

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2021/2022

Faculté des Sciences de la Terre

Département de Géologie

# Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

*Option: Hydrogéologie*

## ETUDE DE LA POLLUTION DES SOLS ET DES EAUX DANS LA REGION D'EL-HADJAR

Par

Widad CHAOUI

DIRECTEUR DE THÈSE: **Moussa BENHAMZA** Prof, Univ. Annaba

DEVANT LE JURY:

PRESIDENT: **Abdelaziz LARABA** Prof, Univ. Annaba

EXAMINATEURS: **Ammar MAOUI** Prof, Univ. 08 Mai 45 Guelma  
**Tahar NOUAR** Prof, Univ. 08 Mai 45 Guelma  
**Nabil BOUGHERIRA** MCA, Univ. Annaba  
**Sofia BAHROUN** MCA, Univ. El Taref

## ***Dédicace...***

*Je dédie ce travail :*

✚ *Aux mémoires de mon père et à la mémoire de ma mère, ils n'ont pas eu la chance d'assister à cette étape de mon parcours ;*

✚ *A mon mari ;*

✚ *A mes deux enfants :*

- *Hourat El Nouba ;*
- *Ahmed Wassim ;*

✚ *A mon adorable soeur Beya ;*

✚ *A mes frères :*

- *Moustafa ;*
- *Hakim ;*
- *Walid ;*
- *Leurs familles ;*

✚ *A mes oncles ;*

✚ *A mes tantes ;*

✚ *A mes cousins ;*

✚ *Et à mes cousines sans exception*

# Remerciements

Je voudrais exprimer ma profonde gratitude envers mon directeur de thèse, le Professeur Moussa BENHAMZA du département de Géologie de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba. Il a soigneusement assuré la direction de cette thèse surtout durant les moments difficiles que j'ai endurés. Ce sont ses appuis aux initiatives de recherche entamées, parfois dans des conditions difficiles, son suivi régulier de l'avancement des travaux ainsi que ses encouragements incessants qui m'ont permis d'arriver à boucler cette thèse. Qu'il trouve ici mes vifs remerciements ;

Mes vifs remerciements vont également à tous les membres du jury, pour avoir accepté d'en faire partie et pour tout l'intérêt qu'ils ont porté à cette thèse ;

Je tiens à exprimer ma reconnaissance au Professeur Tidjani BOUCHAMI, du Département de Génie des procédés (UBM Annaba), qui m'a permis de s'initier aux procédés expérimentaux de la qualité des eaux dans son laboratoire. Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance au Professeur Kamel CHAOUI, du département de Génie Mécanique (UBM Annaba) et Directeur du laboratoire de recherche LR3MI, pour m'avoir encouragé à m'intégrer dans une équipe avec un projet de recherche ;

Je tiens aussi à remercier, Monsieur Amar ABDELOUAHED, Ingénieur et Chef de laboratoire au GL1-K (SONATRACH, Skikda), pour ses déplacements et pour avoir facilité l'analyse d'échantillons d'eaux résiduaires de la région d'El-Hadjar, ainsi que les chefs des Départements Techniques de GL1-K et la Raffinerie RA1-K et les techniciens du laboratoire de l'ADE d'Annaba.

Je remercie aussi mes enseignants et le personnel du département de Géologie qui m'ont soutenue durant des années ;

Je tiens à remercier du fond du cœur toutes mes amies et mes collègues de l'Université, qui m'ont aidée et encouragée pour réaliser ce travail, je cite spécialement Lamia, Faouzi, Latifa et Wafia ;

Je remercie aussi les filles et mes deux enseignantes du Masdjid El-Ghoffrane d'El-Hadjar pour leurs encouragements ;

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont apporté leur l'aide, quelque soit sa forme, pour finaliser ce travail.

ATOUS MERCI...

*Widad Chaoui*

## المخلص

تشتهر منطقة "الحجار" بتنوع صناعاتها التي تمتد من صناعة الصلب إلى الصناعات التحويلية الغذائية من خلال العديد من الشركات الصغيرة والمتوسطة المتواجدة بالمناطق الصناعية. يتم نقل الأجزاء من النفايات الصناعية والمنزلية إلى "واد سييوس" وإلى رافده الرئيسي "واد مبعوجة"، وكلاهما محاط بمناطق صناعية كبيرة. في العقود الأخيرة، أصبح تلوث المياه السطحية والجوفية وكذلك التربة مشكلة ذات أهمية خاصة للحفاظ على الصحة وحماية البيئة. في هذه الدراسة، نعرض المعايير المختلفة المستخدمة لتقييم حالة تلوث مياه هذه المنطقة باستخدام 34 نقطة للقياس من مختلف مناطق تغطية العينات الممتدة على طول الوديين بسهل الحجار (2009-2015)، ونقاط محددة لتصريف المياه (2008-2009). تم التعبير عن النتائج عن طريق تركيز الملوثات المختلفة مثل محتوى الكلوريد ومحتوى الصوديوم والذان بلغا 951.40 مجم/لتر و 242.92 مجم/لتر على التوالي. العناصر الكيميائية  $Na^+$ ،  $HCO_3^-$ ،  $Ca^{+2}$ ،  $Cl^-$ ، و  $SO_4^{2-}$ ، يرجع أصلها لما يتعلق بترشيح التكوينات المتحولة (cipolins) والمساهمات الملحية لـ "بحيرة فتزارة". فيما يتعلق بتوصيف التربة، فهي تعتبر بمثابة مصائد للعديد من الملوثات ومما جعلها متمكن من استخلاص بعض النتائج. تفسير البيانات التحليلية بوضوح، بالطرق المختلفة، أن درجة حموضة التربة في سهل الحجار تتراوح من 7.92 إلى 8.54، وبالتالي تظل قلوية ضعيفة؛ من ناحية أخرى، فإن محتوى المادة العضوية متغير للغاية لأنه يتأرجح بين 0.97% و 3.01%. تتجاوز تركيزات الهيدروكربونات في المياه والتربة المعيار التقييسي وهو 0.2 ميكروغرام/لتر خاصة بمحطات القياس الواقعة بالقرب من المناطق الصناعية. أخيراً، تمهد هذه النتائج الطريق لبدء مشروع آخر يتعلق بخريطة جودة المياه للمنطقة بأكملها مع تركيز الهيدروكربونات والمعادن الثقيلة التي تشكل ملوثات خطيرة. إن متابعة تطور هذه المعايير سيجعل من الممكن تطوير سياسة الحفاظ على البيئة التي تعتبر ضرورية في هذه الأوقات.

**كلمات مفتاحية:** المياه، مياه الصرف الصحي، الحجار، واد سييوس، واد مبعوجة، تلوث المياه، تلوث التربة، مادة عضوية، عناصر كيميائية، هيدروكربونات.

## **Abstract**

The county of EL-HADJAR is known for the diversity of its local industries which extends from steel mills to the agro-food processing and the many small and medium enterprises established in industrial zones. Industrial remains and domestic wastes are transported to the main OUED-SEYBOUSE River and its affluent OUED-MEBOUDJA, both flanked by large industrial activities. In recent decades, surface water, groundwater and soil pollution have become a problem of particular interest for health preservation and environmental protection. In this study, we expose various parameters used to evaluate the extent of water contamination within this zone through 34 sampling points covering zones which go along the rivers, within EL-HADJAR county plain (2009-2015) and at specific discharge points (2008-2009). The results are expressed in terms of various pollutants concentrations such as the chloride and sodium contents which reached 951.40 mg/l and 242.92 mg/l respectively. The chemical elements  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  have an origin in the leaching of metamorphic formations (cipolins) and with the salty soils contributions of FETZARA Lake. Concerning soils' characterization, they are considered as traps for many entering pollutants and it was possible to draw some conclusions. Interpretations of analytical data by different methods show that the soils of El-Hadjar plain have pH values varying from 7.92 to 8.54 indicating a weakly alkaline state; on the other hand, the organic matter content is variable because it oscillates between 0.97% and 3.01%. Hydrocarbon concentrations in waters and soils exceed the standard limit of 0.2 $\mu\text{g/l}$  at measuring stations close to industrial areas. Finally, these results open the way for another project dealing with the water quality map of the entire region illustrating hydrocarbons and heavy metals concentrations which constitute dangerous pollutants. The evolution of such parameters should lead to develop an environmental preservation policy which is essential in these changing times.

**Keywords:** Water, Waste water, El-Hadjar, Oued-Seybouse, Oued-Meboudja, Water pollution, Soil pollution, Organic matter, Chemical elements, Hydrocarbons.

## **Résumé**

La région d'El Hadjar est connue pour la diversité de ses industries qui s'étend de la sidérurgie à la transformation agroalimentaire en passant par les nombreuses PME implantées dans les zones industrielles. Les débris de déchets industriels et domestiques sont acheminés vers l'important cours d'eau Oued Seybouse et vers son principal affluent l'Oued Meboudja, tous deux flanqués de grandes zones industrielles. Ces dernières décennies, les pollutions des eaux de surface, des eaux souterraines et des sols sont devenues un problème d'intérêts particuliers pour la préservation de la santé et la protection de l'environnement. Dans cette étude, nous exposons les différents paramètres utilisés pour évaluer l'état de contamination des eaux de cette zone en utilisant 34 points d'échantillonnage couvrant des zones qui s'étendent le long des rivières, dans la plaine d'El Hadjar (2009-2015) et des points spécifiques de rejets (2008-2009). Les résultats sont exprimés en termes de concentrations des divers polluants tels que les teneurs en chlorures et en sodium qui ont atteint 951,40 mg/l et 242,92 mg/l respectivement. Les éléments chimiques  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  ont une origine en relation avec le lessivage des formations métamorphiques (cipolins) et avec les apports salifères du lac Fetzara. Concernant la caractérisation des sols, ils sont considérés comme des pièges pour de nombreux polluants et ont permis de tirer des conclusions. L'interprétation des données analytiques par les différentes méthodes montre que les sols de la plaine d'El-Hadjar ont un pH variant de 7.92 à 8.54 et qui reste donc faiblement alcalin ; par contre, la teneur en matière organique est très variable car elle oscille entre 0.97% et 3.01 %. Les concentrations d'hydrocarbures dans les eaux et les sols dépassent bien la norme qui est de 0.2µg/l pour les stations de mesures situées à proximité des zones industrielles. Enfin, ces résultats ouvrent la voie pour la mise en route d'un autre projet relatif à une carte de la qualité de l'eau de toute la région avec les concentrations d'hydrocarbures et de métaux lourds qui constituent des polluants dangereux. L'évolution de ces paramètres permettra de développer une politique de préservation de l'environnement qui s'avère indispensable en ces temps problématiques.

