

N° d'ordre

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université d'Oran 2

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du Territoire

Département des Sciences de la Terre

Mémoire

Présenté pour l'obtention du grade de Master en Géologie

Option : **HYDROGEOLOGIE**

Thème :

Contribution à L'étude Hydrogéologique et environnementale de la Zone des Hassi (aquifère plio-quadernaire). Oran Est.

Présenté par :

Melle MAHAMANE MATO Amina

Devant le Jury :

- | | | |
|------------------------|-------------------|-----------|
| ➤ Mr MANSOUR Hamidi | Université d'Oran | Président |
| ➤ Mr FOUKRACHE Mohamed | Université d'Oran | Encadreur |
| ➤ Mr BORSALI Tewfik | Université d'Oran | Examineur |

Oran, 2020.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire ...

A mes très chers parents

Mahamane Mato & Saâdatou Magagi, bien qu'aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être ; je tiens à vous remercier infiniment pour le soutien et l'amour inconditionnel que vous me portez depuis mon arrivée au monde et j'espère que votre bénédiction m'accompagnera toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu le tout puissant et tout miséricordieux vous accorder santé, paix et longue vie et fasse que je ne vous déçoive jamais.

A ma très chère marâtre et deuxième maman

Nana Mariama Issa Abdou qui a toujours été là pour moi de par son amour, son soutien, ses conseils, ses prières et son assistance, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

A mes très chers frères et sœurs

Habi, Bachir, Fati, Hadiza, Adama et Ibrahim qui n'ont ménagé aucun effort pour m'assister sur tous les plans, qui n'ont cessé d'être pour moi des modèles de persévérance, de patience, de courage, de générosité et de solidarité ; en témoignage de mon affection fraternelle et de ma profonde reconnaissance je vous souhaite le meilleur et que Dieu vous récompense en bien, vous protège et vous garde.

A mes chers petits neveux et nièces,

Nana Aïchatou, Rabi, Mariam, Mohamed Al-Amine, Mohamed Issa, Mohamed Abdoul-Karim et Abdallah que j'aime profondément.

A la mémoire de ma très chère amie, Hadjia Ramatou Moussa Boubacar qui a toujours été présente pour moi de son vivant, j'aurai aimé que tu sois présente ; que le Seigneur te fasse miséricorde.

A mes amis(es) de toujours et mes collègues de ma promotion, veuillez recevoir dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Enfin, à tous ceux que j'estime et qui sont chers à mon cœur que j'ai omis de citer.

Remerciements

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout puissant le très miséricordieux qui m'a donné la patience, la foi et le courage, m'a guidé et permis d'en arriver là ; je remercie vivement tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la rédaction de ce mémoire, plus particulièrement Monsieur FOUKRACHE Mohamed pour son encadrement, son soutien et assistance tout au long de ce travail malgré cette situation difficile que nous vivons en cette période de pandémie.

Je tiens également à exprimer ma profonde toute ma gratitude à Mme Ablaoui Halima, Mme Mebrouk Naïma, Mr Mansour Hamidi et Mr Borsali Tewfik pour leur disponibilité, leur rigueur scientifique et leur sens d'écoute et d'échange.

Mes remerciements vont également à l'ensemble du corps professoral du département de Science de la terre (géologie) de la faculté des sciences de la terre, de géographie et d'aménagement du territoire de l'université d'Oran 2.

Résumé :

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une contribution à l'étude hydrogéologique et environnementale de la zone des Hassis située à une quinzaine de kilomètres à l'Est d'Oran (Algérie) ; c'est une zone particulièrement importante du fait de son intérêt hydrogéologique. L'étude s'est essentiellement portée sur l'aquifère plio-quadernaire qui constitue le principal réservoir aquifère de la région mais cet ensemble aquifère est fortement susceptible d'être affecté par les activités urbaines, industrielles et agricoles en surface.

La méthodologie adoptée pour ce travail repose sur l'interprétation des résultats obtenus à la suite des études axées sur les contextes suivants :

géographique, géomorphologique, géologique, lithostratigraphique, tectonique, structural, climatique, hydrogéologique, hydrodynamique, hydrochimique et environnemental.

Les résultats obtenus à la suite de ce travail ont donné une température moyenne annuelle de 19°C, un module pluviométrique annuel égal à 325mm, une moyenne annuelle de l'évaporation de l'ordre d'une valeur de 1243 mm, une réserve utile de 50mm, une perméabilité des aquifères de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} m²/s, des pH homogènes ne dépassant pas 7.80, des conductivités supérieures à 1000 µs/cm et la minéralisation la plus élevée qui a atteint 4638 mg/l.

Ce qui a amené à déduire que la région possède un climat méditerranéen semi-aride et deux principaux réservoirs (plio-quadernaire et aquifère des calcaires dolomitiques du Lias) en liaison intime, formant un complexe aquifère à perméabilité moyenne, représenté par une nappe radiale à écoulement majeur de direction Nord/Ouest - Sud/Est. La nappe affleure au niveau d'une zone dépressionnaire représentée principalement par le lac Télamine et ses secteurs limitrophes. Les eaux proches de la neutralité sont définies par un faciès dominant chloruré sodique.

Enfin, la caractérisation des pollutions affectant la zone a permis une bonne appréciation du degré de vulnérabilité des milieux naturels particulièrement les eaux souterraines.

Mots clés : pollution, minéralisation, plio-quadernaire, perméabilité, conductivité.

Abstract:

This work was carried out as part of contribution to the hydrogeological and environmental study of the Hassis zone located about fifteen kilometers east of Oran (Algeria); it is a particularly important zone because of its hydrogeological interest. The study focused mainly on the plio-quadernary aquifer which constitutes the main reservoir aquifer of the region but this aquifer set is highly likely to be affected by urban, industrial and agricultural activities on the surface.

The methodology adopted for this work is based on the interpretation of the results obtained on the following contexts: geographic, geomorphological, geological, lithostratigraphic, tectonic, structural, climatic, hydrogeological, hydrodynamic, hydrochemical and environmental.

The results obtained following these studies gave an annual average temperature of 18.97°C, a pluviometric modulus equal to 325mm, an average of the evaporation of the order of a value of 1242.84mm, a useful reserve of 50mm, an aquifer permeability of the order of 10^{-4} à 10^{-3} , homogeneous pH not exceeding 7.80, conductivities greater than $1000\mu\text{s}/\text{cm}$ and the highest mineralization which is 4638 mg/l.

This led to deduce that the region has a semi-arid Mediterranean climate and two main reservoirs (plio-quadernary and aquifer of dolomitic limestones of Lias), characterized by a radial sheet flowing from the North-West to the South-East with an average permeability; waters close to neutrality are defined by a sodium chloride facies.

Finally, the characterization of the pollution affecting the area allowed a good assessment of the degree of vulnerability of natural environments, particularly groundwater.

Keywords: Pollution, mineralization, plio-quadernary, permeability, conductivity.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA ZONZ D’ETUDE	
PREMIERE PARTIE : PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE	
I .Contexte géographique	2
II .Contexte géomorphologique	4
III .Contexte géologique	7
III.1 Aperçu général	7
III.2 description lithostratigraphique.....	7
III.2.1 Les formations anté-nappe : substratum anté à synchro-nappe.....	7
III.2.1.1 Permo-Trias	8
III.2.1.2 Jurassique	8
III.2.1.3 Crétacé	8
III.2.2 Formations post-nappe : le remplissage (couverture) post-nappe.....	9
.....	9
III.2.2.1 Miocène post-nappe	9
III.2.2.2 Le pliocène inférieure et moyen marin : 3 ème cycle post-nappe.....	10
III.2.2.3 Les formations quaternaires	10
III.2.2.3.1 Le plio-pléistocène (calabrien)	10
III.2.2.3.2 Le pléistocène moyen.....	10
III .2.2.3.3 Le pléistocène supérieur	10
III.2.2.3.4 L’Holocène	11
III.3 Cadre tectonique et structural	14
IV. Conclusion	17
 DEUXIEME PARTIE : CADRE CLIMATIQUE	
I. Introduction.....	18
II. Les paramètres climatiques.....	18

II.1 Etude des températures	18
II.2 Etude des précipitations.....	20
II.2.1 Précipitations moyennes mensuelles.....	22
II.2.2 Précipitations annuelles	23
II.2.3 Etude de l'évaporation	24
III. Les caractéristiques climatiques.....	25
III.1 Les méthodes graphiques.....	25
III.1.1 Courbe pluviothermique	25
III.1.2 Les indices climatiques	26
III.1.2.1 Indice d'aridité de Martonne	26
III.1.2.2 Indice de continentalité de Kerner.....	27
IV. Evaluation de l'évapotranspiration	28
IV.1 L'évapotranspiration potentielle ETP.....	28
IV.2 L'évapotranspiration réelle ETR	29
IV.3 Bilan hydrologique de Thornthwaite	32
V. Conclusion	33

CHAPITRE II : HYDROGEOLOGIE

I. Introduction.....	34
II. Identification des aquifères.....	34
II.1 L'aquifère du plio-quaternaire	34
II.1.1 Aquifère alluvionnaire	34
II.1.2 Aquifère de grès coquillers et sables jaunes	34
II.1.3 Aquifère à calcaire gréseux	35
II.1.4 Corrélation entre les niveaux aquifères	35
II.2 Aquifère des calcaires dolomitiques du Lias	37
III. Localisation en profondeur des aquifères.....	38

III.1 Présentation des coupes géologiques des forages	38
III.1.1 Sondage de Gdyel.....	38
III.1.2 Sondage de Sidi Benyebkha.....	39
III .1.3 Sondage de Hassian-Ettoual.....	39
III.1.4 Sondage de Hassi Mefssoukh	39
IV. Piézométrie et interprétation de la carte piézométrique du Secteur d'étude	45
V. Paramètres hydrodynamiques.....	47
VI. Conclusion	49

CHAPITRE III : HYDROCHIMIE

I. Introduction	50
II. Etude des paramètres physico-chimiques	52
II.1 Propriétés organoleptiques.....	52
II.2 Etude des caractéristiques physiques	53
II.3 Paramètres chimiques.....	55
II.3.1 La balance ionique.....	55
II.3.2 Les cations	56
II.3.3 Les anions	57
II.3.4 Dureté des eaux.....	58
II.3.5 Faciès hydrochimique.....	59
II.3.6 Interprétation par diagramme de Schoeler- Berkaloff.....	62
II.3.7 Interprétation par digramme de Piper	63
II.4 Etude des rapports caractéristiques.....	64
III. Conclusion	66

CHAPITRE IV : ENVIRONNEMENT ET POLLUTION

I. Introduction	67
II. Les différents types d'eaux destinées à la consommation humaine et susceptibles d'être polluées	68
II.1 Les eaux de surface	68
II.2 Les eaux souterraines.....	68
III. Les principales sources de pollution.....	69
III.1 Pollution urbaine	69
III.2 Pollution industrielle	79
III.3 Pollution agricole.....	87
IV. Conclusion	88
Conclusion générale et recommandation	89
Annexes	92
Références bibliographiques	97

Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation du secteur d'étude (in B.H Rachid, 2017-2018, modifié)	3
Figure 2 : Structure générale du bassin du moyen Chélif (d'après Default et al ,1973)	5
Figure 3 : Profil du relief (in Hassani, 1987)	6
Figure 4 : Carte géologique de l'Oranie d'après G.Thomas, 1985	12
Figure 5 : Log géologique de la région d'Oran-Arzew (in Dioula, 2010)	13
Figure 6 : Schéma structural de l'Oranie (B.Fenet, 1957)	14
Figure 7 : Schéma illustrant la structure de la région d'étude (in Haddar L, 1986, modifié)	15
Figure 8 : Ecorché géologique de la région de Gdyl (Y. Gourinard, 1957)	16
Figure 9 : Graphe des températures moyennes mensuelles à la station d'Es-Sénia (1990-2008) .	19
Figure 10 : Carte pluviothermique de l'Algérie (H.Chaumont et Paquin : 1913-1963).....	21
Figure 11 : Graphe des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Es-Sénia (1990-2008)	22
Figure 12 : Graphe des précipitations moyennes annuelles d'Es-Sénia (1990-2008).....	23
Figure 13 : Variation moyennes mensuelles de l'évaporation.....	25
Figure 14 : Courbe pluviothermique de la station d'Es-Sénia.....	26
Figure 15 : Abaque d'indice d'aridité de De Martonne (station d'Es-Sénia).....	27
Figure 16 : Abaque de WUNDT période 1990-2008.....	30
Figure 17 : Abaque de Verdeil, période 1990-2008	31
Figure 18 : Aquifère bicouche : Eboulis et grés d'après Foukrache M.1996 (modifié)	36
Figure 19 : Aquifère bicouche : alluvions calcaire gréseux d'après Foukrache.M 1996 (modifié) .	36
Figure 20 : Log hydrogéologique de la région d'Oran (in Hassani ,1987)	37
Figure 21 : Coupe géologique et technique du forage de Gdyl (2001)	41
Figure 22 : Coupe géologique et technique du forage de Sidi BenYebkha(2010).....	42
Figure 23 : Coupe géologique et technique du forage de Hassian-Ettoual (Houda, 2017).....	43
Figure 24 : Coupe géologique et technique du forage de Hassi Mefssoukh(2007)	44
Figure 25 : Carte piézométrique de la zone d'étude (24-25 Février 2012) (in M.Boubkeri, 2013) .	46

Figure 26 : Carte de situation des points d'eau de prélèvement (campagne du 24-25 Février 2012) (in M.Boubkeri ,2013).....	51
Figure 27 : Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff	63
Figure 28 : Classification des eaux d'après le digramme de Piper	64
Figure 29 : Quantité des déchets solides générés par commune	72
Figure 30 : Localisation géographique du Lac Télamine	73
Figure 31 : Localisation du pôle industrielle d'Arzew	80
Figure 32 : Répartition des unités industrielles au niveau de la zone industrielle de Hassi Ameur (Source : Direction de l'environnement ,2009).....	82

Liste des tableaux

Tableau 01 : Coordonnés de la station climatologique d'Es-Sénia	18
Tableau 02 : Températures moyennes mensuelles de la station d'Es-Sénia (1990-2008)	19
Tableau 03 : Précipitations moyennes mensuelles 1990-2008 (données ONM) (M.Boubkeri, 2013)	22
Tableau 04 : Précipitations annuelles à la station d'Es-Sénia (1990-2008)	23
Tableau 05 : Moyennes mensuelles de l'évaporation 1990/2008 station d'Es-Sénia	24
Tableau 06 : Précipitations et températures moyennes mensuelles de la station d'Es-Sénia	26
Tableau 07 : Classification des climats proposée par De Martonne.....	27
Tableau 08 : Calcul des indices thermiques et des ETP	29
Tableau 09 : Calcul de l'ETR	29
Tableau 10 : Calcul du bilan hydrique pour la période 1990-2008 selon la méthode Thornthwaite, station d'Es-Sénia	33
Tableau 11 : Les données piézométriques des points d'eaux.....	45
Tableau 12 : Résultats des mesures des perméabilités des niveaux aquifères du plateau d'Oran Bir-El-Djir (AGEP/Sogreah ,1984)	48
Tableau 13 : Présentation des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux	52
Tableau 14 : Valeurs de l'erreur pour chaque analyse	56
Tableau 15 : Les classes des eaux selon leur dureté.....	58
Tableau 16 : Valeurs des TH Calculés (°F)	59
Tableau 17 : Résultats des analyses chimiques des quantités en réaction (en méq/L).....	60
Tableau 18 : Calcul des rapports Caractéristiques des échantillons prélevés	61
Tableau 19 : Calcul des rapports caractéristiques	65
Tableau 20 : Débits des eaux usées dans la région de Gdyel.....	70
Tableau 21 : La quantité des déchets solides produits dans la région d'étude.....	71
Tableau 22 : Les principaux rapports impacts de la décharge de Gdyel.....	78
Tableau 23 : Principales unités industrielles de la zone industrielle d'Arzew	81

Tableau 24 : Quelques exemples des différentes unités et activités industrielles.....	83
Tableau 25 : Classification des déchets générés de la carrière selon le décret exécutif n° 6 – 104 du 28 /02/2006.....	84
Tableau 26 : Les carrières de la région d’Arzew.....	86

Liste des photos

Photo 01 : Lac Télamine bordé par le grès du Pliocène	74
Photo 02 : Aperçu de l'état du Lac Télamine	75
Photo 03 : La décharge sauvage du Lac Télamine (commune de Gdyel).....	76
Photo 04 : Rejet à ciel ouvert de Gdyel vers le lac Télamine	77
Photo 05 : Images caractérisant la décharge de Gdyel.....	77
Photo 06 : Pollution au niveau du lac Télamine (présence de mousse)	79

Liste des annexes

Annexe 01 : Résultats des analyses (ANRH, 2012)	92
Annexe 02 : Résultats des analyses de prélèvements à différentes périodes (données A.N.R.H.)	93
Annexe 03 : Normes des paramètres organoleptiques (OMS)	93
Annexe 04 : Normes des paramètres physico-chimiques (OMS).....	94
Annexe 05 : Les substances indésirables ou toxiques (OMS)	95
Annexe 06 : Normes des paramètres physico-chimiques (OMS).....	96

Liste des abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONM : Office National de la Météorologie.

pH : potentiel hydrogène.

µS : micro-siemens.

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à la vie et l'état de santé de la population mais également pour le développement de la société moderne. Elle représente un pourcentage très important dans la concentration de tous les êtres vivants. Le corps d'un être humain adulte est composé de 60% d'eau et une consommation minimale de 1,5 litre d'eau par jour lui est nécessaire. Elle peut aussi être source de plusieurs maladies hydriques pour l'homme et avoir des impacts négatifs sur l'environnement lorsqu'elle est polluée par certaines activités anthropiques. Les enjeux se multiplient autour de l'eau indispensable à la survie humaine. Un bon nombre d'être humain vivent dans des zones soumises au stress hydrique, il est donc nécessaire d'accentuer les études hydrogéologiques afin de mener à bien les recherches et exploitations des ressources en eaux afin de satisfaire le besoin de la population.

C'est dans ce cadre qu'a été choisi notre thème qui est de contribuer à l'étude hydrogéologique et environnementale dans la zone des Hassis (à l'Est de la région d'Oran). Du fait de son intérêt hydrogéologique, cette zone est très sollicitée par des exploitations de sa ressource en eau. En effet, la zone des Hassis est constituée par des formations alluvionnaires et gréseuses du plio-quadernaire qui constituent d'intéressants réservoirs d'eau souterraine.

Ce travail est structuré comme suit :

- Le premier chapitre porte sur les généralités de la zone d'étude ; il est scindé en deux grandes parties : La première partie pour mieux se localiser et comprendre la zone à travers les contextes géographique, géomorphologique, géologique, les descriptions lithostratigraphiques et l'étude tectonique et structurale. La deuxième partie porte sur le cadre climatique afin d'estimer le régime et les recharges du secteur ainsi que le type de climat qui le définit. Cette deuxième partie est basée essentiellement sur l'interprétation des données de températures et précipitations d'une station météorologique de référence représentative de la région.
- Le second chapitre le plus important du travail expose l'hydrogéologie de la région où nous avons essayé de définir les différents types d'aquifères (leurs localisations, leur extension et leurs limites) caractérisant le secteur d'étude. Dans la même perspective, on présentera également l'étude piézométrique et hydrodynamique menées dans le secteur ayant fait l'objet de la cartographie de l'écoulement général des eaux souterraines.
- Le troisième chapitre est consacré à l'étude hydrochimique basée sur l'interprétation des analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux prélevées au niveau du secteur pour apprécier la qualité des eaux souterraines.
- Dans le quatrième et dernier chapitre : Environnement et pollution ; comme son nom l'indique, nous parlerons des impacts des activités de l'homme sur l'environnement et plus particulièrement sur les ressources en eaux ainsi que les principales sources de pollution de la région d'étude.

Chapitre I :

Généralités sur la

zone d'étude

Première Partie : Présentation de la zone d'étude

I. Contexte géographique

La zone d'étude est située à une quinzaine de kilomètres à l'Est d'Oran avec une superficie de 400 km². Celle-ci formée essentiellement de terrains quasi horizontaux qui constituent la plaine de Gdyel, la dépression de Hassis.

Elle est limitée au :

- Au Nord, par Gdyel et Arzew ;
- Au Sud, par Boufatis ;
- Au Sud-Est, par la saline d'Arzew ;
- Au sud-Ouest, par El-braya et Sidi Chami ;
- A l'Est, par Bethioua ;
- A l'Ouest par Bir-El Djir.

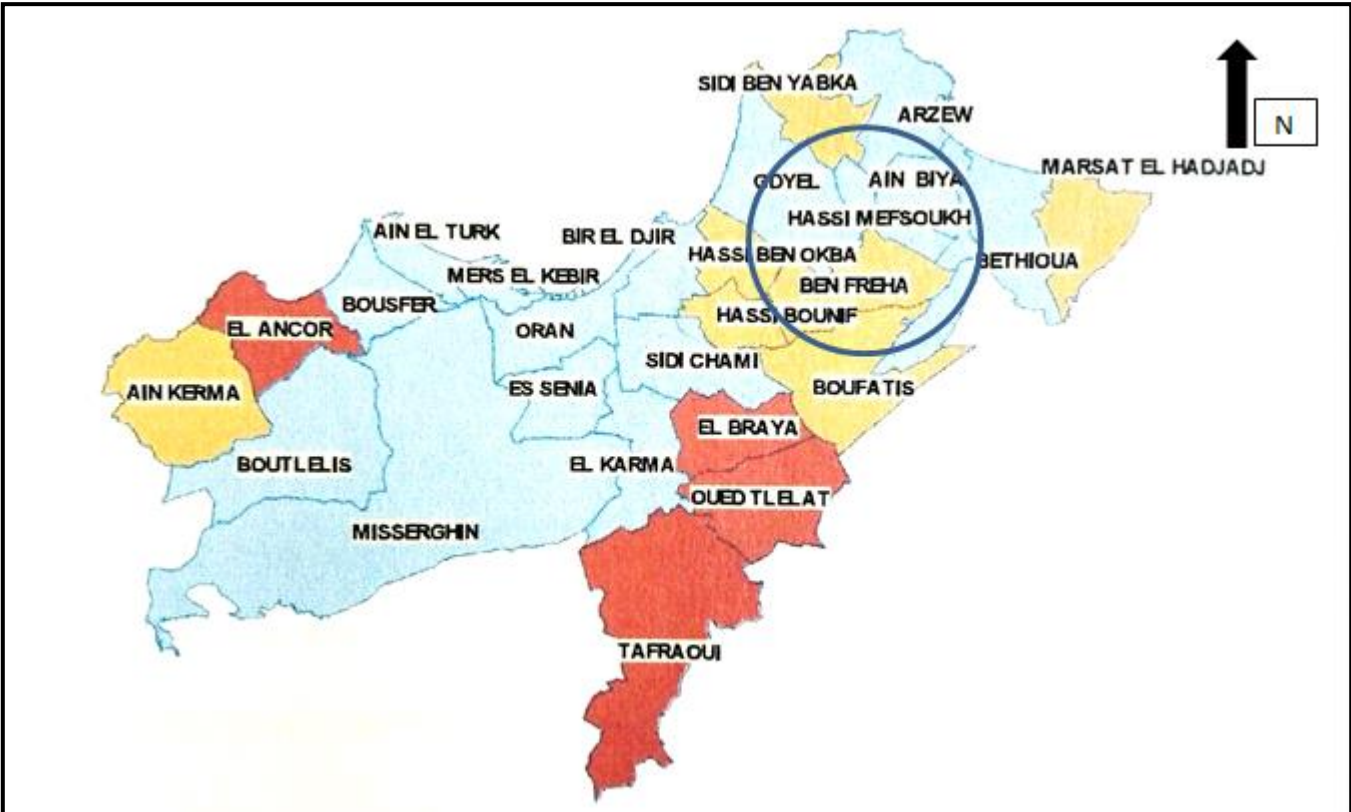


Figure 1 : Carte de Localisation du Secteur d'étude (in B.H. Rachid ,2017-2018).

II. Contexte géomorphologique

Le littoral oranais se subdivise en trois sillons distincts :

- Un sillon septentrional représenté par la plaine des Andalouses ;
- Un sillon médian, qui allonge le sillon du Chélif à l'Ouest ;
- Un sillon méridional formé par les plaines de Sidi Bel-Abbes – Mascara localisé au Sud des Tessala.

Notre secteur d'étude est constitué par une série de plateau parsemée par des cuvettes endoréiques formées par des terrains se transformant en petits lacs pendant la saison pluvieuse.

Au Nord, les massifs littoraux d'Oran (Djebel Murdjadjo) offre des reliefs relativement beaucoup plus restreints mais à la morphologie bien accusée. Le versant Sud est fortement entaillé par une série d'oueds alors que le versant Nord tourné vers la mer est formé par de hautes falaises (A. Rafika, F. Oumkeltoum, 1999).

Au Sud, un massif à structure complexe avec une longueur d'une cinquantaine de kilomètres est constitué par les monts Tessala.

La plaine des Hassis est dominée par les reliefs suivants :

- Les collines de forêts de Hassi Ben Okba au Nord ;
- La colline de Koudiat Er Reha à l'Est, avec une altitude ne dépassant pas 150 mètres. Celle-ci s'étend du Nord-Ouest vers le Sud-Est entre Hassi Ben Okba et Hassian Ettoual, et sépare la plaine des Hassis du Lac Télamine. Ce dernier s'allonge du Sud-Ouest au Nord-Est et sa profondeur avoisine les 80 mètres (S. Miloud ,2009) ;
- Une série de petites collines aux altitudes inférieures à 150 mètres à l'Ouest et au Sud.

Le sillon médian ainsi que les deux ensembles montagneux qui l'encadrent sont orientés WSW-ENE selon la direction Tellienne.

