



Faculté des Sciences de la Terre

Département de géologie

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option: Hydrogéologie

THEME

***Caractérisation des eaux superficielles
de la plaine d'El Hadjar***

Présenté par : FERROUM Asma

Directeur de mémoire: Pr. DJABRI Larbi

Professeur (U.M.B. Annaba)

DEVANT LE JURY

Président :

Pr. HANI Azzedine

Professeur (U.M.B. Annaba)

Examineurs :

Pr. CHAFFAI Hicham

Professeur (U.M.B. Annaba)

Dr. LABAR Sofiane

M.C.A (Université -El Tarf)

Résumé

La protection des ressources en eau apparaît comme un des défis majeurs auquel le monde est confronté. Ce besoin de protéger cette capitale précieuse est lié à un constat fondamental par sa capacité limitée d'absorber les effets de l'activité humaine, l'eau pose une limite concrète au développement durable et protection de l'environnement

Dans cette étude nous avons pour but d'évaluer de façon préliminaire la pollution des eaux superficielles des la plaine de EL HADJAR, situé au Nord-est Algérien. Afin d'évaluer le degré de la pollution de l'eau, des échantillons sont prélevés régulièrement durant une période allant de janvier 2013 à juin 2015 au niveau d'Oued Meboudja et différentes eaux superficielles de zone étudiée.

Les résultats ont montré que la charge polluante pour les eaux superficielles de Oued Meboudja est marquée par une pollution surtout en ETM est très importante, donc les analyses des résultats nous a permis de tracer une carte de pollution pour identifier les zones à risque qui présentent un danger et proposer des solution pour atténuer leurs impact sur Oued Meboudja et la totalité de la plaine.

Mots Clés: *Pollution, ETM, Besoin, Oued Meboudja*

Abstract

The water resources protection appears to be one of the major challenges the world faces. This need to protect this precious capital is linked to a fundamental observation by its limited capacity to absorb the effects of human activity, water poses a practical limit to sustainable development and environmental protection. In this study we aimed to evaluate preliminarily pollution of surface waters of the plain of EL HADJAR, located in north-eastern Algeria. To evaluate the degree of pollution of the water samples are taken regularly during a period from January 2013 to June 2015 at Oued Meboudja and various surface water area studied. The results showed that the pollution load to surface waters from Oued Meboudja is marked by pollution especially ETM is very important, so the analysis of the results allowed us to draw a hazard map to identify risk areas with a danger and propose solutions to mitigate their impact on Oued Meboudja and the entire plain.

Keywords: Pollution, ETM, Dependency, Oued Meboudja

ملخص

حماية الموارد المائية ويبدو أن أحد التحديات الرئيسية التي يواجهها العالم. وترتبط هذه الحاجة لحماية هذه الأصول القيمة إلى الملاحظة الأساسية التي قدرتها المحدودة على استيعاب آثار النشاط البشري، والمياه يشكل الحد العملي لتحقيق التنمية المستدامة وحماية البيئة

في هذه الدراسة نحن تهدف لتقييم التلوث مبدئيا من المياه السطحية من سهل الحجار، وتقع في شمال شرق الجزائر. لتقييم درجة تلوث عينات من المياه تؤخذ بانتظام خلال الفترة من يناير 2013 إلى يونيو 2015 في واد ميبوكة ودرسوا مجال المياه السطحية المختلفة.

وأظهرت النتائج أن حمل التلوث في المياه السطحية من واد ميبوكة يتميز خاصة بالتلوث ETM المهم جدا، لذلك سمح تحليل النتائج لنا لرسم خريطة خطرا على تحديد المناطق المعرضة للخطر مع خطر واقتراح الحلول للتخفيف من تأثيرها على واد ميبوكة وسهل بأكمله.

كلمات البحث: التلوث، ETM، التبعية، واد ميبوكة

REMERCIEMENTS

Au terme de cette thèse, je tiens en premier lieu à exprimer ma profonde gratitude, à **ALLAH** qui m'a facilité le travail et m'a donné de la volonté, du courage et de la patience pour arriver à mener à bien ce travail.

Je remercie profondément mon directeur de thèse le **Professeur Larbi DJABRI**, je suis très reconnaissant de m'avoir formé, orienté et conseillé, merci pour votre gentillesse et votre sympathie.

Merci à toutes les personnes qui m'ont été pour un énorme soutien notamment **Pr.Azzedine HANI** d'avoir accepté de présider le jury de la soutenance

Je remercie également ; Messieurs les membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail :

-**Pr.CHAFFAI** Hicham, de l'Université d'Annaba.

-**Dr.LABAR** Sofiane de l'Université d'El Taraf.

Je tiens à remercier **Me .Djamila**, pour ses aides au cours des travaux d'analyses au laboratoire de département de géologie.

Je voudrais également remercier mes collègues de promotion pour leur conseil

Je n'oublierai jamais l'aide, les conseils et surtout les encouragements et le soutien moral de mon mari **Abdelaziz** qui a toujours cru en moi, et les encouragements de mes précieux amis.

A toutes les personnes qui n'ont pas hésité un seul instant à m'encourager même avec un sourire notamment **Wafa**.

N° de figure	Titre de figure	Page
Figure n° 01 :	Situation géographique de la zone d'étude.	02
Figure n° 02 :	Carte Oro-hydrographique de l'Algérie du Nord (Mebarki).	03
Figure n° 03 :	Carte géologique des plaines de la région Annaba-Bouteldja (après Strojexport, 1975,	08
Figure n° 04 :	Carte schématique tectonique de la plaine d'Annaba (d'après sonatrach, 1969, mod :Attoni, 2009...	09
Figure n° 05 :	Les principaux domaines bioclimatiques de l'Algérie du Nord [selon l'indice annuel Moral, période (1976-2005).] <small>Modifié Saadati, 2007</small>	11
Figure n° 06 :	Evolution du climat selon l'indice de Martonne pour la période (1982-2010), (In N. Bougherira, 2015).	15
Figure n° 07 :	Exemples de climats méditerranéens selon le coefficient d'Emberger [Gyot G ; 1999]...	17
Figure n° 08 :	Précipitations annuelles médianes « normales»..(1965-95) (d'après étude ANRH-GTZ,2003).	19
Figure n° 09-10	Diagrammes Ombrothermique (9 Annaba), (10 Pont Bouchet).	20
Figure n° 11 :	Var variation des précipitations moyenne mensuelle (1980-20	20
Figure n° 12 :	Variation des précipitations saisonnières (1980-2014	23
Figure n° 13 :	Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles)	25
Figure n° 14 :	Variations des températures moyennes mensuelles (station des Salines (1980-2014)	28
Figure n° 15 :	Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station des Salines 1980-2014).	28
Figure n° 16 :	Représentation graphique du bilan hydrique de la station les Salines (1980-2014).	29
Figure n° 17 :	Moyenne pluriannuelle d'éléments climatiques de la station de Pont Bouchet (période 1980-2014).	29
Figure n° 18 :	Représentation graphique du bilan hydrique de la station de Pont Bouchet (période 1980-2014)	35
Figure n° 19 :	Répartition des aquifères de la région d'Annaba.	36
Figure n° 20:	Carte des isopaches de la nappe phréatique. (in Aoun, 2010).	37
Figure n° 21 :	Les aquifères situés à l'Ouest du lac Fetzara (in Khelfaoui, 2007.	38
Figure n° 22 :	Coupes montrant la nature lithologique des aquifères de Annaba (zone Est)	43
Figure n° 23 :	Carte des isobathes du toit de la nappe des graviers. (in Habes 2013).	43
Figure n° 24 :	Carte des isopaches du niveau semi-perméable. (In Habes 2013).	44
Figure n° 25 :	Carte piézométrique de la nappe superficielle Avril 2015 (In Lebbad 2015).	46
Figure n° 26 :	Schéma possible de fonctionnement des systèmes aquifères de la région de Annaba..	48
Figure n° 27 :	Cercle ACP, sans CE.	56

Listes des figures

N° de figure	Titre de figure	Page
Figure n° 29 :	Emplacement des points de prélèvement sur l'Oued Meboudja.	58
Figure n° 30 :	Variations des teneurs moyennes annuelles des ETM, dans les eaux de l'oued Meboudja suivant les sites considérés.	59
Figure n° 31 :	Diagramme $Mg^{+}/Ca^{2+} = f(CE (\mu s/cm))$	66
Figure n° 32 :	Diagramme $Ca^{2+}/Na^{+} = f(CE (\mu s/cm))$	67
Figure n° 33 :	Diagramme $SO_4^{-2}/Cl^{-} = f(CE (\mu s/cm))$.	67
Figure n° 34 :	Schéma montrant le lien hydraulique entre la nappe et la mer.	68
Figure n° 35 :	Carte de vulnérabilité à la pollution (GALDIT)	70

liste des Tableaux

Tableau.01. Caractéristiques générales des principaux ensembles topographiques Est-algérien.....	12
Tableau.02. Classification mensuelle de Moral.....	14
Tableau.03. Classification des climats selon l'indice de De Martonne.....	15
Tableau.04. Estimation des coefficients pluviométrique (1981-2010, In Bougherira, 2015)...	18
Tableau.05. Les coordonnées géographiques des stations pluviométriques.....	20
Tableau.06. Répartition des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières aux stations des Saline et Pont Bouchet (1980-2014).....	21
Tableau .07. Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières..... (station des Salines 1980-2014).	24
.Tableau.08. Résultats de l'indice d'aridité de DE.MARTONNE des Stations des Salines et Pont Bouchet.....	26
Tableau .09. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,Station Les Salines (1980-2014).....	27
Tableau.10. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE », Station Pont Bouchet (1980-2014).....	29
Tableau.11. Récapitulatif des ETR et de l'ETP concernant les stations Les Salines et Pont Bouchet (1980-2014).....	32
Tableau 12. Résultats du pompage effectué dans le secteur central de la plaine d'Annaba.	45
Tableau13. résultats de la comparaison.....	53
Tableau14. Matrice de corrélation, ACP sans CE.....	55
Tableau 15. Résultats des rapports caractéristiques.....	64
Tableau 16. Résultats de deux pompes d'essai effectués dans la nappe phréatique.	72
Tableau 17. Résultats des indices globaux.....	72

Table des matières

المُلخَص

Résumé

Abstract

Remerciement

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Abréviations

Introduction générale 1-2

Chapitre 1 : le Contexte géologique et géomorphologique

1-	Situation	géographique	02
2-	Contexte géologique régional.....		02
3-	géomorphologie		04
	3.1- le bassins versants		04
	3.2- les terrasses.....		04
	2.3- Les marecages.....		04
	2.4- Les plage.....		05
4-	Aperçu socio-économique.....		05
	4.1-La population....		05
	4.2-L'industrie.....		05
	4.3-L'agriculture.....		05
	4.4-Le Tourisme....		05
5.	La géologie		06
	5.1-Stratigraphie.....		06
		
	5.1.1-Formaion métamorphique.....		06
	5.1.1.1-Série inferieur		
	5.1.1.2-Série intermédiaire		
	5.1.1.3-Série supérieur		
	5.1.2-Formation sédimentaire		06
	5.1.2.1-Le Quaternaire.....		07.
	5.1.2.1.1-Quaternaire ancien		
	5.1.2.1.2-Quaternaire moyen		
	5.1.2.1.3-Quaternaire récent		
	5.1.2.1.4-Quaternaire actuelle		

2.2. Délimitation des aquifères.....	37
2.1.5. La nappe des alluvions de la haute terrasse , La nappe d'accompagnement du Lac Fetzara (NAL)...	37
2.3. Géométrie des aquifères.....	38
2.3.1.1. Nappe des gneiss altérés.....	38
2.3.1.2. Nappe du cordon dunaire.....	38
2.3.1.3. Nappe des sables argileux et limons.....	41
2.3.2. La nappe des graviers (ou nappe profonde).....	43
2.3.3. La piézométrie de la nappe superficielle Annaba-El Hadjar.	45
3.Conclusion.....	46

Chapitre IV : Hydrochimie

Introduction	47
2. Caractéristiques des eaux issues de l'Oued Meboudja.....	48
2.1. Etat de la pollution des eaux à l'entrée du Lac.....	48
2.1.1 Dans la zone Ouest.....	49
a. Une contamination par les éléments majeurs.....	49
b. Contamination par les éléments traces métalliques	49
2.1.2 Dans la zone Est.....	51
2.3. Devenir des polluants à l'entrée et à la sortie du Lac.....	52
2.2. Etat de la pollution des eaux à la sortie du Lac :.....	52
2.5. Analyse des résultats d'ensemble.....	53
2.4. Paramètres analysés.....	53
1.5.1. Origines des ETM, dans les eaux à l'entrée et à la sortie du Lac.....	55
a.ACP des ETM lourds sans conductivité électrique.....	55
a.1. Matrice de corrélation.....	55
a2. Analyse du cercle ACP sans CE (fig.27).....	56
b.1 Analyse du cercle ACP avec CE (fig.28).....	57
b. Analyse ETM avec EC.....	57
2.5.2. Les ETM au niveau de l'Oued Meboudja.	57
a. Choix des sites étudiés.....	58
b. Variations des concentrations des ETM, au niveau des sites.....	59
3. Origine et devenir des métaux dans l'environnement.....	59
3.1 Apports telluriques naturels. Érosion, transport, sédimentation.....	60

3.2. Apports anthropiques.....	61
3.3. Devenir des métaux dans l'eau.....	62
3.4.1. Les rapports caractéristiques.....	63
3.4. Relation Nappe –Mer.	63
3.4.1.1 Diagramme $Mg^{+}/Ca^{2+} = f(CE (\mu s/cm))$ (fig.30).....	65
3.4.1.2. Diagramme $Ca^{2+} / Na^{+} = f(CE (\mu s/cm))$ (Fig.31).....	66
3.4.1.3. Diagramme $SO_4^{2-}/Cl^{-} = f(CE (\mu s/cm))$ (fig.32).....	67
3.4.2. Conclusion.....	68
4.2. Interprétation de la carte de vulnérabilité. (fig.35).....	69
4. Nécessités de protection de la nappe.....	69
	<i>4.1. Application méthode CAI DIT</i>
4.3.2. Calcul de l'indice de l'occupation du sol.....	71
4.3. Elaboration d'une nouvelle méthodologie.....	71
4.3.1. Choix des indices.....	71
4.3.3. Proposition de périmètres de protection.....	73
5. Conclusion.....	75
Conclusion générale.....	

Introduction générale

Indispensable à la vie, l'eau douce est une ressource dont la disponibilité a depuis toujours guidée le développement des formes de vie sur terre. Elle a également conditionnée et conditionne encore dans une large mesure de présences des activités humaines. une mesure de protection de cette source vitale s'impose et le contrôle de sa qualité dans le temps et l'espace est obligatoire.

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle très important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et sur l'environnement

Face à ces problèmes récurrents, de nombreuses études ont été mises en œuvre dans le secteur étudié. C'est pourquoi il est impératif, devant une susceptibilité de pollution telle que les eaux superficielles de la plaine d'El-Hadjar, d'évaluer les teneurs de ces éléments chimiques dans les oueds notamment Meboudja, afin de connaître les origines de la contamination des eaux de la plaine.

pour l'accomplissement des ces travaux, notre étude menée a porté sur l'évaluation et la caractérisation des eaux superficielles de plaine de El-Hadjar en usant une méthodologie de suivi de variétés des analyses des points d'eau le long de la plaine.

Notre étude est s'articule sur Quatre chapitres essentielles

- Chapitre I : le cadre géologique et géomorphologique
- Chapitre II: Hydroclimatologie
- Chapitre III: Hydrogéologie
- Chapitre IV: Hydrochimie

1. Situation géographies.

La région d'étude se situe au Nord-est algérien entre les latitudes 36°30' Nord et 37°03' et longitudes 7°20' Est et 8°40' Est. D'une superficie d'environ 1411 .98 km².

Elle est limitée :

- Au Nord, par la mer méditerranée,
- À l'Ouest, par la willaya de Skikda,
- Au Sud et à l'Est par les willayas de Guelma et d'El Tarf.

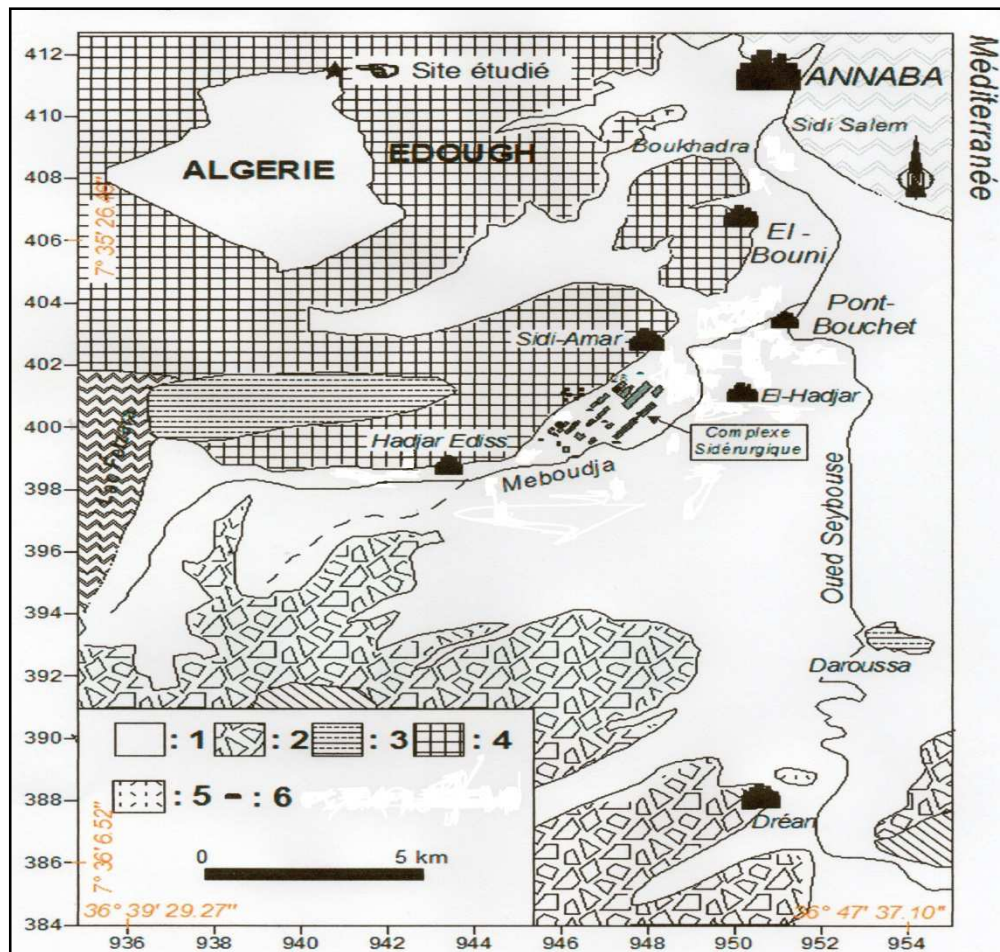


Figure.01. Situation géographique de la zone d'étude.

2- Contexte géologique régional :

. Le réseau hydrographique.

La zone est traversée par deux principaux cours d'eau :

-Oued Seybouse : c'est le seconde oued d'Algérie après l'oued Chérif, il se situe au Nord-est de l'Algérie, Il s'étend vers le sud jusqu'à la fin de l'Atlas Saharien d'où il prend naissance dans les hautes Pleines de Heracta, et des Sellaoua sur une hauteur de 800 à 1000 mètres, se dirigeant vers

le Nord pour se terminer dans la plaine littorale d'Annaba et se jeter finalement dans la mer Méditerranée. Il s'étend sur une distance de 240 Km passant par les territoires de la wilaya de Souk Ahras, Guelma, Annaba et El-Tarf. L'Oued Seybouse se déverse dans la mer avec un débit d'environ 400 à 1hm³/an. Il présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 Km²

-Oued Méboudja: le collecteur intermédiaire entre le lac fetzara et l'oued Sybouse. Il draine une superficie de 203 km² et constitue le collecteur des eaux du bassin versant du lac Fetzara d'une superficie de 515 km² et du bassin versant de oued Ressoul, avec un maximum de 20 m³/s (Bounoune , 1986) ; ceci est dû au mauvais drainage au Sud du complexe sidérurgique d'El Hadjar (ARCELOR MITALL STEEL) et une croissance importante des mauvaises herbes.

La Méboudja rejoint l'oued Seybouse à environ 8 kilomètres de l'embouchure. Le débit de l'oued Méboudja est moins important que celui de l'oued Seybouse. Une estimation du débit de l'oued Méboudja par jaugeage au flotteur pendant la période de Février-Décembre 1999 a donné des valeurs ne dépassent pas les 20 m³/s ; ces mesures ont permis de mettre en évidence une relation entre les précipitations et les débits, car les forts débits enregistrés correspondent à la saison humide (forte pluie) alors que les faibles débits correspondent aux faibles précipitations.

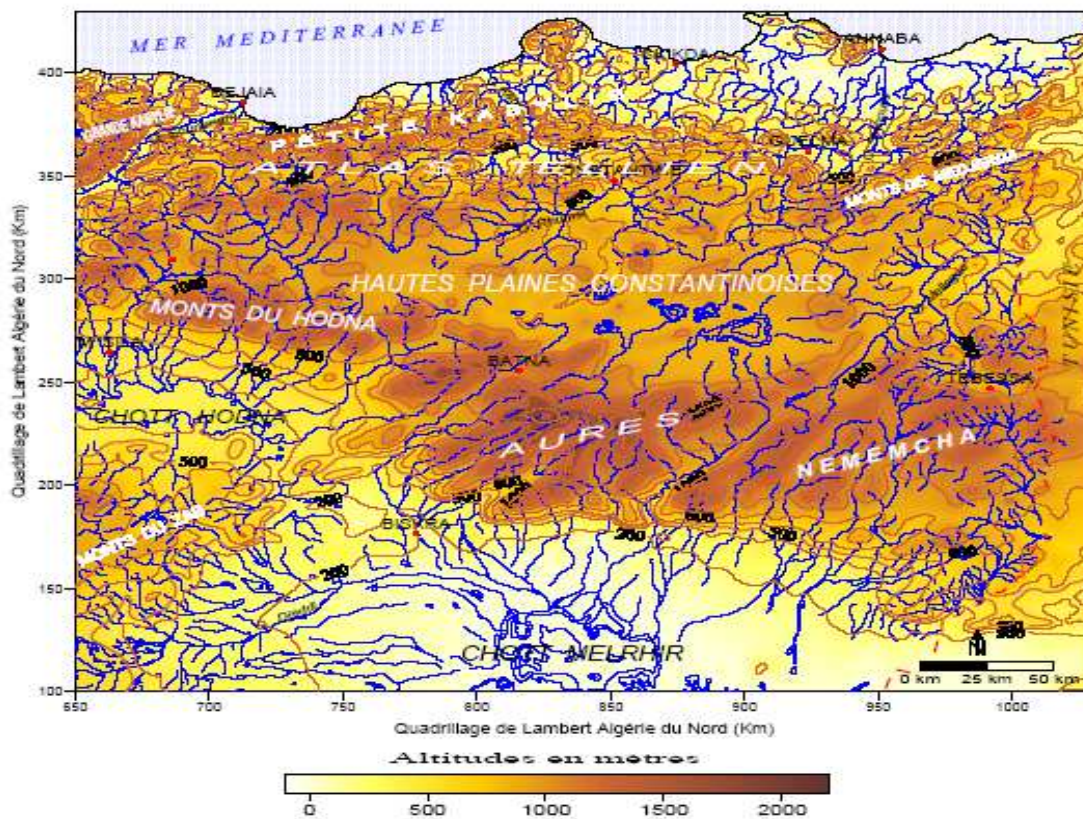


Figure.02 .Carte Oro-hydrographique de l'Algérie du Nord (Mebarki.)

3-géomorphologie

3.1. Les bassins versants.

-La Mafragh : Elle occupe la partie est avec une superficie de l'ordre 2915 km² et une altitude de 319 m.

-La Seybouse : Elle se trouve à l'extrémité Ouest et s'étend sur une superficie de 6471 km², elle renferme divers milieux naturels ce qui conduit à la diversification et la multitude des chemins de nutrition et de ruissellement.

3.2. Les terrasses.

Représentées par trois unités bien distinctes :

-Hautes terrasses : situées à des altitudes de 100 à 150 m. Ce sont des formations argileuses pratiquement imperméables (ne présentant pas un intérêt hydrogéologique) localisées surtout entre Dréan et Ain-Berda.