**Mots-clés:** Eau, Eau résiduaire, El-Hadjar, Oued-Seybouse, Oued-Méboudja, Pollution hydrique, Pollution des sols, Matières organiques, Eléments chimiques, Hydrocarbures.

Dédicace	
Remerciements	
الملخص	i
Abstract	ii
Résumé	iii
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	xii
Nomenclature	xiii

## Sommaire

Introduction générale	1
<b>Chapitre 1 : Présentation géologique et hydroclimatologique de la plaine d'El-Hadjar</b>	
1. Contexte géographique et topographie	5
2. Réseau hydrographique	5
1.1. Oued Seybouse	6
2.2. Oued Meboudja	6
3. Contexte socio-économique	7
3.1. Population	7
3.2. Agriculture	8
3.3. L'industrie	9
4. Ressources et besoin en eau	10
4-1. Ressources en eau	10
4.1.1. Les barrages	10
4.1.2. Les retenues collinaires	11
4.1.3. Les forages	11
4.1.4. Les puits	11
4.2. Besoin en eau	12
4.2.1. Besoins en eau potable (AEP)	12
4.2.2. Besoins en eau d'industrie (AEI)	13
4.2.3. Besoins en eau d'irrigation	13
5. Aperçu géologique	13
5.1. Introduction	13
5.1.1. Le Paléozoïque	13
5.1.2. Le Mésozoïque	14
5.1.3. Le Cénozoïque	15
5.1.4. Le Quaternaire	16
6. Cadre structural	17
7. La géomorphologie	21
7.1. Les montagnes	22
7.1-1. L'Edough	22
7.2. La dépression de Fetzara	22

---

7.3. La plaine	22
7.4. Les bassins versants	23
7.4.1. La Mafragh	23
7.4.2. La Seybouse	23
7.5. Les terrasses	23
7.5.1. Basses terrasses	23
7.5.2. Moyennes terrasses	23
7.5.3. Hautes terrasses	23
7.6. Les massifs de bordures	23
7.7. Les marécages	24
7.8. Les plages	24
8. Aperçu hydrogéologique	24
8.1 Introduction	24
8.2. Description des différents aquifères	25
8.2.1. Aquifère superficiel	25
8.2.1.1. La Nappe des gneiss altérés	26
8.2.1.2. La nappe du cordon dunaire	26
8.2.1.3. La nappe des cailloutis des terrasses	26
8.2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles	26
8.2.2. Aquifère profond	26
8.2.2.1. La nappe de cipolins	27
8.2.2.2. La nappe des graviers	27
8.3. La piézométrie	28
9. Aperçu Climatologique	29
9.1. Introduction	29
9.2. Les stations météorologiques utilisées	30
9.3. Aperçu sur les variations des paramètres climatiques	30
9.3.1. Les précipitations	30
9.3.1.1. Répartition saisonnière des précipitations	32
9.3.2. Régime thermique	33
9.3.2.1. Températures moyennes mensuelles	33
9.4. Diagramme Ombrothermique	34
9.5. Bilan hydrique	35
9.5.1 Evapotranspiration	36
9.5.2. L'estimation de l'ETP par la méthode de TURC	41
9.5.3. Calcul du ruissellement	42
9.5.4. Calcul de l'infiltration	42
9.5.5. Discussion (R et I)	43
10. Conclusion	43



## **Chapitre 2 : Etude bibliographique sur la vulnérabilité à la pollution des eaux et des sols : cas de la plaine d'El-Hadjar**

1. Introduction	47
2. La pollution des eaux de surfaces	48
3. Types de pollution	49
3.1. Pollution physique	49
3.2. Pollution chimique	49
4. Les eaux usées	49
5. Impact sur l'environnement et la santé humaine	50
6. Pollution en Algérie	51
7. Diagnostic de la pollution dans la région d'El-Hadjar :	52
7.1. Introduction	52
7.2. Présentation du complexe Arcelor Mittal	53
7.3. Activité du complexe	53
8. Etudes réalisées sur le site:	56
8.1 Vulnérabilité à la pollution	56
8.2 Pollution par les métaux des eaux et sols de la région d'Annaba (A. Louhi, 1997)	58
8.3 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 (T. H. Debièche, 2002)	60
9. Conclusion	61

## **Chapitre 3 : Etude des caractéristiques des sols dans la plaine d'El-Hadjar**

1. Introduction	64
2. Ce qu'est un sol	64
3. Sources et types de polluants rencontrés dans les sols	65
4. Risques de pollution	67
5. Les conséquences possibles sur la santé	67
6. Caractérisation des sols de la plaine d'El Hadjar	68
7 Matériels et Méthodes	70
7.1 Echantillonnage des sols	70
8 Résultats et discussions	72
8.1. Les propriétés physiques des sols	72
8.1.1 La granulométrie	72
8.1.2. Les propriétés physico-chimiques des sols	74
8.1.3. Origine de la salinité des sols	76
8.2 Salinité et sodicité des sols	80
8.2.1 Classification des sols salins	82
8.3 Effet de l'eau salée sur les caractéristiques physico-chimiques de sols	83
9 Conclusion	84

## Chapitre 4 : Etude hydrochimique des eaux de la plaine d'El-Hadjar

1. Introduction	86
2. Matériels et méthodes	87
3. Résultats et discussion	89
3.1 Eaux de rejets	89
3.2 Eaux de surfaces et souterraines	92
3.2.1. Détermination du faciès chimique	92
3.2.2. Indice de contamination (Kherici. N 1993)	96
3.2.3. Indice de pollution organique (IPO) (Leclercq et Maquet 1987)	97
3.2.4. Evolution spatiotemporelle des paramètres physico chimiques	98
3.2.4.1. pH	98
3.2.4.2 Conductivité électrique (CE)	99
3.2.4.3. Les Chlorures	100
3.2.4.4. Les Bicarbonates $\text{HCO}_3^-$	101
3.2.4.5. Les sulfates	102
3.2.4.6. Calcium	103
3.2.4.7. Magnésium	104
3.2.4.8. Sodium ( $\text{Na}^+$ )	105
3.2.4.9. Potassium ( $\text{K}^+$ )	106
3.2.4.10. Les nitrates	107
3.2.4.11. Ammonium	109
3.2.4.12. Phosphates	110
3.2.4.13. Les ETM (éléments traces métalliques)	111
3.2.5. Indices de saturation	114
3.2.6. Aptitude des eaux à l'irrigation	117
4. Conclusion	121

## Chapitre 5 : Contribution à l'étude de la pollution des eaux et des sols par les hydrocarbures dans la plaine d'El-Hadjar

1. Introduction	124
2. Définition	124
3. Propriétés physico-chimiques	126
3.1. Propriétés physiques	126
3.2. Propriétés chimiques	126
4. Valeurs réglementaires	127
5. Effets sur la santé	128
6. Effets sur l'environnement	128
7. Sources de HAP dans l'environnement	128
7.1. Les Cokeries	128
7.2. Les usine à gaz	130
7.3. L'industrie du bois	131

7.4. L'industrie pétrolière	132
7.5. Concentrations ubiquitaires	132
8. Matériels et méthodes	132
9. Résultats et discussions	135
9.1. Interprétation	135
10. Conclusion	137
Conclusion générale	139
Références	143
Annexes	150

## Liste des figures

Figure	Page
<b>Fig.1.1</b> : Carte de la situation géographique de la zone d'étude.	5
<b>Fig.1.2</b> : Carte du réseau hydrographique de la région d'étude.	7
<b>Fig.1.3:</b> Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs.	13
<b>Fig.1.4</b> : Cadre géologique des plaines de la région d'Annaba-Bouteldja [5]	15
<b>Fig.1.5</b> : Coupes géologiques [74]	17
<b>Fig.1.6</b> : Esquisse structurale des plaines d'Annaba-Bouteldja [12]	18
<b>Fig.1.7</b> : Log micropaléontologique du sondage BAD 3 [12]	19
<b>Fig.1.8:</b> Bloc diagramme au travers de la plaine d'Annaba [32]	21
<b>Fig.1.9:</b> Géomorphologie de la plaine d'Annaba [38]	21
<b>Fig.1.10</b> : Profil hydrogéologique schématique de la plaine d'Annaba [49]	25
<b>Fig.1.11:</b> Coupe schématique du système aquifère d'Annaba [39]	28
<b>Fig.1.12</b> : Carte Piézométrique dans le bassin de l'oued Méboudja Avril, 2008[48]	29
<b>Fig.1.13</b> : Stations climatique et hydrométrique dans le bassin de la Seybouse.	30
<b>Fig.1.14:</b> Variation des précipitations moyenne mensuelle au station des Saline (1980-2014)	31
<b>Fig.1.15:</b> Variation des précipitations moyenne mensuelle à la station de Pont Bouchet (1980-2014)	32
<b>Fig.1.16:</b> Variation des précipitations saisonnières à la station des Saline (1980-2014)	32
<b>Fig.1.17:</b> Variation des précipitations saisonnières à la station de Pont Bouchet (1980-2014)	33
<b>Fig.1.18:</b> Variations des températures moyennes mensuelles (station des Salines (1980-2014)	34
<b>Fig.1.19:</b> Variations des températures moyennes mensuelles (station de Pont Bouchet (1980-2014)	35
<b>Fig.1.20:</b> Diagramme Ombrothermique à la station des Saline (1980-2014)	35
<b>Fig.1.21:</b> Diagramme Ombrothermique à la station de Pont Bouchet (1980-2014)	35
<b>Fig.1.23</b> : Le cycle hydrologique.	36
<b>Fig.1.24</b> : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station des Salines (1980-2014)	38
<b>Fig.1.25</b> : Représentation graphique du bilan hydrique de la station les Salines (1980-2014)	38
<b>Fig.1.26</b> : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Pont Bouchet (1980-2014)	39
<b>Fig.1.27</b> : Représentation graphique du bilan hydrique de la station Pont Bouchet (1980-2014)	40

