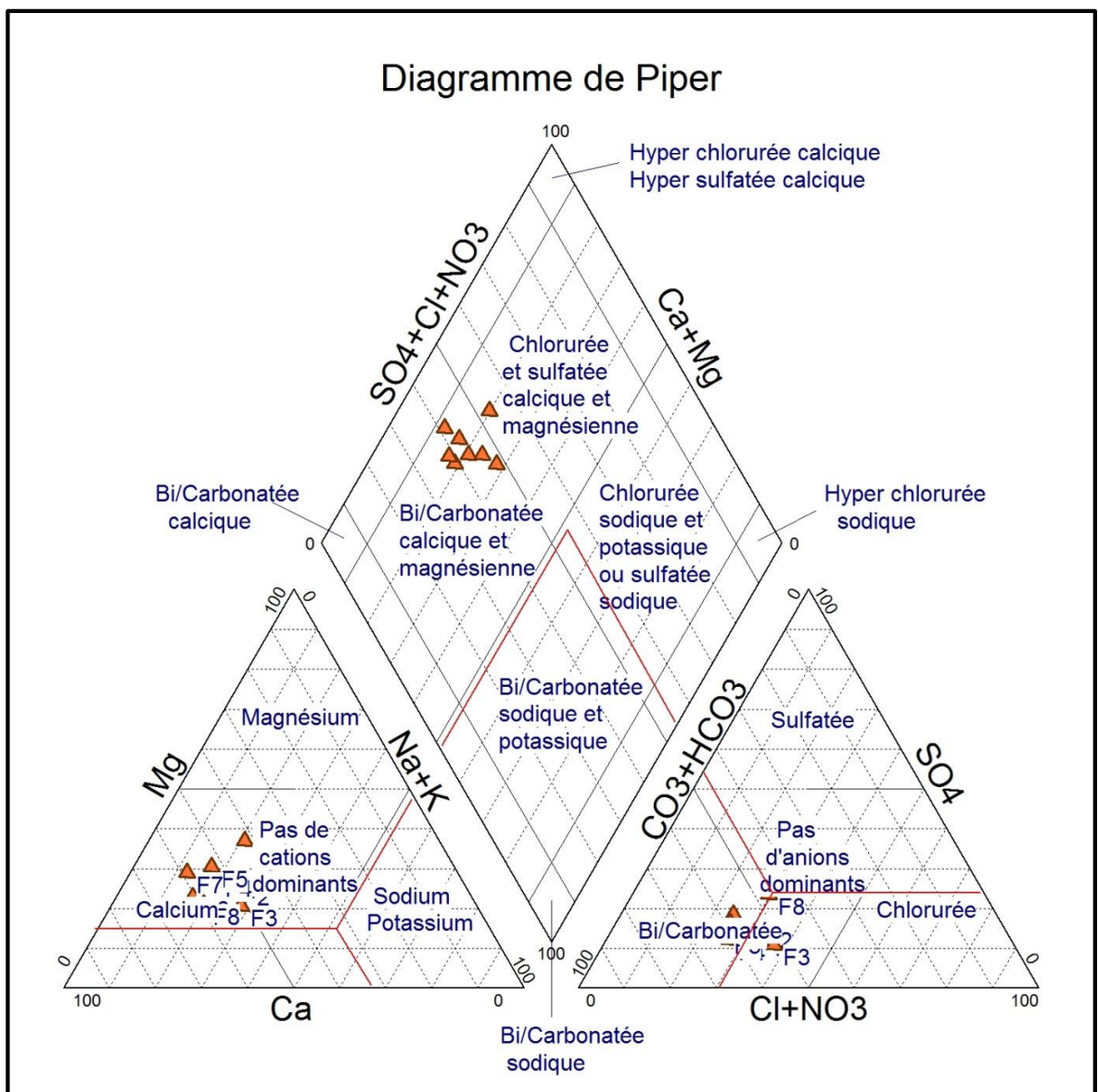


Figure N°21 : Diagramme de Piper des eaux étudiées.

CHAPITRE IV : hydrochimie

4.4.-Diagramme de Schoeller Berkaloff : (Figure N°22)

Ce diagramme est utilisé pour déterminer les faciès des eaux et leur évolution. Les analyses chimiques effectuées sur les eaux étudiées permettent de dire que ces eaux sont de type bicarbonaté calcique.

