Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université D'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed Faculté des Sciences de la Terre et de l'univers Département de Géologie

Faculté de science de la terre et de l'univers

Département: géologie

Mémoire De Fin D'études

Présenté pour l'obtention du grade de Master en Géologie

Option : Hydrogéologie

THEME

Contribution à l'étude hydrogéologique de complexe aquifère de la zone des Hassi Oran-Est

Présenté Par :

MIMOUNI Mimoune

Soutenu Publiquement le 03/07/2025

Devant le jury composé de :

Mr MANSOUR Hamidi	**Professeur**	**Président**
Mme ABLAOUI H	**M/A/A**	**Examinateur**
Mr FOUKRECHE M	**M/A/A**	**Encadreur**

Année universitaire 2024-2025

Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier Dieu de nous avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme notre formation de Master et de réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier Monsieur Foukrache Mohamed d'accepter nous soutenir et pour son aide et sa disponibilité infatigable.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr Mansour Hamidi et Mme Ablaoui Halima . pour avoir accepté de consacrer leur temps et leur expertise à évaluer ce travail. Leur engagement et leur participation ont été un honneur pour moi.

On tient aussi à remercier l'ensemble des enseignants du département des Sciences de la Terre, en particulier ceux de la filière hydrogéologie qui nous ont été d'une aide précieuse.

Dédicace

Je dédie ce travail à ma mère Fatiha, pour son aide insatiable et sa présence tout au long de ma formation. En dédicace spéciale à mon père Mohamed, qui eut participé de manière active à l'avancement de mes études. A ma sœur et mon petit frère Taha qui m'a toujours soutenue. A ma famille en général, mes amis en particulier, mes professeurs et camarades de classe et tous ceux qui directement ou indirectement m'ont encouragée durant les années d'étude. et à mes frères amougous Said Charef et les deux Yacine pour m'avoir motivée et inspirée dans mes études. A ma famille en général, mes amis en particulier, à mes camarades de classe et tous ceux qui m'ont encouragée durant les années d'étude. Kadiro, Rayan, Salime ,Bob et ToufiQ.

Résumé

La plaine des Hassi, située à l'est d'Oran, abrite des activités industrielles majeures. Son aquifère principal, constitué des formations gréseuses "Astien-Calabrien" (grès astiens et lumachelliques), présente des propriétés hydrodynamiques variables, avecdes transmissivités comprises entre 10-4et 10-2 m^2/s et des débits exploitables de 5 à 17 l/s. Cependant, les essais de pompage révèlent une surexploitation croissante, marquée par des cônes de rabattement de 500 à 800 m de rayon et une baisse des niveauxpiézométriques de 0,5 à 1,2 m/an, aggravée par les pressions industrielles et agricoles.

Sur le plan hydrochimique, les eaux souterraines montrent une minéralisation élevée, dominée par les chlorures et le sodium, influencée par la dissolution d'évaporites (gypse) et des formations géologiques locales. Les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Piper confirment cette dominance, tandis que les rapports ioniques (Mg^{2+}/Ca^{2+}, SO_4^{2-}/Cl^-) mettent en évidence des processus géochimiques complexes.

La salinisation progresse rapidement (+1,3 g/L en dix ans), avec des risques accrus de pollution liés aux activités minières et industrielles. Face à ces défis, l'étude souligne l'urgence d'une gestion durable : régulation des prélèvements, protection des zones de recharge, et surveillance renforcée. Les résultats fournissent une base scientifique pour des actions coordonnées, visant à préserver cette ressource vitale dans un contexte de stress anthropique et climatique croissant.

Mots-clés : Eaux souterraines, aquifère Astien-Calabrien, surexploitation, salinisation, hydrochimie (Schoeller-Berkaloff, Piper), gestion durable, Oran, lac Télamine.

summary

The Hassi Plain, located east of Oran, is home to major industrial activities Its main aquifer, consisting of the "Astian-Calabrian" sandstone formations (Astian and Lumachellic sandstones), exhibits variable hydrodynamic properties, with transmissivities ranging from 10-4 to 10-2 m²/s and exploitable flow rates of 5 to 17 l/s. However, pumping tests reveal increasing overexploitation, marked by drawdown cones with a radius of 500 to 800 m and a drop in piezometric levels of 0.5 to 1.2 m/year, exacerbated by industrial and agricultural pressures.

Hydrochemically, the groundwater exhibits high mineralization, dominated by chlorides and sodium, influenced by the dissolution of evaporites (gypsum) and local geological formations. Schoeller-Berkaloff and Piper diagrams confirm this dominance, while ionic ratios (Mg^{2+}/Ca^{2+}, SO_4^{2-}/Cl^-) highlight complex geochemical processes.

Salinization is progressing rapidly (+1.3 g/L in ten years), with increased pollution risks linked to mining and industrial activities. In the face of these challenges, the study highlights the urgent need for sustainable management: regulation of abstraction, protection of recharge areas, and enhanced monitoring. The results provide a scientific basis for coordinated actions aimed at preserving this vital resource in a context of increasing anthropogenic and climatic stress.

Keywords: Groundwater, Astian-Calabrian aquifer, overexploitation, salinization, hydrochemistry (Schoeller-Berkaloff, Piper), sustainable management, Oran, Lake Telamine.

ملخص

يقع سهل حاسي شرق وهران، وهو مركزٌ للأنشطة الصناعية الرئيسية. يتميز خزانه المائي الرئيسي، المكون من تكوينات الحجر الرملي "الأستي-الكالابرية" (الحجر الرملي الأستي واللوماشيلي)، بخصائص هيدروديناميكية متفاوتة، حيث تتراوح نفاذيته بين 10-4 و10-2 متر مربع/ثانية، ومعدلات تدفق قابلة للاستغلال تتراوح بين 5 و17 لترًا/ثانية. ومع ذلك، تكشف اختبارات الضخ عن تزايد الاستغلال المفرط، الذي يتميز بظهور مخاريط سحب يتراوح نصف قطرها بين 500 و800 متر، وانخفاض في مستويات الضغط البيزومتري يتراوح بين 0.5 و1.2 متر/سنة، وهو ما تفاقم بفعل الضغوط الصناعية والزراعية. من الناحية الهيدروكيميائية، تتميز المياه الجوفية بكثافة عالية من المعادن، تهيمن عليها الكلوريدات والصوديوم، متأثرةً بذوبان المتبخرات (الجبس) والتكوينات الجيولوجية المحلية. تؤكد مخططات شولر-بيركالوف وبايبر هذه الهيمنة، بينما تُبرز النسب الأيونية عمليات جيوكيميائية معقدة. تتزايد الملوحة بسرعة (+1.3 غ/لتر خلال عشر سنوات)، مع تزايد مخاطر التلوث المرتبطة بالأنشطة التعدينية والصناعية. في مواجهة هذه التحديات، تُسلّط الدراسة الضوء على الحاجة المُلِحّة للإدارة المستدامة: تنظيم السحب، وحماية مناطق التغذية، وتعزيز الرصد. تُوفر النتائج أساسًا علميًا لتنسيق الإجراءات الرامية إلى الحفاظ على هذا المورد الحيوي في ظل تزايد الضغوط البشرية والمناخية

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، طبقة المياه الجوفية الأستية-الكالابرية، الاستغلال المفرط، التملح، الكيمياء المائية (شولر-بيركالوف، بايبر)، الإدارة المستدامة، وهران، بحيرة تيلامين.

Table des matières

Remerciement…….

Dédicace ……

Résume……...

INTRODUCTION GÉNÉRALE 14

1.1Situation géographique 1

1.2.Aspects géomorphologique 2

1.2.1. Aspect topographique 2

1.2.2. Le réseau hydrographique 2

1.3.Cadre climatologique 3

1.3.1. Étude des précipitations 4

1.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles 6

1.3.2Étude des Températures 7

Cadre géologique général 9

1.4.2. Lithostratigraphie de la région étudiée 11

1.4.3. Contexte Tectonique et structural 17

CHAPITRE II : 20

HYDROGEOLOGIE 20

2.1. Identification des aquifères 21

2.1.1. L'aquifère du plio-quaternaire 21

2.3. Étude piézométrique (M.Boubkeri, 2013) 41

2.3.1.La piézométrie 41

2.3.2. Dynamique de la nappe superficielle de la zone des Hassi 44

3.4.Analyse des caractéristiques hydrodynamiques des forages 51

3.4.1.Forages à haute productivité (1er cas) 51

3.4.2. Forages à productivité moyenne (2ème cas) 52

2.4.3. Forages à faible productivité (3ème cas) 53

3.4.4. Analyse comparative (Productivité ; Transmissivité ; Comportement des courbes) 54

CHAPITRE IV : 57

Hydrochimie 57

4.1Caractères organoleptiques 60

4.1.1. La couleur 60

4.1.2.La turbidité 60
4.2Étude des paramètres physiques 61
4.2.1. Le pH 61
4.2.2La température 61
4.3Étude des paramètres chimiques 61
4.3.1. La balance ionique 61
4.3.2. La minéralisation 63
4.3.3. Les cations 64
4.3.4.Les anions 65
4.3.5. Dureté et alcalinité des eaux 66
4.3.6. Faciès hydrochimiques 67
4.3.7.Interprétation par diagramme Schoeller-Berkaloff 68
4.3.8. Interprétation par diagramme de Piper 69
4.3.9. Étude des rapports caractéristiques 70
4.4.Impacts de l'exploitation de gypse sur les ressources en eau 71
4.4.1Exemple de cas de pollution du Lac Télamine, une décharge 71
4.4.2.Impacts de la décharge sur l'environnement 75
CONCLUSION GENERALE 79
Conclusion Générale 80
references bibliographiques 84

Liste des figures

- **Figure n° 01 : Localisation géographique du Plateau des Hassi (Google Earth, Oct. 2020)**
- **Figure. n°02 : Réseau hydrographique de la région de Gdyel. (Modifier)(M. Hadjaj, 2018).**
- **Figure n° 03 : Carte pluviométrique (1913-1963) (Chaumont M. et Paquin C., 1971)**
- **Figure n°04: Courbe pluviothermique de la station d'Es-Sénia.**
- **Figure n°05: Températures moyennes mensuelles à la station Es-Sénia et Arzew (1990-2008).**
- **Figure n°06 : Log Géologique Synthétique de la région d'Oran (in Hassani M.I., 1987)**
- **Figure n°07: Coupe géologique illustrait les formations post-nappes et ante-nappes autour de Djebel Khar (B. Fenet, 1975)**
- **Figure n°08: Log géologique du forage de l'ex-Oravio (X :212.100, Y :273.225)**
- **Figure n°09 : Coupe géologique des falaises d'Oran (G. Thomas, 1985)**
- **Figure. n°10 : Carte géologique de la région d'Arzew (d'après B. Frenet, 1954)**
- **Figure n°11 : Schéma structural de l'Oranie (B.Fenet, 1975)**
- **Figure n°12: Ecorché géologique de la région de Gdyel (Y. Gourinard, 1957)**
- **Figure. n°13 : Coupes montrant les relations entre les niveaux aquifères. Echelle : 1/50000 (in M. Foukrache., 2001) »**
- **Figure. n°14 : Aquifère bicouche : Eboulis et grés d'après Foukrache M. 1996 (modifié).**
- **Figure. n°15: Aquifère bicouche : Alluvions-calcaire gréseux d'après Foukrache.M 1996 (modifié)**
- **Figure. n°16 : Log hydrogéologique de la région d'Oran (in Hassani, 1987).**
- **Figure. n° 17:Log géologique de Sondage de Gdyel**
- **Figure n°18 : log géologique de Sondage de Sidi Benyebka**
- **Figure n°19 :Log géologique de Sondage de Hassian-Ettoual**
- **Figure n°20 :Log géologique de Sondage de Hassi Mefssoukh**
- **Figure n°21 :Log géologique de sondage de hassi ben Okeba**
- **Figure n°22 : Morphologie de la nappe des piémonts des monts d'Arzew (Foukrache, 2001)**
- **Figure n°23 : Courbe interprétative de la décent (forage de Gdyel)**
- **Figure n°24 :Courbe interprétative de la décente forage de S.Benyebka1**

- **Figure n°25 :Droite d'ajustement de la descente-Puits P6**
- **Figure n°26 :Droite d'ajustement de la descente-Puits P6**
- **Figure n°27 :Droite d'ajustement de la descente-Puits P4**
- **Figure n°28 :Courbe théorique de rabattement - Forage Hassi Ben Okba (Février 1967)**
- **Figure n°29 :Courbe de sondage électrique SEV1 - Résistivité apparente en fonction de la distance AB/2(ANRH)**
- **Figure n°30 :Graphique : Courbe de sondage électrique SEV2- Résistivité apparente (ρ) en fonction de la demi-distance d'électrode AB/2 (ANRH)**
- **Figure n°31 :Courbe de sondage électrique(SEV5) - Résistivité apparente en fonction de la demi-distance AB/2 (ANRH)**
- **Figure n°32: Carte de situation des points de prélèvement (campagne du 24/25fevrier 2012) (In M. Boubkeri, 2013).**
- **Figure n° 33 : Carte d'isovaleurs de minéralisation (mg/l) des eaux du secteur d'étude**
- **Figure n° 34 : Carte d'isoteneurs en calcium (Ca++) (mg/l).**
- **Figure n° 35: Carte d'isoteneurs en sodium (Na+) (mg/l).**
- **Figure n° 36 : Carte d'isoteneurs en chlorures (Cl-) (mg/l)**
- **Figure n° 37: Carte d'isoteneurs en sulfates (SO4 --) (mg/l).**
- **Figure n° 38 : Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.**
- **Figure n°39 : Classification des eaux d'après le diagramme de Piper.**
- **Figure n°40: Remontée des eaux d'une nappe phréatique d'eau saumâtre.**

Liste des tableaux

- Tableau n° 01 : Coordonnés des les stations climatologiques d'Es-Sénia et Arzew (1990-2008).
- Tableau n° 02 : Indice d'aridité (De Martonne) et classification climatique des stations d'EsSénia et d'Arzew (1990-2008).
- Tableau n°03 : précipitation moyennes mensuelles des deux stations (1990-2008).
- Tableau n° 04 : Températures moyennes mensuelles de deux stations (1990-2008).
- Tableau n° 05 : Les donnes piézométriques des points d'eau (Boukheri M.,2013).
- Tableau n° 06 : stratigraphie de sondage de Gdyel.
- Tableau n° 07 : stratigraphie de sondage de Benyebka.
- Tableau n° 08 : stratigraphie de sondage de Hassian-Ettoual.
- Tableau n° 09 : stratigraphie de sondage de Hassi Mefssoukh.
- Tableau n° 10 : stratigraphie de sondage de Hassi Ben Okeba.
- Tableau n° 11 : Les donnes piézométriques des points d'eau (Boukheri M.,2013).
- Tableau n° 12 : Paramètres hydrogéologiques et leur interprétation(forage de Gdyel).
- Tableau n°13: Paramètres hydrogéologiques et leur interprétation Sidi Benyebka1.
- Tableau n°14 :Paramètre de l'essai de puits (Hassi-Mefsoukh2).
- Tableau n°15: Paramètres hydrogéologiques de Hassi-Mefsoukh.
- Tableau n° 16 : paramètre d'interprétation hydrodynamique
- Tableau n° 17 : Débits caractéristiques selon le type de formation géologique
- Tableau n° 18 :Paramètres hydrodynamiques et leur incertitude associée de Hassi Ben Okba
- Tableau n° 19 : Transmissivité typique selon le type de formation géologique
- Tableau n° 20 : Paramètres hydrodynamiques et leur incertitude associée de Hassi Ben Okba
- Tableau n° 21 : Résistivités électriques en fonction de la profondeur et lithologie associée

- Tableau n°22 : Corrélation entre résistivité, profondeur et lithologie
- Tableau n°23: Présentation des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux.
- Tableau n°26 : Valeurs de l'erreur sur chaque analyse.
- Tableau n° 27 : Valeurs de l'erreur sur chaque analyse.
- Tableau n° 28 : Les classes des eaux selon la dureté.
- Tableau n° 29 : Valeurs de TH et du TAC calculés
- Tableau n° 30 : Résultats des analyses chimiques des quantités en réaction r (en méq/l).
- Tableau n° 31 : Faciès caractéristiques des échantillons prélevé
- Tableau n°32 Calcul des rapports caractéristiques.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans un monde confronté à des défis croissants liés à la disponibilité et à la qualité des ressources en eau, les eaux souterraines occupent une place de plus en plus centrale, en particulier dans les régions semi-arides comme l'ouest algérien. Ces eaux, souvent stockées dans des aquifères superficiels ou profonds, constituent une ressource précieuse pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation agricole et certaines activités industrielles. Leur gestion rationnelle s'avère d'autant plus cruciale que les effets du changement climatique, la croissance démographique et l'intensification des usages exercent une pression considérable sur leur renouvellement et leur qualité.

La wilaya d'Oran, située dans une zone à climat semi-aride, connaît depuis plusieurs décennies une croissance urbaine et industrielle soutenue. Cette dynamique s'accompagne d'une demande en eau toujours plus importante, souvent satisfaite par le recours aux ressources souterraines. La zone des Hassi, au sud-est de la ville d'Oran, illustre parfaitement cette problématique. Cette région repose en grande partie sur une nappe superficielle, facilement exploitable mais également très vulnérable, tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

la nappe phréatique superficielle (alluvions et dépôts Plio-Quaternaires) présente une connexion limitée mais significative avec le complexe aquifère jurassique sous-jacent. Cette relation s'établit principalement à travers les zones de fractures et les discontinuités des couches imperméables séparatrices. Lorsque les formations argileuses sont absentes ou réduites, des échanges verticaux peuvent se produire, notamment sous l'effet des pompages intensifs qui modifient les gradients hydrauliques.

Cependant, le jurassique profond (calcaires du Lias) conserve généralement une dynamique indépendante avec des temps de renouvellement très longs.

Les nappes superficielles, bien que plus accessibles que les nappes profondes, sont fortement dépendantes des conditions climatiques et du mode d'occupation du sol. Elles peuvent rapidement subir des déséquilibres en cas de surexploitation ou de faible recharge naturelle. Par ailleurs, la proximité avec les zones agricoles, urbaines ou industrielles accroît les risques de contamination. C'est dans ce contexte que se pose la nécessité d'une meilleure connaissance des conditions hydrodynamiques de ces nappes.

L'étude des conditions hydrodynamiques d'une nappe phréatique vise à comprendre la manière dont l'eau circule dans le sous-sol. Elle s'appuie sur plusieurs paramètres clés, notamment le niveau piézométrique, la direction d'écoulement, la perméabilité des formations géologiques, la transmissivité de l'aquifère ainsi que les modalités de recharge (pluviale, latérale, anthropique). Une telle analyse permet non seulement de caractériser le fonctionnement de la nappe, mais aussi de détecter d'éventuelles zones de surexploitation, de stagnation ou de pollution.

L'objectif de ce mémoire est d'analyser en détail les conditions hydrodynamiques de la nappe superficielle de la zone des Hassi (Oran), en s'appuyant sur des données de terrain, des cartes géologiques, des mesures piézométriques et des outils de traitement et de représentation géospatiale. Il s'agira notamment de :

- dresser une cartographie piézométrique actualisée de la nappe,

- identifier les principales directions d'écoulement,

- évaluer la variabilité spatiale et temporelle des niveaux d'eau,

- et proposer des recommandations en matière de gestion durable de la ressource.

Ce travail est structuré en plusieurs parties.

La première est consacrée à la présentation du cadre général de l'étude, incluant la situation géographique, le contexte géologique, hydrologique et climatique.

La deuxième partie expose les résultats de l'analyse hydrodynamique et les interprétations qui en découlent.

La troisième partie traitait l'hydrochimieque et impact d'exploitation sur la qualité et la quantité d'eau.

Enfin, une conclusion générale résume les principales observations et propose des perspectives pour la gestion future de la nappe.

CHAPITRE I : Cadre Physique de la région des Hassi

1.1Situation géographique

La plaine des Hassi située à 15 km à l'Est d'Oran, occupe la partie occidentale du plateau des Hassi. Elle s'inscrit dans la région des piémonts d'Arzew, qui est constituée par la dépression des Hassi et le lac Telamine, et couvre une superficie de 400 km2 . Cette plaine est orientée WSW – ENE ; elle longe la route nationale (RN) 11 Oran - Arzew, et elle est bordée :

- Au Nord, par les Monts de Gdyel et d'Arzew ;

- A l'Ouest, les bordures du plateau sont imprécises, traduisant une certaine continuité avec le plateau d'Oran-Bir-El Djir.

-Au Sud, par Boufatis (le vallonnement du Mangin St-Louis) -A l'Est, par Bethioua (figure 01).

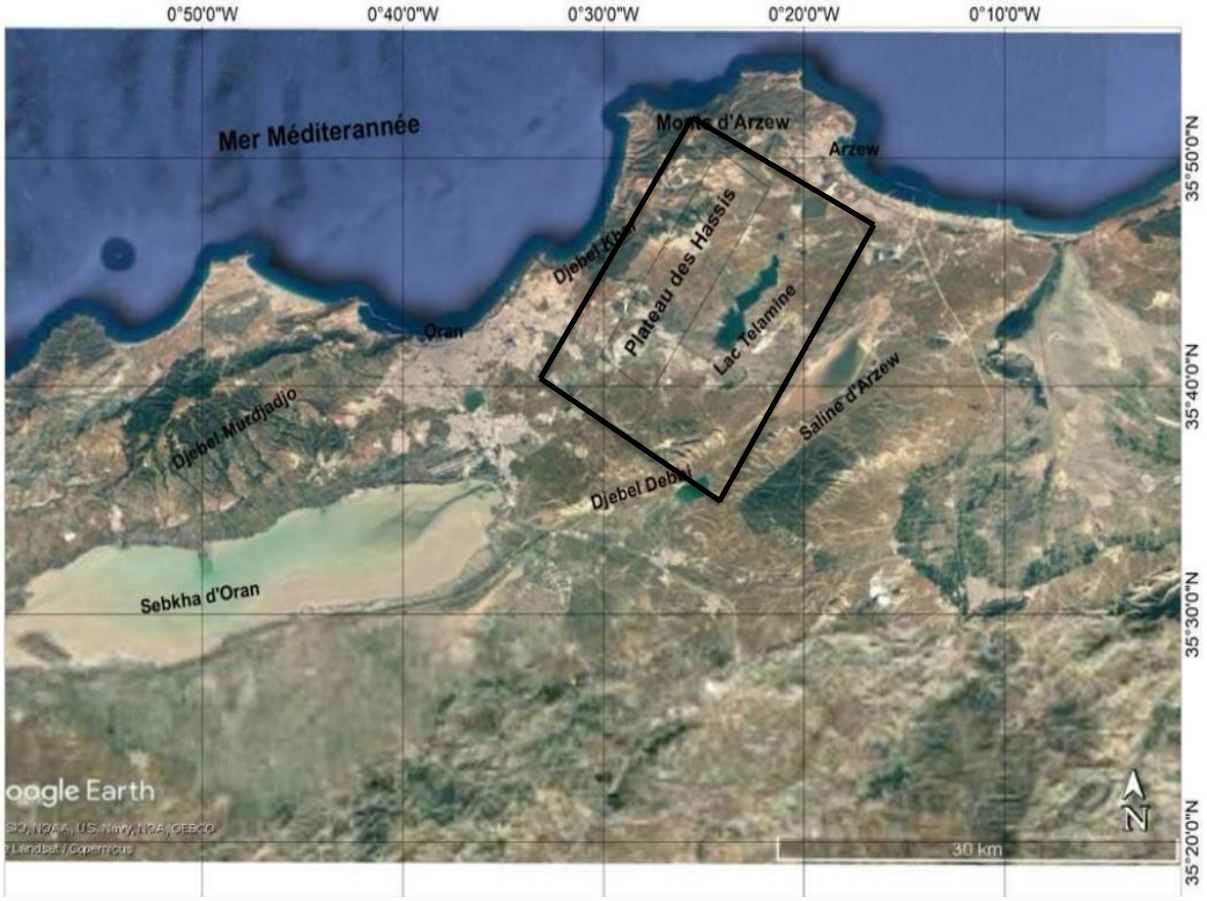


Figure n° 01 : Localisation géographique du Plateau des Hassi (Google Earth, Oct. 2020)

1.2.Aspects géomorphologique

1.2.1. Aspect topographique

La plaine des Hassi fait partie d'une série de cuvettes topographiques bien marquées dans le paysage du plateau des Hassi. Les reliefs qui dominent la plaine des Hassis sont :

- Au Nord-ouest, les collines de la forêt de Hassi Ben Okba qui se prolongent vers le piémont méridionale du Djebel Khar dont le point culminant atteint 611m ;

-A l'Est, la colline de Kouduat Er Reha, son altitude maximale est inférieure à 150 mètres, elle s'étend du NW vers le SE entre Hassi Ben Okba et Hassian Ettoual, et sépare la plaine des Hassis du lac Télamine.

-A l'Ouest et au Sud, une série de petites collines aux altitudes ne dépassant pas 325 mètres (colline de Hassi Bounif et colline entre El Braya et HassianEttoual).

1.2.2. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de la zone des Hassis est restreint. Les reliefs de la partie Nord/Nord-Ouest de la plaine ont permis le développement d'un chevelu hydrographique très réduit, moins dense et organisé d'une façon faible : trois ou quatre chaâbets importantes (Chaabet El Houari, Chaabet El Ma, etc.) descendent des reliefs de la forêt de Hassi Ben Okba vers la plaine. Le ruissellement est en général diffus et superficiel, à la faveur d'un fort amortissement de pente. L'écoulement est intermittent, sporadique, animé par des crues brutales, lors de la saison pluvieuse. (In Boubkeri M., 2013).

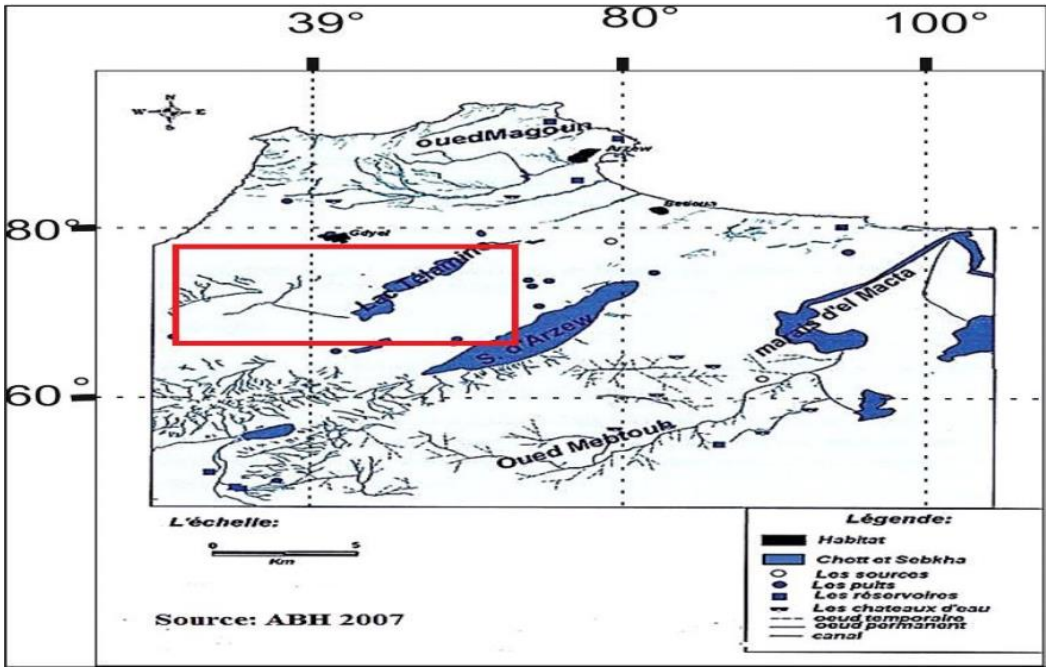


Figure. n°02 : Réseau hydrographique de la région de Gdyel. Modifié(M. Hadjaj, 2018).

1.3.Cadre climatologique

Les conditions climatiques d'une région jouent un rôle déterminant dons les comportements hydrogéologique des cours d'eaux et la distribution des apports par les précipitations en écoulements superficiel et souterrain. La climatologie a été étudiée pour illustrer et définir le type et l'influence de quelques paramètres climatiques, à savoir la pluviométrie et la température. Les principales caractéristiques climatiques de la zone d'étude se sont basées sur les données relatives à la période (1990 à 2008), au niveau des deux stations prise en considération : Es-Sénia et Arzew.

Tableau n° 01 : Coordonnés des stations climatologiques d'Es-Sénia et Arzew (1990-2008)

Station	Altitude	Longitude	Latitude
Arzew	**03m**	**00°16'W**	**35°49'N**
Es-Sénia	**87m**	**0°36'**	**35°38'N**

De nombreux auteurs se sont préoccupés de synthétiser les données climatiques en recherchant une classification des types de climats qui puissent rendre compte au mieux des éléments du bilan hydrologique. Les nombreuses classifications proposées se basent le plus souvent sur le calcul d'un indice climatique tenant compte de la pluviométrie et de la température. Plusieurs formules empiriques permettent d'obtenir les indices climatiques, parmi elles :

• l'indice pluviométrique ,

• l'indice d'aridité de De Martonne,

• l'indice de continentalité de Kerner "K".

Nous appliquerons dans la présente étude celle proposée par De Martonne. L'indice d'aridité de De Martonne tient compte de la température moyenne annuelle (T en °C) et de la pluviométrie annuelle (P en mm). Il est donné par la relation suivante :

$I = P/T+10$

Avec : P = précipitation annuelle moyenne (mm).

T = température annuelle moyenne.

Pour estimer l'indice d'aridité des deux stations (EsSénia et Arzew), nous pouvons utiliser la méthode de De Martonne, qui est couramment employée pour évaluer le degré d'aridité d'un climat.

La formule est la suivante :

Indice d'aridité (De Martonne) $= \frac{P}{T+10}$

Classification de De Martonne :

- Indice > 20 : Climat humide
- 10 ≤ Indice ≤ 20 : Climat semi-aride
- 5 ≤ Indice < 10 : Climat aride
- Indice < 5 : Climat très aride (désertique)

D'après application de la formule de indice de l'aridité on a estimé le type de climat (tableau n° 02) :

Tableau n° 02 : Indice d'aridité (De Martonne) et classification climatique des stations d'EsSénia et d'Arzew (1990-2008).