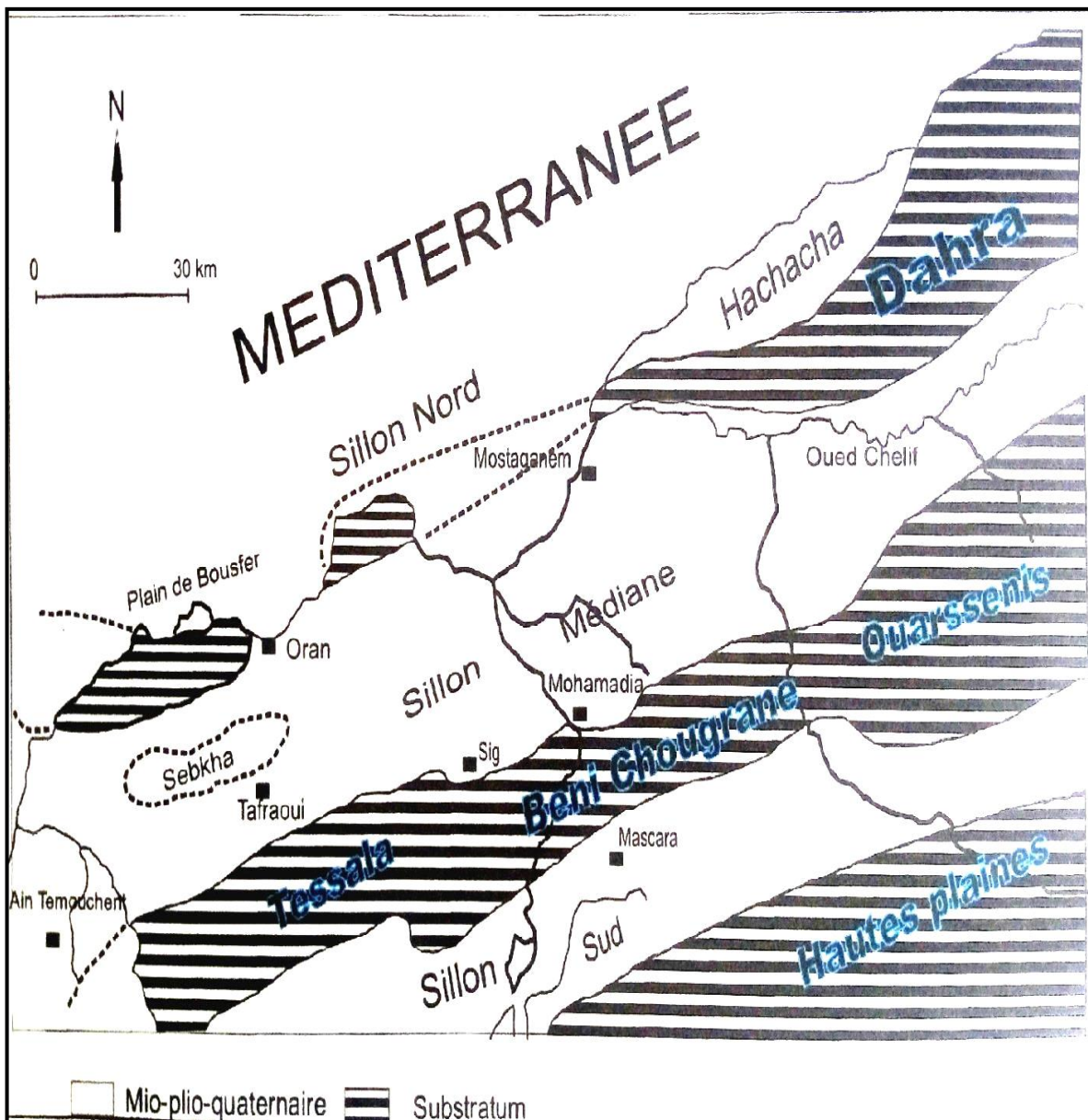


Figure 2 : Structure générale du bassin moyen Chélif (d'après Default et al, 1973).

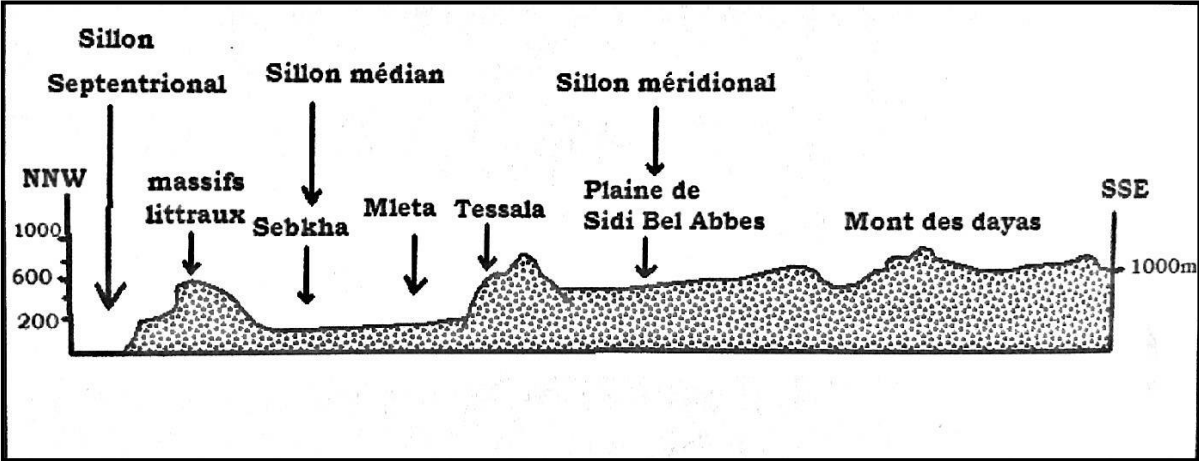


Figure 3 : Profil du relief de l'Oranie (in Hassani, 1987).

III. Contexte géologique

Les tous premiers travaux antérieurs qui reposent sur des observations de surface et des levés de coupes de terrains ont été menés par les autorités françaises pendant la période coloniale, contrairement aux études récentes plus précises basées sur l'investigation géophysique (sondages, coupes géo-électriques) et l'analyse des coupes de forages.

Le littoral oranais et les zones avoisinantes forment deux ensembles structuraux bien distincts disjoints par le bassin du Chélif d'âge Néogène. Le plateau des Hassis est formé par une croûte calcaire et des alluvions surmontant les grès du Calabrien.

Le Miocène supérieur y étant plutôt formé de marnes alternées parfois de bancs de Gypse (ANRH, 2009).

III.1 Aperçu général

Le plateau des Hassis est inclut dans le littoral oranais. Ce dernier avec les zones avoisinantes forme deux ensembles structuraux bien distincts avec une largeur d'une vingtaine de kilomètres et une centaine de kilomètres de longueur. La zone des Hassis s'allonge sur environ 100 kilomètres entre le massif de Madagh à l'Ouest et les monts d'Arzew à l'Est. Cette dépression regroupe les villages suivants : Hassi Bounif, Hassi Ameur et Hassi Ben Okba et s'étend vers le Sud de Boufatis. Celle-ci est formée par une croûte Calcaire et des alluvions surmontant les grès du Calabrien. Le Miocène supérieur y étant plutôt formé de marnes alternées parfois de bancs de Gypse (ANRH 2009). Les Grès lumachelliques (quelques mètres d'épaisseurs) avec une alternance de niveaux de grès lumachelliques d'origine marins et de grès d'origine dunaire constituent les bordures de la plaine de Gdyel. Elle comprend également dans sa longueur un ensemble de Horst (Djebel Murdjadjo, Djebel khar, mont d'Arzew, etc.) représenté par des terrains d'âges secondaires.

III.2 Description lithostratigraphique

Notre secteur d'étude fait partie du domaine ayant fait l'objet de divers travaux géologiques menés par F. Doumergue (1913), Thintouin (1948), A. Perrodon (1957), Y. Gourinard (1958), B. Fenet (1975), G. Thomas (1958). Des observations des affleurements (massifs littoraux de Djebel khar) et l'examen des cuttings recueillis dans plusieurs forages différents ont permis la description lithostratigraphique de la région. Ainsi deux grands ensembles ont été définis :

- un premier anté à synchro-nappe, et
- un second post-nappe.

III .2.1 Les formations anté-nappe : Substratum anté à synchro-nappe

Dans les massifs littoraux du Murdjadjo. Le substratum affleure dans le Djebel khar et dans les monts d'Arzew. Les formations qui le constituent sont les affleurements du Primaire et du Secondaire qui forment l'autochtone relatif (B. Fenet 1975) ou autochtone anté-nappe (G. Thomas 1985). Il est également représenté par des massifs schisteux d'âge Permo-triasique, Jurassique et Crétacé affectés par une orogénèse alpine importante.

III .2.1.1 Permo-Trias

Il n'affleure que dans la montagne des lions (Djebel Khar qui peut être assimilé probablement à une structure monoclinale à fort pendage vers le Nord-Ouest (B. Wahiba ,2008) et est constitué par :

- Des grès à dragées ;
- Schistes violacés ;
- Quartzites ;
- Poudingues à débris de quartz.

III.2.1.2 Jurassique

Au Nord-Ouest de Gdyel, il est représenté par un faible affleurement de calcaires dolomitiques du Lias. Du côté Sud du Djebel Khar, Les Schistes et les poudingues permo-triasiques sont recouverts par des schistes et des grès ardoises qui évoluent en brun-rouge en surface sous forme de Lambeaux. Dans le Djebel Santon, à Ain Keffri, Santa Cruz où il est dominant avec une formation carbonatée composée de lentilles dolomitiques épaisses ainsi que de calcaires schisteux et marmoréens. Le Malm et le Tithonique inférieur sont constitués de bancs calcaires intercalés de niveaux argileux. Les formations du Jurassique moyen et supérieur correspondent aux écailles para-autochtones schisteuses (B. Fenet ,1975).

III.2.1.3 Crétacé

Au Nord-Ouest du Djebel khar, il est représenté par des schistes plus ou moins calcaires (B. Mustapha, 2013). Entre ces schistes s'intercalent des lentilles calcaire-marneuse de couleur jaunâtres. Au Nord- Est du Djebel Khar des Schistes argileux brun et violet le représentent.

III.2.2 Formations post-nappe : Le remplissage (couverture) post-nappe

Dans le bassin synchro-nappe Sud tellien, à l'intérieur duquel la sédimentation marine suit encore son cours durant une certaine période ;

Un nouveau cycle sédimentaire prend place pendant que les unités telliennes terminent leur processus de mise en place.

Des mouvements épirogéniques voient le jour et croissent découpant les régions littorales en zones ascendantes ou subsidentes « Horst et fossés littoraux » pendant qu'il s'installe (Y. Gourinard ,1956).

Ces phénomènes épirogéniques se poursuivent pendant toute la fin du Néogène et du Quaternaire, et ont engendré des cycles marins entrecoupés de périodes d'érosion.

Ces cycles sont les suivants :

III.2.2.1 Miocène post-nappe

Nombre d'auteurs tels que A. Perrodon (1958), B. Fenet (1975), G. Thomas (1985) furent intéressés par l'étude du Miocène post-nappe. Cinq (5) formations ont été distinguées représentant la succession du bassin du Chélif, Il s'agit du : Gypse, Tripoli, calcaire à Lithothamniées (formations terminales) et les grès marins (formations de base). Le Miocène est formé en grande partie par des marnes bleues jouant parfois le rôle de substratum d'aquifère (GUARDIA 1975).

Deux cycles marins bien datés le représentent à savoir :

- Le premier cycle Miocène post-nappe : Langhien-Serravalien : il débute au Serravalien (vers 12.5 MA) et correspond à des dépôts rubéfiés (formation du Bou HANIFIA) qui passe vers le centre à des sédiments marins (B. Wahiba ,2008). Ces dépôts constitués par une alternance de conglomérats à fragment de grès et de marnes rouges entrecoupés.

Au niveau du flanc Sud du Djebel Khar, le début du Miocène transgressif est marqué par des marnes verdâtres micacés présentent sur le plateau de Boufatis. Ce cycle qui à la base débute par des conglomérats et des grès épais d'une centaine de mètres passent à des marnes bleues à patine (croûte) jaune.

- Le deuxième cycle post-nappe « Miocène Supérieur » : Torthonien-messinien : Le Miocène supérieur débute au Torthonien (vers 8.5 MA) et prend fin au Messinien par le volcanisme de Tafraoui et des îles ABIBAS avec un dépôt cinéritique. Il est précédé par une phase d'érosion active suivie d'une accumulation de séries continentales à l'Est d'Oran. Ce cycle est surtout représenté au Sud de Hassian Ettoual (ex : Fleurus) et est constitué par les formations suivantes :
 - La série de base (série détritiques-grès de base) ;

- les marnes bleues (formations marines) ;
- les formations évaporitiques (formations terminales) ;
- les calcaires marneux et récifaux (formation de calcaires sommitaux).

III.2.2.2 Le pliocène inférieure et moyen-marin : 3^{ème} cycle post-nappe

Il est transgressif et correspond au 3^{ème} cycle post nappe de B. Fenet au Sud de la zone d'étude au niveau du Djebel Debbi. Sa bordure s'étend le long de l'extrémité Nord de la Sebka d'Oran selon une ligne Ain Beida –petit lac. Il affleure au Sud de la Montagne des Lions à Ain El-Bachir et à l'Est d'El-Karma (A. Joseph 1979) et s'amincit au Nord du Murdjadjo. Il existe souvent une confusion entre le cycle pliocène et les terrains quaternaires à cause de l'appellation plio-quaternaire vague et imprécise. Une séquence détritique fine, parfois conglomératiques débute par le pliocène marin (plaisancien) qui comprend une série épaisse de marnes bleues à oolithes. Nous avons également des grès pliocène, marins à ciment calcaire qui caractérisent l'Astien constitués de bancs assez résistants se marquant bien dans la topographie.

III.2.2.3 Les formations quaternaires

III.2.2.3.1 Le Plio-Pléistocène (Calabrien)

Le pléistocène correspond au Quatrième cycle post-nappe. Une formation qui débute par des grès coquillés pouvant passer à des calcaires lumachelliques affleure dans le massif littoral d'Oran repose sur des schistes crétacés. On note également la présence de grès surmontant cette formation. Cette dernière montre la présence de faciès gréseux associés à des fragments de calcaires ou marnes. Le long des falaises Est d'Oran, s'étendent les grès calcaires du plateau d'Oran avec une altitude moyenne de 80m. Cette formation est attribuée au Quaternaire d'après GOURINARD (1958). Le Calabrien constitue une partie du massif de Cap-Falcon, Les hauteurs de l'Oued El-Bachir sur le Murdjadjo en corniche, perché sur le versant Nord du Djebel Khar.

III.2.2.3.2 Le Pléistocène moyen

Situé entre le Villafranchien et le Néo-Thyrenien, le pléistocène moyen correspond aux alluvions anciennes (F. DOUMERGUE) et au Quaternaire (Y. GOURINARD 1958). Les alluvions anciennes (argiles gréseuses, rouges, alluvions ferrugineuses, et anciennes dunes consolidées), la carapace calcaire couvrant une vaste partie de terrains anciens, et les alluvions et terrains récents (argiles, travertins affleurant au Sud-Est des Salines) surmontent les sédiments du Néogène.

III.2.2.3.3 Le Pléistocène supérieur

Des niveaux lumachelliques (Couches à strombes) formés essentiellement de lamellibranches sous forme de bancs horizontaux surmontés par des grès de plage représentent le Pléistocène supérieur.

Les dépôts de ce dernier sont bien représentés dans la zone des piémonts du Djebel Murdjadjo le long du littoral oranais par des terrasses et glacis d'accumulation formés de limons sableux ou argileux rubéfiés.

III.2.2.3.4 L'Holocène

Très peu modifié après les phénomènes épirogéniques du Pléistocène par des apports continentaux, l'Holocène comprend :

- Les formations continentales que l'on retrouve en majorité dans la région de Bousfer au pied des massifs littoraux qui sont des brèches de pente et épandages de cailloutis ;
- les dépôts éoliens en relation avec les Dayas très riche en paillette de Gypse ;
- les alluvions récents formant le fond des Dayas et l'ancien lit de la grande sebkha : limons grises, argilo-sableuses, gypse ;
- la croûte continentale(Kerroucha) recouvrant tous les reliefs du plateau d'un manteau constitué de sulfate de chaux et de calcaire ;
- Les formations marines qui sont les plages actuelles et le complexe dunaire de Cap Falcon (dunes fixes et dunes mobiles).

Ces formations alluvionnaires tapissent les zones dépressionnaires et forment la nappe superficielle surmontant les grès du Pliocène.

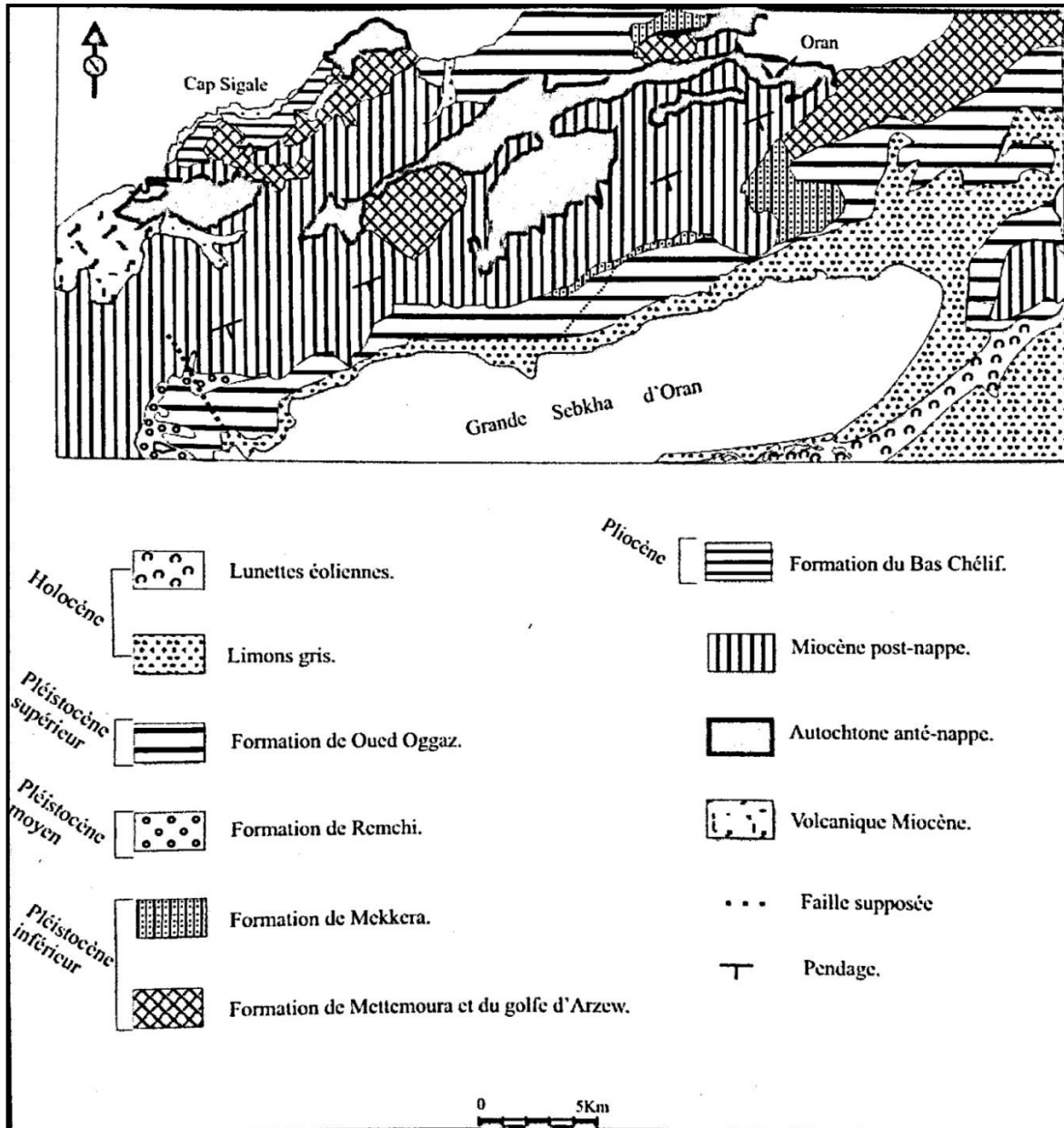


Figure 2 : Carte géologique de l'Oranie d'après G.Thomas ,1985.

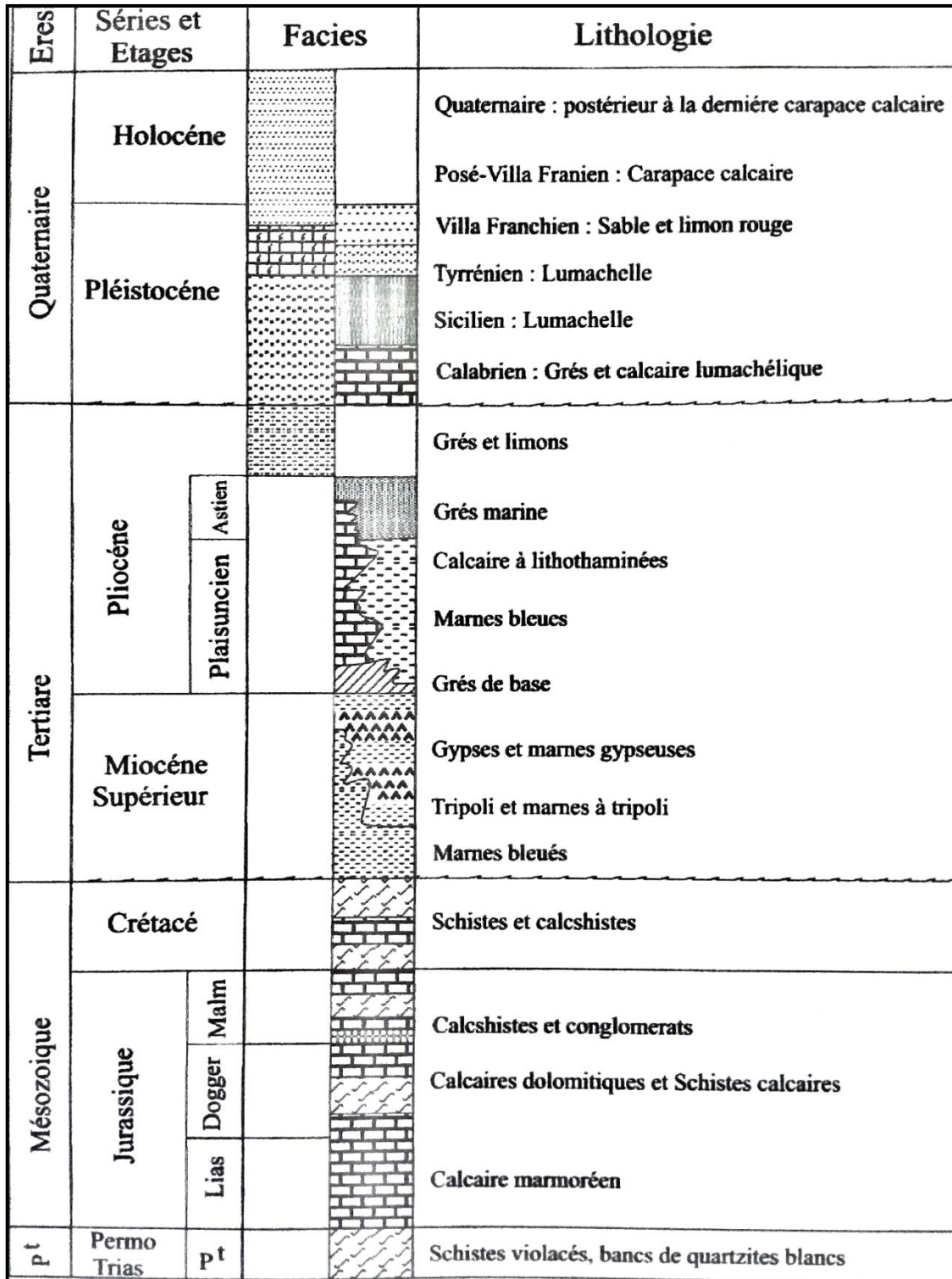


Figure 5 : Log géologique de la région d'Oran –Arzew (In Dioula, 2010).

Un essai de synthèse de coupe géologique sous forme de Log est proposé permettant de résumer la lithostratigraphie de cette région.

III.3 Cadre tectonique et structural

Afin de bien expliquer les grandes périodes de l'histoire tectonique, il est utile de placer notre zone d'étude dans un contexte bien plus général à savoir celui du littoral oranais. Trois directions principales définissent la tectonique oranaise N10-20E, N50-70E, N90E et N140E. Notre zone d'étude fait partie du massif d'Arzew structuré en horsts et grabens contenant des éléments de la chaîne alpine du Tell septentrional.

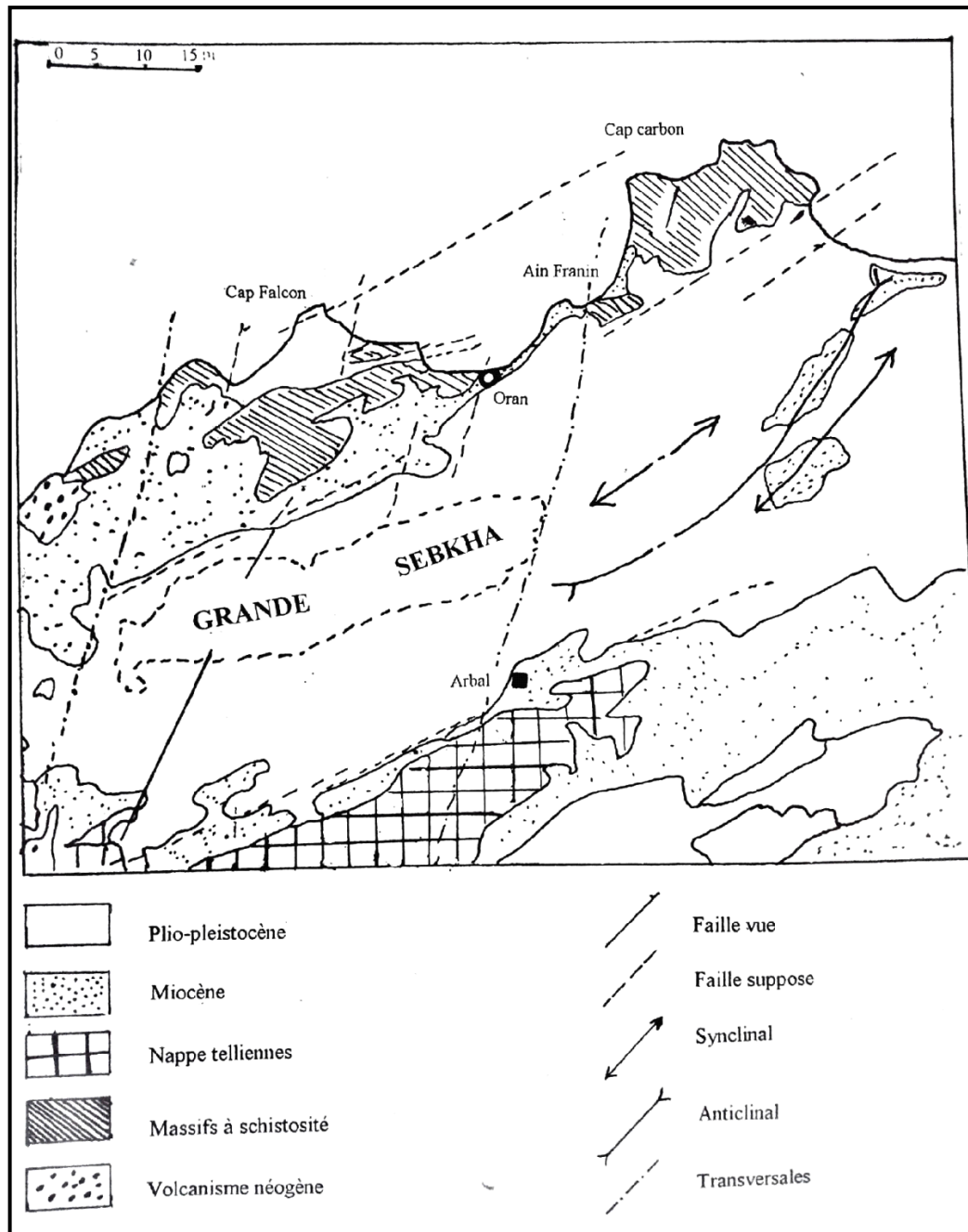


Figure 6 : Schéma structural de l'Oranie (B.Fenet 1957).

Le Djebel khar ayant subi des effets d'une phase tectonique à schistosité et légèrement détaché du massif d'Arzew est un petit horst de 4 km² dont l'évolution est analogue à celle du mont d'Arzew (Ciszak, 1993).

Le Djebel Khar (montagne des lions) qui se situe dans les terrains Néogènes est une zone de horsts limitée par des failles. Ces horsts sont apparus à la fin du néogène supérieur.