-Moyennes terrasses : situées à des altitudes de 20 à 50 m. Ce sont des formations caillouteuses à la base, assez fines au sommet, formées de graviers, de galets et surtout d'argiles sableuses (faible intérêt aquifère), localisées dans la région de Dréan.

-Basses terrasses : situées à une altitude moyenne de 15 m. Elles sont formées par des dépôts alluvionnaires constitués d'un matériel argilo-limoneux avec des galets, graviers et sables, Ce sont des formations accumulatives d'eaux souterraines.

3.3. Les marécages.

Couvrent environ une superficie de 4786 ha et son constitués par des formations argileuses à argilo-sableuses, à faible perméabilité. Ils sont localisées dans les dépressions de basses terrasses et couvrent la limite Est de la plaine d'Annaba.

3.4. La plaine d'Annaba.

La zone d'étude fait partie de la petite plaine d'Annaba qui s'étend entre les coteaux de Annaba, le pied de djebel l'Edough, les terminaisons du Boukantas et de Boukhadra fait suite à la plaine de Khéraza. Autrefois en partie couverte de marécages, elle est aujourd'hui presque entièrement assainie.

Les seuls marécages permanentes qui subsistent se trouvent au pied du massif de Kef N'Sour à l'endroit du passage de l'ancien lit de l'oued Boudjamaa et à l'entrée de la ville d'Annaba entre la butte de la basilique saint Augustin et le cimetière Israélite.

3.5. Les plages.

Ce sont les formations géomorphologiques les plus récentes constituées principalement de sables riches en quartz.

4. Aperçu socio économique.

La région d'Annaba est une région à vocation industrielle et agricole, ces activités font d'elle un grand utilisateur d'eaux, surtout ces dernières années en raison du taux démographique élevé et la demande en eau potable qui n'a cessé d'augmenter. L'exploitation de la nappe superficielle et la nappe profonde marque une grande variation de gestion des ressources en eaux dans cette région.

4.1. La population.

. La population de la région d'étude au même titre que le reste du territoire algérien est située au Nord du pays. On remarque une population très forte concentrée surtout dans les agglomérations d'Annaba ville, El Hadjar, Sidi Amar, El Bouni

4.2. L'industrie.

C'est le deuxième pôle industriel du pays après la capitale Alger. La ville est un haut lieu de la sidérurgie mondiale avec le complexe sidérurgique d'El Hadjar, est le plus grand d'Afrique.

L'industrie du phosphate et du métal sont présents avec le complexe phosphatier de la Seybouse, le complexe métallurgique d'Allelik, la zone industrielle entre El-Hajar et El-Bouni et la zone industrielle le long du port d'Annaba ville (Asmidal, Naftal,...).

4.3. L'Agriculture.

Dans la plaine de la Seybouse et principalement la plaine d'Annaba il existe une activité intense agricole (Tomate...).

4.4. Le tourisme.

Dans la wilaya d'Annaba le secteur touristique est bien développé car la wilaya est caractérisée par des montagnes, la mer et les vestiges romains d'Hippone ...etc.

5 .Géologie.

La géologie de la plaine de Annaba présente deux types de terrains :

-L'un métamorphique et l'autre sédimentaire. Ces derniers occupent la majorité de la plaine. Le domaine métamorphique occupe l'ouest de la plaine d'Annaba et le sud celui des grés numidiens. Le sédimentaire affleure dans la partie restant de la plaine.

5.1. Stratigraphie.

Du point de vue stratigraphique et lithologique on remarque que l'étude géologique de la région révèle à plusieurs formations à savoir. De bas en haut peuvent être présenté par un ordre chronologique.

5.1.1. Formation métamorphique.

Ces terrains sont bien développés à l'ouest de la région où affleurent dans les massifs de l'Edough, Bouhamra, Belilieta en forme d'anticlinal allongés NE.SW (Gleizes et al 1988).

On distingue trois séries :

5.1.1.1. Série inférieure.

Constitue le cœur de l'anticlinal du massif de l'Edough et représentée par des gneiss œillets parfois riches en biotite.

5.1.1.2. Série intermédiaire.

Se trouve à la périphérie de l'Edough C'est une série d'alternance de schiste, micaschiste à grenat et des niveaux de calcaires cristallins.

5.1.1.3. Série supérieure.

Affleure surtout au NE du Massif, constituée par un ensemble de gneiss œillets, schistes, micaschiste, grenat et amphibolites.

5.1.2. Formation sédimentaire.

5.1.2.1. Le secondaire.

Ce sont des terrains allochtones représenté par des calcaires à silex du jurassique et par des flysch du crétacé.

5.1.2.2. Le Tertiaire.

Présente une épaisseur importante dans la région d'étude avec trois (03) systèmes :

- L'éocène inférieur : série transgressée formée de calcaires massifs à faciès épinéritiques.
- L'oligocène : comporte des niveaux argilo-gréseux numidiens qui forment le relief des montagnes du sud de la plaine.
- Le Mio-pliocène : constitue le remplissage graveleux de sablo-argileux du bassin.

5.1.2.3. Le Quaternaire.

Il est constitué des formations continentales, alluvionnaires, colluviales, éoliennes et marines. Les études géologiques sur le Quaternaire dans la plaine de Annaba font apparaître les quatre traits suivants :

5.1.2.3.1. Quaternaire ancien.

Constitué par des formations alluviales (argiles, limon, sables, gravier et galets), et formant un réservoir d'eau superficielle, constituant la haute terrasse d'une altitude de 75 à 150m.

5.1.2.3.2. Quaternaire moyen.

Correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constituée par des argiles et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Et elle se développe sur toute la région.

5.1.2.3.3. Quaternaire récent.

Indiqué par des dépôts alluvionnaires, limoneux très fins, à prédominance d'argile qui couvrent indifféremment l'ensemble de la plaine (S. E. Cherrad, 1979 in N. Kherici, 1993) il correspond à la basse et la moyenne terrasse.

5.1.2.3.4. Quaternaire actuel.

Les alluvions sont représentées par des dépôts du • lit actuel des Oueds, formé généralement de matériaux variés (argiles, sables, cailloux), résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

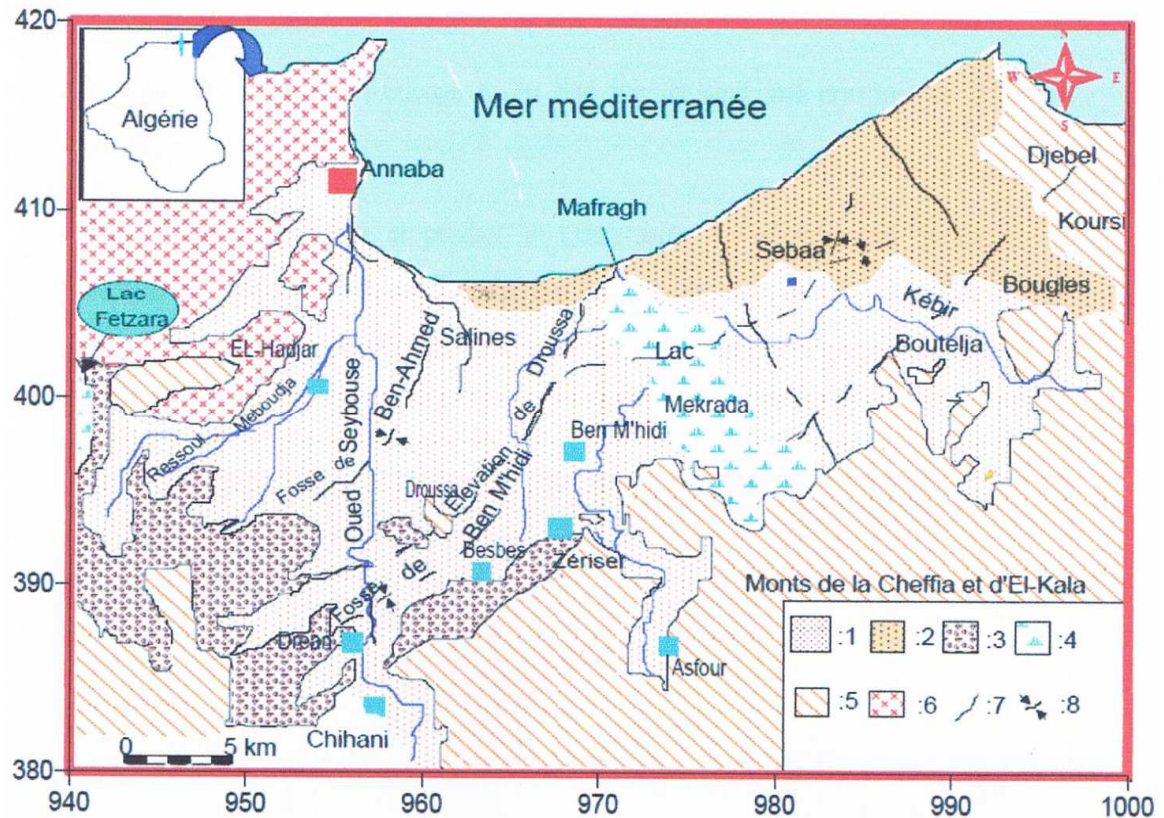


Figure.03. Carte géologique des plaines de la région Annaba-Bouteldja (après Strojexport, 1975, modifié, Attoui, 2009).

5.2. Tectonique.

-Les Monts de la Cheffia : occupent la partie sud de la région. Ce sont des formations gréso-argileuses présentent comme une ride tectonique marqué par des anticlinaux, parfois faillés à noyaux argileux.

-La plaine d'Annaba : on y distingue deux évènements tectoniques.

Le Miocène inférieur au Miocène supérieur, les mouvements tectoniques provoquent l'enfoncement progressif des grés numidien. Par la suite, un remplissage d'âge Plio-Quaternaire par des matériaux détritiques s'est déclenché. Pendant le Miocène inférieur, l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques et à un isolement complet du massif de l'Edough. Ainsi la plaine se trouve au centre d'un bassin limité au Nord par l'anticlinal du Massif de l'Edough et au Sud par un anticlinal principal de la chaîne Numidique.

A partir du pliocène et pendant le Quaternaire, un effondrement déclenche des processus de formation et de comblement des deux fosses, celle de Ben Ahmed et celle de Ben M'Hidi orientée SW-NE, qui sont séparés par un haut fond appelé l'élévation de Daroussa.

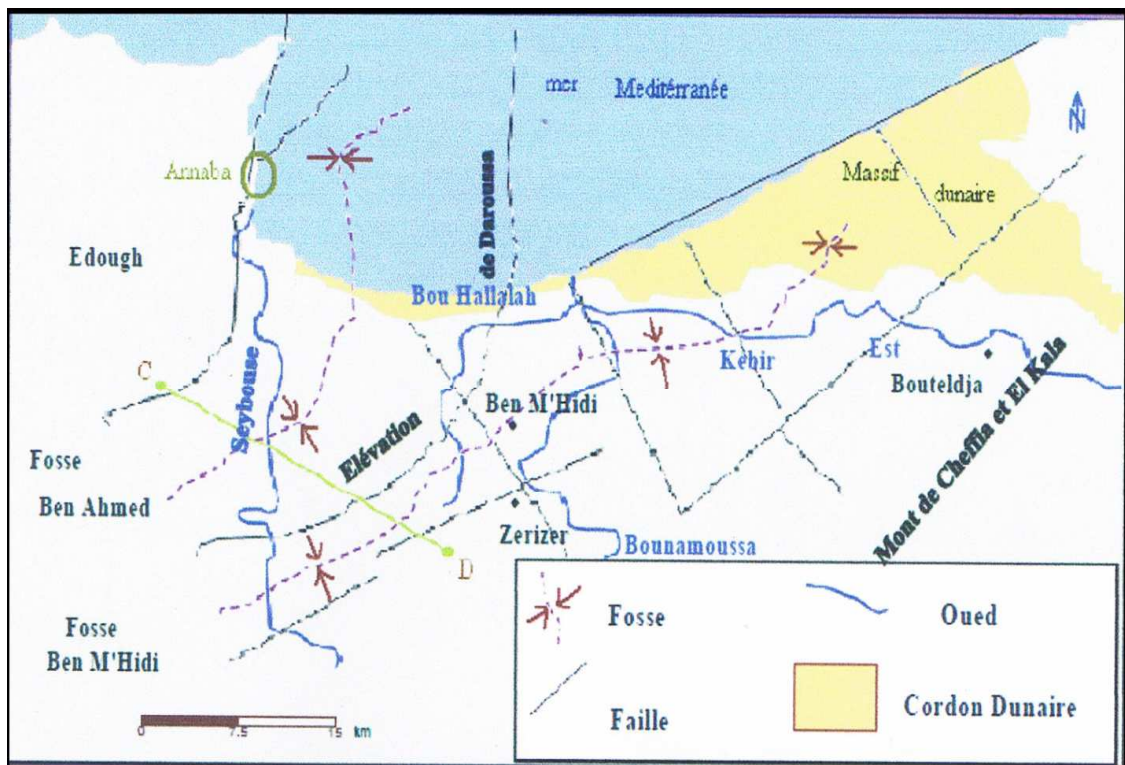


Figure.04. Carte schématique tectonique de la plaine d'Annaba (d'après sonatrach, 1969, Modifiée Saadali. 2007).

5.3. Paléogéographie.

Pendant l'ère secondaire, la mer envahit au moins une partie du massif de l'Edough.

La présence des calcaires du jurassique affleurant sur le socle confirme cette transgression marine.

Vers la fin du crétacé et pendant le paléogène se déposées des formations Flyschoides schisteuses et gréseuses. Durant le Miocène une importante phase tectonique (phase alpine) a agi sur ces flysch, en les charriant sur le socle. Et puis, de nombreux accidents tectoniques provoquent l'effondrement de la plaine orientale de Massif de l'Edough.

Les bassins formés s'approfondissent au cours du pliocène jusqu'au Quaternaire et se remplissent de formations continentales.

5.4. Conclusion.

L'histoire de la géologie de la plaine d'Annaba remonte au début du primaire au Quaternaire, présentent une lithologie très variée qui comprend essentiellement des alluvions (sable, graviers, des cailloutis....), des grés, des argiles, des flysch et des calcaires.

1. Introduction.

L'étude climatique constitue un facteur important pour la connaissance des réserves hydriques, souterraines ou superficielles. Aussi la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation, repose sur la disponibilité et l'interprétation des données des paramètres climatiques (température, précipitation,...), durant une période bien défini, permettant ainsi d'estimer les différentes composantes du bilan hydrique qui influent d'une façon direct et à long terme sur le bilan des nappes.

Le présent travail, va nous permettre, d'estimer les termes du bilan hydrique de la zone d'étude, ce qui nous permettra de tirer les conclusions adéquates quand à la ressource en eau dans la région d'étude.

2. Les domaines bioclimatiques.

La combinaison des données climatiques fondamentales (température et précipitations) permet de définir des domaines bioclimatiques. La figure 5, indique les différentes zones bioclimatiques.

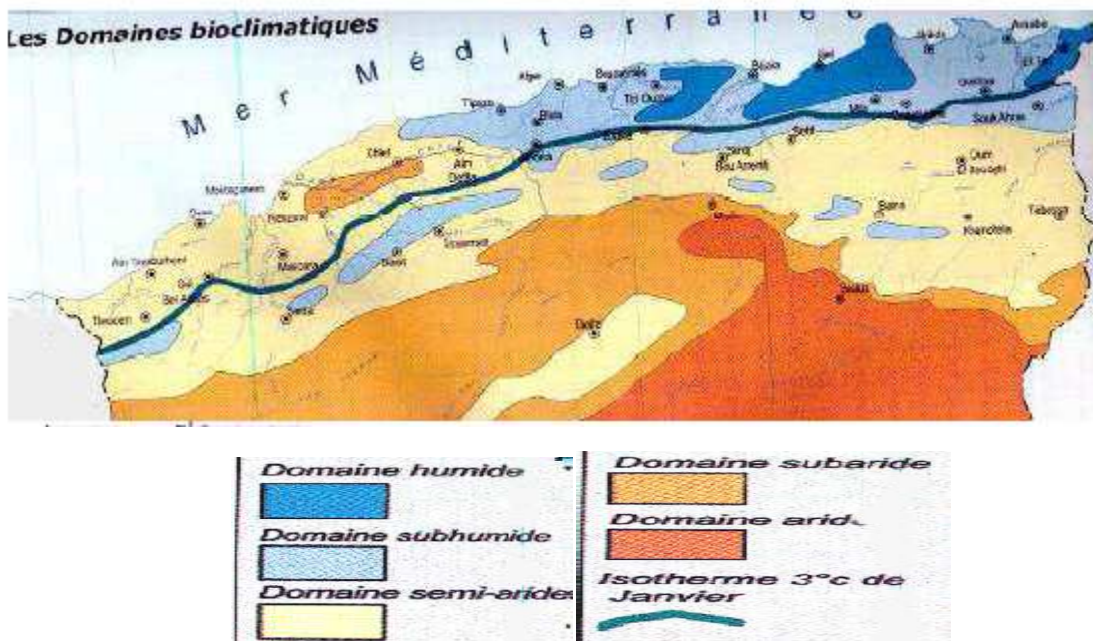


Figure.05. Les principaux domaines bioclimatiques de l'Algérie du Nord [selon l'indice annuel de Moral, période (1976-2005).].

Cette région reçoit, en général, plus de 600 mm de précipitations, le nombre de mois secs ne dépasse pas 3 à 4 mois. Ce domaine comprend toute la zone côtière (surtout celle de l'Est) ainsi que l'ensemble montagneux de l'Algérie septentrionale.

L'Algérie du Nord a été subdivisée, du nord au sud, en 4 ensembles topographiques, chacun représentant une unité géographique bien définie. La subdivision s'est faite sur la base de :

- Critères topographiques; les stations d'un ensemble offrent le même profil topographique.
- Critères climatiques; les stations d'un groupe appartiennent toutes à la même trame climatique.

- Critères statistiques; les coefficients de corrélations entre les paramètres des différentes stations devant être élevés et le test de conformité de ces derniers, doit, impérativement, être significatif.

Cette subdivision nous a permis d'obtenir, du nord au sud, les ensembles du tableau suivant :

Tableau.01. Caractéristiques générales des principaux ensembles topographiques Est- algérien.

Domaine	Ensemble	Précipitation	Stations représentatives
Humide et sub-humide	Plaines cotières et le versant nord de l'atlas tellien	Sup. à 600mm/ans	Annaba, Skikda, Bejaia.
Semi arides	Hautes plaines et hauts plateaux intérieurs	Entre 400 et 600mm/ans	Souk Ahras, Guelma, Constantine
Arides	Hauts plateaux et l'atlas saharien	Inférieur à 400 mm/ans	Tébessa, Batna, Sétif, Bordj- B Arreridj.
Désertique	Sahara	Inférieur à 100 mm/ans	Biskra

3. Les principaux indices climatiques :

Les indices climatiques aux quels nous avons eu recours dans notre étude, traitent, pour la plus part, de la pluviométrie (Angot et Moral), de l'aridité (De Martonne) et de la sécheresse (Mutin). D'autres indices se basent sur des représentations graphiques pour caractériser les différents climats ainsi que les différentes régions climatiques (diagrammes ombrothermiques de Gausson et le quotient pluviothermique d'Emberger).

3.1. L'indice pluviométrique annuel (Moral).

L'indice pluviométrique de Moral (IM), utilise la hauteur annuelle des précipitations.

Proposé par Moral en 1964, cet indice est bien adapté pour la classification des climats dans la zone intertropicale. Il se calcule, selon la formule suivante :

$$I_M (= P / (T^2 - 10T + 200))$$

où

P : les hauteurs annuelles des précipitations en mm

T : les températures moyennes annuelles en °C

Le climat est considéré comme :

- Sec, lorsque $IM < 1$
- Humide, lorsque $IM > 1$.

Moral a aussi proposé un indice pour la classification des mois secs et des mois humides au cours d'une même année. Cette classification s'appuie sur la formule:

$$I_m = (P' / [(T^2 / 10) - T + 20])$$

où

P' : précipitations mensuelles en mm

T : température moyenne mensuelle en °C.

Les résultats donnent la classification suivante :

- mois pluvieux : $P > t^2/10 + t + 30$
- mois humide : $t^2/10 + t + 30 > P > t^2/10 - t + 20$
- mois sec : $t^2/10 - t + 20 > P > t^2/20 - t + 10$
- mois aride : $t^2/20 - t + 10 > P$

Tableau.02. Classification mensuelle de Moral.

		Jan	Fév.	Mar	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aou t	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Les Salines	Indice	7,05	9,32	2,65	4,38	0,27	0,04	0,02	0,12	0,60	0,37	1,90	8,67
	Catégorie	P	P	P	P	S	A	A	A	S	S	H	P
Pt Bouchet	Indice	6,78	8,25	2,24	5,06	0,21	0,08	0,02	0,24	0,35	0,37	1,90	7,45
	Catégorie	P	P	P	P	S	A	A	A	S	S	H	P
Berrahal	Indice	8,13	10,95	1,49	5,22	0,34	0,04	0,02	0,28	0,50	0,98	2,07	7,27
	Catégorie	P	P	H	P	S	A	A	A	S	S	H	P
El kerma	Indice	6,06	8,53	1,81	4,47	0,11	0,08	0,04	0,19	0,32	0,23	0,71	1,53
	Catégorie	P	P	H	P	S	A	A	A	S	S	H	H
Ain Berda	Indice	5,35	8,07	2,05	4,50	0,33	0,06	0,12	0,54	0,35	0,17	1,33	6,42
	Catégorie	P	P	P	P	S	A	A	A	S	A	H	P

P=Pluvieux H= Humide S= Sec A= Aride

Comme défini précédemment, cet indice permet de caractériser le climat des mois sec et des mois humides. Les résultats de l'année 2005 sont repris dans le tableau ci-dessus.

3.2. L'indice d'aridité de De Martonne.

* Notion d'aridité.

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une faiblesse des précipitations annuelles et un fort déficit de celles-ci par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Etant un concept climatique à référence spatiale, l'aridité est différente de la sécheresse, qui est un concept météorologique à référence temporelle. Donc, une région peut être qualifiée d'aride et non une période.

L'indice d'aridité de De Martonne a été tiré à partir de la modification du facteur de pluie de Lang en 1923. Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température, selon l'équation suivante :

$$I_{DM} = (P / (T + 10))$$

où

P : les hauteurs annuelles des précipitations en mm

T : les températures moyennes annuelles en °C.

10 : constante, utilisée pour éviter les valeurs négatives lorsque la température moyenne de l'air est inférieure à 0°C.

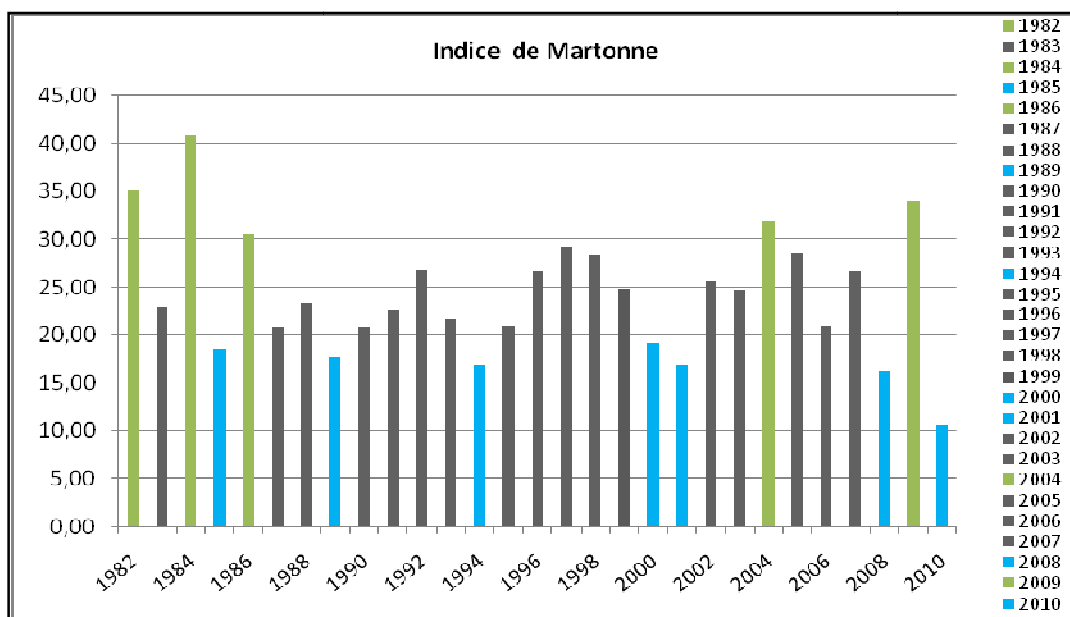


Figure.06. Evolution du climat selon l'indice de Martonne pour la période (1982-2010), (In N. Bougherira, 2015).