Station	Précipitations annuelles (mm)	Température moyenne annuelle (°C)	Indice d'aridité (De Martonne)	Type de climat
Es-Sénia	387,34	18,28	13,7	Semi-aride
Arzew	240,66	18,73	8,4	Aride

1.3.1. Étude des précipitations

Les précipitations représentent l'élément le plus important du climat tant pour les êtres vivants que pour les milieux. Le régime en Algérie a été étudié par de nombreux auteurs : P. Seltezer (1913-1938). La carte pluviométrique établi par Chaumont et Paquin (Figure n°03) indique que le secteur est moyennement, arrosé avec des précipitations moyennes annuelles comprises majoritairement entre 300 et 500m La carte montre aussi que la hauteur pluviométrique est contrôlée par l'altitude et l'éloignement à la mer : Boufatis : 358 mm, Es-Sénia : 398 mm, Gdyel : 516 mm.

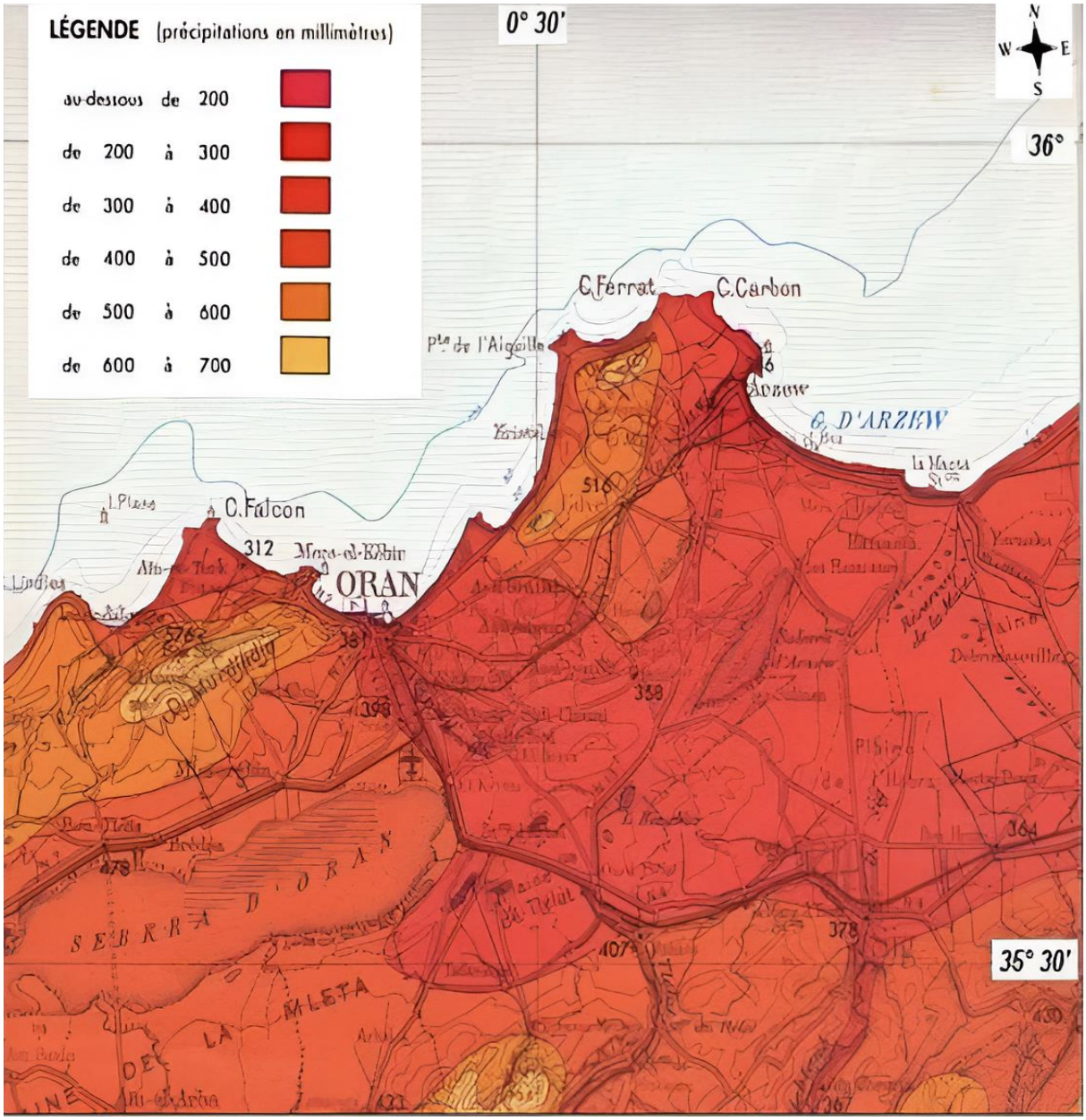


Figure n° 03 : Carte pluviométrique (1913-1963) (Chaumont M. et Paquin C., 1971)

1.3.1.1. PRÉCIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES

Les données des précipitations moyennes mensuelles pour les deux stations Es-Sénia et Arzew sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 6 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la station d'Es-Sénia.

Mois	T Moy. Mensuelles (en ° C)	P moy. Mensuelles (en mm)
Jan.	**12.93**	**38**
Fév.	**13.54**	**45**
Mars.	**15.02**	**30**
Avril.	**16.65**	**25**
Mai.	**19.49**	**16**
Juin.	**22.57**	**2.5**
Juil.	**25.28**	**0.5**
Aout.	**26.31**	**2.9**
Sept.	**24.26**	**18**
Oct.	**20.74**	**33**
Nov.	**16.62**	**62**
Dec.	**14.24**	**50**

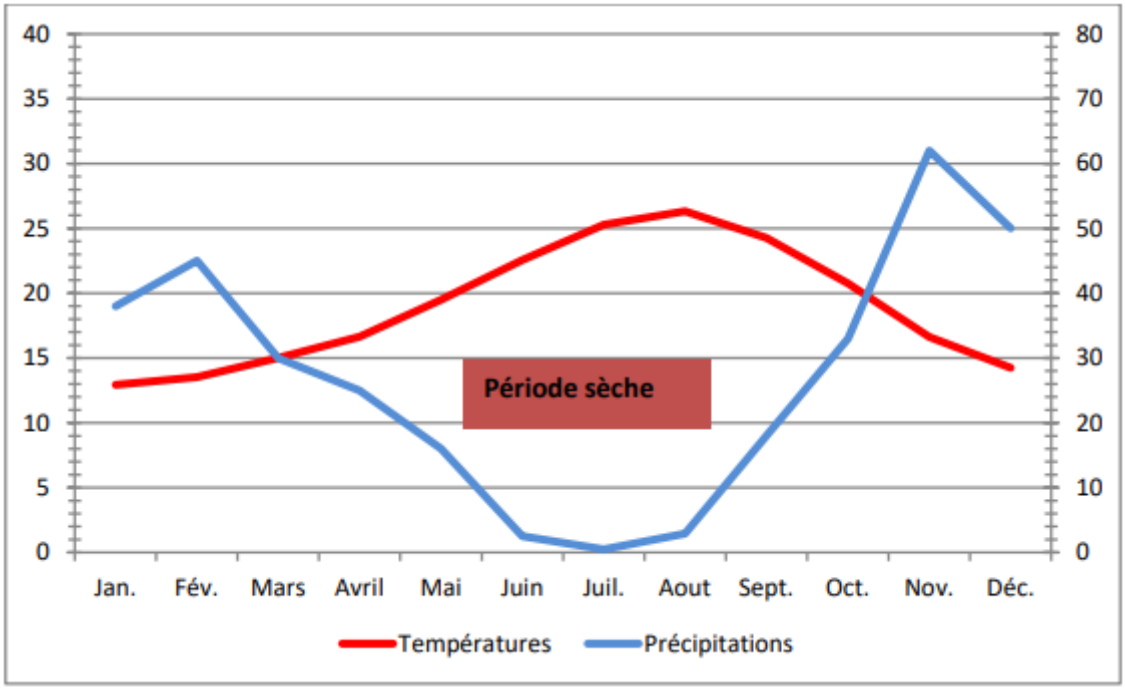


Figure 4 : Courbe pluviothermique de la station d'Es-Sénia.

Notre courbe reflète une période sèche s'étendant sur une période de sept mois qui commence en Avril et prend fin en Octobre.

1.3.2Étude des Températures

La température est le paramètre climatique qui influe directement sur l'évaporation, la pression, le vent et l'humidité.

1.3.2.1. Températures moyennes mensuelles

Une collecte des données thermiques mensuelles a été effectuée auprès de l'office national de la météorologique d'Oran (O.N.M) portant sur la période 1990-2008. Les données des températures moyennes mensuelles, sont représentées au tableau ci-dessous :

Tableau n° 04 : Températures moyennes mensuelles de deux stations (1990-2008).

Station	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
EsSénia	10,87	12,10	14,42	16,08	19,19	23,00	26,00	26,55	23,60	20,11	15,17	12,30	18,28
Arzew	12,78	12,40	14,83	16,62	19,45	22,43	24,73	26,09	24,00	20,74	16,64	14,05	18,73

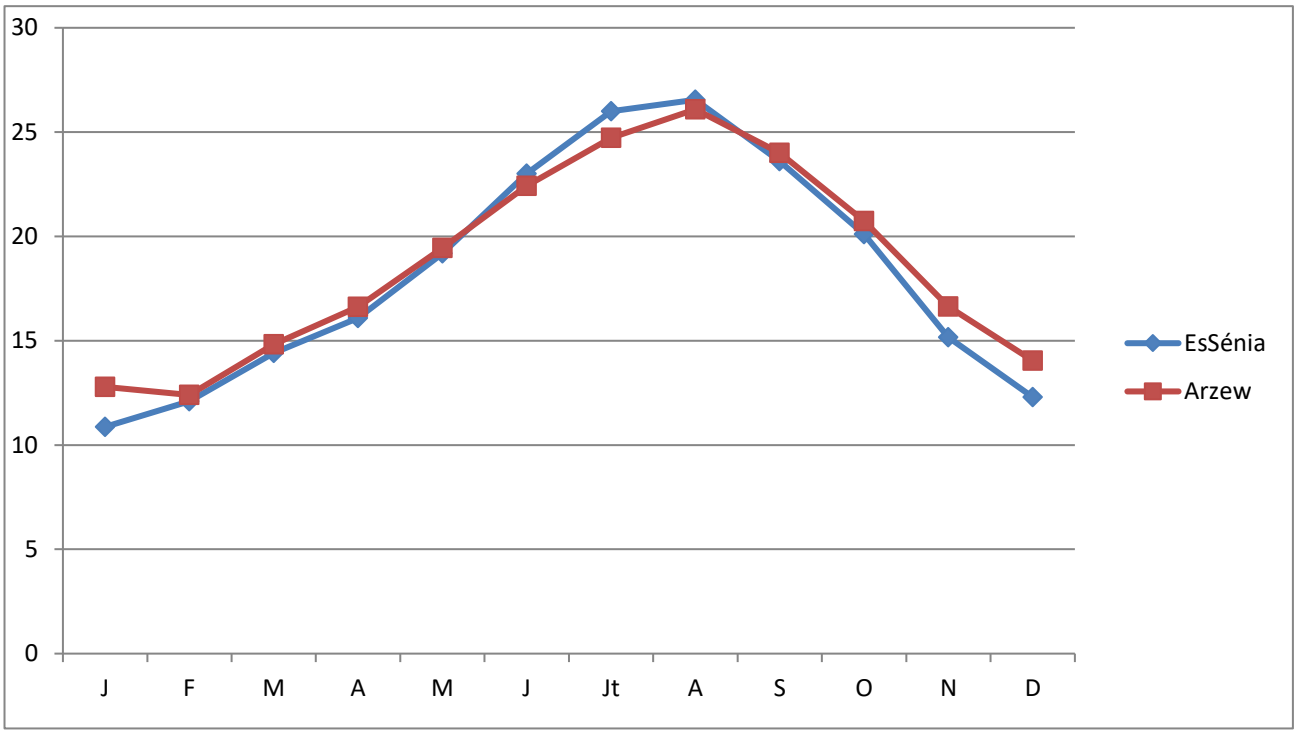


Figure n°05: Températures moyennes mensuelles à la station Es-Sénia et Arzew (1990-2008).

D'après le graphe (figure. n°05), on remarque qu'à la station Es-Sénia le mois janvier est le plus froid avec une température moyenne égale à 10,87°C, tandis que le mois d'août est le plus chaud avec une température moyenne de 26,55°C. A la station d'Arzew le mois le plus froid est février avec une température de 10,40°C, et le mois le plus chaud et celui d'Aout avec une température de 26,09°C. La température moyenne annuelle est égale 18,28°C à la station d'Es-Sénia et 18,73°C à la station d'Arzew, ces températures sont relativement faibles.

CADRE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

La région d'étude fait partie du grand ensemble des massifs littoraux oranais. Elle est située dans la zone externe du domaine tellien de la chaine alpine. Ce domaine s'allonge sur environ 100 Km entre le massif de Madagh à l'Ouest, et les Monts d'Arzew à l'Est. Il s'étend sur une largeur moyenne d'environ 20 Km. Il comprend un groupe de horsts (Djebel Murdjadjo, Djebel Khar, les monts d'Arzew) constitués essentiellement de terrains d'âge Secondaire. Ils sont bordés au sud par des zones déprimées (plateaux d'Oran, de Bir El Djir, des Hassis…), comblées d'une importante sédimentation post-nappe, constituée de terrains d'âge Néogène et Quaternaire.

Les bordures de la plaine des Hassis sont composées de grès lumachelliques formés par une alternance de grés d'origine marin et de grès d'origine dunaire . Ces grès sont fréquemment recouverts par un simple encroûtement calcaire et de formation limono-sableuses qui prennent une grande extension vers l'Est du lac Télamine.

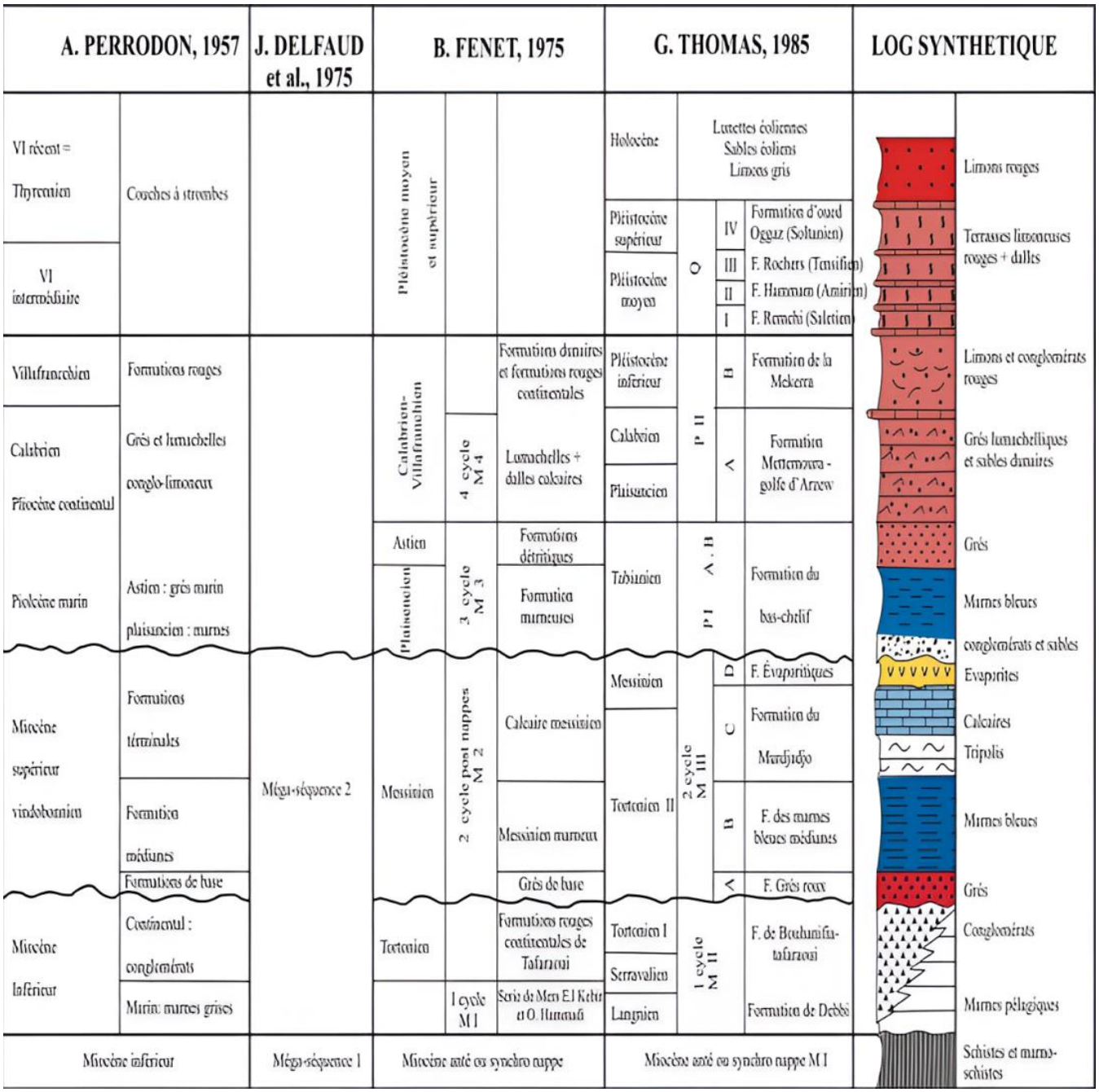


Figure n°06 : Log Géologique Synthétique de la région d'Oran (in Hassani M.I., 1987)

De nombreux travaux effectués en ce domaine, en particulier par F. Doumergue (1912), Tinthoin (1948), A. Perrodon (1957), A. Gourinard (1958), B. Fenet (1975), G. Thomas (1985), ont permis de distinguer deux grands ensembles structuraux, dont le premier est anté à synchro-nappe et le second est post-nappe. (Figure. n°06)

a. Le Substratum anté à synchro nappe

Dans les massifs littoraux d'Oran, les formations du substratum forment l'autochtone relatif (B. Fenet, 1975) ou autochtone anté-nappe (G. Thomas, 1985). Ce substratum affleure, représenté par des massifs schisteux, autochtones, d'âge permo-triasique, Jurassique et Crétacé, fortement affectés par l'orogenèse alpine.

b. Le remplissage (couverture) poste nappe

Tandis que les unités telliennes achèvent de se mettre en place dans le bassin synchro-nappes sud tellien dans lequel la sédimentation marine se poursuit encore un certain temps, plus au Nord s'amorce un nouveau cycle sédimentaire. Il s'installe pendant que naissent et se développent des mouvements épirogéniques qui découpent les régions littorales en zones ascendantes ou subsidences (Y. Gourinard, 1957).

Ces phénomènes épirogéniques se poursuivent pendant toute la fin du Néogène puis le Quaternaire et c'est sur une morphologie réglée presque exclusivement par les mouvements ascendants et descendants que vont succéder quatre cycles marins d'importance inégale, entrecoupés de périodes d'érosion. Ce sont :

-Le premier cycle Miocène post-nappes (M1) : Il début par des formations continentales non datées qui se déposent immédiatement après la mise en place des nappes sur les massifs littoraux (B. Fenet, 1975). Les dépôts continentaux sont constitués d'alternance de conglomérats et de marnes parfois gypseuses, bien développés sur les côtes. L'âge de ces formations est compris entre la transgression Messinienne (P. Guardia et J. Magné, 1971) et la mise en place des nappes, il s'agit pour l'essentiel du Tortonien.

-Le deuxième cycle Miocène post-nappes : Il débute généralement dans le bassin du Chélif par une importante série détritique gréso-sableuse. Constitué par des formations médianes formées de marnes bleues et des formations terminales constituées par une série des tripolis et la série des gypses.

Le troisième cycle post-nappes –Pliocène : Dans le bassin du Bas Chélif, le Pliocène est représenté par la succession classique des marnes jaunes "plaisanciennes" et des grés marins "astiens" puis continentaux.

-Le Quartenaire cycle post nappes (Calabrien) : Ce cycle est d'abord lumachellique ou conglomératique et passe progressivement à des grès dunaires. Il représente le dernier épisode marin de quelque importance sur le littoral Oranais.

1.4.2. LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

A partir de la carte géologique (Figure. n°06) on distingue que la région d'étude est caractérisée par un plateau incliné NW-SE d'où émergent deux massifs constitués de terrains d'âge Secondaire.

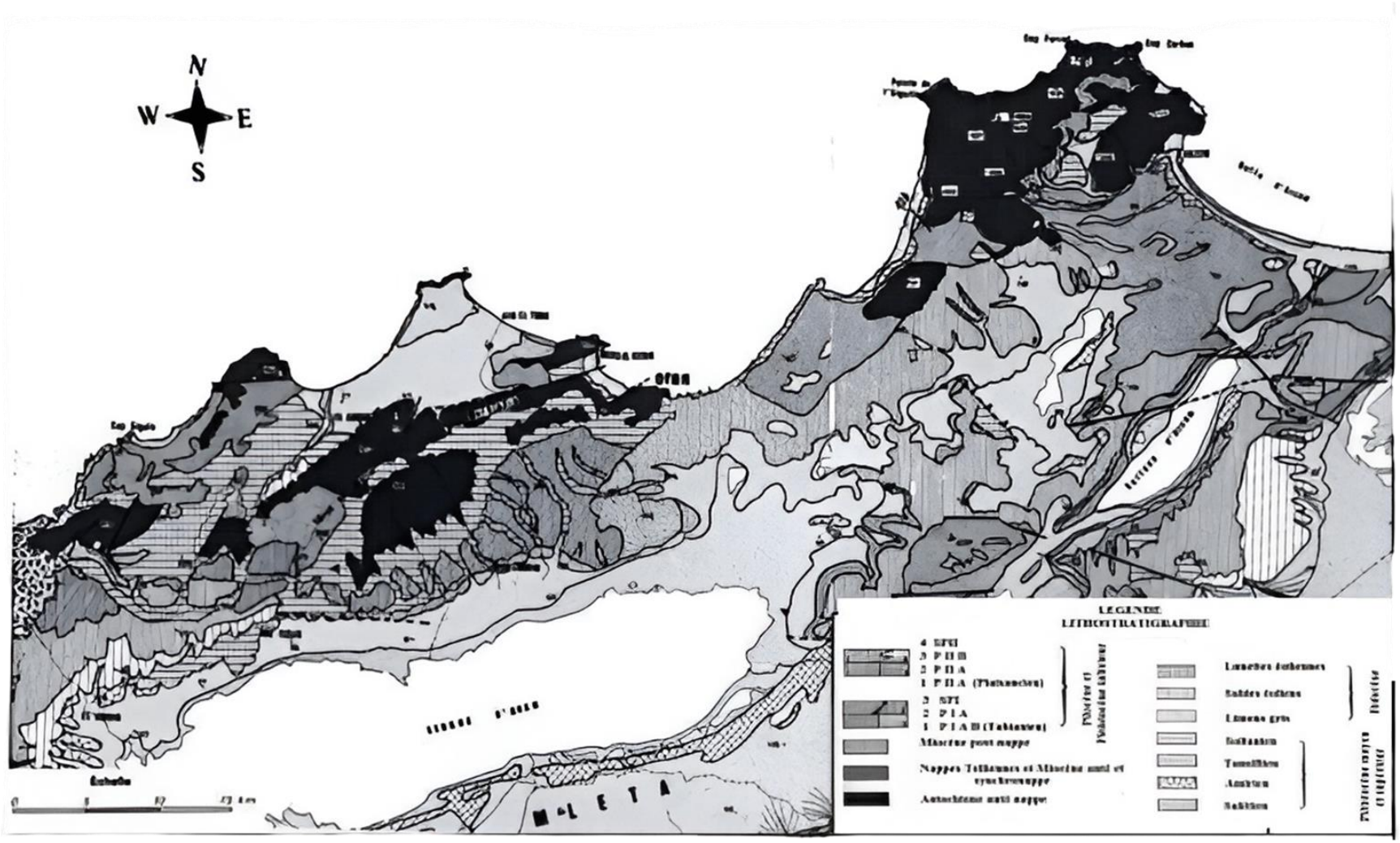


Figure n°06 : Carte Géologique Synthétique de la région d'Oran (in Hassani M.I., 1987

1.4.2.1. Les formations anté-nappes

a. Permo-Trias

Il est formé de schistes violacés à bancs de quartzites et de poudingues à débris de quartz. Ils n'affleurent qu'en montagne des lions.

b. Jurassique

Il est représenté par des calcaires dolomitiques du Lias qui constituent des affleurements au Nord-Ouest de Gdyel et par des schistes et grès ardoises, bruns rouges en surface, qui apparaissent en lambeaux sur le flanc sud du Djebel Khar, recouvrant les schistes et les poudingues permo-triasiques (B. Fenet, 1975).

c. Le Crétacé

Il est représenté par des schistes plus ou moins calcaires au Nord-Ouest du Djebel Khar (Montagne des lions).

1.4.2.2. Les formations post-nappes

a .Le Miocène

Sur le flanc sud du Djebel Khar, le premier terme du Miocène supérieur transgressif, est constitué par des marnes bleues à verdâtres à grès micacées formant une dépression couverte de cultures au pied du Djebel Khar(Fig.07).. Elles affleurent aussi au Sud-ouest de la ferme du "domaine des lions". Les marnes bleues sont surmontées par des grès qui affleurent aux falaises du Djebel Khar surmontées de marnes tendres, blanchâtres intercalés avec des bancs de tripolis et avec des niveaux micacés (à quelques passées gréseuses). Ces dernières formations affleurent aux ravins et fond des chaabets des collines de Hassi Ben Okba : Chaabet El Houari, Chaabet El Ma.

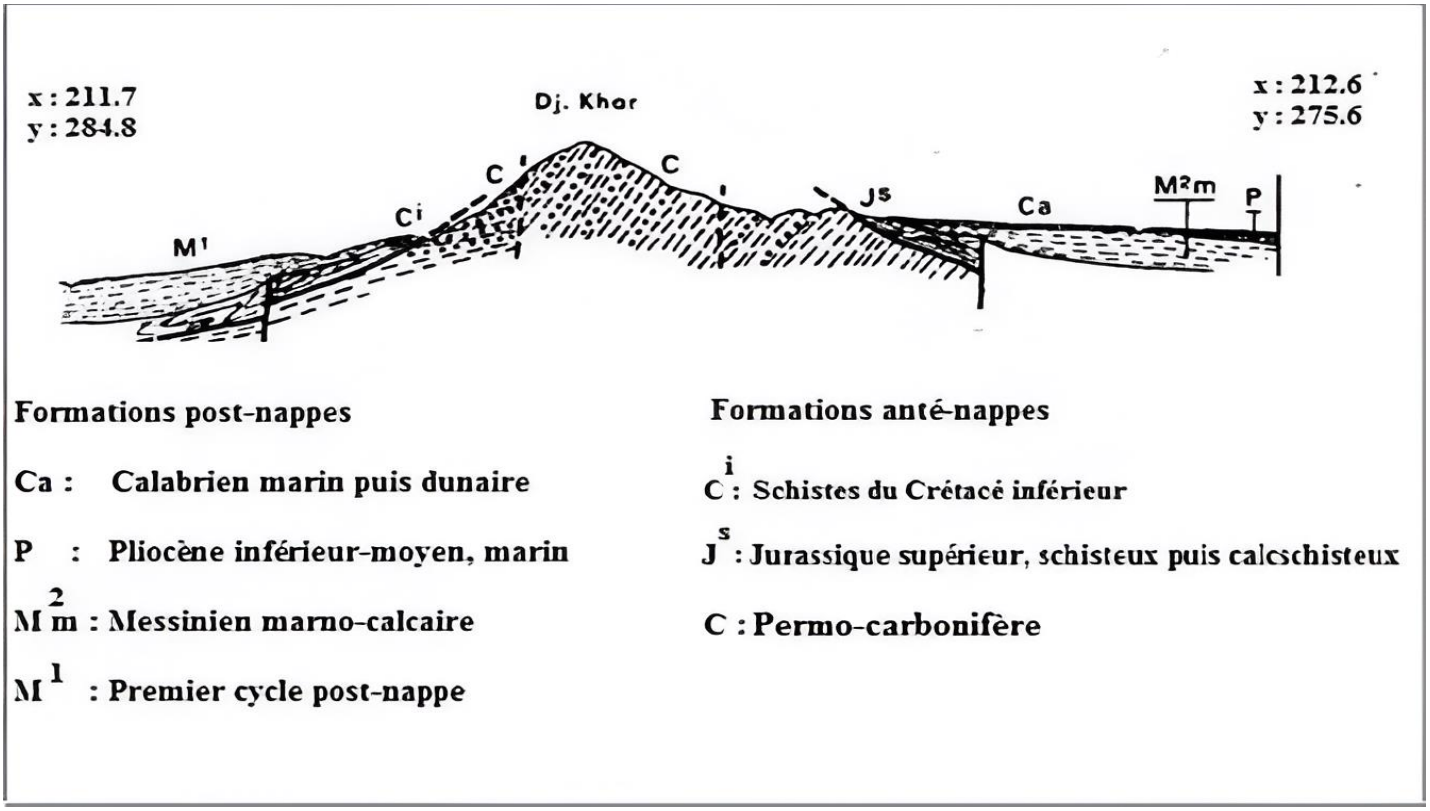


Figure n°07: Coupe géologique illustrait les formations post-nappes et ante-nappes autour de Djebel Khar (B. Fenet, 1975)

Le dernier terme du Miocène supérieur est représenté au sud de Hassian Ettoual (ex : Fleurus). Là, pointent des affleurements de marnes gréseuses gypsifères et des bancs de gypse massif de plusieurs dizaines de mètres qui sont exploités au niveau de la carrière bordant le lac Télamine (société KNAUF) . Des marno-calcaires à tripoli formant des bancs de un à deux mètres d'épaisseur s'intercalent au sein de ces formations (Fenet B., 1975).

b. Le Pliocène

Au sud du secteur, au niveau du Djebel Debbi, le Pliocène inférieur et moyen, marin, est affleurant et transgressif. La carte au 1/50 000 ème de Saint Cloud indique l'existence de :

-marnes pliocènes (Plaisancien), constituées de formations marno-sableuses jaunes devenant plus franchement marneuses vers le bas ;

.-grès pliocènes, marins à ciment calcaire (Astien), formés de bancs assez résistants qui se marquent bien dans la topographie au niveau des plateaux .