Près du sommet, après le Miocène supérieur, ce mécanisme se confirme une seconde fois qui est mis en évidence par l'existence de deux affleurements de calcaires à lithothamniées présents à deux niveaux différents. Ce rejet des horsts a contribué au développement d'ondulations tectoniques de faible amplitude formées de plis simples tels que ceux affectant les couches du pliocène de l'anticlinal de Djebel Debbi entre Boufatis et El Braya (B. Mustapha ,2013).

Au Sud, les terrains néogènes et quaternaires du plateau des Hassis sont séparés des horsts par les failles normales. Au niveau des plateaux, ces terrains tendent vers une morphologie horizontale au niveau des plateaux mais sont affectés par des plissements pouvant être des anticlinaux au niveau des collines ou des synclinaux au niveau des dépressions représentant ainsi une concordance entre la topographie de la région au Sud de la montagne des lions et la structure tectonique.

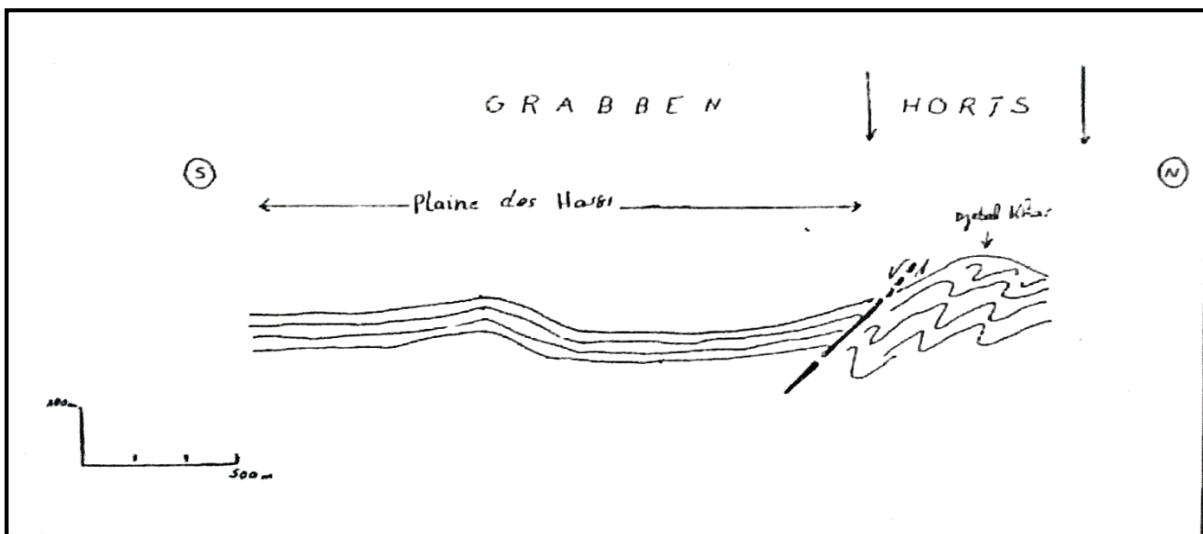


Figure 7 : Schéma illustrant la structure de la région d'étude (in Haddar L, 1986, modifié).

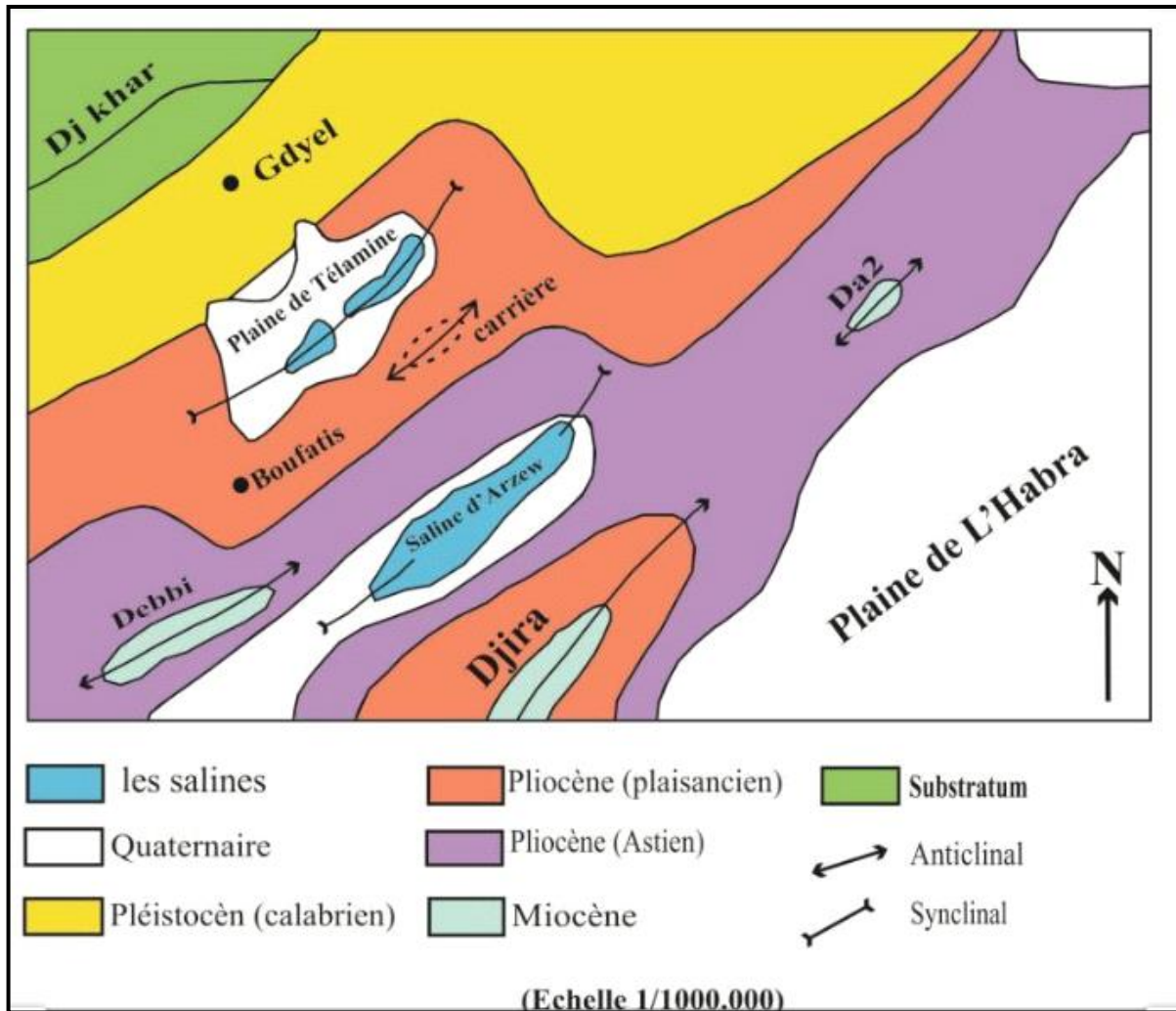


Figure 8 : Ecorché géologique de la région de Gdyl (Y. Gourinard, 1957).

L'écorché géologique de la figure n° 8 schématise les structures des anticlinaux et synclinaux suscités.

La carte nous montre diverses formes plicatives (synclinal et anticlinal) pouvant être subdivisé comme suit :

- Le synclinal de Télamine ;
- le synclinal des salines d'Arzew (dépression) de forme ovale et représenté par du « Calabrien » sur les flancs de cette structure ;
- l'Anticlinal de Debbi qui d'après Perrodon (1957), est limité au SE par une flexure de 15 à 20°, la séparant de la plaine de l'Habia. C'est un anticlinal de style légèrement coffré dont la partie axiale forme un plateau par des formations tabulaire, recouvert par des formations marines quaternaires dans la région des Hamayanes et par des recouvrements villafranchiens dans la partie Sud.

L'analyse morphologique déduit la nature récente de ces mouvements tectoniques ayant régulièrement stigmatisé le réseau hydrographique du Quaternaire singularisant plusieurs bassins fermés.

IV. Conclusion

Cette première partie a fait l'objet d'une présentation de façon général sur le cadre géographique, géomorphologique et géologique. Situé à l'Est de la ville d'Oran, la plaine des Hassis réunit Hassi Bounif, Hassi Ameer, Hassi Ben Okba, Boufatis et Ben Freha. Géologiquement, la zone des Hassis comprend des terrains d'âge secondaires, néogène et quaternaire mettant en évidence une structure de deux ensembles :

- Un substratum anté-néogène (schiste) et
- Une couverture post-nappe du Mio-Plio-Quaternaire (alluvions, grès, marnes).

Un schéma illustratif de la région étudiée a été établi à partir de l'étude lithostratigraphique.

Sur le plan tectonique, on peut déduire que les plateaux sont affectés par des séries néogènes quasi horizontaux tandis que soit des plis simples soit des dépressions caractérisent les régions collines.

Deuxième partie : Cadre climatique

I. Introduction

Le climat correspond aux conditions météorologiques moyennes (températures, précipitations, ensoleillement, humidité de l'air, vitesse des vents, etc.) qui règnent sur une région donnée durant une longue période. Pour l'Organisation météorologique mondiale, elle doit être d'au minimum 30 ans. C'est donc le temps qu'il fait au cours de l'année dans une région du monde.

Les conditions climatiques jouent un rôle primordial sur les ressources en eau d'un domaine (eaux souterraines et eaux superficielles), leurs recharges et leur régime.

L'étude hydroclimatique d'une région donnée a pour objectif :

- **D'analyser ses paramètres climatiques : températures, précipitations, vents ;**
- **De définir son type de climat.**

Ainsi, vu la proximité de la station d'Es-Sénia réputée de référence dans la région, nous l'avons pris en considération dans l'étude hydroclimatique sur une période de 18 ans (1990-2008).

Tableau n° 1 : Coordonnées de la station climatologique d'Es-Sénia.

Station	Altitude (m)	Longitude	Latitude	Année
Es-Sénia	87	00° 36' W	35° 38' N	1990-2008

II. Les paramètres climatiques

II.1 Etude des températures

Les températures ont une grande influence sur le climat. Selon qu'elles soient chaudes ou froides, elles agissent sur les précipitations, la recharge des aquifères, l'évaporation et l'évapotranspiration, la pression, le vent et l'humidité.

Le tableau ci-dessous nous donne les températures moyennes mensuelles.

Tableau n°2 : Températures moyennes mensuelles de la station d'Es-Sénia (1990-2008).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
T (°C)	12.93	13.54	15.02	16.65	19.49	22.57	25.28	26.31	24.26	20.74	16.62	14.24	18,97

Les plus faibles températures moyennes mensuelles vont du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril où elles prennent fin avec la plus faible température de 12.93 observée au mois de Janvier et la plus forte au mois d'Août. La température moyenne annuelle est de 18.97.

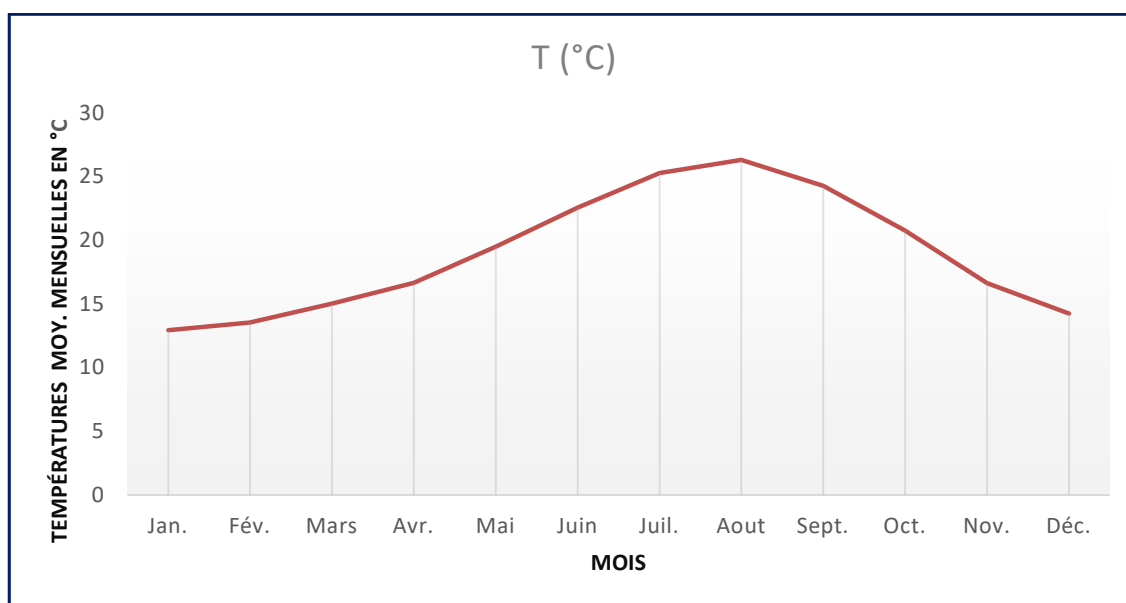


Figure 9 : Graphe des températures moyennes mensuelles à la station d'Es-sénia (1990-2008).

Le graphe montre une croissance des températures de Janvier à Juillet, elle atteint son pic en Aout et décroît progressivement jusqu'en Décembre. Ce qui amène à conclure que le mois le plus chaud c'est Janvier et le mois le plus chaud c'est Août.

II.2 Etude des précipitations

Les précipitations constituent avec la température les éléments les plus importants qui définissent le climat d'un lieu donné. Ils ont une grande influence sur la vie de l'homme et des animaux ainsi que sur les économies d'un pays.

Certains auteurs tels que P. Seltzer (1913-1938), Chaumont et Paquin (1913-1963) ont établi une carte pluviométrique (figure n°10) lors de leur étude du régime pluvial en Algérie indiquant que la région est moyennement arrosée avec des précipitations moyennes annuelles de 300 à 500mm.

La carte pluviométrique est contrôlée par l'altitude et l'éloignement à la mer. Les lames d'eau moyennes de quelques sites pluviométriques selon notre secteur d'étude lues sur cette carte sont les suivantes : Boufatis : **358mm** ; Es-Sénia : **398mm**, Gdyl : **516mm**.

II.2.1 Précipitations moyennes mensuelles.

Le tableau ci-dessous nous donne les précipitations moyennes mensuelles sur une durée de 18 années de 1990 à 2008.

Tableau n° 3 : Précipitations moyennes mensuelles 1990-2008 (données O. N .M) (M. Boubkeri, 2013).

Mois	P (mm)
Jan.	38
Fév.	45
Mars	30
Avr.	25
Mai	16
Juin	2,5
Juil.	0,5
Aout	2,9
Sept.	18
Oct.	33
Nov.	62
Déc.	50
Année	322,9

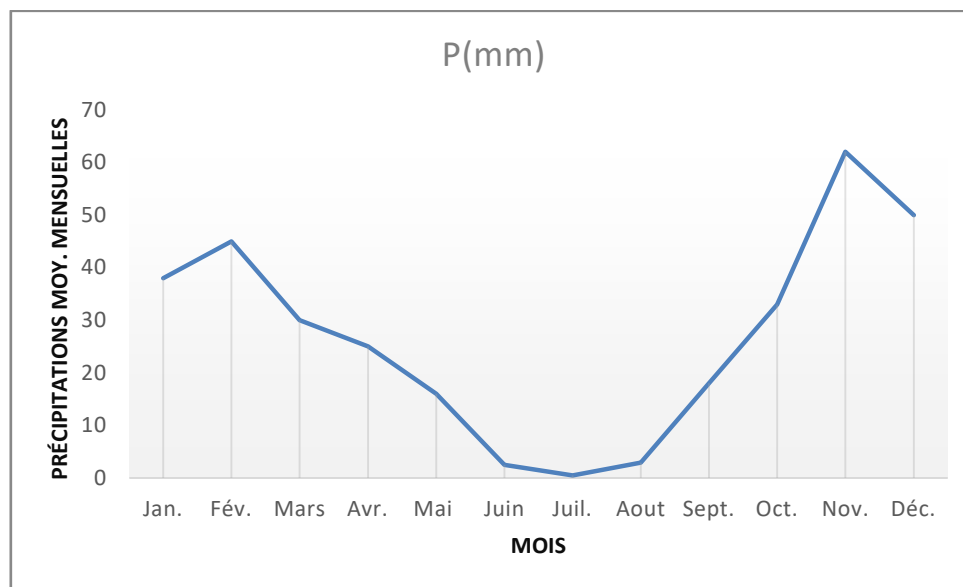


Figure 11 : Graphe des précipitations moyennes mensuelles à la station d'Es-sénia (1990-2008).

Le graphe nous montre que le mois de Novembre a reçu la plus grande quantité de précipitations (**62mm**) tandis que le mois de Juillet possède la plus faible quantité presque nulle avec **0.5mm**.

L'allure du graphe nous fait distinguer deux périodes bien distinctes : l'une aride de Mai à Septembre et l'autre pluviale, d'Octobre à Avril.

II.2.2 Précipitations moyennes annuelles

Tableau n°4 : Précipitations annuelles à la station d'Es-Sénia (1990-2008).

Années	P (mm)
1990	405
1991	234
1992	441
1993	313
1994	318
1995	313
1996	193
1997	205
1998	280
1999	294
2000	375
2001	415
2002	318
2003	313
2004	285
2005	337
2006	320
2007	362
2008	459
Moy. Années	325

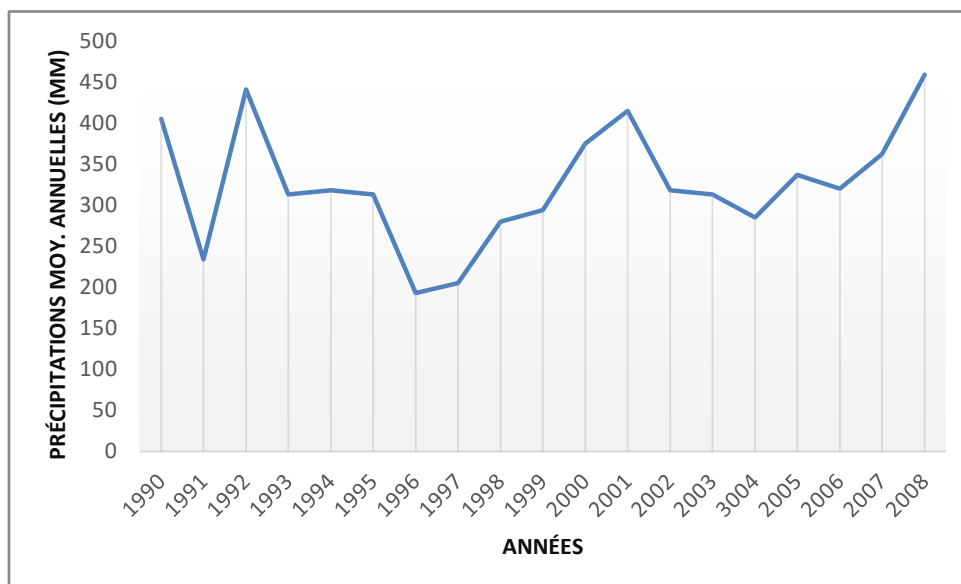


Figure 12 : Graphe des précipitations moyennes annuelles d'Es-Sénia (1990-2008).

L'analyse de notre graphe des précipitations moyennes annuelles de la station d'Es-sénia nous montre que l'année 1996 enregistre la plus petite quantité de précipitations de l'ordre de **193mm** par rapport à l'année 2008 qui accumule un maximum de **459mm**. Les précipitations sont non seulement caractérisés par leur variabilité mais aussi par leurs intensités fortes. Ainsi, cette variabilité interannuelle nous donne un module pluviométrique moyen annuel égal à **325mm**.

II.2.3 Etude de l'évaporation

Lorsque la température est élevée, l'eau s'évapore sous forme de vapeur, on assiste à un passage progressif de l'état liquide à l'état gazeux : ce phénomène est appelé évaporation. Plus la température est élevée ; plus l'évaporation s'accélère. Le vent, la chaleur et la surface d'évaporation sont les trois facteurs qui favorisent l'évaporation.

Les mesures dont on dispose sur le tableau n° 5 ont été réalisées à l'aide d'un évaporomètre piche au niveau de la station d'Es-Sénia de 1990-2008, ce sont des valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation.

Tableau n° 5 : Moyennes mensuelles de l'évaporation 1990-2008/station d'Es-Sénia (A.I. Houda ,2017).

Mois	Evaporation (en mm)
Jan.	57,13
Fév.	62,7
Mars	84,8
Avril	107,47
Mai	126
Juin	144,4
Juil.	155,45
Aout	156,75
Sept.	125,6
Oct.	94,57
Nov.	70,8
Déc.	57,2
Moy. Annuelle	1242,87

L'évaporation la plus significative s'est déroulée au cours du mois d'Août soit **156.75mm** contre celle Janvier qui plutôt faible avec une valeur de **57.13mm**, on a une moyenne annuelle de **1242.84mm**.

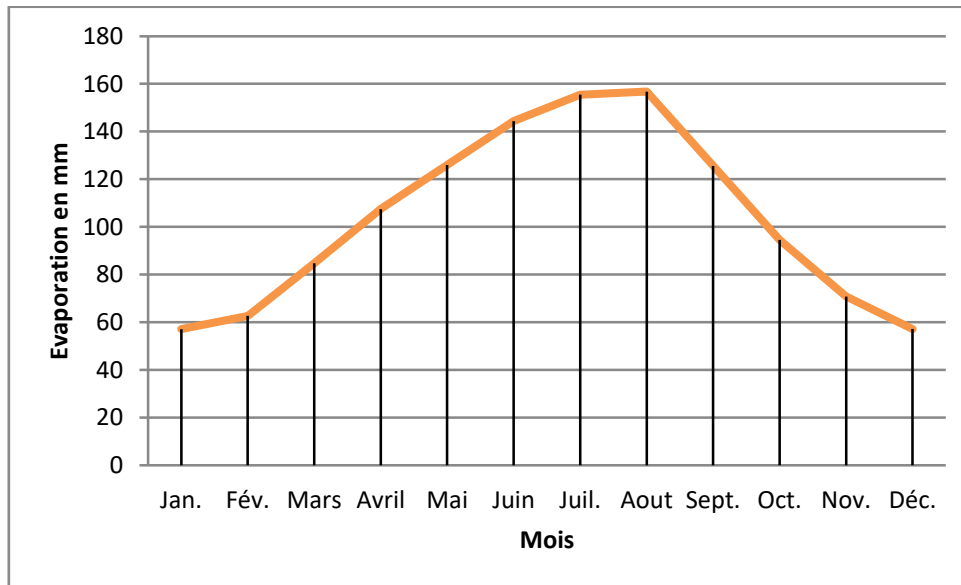


Figure 13 : Graphe des variations moyennes mensuelles de l'évaporation.

III. Les caractéristiques climatiques

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mener à bien l'étude de différentes caractéristiques climatiques. Celles-ci vont nous permettre de déterminer la durée des périodes sèches et humides mais aussi de définir le type de climat de la région en calculant des indices (indice xérothermique de Bagnouls et Gausson, indice d'aridité de De Martonne, indice de continentalité de Kerner "K".) à partir des températures et des précipitations.

III.1 Les méthodes graphiques

III.1.1 Courbe pluviothermique

Comme son nom l'indique, c'est un type de diagramme utilisé en météorologie représentant la variation mensuelle de deux variables climatiques à savoir la température et les précipitations. Les données utilisées proviennent des relevés météorologiques prises à un endroit donné (Station d'Es-Sénia pour notre cas) durant une année afin de pouvoir en faire la moyenne.

Plusieurs courbes pluviothermiques de plusieurs stations peuvent être comparées durant la même année pour voir la variabilité du climat à l'échelle du secteur considéré.

Cette courbe est obtenue selon des graduations standardisées telles que : une graduation de l'échelle des précipitations correspond à deux graduations de l'échelle des températures : $P \leq 2T$.

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
Déc.	14,24	50

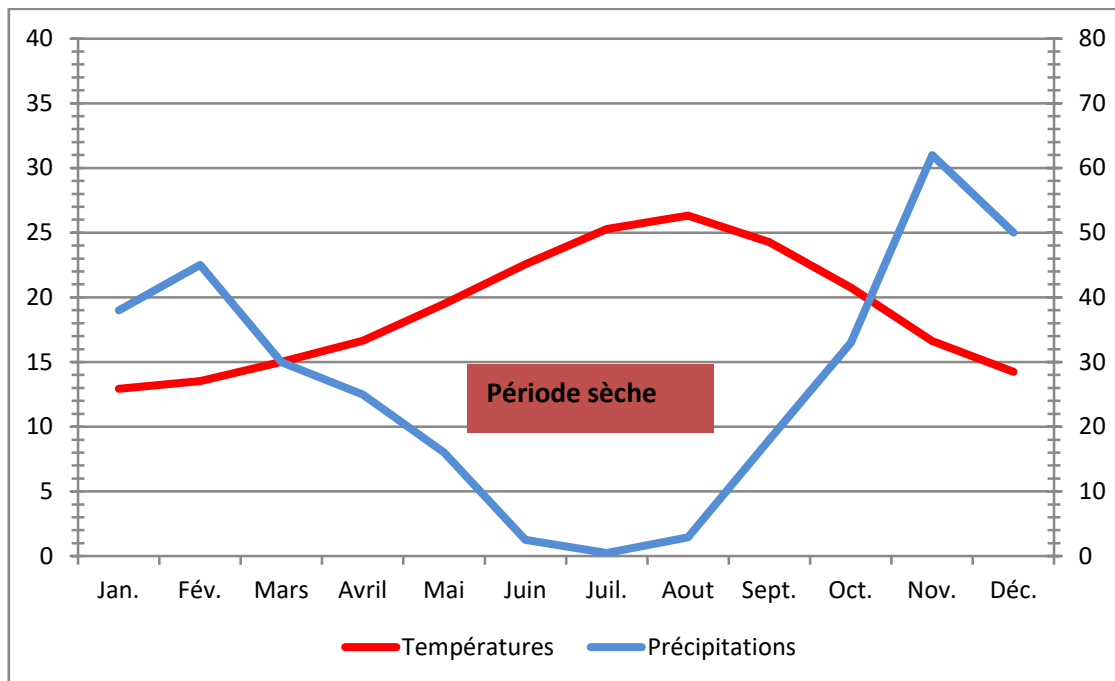


Figure 14 : Courbe pluviothermique de la station d'Es-Sénia.

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

III.1.2 Les indices climatiques

III.1.2.1 Indice d'aridité de Martonne

Cet indice nous donne le degré d'aridité d'une région lors d'une étude hydro climatologique. C'est le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles : $I = P/T+10$

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

Avec :

P = précipitation annuelle moyenne (mm).

T = température annuelle moyenne.

La classification proposée par De Martonne est la suivante (tableau n°7)

Tableau n° 7 : Classification des climats proposée par De Martonne.

Valeur de "I"	< 05	05 < I < 7.5	7.5 < I < 10	10 < I < 20	20 < I < 30
Type de climat	hyperaride	Désertique	Steppique	semi-aride	tempéré

Pour la station d'Es-Sénia, L'indice d'aridité est obtenu comme suit :

$$I = 325 / 18.97 + 10 \quad \mathbf{I = 11.42}$$

Avec l'indice d'aridité obtenue qui est $I=11.42$ ($10 < 11.42 < 20$) on déduit que la station d'Es-Sénia est caractérisée par un **climat semi-aride**.

Ci-dessous notre station d'étude est représentée sur un abaque donné par De Martonne.