<b>Fig.2.1:</b> Comportement du polluant dans son environnement	48
<b>Fig.2.2:</b> Complexe sidérurgique Arcelor Mittal Algérie [12]	55
<b>Fig.2.3:</b> Carte de vulnérabilité et de risque de pollution de la nappe superficielle dans la région d'Annaba-Bouteldja [7]	57
<b>Fig.3.1:</b> Répartition moyenne en% des différentes phases du sol	64
<b>Fig.3.2:</b> Relation sol et santé humaine	68
<b>Fig.3.3:</b> Différents types de sol de la plaine d'El Hadjar	70
<b>Fig.3.4:</b> Carte d'inventaire des points de prélèvements du sol dans la plaine d'El-Hadjar	71
<b>Fig.3.5 :</b> Texture des sols de la région de la plaine d'El-Hadjar	73
<b>Fig.3.6:</b> Evolution du pH dans les sols de la plaine d'El-Hadjar	74
<b>Fig.3.7:</b> Evolution du carbone total dans les sols de la plaine d'El-Hadjar	75
<b>Fig.3.8:</b> Evolution de la matière organique dans les sols de la plaine d'El-Hadjar	76
<b>Fig.3.9:</b> Evolution du Conductivité électrique dans les sols de la plaine d'El-Hadjar	78
<b>Fig.3.10:</b> Evolution du Sodium et du potassium dans les sols de la plaine d'El-Hadjar	78
<b>Fig.3.11:</b> Evolution du Calcium et du Magnésium dans les sols de la plaine d'El-Hadjar	78
<b>Fig.3.12:</b> Evolution du CEC dans les sols de la plaine d'El-Hadjar	80
<b>Fig.3.13:</b> Classification des sols de la région de la plaine d'El-Hadjar [64]	83
<b>Fig.4.1 :</b> Schéma possible de fonctionnement des systèmes aquifères de la région d'Annaba [29]	87
<b>Fig.4.2 :</b> Carte d'inventaire des points de prélèvements dans la plaine d'El Hadjar	88
<b>Fig.4.3 :</b> Evolution du pH des eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)	89
<b>Fig.4.4 :</b> Evolution de la conductivité électrique des eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)	90
<b>Fig.4.5 :</b> Evolution des teneurs du fer dans les eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)	90
<b>Fig.4.6 :</b> Evolution des teneurs du cuivre dans les eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)	91
<b>Fig.4.7 :</b> Evolution des teneurs du DBO <sub>5</sub> et du DCO dans les eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008)	91
<b>Fig.4.8 :</b> Diagramme de Piper (2009).	94
<b>Fig.4.9:</b> Diagramme de Piper (2015).	94
<b>Fig.4.10:</b> Diagramme de Schoeller Berkloff (2009).	95
<b>Fig.4.11 :</b> Diagramme de Schoeller Berkloff (2015).	96

<b>Fig.4.12</b> : Variation du pH dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	98
<b>Fig.4.13</b> : Variation de la conductivité électrique dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar	100
<b>Fig.4.14</b> : Variation des Chlorure dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	101
<b>Fig.4.15</b> : Variation des HCO <sub>3</sub> dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	102
<b>Fig.4.16</b> : Variation des sulfates dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	103
<b>Fig.4.17</b> : Variation du Calcium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	104
<b>Fig.4.18</b> : Variation du Magnésium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	105
<b>Fig.4.19</b> : Variation de Na <sup>+2</sup> dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	106
<b>Fig.4.20</b> : Variation de potassium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	107
<b>Fig.4.21</b> : Variation des Nitrites dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	108
<b>Fig.4.22</b> : Variation des Nitrates dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	109
<b>Fig.4.23</b> : Variation de l'Ammonium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	110
<b>Fig.4.24</b> : Variation des Phosphates dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.	111
<b>Fig.4.25</b> : Variation des teneurs en Fer dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar	112
<b>Fig.4.26</b> : Variation des teneurs en Manganèse dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar	113
<b>Fig.4.27</b> : Variation des teneurs en Cuivre dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar	113
<b>Fig.4.28</b> : Variation des teneurs en Zinc dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar	114
<b>Fig.4.29</b> : Indices de saturation des minéraux évaporitiques pour les eaux de la plaine d'El-Hadjar (2009)	115
<b>Fig.4.30</b> : Indices de saturation des minéraux carbonatés pour les eaux de la plaine d'El-Hadjar (2009)	116
<b>Fig.4.31</b> : Indices de saturation des minéraux Ferreux pour les eaux de la plaine d'El-Hadjar (2009)	116
<b>Fig.4.32</b> : Evolution spatio temporelle de la salinité des eaux de la plaine d'El-Hadjar	118
<b>Fig.4.33</b> : Variation de l'indice de L'indice Kelly's Ratio (K.R.)	119
<b>Fig.4.34</b> : Diagramme de Wilcox (Année 2015)	121
<b>Fig.5.1</b> : Trois groupes de HAP sont à considérer (fonction de leurs propriétés physico-chimiques)	127
<b>Fig.5.2</b> : Analyseur d'hydrocarbure OCMA 310 (HORIBA)	133
<b>Fig.5.3</b> : Quelques photos des sites de prélèvements	134
<b>Fig.5.4</b> : Carte d'inventaire des points de prélèvements des hydrocarbures dans la plaine d'El-Hadjar	135
<b>Fig.5.5</b> : Variation des concentrations des hydrocarbures dans les eaux de la région d'étude (Septembre 2015)	136
<b>Fig.5.6</b> : Variation des concentrations des hydrocarbures dans les eaux de la	136

---

région d'étude (Janvier 2016)	
<b>Fig.5.7</b> : Variation des concentrations des hydrocarbures dans les sols de la région d'étude (Septembre 2015)	137

## Liste des tableaux

Tableau	Page
<b>Tab.1.1</b> : Les affluents de la Seybouse .source [3]	6
<b>Tab.1.2</b> : Répartition de la population de la région d'Annaba	7
<b>Tab.1.3</b> : Retenues et leurs caractéristiques dans les communes de la Wilaya d'Annaba	11
<b>Tab.1.4</b> : Inventaire des puits dans la Wilaya d'Annaba (Alimentation en eau potable; Agriculture)	12
<b>Tab.1.5</b> : Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba.	27
<b>Tab.1.6</b> : Les coordonnées géographiques des stations pluviométriques.	30
<b>Tab.1.7</b> : Répartition des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières à la station des Saline (1980-2014).	31
<b>Tab.1.8</b> : Répartition des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières à la station de Pont Bouchet (1980-2014)	31
<b>Tab.1.9</b> : Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières (station des Salines 1980-2014).	33
<b>Tab.1.10</b> : Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières (station de Pont Bouchet 1980-2014).	34
<b>Tab.1.11</b> : Bilan hydrique selon la méthode de « <i>THORNTHWAITE</i> », Station Les Salines, (1980-2014).	37
<b>Tab.1.12</b> : Bilan hydrique selon la méthode de « <i>THORNTHWAITE</i> », Station Pont Bouchet (1980-2014).	39
<b>Tab.1.13</b> : Récapitulatif des ETR et de l'ETP concernant les stations Les Salines et Pont Bouchet (1980-2014).	42
<b>Tab.1.14</b> : les résultats obtenus par la formule de Tixeront-Berkaloff concernant les stations des Salines et Pont Bouchet (1980-2014).	42
<b>Tab.1.15</b> : les résultats d'infiltration concernant les stations des Salines et Pont Bouchet (1980-2014).	43
<b>Tab.2.1</b> : Types et Quantités de rejets provenant de l'unité Arcelor Mittal Algérie.	55
<b>Tab.2.2</b> : Résultats des analyses des eaux superficielles dans la région de Sider [41]	58
<b>Tab.2.3</b> : Analyse des sols [40]	58
<b>Tab.2.4</b> : Composition physico-chimique des eaux de l'oued Meboudja (ppm) [34]	61
<b>Tab.3.1</b> : Les principales dégradations des sols [54]	67
<b>Tab.3.2</b> : Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols	71
<b>Tab.3.3</b> : Résultats de l'analyse granulométrique des sols de la région d'El-Hadjar.	73
<b>Tab.3.4</b> : Classification des sols en fonction de la conductivité électrique [64]	77
<b>Tab.3.5</b> : Classification des sols en fonction de la CEC (meq/100 g).	79
<b>Tab.3.6</b> : Le rapport d'adsorption de sodium et le pourcentage de sodium échangeable des solutions de sols	82



<b>Tab.3.7:</b> Classification des sols salins [64].	82
<b>Tab.4.1 :</b> Faciès chimiques des eaux de la plaine d'El-Hadjar et les deux Oueds Seybouse et Méboudja (2009).	93
<b>Tab.4.2 :</b> Intervalle des classes [39]	97
<b>Tab.4.3:</b> Indice de Contamination des eaux	97
<b>Tab.4.5 :</b> Intervalle des classes des paramètres de pollution organique(Leclercq et Maquet 1987)	98
<b>Tab.4.5:</b> Grille de degré d'indice de pollution organique.	98
<b>Tab.4.6:</b> Indice de pollution organique des eaux	98
<b>Tab.4.7 :</b> Intervalle des classes de l'Ammonium dans l'eau.	109
<b>Tab.4.8 :</b> Classes de salinité selon Richards	118
<b>Tab.4.9 :</b> Valeurs de KR des différents points d'eau d'Oued Méboudja et Oued Seybouse	119
<b>Tab.4.10 :</b> Classification des eaux en fonction du % Na <sup>+</sup>	119
<b>Tab.4.11 :</b> % Na <sup>+</sup> des différents points d'eau d'Oued Méboudja et Oued seybouse.	119
<b>Tab.4.12 :</b> Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR.	120
<b>Tab.5.1 :</b> Liste des 16 HAP classés prioritaires par [63]	125
<b>Tab.5.2 :</b> Liste des HAP considérés par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO, 2003)	125

## Introduction générale

De nos jours, il est définitivement compris que le phénomène de la pollution englobe toutes les manières qui concourent à l'altération de l'environnement ou bien modifient les conditions naturelles de la santé du vivant. Communément, il en découle des impacts négatifs voire des menaces dangereuses sur l'intégrité les éléments naturels de la vie tels que l'air, l'eau, le sol et les différentes bio-ressources terrestres.