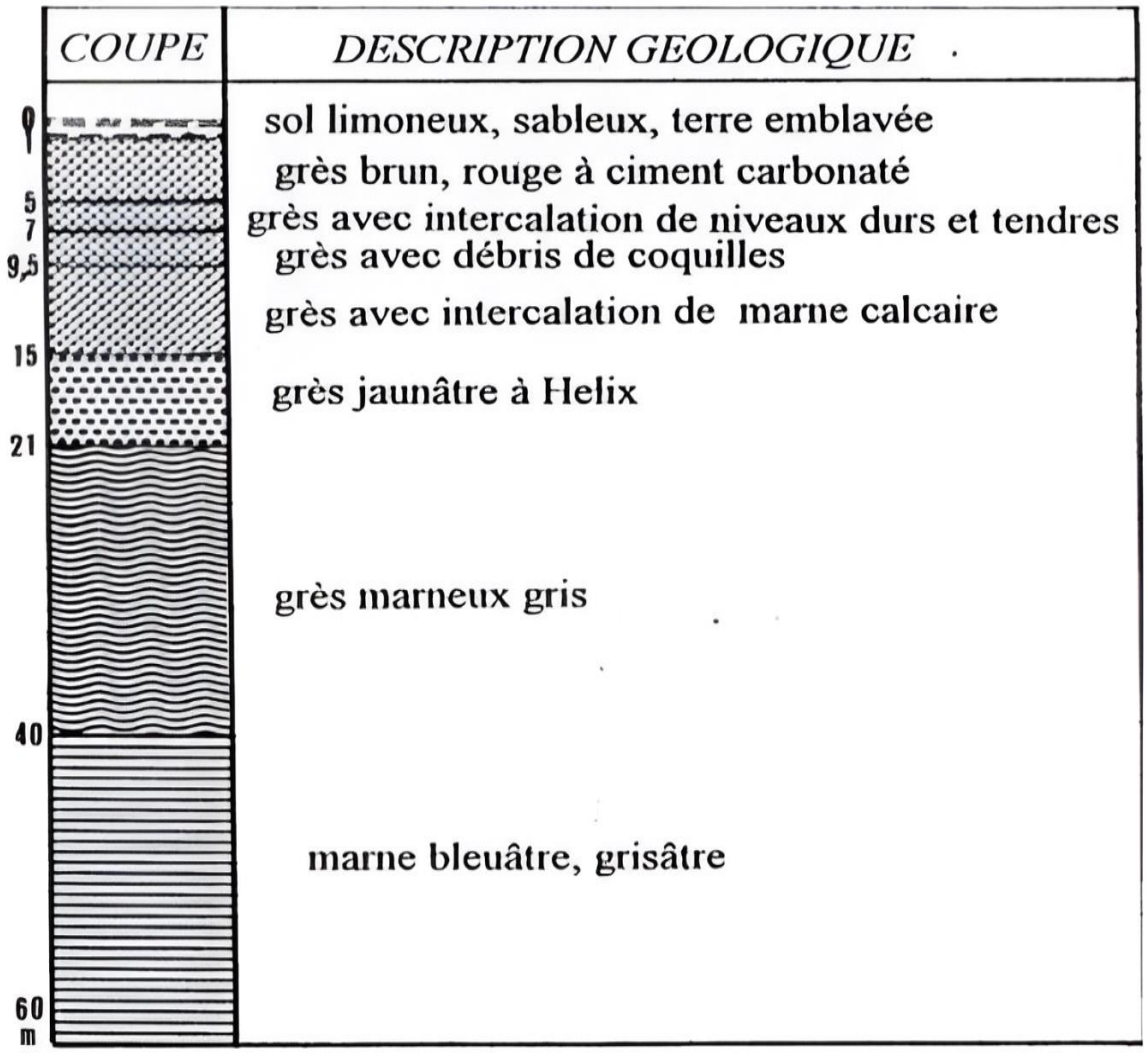


Figure n°08: Log géologique du forage de l'ex-Oravio (X :212.100, Y :273.225)

c. Le Plio-Pléistocène "Calabrien"

Au niveau du Plateau des Hassi, les formations du plio-pléistocène reposent directement sur les formations du Miocène supérieure. Le Plio-pléistocène représente le dernier épisode marin reconnu. Cette formation est discordante sur le Miocène supérieur. D'abord lumachelliques ou conglomératique, elle passe progressivement à des grès dunaires à stratification oblique et entrecroisée, souvent entrecoupés d'argile continentale.

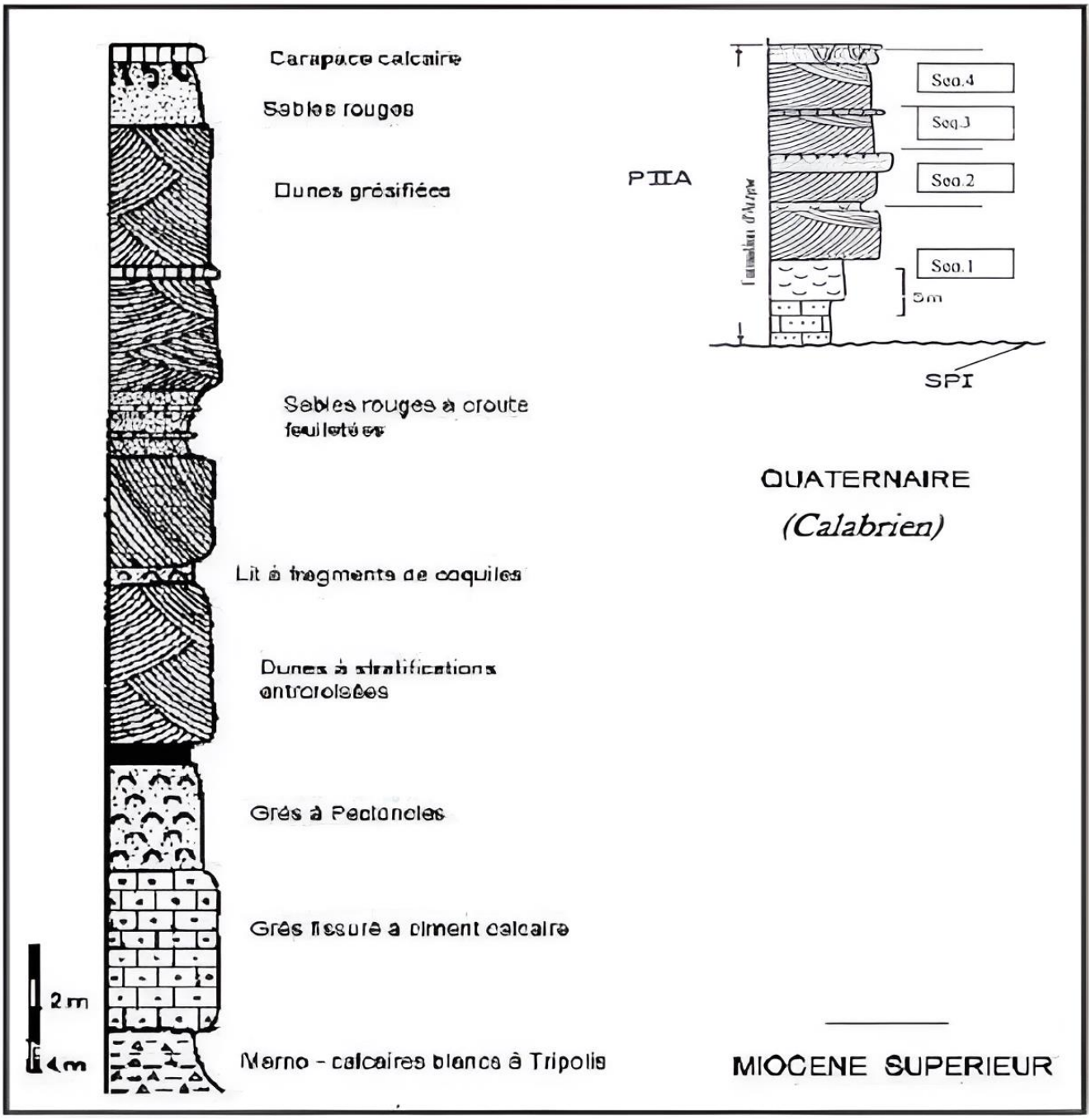


Figure n°09 : Coupe géologique des falaises d'Oran (G. Thomas, 1985)

d. Le Pléisto-Holocène

Les dépôts du Pléistocène-Holocène sont bien développés le long du littoral actuel. Ils sont constitués pour l'essentiel par des Beach rock, des dunes, des limons et des cailloutis.

Dans la zone de piedmont, entre les collines de Hassi Ben Okba et la plaine de Sidi Ali s'étend une bande de glacis d'accumulation, formée d'éléments grossiers provenant du démantèlement des reliefs. Ces glacis sont raccordés à l'aval à un empilement de couches formées de limons sableux, argileux ou caillouteux, rubéfiés. La majeure partie de la plaine de Sidi Ali est occupée par des alluvions récentes,

limoneuses, recouvrant les formations astiennes et calabriennes. Un mince encroûtement calcaire vient masquer ces alluvions, en surface.

1.4.3. Contexte Tectonique et structural

Il est vraisemblable que la région étudiée ne peut à elle seule apporter tous les éléments nécessaires pour expliquer les grandes périodes de l'histoire tectonique. Il est donc nécessaire de placer le secteur étudié dans un contexte beaucoup plus général qui est celui du littoral oranais. Dons la région d'Oran la tectonique dessine des traits essentiels de la structure actuelle elle s'exprime par trois directions principales N10-20 E, N50-70 E, N90 E. et N140E. (Figure. n°11). (Figure. n°11).

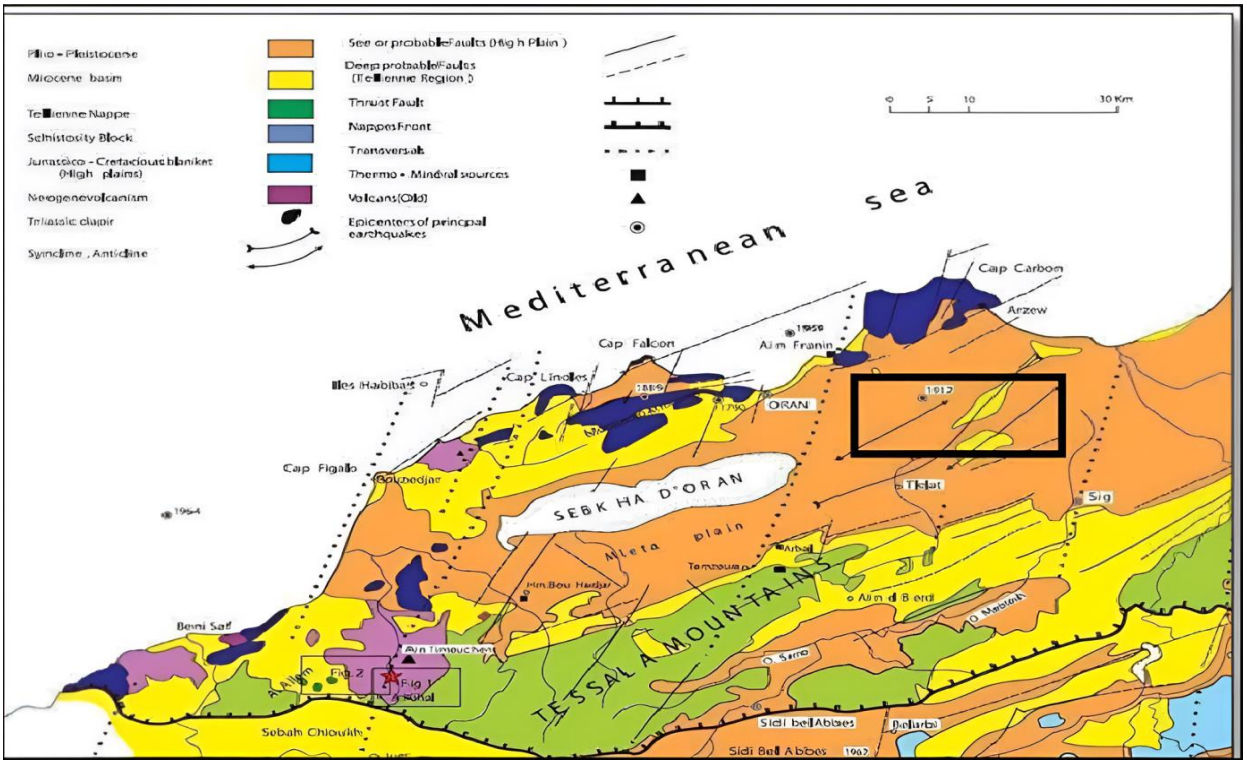


Figure n°11 : Schéma structural de l'Oranie (B.Fenet, 1975).

Le secteur que nous étudions fait partie de la région d'Arzew caractérisée par l'existence d'éléments de la chaine alpine du tell septentrional.

Le Djebel khar (la montagne des lions) légèrement détaché du massif d'Arzew, est un petit horst de 4Km^2 dont l'évolution est analogue à celle des Monts d'Arzew (Ciszak,1993).

Il y a plusieurs formes plicatives (anticlinal et synclinal) qui sont enregistrées par le relief; nous pouvons citer:

-Le lac Télamine qui occupe une aire synclinale(Figure n°11).

Le Djebel Debbi qui est un anticlinal dissymétrique. Ce pli est limité au Sud par une flexure plongeant d'une vingtaine de degrés (Perrodon, 1957).

-L'anticlinal s'allongeant parallèlement au Djebel Debbi, entre DjeblDjira et Port aux Poules. D'après Perrodon (1957), il est limité au SE par une flexure de 15 à 20°, la séparant de la plaine de l'Habra. C'est un anticlinal de style légèrement coffré dont la partie axiale forme un plateau tabulaire, recouvert par des formations marines quaternaires dans la région des Hamayanes et par des recouvrements villafranchiens dans la partie Sud.

-Les salines d'Arzew qui sont une dépression fermée occupent l'aire d'un synclinal de forme ovale. Elles sont limitées sur ses deux flancs par une flexure bien nette. Sur la bordure Ouest, nous avons une flexure qui se marque dans le Calabrien et qui plonge d'une vingtaine de degrés. Le pliocène qui forme l'autre flanc, présente des pendages de 10 à 15°, atteignant localement 45° dans la partie SW (Perodon1957). Ce synclinal sépare les deux axes anticlinaux précédents.

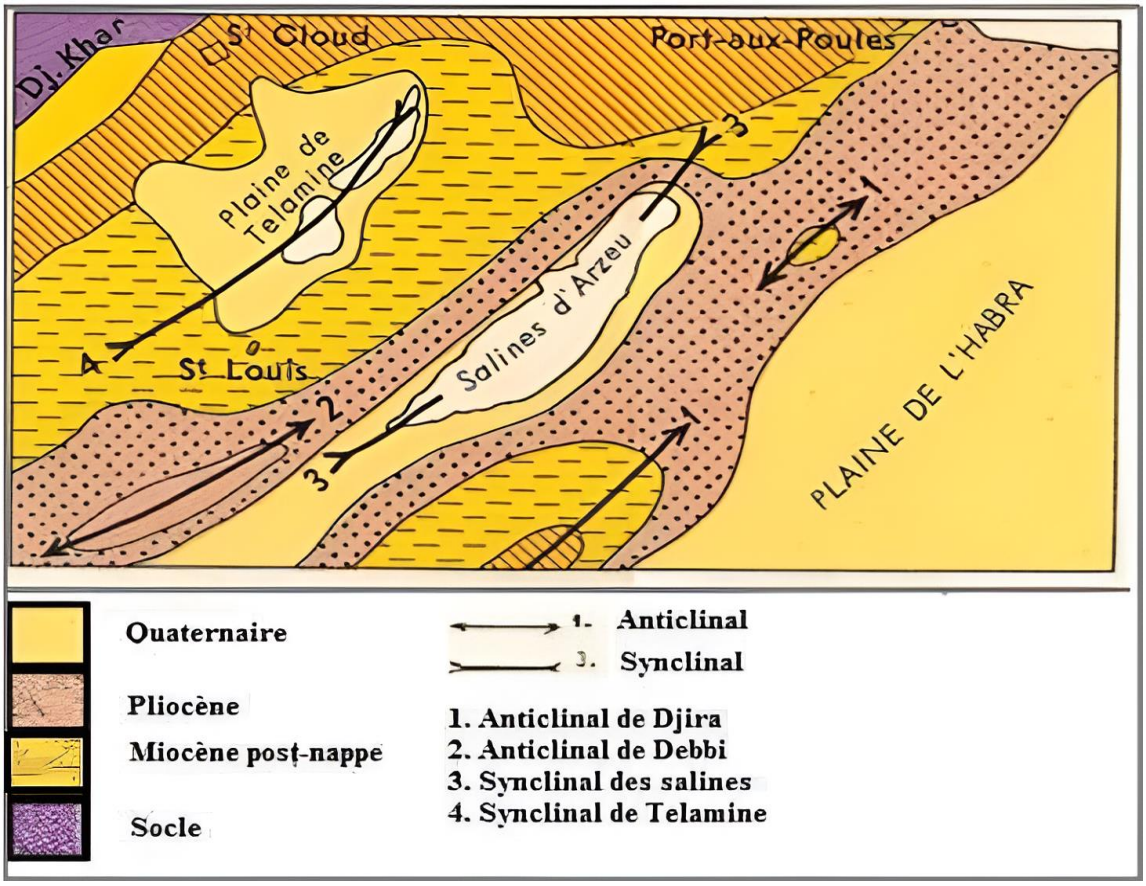


Figure n°12: Ecorché géologique de la région de Gdyel (Y. Gourinard, 1957)

conclusion

La région des Hassi, située à l'est d'Oran, se caractérise par une diversité géographique, géomorphologique, climatique et géologique qui influence directement ses ressources en eau et son environnement naturel. Géographiquement, elle s'étend sur 400 km², encadrée par les Monts de Gdyel et d'Arzew au nord, et ouvre sur des plateaux et dépressions au sud et à l'est. Son relief, marqué par des cuvettes et des collines, abrite un réseau hydrographique intermittent, dominé par des écoulements saisonniers et des crues brutales, reflétant un climat semi-aride à aride (indice de De Martonne : 8,4 à Arzew, 13,7 à Es-Sénia). Les précipitations, irrégulières et concentrées entre octobre et avril, varient

selon l'altitude et la proximité maritime, avec des moyennes annuelles de 240 mm à Arzew et 387 mm à Es-Sénia.

Sur le plan géologique, la région s'inscrit dans un contexte alpin complexe, où des formations anté-nappes (Permo-Trias, Jurassique, Crétacé) et post-nappes (Miocène à Quaternaire) structurent le sous-sol. Les grès calcaires du Pliocène et les dépôts calabriens constituent les principaux réservoirs aquifères, tandis que les marnes du Miocène supérieur forment des barrières imperméables. La tectonique, marquée par des horsts (Djebel Khar) et des dépressions synclinales (lac Télamine), explique la répartition des nappes et leurs interactions avec les formations perméables.

CHAPITRE II :

HYDROGEOLOGIE

Introduction

L'hydrogéologie de la zone des Hassi nous permet d'avoir des connaissances sur les formations susceptibles de contenir de l'eau et les relations existantes entre les différents types d'aquifères d'une zone bien déterminée. Ainsi, les études hydrogéologiques menées sur notre secteur d'étude ont permis de mettre en évidence l'existence d'un système principal d'aquifère représenté par les alluvions du quaternaire et les grès du pliocène. Notre secteur renferme des ressources hydrauliques bien précieuses menacées par une intense exploitation d'où un fort déficit et des conditions climatiques sévères engendrant un déséquilibre de la nappe ; ce qui entraine une baisse généralisée et continue du niveau piézométrique.

2.1. Identification des aquifères

Les investigations hydrogéologiques, les sondages des géophysiques et forages de la région ont déterminés la présence de deux réservoirs principaux à savoir :

- Un premier qui est formé par les formations du complexe plio-quaternaire ;
- Un deuxième formé par la zone fissurée des calcaires jurassiques sous-jacents.

2.1.1. L'aquifère du plio-quaternaire

C'est un aquifère multicouche avec un seul système aquifère multicouche à nappe libre par superposition de trois niveaux aquifères. Sa limite étanche est constituée par les schistes qui se terminent en biseau (Djebel Khar).

2.1.1.1. Aquifère alluvionnaire

C'est un aquifère de faible profondeur formé par des alluvions quaternaires laguno-lacustres du sillon médian. Il comporte à la base des alluvions quaternaires et s'étend de l'Est du village de Hassi Bounif au sud des trois Hassi jusqu'en bordure du Lac Télamine. Les termes essentiels constituant ces alluvions sont : limons sableux et gypse, argiles, éléments de schistes et calcaires. On y trouve une eau saumâtre captée par des puits d'une trentaine de mètres de profondeur en moyenne.

2.1.1.2. Aquifère des grès coquillers et sables jaunes

Avec une épaisseur moyenne de 20 m, cet aquifère est le plus important de par sa grande extension dans notre secteur d'étude.

Les marnes miocènes au nord et les marnes sableuses du pliocène au Sud constituent le substratum ; alors que des argiles rouges et des alluvions perméables constituent le toit rendant ainsi la nappe tantôt captive tantôt libre.

Vers le nord, la nappe est libre, un forage exécuté à ce niveau à 60m de profondeur, et traverse 40m de marnes bleues et 1m de terre cultivable ; l'épaisseur des grés coquillers rencontrés ne dépasse pas 10m (B. Wahiba ,2008).

2.1.1.3. Aquifère à calcaires gréseux

Cet aquifère renferme une nappe importante très intéressante captée par la majorité des puits de villages de Fleurus, et de Hassi Ben Okba. Les calcaires gréseux se marquent bien dans la topographie constituant des bancs assez résistants et sont visibles à l'affleurement au niveau de Hassi Ben Okba et Hassian avec une épaisseur d'environ 50m. La couche supérieure des calcaires gréseux est compacte tandis que la couche inférieure est tendre avec un calcaire marneux et friable (milieux à porosité d'interstices) contenant la nappe des calcaires gréseux. Cette dernière est libre à l'Ouest de Hassi Ben Okba et Hassian Ettoual, et captive à l'Est sous les marnes bleues du pliocène qui est le mur des grès coquillers.

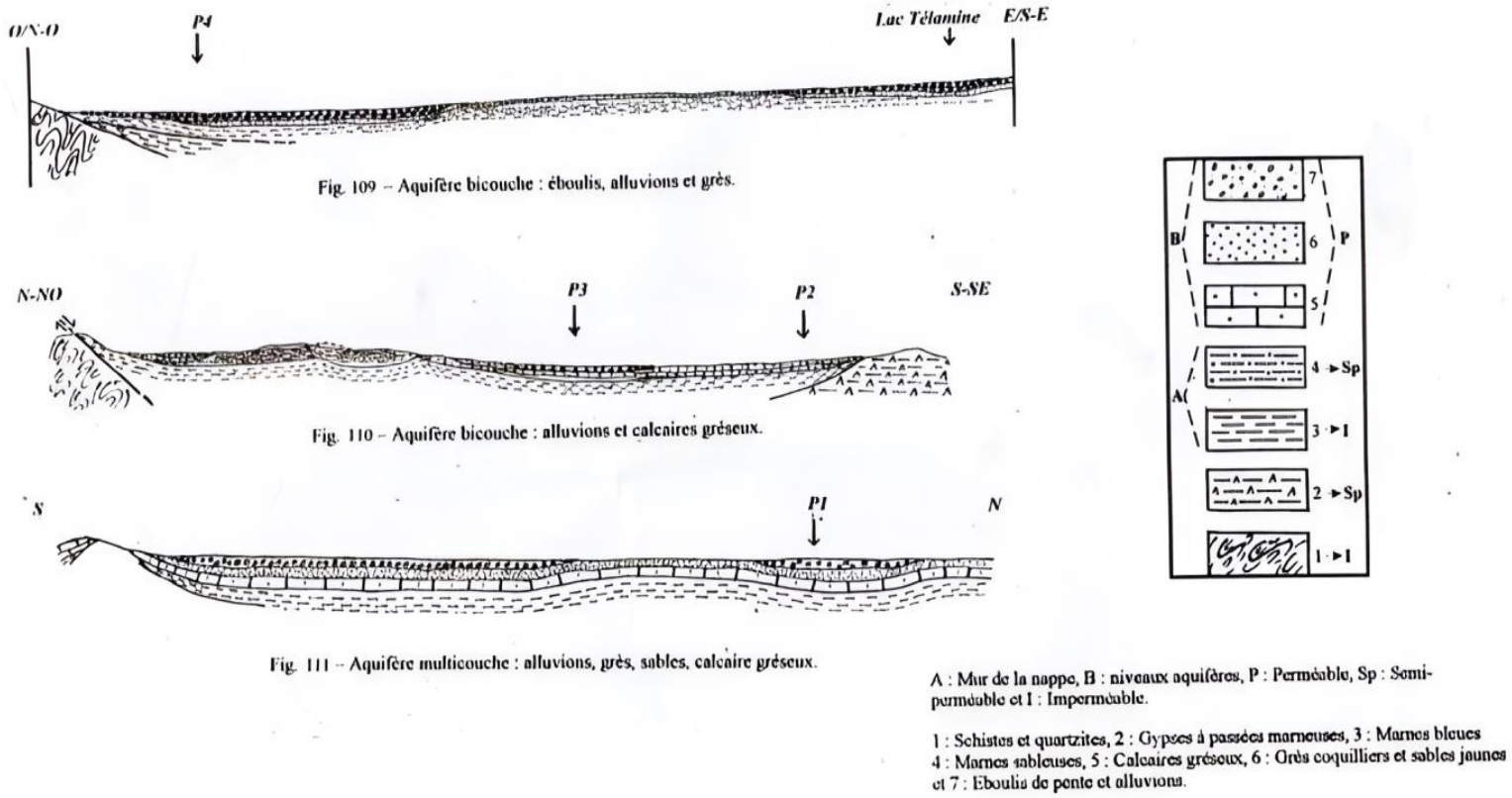


Figure. n°13 : Coupes montrant les relations entre les niveaux aquifères. Echelle : 1/50000 (in M. Foukrache., 2001)

2.1.1.4. Corrélation entre les niveaux aquifères

Les différents niveaux aquifères présentés ci-dessous sont mis en évidence grâce aux schémas des coupes établies par M. Foukrache à partir d'une carte géologique de la feuille de Gdyel au 1/25000 réalisée par L. Haddar à savoir :

• Aquifère bicouche : éboulis – alluvions et grés

Les grés et les sables sont les formations qui constituent cet aquifère et est recouvert vers l'Est par les alluvions. Le mur de la nappe est formé par les marnes sableuses. Il n'y a pas de calcaires gréseux.



Figure. n°14 : Aquifère bicouche : Eboulis et grés d'après Foukrache M. 1996 (modifié).

• Aquifère bicouche : éboulis – Alluvions et calcaires gréseux

Cette coupe schématique montre une large extension de la nappe des calcaires gréseux avec des marnes bleues formant son mur. La nappe résultant de la superposition de ces différents niveaux est libre.

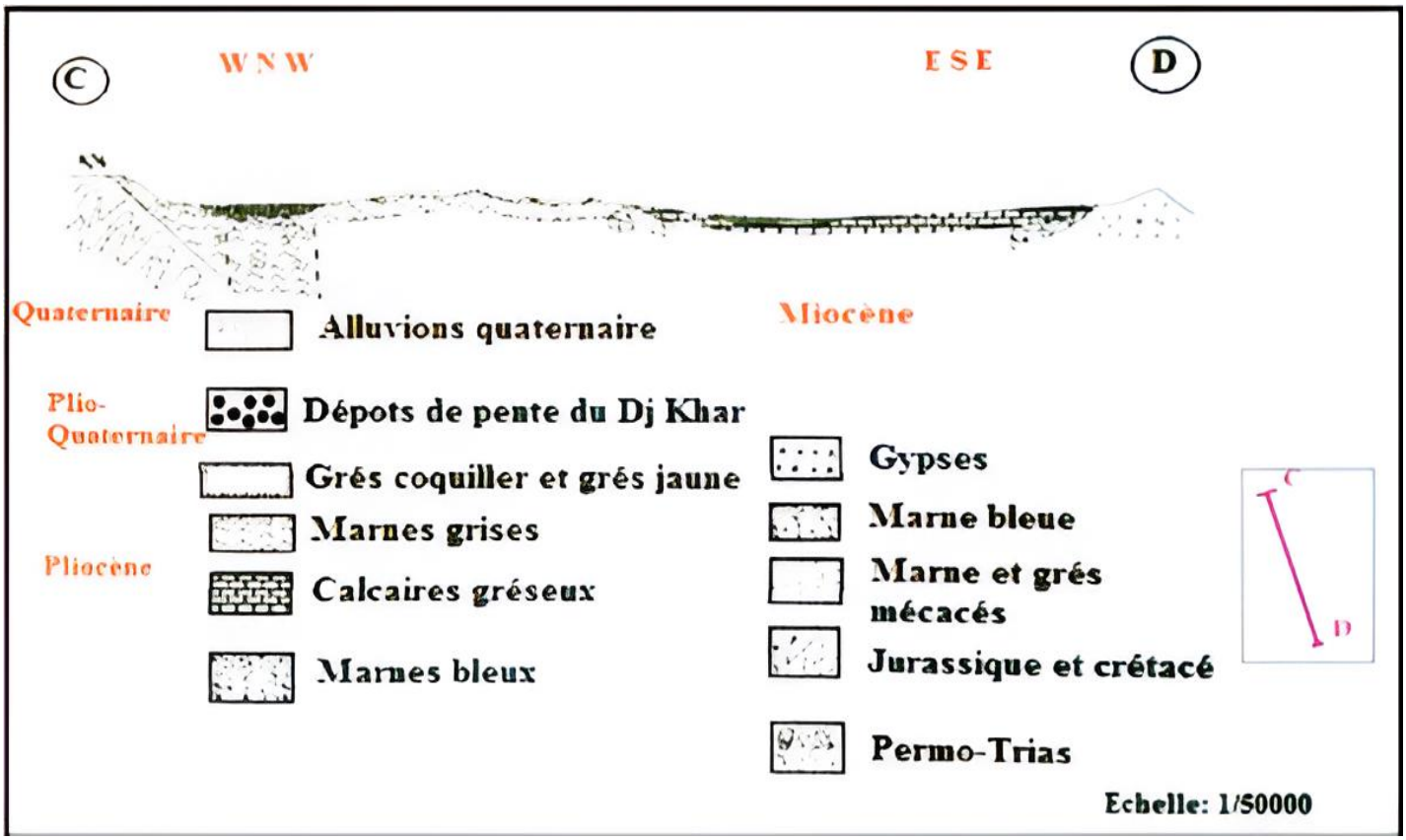


Figure. n°15: Aquifère bicouche : Alluvions-calcaire gréseux d'après Foukrache.M 1996 (modifié)

2.1.2. Aquifère des calcaires dolomitiques du Lias

Les calcaires dolomitiques du Lias affleurent largement aux Djebel Orousse et Bourousse. Cette formation regorge une importante ressource en eau dans la région avec une très bonne perméabilité de fissure. Cet aquifère se prolonge plus au sud en profondeur sous le recouvrement plio-Quaternaire. Celui-ci est à l'Origine de la source de Kristel.

Le schéma du log hydrogéologique ci-dessous de la région d'Oran résume les différentes connexions qui existent entre les systèmes aquifères.