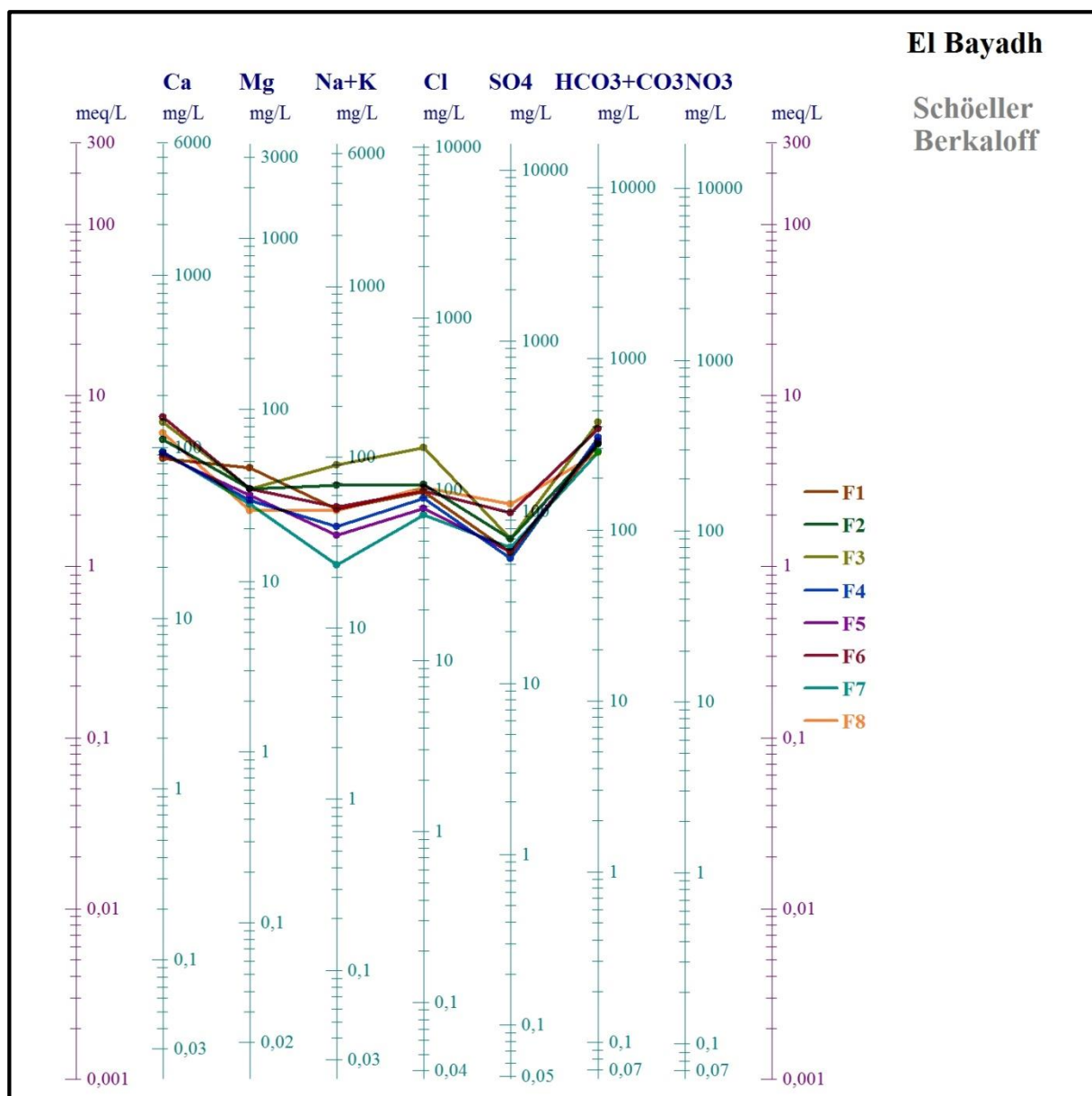


Figure22 : Diagramme de Schoeler berkaloff des eaux étudiées.

CHAPITRE IV : hydrochimie

4.4.4- Interprétation de la représentation graphique des analyses physicochimiques des eaux étudiées :

Ces diagrammes ont permis de faire ressortir une seule grande famille de faciès (bicarbonaté calcique), liées aux facteurs géologiques dont lequel circule l'eau souterraine.

Cette eau est de très bonne qualité chimique, généralement légère et circulante au sein des formations gréseuses de l'Albien, daté du Crétacé inférieur (région d'EL Bayadh).

5- **Qualité des eaux pour l'irrigation selon le SAR:** (Figure N°23)

(**S. A. R.** Sodium Alcalinité Ratio).

Vu le futur développement de l'agriculture dans notre région d'étude, nous avons jugé utile de déterminer l'aptitude des eaux souterraines à l'agriculture. Pour cela nous avons calculé le **S. A. R.**

En irrigation on utilise le S. A. R de l'eau comme mesure de l'échangeable Sodium Ratio (ESR) pour estimer la convenance d'une eau d'irrigation :

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{rCa^{2+} + rMg^{2+} / 2}}$$

Avec: Na^+ , Ca^{2+} , et Mg^{2+} en meq/l

Le tableau N° 19 donne la valeur du SAR et de la conductivité.

Tableau N°23 : valeurs du SAR.

Points d'eau	SAR	Conductivité (µs/cm)
F1(Daffa)	4.13	580
F2(FZBO4)	4.34	865
F3 (Tayeb)	8.42	716
F4 Mohamed)	3.76	879
F5(Ahmed)	2.52	771
F6(Aachrati)	9.50	985
F7(Benouda)	1.77	801
F8(Menssor)	7.80	996

La valeur calculée du SAR et celle de la conductivité permettent de classer l'eau du point de vue de sa qualité pour l'irrigation.

CHAPITRE IV : hydrochimie

Donc : Si

- Le SAR est inférieur à 10 —————→ l'eau est excellente
- Le SAR est compris entre 10 et 18 —————→ l'eau est bonne
- Le SAR est compris entre 18 et 26 —————→ l'eau est convenable
- Le SAR est supérieur à 26 —————→ l'eau est médiocre.