La pollution des sols et des cours d'eaux est fréquemment d'origine chimique ou biologique et elle est découle des procédés industriels de transformations, des engrais agricoles, des eaux usées et rejets des êtres vivants. Aussi, l'atmosphère est soumise aux dangers des particules solides et des gaz à effets de serre. En effet, différents gaz existants dans la nature comme le CO<sub>2</sub> sont devenus des polluants à cause des technologies qui les ont fait accumuler de façon non naturelle dans l'air depuis des décennies. A travers plusieurs régions du Nord et Nord-Est Algériens, ces manifestations de la pollution dans notre environnement continuent à prendre des ampleurs qui sont parfois qualifiées de catastrophiques. Il y a la pollution atmosphérique par les industries sidérurgiques et pétrochimiques, la pollution hydrique par les rejets des zones industrielles dans les Oueds Meboudja et Seybouse, la pollution des sols par les engrais agricoles et les boues des stations de traitement des eaux usées et enfin une certaine pollution marine mais avec un degré moindre.

L'objet de cette étude est d'établir certains aspects de pollution en rapport avec une région réputée par un caractère à la fois industriel et agricole depuis fort longtemps. L'histoire de la vaste de la plaine d'El-Hadjar sillonnée par l'Oued Seybouse est originellement plutôt agricole, ce n'est qu'à la fin des années 50 que le complexe sidérurgique fût érigé. Des unités industrielles de grande envergure comme les hauts fourneaux, la cokerie, les aciéries, les tuberiers, la synthèse de l'ammoniac, la fabrication des acides phosphorique et nitrique, la fabrication d'engrais phosphatés et les transformations agro-alimentaires sont étalées sur toute la plaine et constituent des sources potentielles de pollutions diverses. Un intérêt particulier a été accordé à la situation environnementale de cette région au vu du nombre d'études déjà réalisées. Parmi ces travaux, il y a : Nafaa (1985), Hannouche (1990), Kherici (1993), Djabri

(1996), Louhi (1996), Zenati (1999), Debieche (2002), Hani (2003), Derradji (2004), Hazourli (2007), Hamzaoui (2007).

Les rejets industriels sont très diversifiés et nécessitent des suivis afin d'évaluer la contamination des sols et les effets sur les eaux souterraines et de surface, non seulement pour apprécier les apports au milieu naturel et situer l'impact de la pollution sur la qualité du milieu récepteur, mais aussi pour pouvoir assurer une maîtrise des formes de pollutions dans la région. Ceci va permettre de pouvoir appliquer les plans de surveillance et de suivi des effets des pollutions avec la recherche de recommandations propres au site d'El-Hadjar.

L'atteinte de ces objectifs doit se faire par le biais du repérage des caractéristiques qualitatives des différents rejets et de l'évaluation quantitative des pollutions occasionnées et de leurs effets. Ces démarches nécessitent obligatoirement deux activités complémentaires :

- Le prélèvement à la fois d'échantillons représentatifs des sols, de l'eau de surface et de l'eau souterraine de la région considérée. Cette approche reste convenable à partir du moment où l'échantillonnage se fait dans les mêmes circonstances et dans un périmètre assurément réduit gardant la qualité représentative du point de prélèvement. Pour diminuer les conséquences d'une évolution trop rapide de la qualité de l'eau ou du sol, les échantillons devront être conservés dans un milieu thermiquement isolé pendant le transport vers le laboratoire dans les meilleurs délais.

- La détermination des concentrations des polluants présents dans l'eau et éventuellement dans le sol. Ceci implique un choix délicat des paramètres représentatifs de la pollution à cause de son caractère diversifié. En général, ces pollutions sont représentées par des mélanges de produits organiques et minéraux qui peuvent être présents sous trois formes ; c'est-à-dire soluble, colloïdale ou en suspension. Les critères usuels de mesure de la pollution sont nombreux :

- Grandeurs physiques telles que : Température, Salinité, pH, O<sub>2</sub>, Minéralisation (conductivité), Eh, débits ou masses...
- Pollution organique : DCO, DBO<sub>5</sub>, MOX, CO<sub>2</sub>
- Pollution azotée et phosphorée à l'origine de l'eutrophisation
- Concentrations de métaux lourds tels que : Cu, Pb, Zn, Fe...
- Recherche de cations et anions (qui modifient la qualité de l'eau).

Dans cette étude et à travers les cinq chapitres qui suivent, nous avons essayé spécifiquement de faire le point sur l'état de la pollution des eaux de l'Oued Meboudja et des nappes (superficielle et profonde) associée à une caractérisation des sols. La nature du travail repose sur le contexte de l'étude, les travaux précédents, les études géochimique et hydrologique et l'approche de la pollution par les hydrocarbures.

Dans le premier chapitre nous analyserons le contexte général de la région d'étude sous différents points de vue : géomorphologique, géologique et structural. Nous évoquerons également dans le même chapitre les caractéristiques géométriques et hydrodynamiques des deux nappes. Suivi d'une étude hydro-climatologiques avec l'évaluation des différents termes du bilan hydrique pour pouvoir donner une estimation de la réserve en eau de la nappe.

- Dans le deuxième chapitre nous essayerons de donner une vue sur la vulnérabilité à la pollution des eaux et des sols dans la plaine d'El-Hadjar
- Le troisième chapitre présente une étude géochimique des sols de la région d'étude. Dans cette partie, nous avons essayé d'expliquer à partir d'une approche géochimique certains processus responsables, d'une part de l'état chimique actuel des sols.
- le quatrième chapitre sera consacré à l'étude des caractéristiques hydrochimiques des eaux de l'oued Meboudja, de la nappe superficielle et de la nappe de graviers où nous suivrons l'évolution spatiale et temporelle de la pollution dans l'eau et d'essayer également de déterminer l'origine de la pollution.
- Le cinquième chapitre présente une approche sur la pollution des sols et des eaux de la région d'étude par les hydrocarbures et leur influence sur l'environnement et la santé humaine.
- Enfin, conclusions découlant de ce travail.

## **CHAPITRE 1**

# **PRESENTATION GEOLOGIQUE ET HYDROCLIMATOLOGIQUE DE LA PLAINE D'EL-HADJAR**

## 1. Contexte géographique et topographie

La zone d'étude qui constitue la basse plaine de la Seybouse se situe au nord-est de l'Algérie et appartient au système aquifère Annaba - Bouteldja (Fig.1.1). Ses limites naturelles sont :

- au Nord, la mer méditerranéenne ;
- à l'Ouest, du Sud au Nord, le massif de Belelieta (287 m), de Boukhadra (152 m) et du massif de l'Edough (1008 m) ;
- au Sud les Monts de Cheffia et d'El-Kala (1411m) ;
- enfin à l'Est, le prolongement oriental du système aquifère Annaba - Bouteldja.

Cette zone est caractérisée par une topographie plane marquée par des inclinaisons importantes aux bordures de la plaine, à la partie Ouest et Sud, dues à l'anticlinal du massif métamorphique de l'Edough, Bellielita et celle de la chaîne numidienne.



**Fig.1.1** : Carte de la situation géographique de la zone d'étude.

## 2. Réseau hydrographique

La région d'étude est parcourue par deux oueds d'inégale importance (Fig.1.2) : (i) Oued Seybouse et (ii) Oued Meboudja

## 2.1. Oued Seybouse

C'est le deuxième oued en Algérie, il draine un vaste bassin d'une superficie 6471 km<sup>2</sup> avec un débit annuel de 441 millions de m<sup>3</sup>. Depuis les hautes plaines de Sellawa et de Heracta, l'Oued Seybouse s'écoule dans une vallée de direction Sud- Nord. Il résulte de la confluence de l'Oued Charef et l'Oued Bouhamdane dans la région de Guelma, passant par Chihani et la plaine d'Annaba où l'écoulement devient régulier et lent et recevant l'Oued Meboudja avant de se jeter finalement dans la Méditerranée (Tab. 1). On note que l'Oued Bouhamdane n'alimente plus l'Oued Seybouse car il a été capté pour construire le barrage Bouhamdane. Ceci a eu pour effet la baisse des débits de l'Oued et par conséquent une dégradation de la qualité des eaux due aux divers apports.