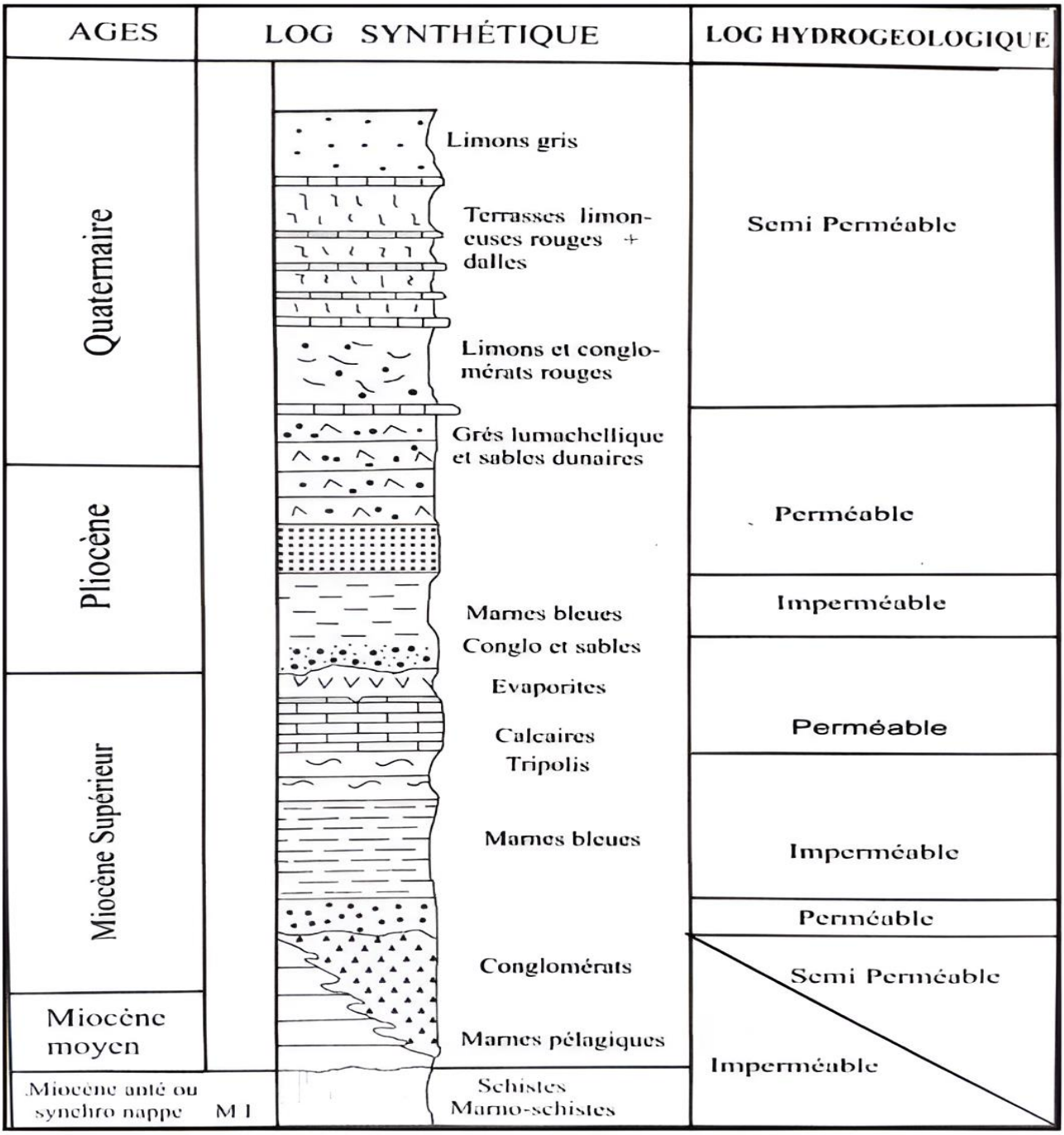


Figure. n°16 : Log hydrogéologique de la région d'Oran (in Hassani, 1987).

2.2. Localisation en profondeur des niveaux aquifères

A partir des coupes lithologiques des sondages et des forages, les limites et les profondeurs des aquifères caractérisant cette région ont peuvent être déterminées.

2.2.1. Présentation des coupes géologiques des forages

2.2.1.1. Sondage de Gdyel

Tableau n° 06 : stratigraphie de sondage de Gdyel

Age	Profondeur	Stratigraphie
• Le quaternaire	0-3m	Grés rouge ferrugineux
	3-7.5m	Marnes brunâtres et schistes beiges jaunes.
	7.5-11m	Schistes beiges à jaune (éléments schisteux (galets)).
	11-13m	Calcaire brun à beige gréseux
• Le pliocène	13-21m	Argile jaune à beige
	21-23m	Calcaire brun gréseux.
	23-32m	Argiles jaunes à beige.
	32-70m	Alternances des calcaires brun gréseux et argiles jaunes à beige.
• Jurassique	70-113m	calcaires gris dolomitique avec passages de marnes grises indurées feuilletées et veines de quartz.
	113-128m	Marnes avec petits passages de calcaire.
	128-173m	Calcaire grises dolomitiques avec un passage de veines de quartz et Marnes grises.
	173-200m	Marnes grises, sombres indurées feuilletées avec passages de Schistes grises sombres et calcaires dolomitiques avec traces de Gypse et d'Anhydrite.

Cette colonne stratigraphique illustre une succession de dépôts sédimentaires couvrant trois périodes géologiques majeures.

Dans le **Quaternaire** (0-13 m), on observe une alternance de grès ferrugineux rouges, de marnes brunâtres et de schistes beiges à jaunes, reflétant des environnements continentaux à côtiers sous climat oxydant. La présence de calcaires gréseux en base suggère une influence marine temporaire.

Le **Pliocène** (13-70 m) est marqué par des dépôts argileux jaunes à beige entrecoupés de calcaires gréseux, indiquant des fluctuations entre des milieux lagunaires/évaporitiques et des phases de sédimentation carbonatée en eau peu profonde.

Le **Jurassique** (70-200 m) présente une sédimentation marine plus franche, avec des calcaires dolomitiques gris, des marnes indurées et des veines de quartz, témoignant d'un bassin marin peu profond à énergie variable. La présence de gypse et d'anhydrite dans les niveaux supérieurs (173-200 m) signale des conditions évaporitiques en milieu confiné, probablement en contexte de bassin restrictif.

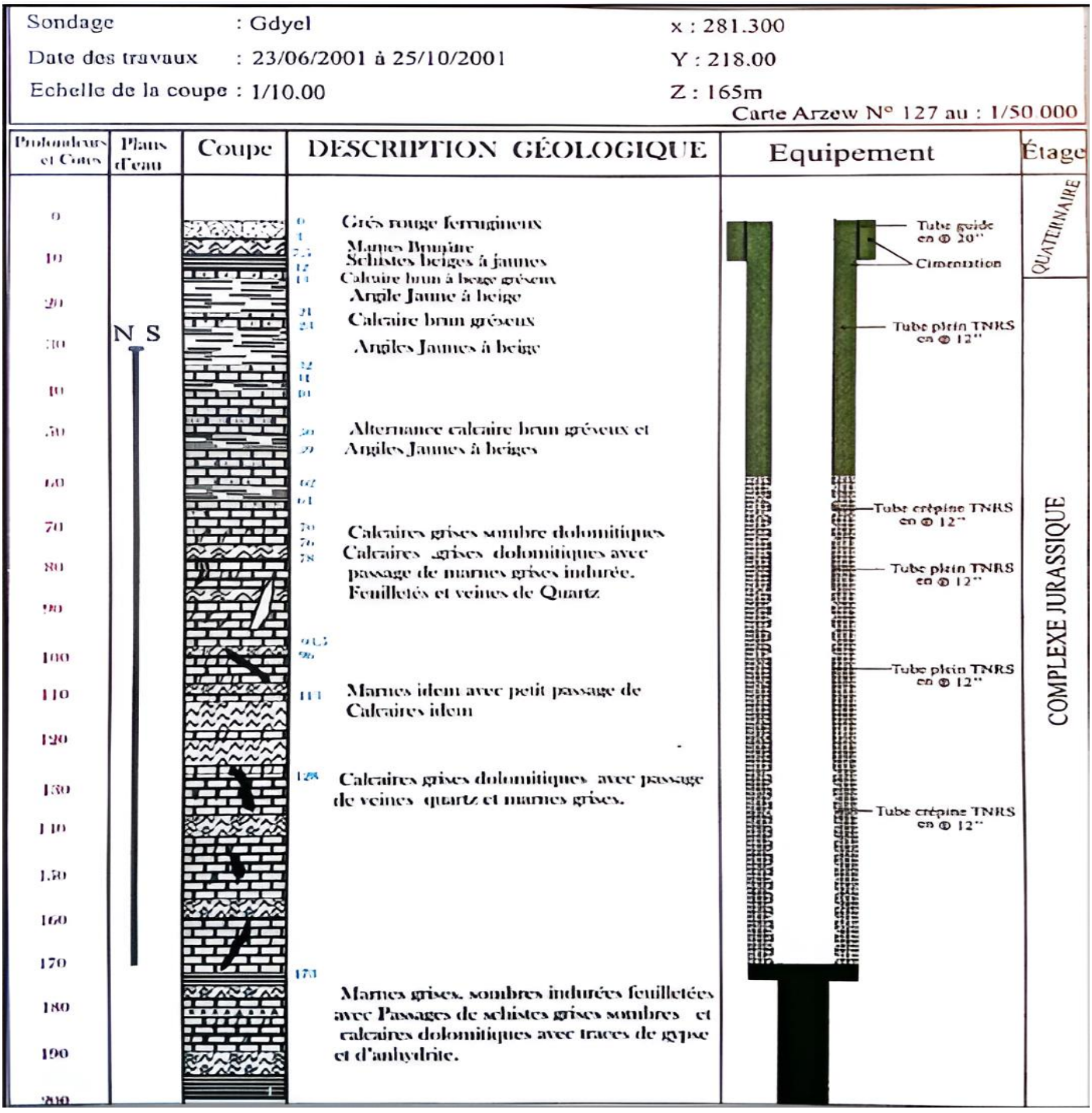


Figure. n° 17:Log géologique de Sondage de Gdyel

2.2.1.2. Sondage de Sidi Benyebka

Tableau n° 07 : stratigraphie de sondage de Benyebka

Age	Stratigraphie
0-6m.	Argiles brique carbonatées
6-17m	Grés sombres, rose siliceux dolomitiques.
17-30m	Schistes violacés avec intercalation des grés et veine de calcite
30-45m	Marnes accompagnées de veine de quartz et calcite
45-52m	intercalation de marnes grises.
52-75m	Grés sombre avec intercalation de marnes.
75-80m	Veines de calcite et quartz.
80-112m	Alternance de grés gris, rose (dolomitique, argileux), marnes grises indurées et feuilletées.
112-170m	Intercalation des grés, sables, marnes
170-200m	Grés gris, rose pyriteux avec intercalations de sable, marnes et schistes noirs.
200-225m	Intercalation de calcaire siliceux, grés pyriteux et argile brique plastique.
225m-245m	Accumulation bréchique millimétrique (polygéniques).
245-270m	Argile brune, brique parfois plastique avec traces de brèches.

La séquence lithologique décrite montre une alternance complexe de formations sédimentaires sur 270 m de profondeur. Les couches superficielles (0-30 m) présentent des argiles carbonatées, des grès sombres et des schistes violacés. Entre 30 et 80 m dominent des marnes avec intercalations de quartz et calcite, suivies de grès dolomitiques. La partie médiane (80-200 m) alterne grès argileux, marnes indurées et niveaux pyriteux. Les couches profondes (200-270 m) se caractérisent par des calcaires siliceux, des argiles plastiques et des zones bréchiques, témoignant d'une histoire géologique dynamique avec changements de milieu sédimentaire. Cette variabilité lithologique influence directement les propriétés hydrogéologiques du secteur.

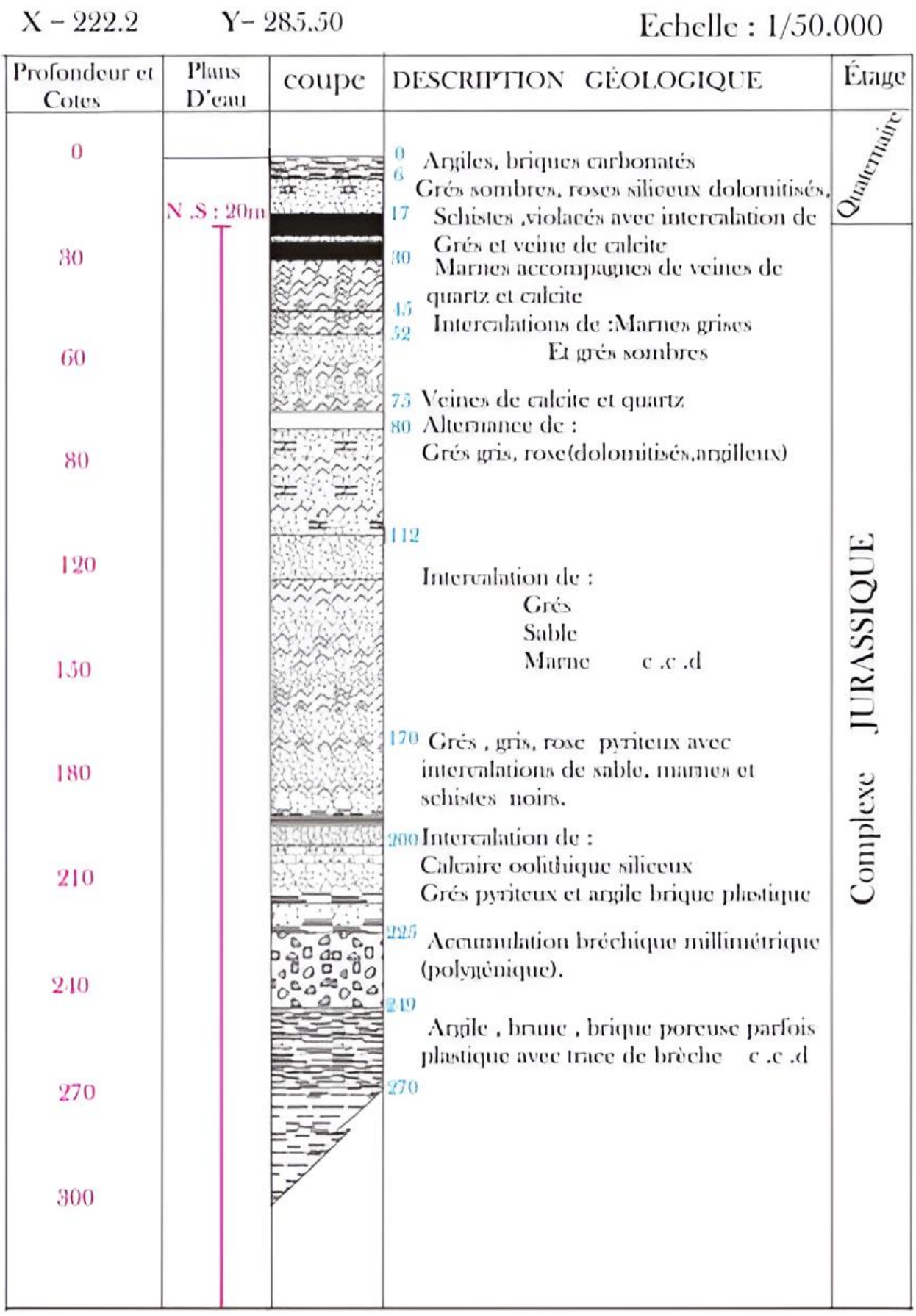


Figure n°18 : log géologique de Sondage de Sidi Benyebka

2.2.1.3. Sondage de Hassian-Ettoual

Tableau n° 08 : stratigraphie de sondage de Hassian-Ettoual

Age	Stratigraphie
0-7.5m	Encroûtement calcaire.
7.5-22m	Argile sableux et grés tendre.
22-76m	Calcaire gréseux avec des passées de marnes.
76-183m	Gypse massif avec des passées marneuses au-delà de 140m

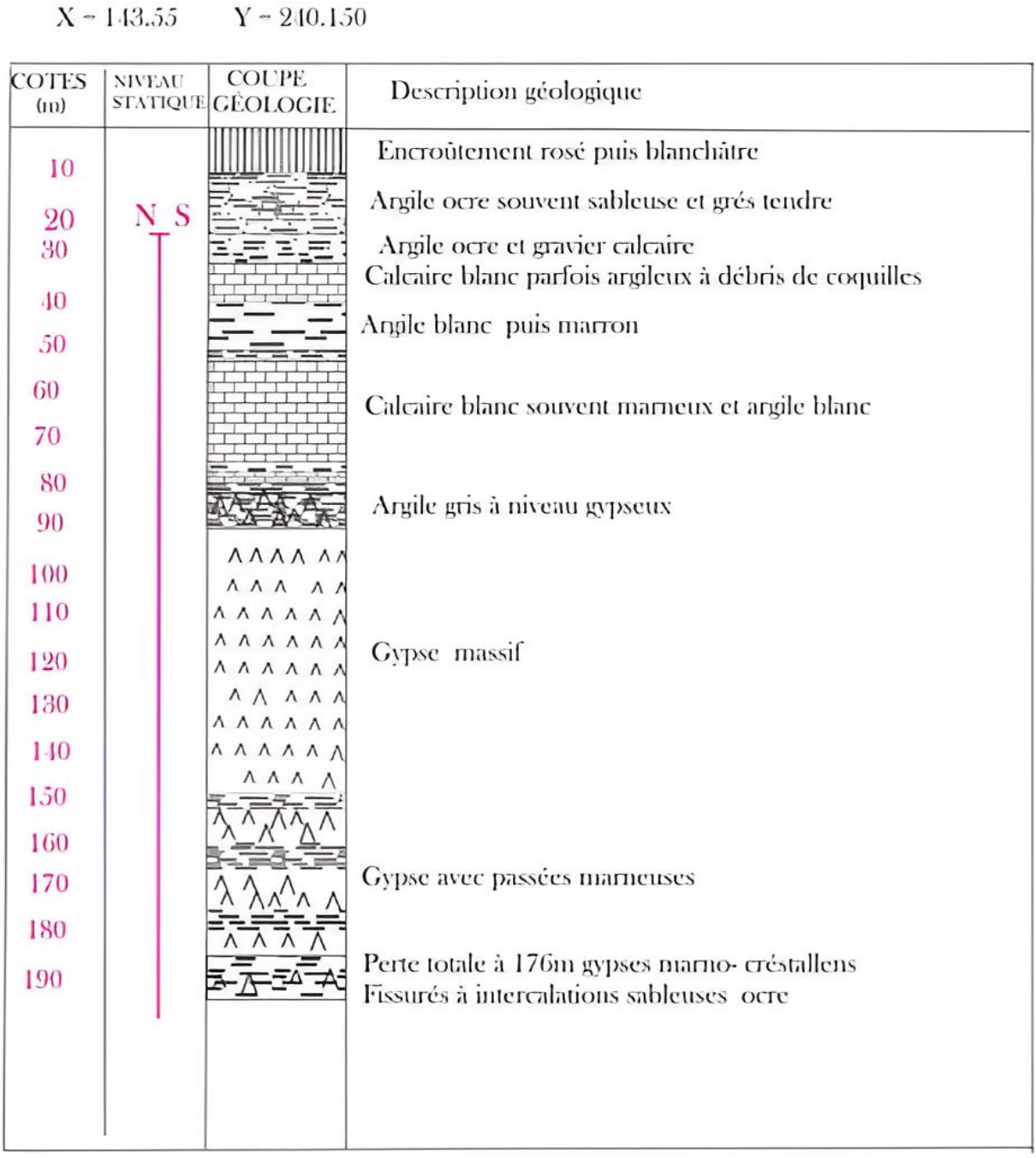


Figure n°19 :Log géologique de Sondage de Hassian-Ettoual

2.2.1.4. Sondage de Hassi Mefssoukh

Tableau n° 09 : stratigraphie de sondage de Hassi Mefssoukh

Age	**Stratigraphie**
0-3m	Argiles beiges brune carbonatées.
3-12m	Calcaires blancs beiges, siliceux parfois argileux.
12-20m	Grés à ciment siliceux.
20-40m	Calcaire dolomitiques avec intercalations de marnes grises parfois feuilletées et schistes violets.
40-50m	Grés siliceux, quartzites.
50-70m	Intercalation de dolomies noire siliceux et schiste noire quartzite.

La séquence stratigraphique décrite sur 70 mètres révèle une évolution environnementale complexe. La base (0-3 m) présente des argiles carbonatées témoignant d'un milieu laguno-lacustre. Entre 3-12 m, les calcaires blancs indiquent une phase marine ouverte avec apports détritiques. Les grès siliceux (12-20 m) reflètent une augmentation d'énergie hydrodynamique, probablement côtière. La section 20-40 m, avec ses alternances calcaires dolomitiques/marnes/schistes, suggère un bassin marin fluctuant entre conditions ouvertes et restreintes. Les grès et quartzites (40-50 m) signalent un retour à des milieux continentaux énergétiques. Enfin, les dolomies noires et schistes (50-70 m) caractérisent un environnement anoxique à diagenèse active. Cette succession illustre des transitions entre milieux de dépôt variés (continental, marin peu profond, bassin confiné) sous l'influence combinée de facteurs climatiques, hydrodynamiques et tectoniques.

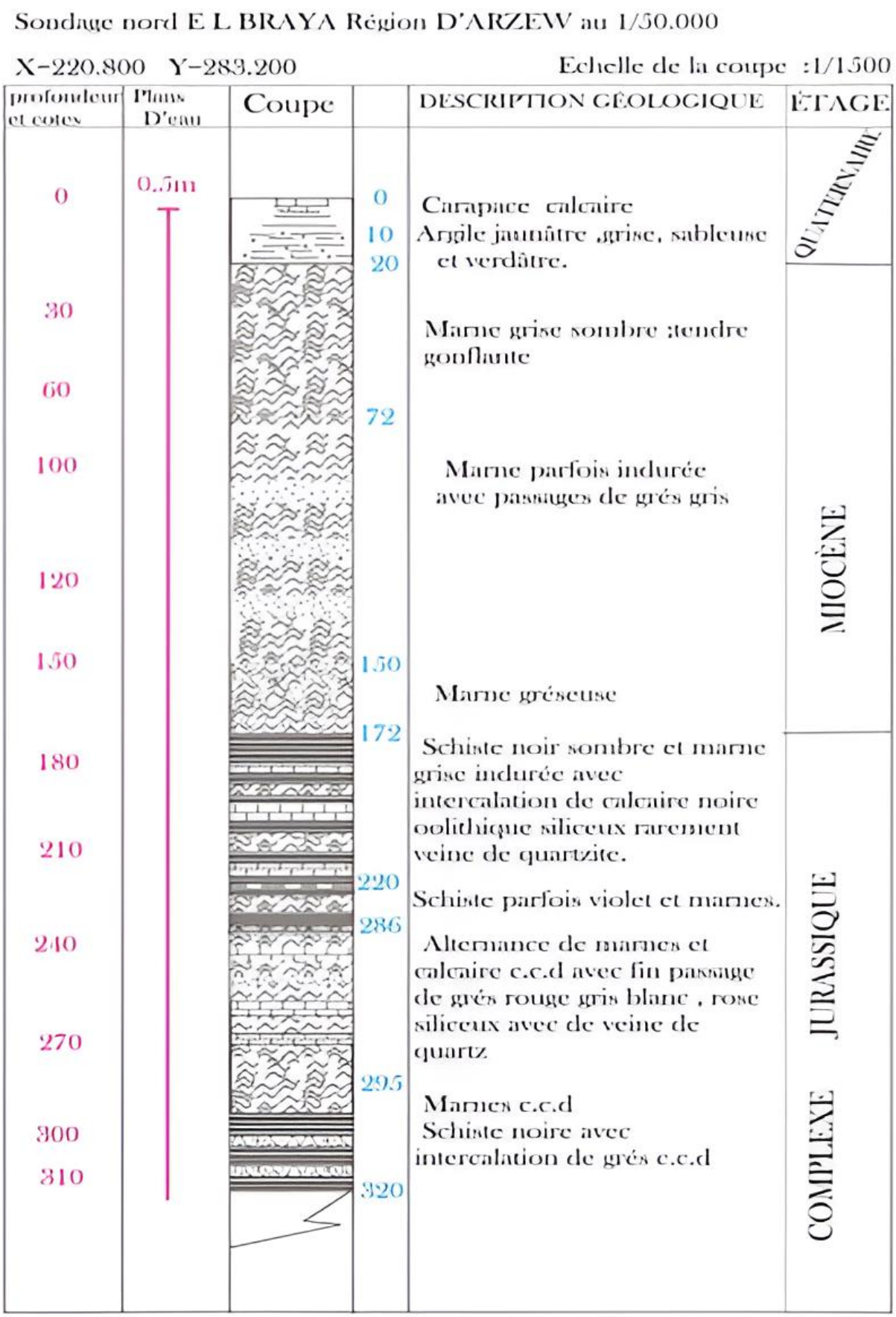


Figure n°20 :Log géologique de Sondage de Hassi Mefssoukh

2.2.1.5. Sondage Hassi Ben Okeba

Tableau n° 10 : stratigraphie de sondage de Hassi Ben Okeba

Age	**Stratigraphie**
0-15m	croute calcaire
15-19m	Alluvions
19-27m	cinérites secs
27-37m	cinérites humides
37-107m	marnes sableuses
107-200m	Marnes

La séquence stratigraphique décrite sur 200 mètres révèle une évolution paléo-environnementale complexe. La base (0-15 m) présente une croûte calcaire caractéristique des milieux arides continentaux. Entre 15-19 m, les dépôts alluviaux témoignent d'un environnement fluviatile dynamique. La présence de cinérites (19-37 m), avec leurs variations d'humidité, enregistre des épisodes volcaniques remaniés sous différents régimes climatiques. Les marnes sableuses (37-107 m) reflètent un milieu de transition.

En profondeur (107-200 m), les marnes homogènes indiquent un environnement aquatique stable, marin peu profond ou lacustre. Cette succession illustre une alternance de conditions arides, volcaniques et aquatiques, marquée par des changements climatiques et/ou tectoniques. Les variations lithologiques soulignent la sensibilité du bassin sédimentaire aux modifications environnementales. Cette stratigraphie fournit des indications précieuses pour comprendre l'histoire géologique et les potentialités hydrogéologiques de la région.

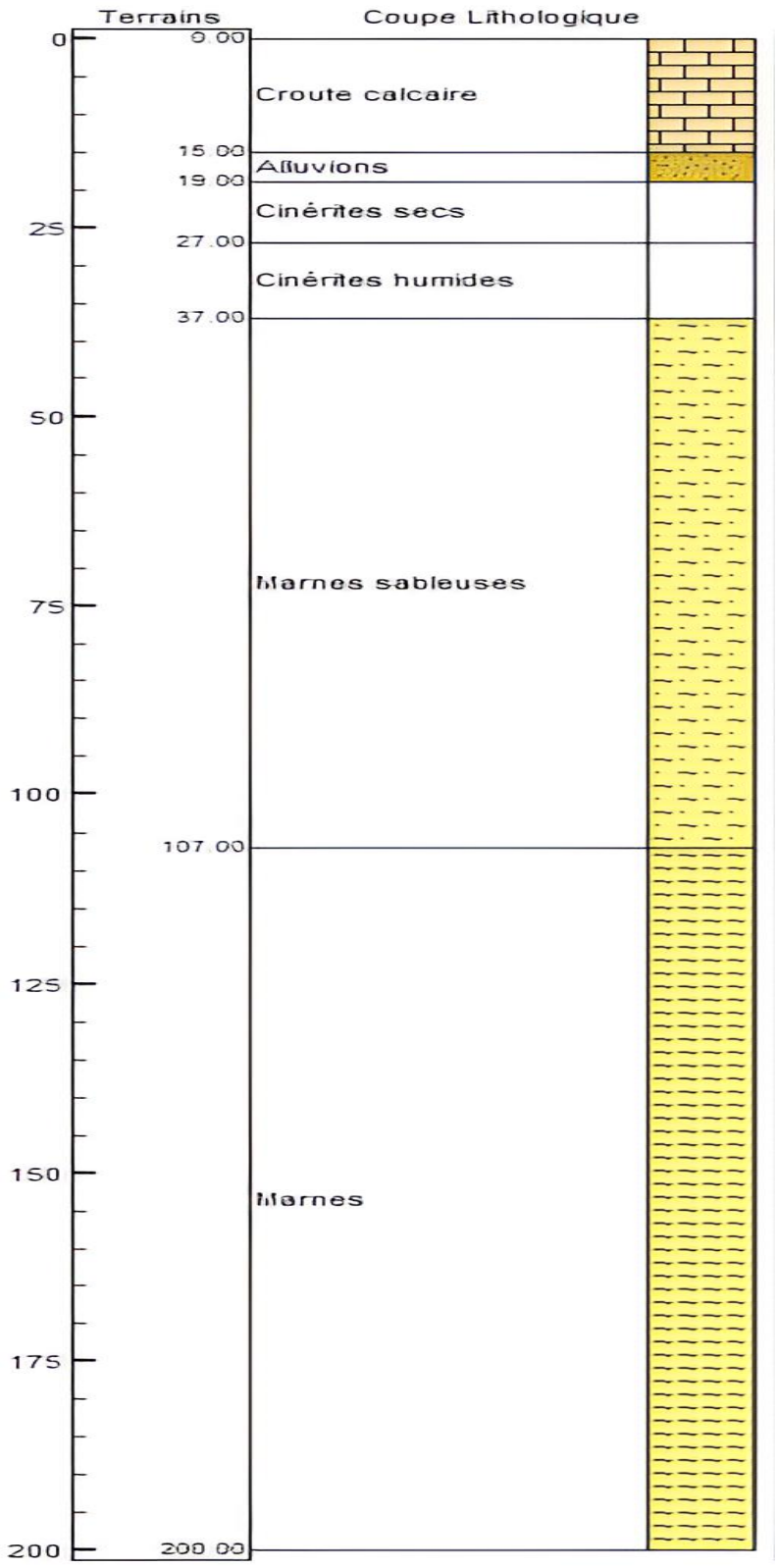


Figure n°21 :Log géologique de sondage de hassi ben Okeba

2.3. Les Caractéristiques géophysique

2.3.2. Résultats de l'interprétation des SEV(Sondage Électrique Vertical)

Nous avons pris différentes courbes en termes de forme et d'angle de pente, Le traitement par ordinateur des courbes donne les résultats suivants :

SEV1(Sondage Électrique Vertical)

Tableau n° 20 : Paramètres hydrodynamiques et leur incertitude associée de Hassi Ben Okba

Résistivités	**Profondeurs**	**Lithologie**
30 Ohm.m	0 - 2 m	Croûte calcaire
14 Ohm.m	2 - 15 m	Alluvions
35 Ohm.m	**35 m**	Grès calabrien
3 Ohm.m	**5 m**	Marnes

Cette configuration présente un aquifère captif typique, où les grès du Calabrien constituent la formation productive, encadrée par deux barrières imperméables (marnes supérieures et inférieures). La couverture marneuse joue un rôle protecteur contre les pollutions de surface, tandis que l'épaisseur importante de l'aquifère (environ 95m) suggère un bon potentiel de stockage. La résistivité élevée des grès indique une porosité efficace favorable à l'écoulement des eaux souterraines. Ce système confiné, alimenté principalement par drainance verticale limitée ou par des apports latéraux, offre des conditions favorables à une exploitation durable, à condition de respecter les équilibres naturels de cette nappe protégée.