Les valeurs calculées du S. A. R. et celles de la conductivité permettent de classer l'eau du point de vue de sa qualité pour l'irrigation.

La position de ce point caractérise la qualité de l'eau de forage pour l'irrigation, qui définit dans le tableau N°8 (D'après J. Servant 1975, classification des eaux d'irrigation, U.S. salinity LAB).

Interprétation :

Le point obtenu pour les eaux de forage étudié se situe dans la classe C2-S1.

Le point d'eau présente une eau excellente pour l'irrigation. Nous avons reporté la valeur du S. A. R. en fonction de la conductivité sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation.

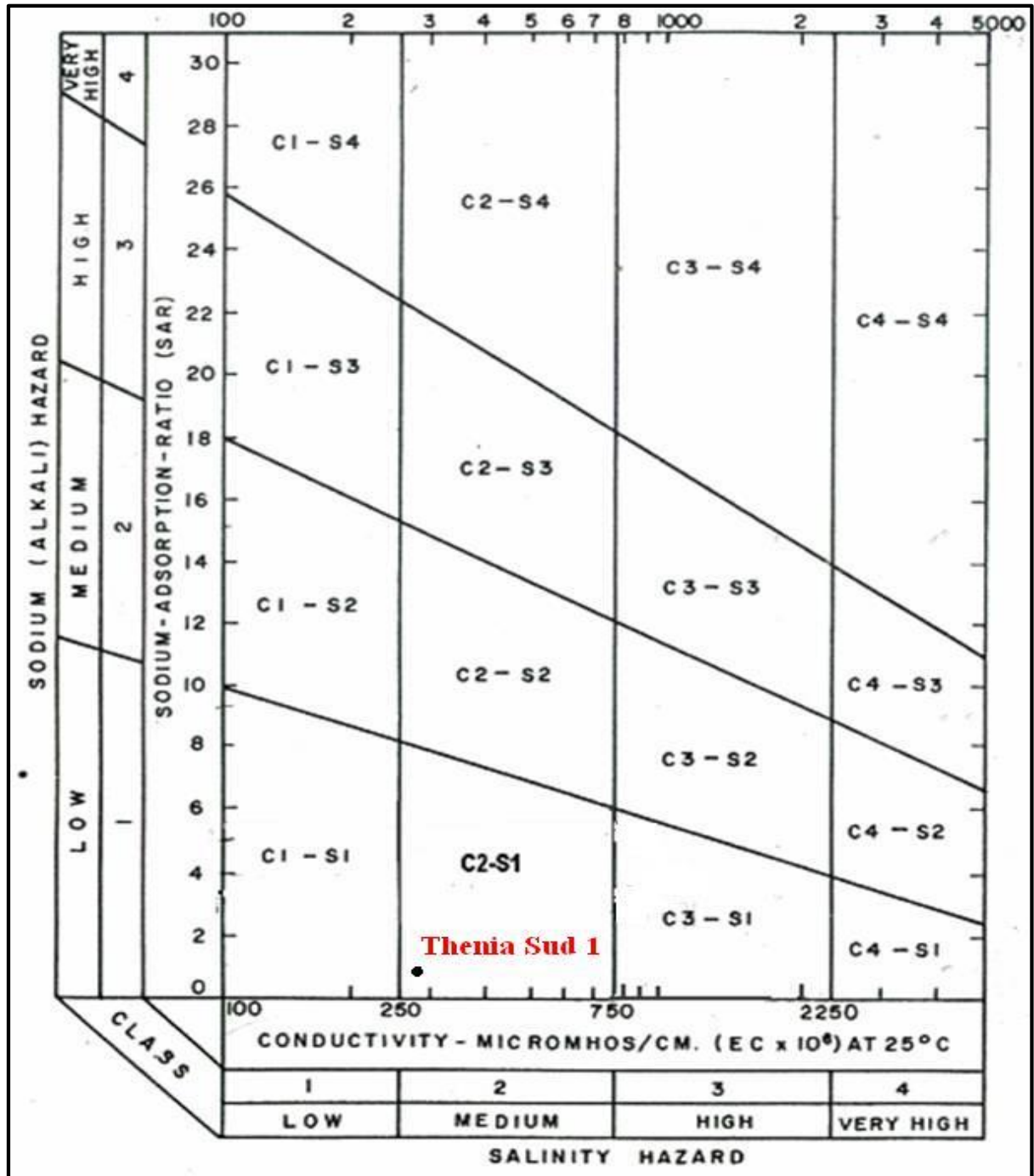


Figure 23 : le S. A. R. des eaux étudiées

CHAPITRE IV : hydrochimie

Tableau N°24: Classifications des eaux destinées à l'irrigation.

Degré	Qualité	Classes	L'utilisation
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sels, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Mediocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certains espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement. pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

CHAPITRE IV : hydrochimie

6-ANALYSE BACTERIOLOGIQUE :

Les analyses bactériologiques ont pour but de déterminer la qualité biologique de l'eau en cherchant les germes cités dans la norme de potabilité des eaux

Ces analyses ont été réalisées dans le laboratoire de d'Hygiène Bactériologies des eaux (Service de Prévention - Direction de la Santé et de la Population).