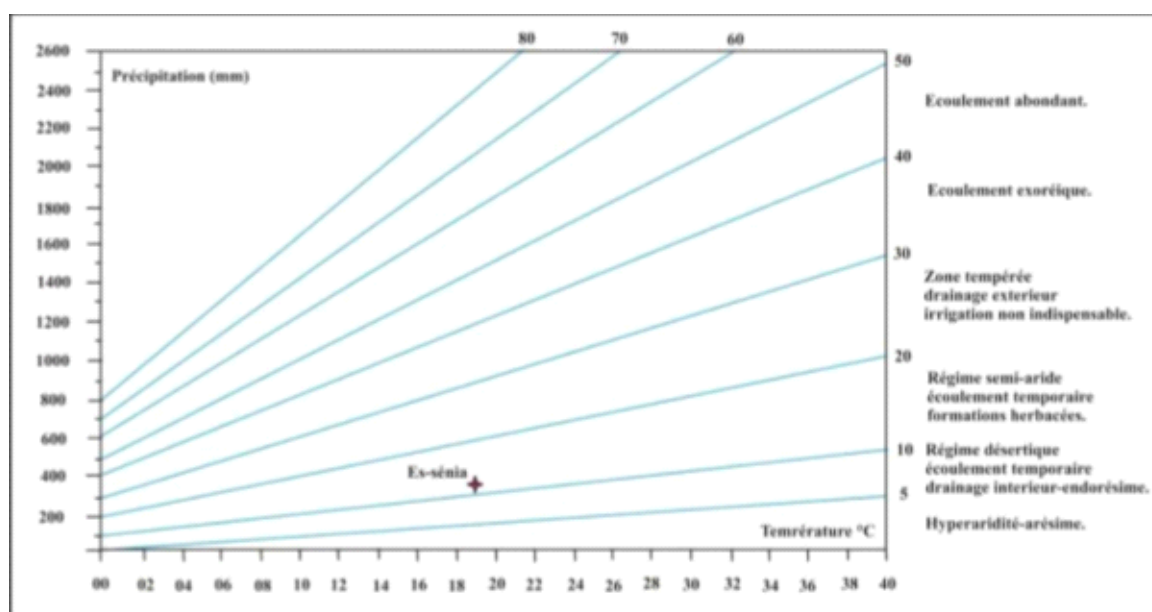


Figure 15 : Abaque d'Indice d'aridité de De Martonne (station d'Es-Sénia).

III.1.2.2 Indice de continentalité de Kerner

Grace à cet indice, on constate l'influence qu'à la mer sur les conditions locales.

La relation donné par Kerner est : $I = x \times 100$ avec :

I_k : Indice de Kerner ;

T_o : Température moyenne mensuelle du mois d'Octobre ;

T_a : Température moyenne mensuelle du mois d'Avril ;

A : Amplitude thermique entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid (°C).

Ainsi pour la station d'Es-Sénia on aura : $T_o=20.74$; $T_a= 16.65$; $A= 15.58$ donc **=25.70**.

IV. Evaluation de L'évapotranspiration

Le bilan hydrique d'une région est évaluation qui repose sur la comparaison entre les apports et les pertes en eau dans un lieu donné et pour une période définie. Il prend également en compte la nature des réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. L'objectif du bilan hydrique est de connaître et suivre l'évolution de la réserve en eau facilement utilisable par la culture. Il s'agit, au fil du temps, de vérifier que cette réserve réponde au besoin en eau de la culture qui est variable en fonction de son stade. Les précipitations assurent la majorité des apports d'eau.

Les pertes sont imputables à la combinaison de l'évaporation et l'évapotranspiration. Cette dernière qu'est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau de l'interception des précipitations, et par la transpiration des plantes.

L'évapotranspiration est un paramètre important parce qu'il conditionne l'abondance ou la disette en eau ; elle est évaluée en quantité d'eau par unité de surface (exprimée en hauteur d'eau, le millimètre communément). On a deux types d'évapotranspiration :

- L'évapotranspiration potentielle ETP et
- L'évapotranspiration réelle (ETR).

IV.1 L'évapotranspiration potentielle ETP

L'ETP ou potentiel d'un sol est définie comme la quantité d'évaporation qui pourrait se produire en cas d'approvisionnement en eau suffisant.

- **Méthode de Thornthwaite**

Elle est donnée par l'expression : $ETP = 16(10 \cdot t / I)^a$, avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm) ;

T : température moyenne annuel en (°C) ;

I: indice thermique annuel $I = \sum 12 i$;

I: indice thermique mensuel $i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$;

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

a : exposant climatique : $a = 0.016 I + 0.49235$.

Le tableau n°8 porte les différentes valeurs de L'ETP calculées selon la méthode de Thornthwaite.

Tableau n°8 : Calcul des indices thermiques et des ETP de la station d'Es-Sénia.

Station	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	
Es-Sénia	T°C	10,87	12,1	14,4	16,08	19,2	23	26	26,6	23,6	20	15,2	12	18,28
	I	3,24	3,81	4,97	5,86	7,66	10,1	12,1	12,5	10,5	8,2	5,37	3,9	88,27
	ETP	23,49	29,2	40,7	50,14	70,2	99,2	125	130	104	77	44,9	30	824,68
	C	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	1,03	1	0,86	0,9	
	ETP©	20,7	24,8	42	54,65	85	120	154	151	107	74	38,6	26	898,16

IV.2 L'évapotranspiration réelle ETR

L'ETR désigne la quantité exacte d'eau évapotranspirée par une couverture végétale réelle. C'est une donnée impossible à mesurer à l'échelle d'une parcelle ou d'une région.

- **Méthode de Turc**

Cette méthode est la plus utilisée, elle tient compte des précipitations et des températures moyennes annuelles. Elle est donnée par l'expression : $ETR = P / L$, avec :

ETR : évapotranspiration réelle (en mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (°C) ;

L : le pouvoir évaporant de l'atmosphère $L=300 + 25T + 0.05T^3$;

T : température moyenne annuelle (°C).

Sur le tableau n° 9, sont reportées les valeurs de l'ETR calculées selon la méthode Turc.

Tableau n° 9 : calcul de l'ETR (A.I. Houda ,2017).

Station	P	T	L	ETR
ES-Sénia	325	18.28	759.9	318.13

Pour cette station d'Es-Sénia, la valeur de l'ETR obtenue est 318.13mm inférieure à celle des précipitations annuelles qui est de 325mm (318.5 325), La formule est alors applicable.

- **Méthode de WUNDT**

Le report de la température moyenne annuelle et de précipitation moyenne annuelle sur l'abaque de Wundt (figure 16) donne pour la station d'Es-Sénia un quotient d'écoulement inférieur à 10% avec un déficit d'écoulement de **390 mm**.

- Méthode de P. Verdeil

C'est la méthode la plus adaptée au climat algérien pour le déficit d'écoulement. Après la projection des valeurs des précipitations annuelles sur l'abaque de Verdeil (figure 17), on a un déficit d'écoulement égal à **370mm**.

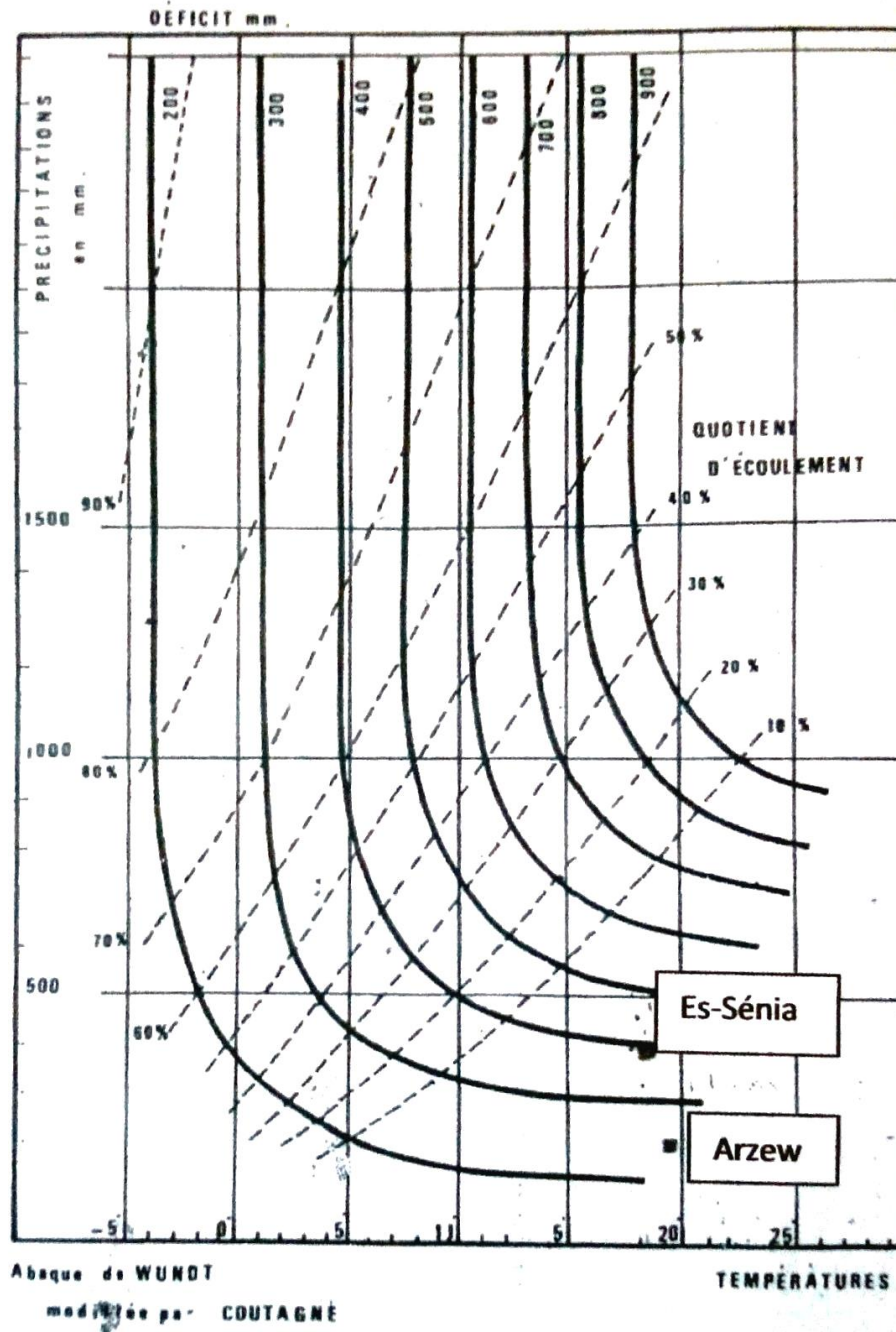


Figure 16 : Abaque de WUNDT, période 1990-2008.

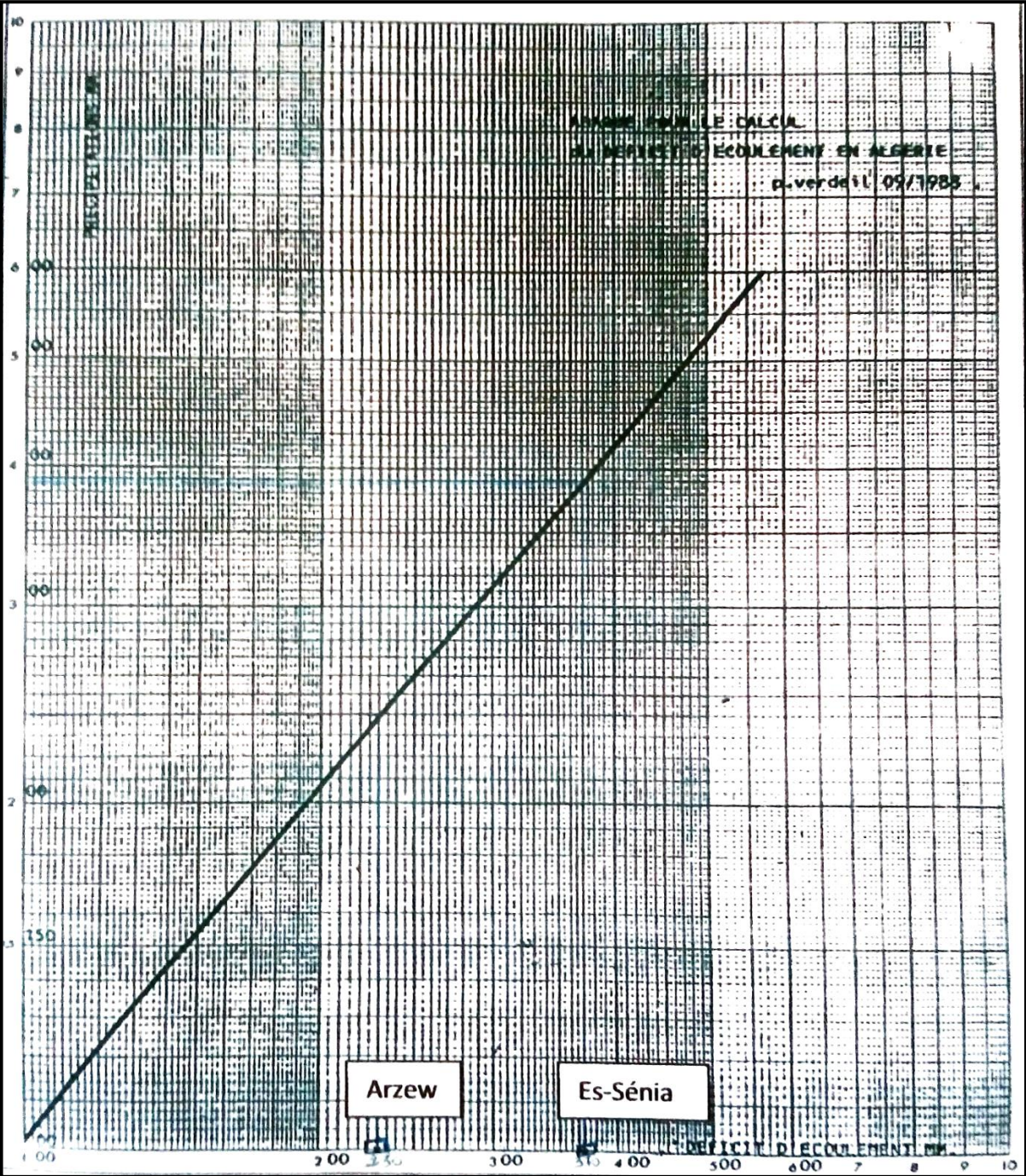


Figure 17 : Abaque de Verdeil, période 1990-2008.

IV.3 Bilan hydrologique de Thornthwaite

La méthode de Thornthwaite permet de calculer ponctuellement (en une station) le bilan d'eau mensuel et annuel à partir des valeurs mensuelles des précipitations et des valeurs moyennes mensuelles des températures. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet d'estimer pour chaque mois : L'évapotranspiration réelle **ETR**, La réserve **RU**, Le déficit agricole **Da** et l'excédent **Ex**.

- Le bilan hydrologique est donné par la relation : **$P = E + R + I$** avec :

P : précipitation moyenne annuelle en mm ;

E : évapotranspiration moyenne annuelle réelle en mm ;

R : ruissellement en mm ;

I : infiltration en mm.

- Le ruissellement est donné par la formule empirique de Tixeront-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3ETP^2 \text{ avec ETP : évapotranspiration potentielle en mm.}$$

Pour la station d'Es-sénia, il a une valeur de 24.01 mm.

- L'infiltration est estimée à partir de la formule du bilan hydrologique donnée par la relation : **$P = E + R + I$ donc $I = P - (ETR + R)$.**

Elle est estimée à 14.49 mm pour la station d'Es-Sénia avec un excédent égal à 74mm par la méthode de Thornthwaite.

- La réserve utile se calcule par la formule de Hallaire ci-dessous qui fait intervenir la nature, la profondeur, et la densité apparente du sol.

$$RU = (C - F / 100) \cdot H \cdot D + 30 \text{ mm avec :}$$

C : représente la capacité au champ ;

F : la capacité au point de flétrissement ;

H : la profondeur du sol en mm ;

30 mm c'est l'enracinement capillaire.

La réserve utile de la région est de 50 mm.

Il est à noter que les valeurs du ruissellement obtenues à partir de la formule empirique de Tixeront-Berkaloff et celle de l'infiltration par la formule du bilan hydrologique sont des valeurs sous-estimées. Ceci dit, les valeurs obtenues par la méthode de Thornthwaite sont plus plausibles.

Le tableau suivant dressé réunit les éléments du bilan hydrologique mensuel selon la méthode Thornthwaite pour la station d'Es-Sénia considérée comme une station de référence.

Tableau n °10 : Calcul du bilan hydrique pour la période (1990-2008) selon la méthode de Thornthwaite ; station d'Es-Sénia (A.I. Houda, 2017)

Mois	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Année
T°C	15,2	12,3	10,9	12,1	14,4	16,1	19,2	23	26	26,6	23,6	20	18,28
P (mm)	67,8	51,6	56,6	57,8	38	34	24	5,02	1,3	3,76	16,3	31	378,34
ETP (mm)	38,6	25,6	20,7	24,8	42	54,7	85	120	154	151	107	74	898,16
Variation de la réserve	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
R (mm)	29,2	50	50	50	46	25,3	0	0	0	0	0	0	
ETR (mm)	38,6	25,6	20,7	24,8	42	54,7	24	5,02	1,3	3,76	16,3	31	287,88
Da							35,7	115	153	147	90,9	43	584,98
Ex	0	5,17	35,9	33,1									74,12

V. Conclusion

Notre secteur d'étude fait partie du littoral oranais jouissant d'un climat méditerranéen semi-aride.

Le secteur présente une précipitation moyenne annuelle de 325 mm avec une valeur de température moyenne mensuelle de 12.93 °C au mois de Janvier qui est la plus faible et 26.31 °C en Août qui est la plus forte pour la période allant de 1990 à 2008.

La pluviométrie est irrégulière avec une période sèche s'étendant sur une période de sept mois qui commence en Avril et prend fin en Octobre.

Chapitre II :

Hydrogéologie

I. Introduction

L'étude hydrogéologique 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 entraîne une baisse généralisée et continue du niveau piézométrique.

II. 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.

II.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).

Les trois niveaux sont :

II.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 Hassis jusqu'en bordure du Lac Télamine. Les variables alluvions constituant cet aquifères sont : argile, croûte, calcaire, limons et gypse, éléments de Schistes et Calcaires. On y trouve une eau saumâtre captée par des puits d'une trentaine de mètres de profondeur.

II.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 grès coquillers rencontrés ne dépasse pas 10m (B. Wahiba ,2008).

II.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.

II.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.

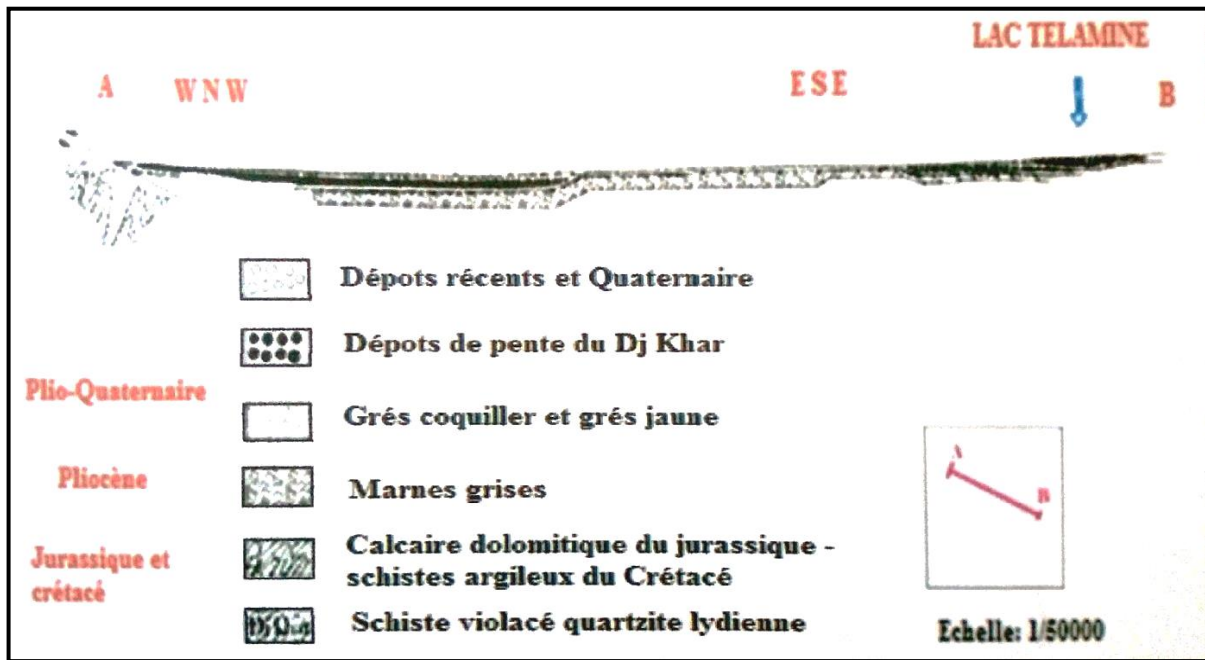


Figure18 : Aquifère bicouche : Eboulis et grés d’après Foukrache M. 1996 (modifié).

- 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.

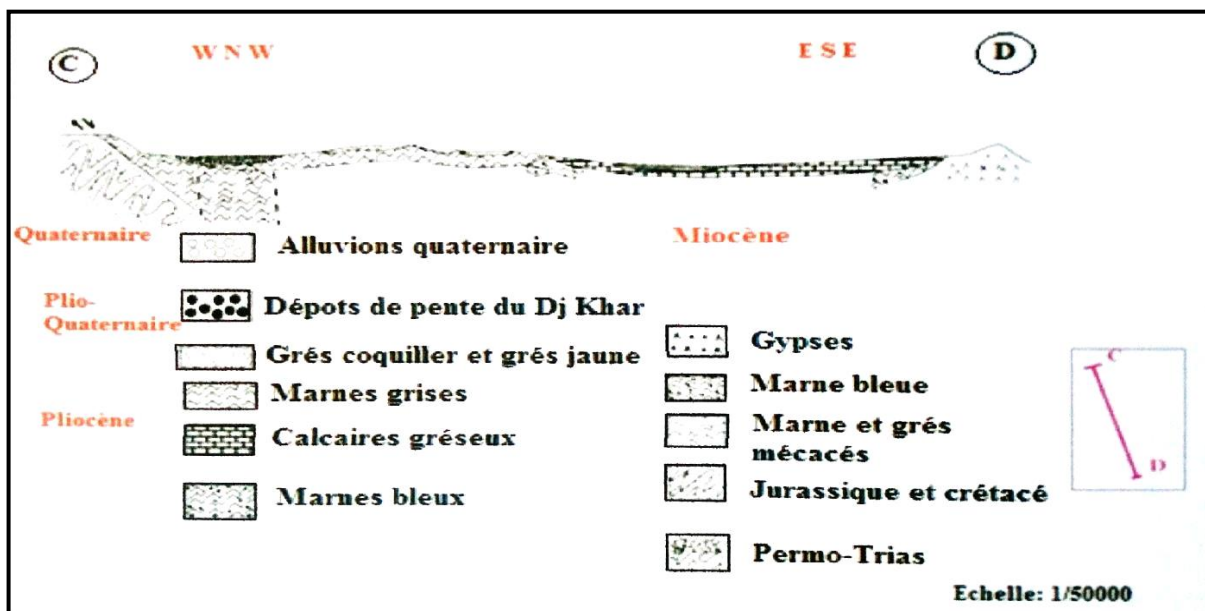


Figure19 : Aquifère bicouche : Alluvions-calcaire gréseux d’après Foukrache.M 1996 (modifié)

II.2 Aquifère des calcaires dolomitiques du Lias

Les calcaires dolomitiques du Lias affleurent largement aux Djebel Orouse 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 sur le cadre géologique.

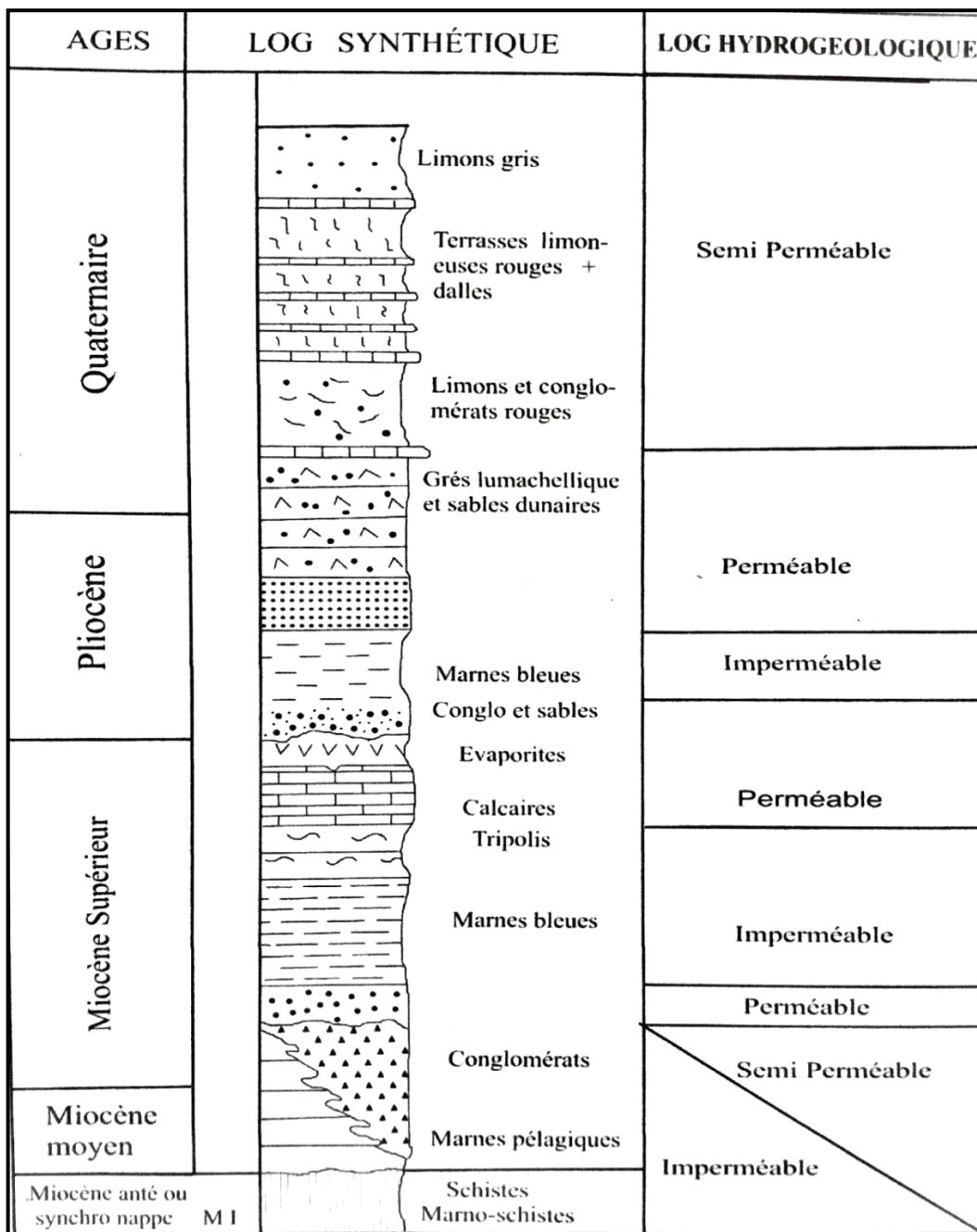


Figure 20 : Log hydrogéologique de la région d'Oran (in Hassani, 1987).