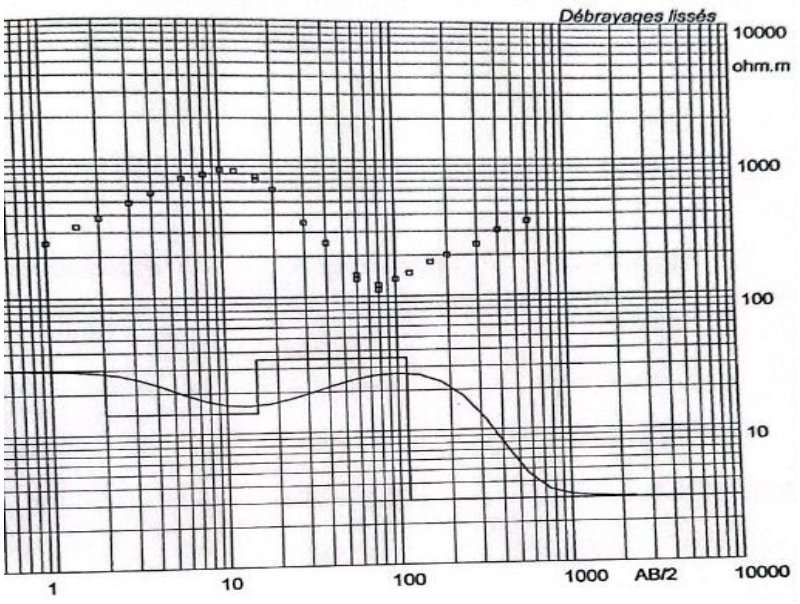


Figure n°29 :**Courbe de sondage électrique vertical SEV1 - Résistivité apparente en fonction de la distance AB/2(ANRH)**

La courbe met en évidence une structure bipolaire caractéristique, opposant une couche superficielle très résistante (~1000 Ω.m) - probablement des formations compactes (grès, calcaires) ou des sables secs - à une zone profonde conductrice (~10 Ω.m) évoquant des argiles saturées ou un aquifère. La transition verticale abrupte entre ces deux unités, matérialisée par l'absence de valeurs intermédiaires, révèle un contact géologique net, potentiellement lié à une surface d'érosion ou à un changement lithologique majeur.

SEV 2(Sondage Électrique Vertical) :

Tableau n° 21 **: Résistivités électriques en fonction de la profondeur et lithologie associée**

Résistivités	**Profondeurs**	**Lithologie**
92 Ohm.m	0 - 15 m	Croûte calcaire
40 Ohm.m	15 - 19 m	Alluvions
10 Ohm.m	19 - 37 m	Alluvions argileuses
27 Ohm.m	37 - 107 m	Grès du Calabrien
3 Ohm.m	107 m	Marnes du Miocène Supérieur

Ce point a été choisi pour ses caractéristiques de surface : en effet il se situe dans une apparente dépression, qui traverse le secteur et se prolonge au Sud-Est, coupant la piste, vers la propriété voisine. Les valeurs interprétées semblent conforter cette position morphologique favorable. En effet, sous le recouvrement superficiel, une couche de 5 Ohm.m représentant probablement des argiles, surmonte un terrain dont la résistivité à 27 Ohm.m et l'épaisseur d'environ 90 m, sont à considérer avec faveur.

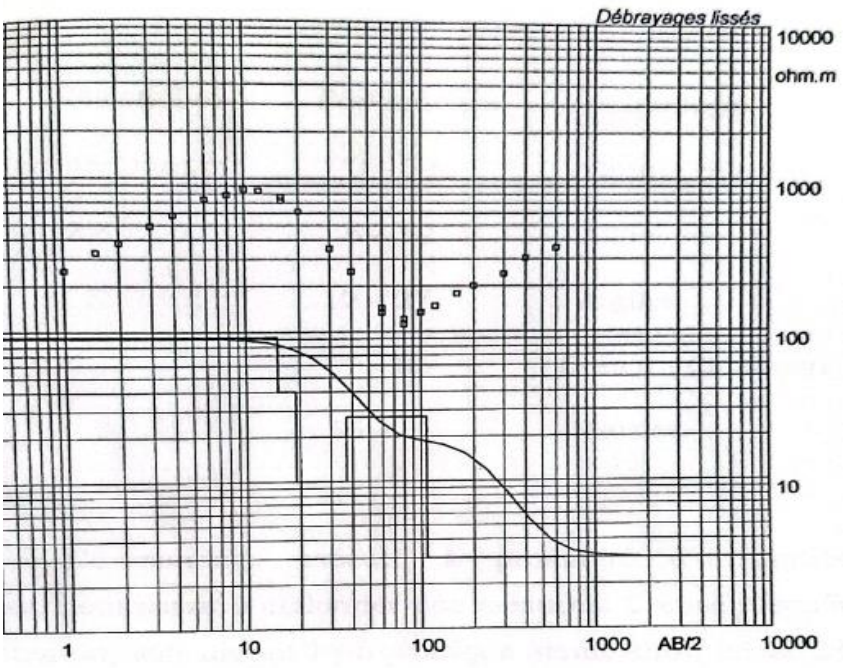


Figure n°30 : Courbe de sondage électrique vertical SEV2- Résistivité apparente (ρ) en fonction de la demi-distance d'électrode AB/2 (ANRH)

Le graphique montre une résistivité dominante de 1000 Ω.m, suggérant une couche homogène (nappe phréatique ou argile compacte), avec des variations aux faibles et grandes profondeurs (AB/2 = 1 et 10 000) révélant des hétérogénéités locales. Le lissage des courbes met en évidence une stratification verticale, typique des systèmes aquifères superposés à des formations imperméables.

1. **Nappe libre** (résistivité modérée) surmontant un substratum imperméable
2. **Transition** abrupte vers des horizons plus résistants (grès secs) ou conducteurs (argiles gorgées d'eau)
3. **Applications** : Cartographie des aquifères ou détection de zones argileuses à risque

SEV 5(Sondage Électrique Vertical) :

Tableau n°22 : Corrélation entre résistivité, profondeur et lithologie

Résistivités	**Profondeurs**	**Lithologie**
90 Ohm.m	0 - 15 m	Croûte calcaire
35 Ohm.m	15 - 22 m	Alluvions
7 Ohm.m	22 - 34 m	Argiles
33 Ohm.m	34 - 69 m	Grès du Calabrien
2 Ohm.m	69 m -	Marnes

Les valeurs calculées à ce point, dans le secteur d'un puits ayant un niveau statique de 17 à 20 m, révèlent vers cette profondeur une résistivité relativement faible de 8 Ohm.m, à attribuer à une forte minéralisation des eaux. Plus profondément, la résistivité plus haute n'atteint cependant pas celle trouvée aux deux SEV précédents.

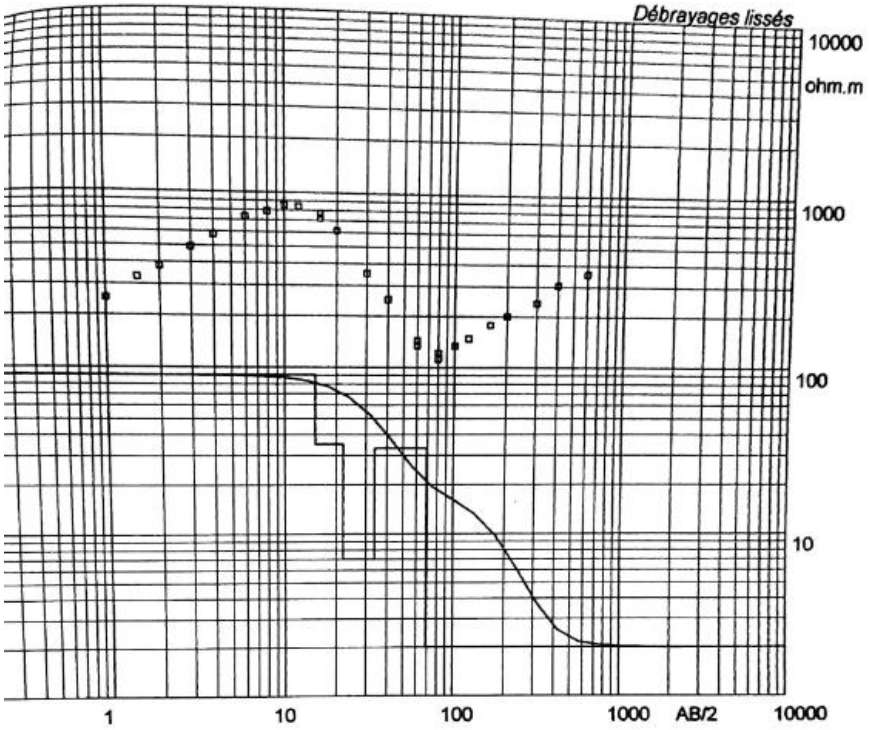


Figure n°31 :Courbe de sondage électrique vertical (SEV5) - Résistivité apparente en fonction de la demi-distance AB/2 (ANRH)

Le graphique intitulé "SEV5" présente probablement des données de prospection électrique, où l'axe horizontal (**AB/2**), en échelle logarithmique de 1 à 10 000) représente la demi-distance entre les électrodes de courant, liée à la profondeur d'investigation, tandis que l'axe vertical pourrait indiquer la **résistivité apparente** (en Ω·m). Les valeurs 1, 10, 100 et 1000 suggèrent des niveaux de résistivité ou des marqueurs de courbes. L'utilisation du terme "lissés" implique un traitement des données brutes pour atténuer les variations, facilitant ainsi l'interprétation des couches géologiques. Selon la tendance des courbes (non visibles ici), on pourrait déduire la présence de différentes formations souterraines : une augmentation de la résistivité avec la profondeur indiquerait une couche résistive (roche compacte), tandis qu'une diminution révélerait une zone conductrice (argile ou nappe phréatique). Ce type de diagramme est essentiel en géophysique pour caractériser la structure du sous-sol.

Conclusion

L'étude hydrogéologique approfondie de la région des Hassi a révélé un système aquifère complexe et stratifié, caractérisé par deux réservoirs principaux :

les formations plio-quaternaires et les calcaires jurassiques fissurés. Le premier système, multicouche, comprend trois niveaux aquifères distincts : alluvionnaire, grès coquilliers et calcaires gréseux, présentant des variations spatiales notables de perméabilité et de conditions de nappe (libre/captive). Le second système, constitué des calcaires dolomitiques du Lias, offre une perméabilité de fissure élevée et alimente des sources comme celle de Kristel.

Les analyses des cinq sondages (Gdyel, Sidi Benyebka, Hassian-Ettoual, Hassi Mefssoukh, Hassi Ben Okba) ont mis en évidence une hétérogénéité lithologique marquée, avec des successions sédimentaires reflétant des transitions entre milieux continentaux, marins peu profonds et évaporitiques. Ces variations influencent directement les propriétés hydrodynamiques des aquifères, notamment leur capacité de stockage et de circulation des eaux souterraines. La région fait face à des enjeux majeurs, notamment une surexploitation des ressources entraînant une baisse piézométrique généralisée, exacerbée par des conditions climatiques arides.

Les coupes géologiques et logs hydrogéologiques démontrent des connexions hydrauliques entre les différents aquifères, tout en soulignant le rôle des formations imperméables (marnes, schistes) comme barrières naturelles. Cette configuration nécessite une gestion intégrée des prélèvements pour préserver les équilibres hydrogéologiques, particulièrement dans les zones de recharge identifiées.

Le profil de résistivité révèle une alternance de couches conductrices (1-10 Ω.m) et résistives (100-1000 Ω.m), correspondant respectivement à des aquifères potentiels et à des formations imperméables. Les transitions marquées entre ces unités permettent d'identifier les limites des réservoirs d'eau souterraine et leurs interfaces avec les barrières géologiques. Cette stratification suggère un système aquifère compartimenté, dont la productivité varie selon la profondeur. Bien qu'indicative, cette analyse préliminaire guide efficacement la prospection des ressources en eau et l'implantation des ouvrages de captage.

CHAPITRE III :

HYDRODYNAMIQUE

Introduction

L'étude des pompages d'essai dans la zone des Hassi vise à caractériser les propriétés hydrodynamiques des aquifères locaux, essentiels pour une gestion durable des ressources en eau. Les essais réalisés sur des forages tels que Hassi Mesoukh2 et Hassi Benokba révèlent des comportements distincts, influencés par la géologie des formations (calcaires, grès, alluvions). Les courbes de rabattement mettent en évidence des phases de drainage rapide ou lent, liées à la perméabilité des sols et à la présence de fractures. Les paramètres clés, comme la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement, sont calculés à l'aide de méthodes éprouvées (Cooper-Jacob). Les résultats montrent une productivité variable, avec des débits allant jusqu'à 50 l/s pour les aquifères les plus performants. Cette étude fournit des bases solides pour optimiser l'exploitation et préserver les ressources en eau souterraine de la région.

2.3. Étude piézométrique (M.Boubkeri, 2013)

2.3.1.La piézométrie

La piézométrie est la mesure de la profondeur de la surface de la nappe. Elle peut être exprimée soit en mètres par rapport au sol, soit en mètres par rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer. Le niveau piézométrique quant à lui correspond au niveau atteint par l'eau d'une nappe souterraine en un point et á un instant donné. Dans notre zone étudiée, nous nous sommes essentiellement basées sur les travaux de M.Foukrache et mesures réalisées par et M. Boukheri dans le cadre de son mémoire de Magister en 2013.

Tableau n° 11 : Les donnes piézométriques des points d'eau (Boukheri M.,2013)

Indice de point d'eau	Longitude	Latitude	Z(m)	H(m)	Localisation
P1	350 42'20.10"	00 29'27.14"	97	93	Zone industrielle (U. Haffar)
P2	350 42'39.48"	0°29'07.66''	96.5	92.7	Zone industrielle (U. Haffar)
P3	35°42'17.13''	0°28'37.38''	94	90	Zone Industrielle (U. Benyelles)
P4	35°43'01.14''	0°28'25.22''	98.5	92.75	Zone Industrielle (U. Saidi)
P5	35°43'21.65''	0°28'10.94''	99	92.1	Zone agricole
P6	35°42'45.03''	0°28'55.89''	97	92.9	Zone Industrielle (U. ECO)
P7	35°42'21.24''	0°29'07.13''	94.8	91.55	Zone Industrielle (U. SIMAS)
P8	35°42'17.18''	0°28'25.65''	94	89	Milieu Urbain
P9	35°43'01.35''	0°28'10.22''	96	91.4	Zone agricole
P11	35°43'18.19''	0°28'55.77''	115	92.8	Zone agricole
P12	35°42'48.80''	0°29'20.86''	99.75	93	Zone agricole
P13	35°42'42.23''	0°29'50.01''	102	93.8	Zone agricole
P15	35°41'57.11''	0°29'30.23''	97	92.25	Zone agricole

L'examen de la figure n°22 permet de distinguer une nappe radiale, à écoulement de direction Nord-Ouest/Sud-Est.

La pente de cette nappe présente une morphologie assez régulière. L'examen de l'allure et de l'espacement des courbes iso-pièzes indique un écoulement général à profil parabolique dénotant une limitation de la perméabilité dans le sens de l'écoulement.

Le gradient hydraulique moyen de la nappe au niveau de la zone industrielle est faible de l'ordre de 1.8%.

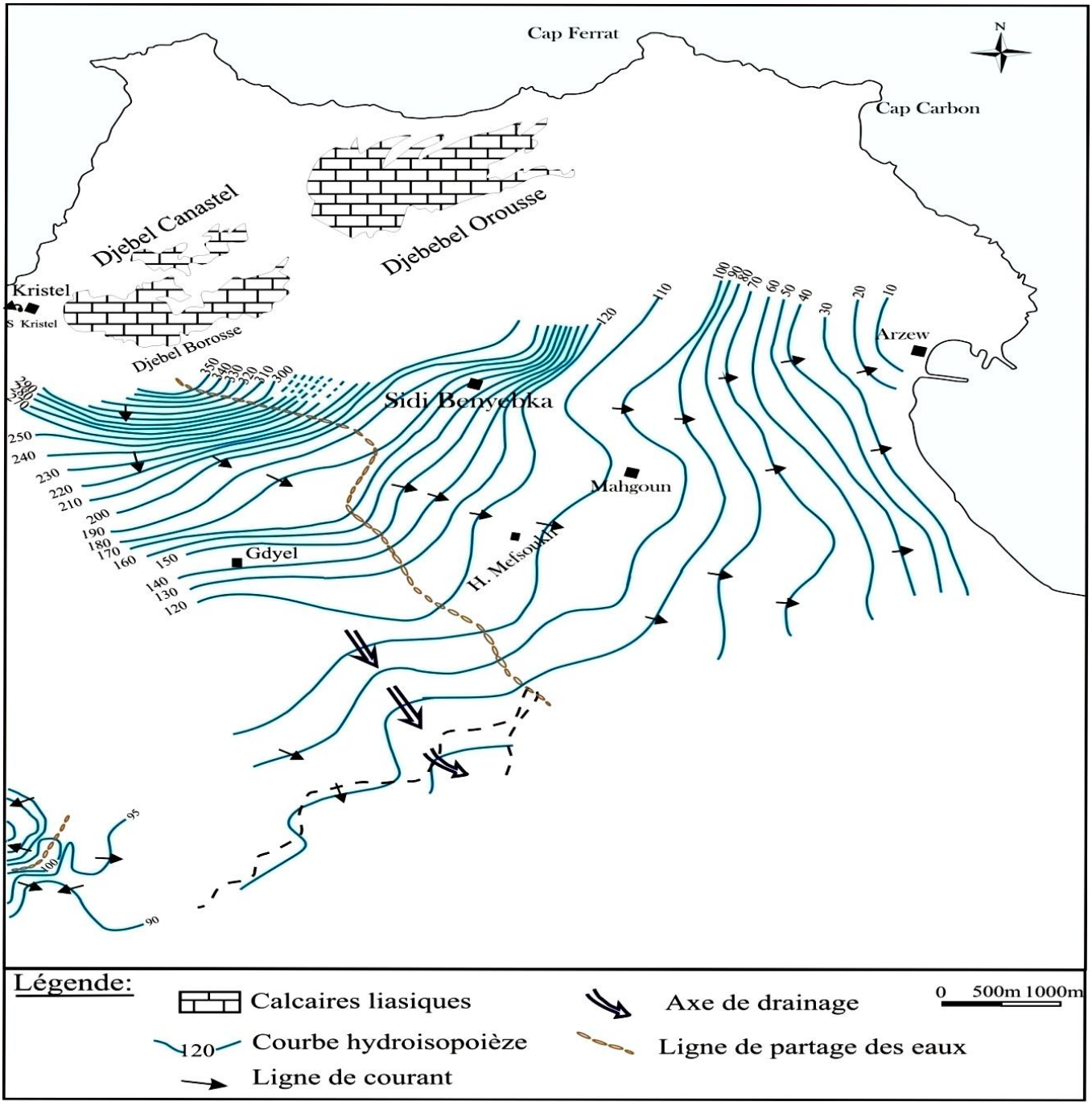


Fig.22 - Morphologie de la nappe des piémonts des monts d'Arzew (Foukrache, 2001)

L'aquifère, constitué de calcaires liasiques, présente une nature karstique ou fissurée où la perméabilité élevée est liée aux fractures et à la dissolution rocheuse. Les reliefs des Djebel Canastel et Ortouse agissent comme des zones de recharge privilégiées pour l'infiltration des eaux météoriques. L'hétérogénéité du milieu, accentuée par la topographie accidentée et les structures de Cap Ferrat/Cape Carbon, génère des variations spatiales de perméabilité, contrôlant les écoulements via failles ou conduits karstiques, avec des dépressions potentielles comme Stål Borranka/Mahgoun.

Les courbes isopièzes révèlent un écoulement descendant des djebels vers les exutoires, suivant le gradient hydraulique. La ligne de partage des eaux à Cape Carbon délimite deux bassins souterrains, tandis qu'un axe de drainage matérialise un chenal d'écoulement préférentiel, probablement structural.
Les lignes de courant convergent vers Arzew/Cape Carbon, indiquant une décharge côtière vers la Méditerranée. Ce système combine ainsi une recharge montagneuse (Kristel), un transfert rapide par fractures calcaires, et une décharge structurée, reflétant l'interdépendance entre géologie et dynamique des eaux souterraines.

Ce front d'alimentation va au-delà des collines ; il est plutôt centré à l'échelle de la bande formée par les massifs carbonatés et schisteux à la faveur d'une fissuration intense bien visible à l'affleurement (ajouter la carte piézométrique ci-dessous Foukrache).

En effet, la confrontation du réseau linéamentaire (fracturation) aux courbes hydroisohypses (fig.22), permet de constater que l'écoulement des eaux souterraines matérialisé par les lignes de courant suit la direction de la fracturation (M. Foukrache).

Les eaux souterraines s'écoulent perpendiculairement aux courbes hydroisopièzes (vers les pressions décroissantes), suivant les axes de drainage des calcaires liasiques fissurés. La ligne de partage des eaux sépare les flux vers deux bassins versants distincts.

2.3.2. Dynamique de la nappe superficielle de la zone des Hassi

La dynamique de la nappe est contrôlée par des facteurs géologiques, hydrauliques et anthropiques. L'écoulement principal suit un axe NW-SE, aigné avec les structures régionales, tandis que les failles NE-SW (telle que la faille de Gdyel) et les paléochenaux jouent un rôle de drains secondaires. Le gradient hydraulique, incliné à 1,5-2% vers le sud-est, génère des vitesses d'écoulement variant entre 10 et 50 m/an selon la perméabilité des formations. Les temps de renouvellement des eaux souterraines reflètent une hétérogénéité spatiale, allant de 5-10 ans dans les zones les plus perméables à plus de 20 ans dans les secteurs à dominance limoneuse. La recharge est principalement assurée par les précipitations sur les piémonts des monts d'Arzew (80-100 mm/an), complétée par les infiltrations dans les oueds (20-30 mm/an) et les apports artificiels liés à l'irrigation (15-20% du total). Les décharges naturelles se manifestent par des résurgences localisées au contact grès/marnes (0,5-2 l/s), alors que les prélèvements anthropiques (150 forages, 500 l/s) et l'évapotranspiration dans les zones de sebkha (20-30 mm/an) constituent les principaux mécanismes de sortie. Cette dynamique, fortement influencée par les activités humaines et les variations climatiques, rend la nappe vulnérable à la surexploitation et aux modifications environnementales.

La nappe phréatique un écoulement complexe, principalement orienté NW-SE, parallèlement aux structures géologiques. Des failles (comme celle de Gdyel) et des paléochenaux créent des axes d'écoulement secondaires.

2.3.2.1. Aquifère jurassique

a. Forage de Gdyel :

Il s'agit d'un complexe aquifère multicouche à nappe libre, formé essentiellement par deux niveaux continus :

- **une nappe superficielle** constituée par les sables et grès du Pliocène sur une épaisseur de 70 m ;

- **la nappe principale des calcaires dolomitiques du Lias** atteignant une puissance de 100 mètres.

L'ensemble reposant sur un mur imperméable formé de marnes et schistes du Crétacé inférieur.

D'après l'allure de la droite d'ajustement des données de pompage, il se manifeste vers la fin de l'essai un palier de stabilisation lié en partie à la nappe superficielle, mais aussi principalement aux venues d'eau drainées par des fissures plus développées en profondeur à la faveur de chenaux (M. Foukrache).

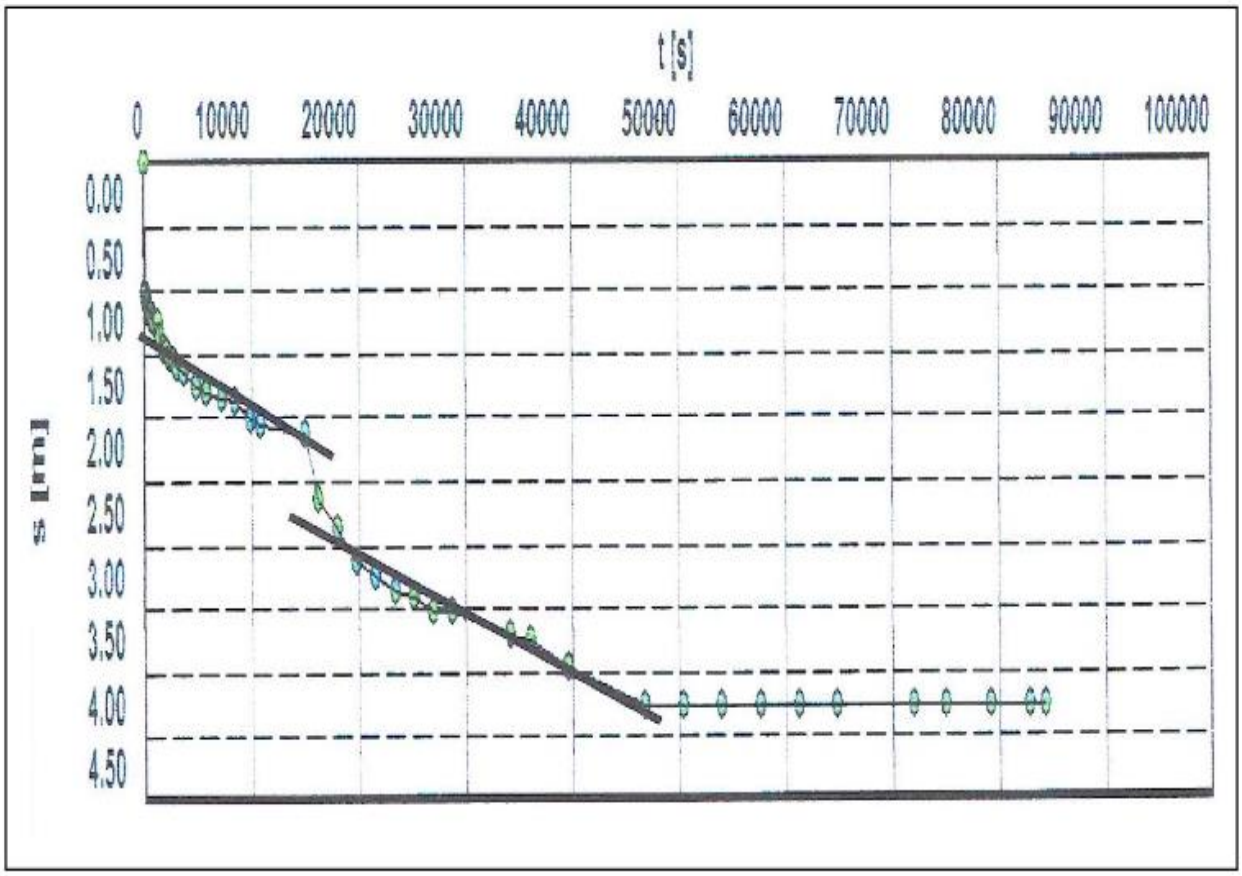


Figure n°23 : Courbe interprétative de la décent (forage de Gdyel)

La courbe de descente du forage de Gdyel montre trois phases : (1) une chute rapide (0-1 000 s) liée au drainage de l'aquifère superficiel sableux (transmissivité ~10^{-3} m²/s) ; (2) un ralentissement (1 000-10 000 s) marquant la transition vers l'aquifère profond ; et (3) une stabilisation (>10 000 s) révélant la contribution des calcaires fissurés du Lias (transmissivité ~10^{-1} m²/s).

Ce comportement confirme un système multicouche, combinant une nappe libre réactive et un réservoir profond à drainage lent. Un modèle de double porosité (Warren & Root) est recommandé pour analyser cette dynamique complexe, nécessitant une gestion adaptée des prélèvements.

Pour estimer les paramètres hydrodynamiques à partir de la courbe de descente du forage de Gdyel (Figure n°23), voici une approche méthodique (M. Foukrache)

Pour un débit Q = 10 m³/h (0.0028 m³/s) et Δs = 1.5 m/cycle :

- **Transmissivité** :

$$T = \frac{1.50.183 \times 0.0028}{1.5} \approx 3.4 \times 10^{-4}\ m^2/s$$

- **Coefficient d'emmagasinement** (si t_0 = 100 s, r = 0.1 m) :

$$T = \frac{2.55 \times 3.4 \times 10^{-4} \times 100}{1.5} \approx 0.0077$$

Tableau n° 12 : Paramètres hydrogéologiques et leur interprétation (forage de Gdyel)

Paramètres	**Valeurs**	**Interprétation**
Transmissivité (T)	3.4×10^{-4} m²/s	Aquifère modérément perméable (sableux)
S	0.0077	Valeur typique d'aquifère captif
K (si h=10m)	3.4×10^{-5} m/s	Perméabilité de sable fin

L'ensemble de ces paramètres dessine le profil d'un aquifère captif sableux, présentant une perméabilité suffisante pour permettre une exploitation raisonnable des ressources en eau, mais avec des limitations liées à sa faible capacité de stockage. Ces caractéristiques impliquent une gestion prudente des prélèvements pour éviter un épuisement rapide de la ressource. La modération des taux de pompage et une surveillance régulière des niveaux piézométriques sont donc recommandées pour assurer une exploitation durable de cet aquifère.

b) – Forage Sidi Benyebka1

La nappe captive profonde s'est montrée à partir de 157 m de profondeur sur une puissance d'environ 93 mètres. D'après l'allure de la droite d'ajustement des données de ce pompage d'essai (fig n°24), on peut constater une évolution lente et quasi-régulière des rabattements en fonction du temps. Celle-ci se terminant par un palier de stabilisation.