Cet indice fait ressortir les variations du climat entre les différentes années. Pour Annaba, la tendance générale est au sub-humide, entrecoupé par des années semi-arides. La période 1982-2010 est caractérisée par des années de climat humide avec une fréquence aléatoire.

Tableau.03. Classification des climats selon l'indice de De Martonne.

Indice DE Martonne	Type de Climat	Année
$10 < IDM < 20$	semi-aride	1985 -1989-1994- 2000- 2001- 2008-2010
$20 < IDM < 30$	semi-humide	Reste de toute la période
$30 < IDM < 55$	Humide	1982-1984-1986-2004-2009

3.3. Le quotient pluviométrique d'Emberger.

C'est en 1939 qu'EMBERGER préconise, pour l'étude du climat méditerranéen, l'emploi du climagramme de même nom. Ce climagramme est une tentative de synthèse climatique.

Dans un plan, défini par deux axes de coordonnées rectangulaires, sont portées les stations pour lesquelles on possède des données météorologiques. Le climat de ces stations est alors défini par deux valeurs :

- La première portée sur l'axe des ordonnées : le quotient pluviométrique Q2. Il s'obtient par la formule suivante :

$$Q2 = P \times 100 / 2(M+m) / 2 * (M-m)$$

Où

P : précipitations annuelles en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré °C.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré °C.

- Sur l'axe des abscisses, est portée la valeur de m prise isolément.

En 1955, EMBERGER préconise un quotient pluviométrique modifié qui s'écrit :

$$Q2 = 1000 P / M + m / 2 * (M - m)$$

où :

M et m s'expriment en degrés Kelvin.

Ce climagramme a été, ensuite, amélioré par SAUVAGE en 1963 pour la région méditerranéenne, puis par STEWART (1969), formule la plus adaptée pour l'Algérie :

$$Q2 = 3,43 P / M - m$$

où :

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

M : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

Ce climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche que le quotient est petit [S. Dekhinat, 2005].

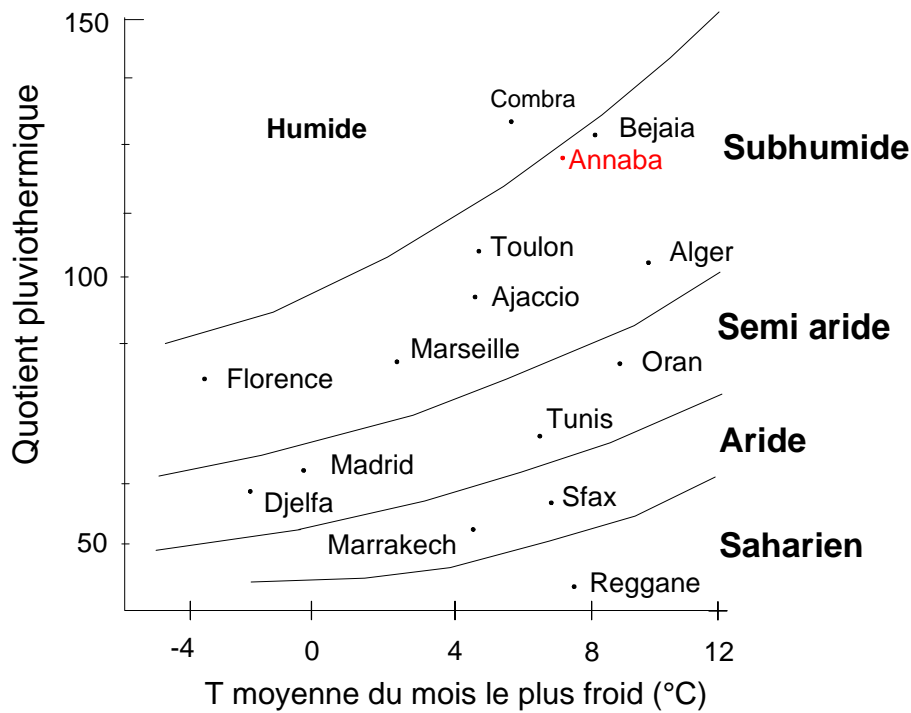


Figure.07. Exemples de climats méditerranéens selon le coefficient d’Emberger [Gyot G ; 1999].

Le quotient pluviométrique définit des types de climats, auxquels sont associés des groupes végétaux de même aptitude écologique : ce sont les domaines ou régions bioclimatiques. Emberger distingue 5 domaines :

- Humide, subhumide, Semi-aride, aride et Désertique
- Avec des hivers : froids, frais, doux et chauds.

4. Le régime annuel .

Le coefficient pluviométrique annuel H est un paramètre très important pour la détermination des années excédentaires et des années déficitaires. Il est déterminé par la formule suivante :

$$H = P_i/P$$

Avec :

- P_i : pluviométrie annuelle d’une année donnée en mm.
- P : pluviométrie annuelle d’une période donnée en mm.

Si $H > 1$: l’année correspondante est excédentaire.

Si $H < 1$: l’année correspondante est déficitaire.

Les valeurs du coefficient pluviométrique sont présentées dans les tableaux suivants :

Tableau.04. Estimation des coefficient pluviométrique (1981-2010, In Bougherira, 2015).

Année	Pi		H	
	Les Salines	Pt Bouchet	Salines	Pt Bouchet
1981-82	760,4	665,4	1,11	1,08
82-83	678,1	858,3	0,99	0,85
83-84	937,8	843,4	1,37	1,33
84-85	927	659,33	1,36	1,46
85-86	543	604,7	0,79	0,70
86-87	909,3	677,6	1,33	1,19
87-88	491	372,4	0,72	0,59
88-89	557	487,8	0,81	0,79
89-90	535	489,5	0,78	0,79
90-91	689,3	672,4	1,01	1,06
91-92	684,6	655,1	1,00	1,01
92-93	644,1	665,4	0,94	1,02
93-94	519,7	488,6	0,76	0,79
94-95	548,3	531,8	0,80	0,86
95-96	807	727,5	1,18	1,18
96-97	422,8	382,7	0,62	0,63
97-98	941	775,1	1,38	1,21
98-99	841	700,4	1,23	1,11
99-00	559,6	470,5	0,82	0,76
00-01	550,7	518,9	0,81	0,84
01-02	460,3	408,5	0,67	0,67
02-03	842,1	937,2	1,23	1,51
03-04	708	648,1	1,04	0,93
04-05	987,7	940,3	1,44	1,24
05-06	612,5	536,5	0,90	0,85
06-07	647,9	651,8	0,95	1,05
07-08	543,8	587,0	0,79	0,95
08-09	862	870,1	1,26	1,41
09-2010	626	707,6	0,92	1,14

5. Étude de la pluviométrie annuelle.

La carte des précipitations médianes du Nord Algérien pour la période (1965-95) établit par l'A.N.R.H montre que les précipitations sur notre région d'étude oscillent entre 600 et 700 mm dans la plaine d'Annaba. Par ailleurs, elles atteignent 800 mm au secteur Nord- Ouest, lame d'eau accueillie au niveau des reliefs.

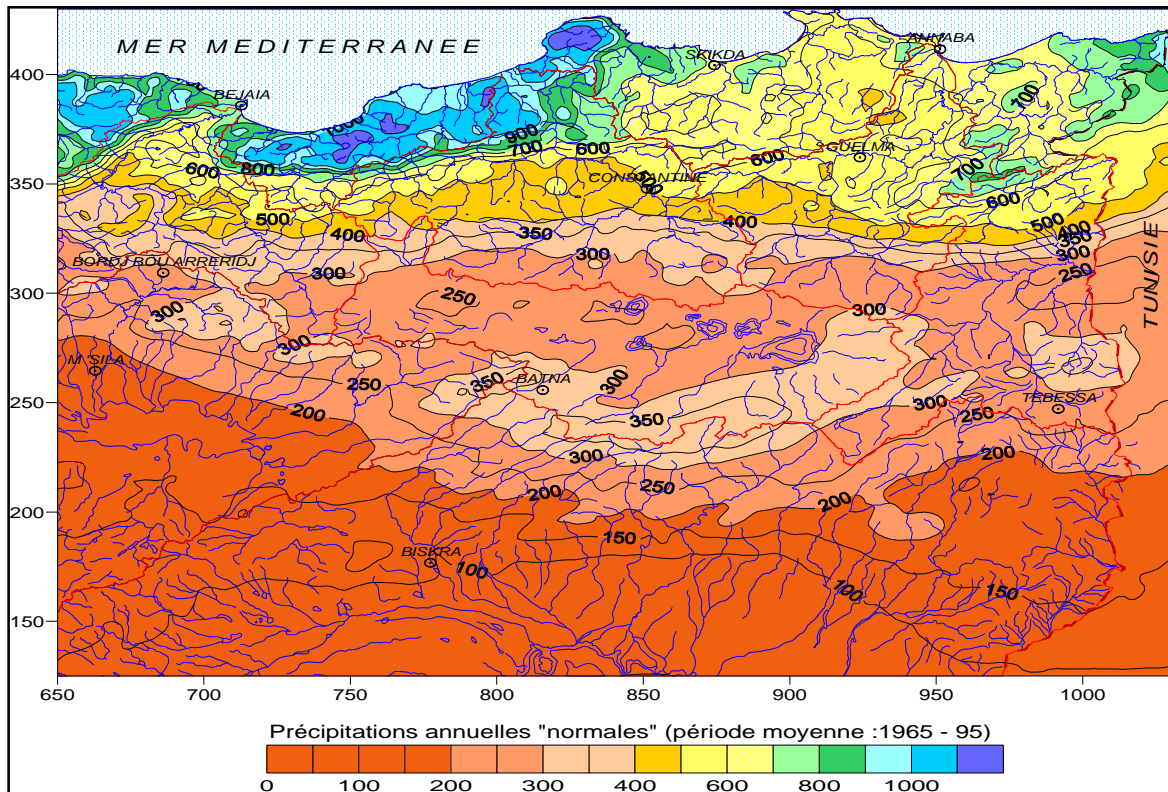


Figure.08. Précipitations annuelles médianes « normales »
(1965-95) (d'après étude ANRH-GTZ ,2003).

in Azzedine MEBARKI et Jean-Pierre LABORDE
RESSOURCES HYDROLOGIQUES ET STRATEGIE
D'AMENAGEMENT ET DE PROTECTION DES EAUX :
CAS DE L'ALGERIE ORIENTALE

5.1. Les stations météorologiques utilisées.

Cette étude est basée essentiellement sur les données de précipitations et de températures, recueillies au niveau des stations d'Annaba (les salines) et de Pont Bouchet (ANRH). Pour réaliser notre travail, nous avons pris en considération les données mesurées au cours des vingt dernières années, c'est-à-dire de 1980/1981 à 2013/2014.

Le tableau 5, donne quelques indications sur les stations de mesures (coordonnées Lambert, périodes d'observations...).

Tableau.05. Les coordonnées géographiques des stations pluviométriques.

Station	Coordonnée					
	Code	X (km)	Y (km)	Z (m)	Longitude	Latitude
Les Salines	60360	955,80	403,8	3	07°49'E	36°50'N
Pont Bouchet	/	950,25	402,8	6	07°45'E	36°58'N

5.2. Le climat.

Pour déterminer le type de climat, nous avons, réalisé pour chaque station un diagramme ombrothermique.

L'observation de ces deux diagrammes, montre que la période sèche s'étale depuis le début de Mai jusqu'à mi-septembre pour la station des Salines, et aussi pour la station du Pont Bouchet (Fig. 9 & 10). La période humide couvre le reste de l'année et est plus longue que la période

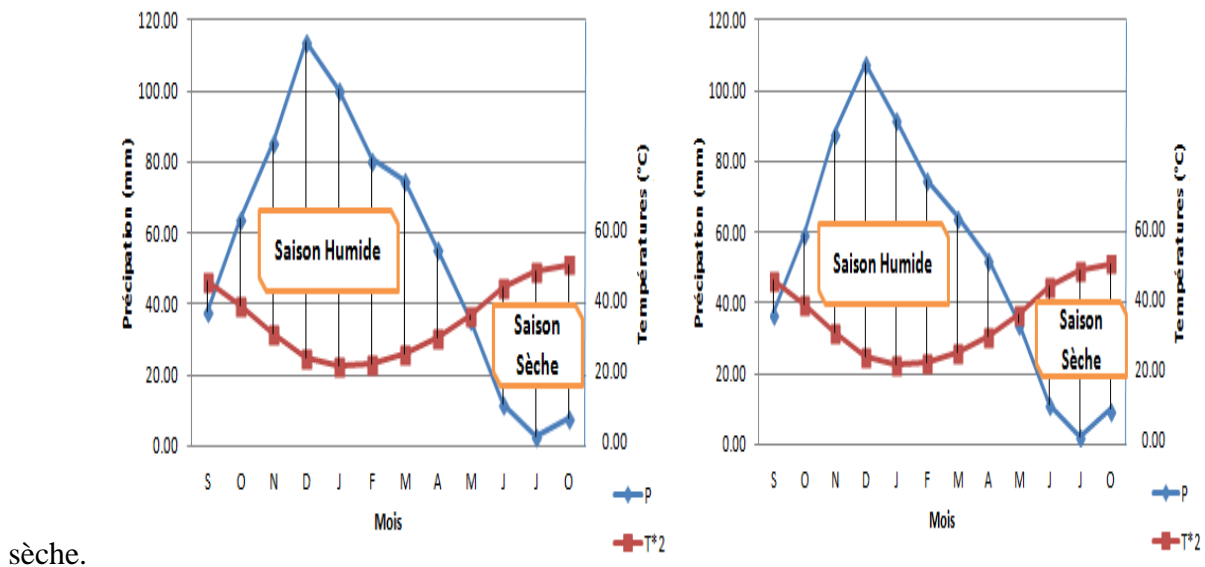


Figure.09,10. Diagramme Ombrothermique (2 Annaba), (3 Pont Bouchet) (Période 1980-2014).

On déduit donc, que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux périodes :

- L'une froide et humide: allant du Septembre à Mai;

- L'autre sèche et chaude: durant les mois de Juin, Juillet et Août.

5.3. Aperçu sur les variations des paramètres climatiques.

5.3.1. Les précipitations.

Pour cerner les caractéristiques climatiques, une analyse détaillée des précipitations est nécessaire car donnant un aperçu sur la répartition spatio-temporelle des quantités enregistrées au niveau de chaque station. Le tableau 6, donne un aperçu sur la répartition spatio-temporelle des précipitations enregistrées au niveau des stations considérées.

Tableau.06. Répartition des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières aux stations des Saline et Pont Bouchet (1980-2014).

Mois	<i>Automne</i>			<i>Hiver</i>			<i>Printemps</i>			<i>Eté</i>			T Moy
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Les Salines (1980-2014)													
P(mm)	37.7 5	63.9 2	85.5 4	113.7 6	100.3 6	80.8 4	74.9 4	55.4 2	35.7 7	11.9 1	2.5 6	7.8 6	670.6 3
Total	187.21			294.96			166.12			22.34			
Pont Bouchet (1980-2014)													
P(mm)	37.1 3	59.7 2	88.1 2	107.6 3	91.81	74.8 5	64.4 1	52.5 6	34.2 4	11.3 7	2.4 5	9.9 3	634.2 3
Total	184.97			274.29			151.21			23.76			

L'observation du précédent tableau, montre que les mois de novembre, décembre, janvier et février, restent les mois les plus pluvieux. Cependant, nous remarquons, que le mois de décembre demeure le plus pluvieux pour les deux stations. A l'opposé le mois de juillet est le moins arrosé.

5.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelle et saisonnière.

Moyennes mensuelles des deux stations pour la période (1980-2014) sont traduites dans l'histogramme (Fig 11).

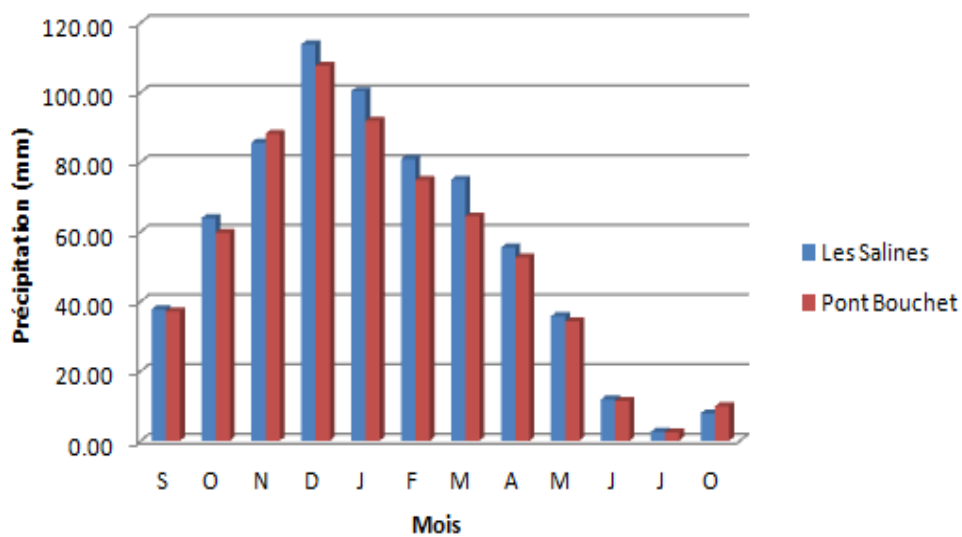


Figure.11. Variation des précipitations moyenne mensuelle (1980-2014).

L'observation des précédentes figures montre la même répartition des précipitations. Les quelques décalages observés seraient liés soit à l'éloignement par rapport à la mer de la station du Pont Bouchet soit au mode de lecture. En effet au niveau de la première station les lectures sont automatisées par contre au niveau de la seconde les lectures se font par le personnel de l'ANRH. Il faut rajouter la station de l'université.

5.3.1.2. Répartition saisonnière des précipitations :

L'observation de l'histogramme suivant (fig.12), montre que la saison hivernale avec 294.96 mm et 274.29 mm (soit indiquez le %), par contre la saison estivale reste la moins pluvieuse avec 22.34 mm pour la station de Pont Bouchet et 23.76 mm pour la station des Salines.

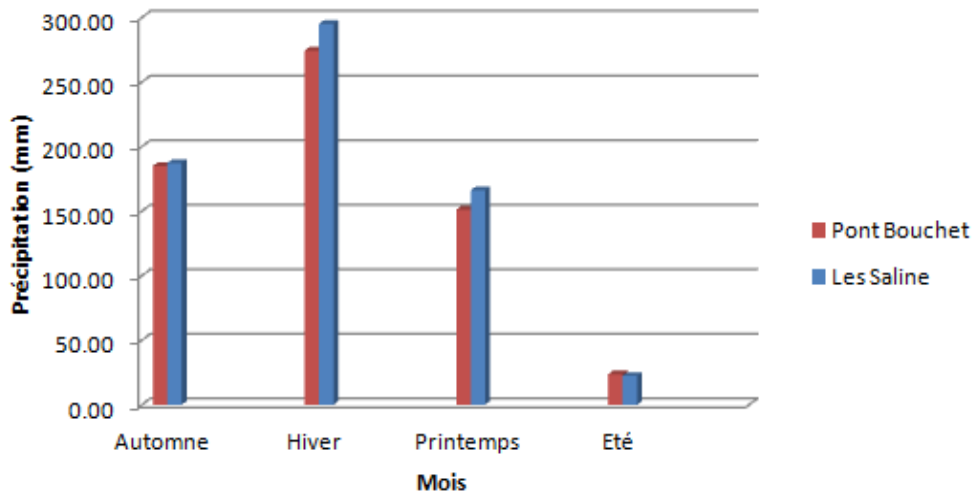


Figure.12. Variation des précipitations saisonnières (1980-2014).

5.3.1.3. Distribution inter mensuelle des précipitations.

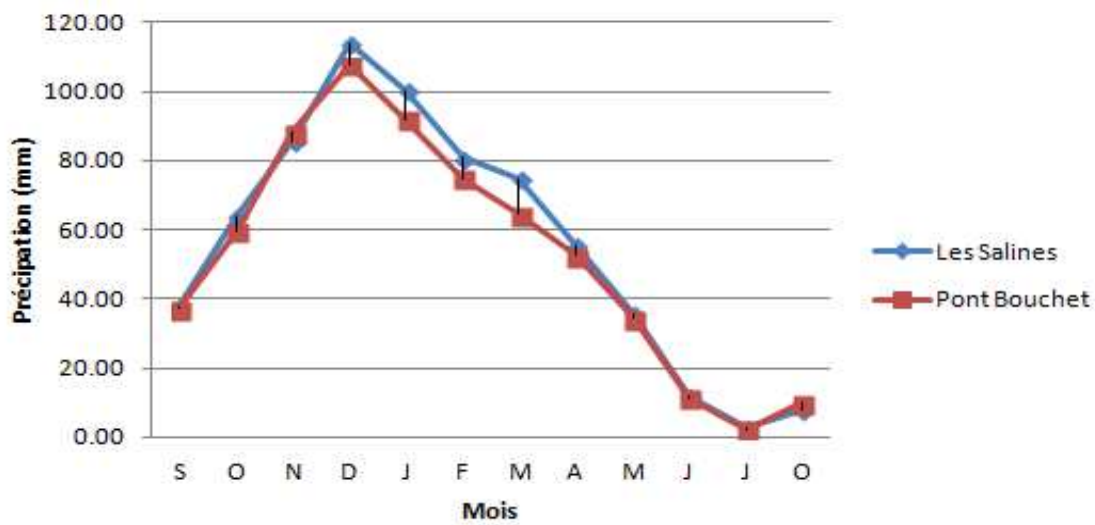


Figure.13. Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles.

5.3.2. Régime thermique.

La température est le second facteur influençant les termes du bilan hydrique et la disponibilité de la ressource, de ce fait son étude demeure très importante.

L'analyse des données de la température est basée sur les données mesurées au niveau de la station des Salines de la période allant de 1980 à 2014.

5.3.2.1. Températures moyennes mensuelles.

Tableau .07. Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières (station des Salines 1980-2014).

	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Moy
Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
T°C	23.35	19.87	15.75	12.37	11.28	11.45	13.01	15.27	18.29	22.29	24.55	25.62	17.76
T°C	19.65			11.70			15.53			24.15			

Le précédent tableau montre, des valeurs de températures oscillant entre 11.28 °C (décembre) et 26.62°C (Aout). Par ailleurs la saison hivernale est la plus froide avec une moyenne de 11.70°C par contre la saison estivale reste la plus chaude avec une température moyenne de 24.15°C.

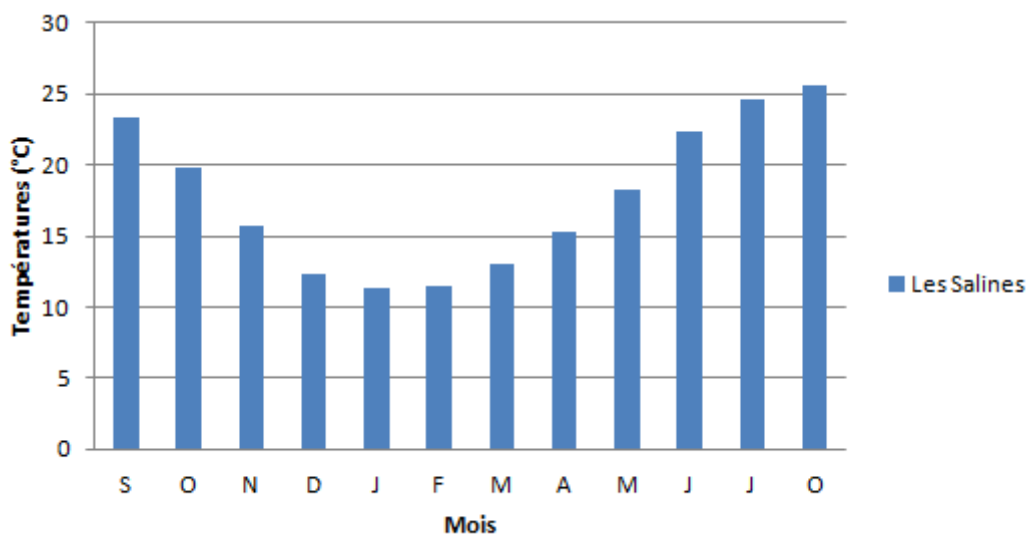


Figure.14. Variations des températures moyennes mensuelles (station des Salines (1980-2014)).