III. 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 pu être déterminées.

III.1 Présentation des coupes géologiques des forages

III.1.1 Sondage de Gdyel (figure 21)

- **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.

III.1.2 Sondage de Sidi Benyebka (figure 22)

- 0-6m** : Argiles brique carbonatées.
- 6-17m** : Grés sombres, rose siliceux dolomitiques.
- 17-30m** : Schistes violacés avec intercalation de 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 de 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.

III.1.3 Sondage de Hassian-Ettoual (figure 23)

- 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.

III.1.4 Sondage de Hassi Mefssoukh (figure 24)

- 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.

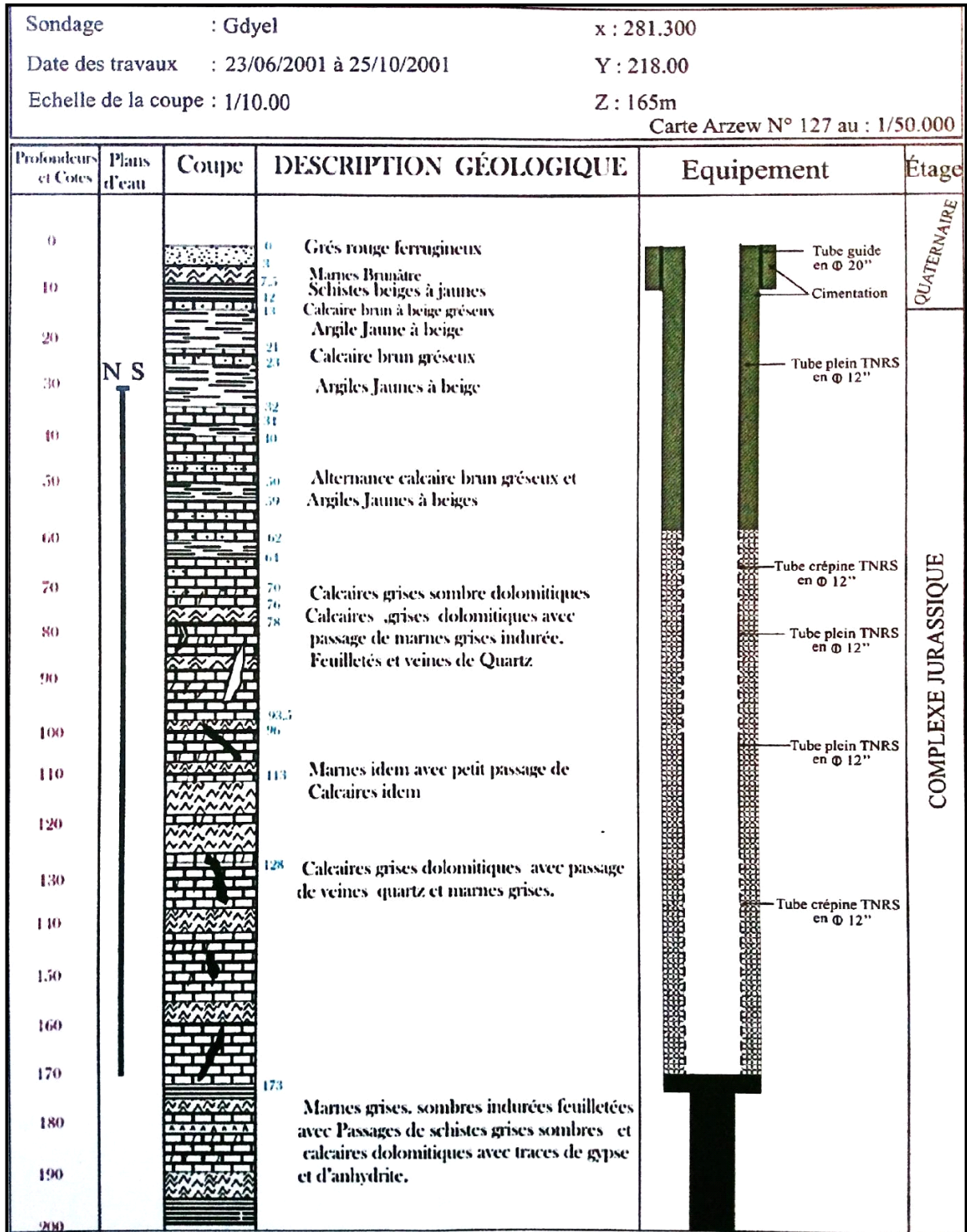


Figure 21 : coupe géologique et technique du forage de Gdyel (2001).

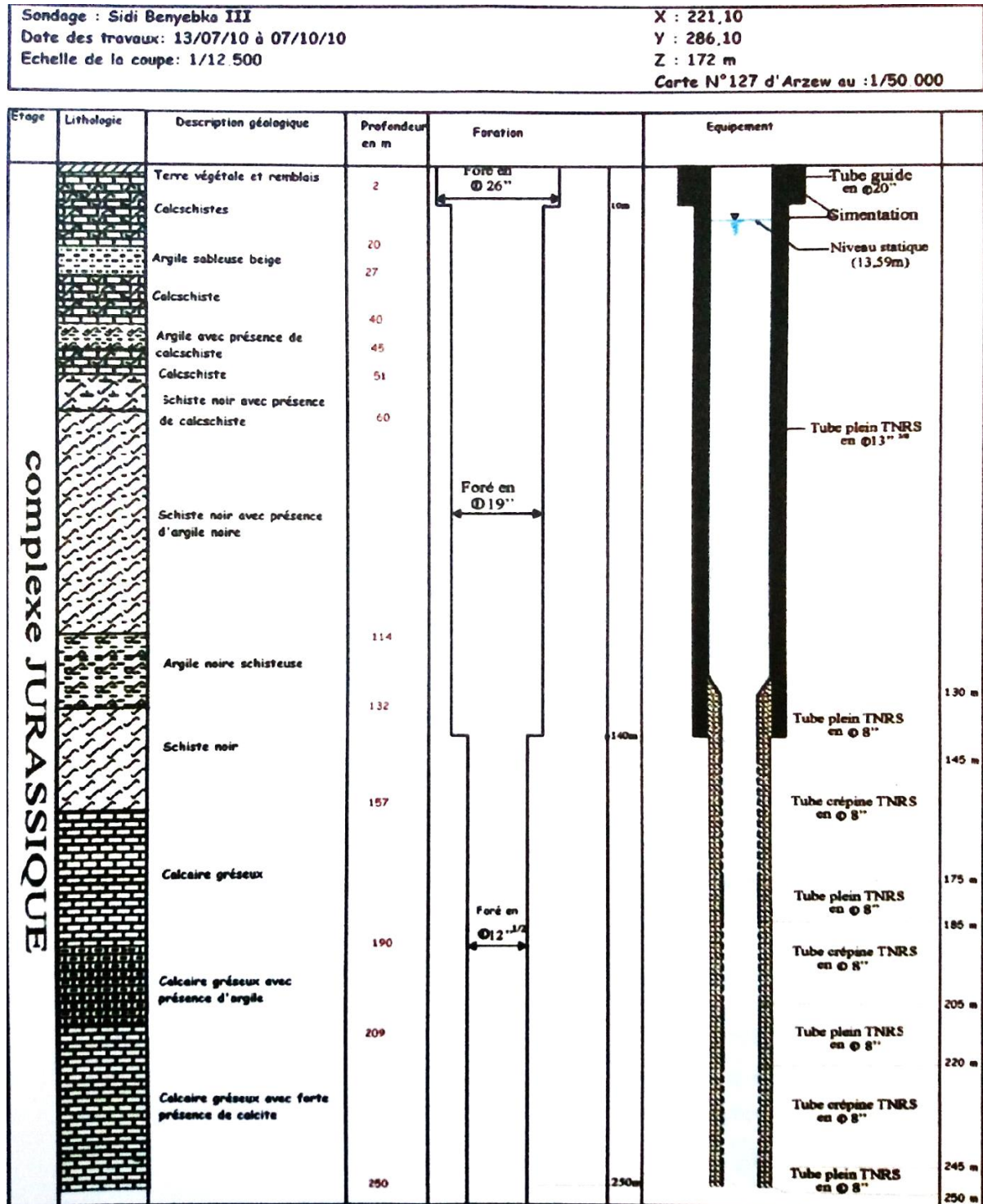


Figure 22 : Coupe géologique et technique du forage de Sidi Benyebka (2010).

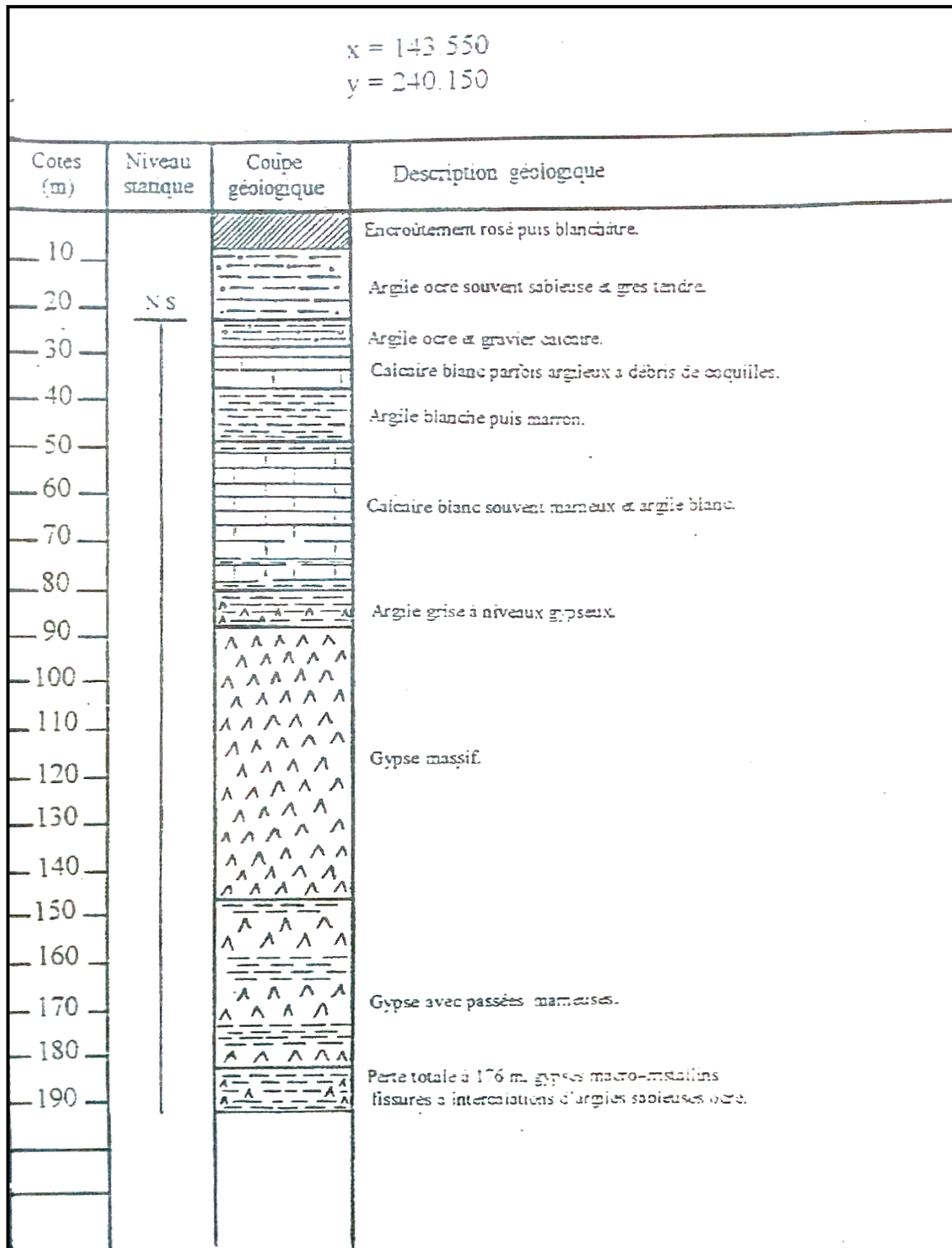


Figure 23 : Coupe géologique et technique de Hassian Ettoual (in A.I. Houda, 2017).

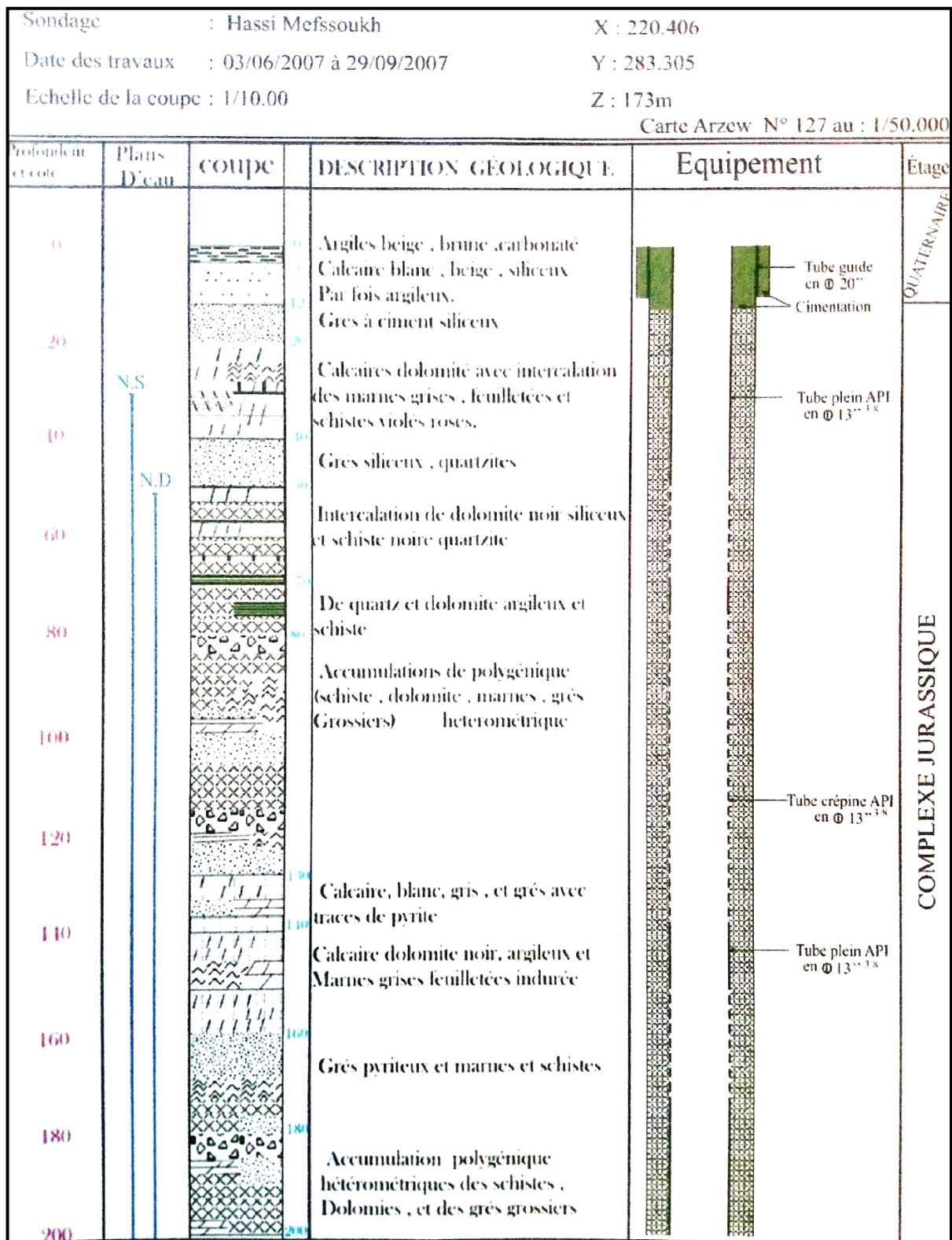


Figure 24 : Coupe géologique et techniques du forage de Hassi Mefssoukh (2007)

IV. Piézométrie et interprétation de la carte piézométrique du secteur d'étude

Le 24 et 25 Février 2012, une campagne piézométrique a été menée dans notre secteur d'étude sur treize (13) points d'eaux à savoir des puits et des forages situés à l'intérieur de la zone industrielle et au niveau des terres agricoles et urbanisées environnantes. Un prélèvement fut également effectué au niveau de chaque puits et forage pour une étude hydrochimique.

Tableau n°11 : Les données piézométriques des points d'eaux.

Indice des points d'eau	Longitude	Latitude	Z (m)	H (m)	Localisation
P1	35°42'20.10''	0°29'27.14''	97	93	Zone Industrielle (U. Haffar)
P2	35°42'39.48''	0°29'07.66''	96.5	92.7	Zone Industrielle (U. Benyelles)
P3	35°42'17.13''	0°28'37.38''	94	90	Zone Industrielle (U. Saidi)
P4	35°43'01.14''	0°28'25.22''	98.5	92.75	Zone agricole
P5	35°43'21.65''	0°28'10.94''	99	92.1	Zone Industrielle (U. ECO)
P6	35°42'45.03''	0°28'55.89''	97	92.9	Zone Industrielle (U. SIMAS)
P7	35°42'21.24''	0°29'07.13''	94.8	91.55	Zone Industrielle (U. Unilever)
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

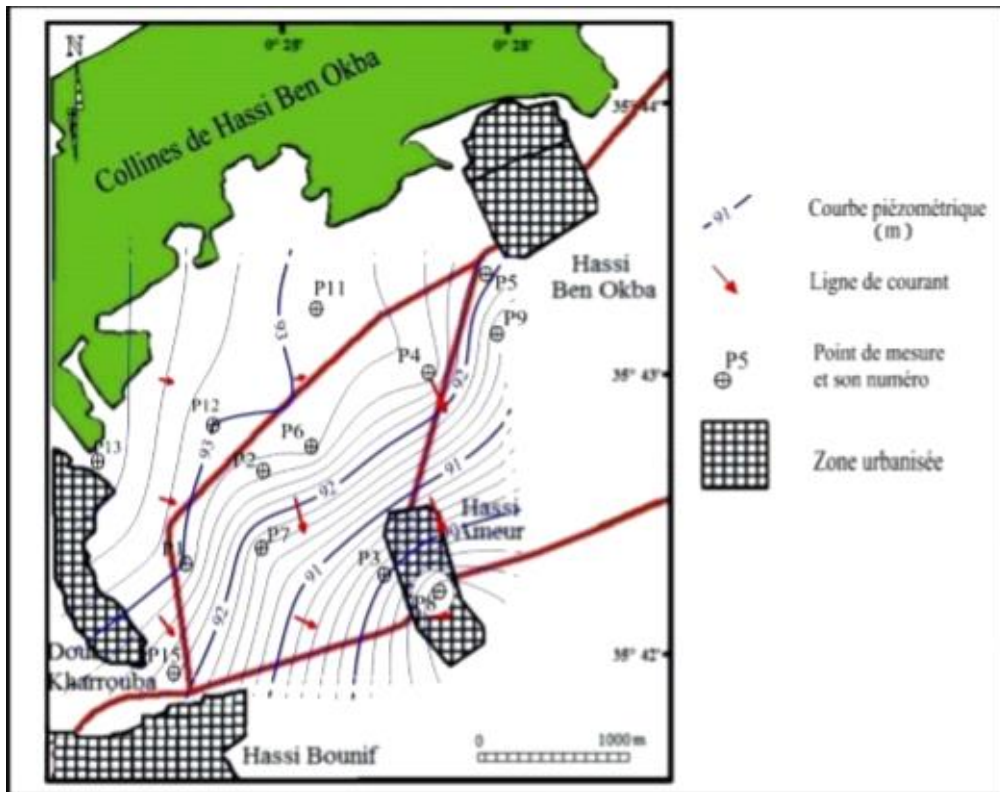


Figure25 : Carte piézométrique de la zone d'étude (24-25 Février 2012) (M. Boubkeri, 2013).

La réactualisation des données piézométriques de la zone d'étude en 2012 a permis d'établir une carte piézométrique. La carte piézométrique correspondant aux altitudes de la nappe au moment de la mesure piézométrique, donne une indication sur la situation de la nappe, le sens des écoulements et leur vitesse. Ainsi, les courbes hydroisohypses de notre carte schématise non seulement la fonction conduite du réservoir mais aussi le comportement hydrodynamique de l'aquifère à travers les informations suivantes obtenues suites à l'interprétation :

L'écoulement général se fait du Nord-Ouest vers le Sud-Est avec une surface piézométrique caractérisant une nappe radiale ; avec une légère convergence vers la zone de Hassi Ameur (courbes isopièzes plus resserrées qu'à l'amont). La pente de cette nappe est assez régulière et le profil parabolique de l'écoulement général dénote une diminution de la perméabilité de l'amont vers l'aval dans le sens de l'écoulement.

Le gradient hydraulique moyen de la nappe au niveau de la zone industrielle (S.S) est faible de l'ordre de 1.8×10^{-3} . Les collines formant le plateau des Hassi (Hassi Ben Okba) sont constituées par les grès calcaireux du Pliocène doués d'une double perméabilité d'interstices et de fissures. Cette formation offre une limite d'alimentation pour l'essentiel du système aquifère de la région des Hassi. (M. Boubkeri, 2013).

L'aquifère plio-quadernaire est alimenté par la surface de son propre impluvium très étendu dans la région constituée de grés et sables. Cet aquifère est peu profond mais possède une ressource importante en eau ; il est libre, ce qui le rend vulnérable aux pollutions du fait de sa connexion avec le lac Télamine faisant objet de plusieurs rejets polluants (déchets industriels, eaux usées, décharges).

V. Paramètres Hydrodynamiques

La fonction conduite d'un aquifère permet le transport des quantités d'eau et la transmission d'influences. Elle est imposée par la structure de l'aquifère : géométrie et hydrodynamique.

L'écoulement de l'eau souterraine est déterminé par trois groupes de paramètres hydrodynamiques :

Coefficient de perméabilité et transmissivité.

Gradient et charge hydraulique.

Débit d'une nappe et vitesse d'écoulement des eaux souterraines.

La circulation de l'eau souterraine est conditionnée par la perméabilité.

Pour connaître les caractéristiques hydrauliques d'un aquifère, il est indispensable d'effectuer « des pompages d'essai » qui consistent à enregistrer les variations de charges hydraulique (rabattements) ou du débit au puits de pompage et dans des piézomètres proches de l'ouvrage de captage en fonction du temps. Ces variations sont interprétées selon différents modèles théoriques de comportements hydrodynamiques, basés sur les solutions de l'équation de diffusivité. La transmissivité et le coefficient d'emmagasinement déterminés par les pompages d'essai permettent de déterminer la présence de conditions aux limites pouvant être ouvertes ou fermées.

Transmissivité et perméabilité

Un pompage d'essai effectué dans un puits à grand rayon situé à quelques dizaines de mètres de l'ouvrage de captage P1 ($X=212.40$ $Y=271.73$ $Z=111m$) a donné une transmissivité de la formation aquifère (alluvions et calcaire gréseux) de l'ordre de 2.8×10^{-3} à 4.2×10^{-3} m^2/s (ENRENAD, 1998). Ainsi, l'aquifère plio-quadernaire montre une bonne perméabilité.

A titre indicatif mesures de perméabilité interprétés selon la méthode Lefranc, réalisées dans des sondages de reconnaissances mettant en évidence différents horizons à l'échelle du plateau d'Oran-Bir El Djir (Ouest du plateau des Hassi) ont donné les résultats résumés au tableau n° (AGEP/Sogreah, 1984) (M. Boubkeri, 2013).

Tableau n°12 : Résultats de mesures des perméabilités des niveaux aquifères du plateau d'Oran Bir El Djir (AGEP / Sogreah, 1984) (in M. Boubkeri, 2013).

Quaternaire	Argiles à gravier ou à horizon sableux ou gypseux	$1,2.10^{-7}$ à $2,4.10^{-4}$ m/s
	Argiles rouges	$1,3$ à 7.10^{-7} m/s
	Silts	$1,1.10^{-4}$ m/s
	Sables fins, sables argileux, calcaires tufeux	$9,4.10^{-5}$ m/s
Astien	Argiles sableuses et gréseuses	$6,6.10^{-6}$ m/s
	Sables argileux	$1,1.10^{-5}$ à 7.10^{-4} m/s
	Argiles et calcaires	$1,1.10^{-4}$ m/s

Ces résultats disparates présentés au tableau ci-dessus accusent une imprécision quant à l'intérêt hydrogéologique des formations plio-quaternaires suscitées. Toutefois une perméabilité moyenne de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} m²/s nous semble représentative de l'aquifère.

Par ailleurs, une estimation des ressources en eau souterraines du plateau des Hassis, établie par l'ANRH/ENERGOPROJEKT (2009), par application de la méthode du bilan hydrologique, propose une valeur de 3,9 Hm³/an.

Quoique cette valeur arbitraire, nous semble trop subjective.

VI. Conclusion

L'étude hydrogéologique entreprise dans la région d'étude a permis de mettre en évidence l'existence de deux (2) importants aquifères, il s'agit de :

- L'aquifère plio-quadernaire avec ses trois (3) niveaux superposés : alluvions-grés et sables-calcaire gréseux ; capté par plusieurs ouvrages.

Dans la zone des Hassis, l'aquifère des calcaires gréseux est très développé.

Les coupes réalisées par M. Foukrache ont permis de mieux comprendre la relation entre les trois niveaux formant un seul système aquifère à nappe libre.

- L'aquifère des calcaires dolomitiques du Lias qui se prolonge sous l'aquifère plio-quadernaire forme une réserve en eau très importante au Sud des piémonts des monts d'Arzew avec des débits d'exploitations très appréciables (M. Foukrache, 2001).

La carte piézométrique établie en 2012 indique que le sens d'écoulement majeur des eaux des aquifères de la région va du Nord-Ouest au Sud-Est.

Chapitre III :

Hydrochimie

I. 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^{+} , K^{+}) et anions (Cl^{-} , SO_4^{2-} , HCO_3^{-} (CO_3^{2-}), 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.

Nous avons pu disposer d'un réseau d'échantillonnage qui nous semble représenter au mieux a été la variabilité spatiale de la qualité des eaux souterraines de notre secteur d'étude. Il s'agit d'une campagne piézométrique réalisée sur quinze points d'eau pendant la période du 24 au 25 Février de l'année 2012. L'analyse des échantillons prélevés s'est effectuée au niveau du laboratoire de chimie de la direction régionale Ouest (DRO) de l'agence nationale des ressources hydrauliques (ANRH).