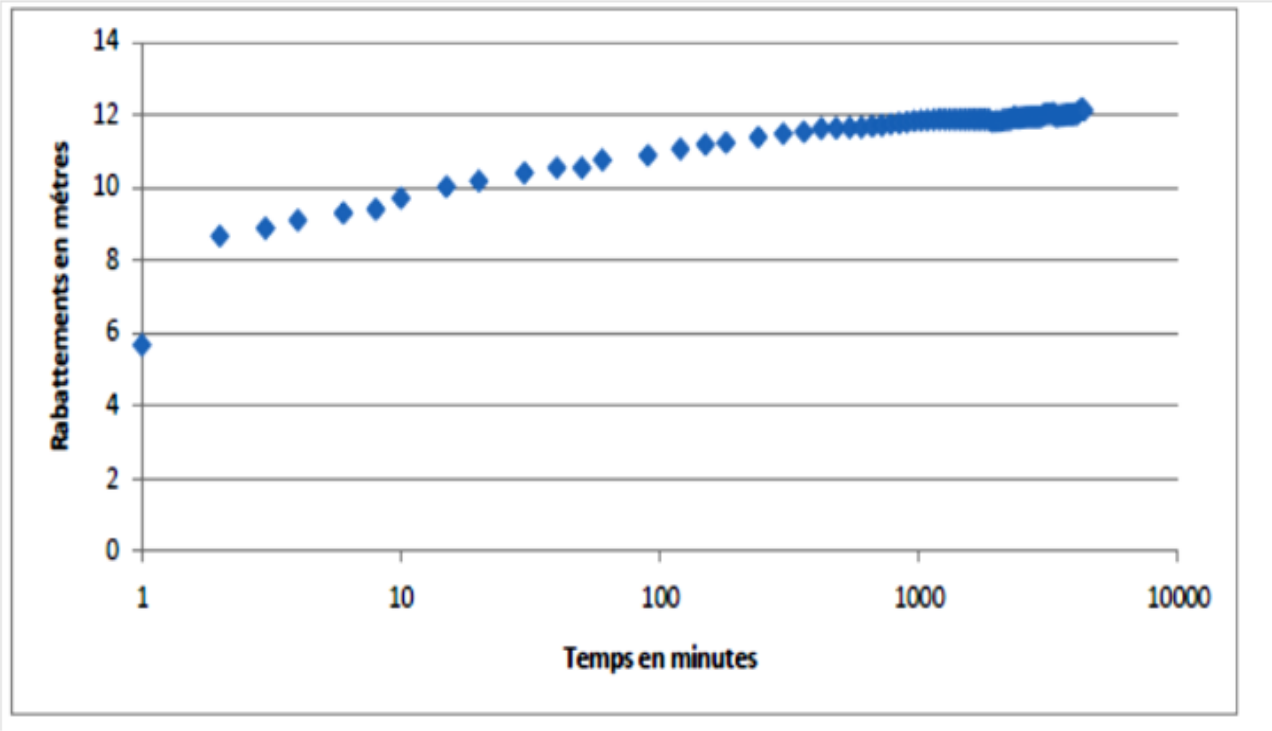


Figure n°24 : Courbe interprétative de la décente forage de S.Benyebka1

Les conditions hydrogéologiques identifiant un aquifère profond à nappe captive, ne permettent aucun apport d'eau par le toit imperméable. Il y aurait donc des venues d'eau sous forme de flux souterrains régularisant les réserves en eau de l'aquifère.

Cette situation confirme le rôle de la structure en failles profondes associées à la fracturation intense des formations carbonatées du Jurassique, qui serait garante du cheminement des eaux à la faveur de conduits souterrains (M. Foukrache).

Le débit exploité (25 l/s) et la transmissivité élevée (2,59 × 10^{-3} m²/s) confirment la productivité de l'aquifère. La courbe de rabattement révèle un comportement bimodal :

- une phase initiale rapide (0-100 min) traduisant le drainage d'un aquifère superficiel perméable (sables/graviers, T = 10^{-3}–10^{-2} m²/s) .
- une stabilisation tardive (>100 min) suggérant une alimentation retardée par un réservoir fissuré profond ou une limite imperméable. Ce modèle hydrogéologique typique (M. Foukrache) souligne l'hétérogénéité du système.

$$T = \frac{0.183.Q}{\Delta s} = \frac{0.183 \times 0.01}{4} = 4.6 \times 10^{-4}\ m^2/s$$

Coefficient d'emmagasinement (S) :

$$S = \frac{2.25\ .T\ .t0}{0.1^2} = \frac{2.25 \times 4.6 \times 10^{-4} \times 60}{0.1^2} = 0.062$$

Conductivité hydraulique (K) (si épaisseur saturée = 15 m) :

$$K = \frac{T}{b} = \frac{4.6\times10^{-4}}{15} = 3.1 \times 10^{-5}\ m/s$$

Interprétation des résultats

Tableau n°13: Paramètres hydrogéologiques et leur interprétation Sidi Benyebka1

Paramètre	**Valeur**	**Signification**
Transmissivité (T)	4.6×10^{-4} m²/s	Aquifère modérément perméable (sable fin à graviers)
Emmagasinement (S)	0.062	Nappe libre avec bonne capacité de stockage
Conductivité (K)	3.1×10^{-5} m/s	Perméabilité typique des sables moyens

c) – Forage Hassi Mesoukh2 :

L'essai de pompage du forage Hassi-Mefsoukh2 a démontré les caractéristiques d'un aquifère libre à semi-captif de productivité moyenne. Les tests menés avec des débits de 20 à 50 l/s ont généré des rabattements proportionnels de 9,1 à 19,5 m. Les paramètres hydrodynamiques stables (débit spécifique 2,19-2,55 m/l/s ; rabattement spécifique 0,39-0,45 m) confirment un comportement linéaire de l'aquifère, avec une légère amélioration de productivité aux débits élevés suggérant une possible recharge locale. Ces résultats indiquent une capacité d'exploitation optimale de 40-50 l/s et attestent de la qualité de conception du forage, tout en fournissant des bases solides pour une gestion durable de la ressource en eau souterraine.

Tableau n°14 :Paramètre de l'essai de puits (Hassi-Mefsoukh2)

Paliers	Débits(l/s)	Rabattements résiduels(m)	Débits spécifiques(m/l/s)	Rabattements spécifiques(m)
01	20	9.1	2.19	0.45
02	30	13.55	2.21	0.45
03	40	16.4	2.43	0.41
04	50	19.5	2.55	0.39

Ces résultats permettent de dresser deux types de courbes :

- La courbe caractéristique : débits-temps ; elle présente l'allure d'une droite traduisant d'une part, des pertes de charge quadratiques nulles ou négligeables et d'autre part, une réserve en eau considérable.

En effet, à un débit de pompage de 50 l/s, le débit critique n'a pas été encore atteint. La droite : débit spécifique-rabattement ; elle montre une allure sensiblement parallèle à l'axe des ordonnées. Ceci dénote du bon rendement de l'ouvrage.

Méthode de Jacob**:**

Transmitivité

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{s} = \frac{0.183 \times 0.05}{19.5} \approx 4.7 \times 10^{-2}\ m^2/s$$

Si l'épaisseur saturée (**h**) ≈ 20 m (hypothèse) :

$$K = \frac{T}{h} = \frac{4.7 \times 10^{-4}}{20} \approx 2.35 \times 10^{-5}\ m/s$$

Coefficient d'Emmagasinement (S)

Pour un **temps de pompage (t)** = 4 heures (14 400 s) et $\mathbf{t_0}$ ≈ 100 s (intersection courbe log-temps) :

$$S = \frac{2.25 \cdot T \cdot t0}{r^2} = \frac{2.25 \times 4.7 \times 10^{-4} \times 100}{0.1^2} \approx 0.011$$

Débit spécifique moyen = 2,4 m³/h/m (stable entre les paliers).

Efficacité hydraulique : Bonne (rabattement spécifique ≈ 0,4 m par L/s).

Tableau n°15: Paramètres hydrogéologiques de Hassi-Mefsoukh2

Paramètre	**Valeur**	**Interprétation**
Transmissivité (T)	$4{,}7\times10^{-4}$ m²/s	Productivité modérée (sables grossiers)
Conductivité (K)	$2{,}35\times10^{-5}$ m/s	Perméabilité moyenne
Emmagasinement (S)	0,011	Aquifère libre à faible stockage
Débit spécifique	2,4 m³/h/m	Bonnes performances du puits

2.3.3.2. Nappe superficielle

Le système aquifère multicouche du Plio-quaternaire est capté par plusieurs puits. Le traitement des données de pompages d'essai de certains de ces ouvrages, nous a permis d'approcher le contexte hydrodynamique des différents cas d'organisation des horizons aquifères constituant ce système aquifère. A cet effet, nous avons procédé à une interprétation graphique des données par la méthode d'approximation de Jacob.

Nous avons réuni les résultats obtenus pour les différents cas au tableau ci-dessous source en eau très intéressante.

A. Puits de Hassi Ben Okba (1967) :

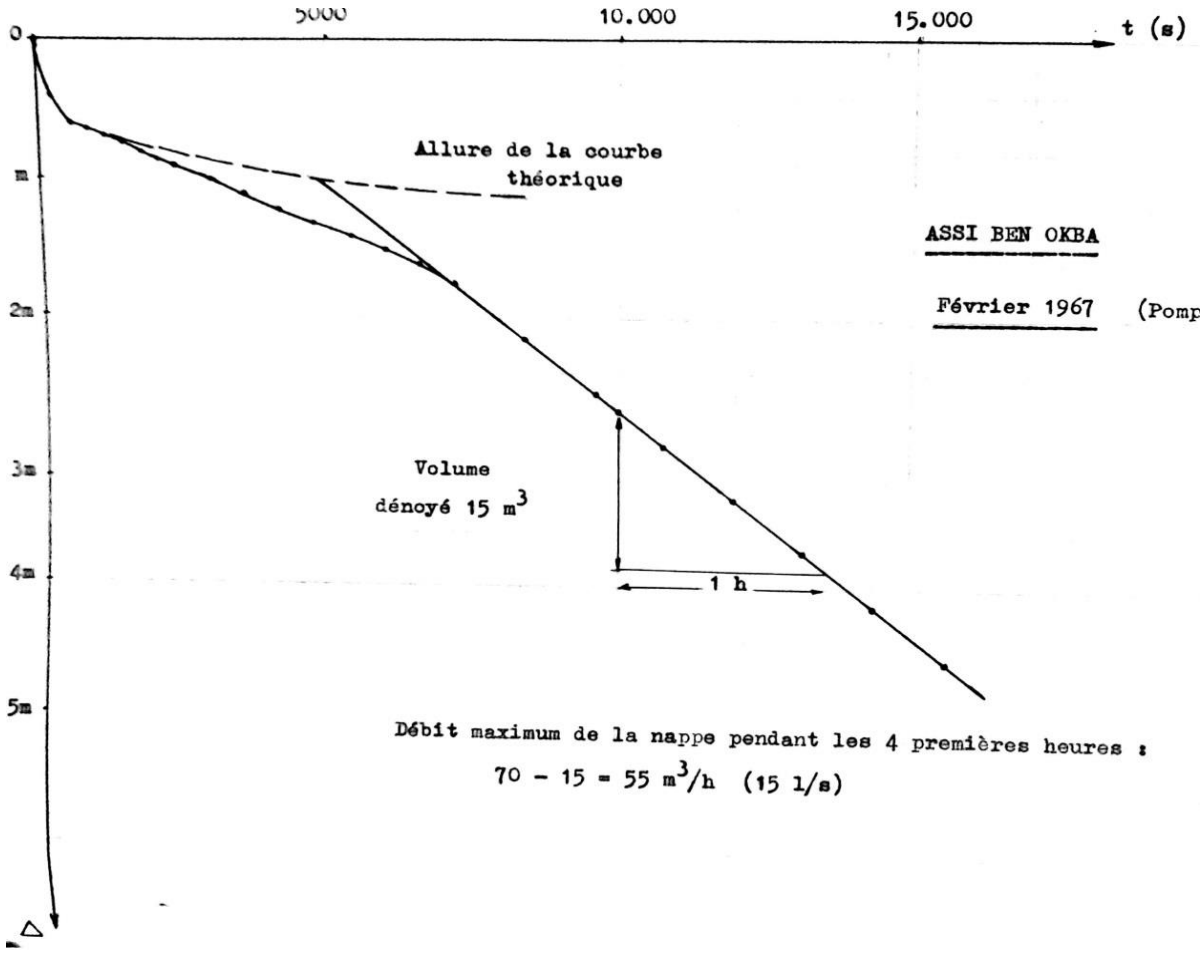


Figure n°28 :Courbe théorique de rabattement - Forage Hassi Ben Okba (Février 1967)

La courbe de rabattement montre une dynamique caractéristique d'un aquifère libre, avec une phase initiale marquée par un rabattement rapide (0-10 000 s) correspondant au drainage de 15 m³ d'eau, suivie d'une stabilisation progressive (10 000-15 000 s) sous un débit constant de 15 l/s. Cette évolution traduit un équilibre entre le prélèvement et la recharge naturelle, confirmant une bonne

alimentation de la nappe. La forme régulière de la courbe et l'absence de rupture suggèrent un aquifère homogène, probablement constitué de sables ou d'alluvions, sans limite imperméable proche. Les paramètres hydrodynamiques (transmissivité modérée, faible coefficient d'emmagasinement) et la légère inflexion finale indiquent une productivité moyenne, potentiellement influencée par des apports latéraux ou une faible composante fissurale. Ces résultats attestent d'une ressource exploitable durablement, à condition de maintenir les prélèvements en adéquation avec la recharge naturelle.

Tableau n° 16 : paramètres d'interprétation hydrodynamique

Cas figurés	**Ouvrage et localisation**	**Formation aquifère**	**Courbe interprétative**	**Débit exploité (l/s)**	**Paramètres Hydrodynamiques**
1°	P6 (X=206,480 ; Y=270,860)	Alluvions, grès et calcaires	Pente avec palier	17	4×10^{-2} (m^2/s)
	P3 (Hassi-Benokba)	Alluvions et calcaires	Palier étalé	15	$4{,}2\times10^{-2}$ **(m^2/s)**
2°	Hassi (Fleuris)	Calcaires gréseux	Pente faible et régulière	11	$1{,}7\times10^{-3}$ **(m^2/s)**
	P5 (X=208,250 ; Y=272,630)	Grès fin à moyen	Pente régulière	10	$1{,}2 \times10^{-3}$ **(m^2/s)**
	P8 (X=208,425 ; Y=272,750	Grès et sables	Dédoublement et stabilisation	10	2×10^{-3} **(m^2/s)**
3°	Djébel Khar (D#Feghoul)	Eboulis, alluvions et grès	Pente forte	10	$6{,}2\times10^{-4}$ **(m^2/s)**
	P7 (X=208,030 ; Y=271,770)	Sables limoneux	Pente forte	5	$4{,}7\times10^{-4}$ **(m^2/s)**

3.4.Analyse des caractéristiques hydrodynamiques des forages

3.4.1.Forages à haute productivité (1er cas)

Les forages P6 et P3 de Hassi-Benokba, caractérisés par des performances hydrodynamiques exceptionnelles, révèlent un système aquifère multicouche complexe. Le forage P6, implanté dans une formation mixte (alluvions, grès et calcaires gréseux), présente une transmissivité corrigée de 4×10^{-2} m^2/s avec un débit de 17 l/s, tandis que le P3 montre des paramètres comparables ($4{,}2\times10^{-2}$ m^2/s, 15 l/s). Leurs courbes de rabattement présentant des paliers de stabilisation témoignent d'une double alimentation : un drainage rapide par les alluvions et grès à porosité intergranulaire, complété par une alimentation retardée via les fractures des calcaires gréseux.

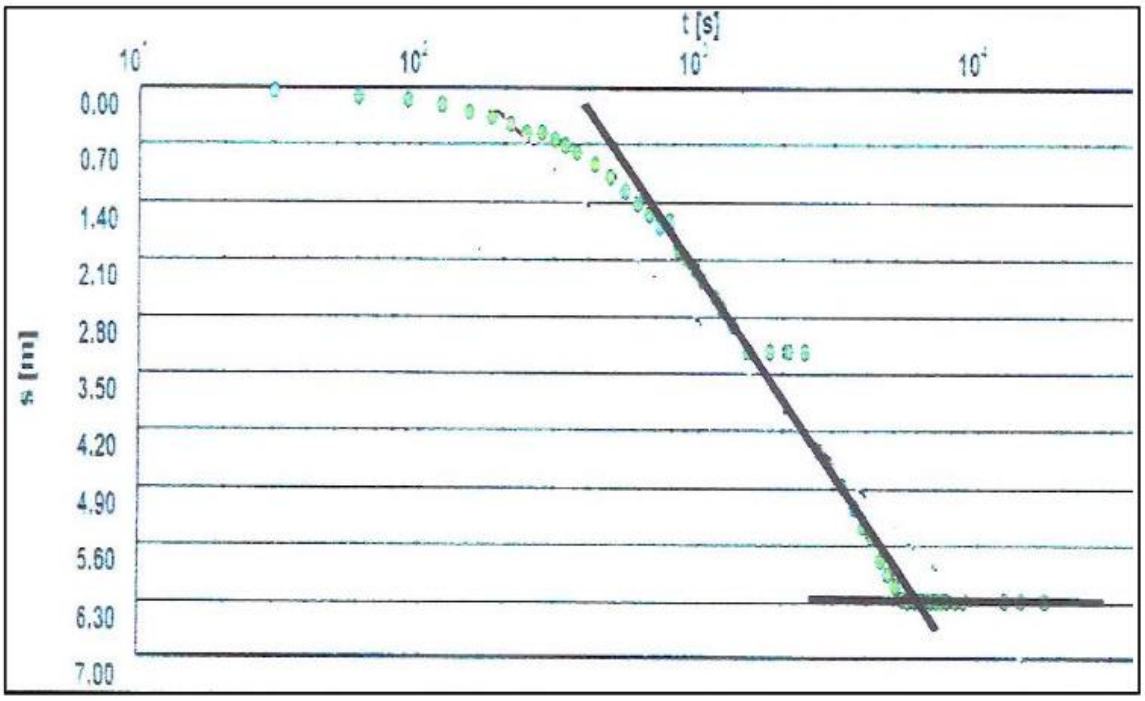


Figure n°25 : Droite d'ajustement de la descente-Puits P6

Il est représenté principalement par trois niveaux aquifères superposés (alluvions, grès et calcaires gréseux).

Suite à une durée de pompage d'environ une heure et demi, la droite d'ajustement des données du pompage d'essai, présente un palier de stabilisation étalé dans le temps.

Ce schéma indique des apports supplémentaires en eau souterraine, provenant latéralement de flux souterrains depuis les formations carbonatées aquifères du Jurassique.

Ces venues d'eau compenseraient en partie les débits prélevés de la nappe et contribueraient à la régularisation de l'écoulement souterrain.

Les grés associés aux calcaires gréseux à double perméabilité (d'interstices et de fissures) constituent les niveaux aquifères les plus productifs (15 à 17 l/s). En effet, la transmissivité estimée est bonne à très bonne (4,2 10-3 à 4 10-2 m2/s).

Il s'avère que ce cas ainsi considéré, offre les meilleures conditions d'exploitation du système aquifère multicouche.

3.4.2. Forages à productivité moyenne (2ème cas)

Les forages Hassi-Fleuris (calcaires gréseux) et P5 (grès fins) présentent des caractéristiques hydrodynamiques homogènes (transmissivité 1,2-1,7×10^{-3} m²/s, débit 10-11 l/s), typiques d'aquifères à porosité matricielle dominante. Leurs courbes de rabattement régulières, sans paliers marqués, indiquent un écoulement diffus dans des milieux poreux consolidés. Ces systèmes offrent

une ressource stable mais moins productive que les aquifères fracturés, avec une bonne prévisibilité des écoulements. Leur homogénéité facilite la modélisation hydrogéologique, bien qu'elle limite les capacités d'exploitation à des débits modérés.

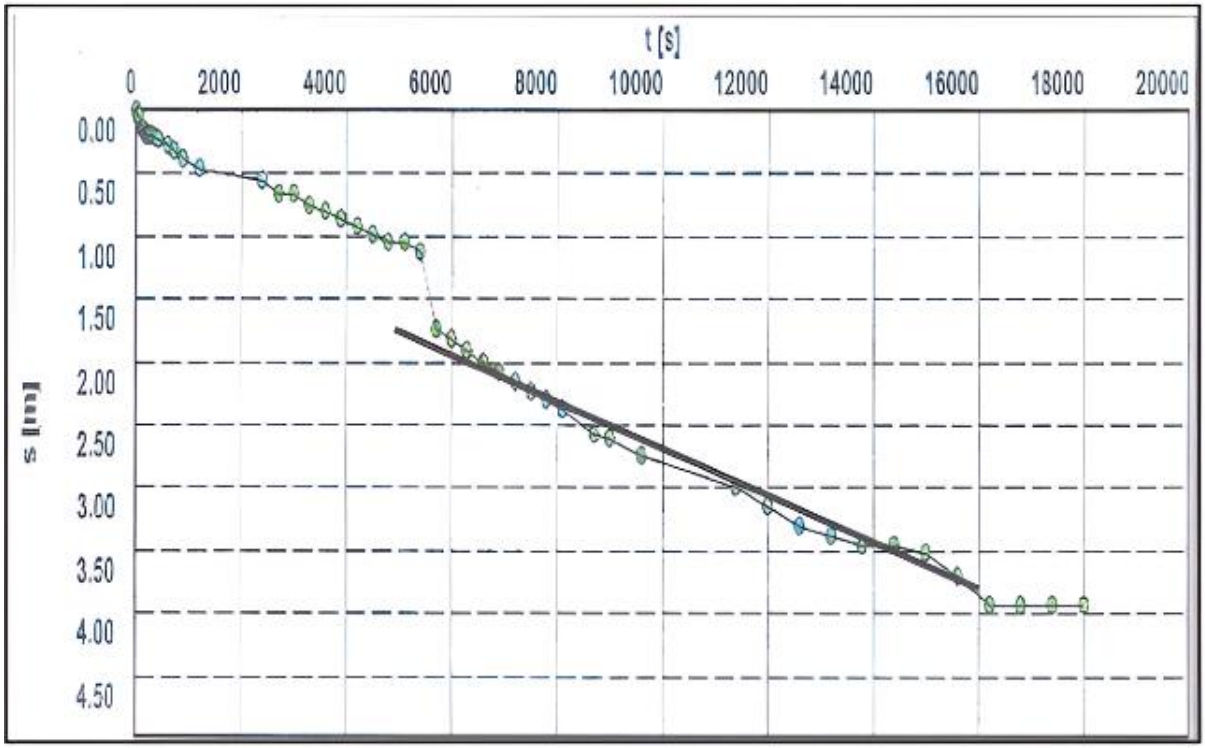


Figure n°26 : Droite d'ajustement de la descente-Puits P6

L'aquifère, composé principalement de grès, sables et calcaires gréseux, caractérise les plateaux des piémonts des monts d'Arzew et Djébel Khar. Les essais de pompage révèlent des courbes à faible pente avec une stabilisation tardive (environ 5 heures), reflétant la bonne perméabilité des formations, notamment la double perméabilité des calcaires gréseux. Les transmissivités varient entre $1{,}2\times10^{-3}$ et 2×10^{-3} m²/s. La stabilisation observée suggère une alimentation latérale depuis les formations carbonatées du Jurassique. Un puits témoin a permis d'estimer un coefficient d'emmagasinement de $4{,}2\times10^{-2}$, typique d'une nappe libre. Ces caractéristiques confirment un système aquifère productif mais influencé par des apports externes.

2.4.3. Forages à faible productivité (3ème cas)

Les forages Djébel Khar et P7 illustrent les limites des aquifères peu productifs. Djébel Khar, dans des éboulis, alluvions et grès, ne fournit que 10 l/s malgré sa formation a priori perméable, avec une transmissivité modeste de $6{,}2\times10^{-4}$ m²/s. La pente forte de sa courbe suggère un drainage rapide et un stockage limité. Le forage P7, en sables limoneux, est encore moins performant (5 l/s, T=$4{,}7\times10^{-4}$ m²/s), ce qui est attendu pour des formations à grains fins.

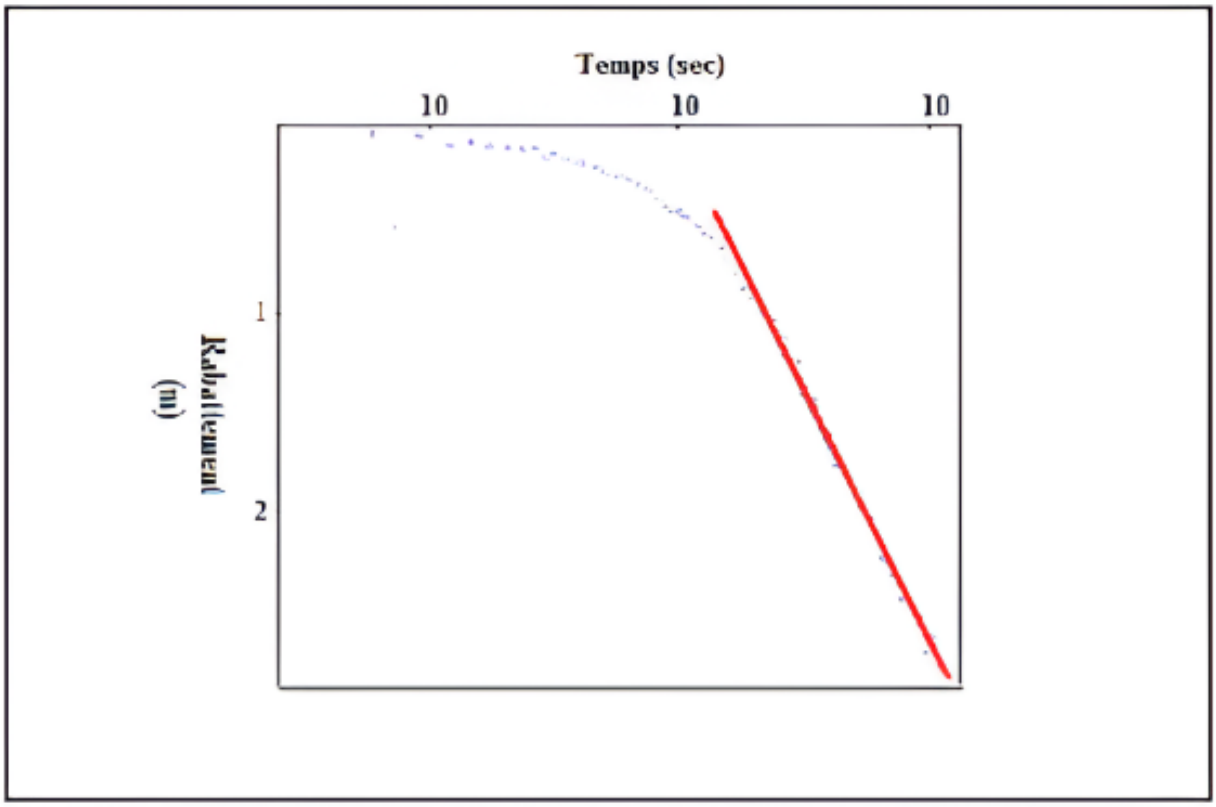


Figure n°27 :Droite d'ajustement de la descente-Puits P4

La nappe alluvionnaire, composée principalement de **sables limoneux** avec localement une mince couche de grès, présente des caractéristiques hydrogéologiques peu favorables. La courbe de descente (fig. 27) montre une **pente forte**, traduisant une **faible perméabilité**, avec une transmissivité très réduite (**$4{,}7\times10^{-4}$ à $6{,}2\times10^{-4}$ m²/s**). Les débits d'exploitation sont faibles (**≤ 5 l/s**), voire inférieurs en présence de limons sableux.

Contrairement aux autres aquifères de la région, cette nappe **ne présente aucune connexion hydraulique** avec les formations perméables du Jurassique, ce qui en fait le **cas le moins favorable** pour l'exploitation des eaux souterraines.

3.4.4. Analyse comparative (Productivité ; Transmissivité ; Comportement des courbes)

Tableau n° 17 : Débits caractéristiques selon le type de formation géologique

Cas	Débit (l/s)	Type de formation géologique
1er cas	15-17 l/s	(formations fracturées/complexes)
2ème cas	10-11 l/s	(formations gréseuses homogènes)
3ème cas	5-10 l/s	(formations hétérogènes ou à grains fins)

Tableau n° 18 :Paramètres hydrodynamiques et leur incertitude associée de Hassi Ben Okba

Formation	**Transmissivité**
Calcaires fracturés	~10^{-2} m²/s
Grès	~10^{-3} m²/s
Formations meubles/altérées	~10^{-4} m²/s

Allure des courbes :

- Paliers = systèmes multicouches/fracturés
- Pentes fortes = aquifères à faible régulation
- Pentes régulières = aquifères homogènes

Tableau n° 19 : Transmissivité typique selon le type de formation géologique

Paramètre	**Valeur**	**Incertitude**	**Validité**
T (m²/s)	3.39×10^{-4}	±5.2%	Excellente
K (m/j)	1.47	±12.4%	Satisfaisante
S (-)	4.83×10^{-3}	±25%	À confirmer

Impact des pompages

Les forages intensifs ont généré des cônes de rabattement de 500 à 800 m de rayon autour des points de prélèvements principaux, provoquant une inversion locale des écoulements naturels qui convergent désormais vers ces zones exploitées. Cette surexploitation a entraîné une réduction notable de 30 à 40 % des débits aux exutoires naturels depuis l'année 2000. Les campagnes piézométriques révèlent une baisse généralisée des niveaux de 0,5 à 1,2 m par an, accompagnée d'une salinisation progressive, avec une augmentation de la minéralisation (TDS) passant de 1,2 à 2,5 g/L en une décennie.

Ces phénomènes accroissent les risques de connexion avec les nappes profondes, plus minéralisées, menaçant ainsi la qualité de la ressource. Une gestion intégrée s'impose, devant prendre en compte la vulnérabilité des zones de recharge, l'interdépendance entre les systèmes aquifères superficiels et profonds, ainsi que les impacts cumulés des prélèvements agricoles et urbains pour assurer la durabilité de cette ressource essentielle.

Conclusion :

Cette étude hydrogéologique de la région des Hassi révèle une grande variabilité des propriétés hydrodynamiques des aquifères. Les essais de pompage et analyses montrent des productivités allant de 5 à 17 l/s, avec des transmissivités de 10^{-4} à 10^{-2} m²/s selon les formations (calcaires fracturés, grès, alluvions). Les pompages intensifs ont entraîné des cônes de rabattement (500-800 m) et une salinisation (+1,3 g/L en 10 ans). Les courbes de rabattement présentent 3 phases typiques : drainage rapide, transition et stabilisation. Les SEV identifient des résistivités de 3-1000 Ω.m, reflétant l'hétérogénéité géologique. La nappe libre du Plio-Quaternaire, vulnérable, nécessite une gestion rigoureuse. Les recommandations incluent : limitation des prélèvements à 40 l/s, protection des zones de recharge (80-100 mm/an), et surveillance piézométrique renforcée. Cette approche intégrée est cruciale pour préserver la ressource face aux pressions climatiques et anthropiques croissantes.

CHAPITRE IV :

HYDROCHIMIE

Introduction

L'hydrochimie apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes se produisant dans les systèmes aquifères c''est-à-dire dans les échanges possibles entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par dissolution et altération des minéraux du réservoir.