Les résultats des analyses dans le tableau suivant :

Tableau N°25 : Résultat d'analyse bactériologique

Les germes	Résultat				Normes NA 6360
	F1	F2	F3	F4	
Germes aérobies à 37°C /ml.	10	3	8	8	200
Germes aérobies A 22°C/ml.	11	5	13	24	200
Coliformes aérobies A 37°C/100ml.	5	0.2	2.2	8,8	≤10
Coliformes fécaux/100ml.	0	0	0	0	00
Streptocoques fécaux /100ml A 37°C.	0	0	0	0	00
Clostridium sulfito-réducteurs à 37°C FV/FS.	×	0	×	×	≤5/00

Interprétation et discussion :

Dans les conditions naturelles, une eau souterraine doit en principe être dépourvue de micro-organisme.

D'après les résultats mentionnés dans le tableau précédent on a constaté que ces eaux sont de bonne qualité bactériologique, elles sont conformes aux normes algériennes.

❖ Les coliformes :

Dans le forage étudié, les valeurs trouvées respectent la norme algérienne : ≤10 germes /100ml.

❖ E. Coli :

Les résultats d'analyses effectuées montrent l'absence de ces germes dans l'eau des forages

CHAPITRE IV : hydrochimie

❖ Streptocoques fécaux :

selon la réglementation algérienne une eau potable de source ne doit pas contenir des Streptocoques fécaux dans 100ml d'échantillon. les analyses montrent que ces germes sont absents dans le forage étudié.

❖ Les germes totaux :

Les résultats d'analyses des germes totaux donnent des valeurs <200 pour les germes totaux à 37°C, et à 22°C.

❖ Clostridium sulfito-réducteurs :

Les clostridium sont souvent recherchés pour vérifier l'auto-épuration du sol vis-à-vis de l'eau. Il y a deux types de ces germes : des formes sporulées et des formes végétatives qui sont absents dans l'eau de forage, Les résultats d'analyses effectuées montrent l'absence de ces germes.

Donc, c'est une eau de bonne qualité bactériologique.

Conclusion :

➤ L'étude physicochimique réalisée en une seule campagne sur (08) points d'eau en différentes phases de pompage dans la Synclinale d'EL BAYADh de notre région d'étude, est caractérisée par le faciès bicarbonatés calciques où les eaux sont de minéralisation comprises entre 464 et 683, et avec une eau très dure.

➤ La teneur élevée en bicarbonates est due aux terrains traversés par ces eaux (les faciès secondaires).

➤ La représentation graphique sur les diagrammes de Piper, Schoeller Berkloff montre l'existence de faciès bicarbonatés calciques.

➤ Ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation des terres agricoles (elles sont classées comme eau excellente à l'irrigation selon le S. A. R).

➤ De point de vue bactériologique ces eaux sont propres à la consommation humaine.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'histoire de l'évolution du secteur d'El Bayadh, peut se résumer, en trois grandes phases :

- Phase de création d'un bassin de sédimentation : elle est impropre à notre secteur d'étude, et concerne toute la chaîne de l'atlas saharien. Cette phase est marquée par l'apparition de mouvements de distensions, à partir du Trias, qui ont engendré la formation d'une gouttière ou d'un sillon, où se sont accumulés des dépôts de diverse nature.
- Phase de sédimentation : les dépôts rencontrés dans notre secteur étudié, enregistrent un taux de subsidence très élevé, et présentent une évolution verticale des faciès, liée à celle des milieux de dépôts.
- Phase d'orogénèse : c'est la phase de mouvements orogéniques compressifs, qui a donné naissance aux chaînes de montagnes actuelles. Elle est post turonien, et son résultat est composé de conglomérats, d'argiles et de sables, Tertiaire et Quaternaire, qui ont comblé les dépressions, en se mettant en discordance sur les dépôts sous — jacents,

L'étude dans le synclinal d'El Bayadh, a permis de préciser les caractéristiques géologiques, climatiques, hydrogéologiques, liés à l'origine des écoulements des eaux souterraines

Etude climat : la région est caractérisée par un climat semi-aride, avec un hiver froid, une température moyenne annuelle de 15°C et une moyenne des précipitations annuelles de l'ordre de 263,4 mm/an.

La présente étude doit être complétée au futur par une autre plus poussée visant l'estimation des réserves ainsi que le taux de prélèvement permis. Une éventuelle étude demandera des pompages d'essais de longue durée des différentes nappes, en utilisant la méthode appropriée d'interprétation, ainsi qu'une datation par des isotopes ou l'utilisation des traceurs colorants afin de s'assurer sur l'alimentation des nappes visées.

BIBLIOGRAPHIE

BELOULOU R. (2010) : Rapport géologique- RHOUNDJAIA- wilaya d'El Bayadh direction de Mines.

BENDAHOU I et BENTOUMI M. (2008) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe du Callovo-oxfordien du synclinal de MECHERIA. Mémoire Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Uni Tlemcen.

BOUANANI A. (2007) : Hydrogéologie, transport solide et modélisation étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW-Algérie). Thèse de doctorat d'Etat en Hydrogéologie. Uni Tlemcen.