**Tab.1.1** : Les affluents de la Seybouse. [3]

Ordre	Nom de l'affluent	Wilaya	Commune	Type
01	O. Cherf	Guelma	Medjez Amar	Permanent
02	O.Bouhamdane	Guelma	Medjez Amar	Permanent
03	O.Touta	Guelma	El Fedjouj	Collecteur
04	O.Skhoun	Guelma	Guelma	Collecteur
04	O.Maiz	Guelma	Guelma	Collecteur
05	O.Zimba	Guelma	Belkheir	Collecteur
06	Chaaba Mekkouka	Guelma	Boumahra	Collecteur
07	O.Bousra	Guelma	Boumahra	Collecteur
08	O.Halia	Guelma	Hammam N'bail	Permanent
09	O.Malah	Guelma	Bouchegouf	Permanent
10	O.Frarah	Guelma	O.Fragha	Temporaire
11	O.Lesfah	Guelma	O.Fragha	Temporaire
12	O.Sbaa	El tarf	Dréan	Temporaire
13	O.Meboudja	Annaba	El Hadjar	Permanent

## 2.2. Oued Meboudja

Constituant un collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et l'Oued Seybouse, l'Oued Meboudja draine une superficie de 203 km<sup>2</sup> avec un faible débit par rapport à celui de l'Oued Seybouse. Il présente une crue quinquennale de 20 m<sup>3</sup>/s (Benouna et al, 1986) due au mauvais drainage au Sud du complexe sidérurgique et il reçoit l'Oued





La croissance industrielle dans la wilaya d'Annaba pendant les années 70, a conduit à un exode rural massif des populations vers celle-ci. Cet accroissement de la population dans les grandes communes a provoqué l'extension des zones urbanisées.

Les problèmes des terrains fonciers limités dans ces communes, aggravent celui du logement. Une politique des nouvelles cités lancées a pour objectif de contribuer à l'amélioration des conditions de vie pour la population. C'est pour ces raisons qu'on trouve le long du piémont des nouvelles cités implantées de part et d'autres, qui sont en extension continue. Parmi elles, on cite Oued Zied, BerkaZerga, HadjarEddiss, Kherraiza et Bergouga.

Les derniers recensements ont permis d'apprécier la répartition de la population, qui présente une grande intégralité. Elle se concentre le plus souvent autour des zones industrielles, terres agricoles et des points d'eau. On distingue trois zones :

➤ **Zone faiblement peuplée :** Elle se localise aux alentours du Lac Fetzara et plus précisément au Sud. Elle comprend les Cités de : El Eulma, Cheurfa, El Hashassia, Aziz Ahmed, Sidi Hamed et El Gantra. Ce sont des zones dépourvues d'axes de communication et où les terres cultivables sont rares.

➤ **Zone moyennement peuplée :** Ce sont les Cités : d'El Kerma, Houraicha, Griche, HadjarEddisse et DerradjiRedjem. Ce sont des zones agricoles avoisinant des zones industrielles.

➤ **Zone fortement peuplée :** Elle correspond aux chefs-lieux des communes de Sidi Amar, El Bouni et El-Hadjar. Ce sont des zones à vocation agricole et industrielle, où les moyens de communication sont développés.

### 3.2. Agriculture

La zone d'étude fait partie de la zone agricole méditerranéenne. Les cultures qui y sont pratiquées sont principalement des cultures d'hiver pendant la période principale de précipitation, des cultures d'été pendant la période sèche ou l'on pratique l'irrigation, et d'autres produits qu'on peut cultiver durant toute l'année; On cite :

➤ **Les cultures céréalières :** La région d'étude présente des grandes étendues favorables à ce type de pratiques culturales. Elles s'étendent même sur les endroits à topographie chahutée. Blé dur, blé tendre et orge constituent les principales cultures

➤ **Les cultures industrielles :** Ce sont principalement le tabac et la tomate industrielle. Cette dernière est une spécialité des wilayas d'Annaba, El Tarf et Skikda qui produisent environ 80% de la production nationale.

Les cultures industrielles ont pour objet de développer le revenu des exploitations agricoles ainsi que l'activité économique des zones. Les cultures industrielles sont aussi un moyen de fournir des produits pouvant se substituer à des importations d'autres pays.

➤ **Les cultures maraîchers et les légumes secs :** Ils sont moins répandus dans la région d'étude. Parmi ces cultures, on cite la pomme de terre, pastèque, melon, pois chiche.

➤ **L'arboriculture :** Elle est moins présente dans cette région. Elle est représentée essentiellement par des agrumes, des noyaux des pépins, des oliviers et la viticulture. On note que les oliviers sont des plantations oléicoles à l'état sauvage ou travaillé. Ce type d'arbre parfois associé à des cultures annuelles, a souvent été planté sur des terrains en pente ou en plat.

➤ **Les terrains incultes :** Ils occupent une grande superficie surtout dans la région du Lac Fetzara. La plupart de ces terrains incultes sont des terrains inondés pendant la période des pluies. Au niveau de la plaine, la région dans son ensemble est vouée aux céréales et à la tomate industrielle. Après les mois humides, en juin, le paysage prend un aspect désertique.

➤ **Les terrains nus :** Ce sont des terrains non occupés par une quelconque végétation. Ces terrains sont généralement situés au nord de la région et au niveau de la lunette sableuse qui sépare le Lac Fetzara et la plaine Ouest d'El-Hadjar.

La région se trouve à proximité de la mer méditerranée. Compte tenu de cette situation, la pêche constitue une activité prédominante ; néanmoins, le milieu aquatique marin est menacé par la pollution due aux différents rejets.

### 3.3. L'industrie

Elle occupe dans la région une place importante, elle se positionne surtout en bordures de l'oued Meboudja et la Seybouse, on peut citer :

- La zone industrielle de Kalitoussa à Berrahal.
- L'industrie lourde (SIDER, S.N.V.I., FERROVIAL),
- L'industrie pétrochimique (ASMIDAL),
- La zone industrielle de l'Allelik
- L'industrie légère (ORELAIT),
- De nombreuses PMI (petites et moyennes industries) généralement agroalimentaires.

D'autres entreprises sont disséminées dans la plaine. Ces différentes entreprises sont classées suivant leur activité et leur degré de pollution :

- Industries particulièrement polluantes : (Sider, Kalitoussa, Meboudja I et II, Asmidal, Orelait et Géni-Sider);
- Industries alimentaires et agro-alimentaires.

L'ensemble des rejets urbains et industriels se jette directement dans les oueds, sauf celui de l'usine Fertial qui envoie ces rejets directement au niveau de la mer.

## **4. Ressources et besoin en eau**

### **4.1. Ressources en eau**

La wilaya d'Annaba est une région à vocation industrielle et agricole. Ses activités font d'elle une grande utilisatrice d'eau. La demande en eau potable ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre pour satisfaire les secteurs utilisateurs et les besoins des populations.

#### **4.1.1. Les barrages**

- La région d'Annaba dispose de trois barrages (Oued El Aneb, Bougasaiba, et Guss) qui sont de faible capacité qui totalisent un volume régularisé d'environ 11 millions de mètres cubes.

- La ville aussi est alimentée par les barrages de Cheffia et de Mexa, le premier avec un volume régularisable de 95 Hm<sup>3</sup>/an, assure l'alimentation en eau d'Annaba et l'irrigation du périmètre Bounamoussa (16500 ha). En période normale, en dehors des cycles de sécheresse, cet ouvrage permet la mobilisation de 45 Hm<sup>3</sup>/an pour Annaba.

Le barrage Mexa, d'un volume régularisable de 44 Hm<sup>3</sup>/an, assure l'alimentation de la wilaya d'El Tarf et de la wilaya d'Annaba. Il permet la mobilisation de 16 millions [m<sup>3</sup>/an] pour Annaba.

#### 4.1.2. Les retenues collinaires

Les retenues collinaires inventoriées à travers toute la wilaya d'Annaba sont réparties sur plusieurs communes et sont regroupées dans le tableau N°1.3.

**Tab.1.3** : Retenues et leurs caractéristiques dans les communes de la Wilaya d'Annaba

Commune	Nombre total de retenues	Capacité minimum (m <sup>3</sup> )	Capacité maximum (m <sup>3</sup> )	Volume global mobilisé (m <sup>3</sup> )
AïnBerda	18	30.000	300.000	1.955.000
Eulma	12	36.000	209.000	1.212.000
Cheurfa	10	25.000	180.000	691.000
El Bouni	01	-	-	90.000
Berrahal	08	45.000	400.000	995.000
Tréat	10	36.000	120.000	766.000
Oued El Aneb	08	30.000	95.000	555.000
Annaba	67	25.000	400.000	6.264.000

#### 4.1.3. Les forages

Les champs de captage sont composés de 32 forages à Bouteldja produisant 28000 m<sup>3</sup>/j, de 9 forages aux Salines dont 7 forages fonctionnant 24h/24h assurent 10000 m<sup>3</sup>/j et 5 forages à Pont Bouchet pouvant assurer 3000 m<sup>3</sup>/j (actuellement 1 forage en exploitation). Ces derniers forages produisent une eau de mauvaise qualité (RS =1,9 à 2,2 g/l), ils ont été réalisés en 1990 dans le cadre d'un programme d'urgence pour faire face à une période de sécheresse.

#### 4.1.4. Les puits

D'après un inventaire actualisé en 2001, on compte un minimum de 826 puits dans les limites des communes de la wilaya d'Annaba (Tab.1.4).

**Tab.1.4** : Inventaire des puits dans la Wilaya d'Annaba (Alimentation en eau potable; Agriculture)

<b>Commune</b>	<b>Nombre total des puits</b>	<b>Destination fréquente</b>
Annaba	25	Domestique
El Hadjar	40	-
Chétaibi	03	AEP
Oued Al Aneb	06	AEP
Berrahel	15	AEP+ Agr
Tréat	28	AEP+Agr
Sidi Amar	06	-
Ain Berda	24	-
Cheurfa	23	Agr

Dans le tableau N°1.4, les puits qui disposent d'un numéro d'ordre, d'où un total de 170 puits classés à travers la wilaya d'Annaba. Sur les 826 repérés, 452 puits sont non fonctionnels et les 374 restants se répartissent comme suit :

- 243 puits destinés pour l'irrigation
- 61 puits pour l'AEP et l'élevage
- 19 puits pour l'élevage et le bétail uniquement
- 51 puits sans aucune précision.