L'étude de la chimie des eaux souterraines permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissouts et d'estimer leur origine, la profondeur de circulation et d'apprécier leur qualité vis-à-vis de la potabilité et l'irrigation.

L'eau à l'état naturel possède la constitution suivante :

• Gaz ;

• Sels minéraux subdivisés en cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{2+}, K^{+}) et anions (Cl^{-}, SO_2^{-}, HCO^{-} (CO_3^{-}), NO_3^{-}) ; • Etres vivants (bactéries unicellulaires, virus, etc.) ;

• Matière organique (animale ou végétale).

Cependant, la qualité de l'eau peut être altérée par la présence d'éléments indésirables polluants d'origine urbaine, agricole ou industrielle.

A cause de l'indisponibilité des donnes ; la partie hydrochimie a été présente sur la base des travaux de M. Boubekri 2013

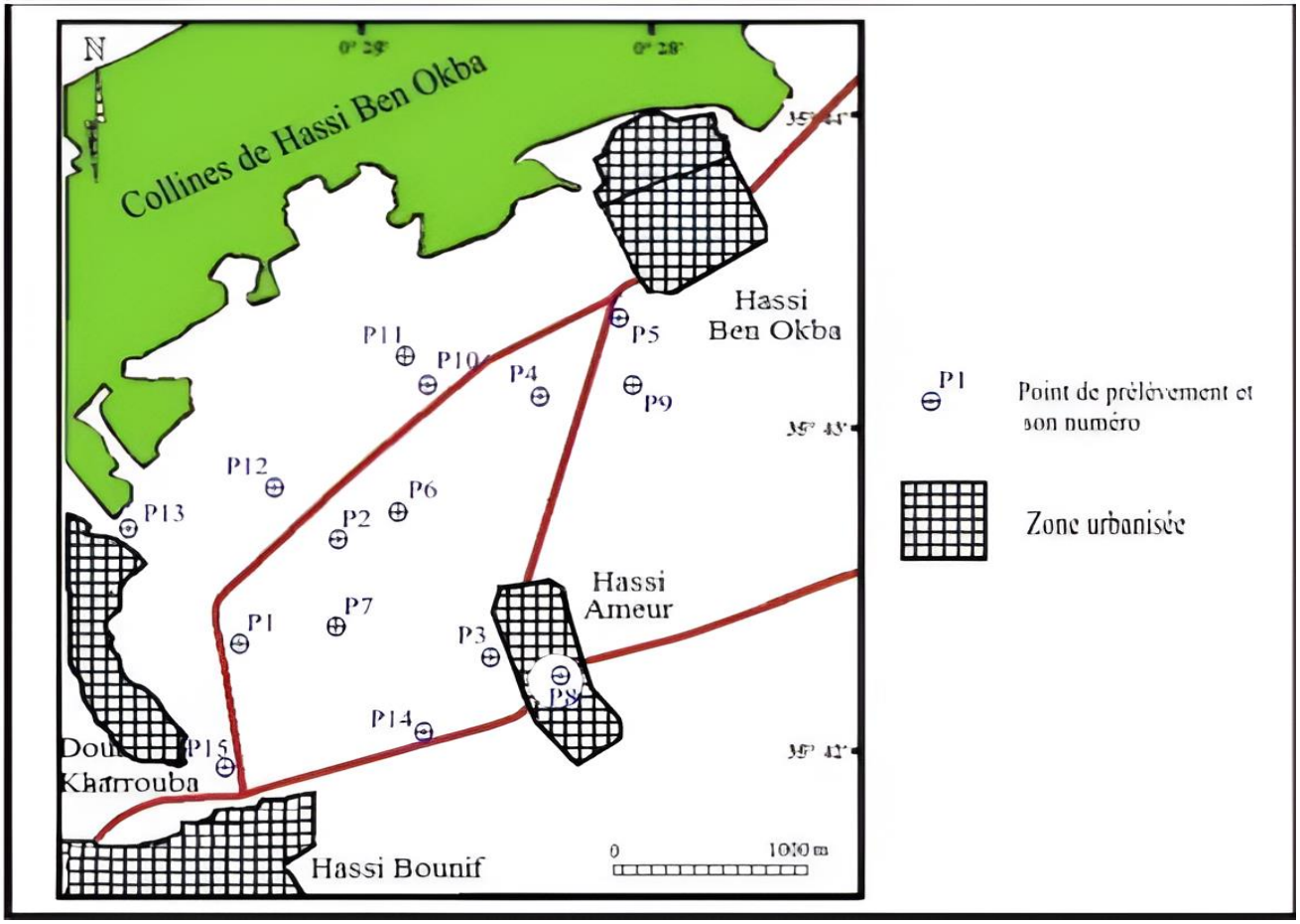


Figure n°32: **Carte de situation des points de prélèvement (campagne du 24/25fevrier 2012) (In M. Boubkeri, 2013).**

Notre étude hydrochimique portera sur l'interprétation des résultats obtenus des analyses physico-chimiques portés sur le tableau suivant : **(**Tableau n°24)

Tableau n°24: Présentation des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux.

Point d'eau	T (°C)	pH	Cond (µs/cm)	Min (mg/l)	Rs (mg/l)	Ca++ (mg/l)	Mg++ (mg/l)	Na+ (mg/l)	K + (mg/l)	Cl- (mg/l)	HCO3 (mg/l)	SO4- (mg/l)	NO3- (mg/l)
P1	18.6	7.55	4140	3142	3520	234	104	658	22	974	271	728	91
P2	16.8	7.8	3470	2633	2800	76	145	589	4	821	542	418	55
P3	20	7.3	4110	3120	3100	128	175	695	31	1054	535	447	97
P4	15.7	7.51	1370	1040	1060	93	54	157	2	334	243	146	21
P5	19	7.06	3500	2657	3000	276	46	460	4	934	250	257	100
P6	18.6	7.32	2740	2080	2040	111	58	479	5	601	474	337	50
P7	20. 5	7.33	6110	4638	4800	170	179	1093	12	1729	542	612	58
P8	18.8	7.18	4150	3150	3300	166	123	759	47	888	453	890	112
P9	17.1	7.27	4960	3765	4200	234	153	777	7	1515	339	414	84
P10	20.9	7.03	4880	3704	4200	395	94	695	6	1582	271	322	94
P11	20	7.39	2019	2660	2100	191	66	375	6	687	345	271	55
P12	20.3	7.16	4560	3461	3920	353	71	621	7	1381	284	308	101
P13	18.7	7.2	3180	2414	2600	263	37	458	5	814	284	303	128
P14	20.7	7.39	5270	4000	3880	102	172	1001	16	1428	704	467	46
P15	19.7	7.32	240	1822	1880	102	78	433	8	514	426	414	71

4.1Caractères organoleptiques

4.1.1. La couleur

La coloration de l'eau peut être *vraie* (due aux substances dissoutes) ou *apparente* (incluant les particules en suspension), ces deux types étant similaires dans les eaux claires. Selon l'OMS, la limite souhaitable de coloration est de 10 mg/l Pt (platino-cobalt), avec un seuil maximal toléré de 15 unités. Les analyses montrent que les eaux étudiées sont globalement incolores, ce qui élimine les risques esthétiques ou sanitaires liés à une coloration excessive. Cette absence de coloration suggère une faible teneur en matières organiques dissoutes ou en particules en suspension.

4.1.2.La turbidité

La turbidité d'une eau est due à la présence de matières en suspension finement divisées. Les normes concernant la turbidité sont assez différentes. L'O.M.S. indique comme valeur limite 5 unités NTU et précise qu'en cas de désinfection, la turbidité doit être inférieure à 1 NTU.

Les eaux échantillonnées dans notre secteur d'étude présentaient des valeurs comprises entre 1 et 3 NTU.

4.2Étude des paramètres physiques

4.2.1. Le pH

Le pH mesure l'acidité de l'eau via la concentration en ions H^+, variant selon la géologie locale : **5-6** pour les zones granitiques/forestières (eaux acides) et **~8** pour les terrains calcaires (eaux alcalines). Il reflète l'équilibre carbonique, où le CO_2 dissous abaisse le pH, tandis que les réactions avec le calcium/magnésium le neutralisent progressivement. Bien que non toxique (plage acceptable : **5-9**), le pH influence l'ionisation des sels dans l'eau, impactant la chimie aquatique. Ces variations conditionnent aussi la solubilité des carbonates et bicarbonates, clés pour la qualité de l'eau.

Dans notre zone d'étude, les valeurs de pH sont très homogènes et proches de la neutralité. Toutes les mesures recensées varient entre 7,03 et 7,80.

4.2.2La température

Les eaux souterraines présentent une température stable, peu influencée par les variations climatiques de surface, bien que des fluctuations atténuées puissent se propager en profondeur. La température régit directement l'oxygène dissous : une eau plus chaude en contient moins, aggravant les risques de pollution thermique et la dégradation des écosystèmes aquatiques. Elle accélère aussi la décomposition des matières organiques et favorise les maladies parasitaires, tout en réduisant l'oxygénation via des processus de fermentation. Des changements soudains de température doivent alerter sur une possible pollution, souvent liée aux rejets industriels (centrales électriques, métallurgie). Ainsi, la température est un paramètre clé pour évaluer la qualité et l'équilibre écologique des eaux.

La température des eaux de la zone d'étude est assez homogène. Les valeurs varient de 16.3 et 20.9 °C ; proche a la température ambiante étant donné que la nappe et de type phréatique .

4.3Étude des paramètres chimiques

4.3.1. La balance ionique

L'analyse chimique des échantillons a porté sur les éléments majeurs. Pour vérifier la balance ionique des différents ions analysés sur l'ensemble des échantillons, nous avons calculé l'erreur sur chaque analyse à partir de la relation suivante :

$e = (\sum rc - \sum ra) / (\sum rc + \sum ra) * 100.$

où :

rc = somme des cations en meq /l ;

ra = somme des anions en meq/l.

Selon la valeur de l'erreur, on peut distinguer :

e% > 5% : erreur dans l'analyse

5 > e > 2% : erreur acceptable

e < 2% : bonne analyse

Les valeurs de l'erreur sur chaque analyse sont figurées dans le tableau n°26 . Ces valeurs s'échelonnent entre zéro (0) et quatre (4).

Tableau n°26 : Valeurs de l'erreur sur chaque analyse.

points	e (%)	Etat de l'analyse
P1	2	bonne
P2	1	bonne
P3	4	acceptable
P4	2	bonne
P5	3	acceptable
P6	1	bonne
P7	0	bonne
P8	2	bonne
P9	1	bonne
P10	2	bonne
P11	1	bonne
P12	1	bonne
P13	3	acceptable
P14	1	bonne
P15	1	bonne

les résultats obtenus montrent que les analyses sont acceptables à bonnes.

4.3.2. La minéralisation

La conductivité reflète la minéralisation totale des eaux. La répartition spatiale des valeurs de la minéralisation sur l'ensemble de la zone d'étude est représentée en figure n° 33.

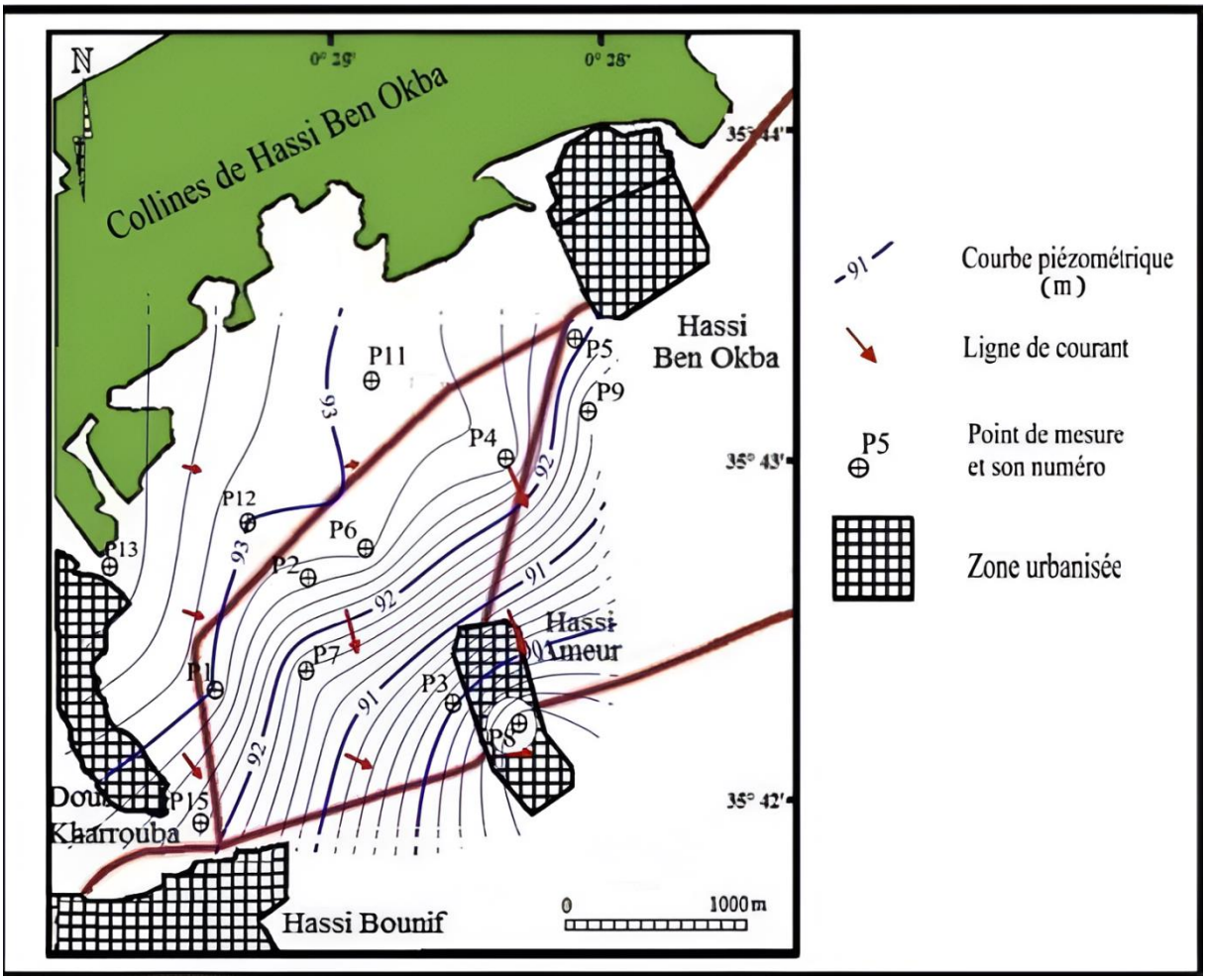


Figure n° 33 : Carte d'isovaleurs de minéralisation (mg/l) des eaux du secteur d'étude

La minéralisation la plus élevée est centrée sur P7 (Min = 4638 mg/l); la minéralisation la plus faible l'étant en P4 (Min = 1822 mg/l).

Globalement, les plus fortes minéralisations (>3000 mg/l) se concentrent dans le secteur Ouest de la zone à forte concentration de grandes unités industrielles en activité.

Les minéralisations les plus faibles sont relevables dans les zones les plus amonts de la plaine (piémont des collines de Hassi Ben Okba).

Concernant les puits à usage agricole P10 et P11, nous notons un fort resserrement des courbes probablement dû au fait que le puits P10 était en cours de pompage au moment de prélèvement. En dehors de la campagne que nous avons effectué lors de cette étude, des prélèvements effectués à différentes époques, au sein de différents points d'eau situés dans certaines unités industrielles (données ANRH) ont montré des valeurs de minéralisation dépassant les valeurs mesurées lors de la dernière campagne de prélèvement.

Les valeurs de minéralisation ont atteint 5950 mg/l à P16 (Groupe Mérouani), 7028 mg/l à P17 (SMCP), 11050 mg/l à P18 (U. Tréfilerie de l'Ouest) et 15844 mg/l à P19 (U. Afia International).

4.3.3. Les cations

4.3.3.1. Le calcium

Le **calcium**, composant majeur de la dureté de l'eau, provient principalement de la dissolution des roches calcaires ou du gypse. Bien qu'une eau potable en contienne généralement **100 à 140 mg/l**, des concentrations supérieures à **200 mg/l** peuvent poser des problèmes pour les usages domestiques. Dans la zone étudiée, les teneurs varient de **76 mg/l (P2)** à **395 mg/l (P10)**, révélant une hétérogénéité géologique locale et des risques potentiels de dureté excessive.

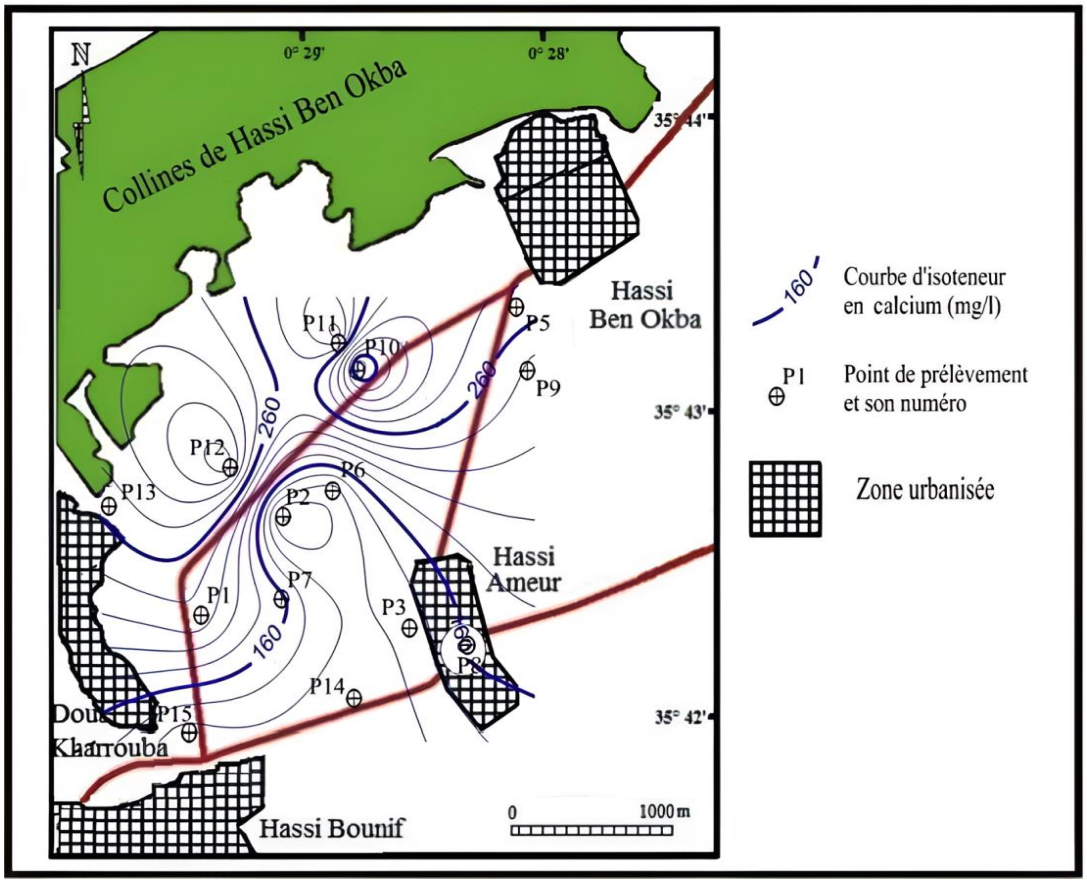


Figure n° 34 : Carte d'isoteneurs en calcium (Ca++) (mg/l).

4.3.3.2. Le magnésium

C'est également un élément de la dureté totale. La mise en solution de cet ion prend beaucoup de temps. Il provient de l'attaque des formations dolomitiques par le gaz carbonique, de la dissolution de MgSO4 dans les terrains gypseux entraînant le magnésium et aussi des minéraux ferromagnésiens. Dans notre zone d'étude, sa teneur varie de 37 mg/l (P13) à 179 mg/l (P7).

4.3.3.3. Le sodium

Généralement, ces deux éléments ont une origine semblable à celle des chlorures et sont également liés aux minéraux argileux. Ils peuvent être échangés contre des ions Ca++ et Mg++ par les minéraux argileux ou des substances organiques et provenir de l'hydrolyse des silicates.

En ce qui concerne notre zone d'étude, la concentration en Na atteint son maximum au P7 (1093 mg/l) (fig. n° 35).

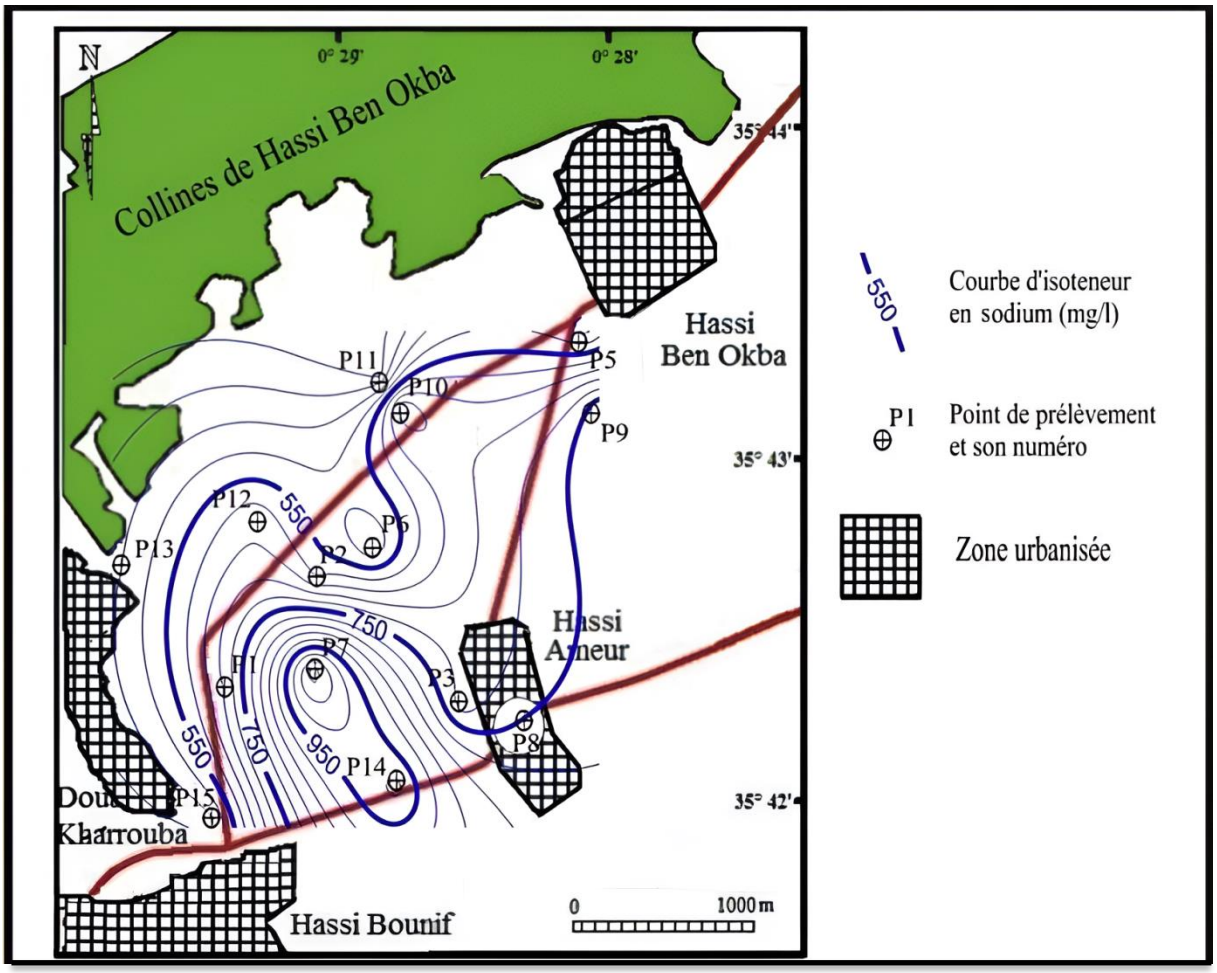


Figure n° 35: Carte d'isoteneurs en sodium (Na+) (mg/l).

4.3.4.Les anions

4.3.4.1. Les chlorures

Les chlorures ont deux sources : les apports atmosphériques et la dissolution des évaporites salées. Dans les régions littorales, les pluies apportent des chlorures d'origine maritime qui peuvent s'accumuler en surface par évaporation puis être entrainés dans les aquifères. La dissolution des évaporites (Na Cl) est aisée et sont présentes en grandes concentrations dans les eaux. L'observation de la carte d'isoteneurs en chlorures (fig. n° 36) de notre zone indique que la carte présente des similitudes avec celle de la minéralisation, c'est-à-dire que les chlorures influent sur la minéralisation totale.

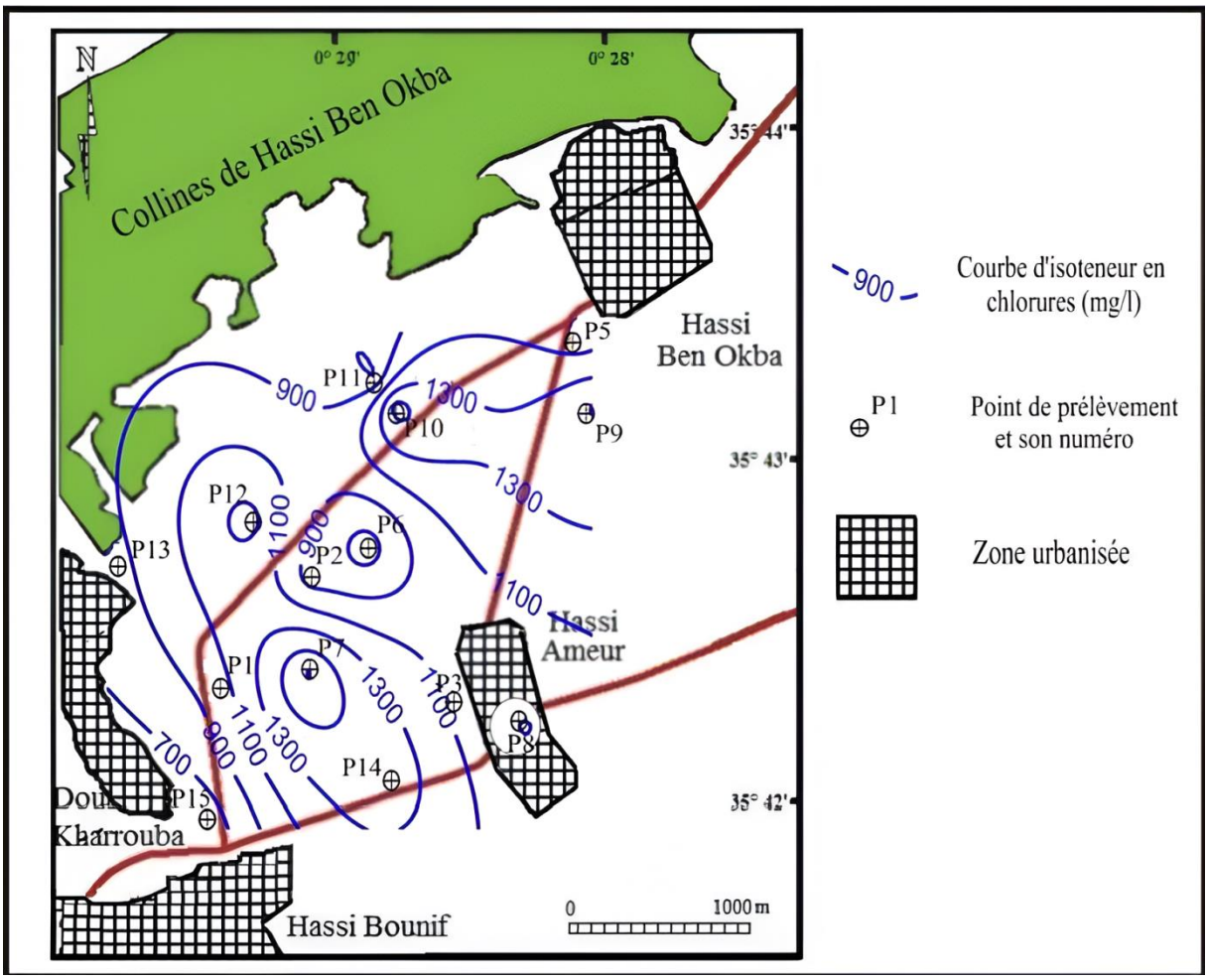


Figure n° 36 : Carte d'isoteneurs en chlorures (Cl-) (mg/l)

4.3.4.2. Les sulfates

Les eaux naturelles contiennent, pratiquement, toujours des ions sulfates dans des proportions très variables (d'origine météorique). Leur présence résulte de la légère solubilité des sulfates de calcium dans les roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures se trouvant dans les roches. Cependant, ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures (Bakalowicz, 1979).

4.3.5. Dureté et alcalinité des eaux

4.3.5.1. La dureté

La dureté d'une eau est un caractère naturel correspondant à la présence de sels de calcium et de magnésium dans l'eau. Une eau trop dure constitue un risque important d'entartrage des canalisations. En fonction de leur dureté, définie par le Titre Hydrotimétrique (TH), les eaux peuvent être classées suivant les indications du tableau n°28.

Tableau n° 28 : Les classes des eaux selon la dureté.

TH (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 et plus	Eau très dure

4.3.6. Faciès hydrochimiques

Le faciès hydrochimique d'une eau peut être déterminé à partir de sa composition chimique. A partir de leur teneur en milliéquivalent par litre et de leurs formules caractéristiques, on a pu déterminer les faciès hydrochimiques des eaux échantillonnées de notre zone d'étude (tableau n° 30).

Tableau n° 31 : Faciès caractéristiques des échantillons prélevé

points	Contexte	Cations	Anions
P1	Zone industrielle	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P2	Zone industrielle	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}> HCO_3^{-}>SO_4^{-}> NO_3^{-}$
P3	Zone industrielle	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P5	Zone agricole	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P6	Zone industrielle	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}> HCO_3^{-}>SO_4^{-}> NO_3^{-}$
P7	Zone industrielle	$Na^{+}>Mg^{++}>Ca^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P8	Milieu urbain	$Na^{+}>Mg^{++}>Ca^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P9	Zone agricole	$Na^{+}>Mg^{++}>Ca^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P10	Zone agricole	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P11	Zone agricole	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}> HCO_3^{-}>SO_4^{-}> NO_3^{-}$
P12	Zone agricole	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P13	Zone agricole	$Na^{+}>Ca^{++}>Mg^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$
P14	Zone industrielle	$Na^{+}>Mg^{++}>Ca^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}> HCO_3^{-}>SO_4^{-}> NO_3^{-}$
P15	Zone agricole	$Na^{+}>Mg^{++}>Ca^{++}>K^{+}$	$Cl^{-}>SO_4^{-}>HCO_3^{-}>NO_3^{-}$

Nous pouvons déduire que l'ensemble des eaux présentent un faciès chloruré sodique. D'autres part, cette classification fait également ressortir une prédominance variable entre les cations (Ca^{2+}et Mg^{2+}) et les anions (HCO_3^{-} et SO_4^{2-}) déterminant l'existence de quatre sous-faciès :

• P1, P3, P5, P10, P12 et P13 : Un sous-faciès sulfaté calcique ;

• P7, P8, P9 et P15 : Un sous-faciès sulfaté magnésien ;

• P2, P6 et P11 : Un sous-faciès bicarbonaté calcique ;

• P14 : Un sous-faciès bicarbonaté magnésien.