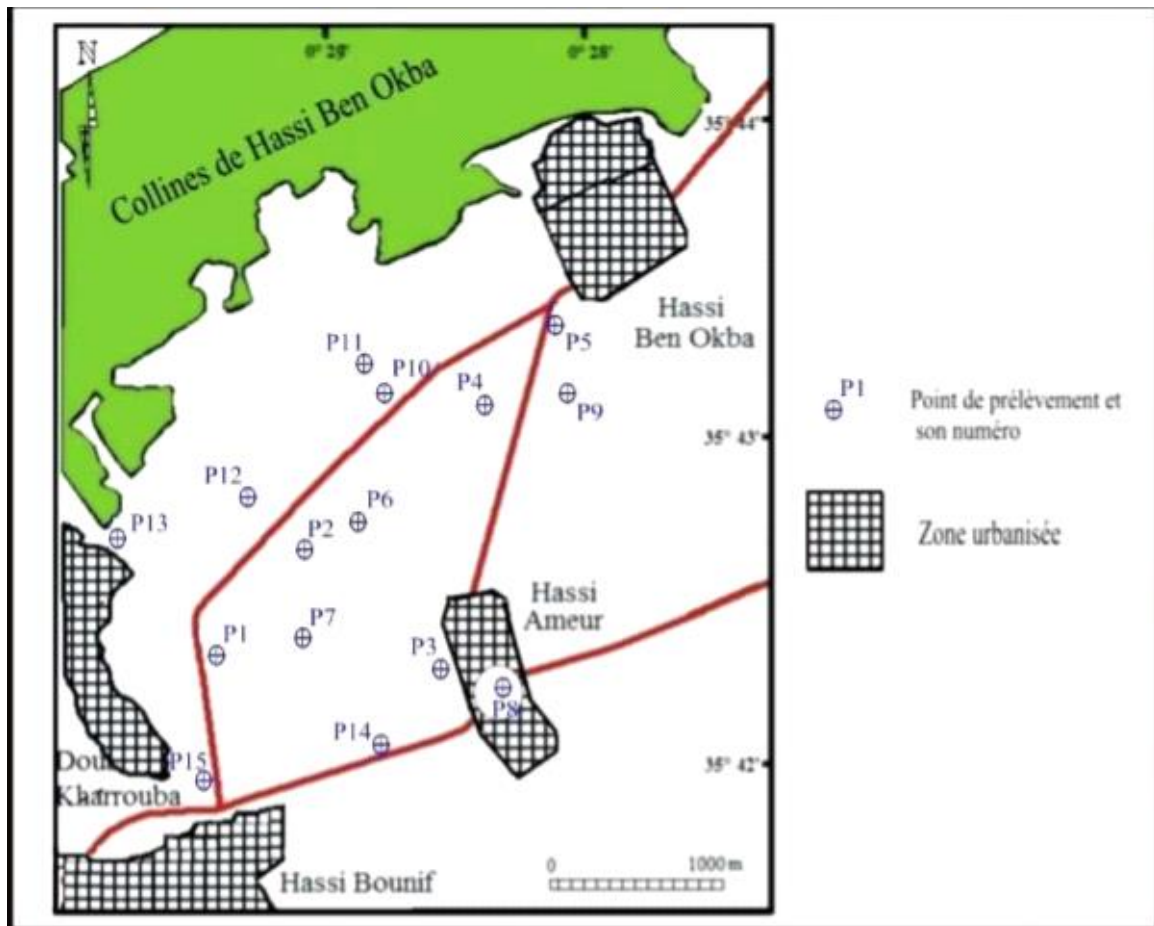


Figure 26 : Carte de situation des points de prélèvement (campagne du 24/25fevrier 2012)

(In M. Boubkeri, 2013).

Notre analyse hydrochimique portera sur l'interprétation des résultats des analyses physico-chimiques portés sur le tableau suivant :

Tableau n° 13 : Présentation des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux (M. Boubkeri, 2013).

Points d'eau	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	T (°C)	pH	Cond (µs/cm)	Min (mg/l)	Rs (mg/l)
P1	234	104	658	22	974	271	728	92	18,6	7,55	4140	3142	3520
P2	76	145	589	4	821	542	418	55	16,8	7,8	3470	2633	2800
P3	128	175	695	31	1054	535	447	97	20	7,3	4110	3120	3100
P4	93	54	157	2	334	243	146	21	15,7	7,51	1370	1040	1060
P5	276	46	460	4	934	250	257	100	19	7,06	3500	2657	3000
P6	111	58	479	5	601	474	337	50	18,6	7,32	2740	2080	2040
P7	170	179	1093	12	1729	542	612	58	20,5	7,33	6110	4638	4800
P8	166	123	759	47	888	453	890	112	18,8	7,18	4150	3150	3300
P9	234	153	777	7	1515	339	414	84	17,1	7,27	4960	3765	4200
P10	395	94	695	6	1582	271	322	94	20,9	7,03	4880	3704	4200
P11	191	66	375	6	687	345	271	55	20	7,39	2019	2660	2100
P12	353	71	621	7	1381	284	308	101	20,3	7,16	4560	3461	3920
P13	263	37	458	5	814	284	303	128	18,7	7,2	3180	2414	2600
P14	102	172	1001	16	1428	704	467	46	20,7	7,39	5270	4000	3880
P15	102	78	433	8	514	426	414	71	19,6	7,32	2480	1822	1880

II. Etude des paramètres physico-chimiques

II.1 Propriétés organoleptiques

- La turbidité

La turbidité joue un rôle important dans la filtration et correspond généralement à la quantité de matières en suspension (MES) dans l'eau composée de limon, d'argile, de particules organiques et inorganiques, ainsi que du plancton et autres microorganismes. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité, celui-ci sera d'autant que le traitement de l'eau aura été plus efficace. 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.

Pour les eaux échantillonnées dans notre secteur d'étude, elles présentaient des valeurs comprises entre 1 et 3 NTU (voir annexe 1).

- **La couleur**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité. Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées (leur couleur varie du jaune paille au brun rougeâtre). L'eau colorée peut présenter des inconvénients.

La valeur à ne pas dépasser d'après l'OMS est de 10 mg/l de Pt, et la valeur de 15 unités est admise comme limite supérieure acceptable. D'après les résultats des analyses de nos échantillons, les eaux sont incolores dans leur ensemble (voir annexe n° 1).

- **L'odeur**

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel, cette subjectivité ne peut être compensée que par la rigueur des essais et le nombre des expérimentateurs. Le test de l'olfaction est plus sensible et plus précis que celui de la dégustation. Mais il ne permet pas d'apprécier des variations de moins de 30% des teneurs des substances ayant une odeur. Il présente sur le test de saveur l'avantage de pouvoir être pratiqué sur l'eau brute et d'être moins fatigant pour les opérations. Ainsi, une eau destinée à la consommation doit être inodore.

- **La saveur**

Cette mesure est basée sur la finesse du sens gustatif de l'opérateur. L'eau à déguster est diluée avec de l'eau sans saveur jusqu'à l'absence du goût.

II.2 Etude des caractéristiques physiques

- **La température**

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usages. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

C'est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent. Elle est aussi un facteur important dans la production biologique, Ceci vient du fait qu'elle affecte les propriétés physiques et chimiques de celle-ci ; en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité de ses gaz (notamment celle de l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques.

La température des eaux de notre secteur d'étude est assez homogène. Les valeurs varient de **16.3 et 20.9 °C**. A titre de référence, la température moyenne de l'air au mois de **Février est de 13.5 °C** (voir chapitre I).

- **Le pH**

Le pH appelé potentiel Hydrogène mesure la concentration des ions H^+ dans une solution aqueuse. Le pH permet ainsi de connaître l'acidité de l'eau. Il ressort que le pH a un effet direct sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes. L'effet du pH du sol sur le transport des microorganismes pathogènes se manifeste principalement au niveau du processus d'adsorption. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14.7. La valeur 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, et dépend de facteurs multiples. Les valeurs du potentiel d'Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles.

Concernant 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.

- **Conductivité et minéralisation**

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau, en effet des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélange ou d'infiltration. La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi à apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau et constitue une bonne appréciation de la minéralisation de l'eau. Une conductivité élevée traduit une quantité de sels dissous très importante et elle donne une idée de la minéralisation d'une eau et elle est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau. La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La procédure est facile, et permet d'obtenir une information très utile pour caractériser l'eau (X à 25°C) Comme la température, des contrastes de conductivité mesurés sur un milieu permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration. La conductivité est également un des moyens de valider les analyses physico-chimique de l'eau : la valeur mesurée sur le terrain doit

être comparable à celle mesurée au laboratoire. Quelques indications sur la relation existant entre la minéralisation et la conductivité :

Conductivité ($\mu\text{S/cm}$) / Minéralisation

Conductivité < **100** Minéralisation très faible

100< Conductivité <**200** Minéralisation faible ;

200< Conductivité <**300** Minéralisation moyenne ;

300< Conductivité <**600** Minéralisation moyenne accentuée ;

600< Conductivité <**1000** Minéralisation importante ;

Conductivité <**1000** Minéralisation Excessive.

Les valeurs de la conductivité des différents points d'eau de notre zone d'étude sont toutes supérieures à **1000 $\mu\text{S/cm}$** . La minéralisation la plus élevée est centrée sur : **P7 (Min = 4638 mg/l)** et la plus faible en **P6 (Min = 1822 mg/l)**.

Les minéralisations les plus faibles ont été relevées dans les zones les plus amonts de la plaine (piémont des collines de Hassi Ben Okba). Cette zone forme un front d'alimentation du système aquifère épaulé par la contribution de la formation des calcaires liasiques.

- **Le résidu sec RS**

Le résidu sec représente la minéralisation totale des eaux, c'est-à-dire la totalité des sels dissouts et les matières organiques contenus dans l'eau exprimé en g/l ou mg/l. Les échantillons prélevés des points d'eau du secteur présentent des résidus secs variant entre **1060 mg/l (P4) et 4800 mg/l(P7)**. Ce qui permet de constater que les résidus augmentent selon le sens de l'écoulement des eaux souterraines.

II.3 Paramètres chimiques

II.3.1 La balance ionique

On peut comparer quantitativement les cations et les anions, majeur et mineurs, présents dans l'eau à l'aide de la balance ionique. Cette dernière est effectuée en utilisant une unité commune, milliequivalent par litre (méq/l), permet de vérifier si l'analyse a été bien faite. Ainsi 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 :

$$E = (\sum r_c - \sum r_a) / (\sum r_c + \sum r_a) * 100 \text{ avec :}$$

r_c : Somme des cations en méq/l ;

r_a : Somme des anions en méq/l.

Trois classes d'analyses se distinguent selon la valeur de l'erreur obtenue en pourcentage (%) :

- $E\% > 5\%$: erreur dans l'analyse ;
- $5 > E > 2\%$: erreur acceptable ;
- $E < 2\%$: bonne analyse.

Les résultats de l'erreur de l'analyse de nos échantillons figurent sur le tableau suivant :

Tableau n° 14 : valeurs de l'erreur pour chaque analyse (M. Boubkeri ,2013).

Echantillons	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

II.3.2 Les cations

- **Le calcium Ca^{2+}**

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Composant majeur de la dureté de l'eau le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrains traversés. Il existe surtout à l'état l'hydrogénocarbonate et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures. Sa teneur dans les eaux carbonatées a une origine interne au système pouvant provenir soit de la dissolution des roches calcaires, soit du Gypse. Sa valeur seuil acceptable dans les eaux potables est de 200mg/l. Pour ce qui est de nos échantillons, les valeurs varient de **76 mg/l au point d'eau P2 à 395 mg/l au point d'eau P7.**

- **Le magnésium Mg^{2+}**

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. L'apport du magnésium par la pluie est négligeable, comme le calcium il a une origine interne. L'acquisition de cet élément est lente et donc c'est un bon indicateur d'eaux à temps de séjour prolongé dans l'aquifère. Il est obtenu à la suite de l'attaque par le gaz carbonique des formations dolomitiques et la dissolution du $MgSO_4$ dans les terrains gypseux. Dans les eaux potables la concentration maximale admissible est de 150 mg/l. Pour notre cas, les valeurs obtenues de cet élément après analyse ne dépassent guère 179 mg/l.

- **Le Sodium Na^+ et le potassium K^+**

Ils sont présents à de faibles teneurs, leur origine est principalement externe au système (apport atmosphérique), ils peuvent provenir soit de l'altération des minéraux silicatés soit d'échange de cations avec les minéraux argileux. Les concentrations maximales admissibles dans les eaux potables sont : 200mg/l pour le Sodium et 10mg/l pour le potassium. Les résultats de nos analyses donnent des teneurs en sodium allant de **157mg/l (P4) à 1093 mg/l (P5)** dans la nappe alluvionnaire et calabrienne. Pour ce qui est des teneurs en potassium, elles varient de **2mg/l (P4) à 47mg/l (P8)**. Ces deux ions peuvent être échangés contre des ions **Ca^{2+} et Mg^{2+}** par les minéraux argileux ou des substances organiques et pouvant provenir de l'hydrolyse des silicates.

II.3.3 Les anions

- **Les chlorures Cl^-**

La source principale de chlorure dans les eaux est due à la dissolution de roches sédimentaires qui se sont déposées en milieu marin et qui n'ont pas été complètement lessivées, et à la présence d'évaporites. L'invasion d'eau de mer, ainsi que les phénomènes d'évaporation dans les bassins endoréiques sont également des sources de chlorures possibles. Le rôle des roches cristallines dans la minéralisation en chlorures est faible. L'apport par les précipitations est d'autant plus important que la distance à la mer est faible. Les apports anthropiques sont mineurs dans les zones d'intervention humanitaire. La teneur en ion chlore des eaux naturelles est essentiellement associée à celle du sodium. Les eaux trop riches en chlorures sont laxatives et corrosives. La concentration maximale admissible pour les eaux potables est de 500mg/l. Pour les points d'eau de notre secteur d'étude, la teneur maximale est **de 1729mg/l (P7)**.

Ces concentrations indiquent l'existence d'apports salifères à partir des formations évaporitiques très répandues dans la région, mais aussi liées aux faciès argileux et limoneux formant les niveaux superficiels.

- **Les bicarbonates HCO_3^-**

D'origine interne au système, ces ions résultent de la dissolution des calcaires et son apport météorique étant négligeable. La variation temporelle des ions bicarbonates HCO_3^- comme celle des

ions calcium Ca^{2+} sont corrélées à celle de la conductivité électrique. La plus faible teneur a été obtenue au niveau du point d'eau **P4 :243mg/l**.

- **Les sulfates SO_4^-**

On retrouve toujours ces ions dans la constitution des eaux naturelles. Ils résultent de la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse (CaSO_4), mais également de la pyrite et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures, et l'utilisation d'engrais chimique et lessive. Ils peuvent aussi provenir de l'oxydation dans l'atmosphère, de l'Anhydrite sulfureuse par combustion des hydrocarbures. La plus forte concentration de ces ions est observée au niveau de point d'eau **P8 avec une valeur de 890mg/l** qui dépasse la concentration maximale admissibles pour les eaux potables qui est de 400mg/l.

- **Les Nitrates NO_3^-**

La teneur naturelle est faible, elle dépend des types de sol, de la végétation. L'apport atmosphérique est faible, par conséquent son origine est externe. Il est utilisé comme indice de pollution (agricole : fertilisation des sols par les engrais..., humains : eaux usées). Les nitrates (NO_3^-) font partie du cycle de l'azote. Le réservoir principal d'azote est l'atmosphère. Au niveau des eaux naturelles, l'azote provient essentiellement des pluies ($1 < c < 3\text{mg/l}$) et du drainage des sols susceptibles de produire des nitrates. L'analyse des nitrates dans les eaux permet d'obtenir des informations sur la présence de matières organiques dans le sol. La valeur seuil admissible pour les eaux potables est de 50mg/l alors que pour nos échantillons les teneurs varient de **21mg/l (P4) à 128mg/l (P13)**. Les valeurs élevées s'expliquent par la proximité des points d'eaux des zones les plus proches de la Sebkh d'Arzew et le Lac Télamine.

II.3.4 Dureté des eaux

Le terme « dureté » de l'eau correspond à sa concentration en calcium et magnésium. Plus elle en contient, plus l'eau est considérée comme "dure". Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique (TH) dont le taux s'exprime en degré français « °F » (1 degré français = 4 mg de calcium ou 2.4 mg de magnésium par litre d'eau). L'eau peut être plus ou moins "dure" selon les régions ; celle-ci dépend des sols que l'eau a traversés avant d'être prélevée dans la nature pour être rendue potable. Ainsi, en fonction de leur dureté, les eaux peuvent être classées suivant les indications du tableau suivant :

Tableau n° 15 : 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

Pour ce qui est notre secteur d'étude, les valeurs de TH calculées de l'ensemble des points d'eau échantillonnés montrent que l'ensemble des eaux sont très dures. Les résultats sont reportés au tableau ci-dessous.

Tableau n° 16 : valeurs de TH calculés (°F)

Points d'eau	TH calculé (°F)
P1	101
P2	79
P3	104
P5	88
P6	52
P7	116
P8	92
P9	121
P10	137
P11	75
P12	117
P13	81
P14	96
P15	58

II.3.5 Faciès hydrochimique

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° 17).

Tableau n° 17 : Résultats des analyses chimiques des quantités en réaction r (en méq/l).

N°	rCa ⁺⁺	rMg ⁺⁺	rNa ⁺	r K ⁺	rCl ⁻	rSO ₄ ⁻	rHCO ₃ ⁻	rNO ₃ ⁻
1	11.66	8.54	28.6	0.55	27.44	15.16	4.44	1.49
2	3.81	11.94	25.6	0.1	23.12	8.7	8.88	0.88
3	6.36	14.4	30.2	0.8	29.7	9.32	8.77	1.56
5	13.78	3.79	20	0.11	26.32	5.35	4.1	1.61
6	5.51	4.79	20.8	0.13	16.92	7.02	7.77	0.8
7	8.48	14.75	47.5	0.3	48.69	12.75	8.88	0.94
8	8.26	10.12	33	1.2	25	18.54	7.43	1.8
9	11.66	12.58	33.8	0.17	42.67	8.62	5.55	1.35
10	19.71	7.76	30.2	0.15	44.55	6.7	4.44	1.51
11	9.54	5.4	16.3	0.14	19.36	5.64	5.66	0.88
12	17.63	5.87	27	0.17	38.91	6.41	4.66	1.62
13	13.14	3.02	19.9	0.13	22.93	6.31	4.66	2.06
14	5.08	14.11	43.5	0.42	40.23	9.72	11.54	0.74
15	5.08	6.43	18.8	0.2	14.47	8.62	6.99	1.15

Tableau n° 18 : Faciès caractéristiques des échantillons prélevés.

N°	Contexte	Cations	Anions
P1	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P2	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$
P3	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P5	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P6	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$
P7	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P8	Milieu urbain	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P9	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P10	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P11	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$
P12	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P13	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$
P14	Zone Industrielle	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$
P15	Zone agricole	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$	$\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^-$

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.

II.3.6 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°27), 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.

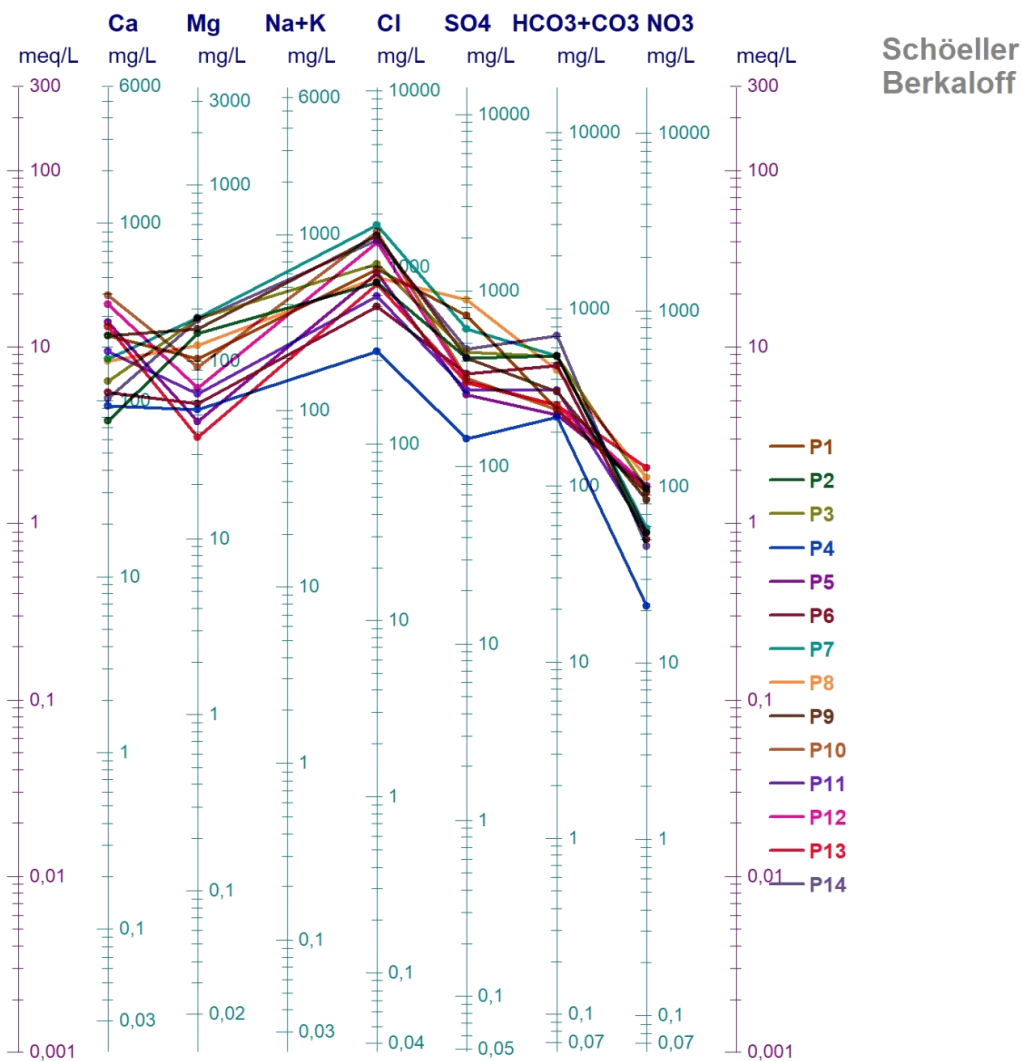


Figure n° 27 : Classification des eaux selon le diagramme de Schoeller-Berkaloff.

II.3.7 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°28).

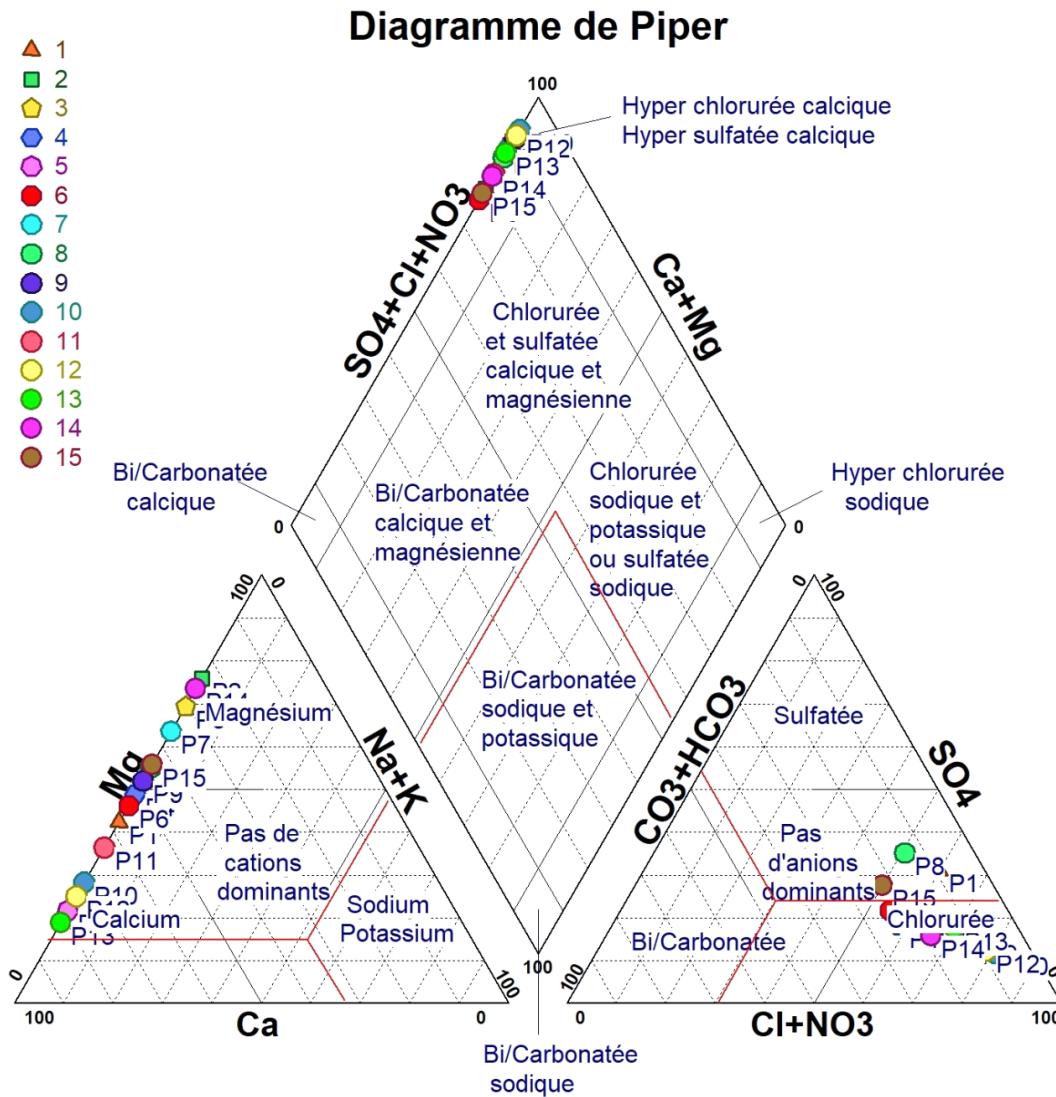


Figure n°28 : Classification des eaux d'après le diagramme de Piper.

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.

II.4 Etude 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 : $r(\text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{2+})$, $r(\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-)$, $r(\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$.

Les résultats obtenus sont résumés au tableau n°19.

Tableau n°19 : Calcul des rapports caractéristiques.

Points d'eau	$r (\text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{2+})$	$r (\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-)$	$r (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$
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 $r (\text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{2+})$**

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 $r (\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-)$**

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 $r (\text{Na}^+ / \text{Cl}^-)$**

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.

III. Conclusion

Cette étude hydrochimique a permis d'aboutir aux déductions suivantes :

Les eaux sont troubles avec des valeurs de turbidités supérieures à 1 NTU mais incolores.

Les valeurs des Ph sont très homogènes et proche de la neutralité compris entre **7,03 et 7,80**.

Les conductivités mesurées au niveau des différents points d'eau de notre zone d'études sont toutes supérieures à **1000 μ s/cm**. La minéralisation la plus élevée a été relevée au **P7 (Min = 4638 mg/l)** et la plus faible en **P6 (Min = 1822 mg/l)**.

La minéralisation des eaux du secteur est caractérisée par le calcium, le sodium, les bicarbonates et les chlorures. Les minéralisations les plus faibles ont été relevées dans les zones les plus amonts de la plaine (piémont des collines de Hassi Ben Okba). Cette zone forme un front d'alimentation du système aquifère épaulé par la contribution de la formation des calcaires liasiques.

Les valeurs de TH calculées de l'ensemble des points d'eau échantillonnés dépassent 30°F montrant ainsi que l'ensemble des eaux sont très dures.

L'interprétation confirme les faciès et sous-faciès (**un sous-faciès sulfaté calcique, un sous-faciès sulfaté magnésien, un sous-faciès bicarbonaté calcique, un sous-faciès bicarbonaté magnésien**) prédéterminés par la dominance des chlorures et du sodium observé d'où l'appartenance des eaux à la famille chlorurée sodique. 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.

Du point de vue potabilité, les résultats issus de cette étude confèrent à ces eaux un caractère de non-potabilité car elles possèdent une qualité mauvaise à médiocre pour pouvoir être consommées à l'état brute. Par conséquent, elles doivent subir un traitement physico-chimique afin d'être consommables.