CORNET A. (1952) : Atlas saharien Sud-ornais .XIX cong. Géol. Intern, 1 ère série, Algérie.

DAHMANI M. (2006) : Estimation de la recharge de la nappe infra-crétacé de la région du DHAR LAHMAR (EL BAYADH, ATLAS SAHARIEN CENTRAL). Mémoire Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Uni Tlemcen.

D.R.H.W.ELBAYADH : Direction de ressources hydrauliques de la wilaya d'El Bayadh.

GEO-WATER. (2003) : Etude géologique et hydrogéologique du secteur d'El Bayadh.

L.T.P.C ATLAS KSEL, ELBAYADH : Laboratoire des travaux publics et construction

MAHBOUBI M. (1983) : Etude géologique et paléontologique du crétacé post-Aptien et du tertiaire de la bordure méridionale du Dj Amour. Mémoire de magister en géologie des ensembles sédimentaires. Uni Oran.

MERCIER J. (2000) : Le grand livre de l'eau.

RADJA B. (2009) : Etude hydrogéologique et hydro chimique du synclinal HODNA-ELBAYADH, ATLAS SAHARIEN CENTRAL. Mémoire Ingénieur d'Etat en Hydrogéologie. Uni Tlemcen.

RODIER G. (1996) : L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer).Ed. Dunod. Paris, France.

SARL SFERTAP. (2009) : Etude de risques relative à l'exploitation de calcaire de Rhoundjaia – EL MERHSAL (EL BAYADH) direction de Mines.

BIBLIOGRAPHIE

STAMBOUL M. (1998) : Contribution à l'étude hydrogéologique de l'Atlas Saharien l'exemple de Dj Amour. Doctorat d'Etat en géologie appliqué en Hydrogéologie. Uni d'Oran.

LISTE DES FIGURES

Liste des figures :

Figure n° 01 : Plan de situation de la ville à l'échelle nationale	page04
Figure n° 02 : Plan de situation de la ville à l'échelle de la wilaya	page04
Figure n° 03 : Communes limitrophes de la ville d'El Bayadh.....	page05
Figure n° 04 : Situation géographique de la ville d'El Bayadh.....	page05
Figure n° 05 : Situation géographique du secteur étudié	page09
Figure n° 06 : Schéma structural de la chaîne Alpine de la Méditerranée occidentale....	page 14
Figure n° 07 : Extrait de la carte géologique d'El Bayadh au 1/200.000.....	page16
Figure n° 08 : Log géologique de la région d'El Bayadh.....	page17
Figure n° 09 : Diagramme des précipitations annuelles (mm).....	page25
Figure n° 10 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (mm).....	page26
Figure n° 11 : Histogramme des précipitations saisonnières (mm).....	page27
Figure n° 12 : Courbe des températures (°C).....	page28
Figure n° 13 : Histogramme des évaporations saisonnières (mm).....	page29
Figure n° 14 : Diagramme pluviothermique.....	page31
Figure n° 15 : Abaque de l'indice d'aridité de DE MARTONNE.....	page33
Figure n° 16 : Climagramme d'Emberger.....	page35
Figure17 : Déficit d'écoulement (Méthode de Verdeil).....	page37
Figure18 : Log hydrogéologique de la région d'étude (Djebel Amour) (M. STAMBOUL-1998).....	page43
Figure 19 : carte piézométrique des puits.....	page47
Figure 20 : carte d'inventaire des points(puits) d'eau de secteur étudié.....	Page48
Figure 21 : Diagramme de Piper des eaux étudiées.....	page61
Figure22 : Diagramme de Schoeller berkloff des eaux étudiées.....	page62

LISTE DES FIGURES

Figure 23 : le S. A. R. des eaux étudiées.....page65

LISTE DES TABLEAUX

Liste des tableaux :

Tableau n°01 : Caractéristiques du B.V d'Oued Deffa.....	page07
Tableau n°02 : Présentation de la station d'El Bayadh.....	page23
Tableau n°03 : Valeurs des précipitations annuelles à la station d'El Bayadh (mm)...	page24
Tableau n°04 : Valeurs mensuelles moyennes des précipitations (mm).....	page25
Tableau n°05 : Valeurs moyennes saisonnières des précipitations (mm).....	page26
Tableau n°06 : Valeurs de la température moyenne, maxima, et minima (°C).....	page28
Tableau n°07 : Evaporations moyennes saisonnières (mm).....	page29
Tableau n°08 : Durée de l'insolation à la station d'El Bayadh.....	page30
Tableau n°09 : Température et précipitation, moyenne mensuelles.....	page31
Tableau n°10 : Valeurs de l'indice d'aridité mensuelle de DE MARTONNE.....	page32
Tableau n°11 : Calcul de l'indice mensuel de MORAL.....	page34
Tableau n°12 : Valeurs des évapotranspirations mensuelles et annuelles	page36
Tableau n°13 : Eléments du bilan hydrologique.....	page38
Tableau n°14 : Limites et dimension des zones polluées et vulnérables à la pollution	page50
Tableau n°15 : les résultats en quantité en réaction.....	page54
Tableau N°16 : classification des eaux selon les ions majeurs (Stabler).....	page54
Tableau N°17: les analyses physico chimique des eaux étudiées.....	page55
Tableau N°18 : la relation entre la Conductivité et la minéralisation (J. Rodier, 1996)....	page56
Tableau N°19 : valeurs des minéralisations, conductivité et résidu sec Pour les différents points d'eau.....	page57
Tableau N°20 : classification des eaux à partir de la dureté.....	page57
Tableau N°21 : classe de turbidité usuelle.....	page58
Tableau N°22: Résultat du calcul de la balance ionique.....	page60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau N°23 : valeurs du SAR.....page63