Nous allons également représentés les traits hydrochimiques des eaux analysées sur des graphiques (diagramme Schoeller-Berkaloff et diagramme de Piper) qui permettent une meilleure étude comparative entre nos échantillons.

4.3.7.Interprétation par diagramme Schoeller-Berkaloff

Ce diagramme semi-logarithmique permet de représenter le faciès géochimique de plusieurs échantillons d'eau et de les comparer. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

Après le report des valeurs des analyses le diagramme (figure n°38), l'interprétation confirme les faciès et sous-faciès prédéterminés par la dominance des chlorures et du sodium observé d'où l'appartenance des eaux à la famille chlorurée sodique. Ce faciès chimique s'explique par l'abondance des couches géologiques gypso-salifères de la région qui après lessivage par les eaux contribuent fortement à la salure des terrains encaissants. Quant au deuxième type de faciès bicarbonaté sodique, il pourrait être engendré par la dominance des calcaires dolomitiques dans la région. Là encore, on estime une relation certaine entre l'aquifère superficiel (Plio-Quaternaire) et l'aquifère profond des calcaires liasiques.

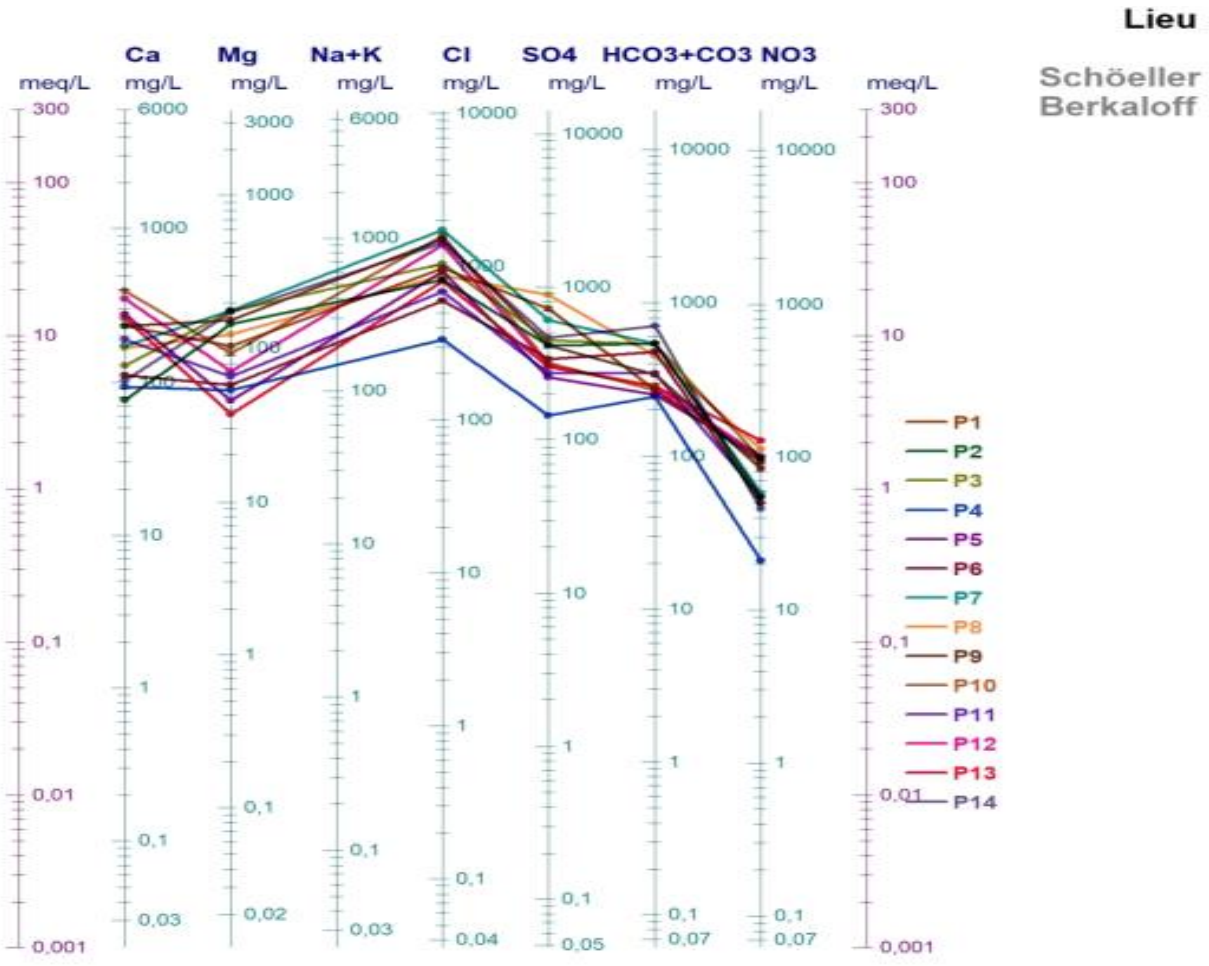


Figure n° 38 : Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

4.3.8. Interprétation par diagramme de Piper

Comme celui de Schoeller-Berkaloff, le diagramme de Piper permet de présenter plusieurs échantillons d'eau simultanément.

Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et la faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Le principe consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction par rapport à la concentration totale des anions et des cations, on obtient ainsi deux points aux côtés du losange qui représente la nature chimique de l'échantillon.

La composition chimique de l'eau peut être figurée sur le losange par un point unique correspondant à l'intersection des parallèles depuis ces deux points aux côtés du losange qui représente la nature chimique de l'échantillon.

Les valeurs des analyses ont été reportées sur le diagramme (figure n°39)

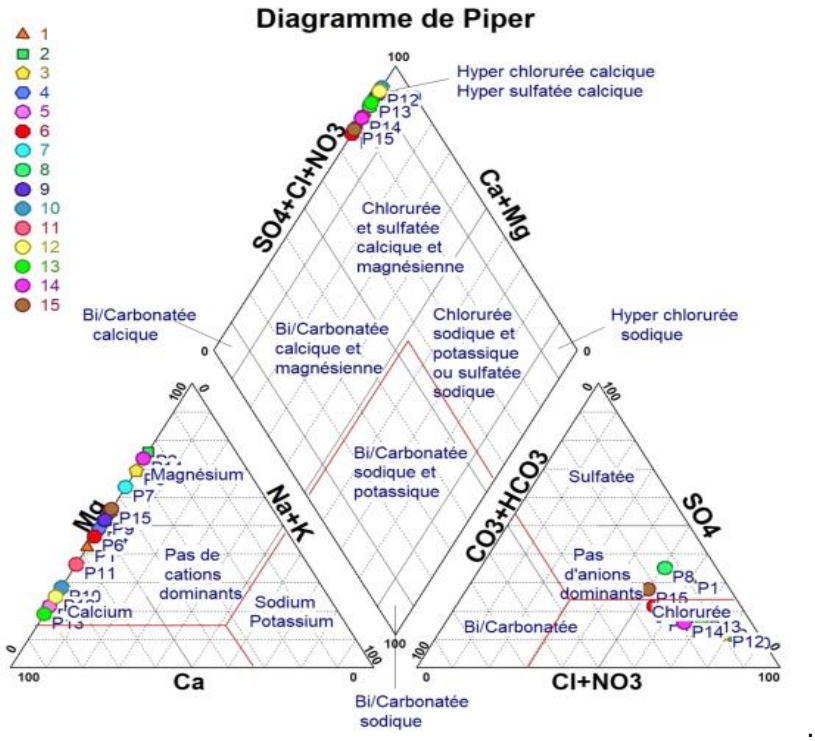


Figure n°39 : Classification des eaux d'après le diagramme de Piper.

Cette représentation nous confirme la dominance du faciès chloruré de l'ensemble des eaux de la nappe superficielle ; mais aussi on observe en même temps la prédominance du pôle bicarbonaté sodique et quelques fois sulfaté en relation avec la nappe profonde du Jurassique.

4.3.9. Étude des rapports caractéristiques

L'étude des rapports caractéristiques permet de préciser le milieu de provenance des eaux et souterraines et comparer leur concentration en éléments chimiques. L'étude concerne les rapports suivants : r (Mg^{2+} /Ca^{2+}), r (SO_4^{2-} / Cl^-), r (Na^+ /Cl^-). Les résultats obtenus sont résumés au tableau n°32.

Tableau n°32 Calcul des rapports caractéristiques.

Point d'eau	r (Mg^{2+} /Ca^{2+})	r (SO_4^{2-} / Cl^-)	r (Na^+ /Cl^-)
P1	0.73	0.55	1.04
P2	3.13	0.37	1.1
P3	2.26	0.31	1.01
P5	0.27	0.2	0.75
P6	0.86	0.41	1.22
P7	1.73	0.26	0.97
P8	1.22	0.74	1.32
P9	1.07	0.2	0.79
P10	0.39	0.15	0.67
P11	0.56	0.29	0.84
P12	0.33	0.16	0.69
P13	0.22	0.27	0.86
P14	2.77	0.24	1.08
P15	1.26	0.59	1.29

• Le rapport r (Mg^{2+} /Ca^{2+})

La majorité des points d'eau présentent des valeurs tournant autour de 1, ce qui démontre la prédominance des ions calcium par rapport aux ions magnésium. C'est la dissolution de formations carbonatées qui explique cette prédominance du calcium.

. • Le rapport r (SO_4^{2-} / Cl^-)

Pour l'ensemble des points d'eau, nous avons des valeurs inférieures à 1 d'où la domination des chlorures sur les sulfates.

Les chlorures évoluent rapidement avec la nature des terrains traversés par les eaux souterraines, l'évaporation et la stagnation des eaux dans le secteur de faible pente.

• Le rapport r (Na^+ /Cl^-)

Les valeurs du rapport pour la moitié du nombre des points d'eau sont inférieures à 1 tandis que pour l'autre moitié les valeurs sont supérieures à 1 ;

Il y'a un donc un certain équilibre entre les teneurs en Sodium et celle de chlorures. Ceci peut être expliqué par la présence d'évaporites dans la région.

4.4.Impacts de l'exploitation de gypse sur les ressources en eau

Les effets sur la qualité de l'eau et de la disponibilité des ressources en eau dans la zone du projet constituent peut-être l'impact le plus important d'un projet d'exploitation minière. Les questions clés sont de savoir si la disponibilité des eaux de surface et des eaux souterraines restera appropriée à la consommation humaine, et si la qualité des eaux de surface dans la zone du projet restera adéquate pour supporter la vie aquatique et la faune terrestre native.

Au niveau de la carrière de gypse de Fleurus ; le niveau du plancher d'exploitation actuel dénote une remontée des eaux d'une nappe phréatique d'eau saumâtre comme le montre les photos ci-après.

Le niveau d'exploitation à l'échelle de la carrière a atteint la surface libre de la nappe. Ce niveau affleurant des eaux souterraines est à la même altitude que celui du plan d'eau de surface du lac. Cette situation de condition aux limites à potentiel imposé, nécessite des mesures de protection vigilantes des ressources en eau.

4.4.1Exemple de cas de pollution du Lac Télamine, une décharge

Selon Dubuis et Simoneau (1960 in Bahi 2012) le lac Télamine était constitué en 1848, par deux mares, nettement séparées, dont l'une de 2 ha est la Daya de Fleurus près de Legrand et l'autre d'environ 6 ha près de Saint-Cloud.

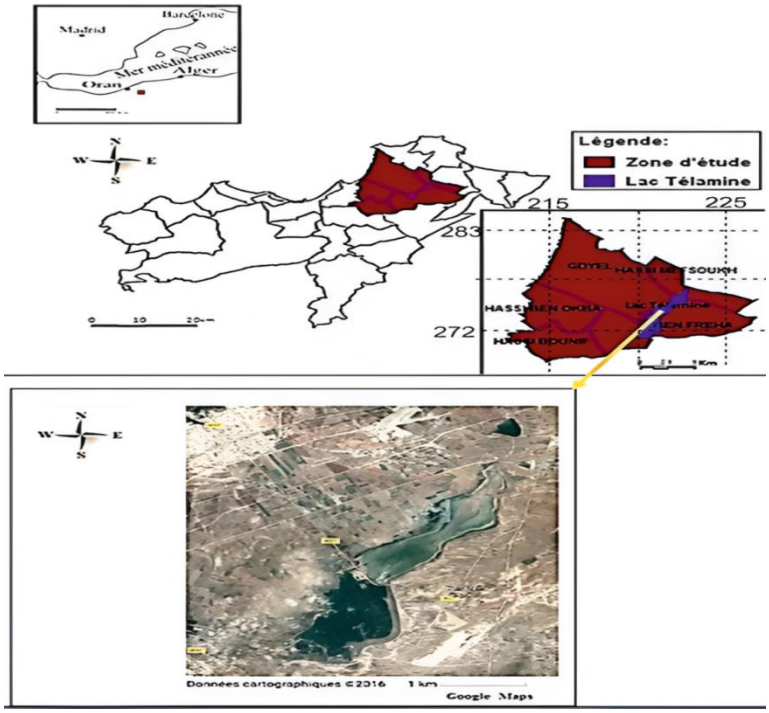


Figure n° 30: Localisation géographique du Lac Télamine (in H.Mawloud, 2018).



Photo 01 : Lac Télamine bordé par les affleurements des grés du Pliocène.

Le lac Télamine, zone humide clé de l'Ouest algérien, sert d'habitat vital pour les oiseaux migrateurs (flamants roses, oies cendrées) et participe à la recharge des nappes phréatiques, tout en limitant l'érosion via la rétention des sédiments. Alimenté temporairement par deux oueds (Chabet Esseba et Chabet Djanal), présentent un encroûtement gypseux et un pH alcalin (7.9–8.4), typique des sols *solontchak*.

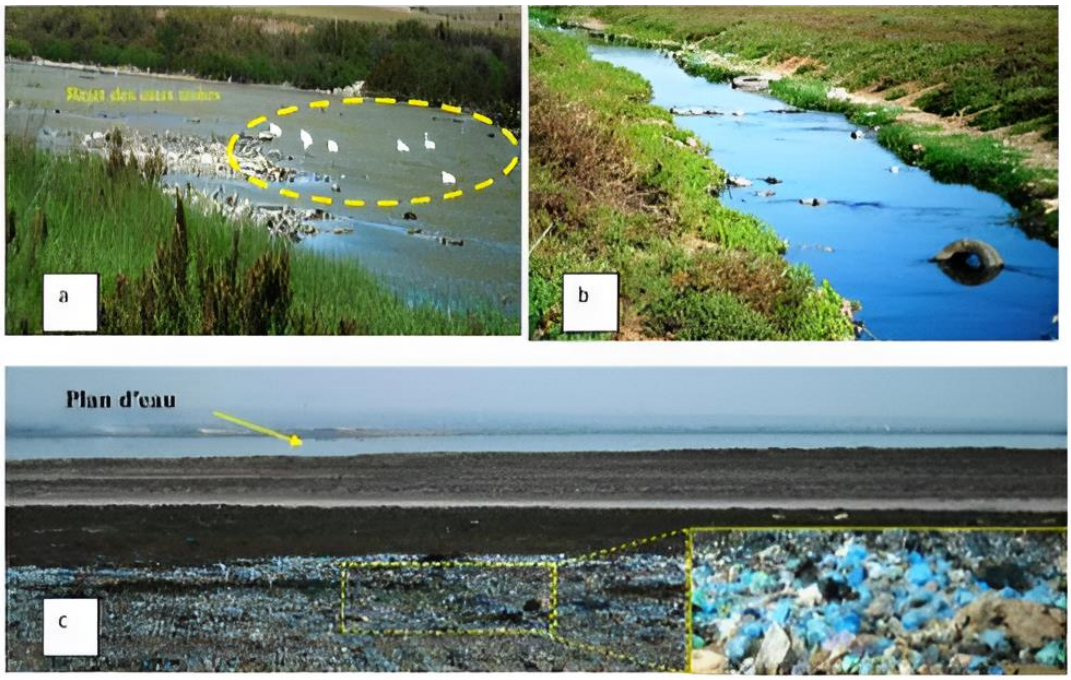


Photo 02 : Aperçu de l'état du Lac Télamine

a : présence des cigognes blanches dans la lac Télamine pollué par des rejets d'eaux usées (remarquer la couleur de l'eau) ;

b : Canal de rejet des eaux usées se dirigeant vers le lac ;

c : dépôt d'ordures ménagères (photo prise par la direction des forets de la wilaya d'Oran).

4.4.1.1.Origine de la pollution du lac Télamine

Le lac Télamine subit une pollution multifactorielle, incluant des rejets industriels (zone de Hassi Ameur : 14 000 m³/jour d'eaux usées) et domestiques, ainsi que des décharges sauvages issues des localités voisines (Ben Freha, Boufatis, Gdyel). Ces pressions anthropiques entraînent une dégradation de la végétation (surpâturage, disparition d'espèces natives) et la formation de vasières polluées colonisées par des joncs et tamaris. Avec 19 250 m³ de déchets solides/jour, le lac voit son équilibre écologique menacé, nécessitant des mesures urgentes de restauration.

4.4.1.2.Décharge sauvage du Lac Télamine

La décharge sauvage du lac Télamine (Gdyel), active depuis 1986, s'étend sur 400 hectares avec un volume estimé à 19 250 m³ de déchets mélangés (ménagers, industriels, hospitaliers, inertes). Bien qu'officielle, elle fonctionne sans gestion contrôlée : absence de clôture, de tri, ou de traitement, et accumule même des gravats de construction. Son impact environnemental est aggravé par sa proximité avec le lac, menaçant les écosystèmes aquatiques et la qualité des eaux souterraines.



Photo 03 : La décharge sauvage du lac Télamine (Commune de Gdyel) (source : La direction de l'environnement, 2012.).



Photo 04 : Rejet à ciel ouvert de Gdyel vers le lac de Télamine (Source : La direction de l'environnement, 2008.)



Photo 05 : images caractérisant la décharge de Gdyel (Source : La direction de l'environnement, 2013.).

4.4.2.Impacts de la décharge sur l'environnement

Les rejets des eaux usées industrielles et domestiques altèrent intensément la qualité des eaux du lac Télamine et son environnement ainsi que les eaux souterraines de l'aquifère plio-quaternaire qui sont en contact avec les eaux du lac. Selon le tableau n° 22 de la direction de l'environnement de la wilaya d'Oran, nous avons constaté que l'impact majeur de cette décharge est la localisation de cette dernière dans le lac Télamine, ainsi que le dégagement des fumées de combustion des déchets, leurs odeurs et la pollution visuelle. Cette décharge conduit à une forte dégradation de la qualité des eaux du lac. La pollution du lac est bien confirmée par les valeurs excessives des concentrations en éléments dissouts des eaux très chargées de la nappe tels que les nitrates, les chlorures et le sodium.

Tableau n°22 : Les principaux impacts de la décharge de Gdyel (direction de l'environnement d'Oran,2013).

Source de l'impact	Cible (identification ou Impacts principaux distance)	Impacts principaux
Impacts au site		
Massif des déchets	A partir de la CW88	Impact visuel, odeurs
Trafic	CW88	Augmentation de nuisances
Effluents solides		
Déchets légers **Poussières**	Le long de la CW88 Assez proche	Impact visuel Impact sur les eaux superficielles Impact sanitaire (pathogènes)
Effluent liquides		
Lixiviats	Point bas et nappe	Impact sur les eaux superficielles et souterraines
Effluents gazeux		
Déchets frais **Biogaz** **Fumées de combustion**	Très proche Assez proche Assez éloigné	Odeurs Odeurs sanitaire(H_2S) Gaz à effet de serre Odeurs Impact visuel Impact sanitaire (différentes substances)

4.4.2.1Impacts sur la nappe phréatique

La pollution du lac Télamine par les rejets industriels et domestiques entraîne une infiltration massive de polluants (nitrates, chlorures, sodium) dans l'aquifère plio-quaternaire, dégradant durablement la qualité chimique des eaux souterraines. Cette contamination pose un risque sanitaire grave pour les populations dépendant de cette nappe pour leur approvisionnement en eau. Elle perturbe également les équilibres hydrogéologiques locaux, compromettant la recharge naturelle et la stabilité des écosystèmes. Face à cette crise, la mise en œuvre de mesures urgentes de dépollution et un contrôle renforcé des rejets sont indispensables pour préserver la ressource.



Photo 06 : Pollution au niveau du lac Télamine (présence de mousse, 2013) (Source : La direction de l'environnement, 2013).



photo n°40: Remontée des eaux d'une nappe phréatique d'eau saumât

Conclusion

Cette étude hydrochimique approfondie des eaux souterraines dans un secteur spécifique, mettant en évidence leur composition physico-chimique, leur origine, et leur qualité. Les analyses révèlent une minéralisation élevée, particulièrement dans les zones industrielles, avec des concentrations importantes en ions tels que le calcium, le magnésium, le sodium, les chlorures et les sulfates. Les eaux sont majoritairement classées comme très dures, avec un faciès hydrochimique dominé par les chlorures et le sodium, ce qui s'explique par la présence de formations géologiques gypso-salifères dans la région.

Les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Piper confirment ces observations et permettent de distinguer des sous-faciès spécifiques selon les points de prélèvement. Les rapports ioniques caractéristiques (Mg^{2+}/Ca^{2+}, SO_4^{2-}/Cl^-, Na^+/Cl^-) apportent des informations supplémentaires sur les processus géochimiques en jeu, comme la dissolution des carbonates et l'influence des évaporites.

L'étude souligne également l'impact potentiel de l'exploitation minière, notamment du gypse, sur les ressources en eau, avec des risques de remontée de nappes phréatiques saumâtres et de dégradation de la qualité de l'eau. Ces résultats mettent en lumière la nécessité de mesures de protection vigilantes pour préserver les ressources hydriques, tant pour les usages humains que pour les écosystèmes environnants.

Le lac Télamine, zone humide vitale en Algérie, subit une pollution grave due aux rejets industriels (14 000 m^3/jour) et domestiques, ainsi qu'à une décharge sauvage (400 ha, 19 250 m^3 de déchets) active depuis 1986. Cette pollution altère la qualité de l'eau (excès de nitrates, chlorures, sodium) et contamine l'aquifère plio-quaternaire, menaçant la santé publique et les écosystèmes (oiseaux migrateurs, végétation). Les sols alentour, riches en gypse et calcaire (pH 7.9–8.4), aggravant les risques de salinisation. Des mesures urgentes de dépollution et de contrôle sont nécessaires pour sauvegarder cette ressource.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude approfondie de la région des Hassi, située à l'est d'Oran, révèle une interdépendance complexe entre les caractéristiques physiques, géologiques et hydrogéologiques qui façonnent ce territoire. La plaine présente un relief varié dominé par des collines et plateaux, avec un réseau hydrographique limité et intermittent, caractéristique d'un climat semi-aride où les précipitations annuelles varient de 240 à 387 mm et les températures moyennes avoisinent 18°C. Ce contexte climatique contraignant influence directement la disponibilité et la qualité des ressources en eau.

Sur le plan géologique, la région se distingue par une alternance de formations anté- et post-nappes, comprenant des schistes, calcaires, grès et dépôts quaternaires. La tectonique active, marquée par des horsts et des bassins synclinaux, crée une structure paysagère complexe qui conditionne à la fois les écoulements superficiels et souterrains. Ces particularités géomorphologiques déterminent en grande partie la répartition et les caractéristiques des aquifères locaux.

L'analyse hydrogéologique met en évidence deux systèmes aquifères principaux : les formations plio-quaternaires (alluvions, grès coquillers et calcaires gréseux) et les calcaires dolomitiques du Lias. Ces réservoirs présentent des propriétés hydrodynamiques variables, avec des transmissivités comprises entre 10^{-4} et 10^{-2} m²/s et des coefficients d'emmagasinement de 0,007 à 0,062. Les essais de pompage révèlent des productivités allant de 5 à 17 l/s, mais aussi des signes préoccupants de surexploitation, matérialisés par des cônes de rabattement de 500 à 800 m de rayon et une baisse généralisée des niveaux piézométriques (0,5 à 1,2 m/an).

L'étude hydrochimique complète ce tableau en démontrant une minéralisation élevée des eaux souterraines, particulièrement dans les zones industrielles, avec une dominance des faciès chlorurés sodiques. Les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et Piper, ainsi que les rapports ioniques caractéristiques, permettent de mieux comprendre les processus géochimiques en jeu et l'influence des formations gypso-salifères. La salinisation progressive (+1,3 g/L en 10 ans) et la dureté élevée des eaux soulignent la vulnérabilité de la ressource.

Face à ces constats, plusieurs défis majeurs émergent : la pression anthropique croissante, les impacts des activités industrielles et minières (notamment l'exploitation du gypse), et les effets combinés du changement climatique et de la surexploitation. Ces facteurs menacent directement la durabilité des ressources hydriques de la région.

Pour répondre à ces enjeux, l'étude propose une approche de gestion intégrée articulée autour de plusieurs axes prioritaires :

- La régulation stricte des prélèvements, avec une limitation recommandée à 40 l/s
- La protection et la restauration des zones de recharge (80-100 mm/an)
- La mise en place d'un système de surveillance pérenne combinant suivi piézométrique et contrôle qualité
- L'adaptation des pratiques industrielles pour minimiser leur impact sur les nappes
- La prise en compte des interactions entre aquifères superficiels et profonds dans les schémas d'aménagement

Ces mesures doivent s'inscrire dans une vision à long terme, intégrant à la fois les spécificités géologiques locales et les impératifs socio-économiques régionaux. Les données recueillies dans cette étude fournissent une base scientifique solide pour orienter les politiques de gestion durable des eaux souterraines.

En conclusion, la région des Hassi présente un système hydrogéologique riche mais fragile, où la préservation des ressources en eau nécessite une approche équilibrée entre exploitation et conservation. La mise en œuvre des recommandations proposées, couplée à une gouvernance adaptée, permettrait de garantir la pérennité de cette ressource vitale pour le développement de l'Oranie, tout en préservant les équilibres environnementaux locaux. Cette étude souligne l'importance d'une gestion proactive et adaptative face aux défis croissants que représentent les pressions anthropiques et climatiques sur les ressources en eau souterraine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **ABDALLAH I. H**., (2017) : Etude hydrogéologique de la zone des Hassis (zone limitrophe du Lac Télamine). Mém. Ing. Université d'Oran 2.
- **AYAD R. et FETTANE Ok**., (1999) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la partie Sud-Est du plateau d'Oran (Oran-Es-Sénia-Bir El Djir). Mém. Ing. Université d'Oran.
- **BARBREAU, A**. *Alimentation en eau potable de la commune de Fleurus (Département d'Oran)*. Article Départ 7.8.54, N°55/18/1.D, 1954.
- **BENBRAHIM Z., (2015) :** Contribution à l'étude hydrogéologique des monts d'Arzew (Djebels Orousse et Borousse) (région d'Oran-Algérie). Mém. Ing. Université d'Oran **.**
- **BETEC** (Bureau d'Étude). *Étude hydrogéologique et géophysique pour implantation d'un forage d'eau "BENAISSA TAYEB" dans la zone de Hassi Ben Okba*.

- **BOUBKERI M., (2013**) : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel. Cas de la Zone de Hassi Ameur (région d'Oran-Algérie). Mém. de Magister. Université d'Oran.
- **BOUKHERCHA, Chahira ; DERKAOUl, Fatma.** *L'impact de l'activité industrielle de la zone des Hassi sur les ressources en eau* [Mémoire de Master]. Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoire, Département des Sciences de la Terre,2019.

- **CLAIR, A.** *Alimentation en eau du centre de Fleurus (Département d'Oran) : Compte rendu de visite au puits de Fleurus*. Ministère de l'Hydraulique, de l'Environnement et des Forêts, Institut National des Ressources Hydrauliques, rapport n°31/HYG/041, 1er août 1959.
- **CLAIR, A.** *Étude hydrogéologique de la région comprise entre la Montagne des Lions et la route d'Hassi Ben-Okba à Saint-Cloud (Communes de Hassi Ben-Okba et Saint-Cloud, Arrondissement d'Oran)*. 2 mai 1952.

- **CLAIR, A.** *Alimentation en eau du centre de Fleurus (Département d'Oran) : Compte rendu de visite au puits de Fleurus*. 1er août 1959.
- *Étude hydrogéologique et géophysique pour implantation d'un forage d'eau "**BENAISSA TAYEB**" dans la zone de Hassi Ben Okba*.
- *Étude géophysique et hydrogéologique de la zone nord & nord-est de la commune de Hassi Ben Okba : Implantation d'un ouvrage de captage d'eau souterraine*.

- **FOUKRACHE M.,** (2001) : Hydrogéologie des massifs côtiers oranais (Arzew, Beni Saf). Thèse de magister
- **HADJADJ M.,** (2018) : Suivi des indicateurs de pollution dans une région aride à semi-aride : Diagnostic des environs de Gdyel suite aux dépôts des déchets ménagers et rejet d'eau usée au niveau du lac Télamine. Mém. de Magister. Université d'Oran 2.
- **HASSANI M.I,** (1987) : Hydrogéologie d'un bassin Endoréique semi-aride ; « le bassin versant de la grande Sebkha d'Oran (Algérie) ». Doct. Univ. Oran, 304 p.
- **KASSI, A.** *Étude hydrogéologique de la dépression des Hassis : Hassi Bou-Hif, Hassi Aheur, Hassi Ben-Okba*. Institut National des Ressources Hydrauliques, Direction Régionale Ouest, Division Hydrogéologie Ouest, juillet 1985.
- **MAHAMANE MATO, Amina.** *Contribution à l'étude hydrogéologique et environnementale de la zone des Hassi (aquifère plio-quaternaire). Oran Est* [Mémoire de Master]. Université d'Oran 2, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire, Département des Sciences de la Terre,2020.

- **O.M.S** (Organisme Mondial de la Santé)., (1994) : Normes international applicables à l'eau.

- **VILMA RITA, Amad ; PAULO, Zalane Constância.** *Pollution par les nitrates et procédés d'élimination dans les eaux souterraines (Cas de la plaine des Hassi, région d'Oran)* [Mémoire de Master]. Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers, Département de Géologie, 2020.