#### **4-2. Besoin en eau**

En fonction de l'accroissement démographique et du développement de l'industrie et de l'agriculture, les besoins en eau dans les divers secteurs de consommation (domestique, industriel et agricole), s'accroissent de jour en jour. Ils sont Globalement estimés à près de 200 l / j / hab.

##### **4-2-1. Besoins en eau potable (AEP)**

Les besoins en eau domestiques représentent environ 52 % de l'ensemble des besoins. Cela est dû au développement démographique considérable (58869 hab.). La dotation moyenne est de 140 l / j / hab. dont la moyenne nationale est de 150 l / j / hab.

##### **4.2.2. Besoins en eau d'industrie (AEI)**

La consommation industrielle (AEI) est considérée comme le deuxième consommateur d'eau avec un taux de 31 % de la totalité des besoins de la plaine. Toutefois, cette dominance est due au réseau industriel plus intensif. L'usine sidérurgique d'El Hadjar (ARCELOR MITALL STEEL) utilise la quasi-totalité de cette quantité.

#### 4-2-3. Besoins en eau d'irrigation

Comme il est figuré dans le diagramme ci-dessous (Fig.1.3) les besoins en eau d'irrigation sont de l'ordre de 17 %.

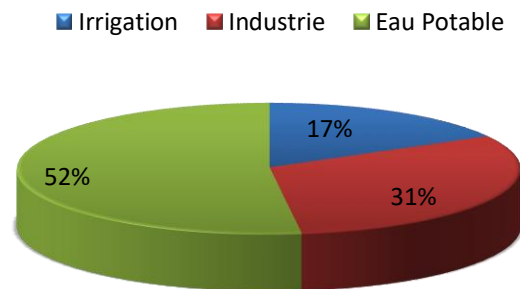


Fig.1.3: Représentation graphique des besoins en eau selon les trois secteurs.

## 5. Aperçu géologique

### 5.1. Introduction

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux souterraines et des eaux superficielles. Nous voulons montrer ici la complexité géologique des diverses formations lithologiques qui contribuent à expliquer la nature des réservoirs, des zones imperméables et des zones en voie de dissolution.

Les études géologiques qui ont été faites sur la région (Joleaud, 1936 ; Hilly, 1962 ; Vila, 1980 ; Lahondère 1987 ; J. Ilavsky. 1987 ; Gleizes, 1988 ; Hammor, 1992), montrent l'existence de deux types de terrains métamorphique et sédimentaires L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Paléozoïque au Quaternaire (Fig. 1.4)

#### 5.1.1. Le Paléozoïque

Le socle d'âge primaire affleure à l'ouest dans le massif de Dj. Edough, Belelieta et Bouhamra, constitué par des roches cristallophylliennes qui se superposent en trois séries :

- Série inférieure, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70 m, cette formation constitue le coeur de l'anticlinal du massif de l'Edough ;

- La série intermédiaire, caractérisée par des schistes et des micaschistes riches en biotite, muscovite et du grenat et parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'oeil nu. Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme de skarns ;

- Série supérieure, constituée par un ensemble de gneiss ocellés, schistes satinés, micaschistes, grenats et amphibolites.

Ces trois séries du point de vue hydrogéologique sont peu importantes, sauf pour le gneiss altéré ou le cipolin fissuré qui peuvent constituer le siège d'une nappe d'eau souterraine mais toujours à faible potentiel hydraulique.

Les accidents tectoniques connus jusqu'à ce jour dans le massif de l'Edough permettent de déceler deux familles d'accidents :

- Une première famille, dont l'orientation est NW-SE. La direction la plus fréquente de ces accidents varie de N 120° E à N 150°E.

- La seconde famille, qui semble être conjuguée à la première, est dirigée NE-SW.

### **5.1.2. Le Mésozoïque**

Le secondaire affleure également en dehors de la région d'étude, dans la partie sud, au niveau de la région de Guelma et de Bouchegouf, située à une quarantaine de km au sud du secteur étudié. Il est constitué par :

- Le Trias, formé par une association de dolomies, calcaires dolomitiques et de gypse ;
- Le Jurassique, représenté par des dolomies noires et des schistes calcareux ;
- Le Crétacé qui comporte des calcaires dolomitiques riches en foraminifères et des débris de rudistes.

Seul le Crétacé supérieur (Sénonien) est représenté dans la région, il occupe presque la totalité des monts de la Cheffia. Il est caractérisé par un faciès schisteux plus au moins argileux. Parfois il s'agit aussi d'un passage de calcaire avec alternance de marnes ou de microbrèches épais de 5 à 10 cm. Quelques forages de reconnaissance répartis dans la cuvette de la Cheffia et réalisés dans le cadre d'une étude géologique au droit de l'emplacement du barrage et de la galerie d'amenée ont recoupé ces faciès.





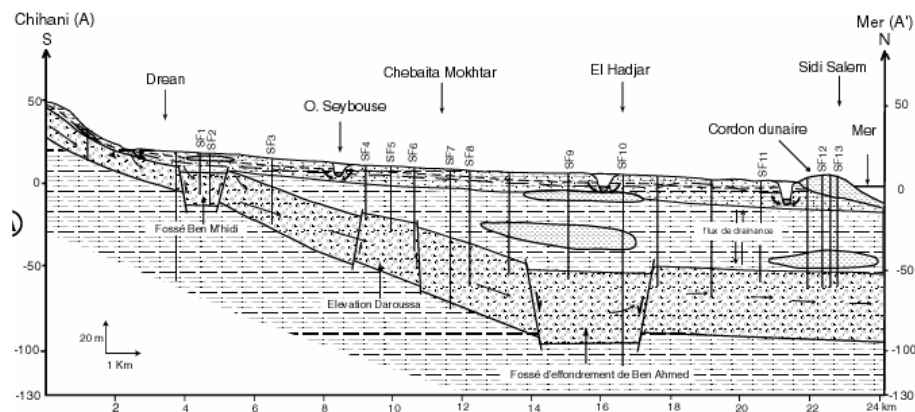
Ces formations sont liées aux dépôts des fosses d'effondrement. En effet, la prospection par sismique réflexion a mis en évidence l'existence de deux fosses [59, 60] :

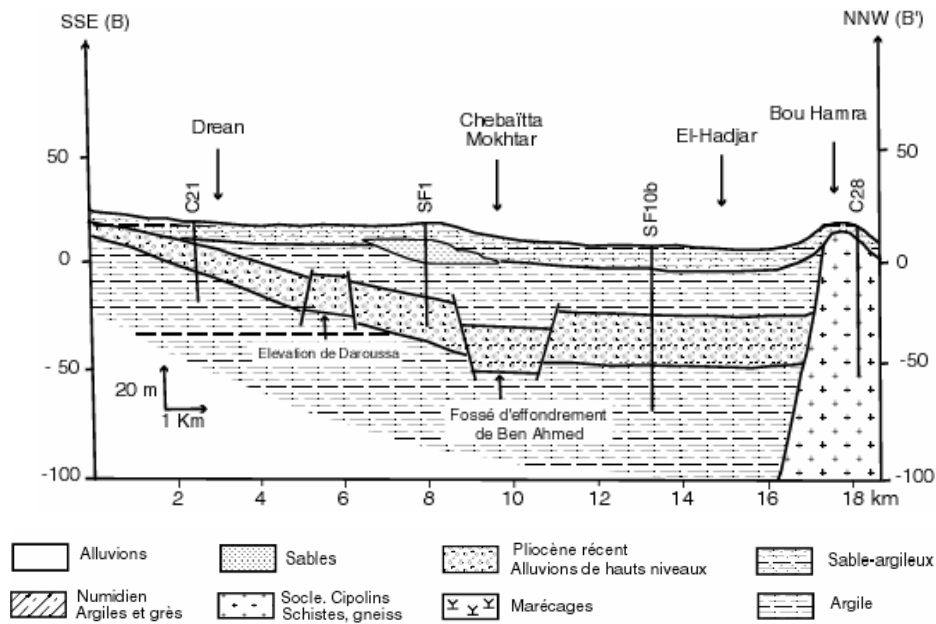
- La fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N,
- La fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE.

Ces deux fosses sont séparées par le haut fond de Daroussa (ou élévation de Daroussa). Cet effondrement s'est produit au cours du Mio-Pliocène. Ces dépôts qui le remplissent forment une série continentale argilo-sableuse avec des lits de conglomérats constituant le réservoir de la nappe captive des plaines d'Annaba-Bouteldja.

#### 5.1.4. Le Quaternaire

D'après L. Joleaud (1936) trois niveaux sont distingués (Fig. 1.5): - Le Quaternaire ancien (haute terrasse), constitué par des formations alluviales (argile, limon, sable, gravier et galets) et formant un réservoir d'eau superficielle, son altitude varie entre 75 et 150 m ; - Le Quaternaire moyen correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constitué par des argiles, et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région surtout au niveau de la vallée de l'oued Seybouse - Le Quaternaire récent, correspond au sable des cordons dunaires littoraux et aux limons alluvionnaires de la Seybouse. - Quaternaire actuel, Les alluvions sont représentées par des dépôts du lit actuel de l'Oued, généralement de matériaux variés, argiles, sables et des cailloux, résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued. Cette description géologique a fait apparaître que dans la zone d'étude, seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations du Primaire et celle du Tertiaire (Eocène inférieur et Oligocène), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées.