L'observation de la figure 13, montre une baisse des températures durant l'hiver par on note un accroissement progressif à partir du mois d'avril et le maximum est atteint au mois d'Aout.

6. Calcul des caractéristiques climatiques de la zone d'étude.

6.1. L'indice d'aridité de De.martonne.

Cet indice permet de classer le climat de la zone en fonction de son indice d'aridité. Il est défini par

L'indice d'aridité de Décartonne (Tableau n° 8). Il est défini par la relation suivante :

$$I = P/T + 10$$

Avec :

- P : précipitation annuelle moyenne (mm)

- T : température annuelle moyenne (°C)

Pour :

20 < I < 30 : climat tempéré

10 < I < 20 : climat semi-aride

7,5 < I < 10 : climat steppique

5 < I < 7,5 : climat désertique

I < 5 : climat hyperaride

Les résultats obtenus après calcul sont reportés dans le tableau suivant .

Tableau.08. Résultats de l'indice d'aridité de DE.MARTONNE des Stations des Salines et Pont Bouchet.

	<i>P (mm)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>I</i>	<i>Observation</i>
Les Salines	670.63	17.76	24.16	Climat Tempéré
Pont Bouchet	634.22	17.76	22.85	

6.2 Bilan hydrique.

L'étude du bilan hydrique d'une région permet d'évaluer la répartition des précipitations reçues sur une surface entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évaporation). Il est calculé par la méthode de THORNTHWAITE, cette dernière tient compte de la température, la pluie, l'ETP et la RFU, selon la formule suivante :

$$P = ETR + I + R$$

- Avec :
- P : Précipitation moyenne annuelle en (mm) ;
 - ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle en (mm) ;
 - I : Infiltration moyenne annuelle (mm) ;
 - R : Ruissellement moyen annuel.

6.2.1. L'estimation de l'ETP par la méthode de THORNTHWAIT.

➤ **L'évapotranspiration potentielle (ETP).**

Elle est estimée par la formule de « THORNTHWAITE » utilisable pour les climats sub-humides et semi-arides, selon la formule suivante :

$$ETP (mm) = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a * K$$

$$I = \sum i$$

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.5}$$

$$a = \left(\frac{1.6}{100} \right) * I + 0.5$$

Avec :

t : Température moyenne annuelle ° C.

i : Indice thermique mensuel.

I : Somme des indices mensuels.

ETP : Évapotranspiration potentiel mensuelle en mm.

K : terme correctif dépend de la durée d'insolation.

L'évapotranspiration réelle:

On utilise la méthode de C.W. Thornthwaite, où on distingue deux principaux cas :

* 1er cas : Si : $P - ETP > 0$; c.à.d. $P > ETP$, dans ce cas $ETR = ETP$, donc il y a une reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation, le surplus va représenter l'écoulement superficiel.

* 2ème cas : Si : $P - ETP < 0$; c.à.d. $P < ETP$, ce cas est caractérisé par les deux cas suivants :

- Si : $P + RFU > ETP$ $ETR = ETP$
- Si : $P + RFU < ETP$ $ETR = P + RFU$.

Tableau .09. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,Station Les Salines (1980-2014).

Période	Tp (°C)	IT	CL	ETPC (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	Def (mm)	Exc (mm)
S	23.35	10.3	1.03	108.4	37.75	-70.6	-0.7	0.0	0.0	37.8	70.6	0.0
O	19.87	8.1	0.97	75.7	63.92	-11.8	-0.2	0.0	0.0	63.9	11.8	0.0
N	15.75	5.7	0.86	43.7	85.54	41.9	1.0	41.9	41.9	43.7	0.0	0.0
D	12.37	3.9	0.81	26.3	113.76	87.4	3.3	58.1	100.0	26.3	0.0	29.3
J	11.28	3.4	0.87	23.8	100.36	76.5	3.2	0.0	100.0	23.8	0.0	76.5
F	11.45	3.5	0.85	23.9	80.84	56.9	2.4	0.0	100.0	23.9	0.0	56.9
M	13.01	4.3	1.03	36.7	74.94	38.2	1.0	0.0	100.0	36.7	0.0	38.2
A	15.27	5.4	1.10	52.8	55.42	2.7	0.1	0.0	100.0	52.8	0.0	2.7
M	18.29	7.1	1.21	81.0	35.77	-45.3	-0.6	-45.3	54.7	81.0	0.0	0.0
J	22.29	9.6	1.22	117.8	11.91	-105.9	-0.9	-54.7	0.0	66.7	51.1	0.0
J	24.55	11.1	1.24	143.1	2.56	-140.6	-1.0	0.0	0.0	2.6	140.6	0.0
A	25.62	11.9	1.16	144.9	7.86	-137.0	-0.9	0.0	0.0	7.9	137.0	0.0
Année	17.8	84.3		878.1	670.6	-207.5				467.0	411.1	203.6

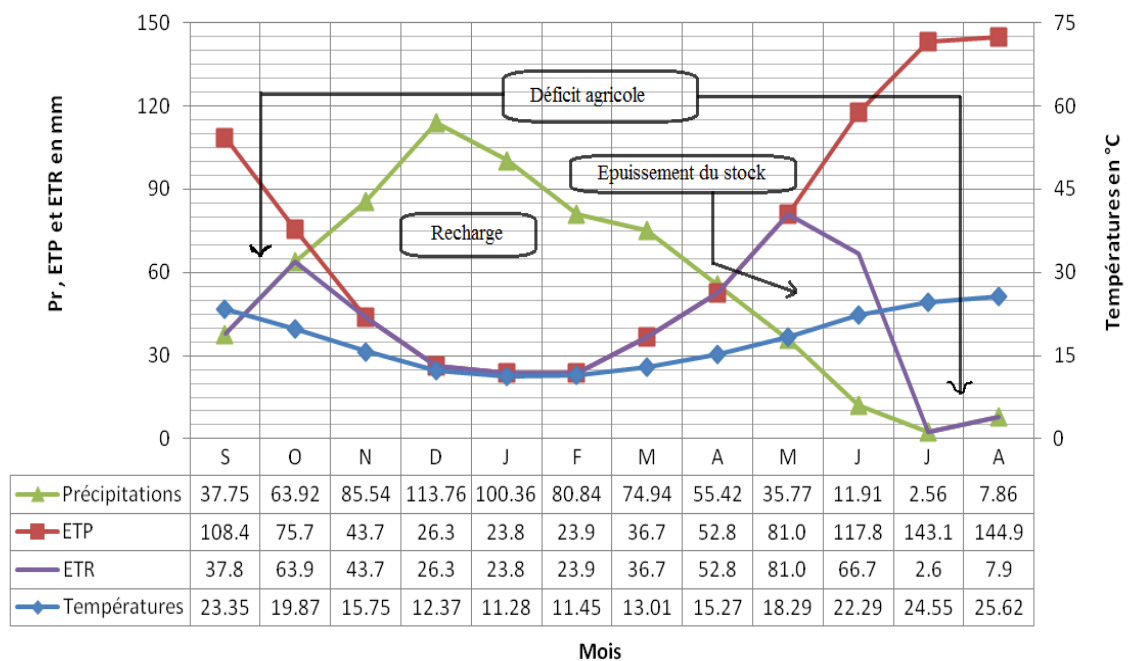


Figure.15. Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station des Salines (1980-2014).

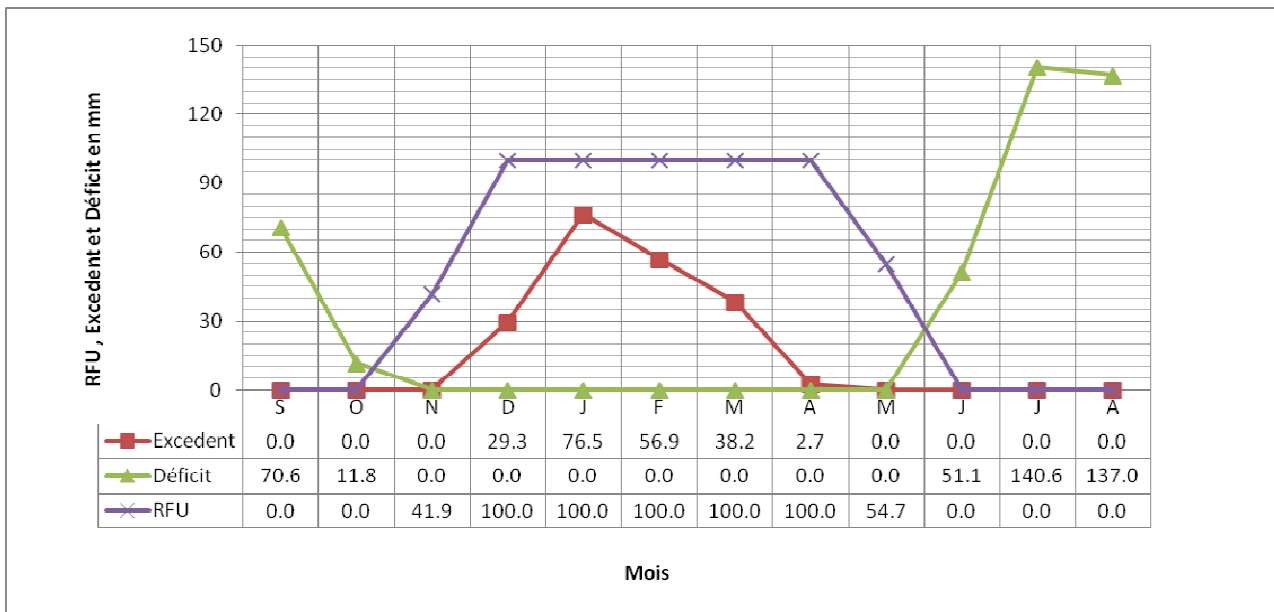


Figure.16. Représentation graphique du bilan hydrique de la station les Salines (1980-2014).

Tableau.10. Bilan hydrique selon la méthode de «THORNTHWAITE »,

Station Pont Bouchet (1980-2014)

Période	Tp (°C)	IT	CL	ETPC (mm)	Pr (mm)	BH (mm)	CH	VR (mm)	RU (mm)	ETR (mm)	Def (mm)	Exc (mm)
S	23.35	10.3	1.03	108.4	37.13	-71.2	-0.7	0.0	0.0	37.1	71.2	0.0
O	19.87	8.1	0.97	75.7	59.72	-16.0	-0.2	0.0	0.0	59.7	16.0	0.0
N	15.75	5.7	0.86	43.7	88.12	44.4	1.0	44.4	44.4	43.7	0.0	0.0
D	12.37	3.9	0.81	26.3	107.63	81.3	3.1	55.6	100.0	26.3	0.0	25.8
J	11.28	3.4	0.87	23.8	91.81	68.0	2.9	0.0	100.0	23.8	0.0	68.0
F	11.45	3.5	0.85	23.9	74.85	50.9	2.1	0.0	100.0	23.9	0.0	50.9
M	13.01	4.3	1.03	36.7	64.41	27.7	0.8	0.0	100.0	36.7	0.0	27.7
A	15.27	5.4	1.10	52.8	52.56	-0.2	0.0	-0.2	99.8	52.8	0.0	0.0
M	18.29	7.1	1.21	81.0	34.24	-46.8	-0.6	-46.8	53.0	81.0	0.0	0.0
J	22.29	9.6	1.22	117.8	11.37	-106.4	-0.9	-53.0	0.0	64.4	53.4	0.0
J	24.55	11.1	1.24	143.1	2.45	-140.7	-1.0	0.0	0.0	2.5	140.7	0.0
A	25.62	11.9	1.16	144.9	9.93	-134.9	-0.9	0.0	0.0	9.9	134.9	0.0
Année	17.8	84.3		878.1	634.2	-243.9				461.9	416.2	172.3

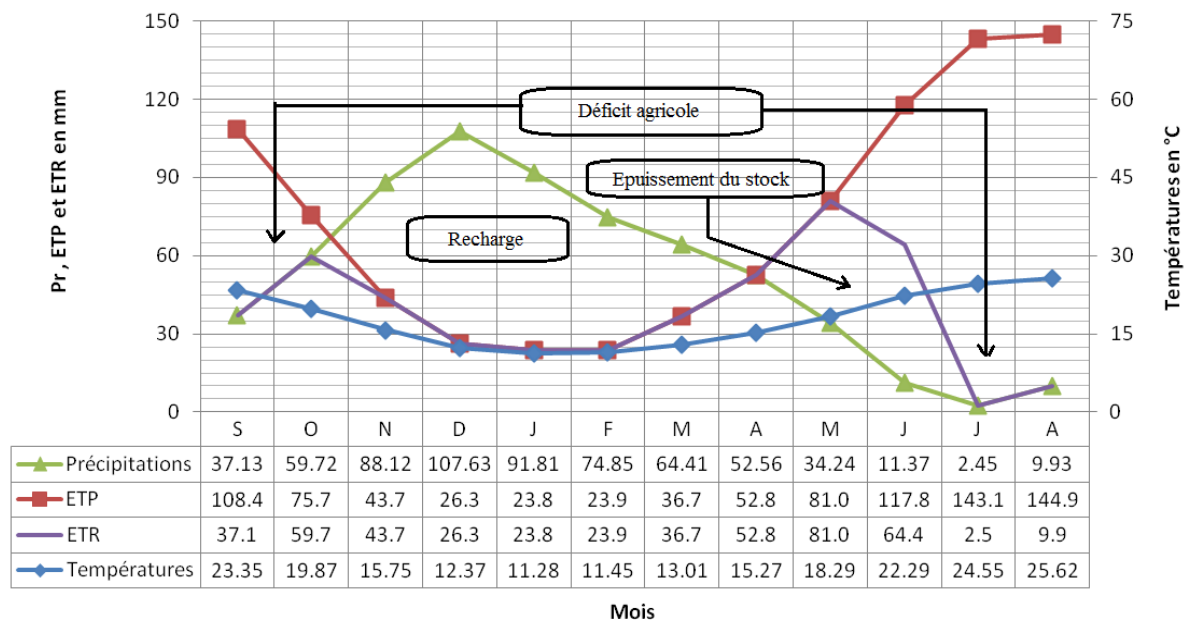


Figure.17. Moyenne pluriannuelle de éléments climatiques de la station de Pont Bouchet (période 1980-2014) .

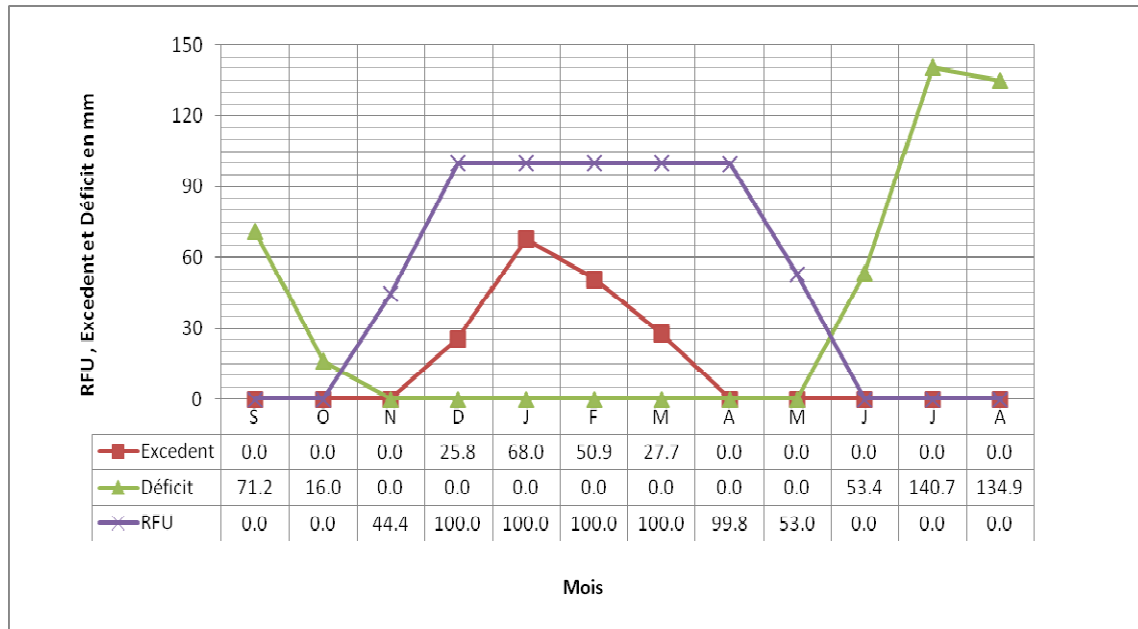


Figure.18. Représentation graphique du bilan hydrique de la station de Pont Bouchet (Période 1980-2014)

➤ **Interprétation du bilan d'eau de thornthwaite.**

Sur une période de 34 ans (1980 – 2014), Les résultats du bilan hydrique des deux stations illustrés dans les tableaux et les graphismes précédents, permettent les observations suivantes :

- La zone d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de :
 - 670.6 mm pour les Salines;
 - 634.2 mm pour Pont Bouchet.
- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17,8°C observé au niveau de la station des Salines.

- L'évapotranspiration potentielle (ETP): atteint le maximum au mois de Aout (144.9mm) et le minimum au mois de Janvier (23.8 mm), alors que le total est de l'ordre de 878.1 mm pour les deux stations.
- L'évapotranspiration réelle (ETR): le total est de l'ordre de 461.9 mm pour la station de Pont Bouchet, alors qu'il est de 467 mm pour celle des Salines.
- La reconstitution de la réserve facilement utilisable (RFU) s'effectue au mois de Novembre et atteint son maximum (100 mm) au mois de Décembre jusqu'au mois d'Avril à partir duquel, il y a un surplus d'eau accompagné par un ruissellement et quand elle a tendance à diminuer et au point qu'il sera carrément vide au mois de Juin, il y aura un épuisement du stock et par conséquent un déficit agricole s'étalant jusqu'au mois d'Octobre pour les deux stations, d'où une moyenne annuelle de 416.2 mm pour la station de Pont Bouchet et 411.1 mm pour la station des Salines.
- L'excédent annuel est de l'ordre de 172.3 mm à la station de Pont Bouchet et 203.6 mm à la station des Salines.

6.2.2. L'estimation de l'ETP par la méthode de TURC.

Cette méthode est applicable à tous les climats du globe comme elle est la plus fiable pour notre région, elle fait intervenir les précipitations et les températures moyennes annuelles.

Où :

$$E_{TR} = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

ETR : évapotranspiration réelle ;

P : précipitations moyennes annuelles ;

$$L = 300 + 25 T + 0,05 T^3$$

T : températures moyennes annuelles.

Application Numérique :

1- Pour Les Salines :

$$P = 670.6 \text{ mm}$$

$$L = 1026.99$$

$$T = 17.8 \text{ °C} \quad \text{D'où : } ETR = 582.28 \text{ mm.}$$

2- Pour Pont Bouchet :

$$P = 634.2 \text{ mm}$$

$$L = 1026.99$$

T = 17.8 °C

D'où : **ETR = 560.26 mm.**

Le tableau n°11 récapitule tous les résultats concernant l'évaluation de l'ETR en (mm) par les différentes méthodes ainsi que la valeur de l'ETP en (mm) pour les 02 stations (Période 1980-2014).

Tableau.11. Récapitulatif des ETR et de l'ETP concernant les stations Les Salines et Pont Bouchet (1980-2014).

Paramètres	Méthodes	Station	Valeurs en (mm)	Valeurs en (%)
ETP (mm)	<i>Thornthwaite</i>	Les Salines	878.1	130.94
		Pont Bouchet	878.1	138.46
ETR (mm)	<i>Thornthwaite</i>	Les Salines	467	69.64
		Pont Bouchet	461.9	72.83
	<i>Turc</i>	Les Salines	582.28	86.83
		Pont Bouchet	560.26	88.34

6.2.3. Calcul du ruissellement.

Pour déterminer le ruissellement superficiel, on utilise la formule empirique de Tixeront-Berkaloff qui est fonction de la précipitation et de l'évapotranspiration potentielle.

$$R = \frac{p^3}{3(ETP)^2} \quad \text{Si : } P > 600\text{mm} \qquad R = \frac{p^3}{3} \quad \text{Si : } P < 600\text{mm}$$

Paramètres	Station	Valeurs en (mm)	Valeurs en (%)
R	Les Salines	130.37	19.44
	Pont Bouchet	110.27	17.38

Paramètres	Station	Valeurs en (mm)	Valeurs en (%)
I	Les Salines	73.23	10.92
	Pont Bouchet	62.03	9.78

6.2.4. Calcul de l'infiltration.

A partir de l'expression générale du bilan hydrologique qui exprime l'égalité des apports et des pertes évaluées sur des grandes périodes, on peut calculer.

L'infiltration I :

$$P = ETR + R + I + W$$

Avec:

P: précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

ETR: évapotranspiration réelle annuelle en (mm) ;

R: la lame d'eau ruisselle en (mm) ;

I: désigne l'infiltration en (mm) ;

W: désigne la variation des réserves d'eau en (mm) considérée comme négligeable.

$$I = P - (ETR + R)$$

6.3.5. Discussion (R et I).

On remarque que le bassin versant ne recueille qu'une modeste quantité d'eau des apports liquides représentant 10.92% à Les Salines et 9.78% à Pont Bouchet, et l'autre partie s'évapore et ruisselle vers la mer.

Remarque.

On n'a pas tenu compte de plusieurs paramètres tels que la perméabilité ainsi que la morphologie du terrain et l'intensité de la couverture végétale pour le calcul de « I » alors cette dernière reste toujours à élucider.

7. Conclusion.

Ce chapitre a fait l'objet d'une description et d'une analyse de divers facteurs climatologiques de la région d'étude. Les mesures présentées concernant une période de 34 ans (1980 – 2014) pour les deux stations (Les Salines et Pont Bouchet).

Notons que pour la température on a pris comme valeurs ceux de la station de Salines vu le manque de données dans l'autre station étudiée.

- Les précipitations moyennes dans la région d'étude sont de l'ordre de 670.6 mm pour la station des Salines et de 634.2 mm pour la station de Pont Bouchet.
 - La variation des températures durant l'année se fait d'une manière progressive avec une moyenne de 17.8°C sur l'ensemble de la région.
 - L'ETR a une valeur de 467 mm ce qui représente 69.64% des précipitations à Les Salines, et une valeur de 461.9 mm ce qui représente 72.83% des précipitations à Pont Bouchet.
 - Le ruissellement et l'infiltration représentent l'ensemble l'excédent qui est estimé à 203.6 mm ou 27.17% des précipitations à Les Salines, et a 172.3 mm ou 30.36% a Pont Bouchet.
- Le déficit des précipitations pour satisfaire l'évapotranspiration réelle serait de 411.1 mm à Les Salines et de 416.2 mm à Pont Bouchet, réparti du mois de Juin à Octobre.

Donnant ainsi une idée sur l'irrigation nécessaire aux agricultures.

1. Introduction.

Les interactions du lac avec son environnement, ont assez mal connues car les paramètres hydrodynamiques ne sont pas souvent déterminés. Les puits implantés dans cette partie sont de faibles profondeurs et la réalisation d'essais par pompages de longues durées sont irréalisables. Cependant et dans le but de palier à cette carence, nous avons effectué une ébauche de l'hydrogéologie locale. Ce travail repose sur une synthèse des travaux effectués au niveau de cette zone.

La connaissance de l'Hydrogéologie de la région est très intéressante, car elle nous permet d'envisager les processus d'alimentation des aquifères, la détermination du sens d'écoulement et les relations existantes entre nappes-lac-oueds. Notons que cette région renferme plusieurs aquifères de faibles extensions, d'où le problème de la connaissance des limites de ces nappes.

2. Hydrogéologie de la région de Annaba.

Dans cette partie, nous allons donner un bref aperçu sur les aquifères de la wilaya de Annaba, ce qui nous permettra de visualiser les nappes présentes et de déduire les processus régissant les écoulements.

2.1. Les aquifères dénombrés.

2.1.1. La nappe des graviers.

Elle couvre l'ensemble de la zone d'étude et présente de bonnes qualités hydrauliques.

2.1.2. La nappe des cipolins.

Elle se situe dans les massifs de bordure de Belilieta et de Boukhadra (proche du massif de l'Edough). Elle est contenue dans des lentilles de cipolins, fissurés, existant au sein des gneiss et micaschistes du monoclinale métamorphique du Boukhadra. Ces calcaires sont en contact avec les alluvions de la plaine. Leur superficie est inférieure à 100ha.

2.1.3. La nappe des travertins.

Elle est mal délimitée. Elle a été localisée dans le secteur compris entre Fardaous, la butte de Daroussa, Chbaïta et la ferme Hallalal Aissa.