Chapitre IV :

Environnement et

pollution

I. Introduction

L'environnement est « l'ensemble des éléments (biotiques ou abiotiques) qui entourent un individu ou une espèce et dont certains contribuent directement à subvenir à ses besoins ou encore comme « l'ensemble des conditions naturelles (physiques, chimiques, biologiques) et culturelles (sociologiques) susceptibles d'agir sur les organismes vivants et les activités humaines avec les enjeux écologiques actuels, le terme environnement tend à prendre une dimension de plus en plus mondiale.

En aménageant le territoire, l'homme modifie son environnement naturel : il détruit parfois des milieux de vie. Cependant, il prend peu à peu conscience des dangers qu'il fait courir à la planète et commence à restaurer des milieux qu'il a transformés.

Comment l'homme a-t-il modifié et altéré son environnement ?

- Du fait de l'augmentation de la population des villes, on doit construire de nouvelles habitations, de nouvelles voies de communication (des routes et des autoroutes, des voies ferrées pour la circulation des TGV). Les travaux de terrassements occasionnés par la construction de ces liaisons entre villes importantes sont impressionnants, les volumes de roches déplacées sont considérables. La topographie des terrains change : des millions de tonnes de mètres cubes de matériaux sont extraits, transportés puis déposés dans d'autres lieux. Les paysages sont donc totalement transformés.
- Pour faire ces travaux, on exploite des carrières dans lesquelles on prélève des matériaux comme des granulats (sables, graviers et cailloux) qui servent à la fabrication du béton. Actuellement, grâce à des moyens d'extraction très performants, on peut creuser rapidement une montagne. La législation impose cependant la restauration du paysage initial après l'exploitation d'une carrière.
- Enfin, non seulement sous l'effet de ses activités urbaines, mais aussi agricoles et industrielles ; l'homme pollue les eaux (superficielles et souterraines) altérant ainsi leurs qualités. Une fois polluées elles présentent un danger pour la santé mais également pour l'environnement.

Ainsi dans cette partie nous allons aborder les sources de pollution de notre secteur d'étude (pollutions des eaux et de l'environnement).

II. Les différents types d'eaux destinées à la consommation humaine et susceptibles d'être polluées

Les réserves disponibles des eaux naturelles sont les eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs naturels ou artificielles ou barrages) ou courantes (rivière).

II.1 Les eaux de surface

Ce sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Ces derniers ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellements. Elles sont généralement riches en gaz dissous, en matières en suspension et organique. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique de type nitrates et pesticides.

II.2 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux du sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Ils sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable car plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de ressources aquifères appelées nappes.

Lorsqu'un polluant s'infiltré dans le sol, dans la zone non saturée (ZNS) il se forme un corps d'imprégnation c'est-à-dire une zone contenant du polluant à saturation résiduelle. Si la quantité infiltrée suffit pour atteindre la nappe, le polluant s'étale sous forme de galette s'il est léger, ou continue à s'infiltrer s'il est plus dense que l'eau. Le cheminement des produits dans la ZNS peut être complexe sous l'effet des variations verticales de perméabilités. La ZNS joue un rôle essentiel dans l'extension des risques de pollution en raison de son rôle tampon en fonction de sa puissance et de sa perméabilité.

Le polluant partiellement ou totalement miscible ou soluble, après s'être infiltré à travers la zone non saturée dans laquelle une partie de son volume est retenue, atteint le toit de la nappe et s'y dissout ou s'y mélange progressivement formant un panache de pollution qui s'oriente parallèlement à la direction d'écoulement.

Si le produit atteint la nappe, il est susceptible de "couler" au fond de l'aquifère, et de s'accumuler au toit du substratum. Son mouvement est alors lié à la fois à la forme (pente éventuelle) du toit du substratum, et aux conditions d'écoulement (direction, vitesse) de la nappe, ces deux facteurs étant totalement indépendants l'un de l'autre.

III. Les principales sources de pollution

Trois grandes sources de pollutions se distinguent au niveau de notre secteur d'étude :

- Pollution d'origine urbaine ;
- Pollution d'origine agricole ;
- Pollution d'origine industrielle.

III.1 Pollution urbaine

La pollution d'origine urbaine est occasionnée par des apports hétérogènes, activités physiologiques et domestiques, activités industrielles et commerciales pratiquées dans le milieu urbain. Celle-ci comporte peut-être soit une pollution bactériologique ou organique (biodégradable ou difficilement biodégradable). La pollution organique biodégradable des eaux ménagères, éliminé par le pouvoir auto épuratoire au niveau du sol soit par l'épuration biologique dans les stations d'épurations ; quand à celle difficilement biodégradable causée par les détergents synthétiques contenus dans les produits de nettoyage domestique, l'inconvénient de leur présence dans l'eau réside dans l'apparition de mousse qui diminue l'oxygénation de l'eau et perturbe le fonctionnement des stations d'épuration.

Les eaux résiduaires et les décharges d'ordures ménagères sont surtout les deux types de pollution urbaine affectant manifestement notre zone d'étude. Quantitativement, le problème évolue en fonction de l'extension de la superficie de l'agglomération.

- **Eaux usées**

Les eaux usées issues de la zone industrielle de Hassi Ameur sont déversées vers le lac Télamine constituant une véritable source de pollution. Le débit des eaux usées est estimé en général selon la consommation moyenne en eau potable par habitant pour les eaux d'origine domestique ou par activité pour les effluents industriels.

Le tableau suivant nous donne les estimations des débits d'eaux usées au niveau des communes entrant dans notre cadre d'étude (zone des Hassi).

Tableau n° 20 : débit des eaux usées dans la région de Gdyel.

Communes	Population	Besoins journaliers moyens en eau potable (m ³ /j)	Débits eaux usées Q (m ³ /j)	Débits eaux usées Q (l/j)
Hassi Bounif	59671	11799	10383.2	120
Hassi Ben Okba	12906	2521	2218.4	26
Ben Freha	17620	3524	3100.8	36
Gdyel	37315	3782	3513	-
Hassi Mefssoukh	11856	-	1194	-

Le tableau n° 20 traduit les remarques suivantes :

- Hassi Bounif est la commune qui rejette une grande quantité d'eaux usées ;
- L'existence de la zone industrielle de Hassi Ameur favorise le rejet important des eaux usées de Hassi Bounif.

- **Production des déchets solides**

Dans cette partie on va évaluer les déchets produits (quantités, qualités), et pour déterminer la quantité quotidienne des déchets ménagers le nombre de la population résidente est le facteur retenu. Le tableau suivant nous montre la quantité des déchets solides produits dans la région de Gdyel.

Tableau n°21 : La quantité des déchets solides produits dans la région d'étude (source : La direction de l'environnement, 2009.).

Communes	Quantité des déchets solides produits dans la région de Gdyl							
	Quantité des déchets produits en 2005				Quantité des déchets produits en 2008			
	Population	Kg/hab/j	T/j	T'an	Population	kg/hab/j	T/j	T/an
Hassi Bounif	66978	0.52	35	12712	59671	0.55	44	15882
Hassi Ben Okba	12364	0.57	7	2572	12906	0.61	8	3059
Boufatis	11290	0.51	6	2102	11579	0.54	6	2363
Gdyl	38138	0.52	20	7239	37315	0.55	23	8346
Hassi Mefsoukh	10614	0.54	6	2092	11856	0.57	7	2538
Benfreha	17314	0.5	9	3160	20235	0.53	10	3574
Total de la région	156698	3.16	83	29877	153562	3.21	98	35762

A partir du tableau n°21, on constate que la quantité totale des déchets générés par les communes de la région de Gdyl atteint quotidiennement les 98 tonnes/j (35762 T/an) en année 2008 qui est une grande quantité par rapport à celle de l'année 2005 où la quantité des déchets générés était de 83 T/j (29877 T/an). Chaque commune de la région participe avec une quantité importante de la production des déchets. La figure suivante nous détermine la quantité des déchets générée par commune.

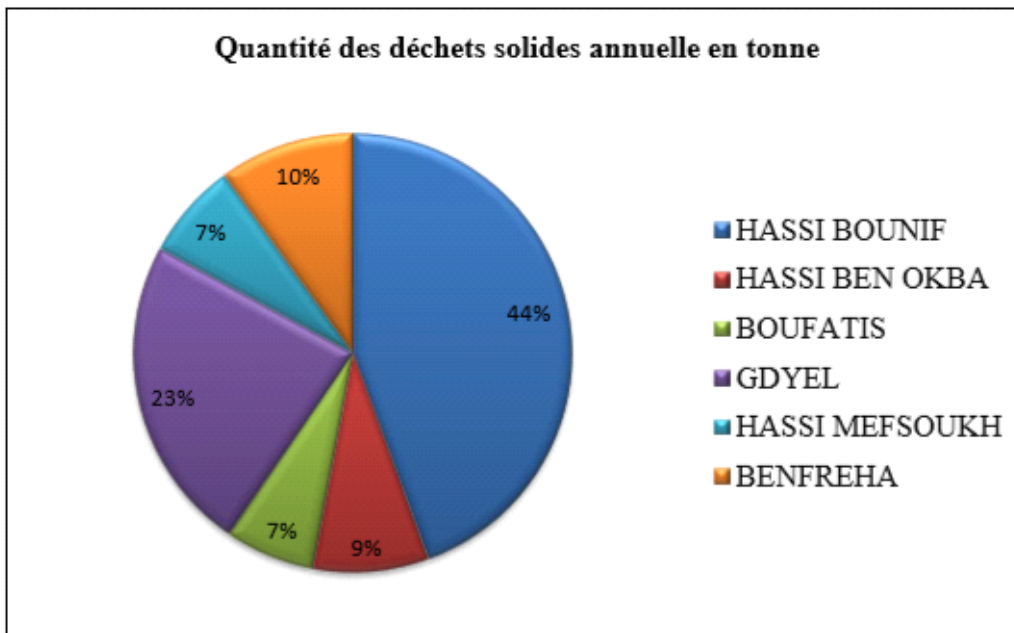


Figure n° 29 : quantités des déchets générés par commune.

On remarque que la quantité la plus importante provient de la commune de Hassi Bounif avec 15882 T/an et ceci est le résultat de la forte pression démographique où le nombre de population est de 59671 habitants en deuxième place la commune de Gdyl avec une quantité des déchets de 8346 T/an après Ben Freha et Hassi Ben Okba avec une quantité de déchets plus que 3000 T/an en dernier place Hassi Mefsoukh et Boufatis avec une quantité plus de 2000 T/an.

La destruction de ces décharges se fait par incinération. Ces pollutions urbaines entraînent une contamination bactériologique des eaux. L'augmentation des déchets domestiques ou industriels rejetés par l'homme modifie les milieux et les rend parfois impropres à la vie. Certains êtres vivants sont exigeants et ne vivent que dans une eau très pure (larves de perles, de phryganes). Lorsque les eaux sont moins pures, ces espèces disparaissent au profit d'espèces moins exigeantes sur la qualité de l'eau (vers tubifex, larves d'éristale). La pollution des cours d'eau entraîne une modification de leur faune et de leur flore. Les eaux usées issues des rejets urbains témoignent d'une pollution bactériologique provenant des rejets fécaux d'origine humaine ou animale.

- **Exemple 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.

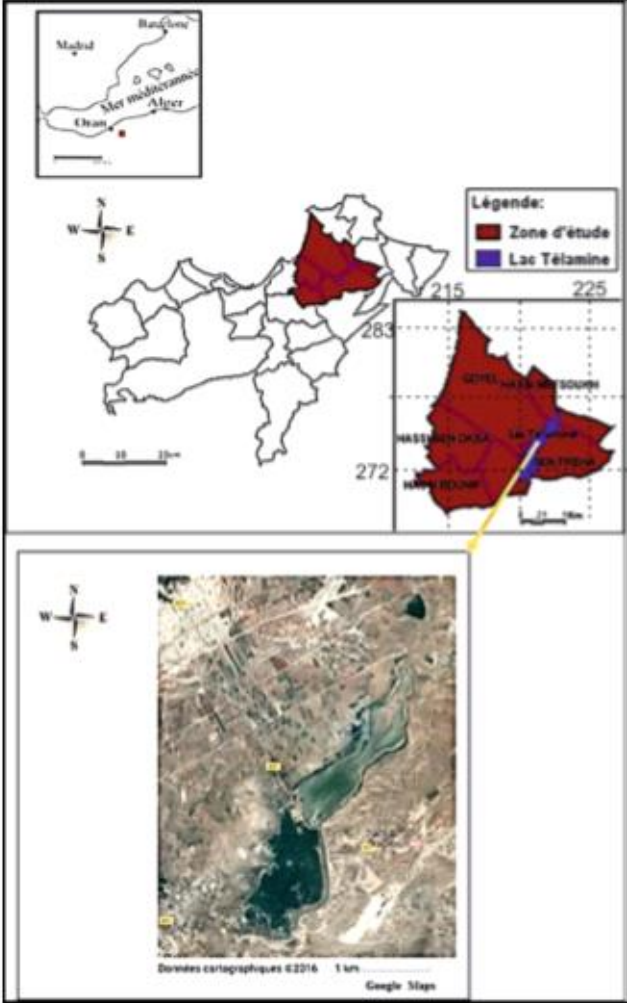


Figure n° 30: Localisation géographique du Lac Télamine (in H.Mawloud, 2018).



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

Le lac Télamine joue comme les autres zones humides de l'Ouest algérien un rôle dans l'hivernage et le stationnement des oiseaux migrateurs particulièrement le Flamant rose (*Phoenicopterus ruber roseus*), l'oie cendrée (*Anser anser*), le Tardon de Belon (*Tadorna tadorna*), et le Tadorne casarca (*Tadorna ferruginea*). Il intervient également dans la recharge, le renouvellement et l'alimentation des nappes phréatiques. Les eaux de ruissellement favorisant le captage des sédiments et la prévention contre l'érosion hydrique.

Le débit d'eau salée dans ce lac est temporairement de 10000 m³. Il est alimenté par deux oueds Chabet Esseba et Chabet Djanal. Le plan d'eau du lac est maintenu potentiellement en charge durant la période d'étiage par la contribution de la nappe superficielle affleurant. Quant aux caractéristiques physico-chimiques du sol entourant le lac Télamine, celui-ci est de couleur grise à noire, il est riche en matières organiques et possède un horizon calcaire très dur, renfermant des géodes terreux ; l'encroûtement est formé de gypse pulvérulent (Boulaine, 1955) ; le pH de ce solontchak est compris entre 7.9 à 8.4 (Abdelmalek, 1986 ; Mansouri et Elafi ,1997 ; Bahi ,2012).

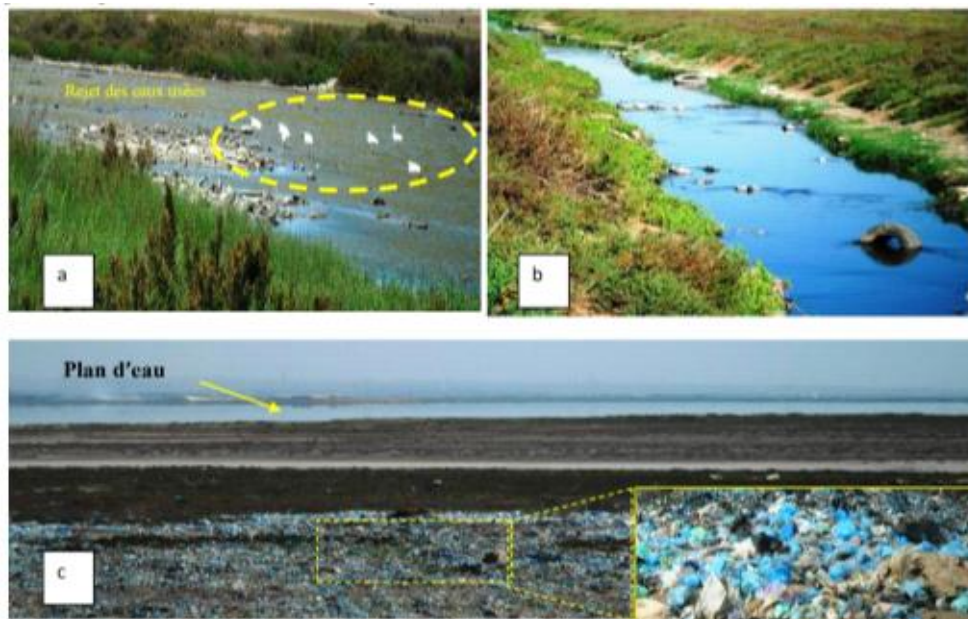


Photo 02 : Aperçu de l'état du Lac Télamine.

- 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 forêts de la wilaya d'Oran).

Origine de la pollution du lac Télamine

Le lac Télamine fait face à de multiples problèmes environnementaux de différentes origines telles que les rejets liquides industriels (cas de la zone industrielle de Hassi Aneur) et domestiques et les déchets solides.

D'après le rapport du service de la conservation des forêts de la wilaya d'Oran sur l'état des lieux du lac Télamine, cet habitat reçoit des rejets d'eaux usées et sur son pourtour il y'a des décharges sauvages provenant des localités de BenFreha, Boufatis et Gdyel ainsi qu'une dégradation de la végétation naturelle causée par le surpâturage.

De plus, dans les endroits où débouchent les rejets d'eaux usées des villages voisins, se forment des vasières entourées d'une végétation herbacées parsemées de touffes de joncs et de quelques jeunes sujets de tamaris (*Tamaris sp.*). Le lac Télamine reçoit des déchets solides de 19250 m³ /jour et de déchets liquides notamment de la zone industrielle de Hassi Aneur qui rejette 14000 m³/jour.

Décharge sauvage du Lac Télamine

La décharge sauvage du lac Télamine (Commune de Gdyl), couvre une superficie d'environ 400 hectares, atteignant au-dessus du terrain naturel une hauteur d'environ 0.7 m. Cette décharge contient des déchets de toutes natures (ménagers, commerciaux, hospitaliers, produits de nettoyage et certains déchets industriels, déchets inertes), représentant un volume d'environ 19250m³. La date de mise en service en 1986. La décharge reçoit les gravats et autres débris qui proviendraient des constructions. Cette décharge est officielle mais gérée comme une décharge sauvage. En effet, elle ne comporte aucun dispositif d'une décharge contrôlée (absence de clôture, de casier, de tri et de traitement.)



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



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



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

• **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-quadernaire 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 Gdyl (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	Très proche Assez proche	Odeurs Odeurs sanitaire(H ₂ S) Gaz à effet de serre
Fumées de combustion	Assez éloigné	Odeurs Impact visuel Impact sanitaire (différentes substances)



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

III.2 Pollution industrielle

Si les zones côtières concentrent de nombreuses ressources et opportunités, elles sont aussi exposées aux pollutions, nuisances et autres dégradations résultant du développement de multiples activités économiques. Les fortes interactions qui existent entre ces activités et l'environnement entraînent un déséquilibre environnemental avec nombre de points négatifs. L'activité industrielle occupe une place de choix dans la wilaya d'Oran car elle constitue en son sein, une de ses plus grandes vocations.

- **La zone industrielle d'Arzew**

Le pôle industriel d'Arzew est situé à 42km à l'Est d'Oran. Il s'étend sur environ 12km et comporte 4 communes : Arzew, Ain El Bia, Berthou et Mers El Hadjdj. Le pôle a eu pour objectif initial de structurer l'ensemble du territoire dans lequel il est inséré aussi bien au niveau international ; national que local. Avant la création de la zone industrielle, la cote Est était bordée de plages et de dunes vives sur presque toute sa longueur et s'appuyait sur un arrière-pays agricole ; alors que la pêche côtière était pratiquée au port d'Arzew. Les communes du pôle industrielle ont enregistré des taux de croissance démographiques significatifs, surtout en ce qui concerne la décennie 1977-1987 : Arzew 6.83%, Ain El Bia 17.49%, Béthioua 1.83%). En effet, la population du pôle industriel est passée de 34000 en 1977 à 115000 en 1998. La zone industrielle s'étend sur une superficie de 2800 hectares, comprend deux ports spécialisés et une plate-forme industrielle.

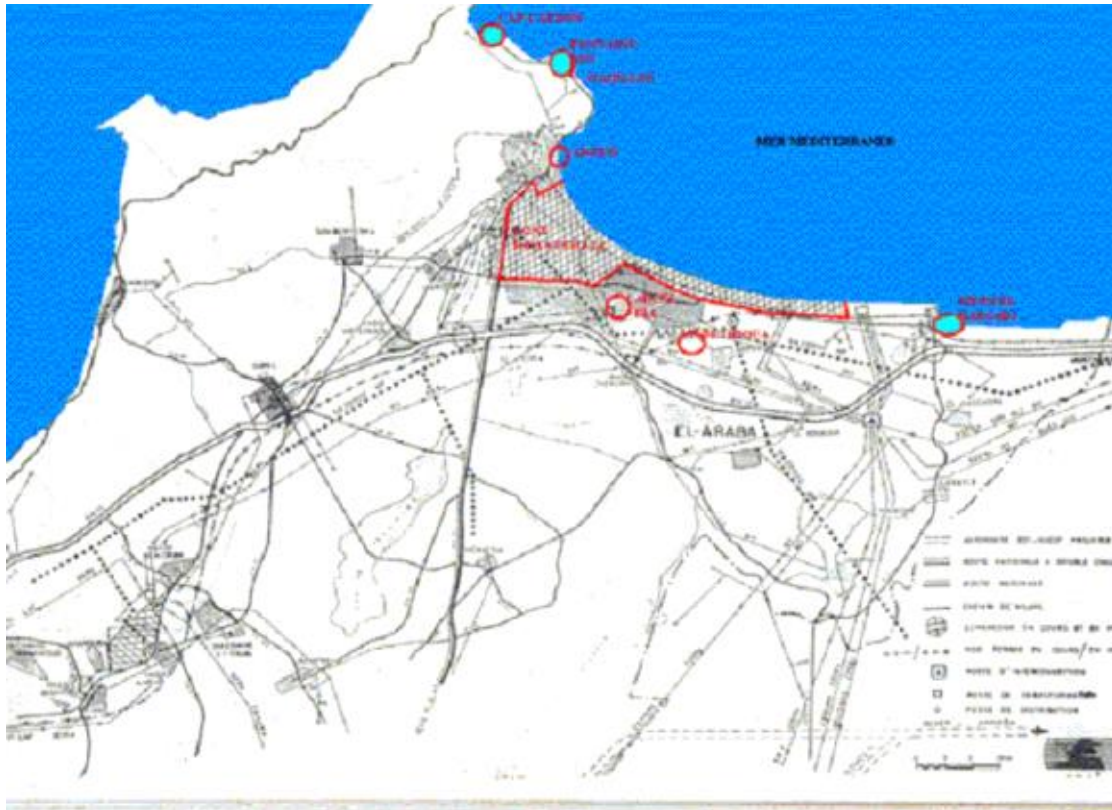


Figure 31 : Localisation du pôle industrielle d'Arzew.

Cette plate-forme industrielle comprend une concentration élevée de complexes pétrochimiques et de raffinage à haut risque (cinq complexes de liquéfaction ,une raffinerie, un complexe de production de méthanol et résines ,un complexe d'ammoniac),une centrale électrique de capacité 960 MV, six unités de production (Hélium, Azote, engrais liquides, gaz industriel, emballage),un réseau de pipe provenant des champs pétrolifères de Hassi Messaoud et Hassi Ameur et un ensemble d'unité de prestation de service dans les domaines de maintenance industrielle, de génie civil et de formation de personnel.

Les rejets intempestifs de diverses substances liées au traitement des hydrocarbures constituent le plus grand danger de dégradation de l'environnement lié au traitement des hydrocarbures.

Le tableau ci-dessous nous résume les activités industrielles existantes dans la région d'Arzew.

Tableau n°23 : Principales unités industrielles de la zone industrielle d'Arzew.

Désignation de l'activité	Lieu	Production	Milieu récepteur
RA.Z(Raffinerie)	La zone industrielle d'Arzew	Essence (super norml). Fuel (HTS et BTS) Naftal Kérosène Huiles Bitume (routier et oxydé) Propane et Butane	La mer
Méthanol	La zone industrielle d'Arzew	Méthanol Résine	La mer
Camel	La zone industrielle d'Arzew	Liquéfaction de gaz naturel 1.8 milliards m ³ /an	La mer
G N L₂	La zone industrielle d'Arzew	Liquéfaction de gaz naturel 1.8 milliards m ³ /an	La mer
G P L	La zone industrielle d'Arzew	Butane et Propane (1 million de tonne)	La mer
R T O	La zone industrielle d'Arzew	Transport et expédition des gaz naturels vers les complexes	La mer
Altra (G T P)	La zone industrielle d'Arzew	Grand travaux pétroliers	La mer

Au niveau de la zone industrielle d'Arzew, la pollution est essentiellement due aux hydrocarbures contenus dans rejets ainsi qu'à certains composants tels que les matières organiques, les phénols, les alcools, les matières en suspensions, etc. La pollution atteint souvent assez vite la nappe phréatique qui est la plus utilisée pour l'eau potable et ceci a plusieurs conséquences : toxicité immédiate pour l'homme, menace économique et écologique, goûts et odeurs désagréables conférés à l'eau.

- **La zone industrielle de Hassi Ameur**

La zone industrielle de Hassi Ameur se situe à environ 11 km à l'Est de la ville d'Oran.

Elle longe la route nationale RN 11 Oran / Arzew et elle est limitée par :

- l'agglomération de Hassi Ben Okba au Nord-Est,
- l'agglomération de Hassi Ameur au Sud-Est,
- L'agglomération de Hassi Bounif à l'Ouest,
- Douar Kharrouba au Nord-Ouest.

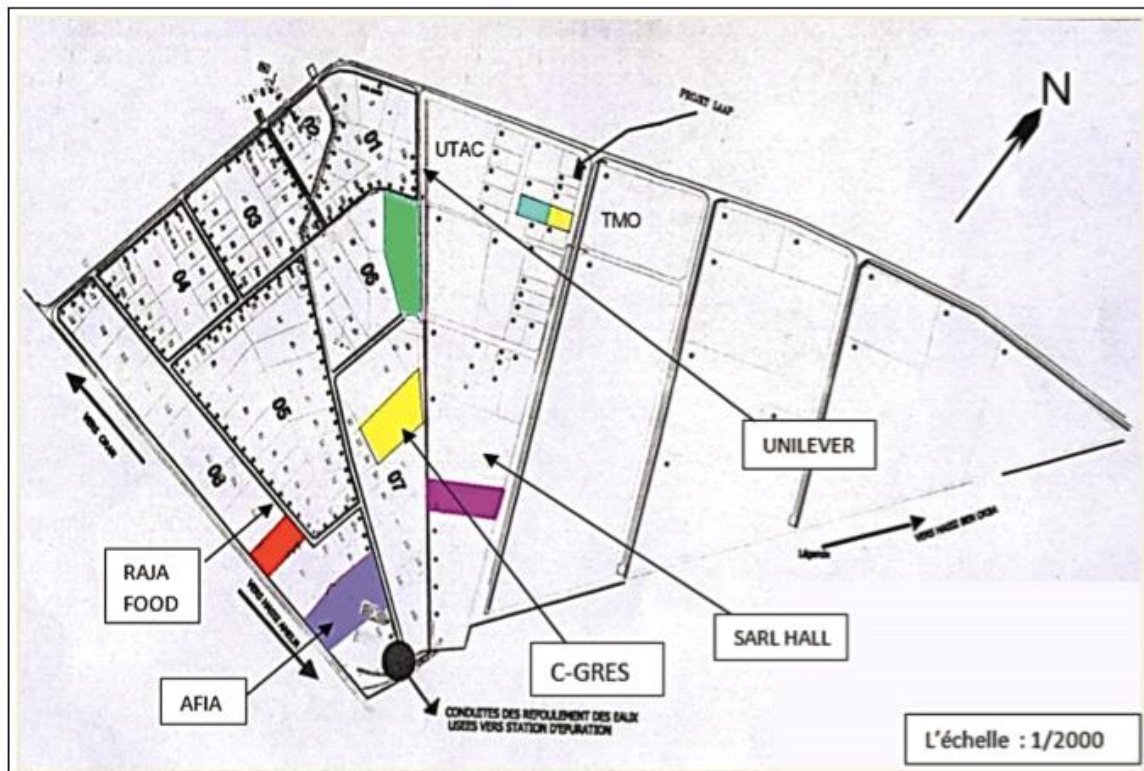


Figure n° 32 : Répartition spatiale des unités industrielles au niveau de la zone industrielle de Hassi Ameur (Source : Direction de l'environnement, 2009.).