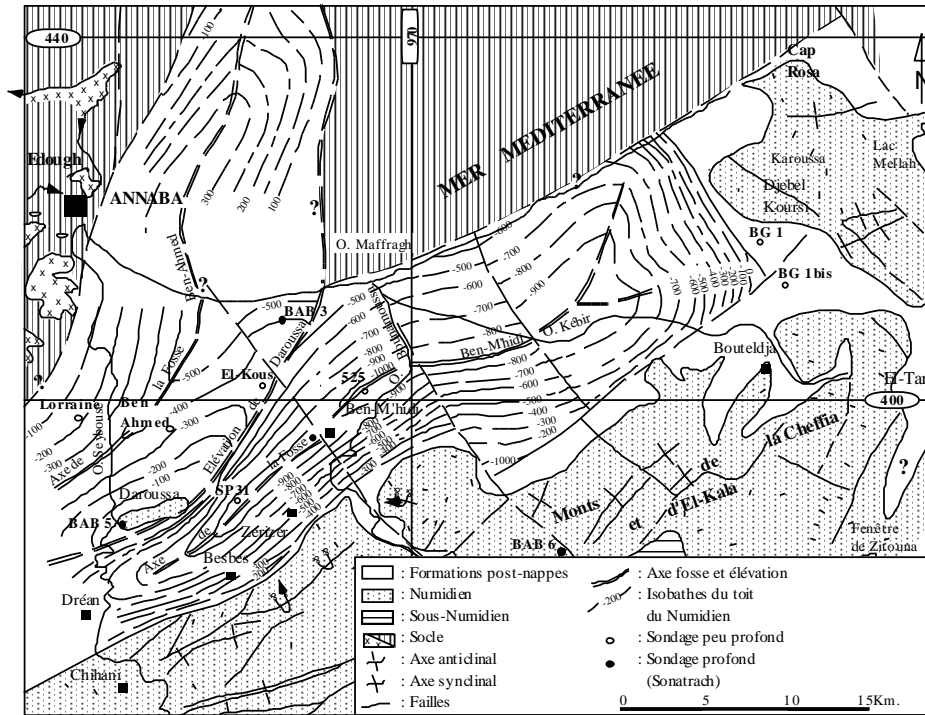


**Fig.1.5 : Coupes géologiques [74]**

## 6. Cadre structural

La Plaine d'Annaba-Bouteldja, aux reliefs très peu marqués comporte des limites naturelles (Fig.1.6) i) avec la Mer Méditerranée, au Nord, ii) les reliefs du Massif de l'Edough, à l'Ouest, aux formations cristallophylliennes paléozoïques, iii) des Monts de la Cheffia et d'El-Kala, au Sud, plus orientaux dont les unités numidiennes, allochtones, d'argile et de grès recouvrent le socle. Dans la Plaine, ces ensembles sont masqués par des dépôts récents, comblement de deux bassins sédimentaires principaux, identifiées par les méthodes de prospection géophysique [59,60] avec un graben NS, la fosse Ben-Ahmed, sous la plaine de la Seybouse, et un graben SSW-NNE à WSW-ENE, la fosse Ben-M'hidi, sous celle de l'oued Kébir et le massif dunaire oriental (Fig.1.6). Ces deux fosses sont limitées par des failles à très forts pendages (60 à 80°) et séparées par un horst, submériidien, représenté par l'élévation de Daroussa à laquelle appartient, dans la partie méridionale, la Butte de Daroussa.

Le remplissage très hétérogène des deux fosses [26, 65], avec des alternances d'argile, de sable et de graviers, est marqué par de brutales variations de faciès dans l'espace et dans le temps.



**Fig.1.6 :** Esquisse structurale des plaines d'Annaba-Bouteldja [12]

Dans la fosse de Ben-Ahmed, le sondage BAD 3 foré par la Sonatrach a fourni les informations lithostratigraphiques suivantes (Fig.1.7)

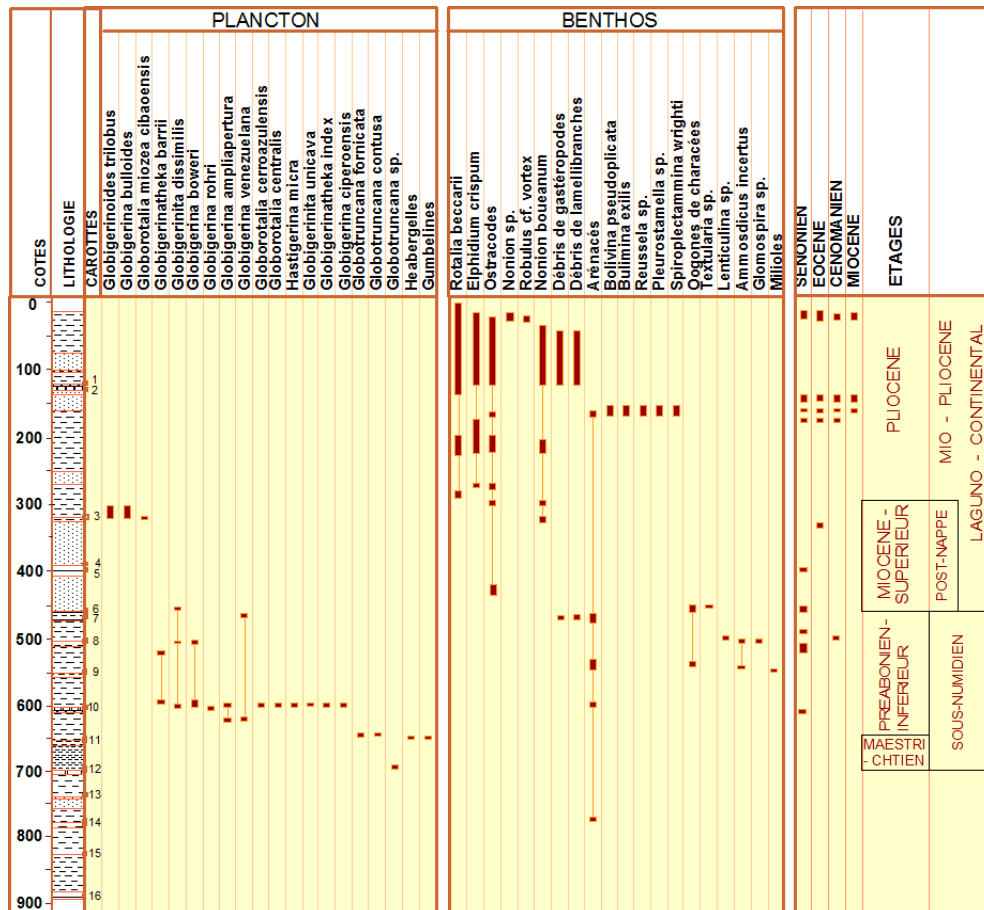


Fig.1.7 : Log micropaléontologique du sondage BAD 3 [12]

- Le Quaternaire d'une épaisseur de 32 m est composé d'une alternance de sables gris jaunâtre très fins à grossiers et d'argiles plastiques fines à jaunâtres, très sableuses.
- Le Pliocène d'une épaisseur de 278 m, est constitué d'alternances de sable fin à grossier, d'argile gris brun ou jaunâtre sableuse, de grès calcaire ou sableux fin à moyen et de calcaires blancs finement gréseux ou argileux. Le Pliocène est essentiellement laguno-continentale. Il faut cependant noter le passage à un faciès néritique entre les côtes 155 et 170 m.
- Le Miocène d'une épaisseur totale de 165 m est composé d'argiles brun jaunâtre, argiles calcaires grises, argiles plastiques brunes, sables grossiers à micrograviers, marnes bariolées rouges, brunes ou grises. Dans l'ensemble de la série, il existe plusieurs intercalations de calcaires blancs caverneux et de grès fins siliceux. Comme le Pliocène, le Miocène montre un faciès laguno-continentale avec un passage plus marin dans l'intervalle 305-329 m.

Dans la fosse de Ben-M'hidi, le sondage P31, a recoupé les formations suivantes :

- Quaternaire de 0 à 85 m, constitué d'alluvions argilo-graveleuses. Les niveaux sableux (entre 45 et 60 m) et graveleux (à 80 m) sont aquifères.
- Pliocène argileux de 85 à 680 m. Il s'agit d'une série monotone de marnes et argiles de grises ou brunes à gypse et anhydrite abondant. Jusqu'à 250 m il existe de courts passages d'éléments détritiques fins qui disparaissent ensuite pour faire place à des marnes. A partir de 550 m, les éléments détritiques réapparaissent, constitués de quartz roux provenant des grès numidiens, d'hématite, calcaire et pyrite rare. Toutes les microfaunes recueillies sont remaniées du Crétacé supérieur ou du Miocène. A 528 m, la faune appartient au Miocène moyen supérieur.
- Pliocène ou Miocène supérieur détritique. A partir de 680 m, les éléments détritiques moins fins apparaissent en lits dispersés dans les marnes devenues violettes. Ils sont de plus en plus abondants en dessous de 455 m. Le sondage a alors pénétré dans un véritable conglomérat à ciment argileux rougeâtre.

Schématiquement (Fig.1.8), nous pouvons distinguer quatre faciès principaux avec, à la base, une couche de marnes miocènes de plus de 150 m d'épaisseur surmontée par 60 à plus de 100 m d'argiles détritiques plio-quaternaires, puis par des lentilles de graviers et de galets séparées par de fines couches d'argiles. Ces dernières sont elles-mêmes recouvertes par des argiles sableuses (0 à 70 m). Dans le secteur NE de la région, une épaisse couche de sable dunaire se superpose aux formations antérieures.

L'ensemble de ce dispositif est affecté par deux familles de failles à forts pendages, de directions respectives NE-SW et NW-SE qui apparaissent tardives vis-à-vis des sous-bassins constitués et de leurs remplissages.