Tableau N°24: Classifications des eaux destinées à l'irrigation.....page66

Tableau N°25 : Résultat d'analyse bactériologique.....page67

Annexe I

Tableau N°1 : Températures

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1980-1981	22	13,7	8,9	2,5	2,7	5,8	12,3	12,7	18,5	23,2	26,7	24,6
1981-1982	21,8	18	10,6	7,9	5,4	5,9	9,4	11,3	16,8	25,1	27,8	26,7
1982-1983	22,2	13,4	8,4	3	3,9	6,4	10,6	14,5	17,2	23,7	27,4	26,7
1983-1984	22,5	16,3	11,4	5,2	4	4,1	7,5	14,5	12,6	23,1	27,3	25,8
1984-1985	21,3	12,9	9,8	5,4	3,3	9,4	6,7	13,7	15,4	25	28,4	25,9
1985-1986	21,3	14,6	10,5	5,4	3,7	6,5	7,3	10,5	20,3	21,9	25,7	26,9
1986-1987	21,5	14,4	7,6	3,8	4,5	5,5	9,9	16,4	17,3	24,1	26	27,6
1987-1988	23,2	17,3	8,4	7,9	5,8	6,4	8,6	13,8	18,1	21,9	28,1	27,6
1988-1989	21,3	16	10,5	3,8	3,9	7,3	11,4	12,1	19,2	20,1	28,6	27,6
1989-1990	24,2	18,1	12,6	10,1	4	11,2	12,1	12,4	16,3	27,1	28,2	27,2
1990-1991	25,7	17,9	9,9	5,7	5,2	5,2	9,3	10,7	14	22,7	27,6	25,7
1991-1992	21,8	13,1	8,3	4,4	3,2	5,9	6,8	10,9	16,2	18,7	24,2	25,6
1992-1993	22,5	14,8	8,6	5,7	4,1	4,6	8,5	11,5	17,2	24,5	27,8	26,7
1993-1994	19,8	16,1	9,1	5,4	4,6	7,6	10,7	10,7	20,4	25,5	28,4	28,4
1994-1995	20,8	15	10,3	5,3	4,1	8,3	8,5	10,7	20	22,4	20,1	27,7
1995-1996	21,2	16,6	12	8,4	7,7	5,4	10,3	13,3	19	20,7	26,4	27
1996-1997	19,5	14,3	10,1	6,8	5,9	8,3	9,9	12,1	18,8	24,9	28,1	25,4
1997-1998	20,9	15,6	9,8	6,2	5,7	7,4	10,2	13,5	15,9	26,4	30,7	28,5
1998-1999	25,5	15,2	11,2	6	5,1	4,8	10,2	17,2	22,2	28,1	30	31,1
1999-2000	24,8	20,4	9	5,8	4,3	9,3	12,7	15,1	20,9	25,7	30,1	28,1
2000-2001	23,5	14,6	11,7	9	6,7	7,3	15,5	15,2	20,1	28,1	30,4	29,3
2001-2002	24,1	22,2	9,4	7,2	6,2	9,2	10,8	12,5	17,4	24,4	27,4	25,4
2002-2003	21,1	16,4	9,3	7	3,8	4,7	10,7	13,3	18,1	25,3	29,6	26,7
2003-2004	21,6	16,7	8,8	4,7	5,1	8,1	10,4	12,1	13,3	23,6	27,3	27,6
2004-2005	21,7	18,3	7,7	4,5	2,1	2,8	10,8	14,4	21,9	24,3	29,4	26,9
2005-2006	20,5	16,7	15	4,1	2,2	4,5	10,6	15,9	19,8	24,7	28,1	26,6
2006-2007	20,1	18,5	10,8	4,9	6,3	8,5	-	12,3	17,8	24,9	28,2	27,2
2007-2008	23	15,7	8,7	4,7	6,4	8,7	10	14,8	17,5	23	29	28,2
2008-2009	22,3	14	6,7	3,8	4	5,8	10,1	9,7	19	24,8	29,1	27,7
2009-2010	18,4	16,2	10,8	8,4	6,7	9	11,3	15,2	16	23	29	27,5
2010-2011	21,4	15,5	9,6	7,9	6,6	4,8	9	15,7	17,7	22,2	27,7	27,7
2011-2012	23,9	14,5	8,9	4,7	4	2	9,4	11,2	19,9	26,7	29,3	28,5