La zone d'étude se caractérise par l'existence d'une zone industrielle de Hassi Ameur, nous avons essayés de détecter l'impact de l'industrie de cette zone industrielle par les eaux usées sur le milieu naturel notamment le lac Télamine. Le centre de Hassi Ameur s'étend sur une surface plane avec la présence des zones de dépression qui forment un obstacle sérieux gênant le fonctionnement du système gravitaire. Elle s'étend sur une superficie de 315 ha, elle est mise en service en 1984. La zone se caractérise par : un nombre de lots créés : 190 et un nombre de lots attribués : 180 lots.

Tableau n°24 : Quelques exemples de différentes unités et activités industrielles (source : direction de l'environnement).

Nom de l'unité	Adresse	Activité	Catégorie
Sarl Polyer Safinna	Hassi Ameur	Construction navale	En activité
Sarl Somotib	Hassi Ameur	Tissage	En activité
Sarl T.M.O	Hassi Ameur	Tannerie	En activité
Sarl U.T.A.C	Hassi Ameur	Tannerie	En activité
Sarl CMCO	Hassi Ameur	Matériaux de construction	En activité
Sarl POLYOR	Hassi Ameur	Bateau de pêche et plaisance Bassin aquaculture	En activité
INDELEC	Hassi Ameur	Fabrication matériaux en plastique	-
Sarl Haal	Hassi Ameur	Conserverie de poissons	En activité
Tapis d'or	Hassi Ameur	Fabrication de tapis	En activité
Sarl SAAC	Hassi Ameur	Fabrication des accumulations au plomb	En activité
Raja Food Industrie	Hassi Ameur	Conservation de poisson	En activité
Sarl C-Gres compacto	Hassi Ameur	Revêtements pou sols et murs avec plinthes en grés cérame	En activité

Les unités industrielles présentent des conséquences négatives sur l'environnement et les zones urbaines environnantes à savoir : Les incendies et les explosions liées aux manipulations des produits chimiques et pétrochimiques et la dispersion des gaz en cas de fuite sur un rayon d'une dizaine de kilomètres.

A cause du non-respect de l'environnement et de leur non conformités, certains établissements ont été arrêtés par la commission chargée du contrôle des établissements dans le domaine industriel.

- **Exploitation des carrières : cas de de l'entreprise Knauf Plâtres**

La carrière de Sidi Boutbal, sise à 22 km à l'Est de la Ville d'Oran, est installée au sein du plateau de Boufatis (Saint Louis), partie intégrante du bassin du bas Chélif. La matière exploitée par l'entreprise Knauf, est du Gypse d'âge Messinien utilisé pour produire le plâtre. Les différentes étapes liées à l'activité minière génèrent à divers degrés des risques pour l'environnement et pour la société en général, en particulier pour les populations avoisinantes. L'activité minière peut affecter, à différents

niveaux, l'air, le sol, les eaux de drainage, les eaux souterraines et en conséquence, elle peut aussi toucher directement ou indirectement la flore, la faune et la santé humaine.

Cette entreprise rejette des déchets solides et des effluents liquides (eaux usées et huiles usagées) présentant des contraintes sur les eaux telles que :

- La modification de l'écoulement hydrique ;
- La déviation des cours d'eau ;
- La modification de l'hydrodynamique de la nappe ;
- La modification de la qualité des eaux.

Dans le tableau ci-dessous a été réunies différentes classes de **déchets ménagers et assimilés(MA)**, **inertes(I)**, **spéciaux(S)** et **spéciaux dangereux (SD)** générés par la carrière pouvant présenter un risque pour le milieu naturel.

Tableau n° 25 : Classification des déchets générés de la carrière selon le décret exécutif n°06-104 du 28/02/2006. (L. Khadidja et M. Wafa, 2016)

Code de déchet	Désignation du déchet	Classe du déchet
1	Déchets provenant de l'exploration et l'exploitation des mines et des carrières ainsi que du traitement physique et chimique des minéraux.	
1.3.1	Déchets de graviers et débris de pierres autres que ceux à la rubrique 1.3.1 SD	I
1.3.2	Déchets de sable et d'argile	I
1.6.1	Véhicules hors d'usage de différents moyens de transport (y compris machines tout terrain) et des déchets provenant du démontage de véhicules hors usages et de l'entretien de véhicules (sauf catégories 13, 14, et sections 16.6 et 16.8)	
16.1.1	Matière plastique	MA
16.1.2	Verre	MA
16.1.99	Déchets non spécifiques	
13	Huiles et combustibles liquides usagés (sauf huiles alimentaires et huiles figurant aux catégories 5,12, et 19)	
13.2	Huile moteur, de boîtes de vitesse et de lubrification usagée	
13.2.1	Huile moteur, de boîte de	

	vitesse et lubrification chlorée à base minérale	
13.2.2	Huile moteur, de boîte de vitesse et lubrification chlorée à base minérale	
13.2.3	Huile moteur, de boîte de vitesse et lubrification synthétiques	
13.2.4	Huile moteur, de boîte de vitesse et lubrification facilement biodégradable	
13.2.5	Autres huiles moteur, de boîte de vitesse et lubrification	
13.6	Combustibles liquides usagés	
13.6.1	Fuel-oil et diesel	
16.1	Véhicules hors d'usage de différents moyens de transport (y compris machines tout terrains) et déchets provenant du démontage de véhicules hors d'usage et de l'entretien de véhicules (sauf catégories 13,14 et sections 16.6 et 16.8	
16.1.1	Pneus hors usage	
16.1.2	Véhicules hors d'usage	
16.1.3	Véhicules hors d'usage ne contenant ni liquides ni autres composants dangereux	
16.1.4	Filtre à huile	
16.1.10	Liquide de freins	
16.6	Piles et accumulateurs	
16.6.1	Accumulateurs de plomb	

Emission gazeuse

L'impact des gaz de combustion sur l'environnement est fonction de l'état de la motorisation et de la qualité de carburant. Il est d'autant plus important que les engins sont vétustes et non équipés de filtres et de posts catalytiques et que les compositions du carburant sont de moindre qualité. Dans ces conditions, les gaz de combustion sont enrichis en monoxyde de carbone et particules fines polluant la qualité de l'air. Dans le cas de cette carrière, la majorité des engins affectés pour l'exploitation sont en état assez bon, ce qui rend l'impact des émissions de gaz minimes.

Rejets de poussières

Toute carrière engendre forcément l'émission de poussières issues des différentes activités du gisement : foration des trous de mines et du tir à l'explosif, déplacement et circulation des engins de carrières, station de concassage, stock des produits finis et semi-finis, chute des blocs extraits le long du front de taille.

En général, les principaux problèmes environnementaux dérivés de ces émissions sont :

- Contribution à l'effet de Serre avec des quantités importantes de CO₂ ;
- Contribution à la circulation des engins de carrière ;
- Contribution à certains problèmes locaux (pollution des sols, des eaux, etc.) dues à la présence des polluants toxiques ;
- Impact sur les commodités du voisinage (surtout si les habitations sont sous les vents dominants) ;
- Impact sur le milieu naturel (feuilles couvertes de poussières : diminution de la photosynthèse) ;
- Impact sur les zones traversées par les camions (perte de changement).

Les impacts des poussières sont des effets temporaires (liés à la durée de vie de l'exploitation).

Notons également que les nuisances sonores et vibrations ne sont pas à oublier ; Le bruit engendré par l'activité minière avec les vibrations liées aux tirs de mines, sont plus ressenties par les riverains. Mais comme les rejets des poussières, ces impacts des nuisances sonores sont des effets temporaires (lié à la durée de vie de l'exploitation).

Par ailleurs, il existe d'autres carrières dans la région d'Arzew dont certains produisent des blocs de marbres (calcaires marmoréens du Jurassique) et d'autres qui produisent différents types d'agrégats. Ces sites d'exploitation sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau n°26 : Les carrières de la région d'Arzew.

Substance	Lieux dit	Commune
Calcaire	Bled Tafrent	Sidi Ben Yebka
Calcaire	Bled Tafrent	Sidi Ben Yebka
Calcaire	Bled Tafrent Sud	Sidi Ben Yebka
Calcaire	Ain Riane	Sidi Ben Yebka
Calcaire	Oued El Guessa	Sidi Ben Yebka
Calcaire	Ain Riane	Sidi Ben Yebka
Argile	Guessiba	Sidi Ben Yebka
Argile	Guessiba	Arzew
Argile	Guessiba	Arzew
Argile	Guessiba	Arzew
Argile	Guessiba	Arzew
Marbre	Montagne Grise	Sidi Ben Yebka
Marbre	Djebel Orousse	Sidi Ben Yebka

III.3 Pollution agricole

L'agriculture est entrée dans un stade de modernisation, où les cultivateurs font parfois recours à une utilisation abusive d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires (pesticides, fongicides, herbicides, etc.). L'utilisation irrationnelle de ces produits peut entraîner des risques graves et polluer les eaux souterraines.

- **Les engrais**

Ce sont des nutriments que l'on donne aux plantes pour les faire pousser plus vite. Mais lorsque l'on en utilise trop, ils s'infiltrent dans le sol et rejoignent l'eau souterraine. Cet apport excessif en nutriments favorise la pousse des plantes et des algues dans l'eau. Quand ces plantes meurent, elles se décomposent grâce à des micro-organismes. Pendant le processus de décomposition, les micro-organismes consomment de l'oxygène, oxygène qui est extrait de l'eau. La teneur en oxygène de l'eau peut alors diminuer à tel point que les animaux qui dépendent de cette eau meurent. On appelle cette dégradation du milieu aquatique « eutrophisation ». L'utilisation abusive de ces produits présente une menace constante pour les eaux souterraines en augmentant la concentration des eaux en nitrates et phosphates. Ce sont surtout les nitrates qui présentent de sérieux risques sanitaires, quand les eaux sont utilisées pour la consommation humaine.

- **Les produits phytosanitaires : pesticides, herbicides et fongicides**

Ces produits chimiques utilisés contre les nuisibles et les mauvaises herbes, sont transportés par les eaux de pluie, surtout quand ces produits sont présents en trop grande quantité. Certains d'entre eux ne se décomposent pas et restent donc dangereux pendant un certain temps. Lorsque les animaux mangent des plantes qui ont été aspergées avec ce type de produits, leurs organes et tissus en deviennent imprégnés. Lorsque d'autres animaux mangent ces animaux contaminés, les substances toxiques remontent lentement la chaîne alimentaire et c'est au sommet de celle-ci que l'on trouve les plus fortes concentrations en pesticides et herbicides. L'homme n'échappe pas à cette pollution et finit par consommer de la viande, du poisson et de l'eau contenant des polluants. Ceci n'est pas sans conséquence pour la santé. Les nitrates, que l'on retrouve dans la composition des engrais, peuvent causer une forme mortelle de leucémie chez les enfants.

IV. Conclusion

Les problèmes environnementaux engendrés par les unités industrielles sont généralement les plus dangereuses car elles ont pour conséquences :

- La pollution atmosphérique altérant la qualité de l'air ;
- La pollution des eaux superficielles et souterraines par les métaux lourds ;
- Les pluies acides.

Le rejet industriel des eaux usées de Hassi Aneur est très chargé en matière organique non biodégradable qui dépasse les normes algériennes et mondiales, ce qui confirme une pollution certaine très forte. Ce rejet est drainé vers le lac Télamine par un canal à ciel ouvert.

Concernant le lac Télamine le problème majeur reste la pollution, c'est devenu une zone à proie aux déversements d'eaux usées et l'augmentation de décharges sauvages d'ordures ménagères et plusieurs déchets industriels qui risquent d'asphyxier le lac ainsi que sa flore et sa faune si rien n'est fait.

Il faut noter ici la relation intime entre les eaux superficielles du lac et la nappe superficielle qui affleure en surface maintenant ainsi en charge le plan d'eau du lac. Cette situation constitue un risque majeur de contamination des eaux souterraines. En effet, les teneurs excessives en éléments chimiques confortent cet état de pollution.

L'augmentation des carrières dans la région présente également un impact très dangereux sur les êtres vivants, l'environnement géologique, les ressources en eaux et le paysage naturel de la région. Ceci concerne plus particulièrement la zone des piémonts constituant le front d'alimentation de tout le système aquifère de la zone des Hassi.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion Générale et recommandations

Notre travail consacré à l'étude hydrogéologique et environnementale de la zone des Hassis nous a permis d'aboutir aux déductions suivantes :

Dans une première étape, nous avons consacré notre étude à une synthèse des travaux antérieurs géologiques et hydrogéologiques. Par la suite, nous avons complété le travail par une contribution axée sur l'étude hydrogéologique et environnementale de la zone des Hassis.

Sur le plan géologique, le littoral oranais et les zones avoisinantes forment deux ensembles structuraux bien distincts disjoints par le bassin du Chélif d'âge Néogène. Le plateau des Hassis est formé par une croûte calcaire et des alluvions surmontant les grès du Calabrien. Cette zone comprend des terrains d'âge secondaires, néogène et quaternaire mettant en évidence une structure de deux ensembles : Un substratum anté-néogène (schiste) et une couverture post-nappe du Mio-plio-quaternaire (alluvions, grès, marnes).

L'étude structurale et tectonique déduit diverses formes plicatives (synclinal et anticlinal) et les plateaux sont affectés par des séries néogènes quasi horizontaux tandis que soit des plis simples soit des dépressions caractérisent les régions collines.

La région d'étude jouit d'un climat méditerranéen semi-aride et enregistre une précipitation moyenne annuelle de 325 mm avec une valeur de température moyenne mensuelle de 12.93 °C au mois de Janvier qui est la plus faible et 26.31 °C en Août qui est la plus forte pour la période allant de 1990 à 2008.

Sur le plan Hydrogéologique, plusieurs niveaux aquifères dont deux réservoirs principaux sont identifiés :

- L'aquifère du Plio-Quaternaire : aquifère multicouche à nappe libre ;
- L'aquifère des calcaires dolomitiques du Lias qui passe en profondeur sous l'aquifère du plio-quaternaire et affleure au sommet du massif d'Arzew avec une très bonne perméabilité contribuant à la recharge de la nappe libre sus-jacente.

L'allure générale de la carte piézométrique établie en 2012 indique une nappe radiale et le sens d'écoulement majeur des eaux des aquifères de la région va du Nord-Ouest au Sud-Est.

Le pompage d'essai effectué dans un puits à grand rayon situé à quelques dizaines de mètres de l'ouvrage de captage P1 (X= 212.40 Y=271.73 Z=111m) qui a donné une transmissivité de la formation aquifère (alluvions et calcaire gréseux) de l'ordre de 2.8×10^{-3} à 4.2×10^{-3} m²/s (ENRENAD, 1998) démontre que l'aquifère plio-quaternaire montre une bonne perméabilité.

L'ensemble des eaux échantillonnées suite à l'étude hydrochimique ont un pH compris entre **7,03 et 7,80** ; les eaux sont donc proches de la neutralité. Les conductivités mesurées au niveau des différents points d'eau de notre zone d'étude sont toutes supérieures à **1000µs/cm**.

Conclusion générale et recommandations

La minéralisation la plus élevée a été relevée au **P7 (Min = 4638 mg/l)** et la plus faible en **P6 (Min = 1822 mg/l)**. Les minéralisations les plus faibles ont été relevées dans les zones les plus amonts de la plaine (piémont des collines de Hassi Ben Okba). Cette zone forme donc un front d'alimentation du système aquifère épaulé par la contribution de la formation des calcaires liasiques.

Les conductivités élevées témoignent la forte minéralisation des eaux caractérisée par le calcium, le sodium, les bicarbonates et les chlorures. Les valeurs de TH calculées de l'ensemble des points d'eau échantillonnés dépassent 30°F montrant ainsi que l'ensemble des eaux sont très dures.

Après le report des valeurs des analyses sur les diagrammes de Schoeller-Berkaloff et de Piper, 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.

La contribution de la nappe des calcaires à la recharge et la régulation de la nappe phréatique atténuant la minéralisation dans la partie du piémont du massif d'Arzew avant que les eaux ne regagnent le lac Télamine.

La région d'étude se caractérise par des activités industrielles concentrées au niveau de la zone de Hassi Aneur et le pôle d'Arzew. Les rejets des eaux et déchets industrielles, domestiques interfèrent avec le milieu naturel représentant une source de pollution et une menace majeure pour l'environnement, les ressources en eau souterraines et superficielles (Lac Télamine).

A cet effet, quelques solutions peuvent être recommandées afin de minimiser ou empêcher différents aspects de risques d'ordre environnemental portant atteinte aux ressources en eaux souterraines et superficielles. Parmi ces recommandations, on peut citer :

- **Gestion des déchets** : Il faut d'abord créer une loi qui imposerait aux industries de fournir certains produits écologiques et faire des contrôles réguliers dans les industries afin de contrôler s'ils respectent les règles environnementales en matière de déchets ;
- **Gestion des ressources non renouvelables** : L'exploitation de ces ressources naturelles a des conséquences néfastes sur l'environnement et sur la substance des populations locales, elle provoque une pollution étendue et sur tous des guerres dans certains pays du continent. Il faut ajouter à cela la corruption et la mauvaise gestion sur le plan politique occasionné par les masses des revenus générés par l'exploitation de ces ressources naturelles. Il s'agit ici de gérer les réserves d'énergie fossile et les gisements de minerai.
- **Gestion des énergies renouvelable**

Gestion de l'eau : Elle implique une lutte contre le gaspillage, le traitement des eaux usées et la surveillance des eaux souterraines → nappes phréatiques (quantité et qualité).

- **Préservation des espèces et des écosystèmes** : Aujourd'hui, de nombreuses espèces menacées sont protégées au niveau local ou international ;
- Dépollution des terres afin de garantir une meilleure qualité environnementale et une qualité de produits agricoles ;
- Procéder à l'analyse des eaux usées pour mettre en évidence leur principal impact sur les eaux et les sols, et l'installation d'une mini-station de traitement des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel ;
- La réalisation des caniveaux au niveau de l'atelier de la maintenance et ses alentours pour le drainage des eaux pluviales, et les eaux issues de l'opération de lavage afin de maîtriser leurs destinations. Là encore ; une station de traitement de ces eaux s'impose pour éliminer les matières polluantes pouvant constituer un risque pour les eaux ou les sols ;
- La nécessité d'appliquer des lois strictes régissant l'exploitation des ressources en eaux souterraines (loi n° 12 de 1984 et son règlement d'exécution) et de la protection contre la pollution ;
- Entretien des réseaux d'assainissement et installation dans de zones de population et de villages dépourvus de l'existence de tels réseaux ;
- Audit environnemental au niveau des zones industrielles afin de relever toutes les atteintes de l'environnement et d'apporter les solutions adéquates pour le préserver ;
- Formation des gestionnaires des zones humides ;
- Programme de sensibilisation des médias et des écoles sur l'importance de la conservation des ressources en eaux souterraines et de la protection contre la pollution, en tant que source d'approvisionnement en eau la plus importante pour répondre aux besoins de la communauté en eau potable et en irrigation.

Annexes

Annexe n° 1 : Résultats des analyses (ANRH, 2012).

Points d'eau	Couleur	Turbidité (NTU)
P1	incolore	1
P2	Incolore	3
P3	Incolore	2
P5	Incolore	1
P6	Incolore	1
P7	Incolore	1
P8	Incolore	1
P9	Incolore	2
P10	Incolore	1
P11	Incolore	1
P12	Incolore	2
P13	Incolore	1
P14	Incolore	1
P15	incolore	2

Annexe n° 2: Résultats des analyses de prélèvements à différentes périodes (données A.N.R.H.)

Point d'eau	Unité industrielle	Date	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)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	e %
P16	G. Merouani	27/08/2005	8.03	7800	5920	5460	25	289	1449	22	2527	585	729	4
P17	SMCP	14/05/2006	6.95	9260	7028	6800	159	269	2047	29	2865	505	1020	4
P18	Tréfilerie de l'Ouest	04/10/2009	7.14	13000	11050	10640	341	299	2875	31	4508	542	1220	2
P19	Afia International	19/05/2007	7.05	18640	15844	15800	471	498	4485	56	7881	530	1535	0
P20	GSD	21/12/2005	7.57	5940	4509	4180	231	190	989	22	1690	345	510	5
P21	SPAB	18/07/2006	7.2	2310	1723	1680	102	87	356.5	8	490	465	316	0
P22	ERO	12/03/2007	7.14	3410	2588	2680	260	53	533	5.5	965	329	374	0
P23	CEVITAL	02/12/2007	7.14	2910	2209	2320	148	99	442	5	735	269	425	1
P24	LAAPDP	14/07/2010	7.05	3310	2512	2600	48	169	460	7	830	393	259	2

Annexe n°3 : Normes des paramètres organoleptiques (OMS).

Paramètres	Niveau Guide	Concentration max. admissible	Observation
Couleur unité p [†] /mg	5	2	-
Turbidité mg/l	5	10	Détermination gustative et olfactive
Odeur	0	2	Détermination gout
Saveur	0		gout

Annexe n°4 : Normes des paramètres physico-chimiques (OMS).

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible	Les échantillons dépassant la concentration maximale
PH	-	6.5	9	/
Conductivité	µs/cm	200	1000	Tous les échantillons.
Résidu sec	mg/l	-	1500	Tous les échantillons.
Dureté totale	°F	-	50	Tous les échantillons.
Calcium	mg/l	-	100	Tous les échantillons à l'exception de P2.
Magnésium	mg/l	-	50	Tous les échantillons à l'exception de P13.
Sodium	mg/l	-	150	Tous les échantillons.
Potassium	mg/l	-	12	P1, P3, P8, P14.
Sulfates	mg/l	-	250	Tous les échantillons.
Chlorures	mg/l	-	600	Tous les échantillons à l'exception de P15.
Oxygène dissous	mg/l	-	5	
Aluminium	mg/l	-	0.2	
Température	°C	-	25	/

Annexe n°5 : Les substances indésirables ou toxiques (OMS).

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration maximale admissible	Les échantillons dépassant la concentration maximale admissible
Argent	mg/l	-	0.05	
Arsenic	mg/l	-	0.05	
Cadmium	mg/l	-	0.05	
Chrome	mg/l	-	0.05	
Cuivre	mg/l	-	1	
Fer	mg/l	-	0.2	
Fluor	mg/l	-	1.5	
Manganèse	mg/l	-	0.5	
Mercure	mg/l	-	0.001	
Plomb	mg/l	-	0.05	
Sélénium	mg/l	-	0.01	
Zinc	mg/l	-	5	
Nitrates	mg/l	-	50	Tous à l'exception de P6 et P14.
Nitrites	mg/l	-	0.1	P14
Ammonium	mg/l	-	0.5	
Phosphate	mg/l	-	5	/
Oxydabilité (K, Mn, O ₂)	mg/l	-	5	
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP)	mg/l	-	0.1	

Annexe n°6 : Normes des paramètres physico-chimiques (OMS).

Paramètres	Unité	Niveau Guide	Concentration max. admissible	observations
pH		6,5 à 8,5		
Conductivité	µS / cm à 20°C	-	2280	
Résidu sec	mg/l après séchage a 105°		2000	En correspondance avec la normalisation des eaux
Dureté totale	mg/l CaCO ₃	100	500	
Calcium	mg/l	75	200	
Magnésium	//	-	150	
Sodium	/	-	200	
Potassium	//	-	10	
Sulfates	//	200	400	
Chlorures	//	200	500	
Nitrates	//	-	50	
Nitrites	//	-	0,1	
Ammonium	//	0,05	0,5	
Phosphates	//	-	0,5	
Oxydabilité (KMnO₄)	//		3	Mesure faite à chaud et en milieu acide
O₂ dissous	//	5	8	
Aluminium	//	-	0,2	

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.
- BENBRAHIM Z., (2015)** : Contribution à l'étude hydrogéologique des monts d'Arzew (Djebels Orousse et Bourousse) (région d'Oran-Algérie). Mém. Ing. Université d'Oran.
- BOUBKERI M., (2013)** : Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en contexte industriel. Cas de la Zone de Hassi Aneur (région d'Oran-Algérie). Mém. de Magister. Université d'Oran.
- BOUKERCHA C. et DERKAOUI F., (2019)** : L'impact de l'activité industrielle de la zone des Hassi (Est Oran) sur les ressources en eaux souterraines. Mém. Ing. Université d'Oran 2.
- BOULKIA H. R., (2018)** : Gestion intégrée des ressources en eau de la wilaya d'Oran. Thèse doct. Université d'USTO MB.
- BOULLAHI A., (2012)** : Contribution à l'étude hydrogéologique de la région comprise entre Hassi Bonif, Sidi Chami, Braya et Es-Sénia. (W. d'Oran). Mém. Ing. Université d'Oran.
- BOURREGA W., (2008)** : Apport de la géophysique à l'étude hydrogéologique de la région comprise entre Gdyl et Sidi Benyebkha « wilaya d'Oran ». Mém. Ing. Université d'Oran.
- FENET B., (1972)** : Recherche sur l'alpinisation de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir d'un élément de l'Orogenèse nord-maghrébin : Les Monts du Djebel Tessala et les Massifs du littoral oranais. Thèse de doctorat en Sciences.
- FOUKRACHE M., (2001)** : Hydrogéologie des massifs côtiers oranais (Arzew, Beni Saf). Thèse de magister, 321 p. 140
- GOURINARD Y., (1952)** : Le littoral oranais (mouvement verticaux et anomalies gravimétriques). Congrès. Géol. Inter. Alger, Monographie régionales.
- GOURINARD Y., (1958)** : Recherche sur la géologie du littoral Oranais II. Epirogénèse et nivellement. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie bulletin n°6. 200p.
- HADDAR L., (1986)** : Contribution à l'étude hydrogéologique du piémont de Djebel Khar entre le Lac Télamine et Hassi Aneur. Mém. Ing. Université d'Oran.
- HADJADJ M., (2018)** : Suivi des indicateurs de pollution dans une région aride à semi-aride : Diagnostic des environs de Gdyl 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 Sebkhah d'Oran (Algérie) ». Doct. Univ. Oran, 304 p.

LAKEHAL K. et MECHEHOUD W., (2016) : Exploration et exploitation du gypse. Impact sur l'environnement et les ressources en eau (entreprise Knauf plâtres). Mém. Ing. Université d'Oran 2.

MILLOUD S., (2009) : La vulnérabilité de la population de la plaine des Hassis face aux risques industriels « Cas de la zone de Hassi Ameur ». Mém. Ing. Université d'Oran 2.

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