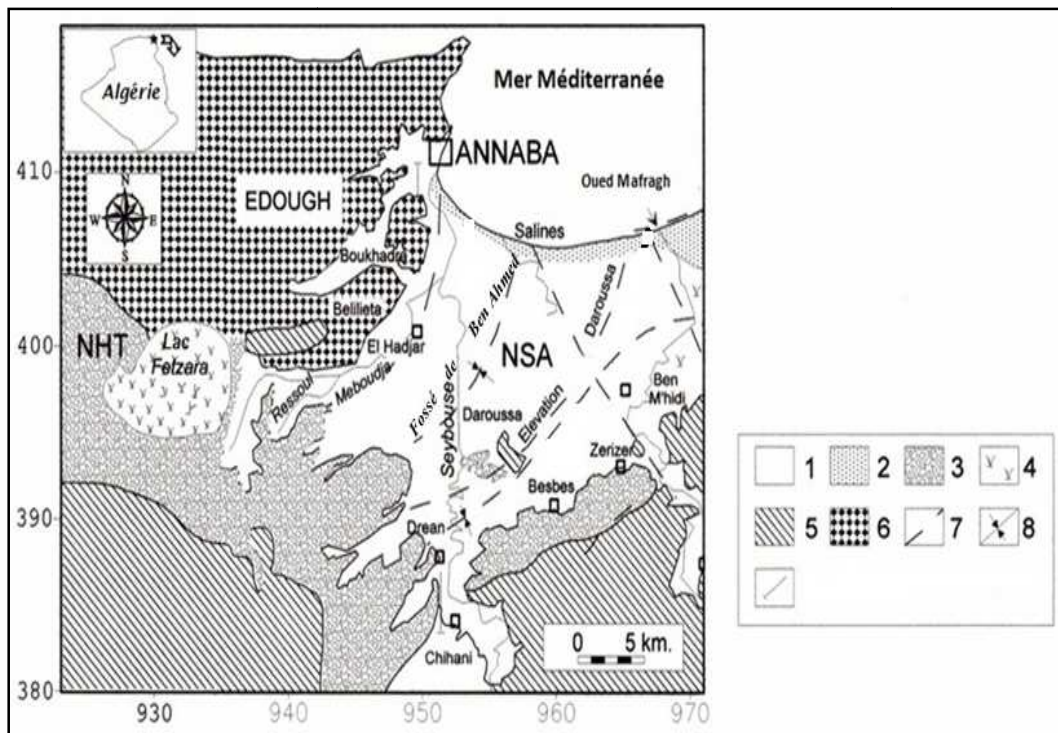


Figure 19. Répartition des aquifères de la région d'Annaba

1 : Quaternaire récent et actuel; 2: Dunes; 3: Quaternaire ancien; 4: Marécage ou lac; 5: Grès et argile numidiens ; 6: Formations métamorphiques ; 7: Faille; 8: Axe des fosses.

2.1.4. La nappe des formations superficielles, La nappe superficielle d'Annaba (NSA).

Celle-ci est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sables; des argiles grises compactes en constituent le substratum. Ces lentilles sont plus fréquentes à proximité de l'Oued Seybouse et à la périphérie des affleurements des grès numidiens. La nappe est libre, sauf en quelques points où elle est captive sous des niveaux d'argiles. L'épaisseur de la nappe libre peut atteindre 18m. Cette nappe est captée par des forages (dans sa partie profonde) et par des puits (dans sa partie libre). Ces ouvrages sont en continuelle exploitation.

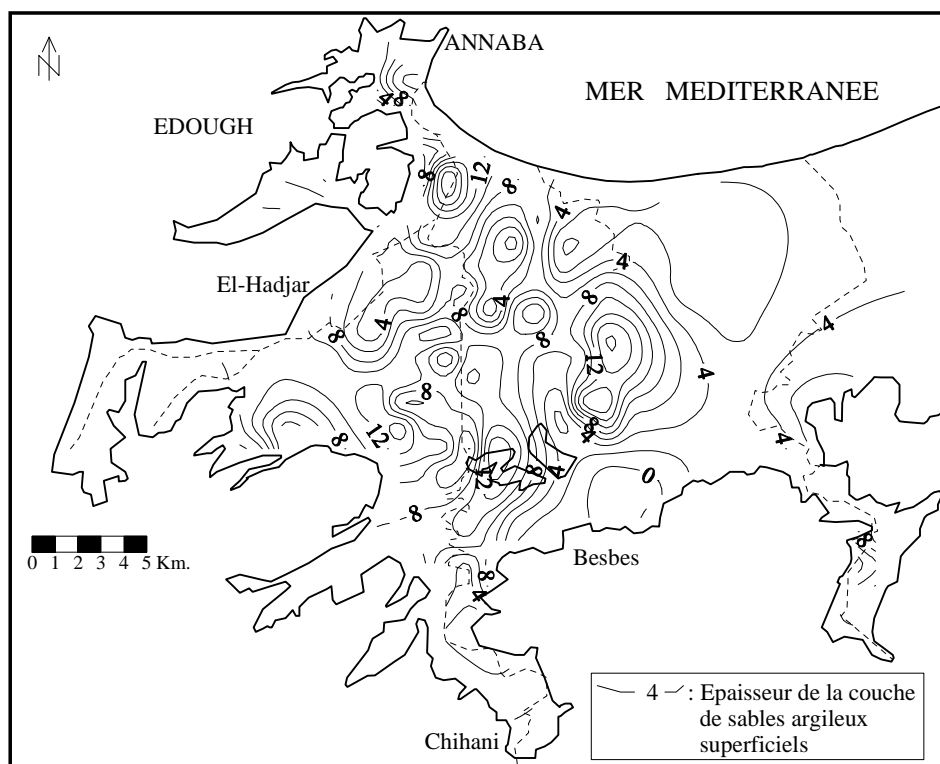


Figure20. Carte des isopaches de la nappe phréatique. (in Aoun, 2010).

2.1.5. La nappe des alluvions de la haute terrasse , La nappe d'accompagnement du Lac Fetzara (NAL).

Elle s'étend le long des massifs numidiens à l'Ouest et au Sud de Annaba. Ces alluvions graveleuses et caillouteuses à matrice argileuse recèlent des possibilités aquifères assez importantes dans la partie Ouest, avec la zone du lac Fetzara. Plus de 200 puits sont implantés dans cette partie. Cette nappe est captée par des puits servants à l'irrigation ou à l'alimentation en eau potable. Ce qui se traduit par des pompages importants.

2.2. Délimitation des aquifères.

La figure suivante donne un aperçu sur les aquifères alimentant le lac Fetzara, ainsi nous constatons un apport d'eau au lac par les nappes de la région de Berrahal. L'apport par ces nappes reste très faible par contre la qualité des eaux de ces nappes aura un impact sur la qualité des eaux du lac.

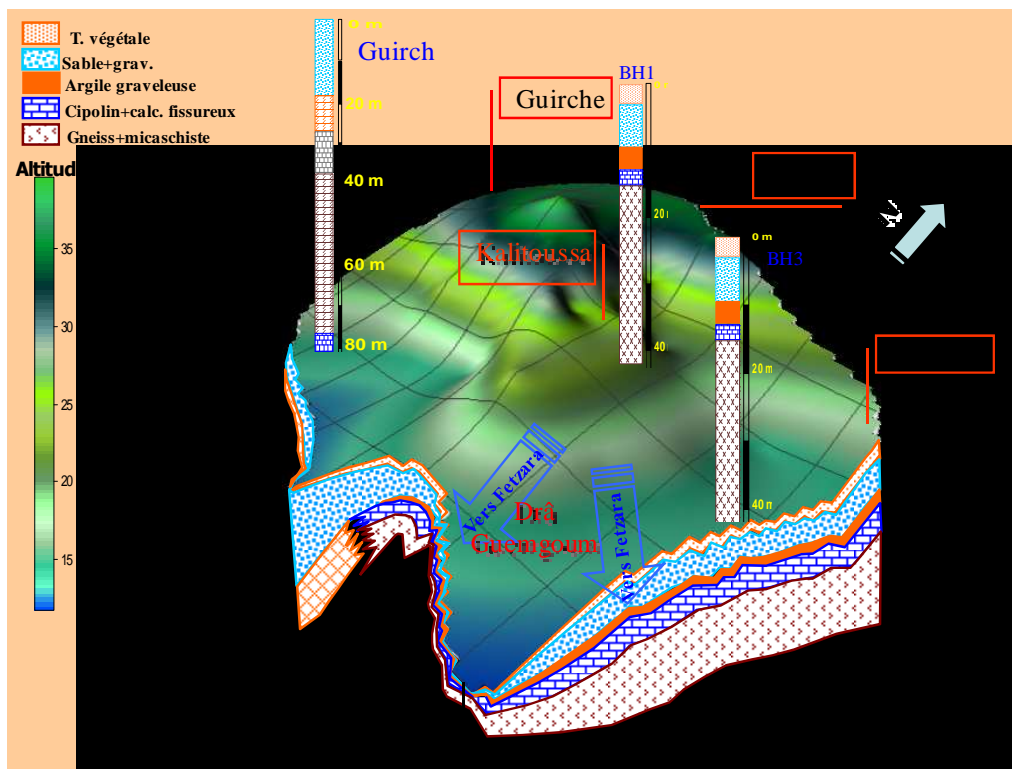


Figure.21. Les aquifères situés à l'Ouest du lac Fetzara (in Khelfaoui, 2007).

2.3. Géométrie des aquifères.

Les études géophysiques réalisées dans la région par Sonatrach (1966) et Strojexport (1975) montrent, la superposition de deux nappes. La première superficielle dans laquelle sont implantés les puits des agriculteurs et la seconde profonde captée par les forages.

La première nappe peut être considérée comme discontinue dans l'espace, elle apparaît dans différentes zones et prend différentes appellations.

La nappe profonde présente la particularité d'être captive au niveau de la zone Nord par contre vers le Sud au niveau de Drean, elle devient libre et se confond avec la nappe précédente.

Ce milieu aquifère se caractérise par une hétérogénéité des dépôts, constitué par les sables du cordon dunaire au niveau de la bordure Nord, par contre le reste de la zone est constitué par les formations alluvionnaires ou par les formations métamorphiques. L'analyse des coupes lithologiques de forage a permis d'identifier la structure profonde des principaux aquifères (latéralement et verticalement). La figure 22, donne un aperçu sur la nature de ces horizons aquifères de l'Ouest vers l'Est.

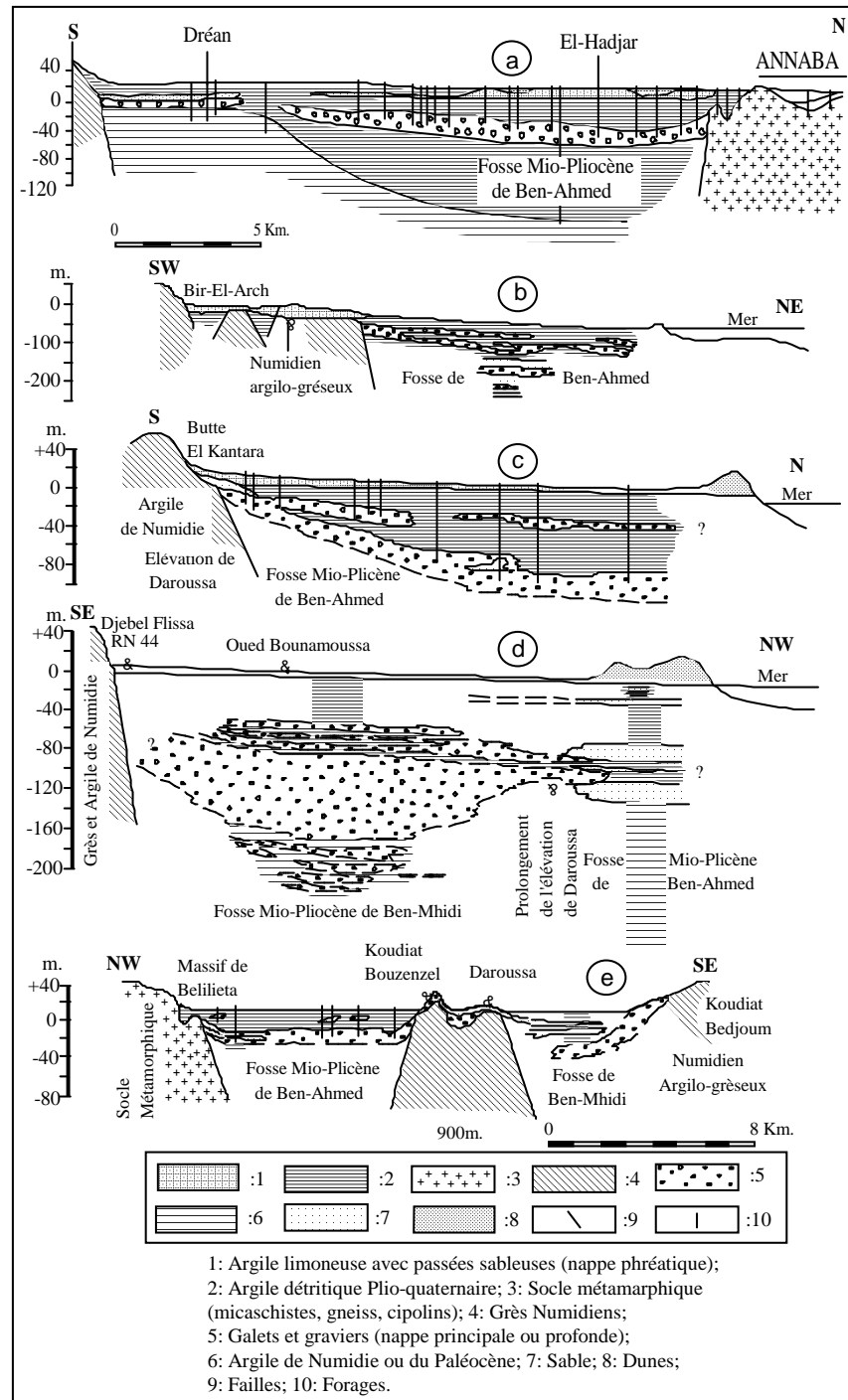


Figure 22. Coupes montrant la nature lithologique des aquifères de Annaba (zone Est)

(in Hani 2003).

2.3.1. La nappe superficielle.

Nous distinguons :

2.3.1.1. Nappe des gneiss altérés.

Elle est de faible extension, se localisant au niveau de la région Nord-Ouest, sur le flanc Est des massifs métamorphiques de Bouhamra et de Belielita. Sa faible extension est due à la nature des formations gneissiques souvent de faibles perméabilités, en effet cette dernière oscille entre 10^{-6} et 10^{-5} m/s. La nappe est alimentée par les eaux de pluie ; son épaisseur est d'environ 15 m quand elle existe.

2.3.1.2. Nappe du cordon dunaire.

La nappe du cordon dunaire s'étend entre Annaba et Oued Mafragh dont la largeur oscille entre 0.5 à 2 km. Elle est limitée :

- Au Sud par les argiles sableuses de la nappe phréatique.
- Au Nord par la mer Méditerranée.

La nappe est constituée de sables dunaires éoliens et repose sur un substratum argileux. Elle a pour intérêt d'isoler la nappe phréatique de la plaine des venues d'eau marine. Cette nappe est alimentée par l'infiltration des pluies (porosité efficace 10 %). L'épaisseur mouillée moyenne oscille entre 5 et 15 m et la perméabilité entre 10^{-4} et 10^{-3} m/s. (B.Gaud 1976).

2.3.1.3. Nappe des sables argileux et limons.

Elle est très présente au niveau de la région :

- Dans la zone ouest, cette nappe entoure le lac Fetzara et elle est discontinue.

Elle est limitée :

- Au Sud par le Tell Nord Guelmien,
- Au Nord par la retombée brutale du massif de l'Edough,
- A l'Est par les sables dunaires d 'El Ganthra (bordure du lac Fetzara),
- A l'Ouest par la plaine de Guerbes.
- Dans la partie Est, on trouve la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El Hadjar, elle s'étend jusqu'à la rive gauche de l'Oued Seybouse.

Elle apparaît comme un plan incliné régulier vers la mer. Elle fait partie de la nappe phréatique Annaba – Bouteldja. Cette dernière est limitée :

- Au Sud par les alluvions de haut niveau et les grès numidiens.
- Au Nord par les sables du cordon dunaire et le massif dunaire de Bouteldja
- A l'Est par les argiles et les grès numidiens.
- A l'Ouest par les sables dunaires d 'El Ganthra, et les formations primaires (gneiss, micaschiste).

Ces deux régions communiquent entre elles à travers la lunette sableuse, dont la texture est différente (sables). La lithologie de cette nappe est constituée par des alluvions récentes et actuelles (sables, limons, argiles) avec une texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse. L'épaisseur de l'aquifère varie généralement entre 2 et 10 m, dont les potentialités hydrauliques sont très limitées. La capacité d'infiltration de l'eau dans le sol est moyenne, de l'ordre de 0.05 à 0.10 m/j. Son alimentation se fait par les précipitations, les crues des oueds, l'apport à partir de la nappe de graviers et par les bordures latérales de la nappe des dunes.

L'Oued Seybouse assure l'alimentation de la nappe par l'intermédiaire de son lit. Ce phénomène d'infiltration est estimé à 400 hm³/an (Tlemçani et Houd, 1988).

En allant du Nord de Dréan vers la mer, entre la nappe superficielle et la nappe des graviers, se forme un horizon semi-perméable argilo-sableux qui constitue à la fois le substratum semi-perméable de la nappe superficielle et le toit de la nappe des graviers.

Les études antérieures [B. Gaud (1976) et K Nafaa (1985)] montrent que la nappe des graviers est soit partiellement alimentée par une drainance à partir de la nappe superficielle de la région qui s'étale entre El Hadjar et Allélick ; soit, elle peut alimenter verticalement la nappe superficielle qui se trouve entre Allélick et la mer.

Le débit de drainance a été estimé à 4,75 l/s au Nord d'El Hadjar et à 9,85 l/s dans la région d'El Hadjar.

Plusieurs essais par pompage ont été réalisés dans la nappe superficielle pour déterminer les paramètres hydrodynamiques. Les résultats montrent que la nappe présente une perméabilité oscillant entre $5.5 \cdot 10^{-4}$ m/s et $14 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe superficielle

On estime généralement qu'un aquifère est très intéressant à exploiter si sa transmissivité est au moins égale à 150 m³/j/m. Les résultats montrent que la transmissivité varie entre $2.4 \cdot 10^{-3}$ m²/s et $4.2 \cdot 10^{-3}$ m²/s dans la plaine Ouest d'El Hadjar. En revanche, la nappe qui entoure le lac a une transmissivité variant entre $0.13 \cdot 10^{-3}$ m²/s et $1.4 \cdot 10^{-3}$ m²/s. A l'exception de certaines régions où la productivité est intéressante, la nappe présente dans l'ensemble une productivité très faible et ne peut être exploitée que pour l'irrigation.

2.3.2. La nappe des graviers (ou nappe profonde).

Constituée par une alternance de couches grossières de graviers et galets et de couches argilo-sableuses. Cet empilement plus au moins régulier est lié au remplissage hétérogène des fosses de Ben Ahmed et de Ben M'hidi . L'observation de carte (fig.23), montre un affleurement des niveaux graveleux au Sud de Dreaan et de Asfour. Ces niveaux se trouvent en effet à une profondeur de 8 à 14 m et plongent vers le Nord pour atteindre la cote de 100 m environ en bordure de mer. L'épaisseur des graviers et galets est très variable, elle passe en effet de quelques mètres en bordure Ouest du système, à près de 25 m selon l'axe de la fosse de Ben-Ahmed, orientée Sud-Nord, puis elle diminue à moins de 10 m sur l'élévation de Daroussa. Elle croît de nouveau à 80 voir 90 m selon l'axe de la fosse de Ben-M'Hidi d'orientation Sud-Ouest – Nord-Est. Entre la butte de Boukhadra et El-Khous, un autre niveau à éléments grossiers, de près de 8 m d'épaisseur, a été localisé à une profondeur de 35 à 40 m. En bordure des massifs numidiens de Bouteldja, l'épaisseur des graviers atteint près de 20 m (Djabri . 2000

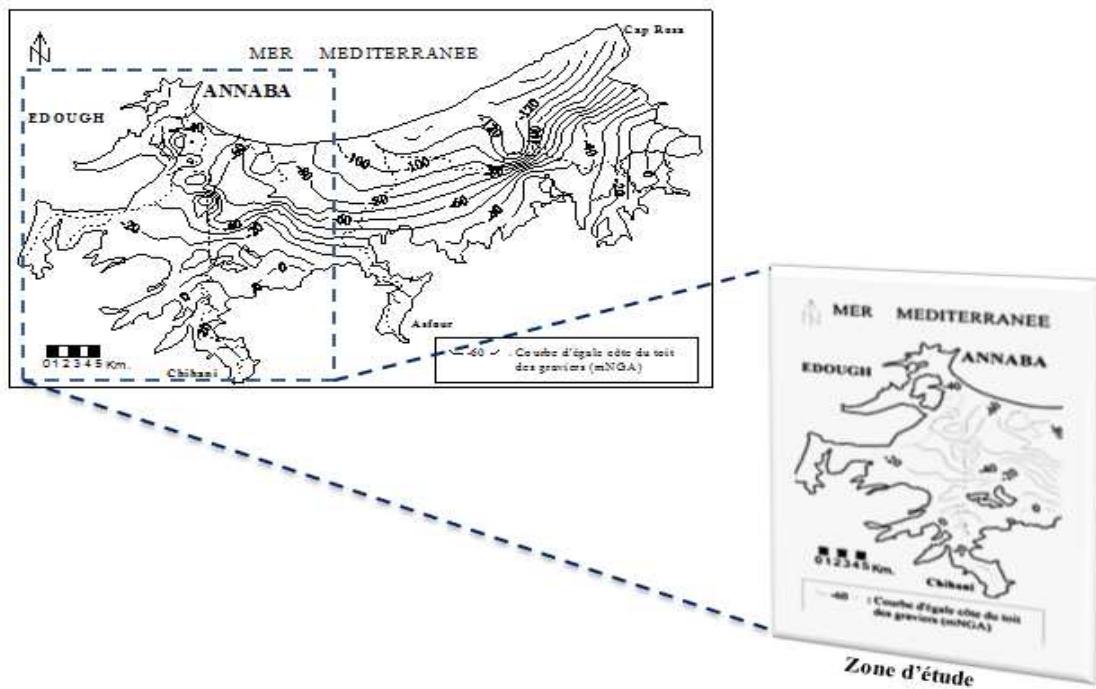


Figure.23. Carte des isobathes du toit de la nappe des graviers. (in Habes 2013)

Ces deux nappes sont généralement séparées par un horizon semi-perméable constitué d'argile sableuse, de silt, d'argile et de lit sableux. L'épaisseur de cette couche est variable ; elle passe de 0 m sur les bordures Sud et Ouest à plus de 75 m dans la partie côtière de l'aquifère

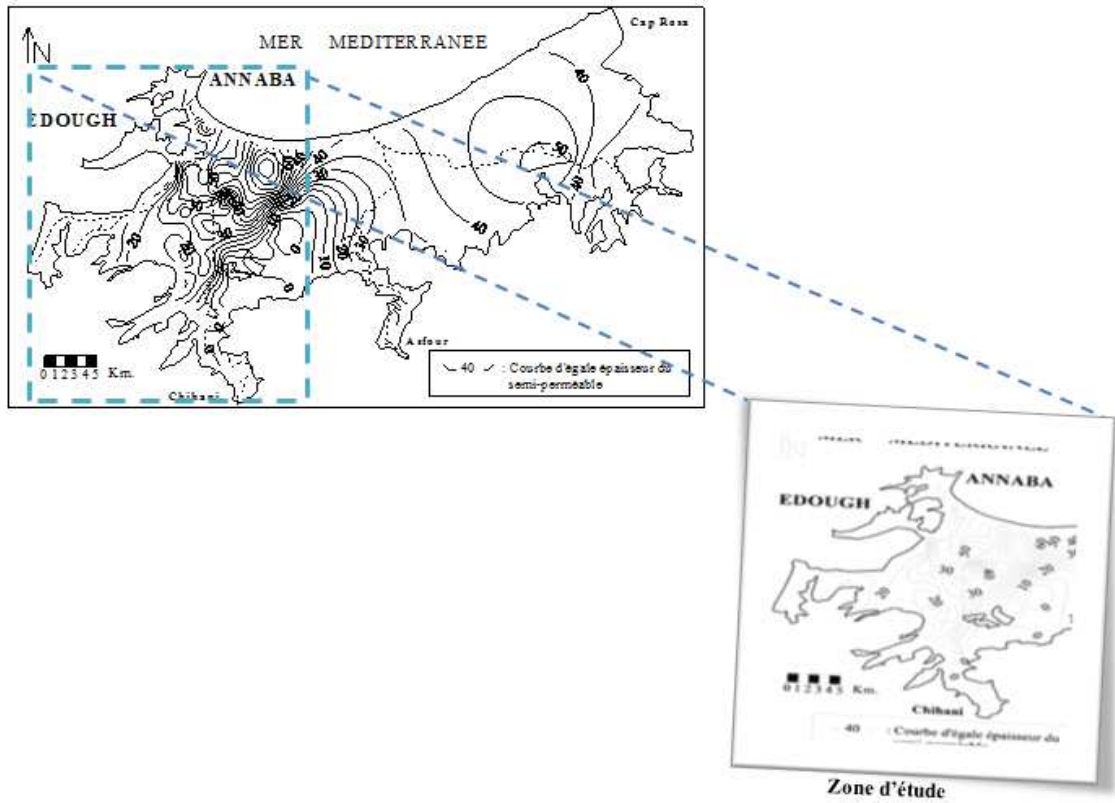


Figure.24. Carte des isopaches du niveau semi-perméable. (In Habes 2013).