Tableau N°2 : Précipitations

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1980-1981	21,7	6,5	74,1	29,9	2,3	20,2	16	34,5	0	20	0	25,8
1981-1982	34,8	3	0,2	8,2	64,5	50,7	31	49,2	38,1	10,2	4,2	1,7
1982-1983	9	39,7	77,8	12,1	0	8,6	3,4	3,4	34,9	8,2	5,5	7,1
1983-1984	6,5	8,2	4,7	8,3	31,9	10	28,8	1,3	28,2	15	2,3	10,4
1984-1985	6,9	23,4	36,2	9	20,8	12,4	19,4	0,4	35,8	4,4	2	19
1985-1986	50,8	30,7	24,5	50,4	17,2	19,3	87,5	14,5	30,2	6,9	4,9	8
1986-1987	43,9	51,1	24,8	18,3	18,1	27,6	29,9	12,5	8,3	28,6	11,4	4,5
1987-1988	4	19,1	37,6	25	32,3	26,3	18,3	8,1	10,2	25,6	2,3	11,6
1988-1989	9	37,1	13,8	10,7	14	3,9	36,7	30,3	1,2	50,1	5,6	25,5
1989-1990	14,6	32,2	18,5	14,5	67,7	0,2	20	47,1	54,7	14,7	3,3	11,4
1990-1991	4,9	12,2	17,1	28,8	9,8	33,8	109,3	35,9	33,2	9,3	3,1	15
1991-1992	24	109,3	3,2	30,5	20,6	14,6	55,3	28,2	61,1	6,6	14,1	11,8
1992-1993	22,2	0,5	10,9	9,4	2,7	20,6	47,5	13,4	23,9	51,4	11,5	21,3
1993-1994	13,1	13,9	34,9	11	18,9	25,2	21,9	2,7	1,1	6,7	1,7	6,7
1994-1995	64,8	52,7	14,6	2,9	10,6	20,3	44,1	29,3	5,6	35,4	1,2	24,5
1995-1996	22,7	19,5	4,9	51,3	33,9	38,7	85,1	40,3	2,3	86,2	3,9	3
1996-1997	63,5	0,9	0	34,7	61,3	0,6	2,8	55,1	10,2	0	4,5	43,2
1997-1998	50	37,7	27,3	44,2	9,9	6,8	5,8	16,7	47,3	5,2	0,9	3,1
1998-1999	4,7	6,3	2,2	6,4	85,7	27,5	32	2,6	0	0,3	0,2	5,3
1999-2000	24,9	5,6	16,8	70,4	0	0	4,1	5,7	8,3	5,5	12,4	11
2000-2001	24,5	22,6	22,9	7,2	20,5	8,4	3,7	8,1	4,4	0,5	0,7	18,5
2001-2002	2,4	8,4	6,1	15	0	5,9	16,3	38,6	3,5	0	0,5	16,1
2002-2003	10,3	19,7	46,2	12,6	21	19,2	2,8	17	9,9	21,9	0,4	10,1
2003-2004	4	89,5	69,6	31,5	7,5	16,3	48,6	43,3	55,7	17,4	4,1	10,3
2004-2005	6,5	7,5	19,5	17,4	5,4	9,1	14,6	1,2	2,6	24,5	13,2	15,6
2005-2006	65,4	79,9	44,4	17,4	59,3	54,1	3,2	18,3	49,1	8,7	1,1	4
2006-2007	11,8	0,1	27,3	43,9	1,7	9,7	13,2	49,8	13,2	0	16,5	14,8
2007-2008	12,6	18,1	8,2	4,7	8,4	18,5	20,4	0,5	30,3	25,6	3,3	9,9
2008-2009	33,4	192,8	26,4	48,8	45,9	27,2	59	27,6	2,1	4,3	6,4	10,5
2009-2010	97,2	0	17,1	9,7	22,1	49,6	20,1	22,2	49,3	9,5	0,7	25
2010-2011	34,8	52,8	7,9	17,9	10	12,8	17,8	129,5	35,3	33,7	5,3	13,6
2011-2012	32,51	115,82	73,42	33,28	6,09	17,26	47,24	36,07	0,51	3,81	0,51	2,04

Tableau N03 : Points d'eau (les puits)