Cette couche joue un rôle important dans le transfert hydraulique entre la nappe superficielle et les couches profondes. Elle joue également un rôle essentiel dans le transfert de la pollution de surface vers les nappes (Nafâa, 1985 ; Khérici, 1985 ; Khérici, 1993 ; Debièche, 2002 ; Hani, 2003).

➤ **Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe des graviers.**

L'interprétation des données de pompages d'essai faites par A. Hani (2003), en tenant compte des limites naturelles et de la particularité des terrains de la zone d'étude (hétérogénéité du milieu). Ainsi, dans la nappe des graviers les valeurs de transmissivité les plus élevées sont situées le long de la Seybouse et les plus faibles à l'Ouest dans la région d'El-Kerma. Les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont en moyenne de 11.5 % pour la nappe libre. Pour la nappe captive des graviers, elles varient de 10^{-4} à 10^{-3} dans le secteur de Drean-Chihani où elle devient libre.

Le dépouillement des données a également permis de définir la perméabilité de l'horizon semi-perméable qui varie de 10^{-8} à 10^{-7} m/s.

Le tableau 13, donne des indications sur les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe des graviers

Tableau 12. Résultats du pompage effectué dans le secteur central de la plaine de Annaba.

Paramètres	Méthode			Méthode automatique (6 ^{ème} itération)
	Descente (Jacob)	Remontée (Jacob)	Descente (Theis)	
Transmissivité ($m^2.s^{-1}$)	3.5×10^{-3}	4.0×10^{-3}	3.5×10^{-3}	3.5×10^{-3}
Coefficient d'emmagasinement	3.6×10^{-4}	-	4.3×10^{-4}	4.0×10^{-4}

2.3.3. La piézométrie de la nappe superficielle Annaba-El Hadjar.

L'étude de la circulation des eaux souterraines est basée sur l'analyse de la surface piézométrique. La carte piézométrique permet de déterminer la profondeur de la nappe, le sens et la vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique, les conditions aux limites d'une nappe. Ainsi que les zones d'alimentation et d'accumulation des eaux souterraines.

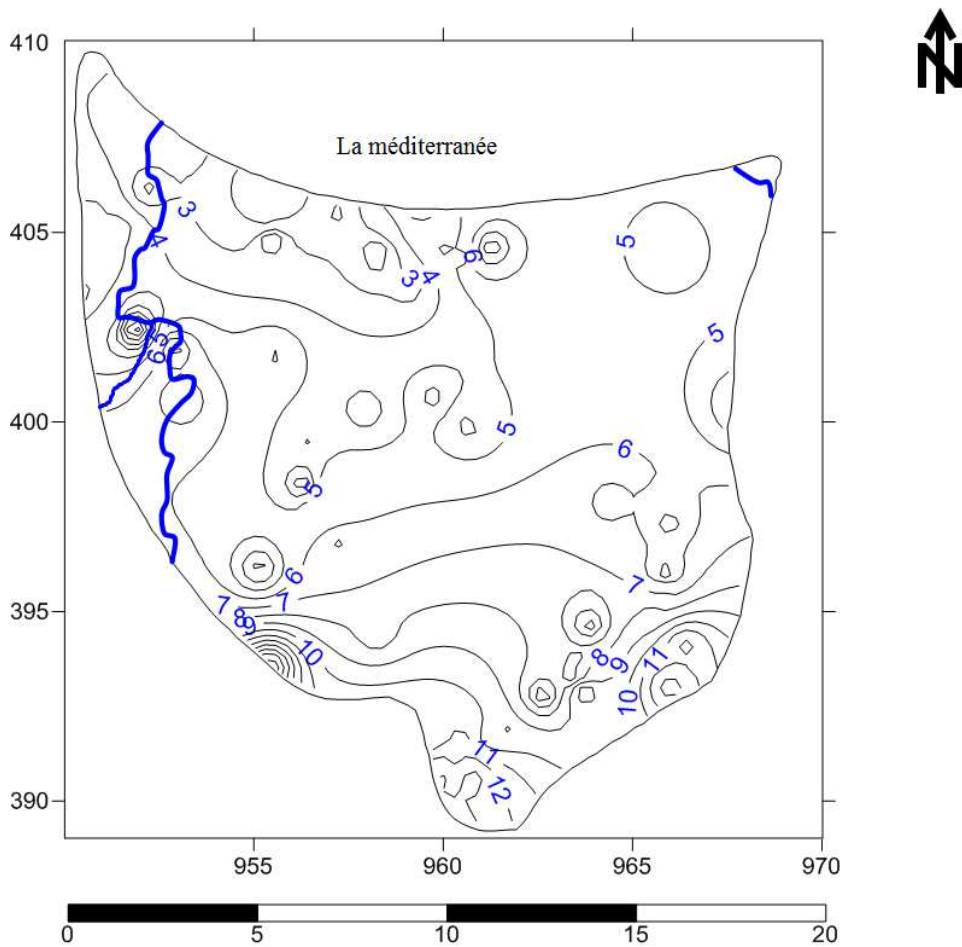


Figure.25 .Carte piézométrique de la nappe superficielle Avril 2015 (In Lebbad 2015).

3. Conclusion.

L'ensemble de cette étude, nous a permis de déterminer les relations existantes entre le lac et les nappes. Par ailleurs l'observation des cartes piézométriques se rapportant à différentes

dates montre la variation des niveaux piézométriques mettant en évidence une fluctuation des nappes, cette dernière se répercute sur le niveau d'eau dans le lac.

L'observation des informations recueillies à partir des sondages mécaniques montre une discontinuité de la lithologie entre les parties Est et Ouest du lac.

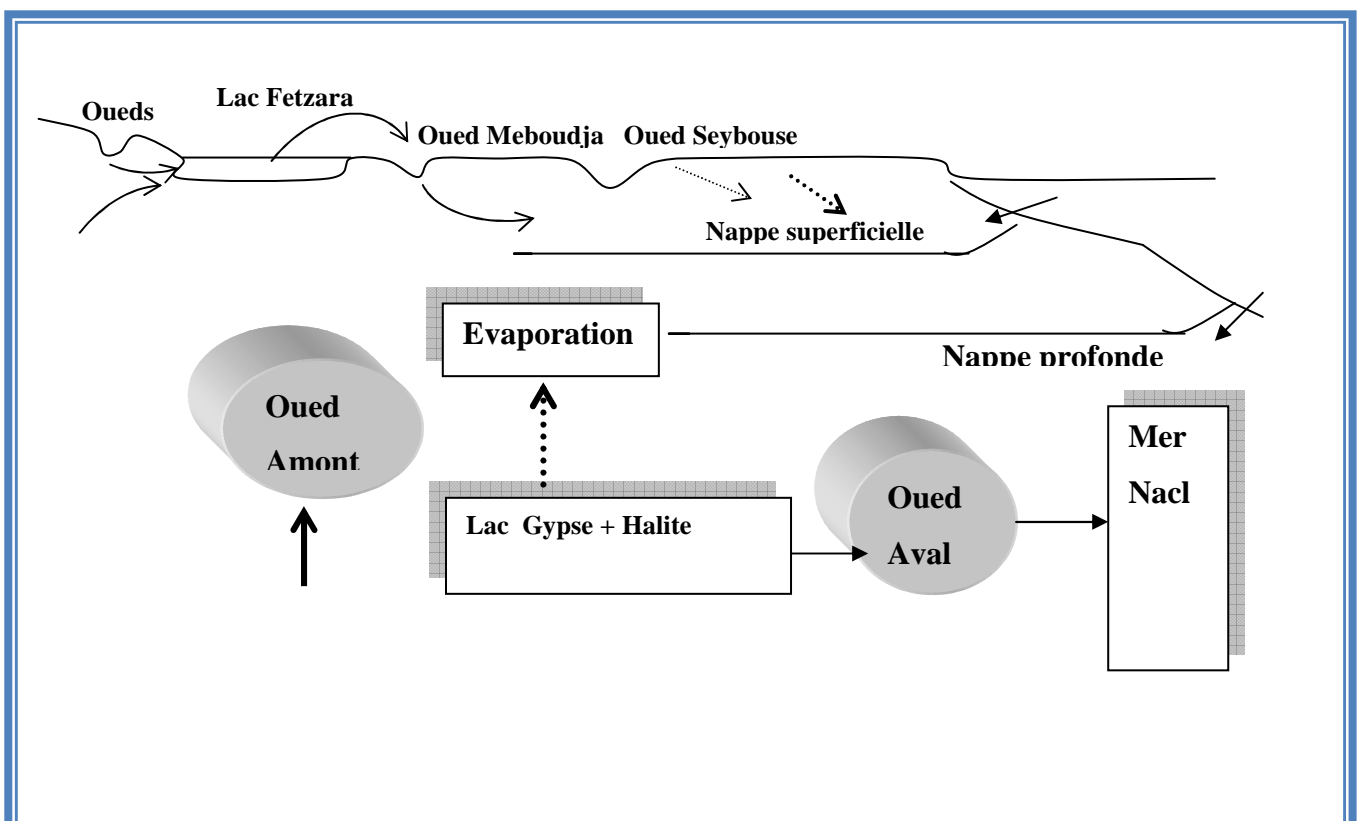
Notons qu'au niveau de la plaine, nous avons recensés deux types d'aquifères, le premier profond éloigné du lac et le second libre souvent entourant le lac et l'alimentant. Par ailleurs les eaux de surface sont à l'origine de l'alimentation du lac par les Oueds Hout, Mellah et Zied, à l'encontre de l'Oued Meboudja qui joue le rôle d'un canal de vidange du lac.

Les débits extraits ne sont pas très importants à cause des variations lithologiques, à titre indicatif, le forage réalisé à l'entrée d'El Bouni, captant les cipolins a donné un débit de 0.5 l/s, ce qui est insuffisant et de ce fait il a été abandonné.

1. Introduction.

Le présent travail porte sur une zone caractérisée par l'interférence de plusieurs sources de pollution. Ainsi la zone étudiée reçoit les eaux de l'Oued Meboudja dans sa patrie Sud Ouest et les eaux de L'Oued Seybouse issues de la zone Sud. Dans sa partie Nord, la nappe est contacte avec la mer d'où un risque de pollution marine. Le schéma suivant donne un aperçu sur la situation de la nappe avec son environnement.

Le schéma suivant (fig.26) récapitule le mode de fonctionnement du système aquifère étudié.



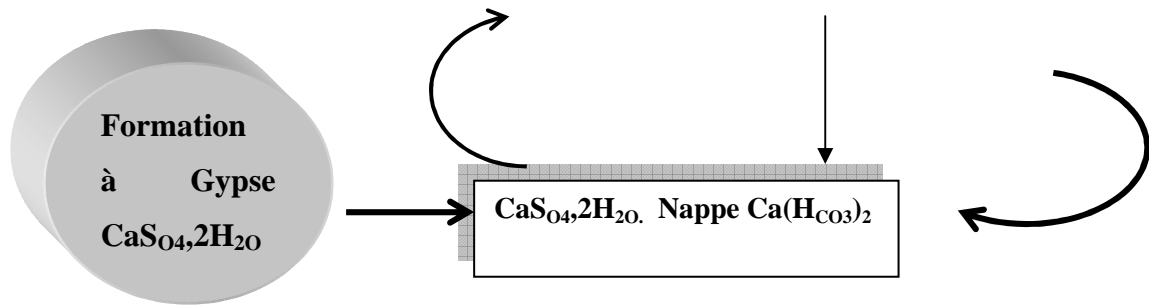


Figure26.Schéma possible de fonctionnement des systèmes aquifères de la région de Annaba.

Le précédent schéma décrit de manière succincte les différentes relations existants entre les différents facteurs, il met également en évidence le déplacement des éléments pouvant influencer la salinité des eaux. En surface le lac par le biais de l'Oued Meboudja se déverse dans l'oued Seybouse qui alimente la nappe superficielle, cette dernière dans sa partie aval reçoit la mer. Il existe également une alimentation souterraine engendrée par l'infiltration, ce qui explique les concentrations remarquées dans les eaux des puits et forages.

2. Caractéristiques des eaux issues de l'Oued Meboudja.

L'oued Meboudja, joue le rôle de canal de vidange du Lac Fetzara, les eaux à leur sortie du Lac, traversent successivement les localités d'El Gantra, Derradji Redjem, Hadjar Eddis, Sidi Amar, El Hadjar, pont Bouchet, El Allalik, et El Bouni. Par ailleurs outre les eaux usées l'Oued Meboudja, reçoit également les eaux des rejets industriels (Arcelor Mittal, conserveries...).

Le centre de la plaine, reçoit les eaux de l'Oued Seybouse, par contre au niveau du littoral la pollution marine reste perceptible particulièrement au cours de la période estivale.

2.1. Etat de la pollution des eaux à l'entrée du Lac.

2.1.1 Dans la zone Ouest.

Pour réaliser notre travail, nous avons pris en considération les résultats des travaux réalisés par Hakim Khelfaoui (2007) et Habiba Majour (2010). Ces deux chercheurs ont démontré la présence d'une double contamination des eaux du lac par les apports issus de la ville de Berrahal :

a. Une contamination par les éléments majeurs.

Beaucoup d'industries en particulier celles de l'agro-alimentaire, génèrent des effluents salins à forte proportion de chlorures, de sulfates et de matières organiques complexes à traiter. Ces effluents salins ne présentent pas l'image de toxicité qui est attachée à d'autres composés notamment certains métaux lourds. Cependant, à forte concentration on ne doit pas les occulter, car ils provoquent des perturbations influençant négativement la faune et la flore locales. De plus, ils induisent la salinisation d'aquifères altérant ainsi la qualité de ces précieuses ressources.

b. Contamination par les éléments traces métalliques (ETM). Cuivre, fer, plomb, nickel,...

c. Synthèse des résultats sur la contamination des eaux souterraines (in Majour 2010).

L'analyse de la répartition spatiale des concentrations de quelques éléments majeurs et traces, montre que la ressource en eaux souterraines de la région d'étude est soumise à une pression anthropique ayant pour conséquence la dégradation de sa qualité physicochimique. La présence de teneurs élevées en chlorures, sulfates et en DBO5, dans les eaux de certains captages, les rend impropre à la consommation. De plus, en se référant aux normes de potabilité fixées par l'OMS (2002), on constate que l'ensemble des puits et forages analysés présente des teneurs en plomb, fer et nickel relativement élevés, voire même inadmissibles, pour des eaux destinées à la consommation. L'analyse des cartes de distribution spatiale de ces ETM a mis en évidence cette contamination. En effet, on constate que le seuil de ces ETM est plus élevé au niveau des puits et forages proches des rejets industriels, témoignant ainsi d'une contamination directe, par infiltration et diffusion à travers le sol. Les métaux lourds, fer, plomb et nickel, sont reconnus pour leur toxicité et leur exposition permanente présente un danger sérieux sur la santé de la population locale.

Par ailleurs, la dispersion des matières polluantes est liée à la faible profondeur de la nappe et la topographie du terrain, qui favorisent le drainage de la pollution dans le sens de l'écoulement souterrain. De ce fait, l'eau de ces captages présente un potentiel toxique la rendant impropre à tout usage domestique.

Par ailleurs la caractérisation physico-chimique des eaux de rejets a montré que la zone industrielle est une véritable source de pollution des eaux souterraines. En effet, les eaux usées déversées par les différentes industries, véhiculent une importante charge polluante minérale, organique et métallique.

- La minéralisation au niveau des rejets est également importante et peut être utilisée comme traceur de contamination anthropique dans la nappe sous jacente. La charge minérale dans les eaux est déterminée essentiellement par de fortes teneurs en chlorures (abondamment utilisés comme désinfectant).
- Les rejets des eaux usées de l'industrie agro alimentaire sont marqués par des teneurs de la demande biochimique en oxygène (DBO5) très élevées pouvant atteindre 419,37 mg/l.

Les résultats d'analyses physico-chimiques obtenus ont mis en évidence une pollution des eaux liée essentiellement à l'activité industrielle, notamment par certains éléments majeurs et métaux lourds. En sus de la charge polluante contenue dans les rejets, la contamination de l'aquifère est accentuée par les conditions géologiques et hydrogéologiques du site (terrains

alluvionnaires à perméabilité assez bonne, faible profondeur du niveau piézométrique, épaisseur de la zone non saturée et sens de l'écoulement de la nappe).

L'impact de l'activité agricole sur ces eaux est mis en évidence par l'évaluation relative des teneurs en nitrites (NO₂). Alors que la contamination organique est identifiée par les mesures de la demande biochimique en oxygène (DBO5). Cette charge organique (exprimée par la DBO5) est importante dans les points d'eau situés à proximité des rejets des industries agro alimentaires.

L'état de contamination des eaux souterraines par les métaux lourds. Cette pollution métallique est mise en évidence par une teneur moyenne anormalement élevée (> normes OMS), sur la majorité des points d'eaux analysés pour le fer, le plomb et le nickel. Alors que le cuivre présente une concentration moyenne à la limite de tolérance. Cependant, les plus fortes concentrations en ces éléments ont été observées dans les puits et forages situés à proximité des rejets des unités industrielles Naftal et Protuil. L'analyse des cartes de répartition du niveau de pollution de la nappe pour les métaux lourds dosés, montre, que plus les puits et forages se rapprochent des rejets industriels, plus ils deviennent vulnérables à une éventuelle contamination.

2.1.2 Dans la zone Est.

Les travaux réalisés par Foufou Atif, ont porté sur l'impact de la décharge Berka Zerga. Les résultats obtenus ont mis en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval dans les eaux de la nappe. Les polluants sont présents à des concentrations

d'importance variable d'un point de prélèvement à l'autre. La globalité des résultats montre que les points de prélèvement situés à proximité de la décharge ont révélé une contamination significative par les métaux lourds. En revanche, les points de prélèvements localisés au nord ouest de la plaine, ne témoignent d'aucune pollution importante par ces métaux.

Le degré de pollution est tributaire des variations saisonnières des précipitations. L'augmentation des teneurs en éléments toxiques, pendant la période de hautes eaux est favorisée par le lessivage des déchets de la décharge, le drain et l'infiltration des eaux superficielles.

L'absence, dans la quasi-totalité des cas, de traitement préalable des rejets urbains et industriels serait en grande partie responsable de la contamination des eaux souterraines de la région par les métaux lourds. Les Lixiviats de la décharge contribueraient à la pollution métallique, d'autant plus que la décharge, n'est pas conçue selon les normes d'une décharge contrôlée : système d'étanchéité, collecteur de biogaz et de Lixiviats.

Les eaux souterraines de la région sont impropres à la consommation humaine. Elles indiquent une pollution par les métaux lourds (le plomb, le chrome et le fer).

Ces eaux convergent vers le lac Fetzara accentuant ainsi sa pollution.

2.2. Etat de la pollution des eaux à la sortir du Lac :

Les travaux utilisés ne portent sur la sortie du lac mais sur la qualité des eaux de l'Oued Meboudja, ainsi L Djabri (1996), TH Debieche (2002), A Hani (2003), H Zerrouki (2007) W Hamzaoui (2007), N. Bougherira (2008), ont successivement démontré une pollution des eaux de l'Oued, cette dernière est entraînée par les rejets urbains et surtout industriels. Cependant cette pollution peu également provenir du lac. Nous avons réalisé des prélèvements dont les analyses ont porté sur quelques métaux lourds à l'entrée et à la sortie du Lac. Les analyses ont été effectuées au laboratoire de ressources en eau et développement durable(Univ. Annab).

2.3. Devenir des polluants à l'entrée et à la sortie du Lac.

Le comportement et le devenir des substances chimiques dans l'eau dépendent de leurs propriétés chimiques et physiques. Ces propriétés physiques et chimiques varient énormément selon la structure de la molécule. Des composés peuvent être très peu persistants, peu toxiques et rester immobiles, et donc peu susceptibles de présenter un risque pour l'environnement. Par contre, il y a des composés persistants, mobiles et toxiques.

Le comportement dans l'eau et l'exposition sont des facteurs néfastes.

Certaines substances peuvent être très persistantes (c'est-à-dire, présentant des demi-vies (t_2) supérieures à 6 mois). La nature de cette persistance doit être précisée. Déterminer le temps que le polluant met avant d'être décomposé ou dégradé en d'autres substances moins dangereuses. La dissipation est la disparition d'une substance qui résulte d'au moins deux processus, soit la dégradation et la mobilité. La dissipation n'est pas une mesure appropriée de la persistance, car la mobilité d'une substance peut faire en sorte qu'elle soit simplement transportée ailleurs, à des endroits où elle peut exercer des effets néfastes si sa concentration atteint un seuil critique.

Ainsi donc le polluant sera soit largué donc il va sortir du lac et aller vers l'Oued Meboudja,
il pourra également être adsorbé ou absorbé.

2.4. Paramètres analysés.

Les analyses ont porté sur les paramètres, ci après Ti (Titane), As (Arsenic), Mo (Molybdène), Se (Sélénium), Sb (Antimoine), Zn (Zinc), Pb (Plomb), Co (Cobalt), Be (Béryllium), Fe (Fer), Mn (manganèse), Cr (Chrome), V (Vanadium), Cu (Cuivre), Ni (Nickel), Sr (Strontium), Li (Lithium), plus les majeurs et la conductivité électrique (mesurée in situ).

2.5. Analyse des résultats d'ensemble.

Pour réaliser notre travail, nous avons considéré les ETM à l'entrée et à la sortie du lac. Afin de procéder à la critique des résultats obtenus, nous avons comparé les résultats obtenus aux valeurs seuils (normes), indiquant une pollution. Les résultats de la comparaison sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau13.résultats de la comparaison

N°	Polluant considéré	Norme (mg/l) OMS	Concentration déterminée	Observation
1	Ti (Titane)	?	<0.01	Pas de pollution
2	As (Arsenic)	0.05	1.11	Pollution
3	Mo (Molybdène)	0.01	<0.005	Pas de pollution
4	Se (Sélénium)	0.02	<0.001	Pas de pollution
5	Sb (Antimoine)	De l'ordre du µg/l	<0.02	Pollution
6	Zn (Zinc)	0.5	0.17	Pas de pollution
7	Pb (Plomb)	0.05	0.18	Pollution
8	Co (Cobalt)	0.05	0.005	Pollution
9	Be (Béryllium)	0.1	0.001	Pas de pollution
10	Fe (Fer)	0.3	4.7	Pollution
11	Mn (Manganèse)	0.1	0.0005	Pas de pollution
12	Cr (Chrome)	0.05	< 0.005	Pas de pollution
13	V (Vanadium)	2.0	0.12	Pas de pollution
14	Cu (Cuivre)	0.2	0.085	Pas de pollution
15	Ni (Nickel)	0.02	0.005	Pas de pollution
16	Sr (Strontium)	8 (en eau de mer)	0.55	Pollution
17	Li (Lithium)	2.5	0.09	Pas de pollution
18	Cd (cadmium)	0.005	0.017	Pollution

L'observation du précédent tableau, montre que les ETM, présent dans l'eau dépassent rarement les seuils tolérés, ce qui semble indiquer une absence de pollution. Les ETM, indiquant des concentrations supérieures à la norme sont : As (Arsenic), Sb (Antimoine), Pb (plomb), Co (cobalt), Fe (Fer), Sr (Strontium) et Cd (cadmium). Ces éléments sont présents dans l'eau mais à des concentrations variables. Pour définir cet état de pollution, nous allons réaliser deux ACP, la première portera sur les ETM, seuls ce qui nous permettra de déduire leur origine. La seconde portera sur les liens pouvant exister entre les ETM et la conductivité électrique. Ce choix est dicté par les changements de la minéralisation observés lors du précédent chapitre, ce qui reviendrait à déterminer les liens éventuels qui existeraient entre la minéralisation et les ETM.