	X	Y	Z	Prof	N-S	cote piez
P1	353956	352301	1408	37	33	1375
P2	345847	344652	1335	18,2	9,8	1325,2
P3	348263	350151	1381	14	12,5	1368,5
P4	347657	349570	1398	25	24,7	1373,3
P5	348029	349193	1394	18,4	16,7	1377,3
P6	347142	347295	1378	19	18,4	1359,6
P7	345146	349200	1365	14,8	14,6	1350,4
P8	345672	345475	1356	31	26	1330
P9	345377	348957	1374	10,2	10	1364
P10	354324	345353	1464	25	11	1453
P11	343339	344088	1314	20	14,2	1299,8
P12	342773	344491	1306	20	9,6	1296,4
P13	342104	345405	1322	14	13,9	1308,1
P14	351497	340084	1513	12,6	12	1501
P15	347727	345280	1360	8,2	7,8	1352,2
P16	347511	345243	1366	13,5	8,3	1357,7
P17	347095	344426	1355	40	13,6	1341,4
P18	347020	344377	1358	44	35	1323
P19	346870	344584	1350	33	32,9	1317,1
P20	346772	344862	1354	23	20	1334
P21	346106	344792	1339	24	15	1324
P22	345836	344319	1333	24	15	1318
P23	345981	344273	1338	22	19	1319
P24	345988	344354	1335	20	19	1316
P25	346066	344332	1337	23	18	1319
P26	345800	344126	1350	16,4	12,4	1337,6
P27	346917	344191	1365	37	12	1353
P28	346695	344358	1372	50	49	1323
P29	346681	344126	1356	50	45	1311
P30	345651	344984	1346	25	20	1326
P31	343099	344055	1331	20	10,4	1320,6
P32	370364	370982	1248	8,4	5,6	1241,4
P33	370563	371146	1238	6,8	5,5	1232,5
P34	370530	371121	1240	6,3	4,3	1235,7
P35	370416	371094	1240	5,3	4,2	1235,8
P36	368071	366107	1292	16,85	4,9	1287,1
P37	367923	366897	1269	8,1	6,3	1262,7
P38	366346	368304	1274	9,2	8,2	1265,8
P39	363402	367933	1301	34	30,8	1270,2
P40	364212	366860	1279	9,2	8	1271
P41	364044	366282	1285	18,9	17,3	1267,7
P42	364123	365743	1290	2,6	1,6	1288,4

P43	364140	365735	1292	5,9	3,9	1288,1
P44	363932	366530	1281	12,1	11,6	1269,4
P45	364038	365746	1296	5,8	4,8	1291,2
P46	363514	366787	1289	15,2	12,3	1276,7
P47	363744	366521	1289	10,2	10	1279
P48	362740	364918	1309	8,5	5,3	1303,7
P49	363260	365877	1292	8,8	8	1284
P50	362141	372825	1264	14,15	9,9	1254,1
P51	362202	372623	1267	6,2	3,2	1263,8
P52	362169	372706	260	5,1	3,45	1256,55
P53	362384	371760	1297	5	3	1296
P54	366236	370245	1274	1,6	17,1	1256,9
P55	368561	371045	1254	9,3	7,2	1246,8
P56	368093	371830	1270	17,3	17,1	1252,9
P57	368651	371779	1258	14,2	13,6	1244,4
P58	369362	372290	1261	11,9	11,3	1249,7
P59	369680	368166	1245	3,6	2,4	1242,6
P60	369532	366377	1271	12,5	11,3	1259,7
P61	358349	360194	1348	20,4	20,2	1327,8
P62	357774	358730	1348	8,1	6,25	1341,75
P63	357804	358677	1351	4,9	3,6	1347,4
P64	353732	359022	1367	2,3	1	1366
P65	356134	356786	1419	30	18	1401
P66	361007	359759	1371	11,7	7,7	1363,3
P67	357820	362128	1372	39,1	38,3	1333,7
P68	348420	351455	1350	9	8,2	1341,8
P69	356539	350994	1492	5,8	3,9	1488,1
P70	352781	352603	1433	32,8	29,6	1403,4
P71	353413	350240	1404	29,6	28,7	1375,3
P72	350841	353699	1383	27	26,8	1356,2
P73	350841	353699	1450	9,4	7,7	1442,3
P74	353476	350566	1385	33	31	1354
P75	346718	343424	1357	14	12	1345
P76	347262	343998	1383	34,5	30,7	1352,3
P77	343556	346213	1345	8	2	1343
P78	343565	346014	1335	12	6	1329
P79	350225	350925	1391	6,5	6	1385
P80	350325	348197	1363	30	16	1347
P81	354802	345269	1482	15,9	9,7	1472
P82	350643	342860	1427	10,2	5,8	1421,2
P83	346194	347751	1390	18,9	16,8	1373,2
P84	346405	347251	1392	16,8	16,6	1375,4
P85	345653	345625	1358	33	32	1326
P86	345631	345424	1352	23	20,2	1331,8
P87	332484	330487	1390	47	30,8	1359,2

P88	331508	328556	1376	47	18,2	1357,8
P89	329058	324156	1358	7	2	1356
P90	329837	326941	1379	30	11,7	1367,3
P91	336323	333684	1381	40	38	1343
P92	343054	338617	1377	17	15	1362
P93	343083	340178	1352	17,6	10	1342
P94	343662	341807	1352	21	8	1344
P95	343382	341700	1340	8,1	3,2	1336,8
P96	343389	341981	1345	20	14	1331
P97	342978	341956	1326	40	20	1306
P98	343225	342235	1324	30	16,7	1307,3
P99	343309	342930	1326	20	19,5	1306,5
P100	343170	342588	1322	12,4	12	1310
P101	345998	345206	1345	12,4	10,5	1334,5
P102	344783	345309	1334	15	12,9	1321,1
P103	344864	343942	1335	27	25	1310
P104	345545	343176	1349	30	26	1323
P105	344553	342579	1358	49	1	1357
P106	343508	343247	1341	20	7	1334
P107	343667	343514	1337	33	25	1312
P108	343963	343851	1319	15	11	1308
P109	343617	344491	1328	30	26	1302
P110	344844	343822	1323	27	21	1302
P111	345192	342810	1350	28	23	1327
P112	344609	342898	1344	20	14	1330