2.5.1. Origines des ETM, dans les eaux à l'entrée et à la sortie du Lac.

Pour déterminer les origines des eaux, nous avons réalisé deux ACP, la première concerne uniquement les ETM, par contre la seconde prend en considération la conductivité, ce qui nous permettra de déterminer le lien entre les ETM et la minéralisation.

a. ACP des ETM lourds sans conductivité électrique.

Nous avons, réalisé une ACP, dont la matrice est constituée de 7 variables (Pb, Ti, Fe, V, Cu, Zn Li) et 16 analyses (individus).

a.1. Matrice de corrélation.

Tableau14.Matrice de corrélation, ACP sans CE.

	Fe	Zn	Pb	V	Cu	Ti	Li
Fe	1						
Zn	0,21	1					
Pb	0,22	-0,15	1				
V	0,70	0,24	0,24	1			
Cu	0,51	0,39	0,44	0,37	1		

Ti	0,98	0,12	0,27	0,71	0,47	1	
Li	-0,04	0,49	-0,12	0,037	0,11	- 0,08	1

L'observation du tableau 14, montre que les valeurs du coefficient de corrélation sont soit positives soit négatives. Ce qui met en évidence des corrélations inverses. Notons que le nombre d'échantillon étant de 16, ce qui donne un coefficient de corrélation acceptable $r=0.7$, ce qui nous permet de déterminer les associations suivantes : [(Fe-V), $r= 0.7$], [(Fe-Ti), $r=0.98$] et [(V-Ti), $r=0.71$]).

a2. Analyse du cercle ACP sans CE (fig.27).

L'observation du cercle ACP, formé par les axes F1 F2 (68%) de l'information, montre selon F1 (45.18%), une opposition entre les eaux fortement polluées, occupant la partie positive de l'axe et les eaux faiblement polluées occupant la partie négative de l'axe.

Selon l'axe vertical F2 (22.80%), on remarque une opposition entre les eaux riches en plomb, fer, Titane et les eaux polluées par le cuivre, le Zinc et le lithium. Le vanadium reste au centre donc ne suit aucun des deux groupes.

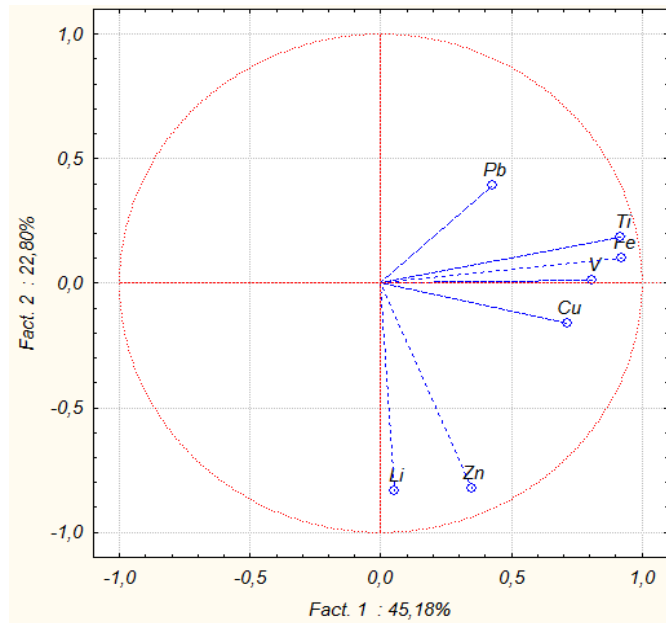


Figure.27. Cercle ACP, sans CE.

b. Analyse ETM avec EC.

Nous avons, réalisé une ACP, dont la matrice est constituée de 8 variables (Pb, Ti, Fe, V, Cu, Zn, Li, CE) et 16 analyses (individus).

b.1 Analyse du cercle ACP avec CE (fig.28).

L'observation du cercle ACP, formé par les axes F1F2 (62.11%) de l'information, montre selon F1 (39.53%), une opposition entre les eaux fortement polluées, occupant la partie positive de l'axe et les eaux faiblement polluées occupant la partie négative de l'axe.

Selon l'axe vertical F2 (22.80%), on remarque une opposition entre les eaux riches en plomb, fer, Titane, Vanadium et les eaux polluées par le cuivre, le Zinc et le lithium. La conductivité électrique ne suit aucun élément.

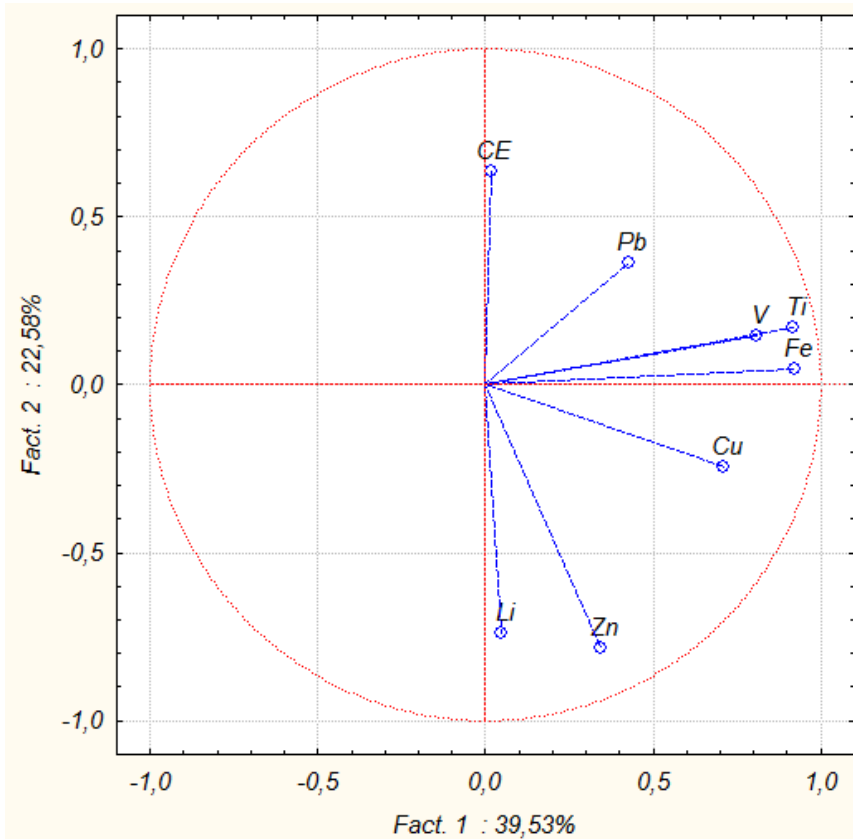


Figure28. Cercle ACP, avec CE

La comparaison des deux ACP, nous permet de déduire que l'origine des ETM est liée à l'action anthropique, elle ne dépend de la salinité qui elle a une origine naturelle. Par ailleurs les faibles teneurs des ETM, dosés corrobore cette hypothèse. Pour confirmer ou infirmer cette hypothèse, nous nous sommes intéressés aux ETM, au niveau de l'Oued Meboudja. Pour réaliser ce travail, on a utilisé les données fournies par la DRA.

2.5.2. Les ETM au niveau de l'Oued Meboudja.

a. Choix des sites étudiés.

Le choix des points de prélèvements est basé sur le rapport de l'oued Meboudja avec son environnement (rejets industriels et urbains). Les prélèvements des échantillons spécifiques à l'analyse des métaux sont effectués en respectant les protocoles de prélèvements. Les points prélevés sont reportés sur la figure 29.



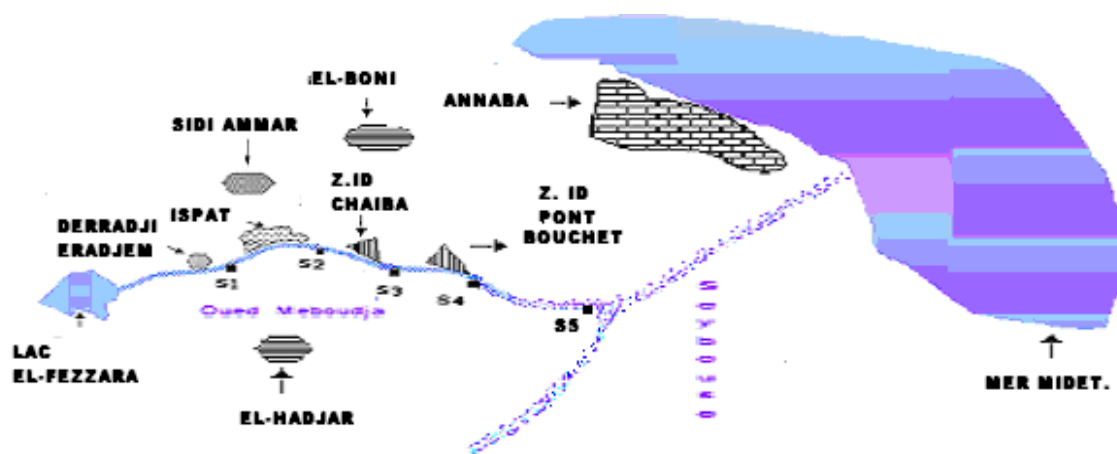


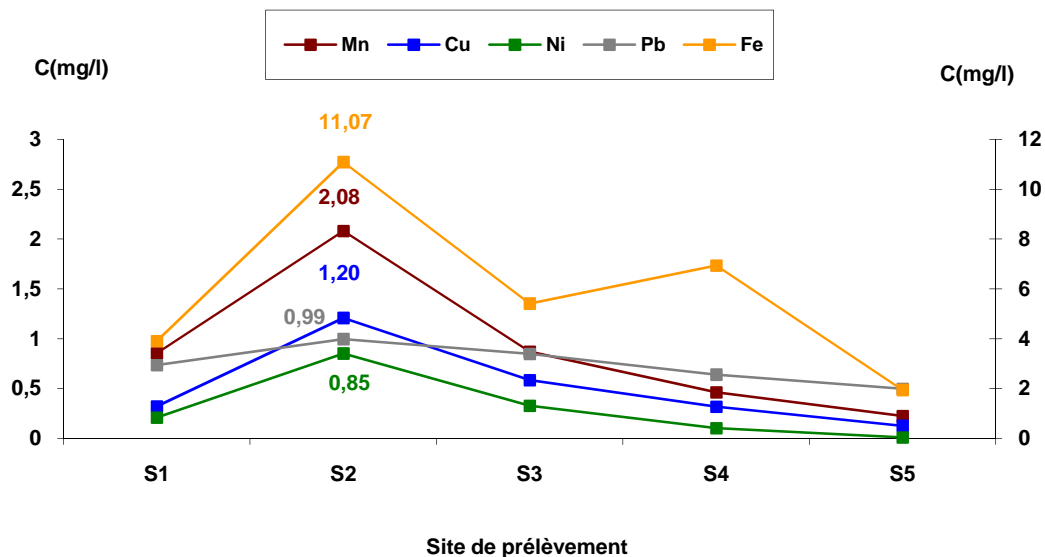
Figure.29. Emplacement des points de prélèvement sur l'Oued Meboudja.

b. Variations des concentrations des ETM, au niveau des sites.

Dans les eaux de l'oued Meboudja, les prélèvements des échantillons ont été effectués en cinq points (figure1) notés S1, S2, S3, S4 et S5.

- S1 : zone de prélèvement située en aval de l'agglomération de Derradji Redjem et en amont du complexe sidérurgique d'El-Hadjar;
- S2 : zone de prélèvement située au voisinage de l'entrée de la station d'épuration du complexe sidérurgique d'El-Hadjar;
- S3 : zone de prélèvement située en aval de la zone industrielle de Chaiba;
- S4 : zone de prélèvement située en aval de la zone industrielle de Pont Bouchet;
- S5 : zone de prélèvement situé en amont de l'embouchure des deux oueds Meboudja et Seybouse.

Les figures présentées ci-dessous montrent d'une part que la zone située au niveau du point S2 est le plus atteinte par la pollution en éléments considérés et d'autre part que cette contamination est plus marquée durant les basses saisons.



- **Figure.30** .Variations des teneurs moyennes annuelles des ETM, dans les eaux de l'oued Meboudja suivant les sites considérés

La précédente figure, montre que les teneurs augmentent en allant vers la station S2 et commence à diminuer au-delà de cette zone dans le sens d'écoulement, c'est à dire en direction de l'oued Seybouse à l'exception du fer, où, sa concentration augmente une seconde fois aux alentours du site S4 compte tenu de la présence de l'industrie de transformation sidérurgique. Cette situation met en évidence un piégeage par les sédiments de quelques ETM.

La partie consacrée origines de la pollution des eaux alimentant ou sortant du Lac Fetzara, a montré que les ETM arrivés au lac stagnent dans ce dernier, ces mêmes ETM, auraient une origine anthropique, ils n'ont aucun lien avec la minéralisation. Par ailleurs au niveau de l'Oued Meboudja, on note de fortes concentrations des ETM au droit des rejets par contre en s'éloignant il y a une baisse des concentrations de quelques ETM, cette dernière s'explique par le piégeage par les sédiments de ces ETM.

3. Origine et devenir des métaux dans l'environnement.

3.1 Apports telluriques naturels. Érosion, transport, sédimentation.

Les métaux sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles (en traces). Néanmoins, des concentrations importantes peuvent être mesurées dans certains sites. L'érosion de l'écorce terrestre est susceptible d'enrichir les cours d'eau en éléments métalliques. Les roches sont altérées et désagrégées par l'action mécanique de l'érosion (agents météoriques) et par l'attaque des acides formés dans l'atmosphère (acide carbonique) ou issus de la décomposition de la matière organique (acides humiques).

Les métaux fixés dans les roches sous forme d'oxydes ou de silicates sont peu altérables chimiquement : les oxydes et silicates métalliques sont libérés de la roche par érosion et transportés sous forme de particules. Les métaux présents dans les roches sous forme de sulfures et de carbonates sont au contraire attaqués chimiquement et très facilement dissous dans l'eau.

L'eau transporte en aval les débris rocheux et les divers sels mis en solution. En plaine, lorsque le courant de l'eau devient insuffisant pour assurer le transport des particules rocheuses, celles-ci s'accumulent dans le lit du cours d'eau : il y a sédimentation.

Erosion, transport et sédimentation sont fonction du débit de l'eau et de la taille des particules.

Dans les conditions environnementales, les métaux sont relativement peu solubles dans l'eau et restent majoritairement associés à la phase solide. Les concentrations en éléments métalliques dans la phase aqueuse sont comparativement bien moindres par rapport à celles dans la phase solide.

Les particules solides sont plus ou moins riches en éléments métalliques selon la nature géologique du terrain dont elles sont issues. Quatre fractions minéralogiques majeures peuvent être distinguées : carbonates (calcaires), quartz (silices), argiles (aluminosilicates), matière organique.

Les métaux dissous dans l'eau, notamment ceux apportés ultérieurement par l'activité humaine, ont tendance à s'adsorber à la surface des particules en suspension. Ces métaux adsorbés peuvent être remis en solution en cas de changements des conditions physico-chimiques du milieu. L'adsorption sur les particules dépend de la surface exposée et donc de la granulométrie du sédiment. Plus les particules sédimentaires sont petites et plus la surface de contact avec le milieu est importante. Les métaux s'adsorbent en particulier très facilement sur les argiles, très fines particules d'aluminosilicates. L'adsorption est également favorisée lorsque

les concentrations en matière organique sont élevées. Par ailleurs des apports naturels se font par la voie atmosphérique: volcanisme, érosion et transport éoliens de poussières, transport d'aérosols d'origine océanique, feux de forêts, etc.

3.2. Apports anthropiques.

Du fait de leurs propriétés physiques intéressantes (bons conducteurs de chaleur et d'électricité, caractéristiques de dureté, de malléabilité, possibilités d'alliages, propriétés catalytiques, etc.) les métaux sont très largement utilisés par l'homme. Cette utilisation n'a apporté aucun changement quant aux quantités de métaux présentes sur Terre : l'activité humaine ne crée ni ne détruit des éléments métalliques. En revanche, elle modifie très significativement leur répartition et les formes chimiques sous lesquelles ils sont présents dans l'environnement. Les gisements et les filons métallifères sont exploités, parfois de très longue date. Mais l'activité minière peut être à l'origine d'une dispersion des métaux dans l'environnement. Les eaux souterraines peuvent être contaminées via les eaux de ruissellement.

L'industrie est toujours responsable de la majorité des rejets directs dans l'eau.

Les rejets associés à la mise en décharge ou à l'incinération des produits arrivés en fin de vie sont également notables : par exemple pour le plomb et le cadmium dans les piles, batteries et accumulateurs; pour le mercure dans les instruments de mesure (thermomètres, baromètres).

Les activités agricoles sont également à l'origine d'une contamination de l'environnement.

Le sulfate de cuivre (bouillie bordelaise) est utilisé pour traiter les vignes et les arbres fruitiers.

L'arséniate de plomb ou des dérivés mercuriels ont été utilisés dans le passé comme pesticides.

Certains engrais, fabriqués à partir de minerais riches en phosphates, peuvent aussi avoir de fortes concentrations en cadmium présent en impureté. Les boues des stations d'épuration, les composts d'ordures ménagères ou le lisier utilisé pour amender les surfaces agricoles sont également susceptibles d'être contaminés par les métaux.

Certaines utilisations posent encore des problèmes particuliers : par exemple, dispersion des plombs de chasse, usure des pneus (le zinc, accompagné du cadmium comme impureté, est utilisé comme durcisseur pour la fabrication des pneus).

3.3. Devenir des métaux dans l'eau.

Les différentes formes chimiques sous lesquelles peuvent être retrouvés les métaux, dépendent des caractéristiques physico-chimiques du milieu. Par exemple, les métaux dissous peuvent précipiter en cas de changements de pH ou de conditions redox, ce qui peut être le cas au niveau des zones de confluences de cours d'eau par exemple.

A mesure que le cours d'eau grandit, la concentration en carbone organique dissous augmente. Ceci permet la formation de complexes stables entre les métaux et la matière organique. Par ailleurs, par l'activité bactérienne, les conditions peuvent devenir anoxiques et réductrices ; les métaux tendent alors à précipiter sous forme de sulfures métalliques. C'est également dans ces conditions réductrices que le mercure est méthylé par les bactéries réductrices de sulfate. Le mercure méthylé est très fortement accumulé par les organismes vivants. Le cas particulier du devenir des métaux dans les eaux saumâtres et salées des estuaires et du milieu marin, peut poser des problèmes particuliers de pollution. Ainsi nous avons prudemment déterminé que, le lac est alimenté à partir des eaux charriées par les Oueds (Mellah, Hout et Zied) et par les écoulements de surface.

- dans sa partie Ouest le lac reçoit les eaux en provenance de Berrahal. Cette ville est située en amont du lac donc, les eaux de toutes natures (industrielles, urbaines....) s'écoulent vers le lac et vont augmenter la charge polluante.
- dans sa partie Est le lac reçoit les eaux en provenance de la grande décharge Berka Zerga, qui reçoit les déchets de la ville d'Annaba. Les Lixiviats issues de la décharge vont polluer les eaux et les sols. Toujours dans sa partie Est, le lac reçoit les eaux de l'Oued Zied, ce dernier charrie les eaux usées de l'agglomération portant son nom.

Ces eaux transitant par le lac subissent des modifications et à leur sorties elles se déversent dans l'Oued Meboudja. Pour comprendre les mécanismes régissant cette pollution, nous nous sommes intéressés aux travaux réalisés sur cette zone.

3.4. Relation Nappe –Mer.

Nous allons nous intéresser à la partie Nord de la plaine. La nappe étant en relation avec la mer, ce qui laisse supposer un éventuel échange nappe mer. Pour cerner cette probabilité, nous allons nous intéresser successivement aux informations données par l'étude des rapports caractéristiques et aux Diagrammes : $Mg^{++}/Ca^{2++} = f(CE (\mu s/cm))$ et $Ca^{2++}/Na^{++} = f(CE (\mu s/cm))$ dans cette zone.

3.4.1. Les rapports caractéristiques.

De nombreux auteurs (Hsissou Y & all (1997), Pulido-Lebœuf et al. (2003), Aoun Badra S (2010) Djabri & all (2012), et plus récemment Bouderbala & all, ont utilisées les rapports caractéristiques pour mettre en évidence une probable intrusion marine. Nous avons appliqué cette méthode aux résultats obtenus sur les eaux analysées en Avril 2015.

Les valeurs limites des rapports caractéristiques sont :

$$-Mg^{2+}/Ca^{2+} = 4.5$$

$$-SO_4^{2-}/Cl^- = 0.1$$

$$-Cl^-/CE < 0.307$$

Les résultats obtenus sont répertoriés au niveau du tableau suivant :

Tableau 15. Résultats des rapports caractéristiques

Ouvrage	Lieu	Mg^{2+}/Ca^{2+}	SO_4^{2-}/Cl^-	Br^-/Cl^- (‰)	Cl^-/CE (mg/l)/(μs/cm)
N° 01	Laaligue	0.5	1.79	0.7	0.061
N° 02	Jouano-ville	0.27	2.26	1.5	0.1
N° 04	Sidi-Salem	0.57	1.96	0.3	0.07
N° 05	entre Sidi-Salem et Chatt	0.9	1.74	1	0.08
N° 06	Entre Sidi-Salem et Chatt	1.32	0.1	0.02	0.44
N° 07	Belahmer	0.74	1.31	0.6	0.25
N° 08	entre Chatt et l'aéroport	0.42	1.5	0.3	0.05
N° 09	le cimetière d'el Chatt	0.6	1.08	1	0.08
N° 10	Chatt	0.24	0.77	0.3	0.48
N° 11	Sidi Mbarek	0.7	3.36	0.7	0.06
N° 12	Ben M'hidi	0.8	0.81	0.3	0.13
N° 13	Zerizer	1.21	0.73	0.3	0.2

N° 14	Allala-Aissa (l'aéroport)	0.5	10.55	4.3	0.04
N° 15	Bouachir	0.63	4.23	2.3	0.02
N° 16	El-Kouss	0.85	3.25	13.6	0.03
N° 17	Khmiri_Ali	0.74	1.39	1.4	0.14
N° 18	Pont-Bouchet	0.8	1.32	2.8	0.075
N° 19	Bordj el Samar	0.21	3.83	10	0.05
N° 20	Ben Amar	0.5	4.01	5.5	0.03
N° 21	Chouali Belkacem	1	0.43	0.5	0.15
N° 22	Besbes	0.94	1.34	0.3	0.08
N° 23	Daghoussa	1.46	0.19	0.08	0.33

L'observation du précédent tableau, montre que le rapport trois tendances :

La première montrant l'absence d'une intrusion marine, cette dernière est caractérisée par les valeurs du rapport Mg^{2+}/Ca^{2+} , en effet toutes les valeurs calculées sont inférieures à la valeur limite de **4.5**.

La deuxième tendance caractérisée par les valeurs des rapports $SO_4^{2-}/Cl-(01)$, nous remarquons que toutes les valeurs dépassent la valeur seuil. Nous remarquons une contradiction entre les rapports étudiés. La présence du calcium s'explique par les précipitations importantes (94 mm) tombées au mois de Mars. Ce qui a provoqué une dilution des roches.

La troisième tendance se ramène aux rapports dont les valeurs oscillent entre les deux états de l'intrusion marine. L'observation du rapport $Br-/Cl-$, indique que sept (07) échantillons indique une probable intrusion marine, la valeur du rapport $Br-/Cl-$, varie entre 1.5 et plus de 3 ‰, de ce fait la salinité des eaux peut être due soit aux embruns marins (2, 5 et 17) soit carrément à une intrusion marine (14, 15, 16, 18 et 20).

L'observation du rapport $Cl-/conductivité < (0.307)$, montre que trois points sont sujet à une intrusion marine (6, 10 et 23).

A partir de cette interprétation, on déduit que la présence d'une intrusion marine, n'est pas toujours confirmée. Cette situation serait due aux précipitations tombées au cours du mois de Mars. Les eaux infiltrées ont atteint la nappe superficielle et ont probablement modifiés la composition chimique de son eau.

Pour cerner les tendances décrites précédemment, nous nous sommes intéressés aux variations spatiales de quelques éléments chimiques tels que les chlorures, le calcium...

3.4.1.1 Diagramme $Mg^{+}/Ca^{2+} = f(CE (\mu s/cm))$.

Le présent digramme montre trois classes de salinité :

La première concerne les eaux douces ou de faible salinité, dont la conductivité est inférieure à 1000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. Cette classe contient cinq (05), échantillons,

La deuxième classe dénommée classe des eaux modérément salées, dont la conductivité oscille entre 1000 à 3000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. C'est la plus importante car elle contient dix (10) échantillons.

La troisième classe dite classe des eaux salées, caractérisées par une conductivité supérieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. Elle comprend trois (03), échantillons. Notons que l'échantillon N° 15, présente une conductivité supérieure à 5000 $\mu\text{S}/\text{Cm}$

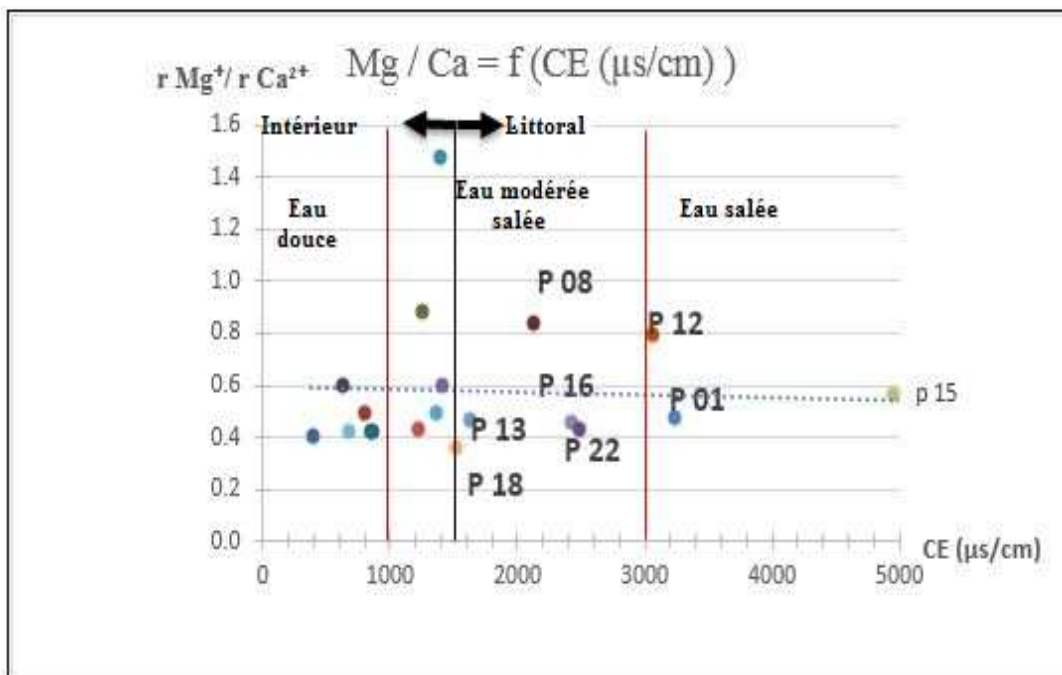


Figure.31. Diagramme $Mg^{+}/Ca^{2+} = f(CE (\mu s/cm))$.

Le précédent diagramme met en évidence des zones préférentielles de l'intrusion marine. Cette dernière se fait au niveau des zones proches des Oueds Seybouse et Mafragh, caractérisé également par des pompages.

3.4.1.2. Diagramme $Ca^{2+}/Na^{+} = f(CE (\mu s/cm))$

On retrouve une répartition analogue à la précédente, c'est-à-dire trois classes de salinité.

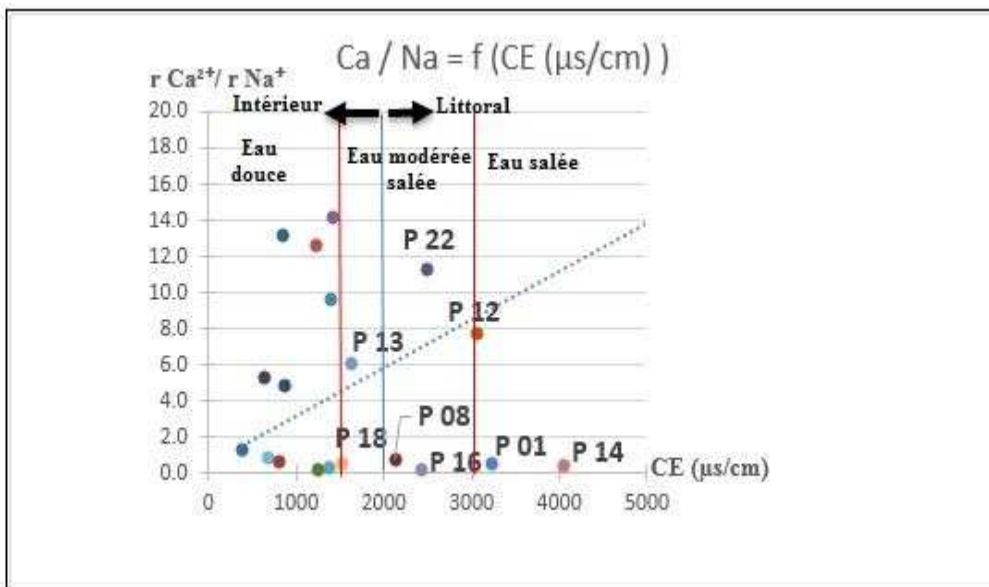


Figure32. Diagramme $Ca^{2+}/Na^{+} = f(CE (\mu s/cm))$.

3.4.1.3. Diagramme $SO_4^{2-}/Cl^{-} = f(CE (\mu s/cm))$

On remarque que les eaux salées se localisent au niveau de la zone intérieure. Cependant les eaux douces sont proches du littoral. Cette situation est générée par les écoulements qui se

sont produits lors des précipitations et ont dilués les eaux des puits implantés au niveau de la zone littoral.

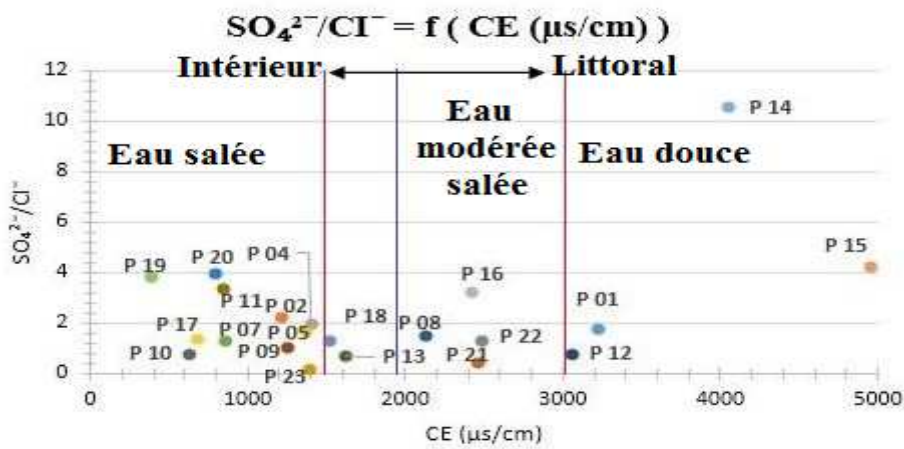


Figure.33. Diagramme $SO_4^{2-}/Cl^- = f(CE (\mu s/cm))$.

Les précédents graphes montrent que l'intrusion marine est présente au niveau de la région. L'intrusion marine mise en évidence par l'outil hydrochimique peut être engendrée soit par les effets des changements climatiques qui sont assez récents (moins de 20 années), soit par la surexploitation engendrée par le développement industriel de la région qui remonte à la fin des années soixante (création du complexe sidérurgique en 1967).

3.4.2. Conclusion.

Nous remarquons que les échantillons indiquant une probable intrusion marine sont tous localisés au niveau de la région cde Ben M'Hidi, ce qui laisse supposer la présence d'une zone préférentielle de l'intrusion marine. Cette dernière s'explique par la microtectonique présente dans la région et ayant entraîné l'apparition de la butte de Daghoussa comme indiqué sur le schéma suivant :

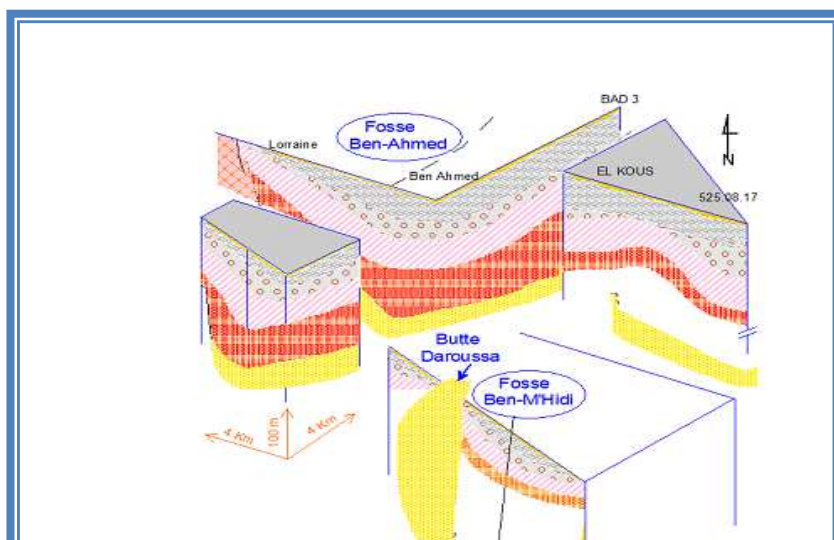


Figure 34. Schéma montrant le lien hydraulique entre la nappe et la mer.

4. Nécessités de protection de la nappe.

4.1. Application de la méthode GALDIT à la zone d'étude.

Cette méthode se base sur les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères côtiers. Elle considère :

- 1/ Type de l'aquifère ou Groundwater occurrence : l'aquifère, confiné, semi confiné ou libre.
- 2/ Conductivité hydraulique (Aquifer hydraulic conductivity),
- 3/ Profondeur du plan d'eau (Depth of groundwater Level above sea),
- 4/ Distance par rapport à la côte ou la mer (Distance from the coastline),
- 5/ Impact de l'état d'intrusion marine existante (Impact of existing status of seawater intrusion),
- 6/ L'épaisseur de l'aquifère (Thickness of the aquifer), noté "T".

L'indice **GALDIT** est la somme des indices obtenus pour chacun des six paramètres, pondérés par les poids respectifs de ces derniers. Il est calculé par la formule suivante :

$$\text{GALDIT} = (1 \times G) + (3 \times A) + (4 \times L) + (2 \times D) + (1 \times I) + (2 \times T) \quad (6)$$

- avec G, A, L, D, I, T représentent les 6 paramètres de GALDIT déjà évoqués.

L'indice de vulnérabilité GALDIT varie entre 13 et 130 et définit les classes de vulnérabilités avec $I < 30$ = Non vulnérable (absente), $I=50$ à 70 : Vulnérabilité faible, $I=70$ à 90 : Vulnérabilité moyenne et $I > 90$: vulnérabilité élevée.

Les indices calculés ont conduit à l'élaboration de la carte de vulnérabilité (GALDIT).

4.2. Interprétation de la carte de vulnérabilité. (fig.35)

L'observation de la carte réalisée montre trois zones à vulnérabilités différentes :

- la première traduisant l'absence de la vulnérabilité, elle se localise au niveau de la zone Sud Ouest, vers Berrahal,
- la seconde caractérisée par une faible vulnérabilité, elle occupe la presque totalité des parties nord est et nord ouest,
- la troisième se caractérisant par une forte vulnérabilité, occupe la partie située au delà de la zone humide de Boukhmira et longe l'aéroport, dans cette partie les nombreux forages en exploitation (batterie des salines, Ben M'hidi, El Kous...), ont provoqués une surexploitation de la nappe expliquant ainsi la forte vulnérabilité observée.

L'ensemble du texte est en corps 12, minuscule, interligne simple, sans césure dans le texte, justifié, avec un alinéa de première ligne de 0,5cm. Un espace de 6 pts est défini après chaque paragraphe.

- Le secteur Annaba - El-Bouni : caractérisé par un niveau piézométrique d'une profondeur de l'ordre de 5 m. L'industrie est bien présente (ASMIDAL, ORELAIT, SN METAL, conserverie, nouvelle cité, agriculture, ...) (I= 9). L'état piézométrique nous permet de dégager les indices de vulnérabilité, selon la profondeur de l'eau dans le puits, les mesures effectuées au mois d'Avril 2015, montrent une profondeur ne dépassant pas cinq mètres (5), de ce fait l'indice choisi est de l'ordre de 4, pour tous les puits domestiques.

$$0 < P < 5 \text{ m donc : } I = 4$$

4.3.2. Calcul de l'indice de l'occupation du sol.

➤ Exemple.

- Annaba-El Bouni: Asmidal + Boissons Gazeuses Algériennes +SN Métal +Orelait +Semoulerie + Urbanisation + agriculture + mer + cours d'eau : 9.

Cette opération est réitérée pour les secteurs suivants : El Bouni -Sidi Amar, El Hadjar-Sidi Amar, Sidi Amar-Hadjar Diss, El Hadjar-Dean, Annaba-Sidi Mbarek, Sidi Mbarek-Besbes et Besbes -El Hadjar.

➤ Lithologie.

Les descriptions lithologiques ont été combiné avec les caractéristiques hydrodynamiques issus des travaux consultés (N. Kherici 1993, L Djabri, 1996, A Hani 2003, S Labar 2004, Aoun Badra 2010, S Habes 2013). Les essais par pompages effectués ont donné les résultats condensés dans le tableau 16.

Tableau 16. Résultats de deux pompages d'essai effectués dans la nappe phréatique.

Coordonnées		Transmissivité ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	Coefficient d'emmagasinement	Epaisseur de la nappe (m)	Perméabilité ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
X	Y				
957.150	401.550	$2 \cdot 10^{-6}$?	5	$4 \cdot 10^{-7}$
			93		

957.250	399.800	$8. 10^{-5}$	2 %	5	$1.6 10^{-5}$
---------	---------	--------------	-----	---	---------------

Les puits testés se situent pour le premier non loin du rivage par contre le second est assez éloigné du rivage. Donc les faibles perméabilités se situent à proximité de la mer.

Les indices octroyés à la lithologie, dépendant de la distance séparant les ouvrages de la mer (distance puits-mer). En seconde étape, nous avons considéré les paramètres suivants (relation piézométrique nappe-oued, les affluents et la perméabilité. La combinaison des résultats obtenus nous permet d'obtenir un résultat global que nous récapitulons sur le tableau 17 suivant:

Tableau 17. Résultats des indices globaux.

Indices Zone d'étude	POL	Risque Oued+ Mer+ Lac =R	Indice de vulnérabilité global: $I_v = POL+R$
Annaba – El Bouni	16	5	21
El Bouni Sidi Amar	12	4	16
Sidi Amar-Hadjar Diss	14	3	17
Sidi Amar-El Hadjar	13	1	14
El-Hadjar – Drean	11	1	12
Annaba-Sid Mbarek	11	5	16
Sidi Mbarek-Besbes	11	3	14
Besbes-El Hadjar	11	3	14

L'indice (I_v), calculé varie entre 12 et 21, ce qui nous a permis la détermination des classes suivantes: C1 ($12 < I_v < 15$), C2 ($15 < I_v < 20$) et C3 ($I_v > 20$).

4.3.3. Proposition de périmètres de protection.

5. Conclusion

La cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines, est une méthodologie de plus en plus répandue et répond aux besoins locaux en matière de lutte contre la pollution. Ainsi au cours de ces dernières années plusieurs méthodes basées sur différentes approches ont été utilisées. Pour réaliser notre travail, nous avons combiné les résultats issus de plusieurs méthodes (contraintes occupations des sols, DRASTIC, GALDIT). Cette démarche nous a permis de prendre en considération de nombreux paramètres en relation directe ou indirecte avec les origines de la vulnérabilité.

Les résultats obtenus par les différentes méthodes, ont montré une certaine correspondance entre les résultats obtenus, ceci nous a conduits à l'élaboration des périmètres de protection basés sur des calculs de P.O.L. Cependant, cet essai, ne pourra pas être généralisé, avant qu'il ne soit testé sur d'autres zones où les problèmes de vulnérabilité à la pollution se posent avec acuité.

Conclusion générale

L'ensemble des résultats obtenus permet de ressortir et de mettre les points sur les faits suivants :

Les résultats obtenus par les différentes méthodes, ont montré une certaine

correspondance entre les résultats obtenus, ceci nous a conduits à l'élaboration des périmètres de protection basés sur des cacules. Cependant, cet essai, ne pourra pas généralisé, avant qu'il ne soit testé sur d'autres zones où les problèmes de vulnérabilité à la pollution se posent avec acuité

-Les résultats obtenus ont mis en évidence la présence d'un gradient de contamination métallique amont-aval dans les eaux de la nappe. Les polluants sont présents à des concentrations d'importance variable d'un point de prélèvement à l'autre. La globalité des résultats montre que les points de prélèvement situés au sein d'Oued Meboudja ou à proximité ont révélé une contamination significative par les métaux lourds. En revanche, les points de prélèvements localisés au nord ouest de la plaine, ne témoignent d'aucune pollution importante par ces métaux.

-Le degré de pollution est tributaire des variations saisonnières des précipitations. L'augmentation des teneurs en éléments toxiques, pendant la période de hautes eaux est favorisée par le lessivage des déchets de la décharge, le drain et l'infiltration des eaux superficielles.

-L'absence, dans la quasi-totalité des cas, de traitement préalable des rejets urbains et industriels serait en grande partie responsable de la contamination des eaux souterraines de la région par les métaux lourds. Les Lixiviats de la décharge contribueraient à la pollution métallique, d'autant plus que la décharge, n'est pas conçue selon les normes d'une décharge contrôlée : système d'étanchéité, collecteur de biogaz et de Lixiviats.

-Les eaux souterraines de la région sont impropres à la consommation humaine. Elles indiquent une pollution par les métaux lourds (le plomb, le chrome et le fer).

Par ailleurs la caractérisation physico-chimique des eaux de rejets a montré que la zone industrielle est une véritable source de pollution des eaux souterraines. En effet, les eaux usées déversées par les différentes industries, véhiculent une importante charge polluante minérale, organique et métallique.

La minéralisation au niveau des rejets est également importante et peut être utilisée comme traceur de contamination anthropique dans la nappe sous jacente. La charge minérale dans les eaux est déterminée essentiellement par de fortes teneurs en chlorures (abondamment utilisés comme désinfectant).

Les rejets des eaux usées de l'industrie agro alimentaire sont marqués par des teneurs de la demande biochimique en oxygène (DBO5) très élevées pouvant atteindre 419,37 mg/l.

Les résultats d'analyses physico-chimiques obtenus ont mis en évidence une pollution des eaux liée essentiellement à l'activité industrielle, notamment par certains éléments majeurs et métaux lourds. En sus de la charge polluante contenue dans les rejets, la contamination de

l'aquifère est accentuée par les conditions géologiques et hydrogéologiques du site (terrains alluvionnaires à perméabilité assez bonne, faible profondeur du niveau piézométrique, épaisseur de la zone non saturée et sens de l'écoulement de la nappe).

Bibliographie

Agence de bassin hydrographique Constantinois -Seybouse- Mellegue, 2003.-
actualisation du Caneva 2003, Bassin de la Seybouse.

- Ahmed-Said Y., 1993.** The Edough leptynites, Annaba, NE Algeria, are they good indicators to the origin of the biotite gneisses?. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, volume 4, n°2, pp. 99-107.
- Aoun Sebaiti B, 2010 :** Gestion optimisée des ressources en eau d'une nappe côtière. Application à la plaine d'Annaba. Doc. UST de Lille. 211p
- Attoui B & al, 2014:** Use of a new method for determining the vulnerability and risk of pollution of major groundwater reservoirs in the region of Annaba–Bouteldja (NE Algeria). E ESc. .Volume 72, Issue 3, pp 891-903.
- Benoune A., Laouar L., Ramoul H., 1986.** Essai d'aménagement d'une commune sub-littorale (cas d'El Hadjar). Mém d'ing. Univ Constantine. 123 p.
- Boughrira N.** Impact des rejets industriels dun complex sidérurgique sue les eaux superficielles et souterraine dans la plaine de Meboudja. Mém. Magistere. 2008.
- Bourghrira N.** mecanismes de transfert des polluant metallique dans la vallée de Meboudja(w. Annab). These de Doctorat es sciences. Univ. Annaba.
- Caby R., Hammor D., 1992.** Le massif cristallin de l'Edough (Algérie) : un "Metamorphic Core complex" d'âge miocène dans les Maghrébides. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2. Mécanique, physique, chimie, sciences de l'univers, sciences de la terre, 314 (08) 829-835.
- Chaffai H & al, 2006 :** Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale de Skikda : Application de la méthode DRASTIC. . Bulletin du Service Géologique National 01/2006; 17(N°1):63-74.
- Castany G., 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed. Dunod, Paris, France. 238p.
- Chauve P., Mania J., Mignot C., Rémy F., Verjus Ph. 1986.** Interaction nappes rivière et cycle de fer-manganèse dans la nappe alluviale de L'Ognon (Franche-Comté). Hydrogéologie, 1, 3-18
- Debieche T. H., Mania J., Mudry J., 2001.** Pollution d'une nappe alluviale par le chrome et l'étain à partir d'un stockage de résidus métallurgiques : application à la basse plaine de la Seybouse, Nord - Est Algérie, Africa Geoscience Review, Vol. 8, No 4, pp. 451 - 461
- Debieche T.H., 2002.** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Th. Doct. Univ. de Franche-Comté, 199 p.

- Derradji F., 2004.** Identification quantitative et qualitative des ressources en eau de la région de Annaba- El Tarf (Nord-Est Algérien). Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 237p.
- Djabri L., Hani A., Mania J., Mudry J. (2000).** Conséquences des pratiques agricoles sur la qualité des eaux du bassin de la Seybouse (Est algérien). Actes du colloque ESRA'2000, Poitiers, S3, pp.39-42.
- Djabri L., 1996.** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologique industrielle, agricole et urbaine. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261p.
- Gaud B., 1976.** Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba - Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation) Rapport de l'ANRH. Algérie. 151p.
- Gleizes G., Bouloton J., Bossière G., Collomb P., 1988.** Données lithologiques et pétro-structurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est-Algérien). C. R. Acad. Sci. Paris, t. 306, Série II, p. 1001-1008.
- Hammor, D., 1992.** Du Panafricain au Miocène : 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord Orientale). Retraces par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$). Thèse de l'USTLanguedoc, Univ. de Montpellier II, 205 p.
- Hani, A., 2003.** Analyse méthodologiques de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 214p.
- Hannouche, M., 1990.** Approche à l'étude des mécanismes de la pollution d'une nappe alluviale côtière (Annaba) en site industriel urbanisé. Traitement statistique des données Hydrochimiques. Mémoire de magistère. Univ. Annaba. 202p.
- Hilly J., 1962.** Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est constantinois).
- Joleaud L., 1936.** Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull. Serv. Carte Géol. de l'Algérie. 2e série, 12, 200p.
- Kherici N., 1993.** Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines d'un système de nappes superposées en milieu industriel et agricole (Annaba la Mafragh-nord-est algérien). Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba. 170p.
- Lahondère J.C., 1987.** Les séries ultra-telliennes d'Algérie Nord oriental et les formations environnantes dans le cadre structural. Th. Doct. Es-Sci. Univ. Paul

Sabatier, Toulouse, France, 238 p.

Lebbad Amar & al, 2015 : Détermination de l'intrusion marine par l'utilisation de la méthode GALDIT : Application à la plaine de la basse Seybouse (ANNABA-EL HADJAR). Master hydrogéologie. Laboratoire Ressource en eau et développement durable. Université Badji Mokhtar Annaba. 75p.

Louhi A., 1996. Pollution des eaux et sols. Cas de la région de Annaba, Etude des interférences et dosage Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Sn, V et Hg par spectrométrie d'émission Plasma-ARC (DCPAES), absorption atomique (SAA) et spectrophotométrie UV/VIS., Th. Doct. Univ. Annaba, 167p.

Marre A., 1987. Le Tell Oriental Algériens de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique, volume 1 et 2 O.P.U. Alger. Algérie.

Nafâa, K., 1985.- Nappes superposées en région côtière, hydrodynamique et hydrochimie (aquifère de Annaba) Nord Est algérien. Th. Doct. Ing. USTL, Montpellier, 159p.