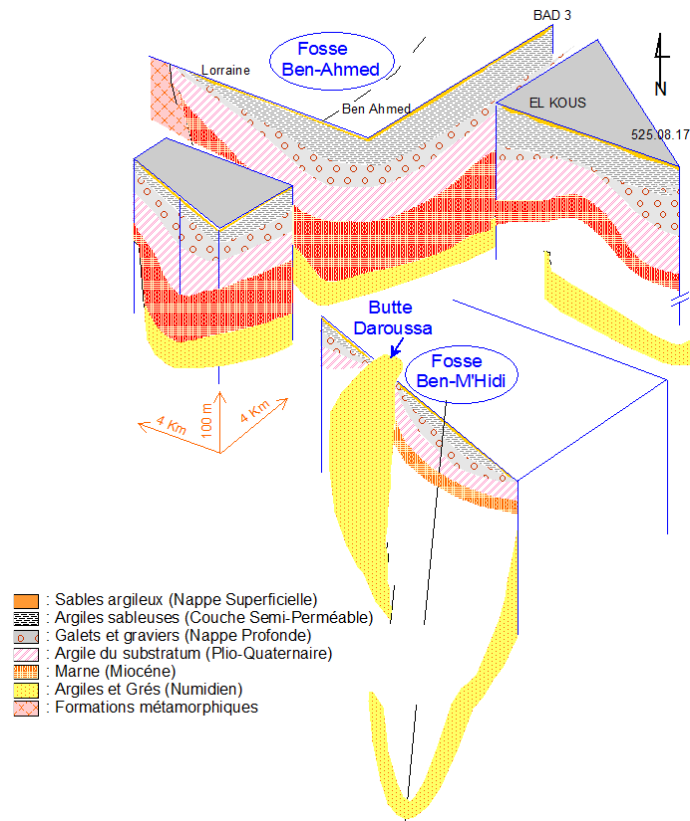


Fig.1.8: Bloc diagramme au travers de la plaine d'Annaba [32]

## 7. La géomorphologie

La zone d'étude fait partie de la plaine d'Annaba qui est caractérisée par diverses unités géomorphologiques dont les formations quaternaires sont les plus dominantes formant ainsi le siège des nappes aquifère. (Fig.1.9).

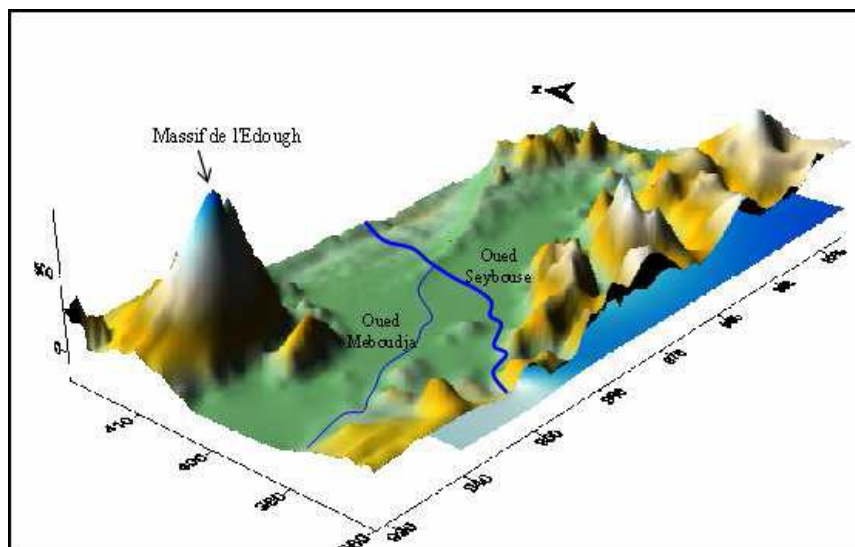


Fig.1.9: Géomorphologie de la plaine d'Annaba [38]

Les principales unités géomorphologiques sont : (1) Les montagnes; (2) Les plaines; (3) la dépression de Fetzara ; (4) Les bassins versants et (5) Les plages.

### **7.1. Les montagnes**

Les montagnes représentent 52,16 % du territoire de la Wilaya soit, une superficie de 736 km<sup>2</sup>. Elles se distinguent par le massif de l'Edough dont le point dominant se situe au mont " Bouzizi " avec 1.100 m d'altitude.

#### **7.1.1. L'Edough**

C'est le massif principal qui caractérise la région d'Annaba. De plus de 1008 m, il s'élève brusquement au-dessus des autres reliefs qui l'entourent.

Sa masse principale de direction N 55°- E, présente une ligne de crête longue de 26 m qui débute depuis le lac de Fetzara au sud et s'élève progressivement jusqu'au point culminant (1008 m) à Kef Sebaa pour redescendre ensuite depuis Seraidi vers Cap de Garde au Nord.

Au sud, ce massif est flanqué par le DjbelBoukantas (511 m) et Belilieta (287 m) et se prolonge vers Annaba par le petit massif de Boukhadra (156 m).

### **7.2. La dépression de Fetzara**

La dépression du lac Fetzara est séparée de la plaine de Guerbes par les petits massifs de BouMaiza et Berrahel, Tous deux forment un arc de cercle qui sépare le massif de l'Edough duTell nord Guelmien. La bordure nord correspond à la retombée du massif de l'Edough et Belilieta.

Le lac est couvert de jonc et de phragmite. Son fond est formé par de limon qui reposent sur une argile compacte par l'intermédiaire d'une argile molle d'une épaisseur allant de 0 à 40 m.

### **7.3. La plaine**

Elle est caractérisée par une topographie presque régulière composée des alluvions au centre d'un synclinaurium limité au Nord par le massif de l'Edough et au Sud par la chaîne numidienne.

Les plaines représentent 18,08 % du territoire soit 255 km<sup>2</sup>, et sont constituées essentiellement par la plaine de Kherraza.

Le reste du relief est constitué de plateaux, et autres, représentant 3,94 % de la superficie, soit 56 km<sup>2</sup>.

#### **7.4. Les bassins versants**

Annaba se caractérise par deux bassins versants :

##### **7.4.1. La Mafragh**

Il occupe la partie Est avec une superficie de l'ordre de 2915 km<sup>2</sup> et une altitude de 319 m.

##### **7.4.2. La Seybouse**

Se trouve à l'extrémité Ouest et s'étend sur une superficie de 6471 km<sup>2</sup>, il renferme divers milieux naturels ce qui conduit à la diversification et la multitude des chemins de nutrition et de ruissellement.

#### **7.5. Les terrasses**

Allant d'Ouest vers l'Est et présentant trois niveaux bien distincts :

##### **7.5.1. Basses terrasses**

Elles atteignent environ 15m d'altitude et sont formées de dépôts alluvionnaires constitués d'un matériel argilo-limoneux avec des galets ; graviers et sables. Ce sont des formations accumulatives d'eaux souterraines.

##### **7.5.2. Moyennes terrasses**

Situées à des altitudes oscillant entre 20 et 50 m dans la région de Dréan et sont formées de galets, de graviers et surtout d'argiles sableuses dépourvues d'horizons aquifères.

##### **7.5.3. Hautes terrasses**

Se trouvent à des altitudes de 100 à 150 m, formées entièrement de formations argileuses pratiquement imperméables et ne présentant aucun intérêt hydrogéologique. Elles se localisent surtout entre Dréan et Ain-Berda.

#### **7.6. Les massifs de bordures**

Constitués des roches métamorphiques (micaschistes, cipolins et gneiss) au Nord-Ouest et de grès numidiens au Sud (monts de Chaffia) ; ainsi que le massif dunaire



situant au Nord parallèlement à la mer et constituant essentiellement de Sables fins perméables avec une infiltration très importante.

### **7.7. Les marécages**

Ils occupent environ une superficie de 4786 ha, ils sont généralement localisés dans les dépressions des terrasses couvertes d'argiles imperméables et semi perméables et engendrant parfois des graves crues au niveau des oueds Seybouse et Bounamoussa.

### **7.8. Les plages**

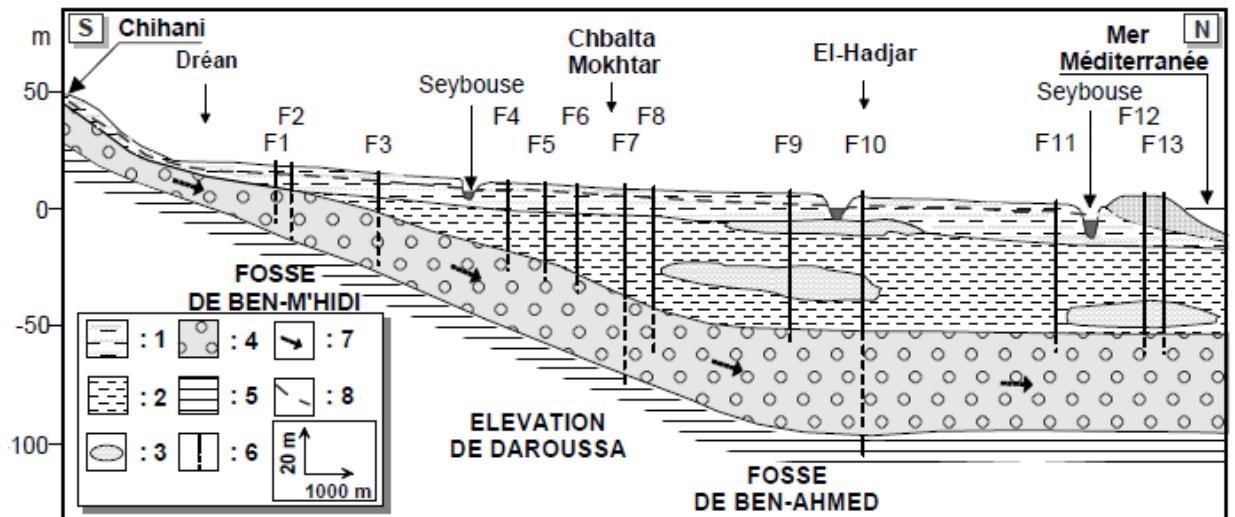
Ce sont des formations géomorphologiques plus récentes formées principalement de sable riche en Quartz.

## **8. Aperçu hydrogéologique**

### **8.1 Introduction**

La connaissance de l'hydrogéologie est très intéressante car elle permet la mise en relief des processus d'alimentation des aquifères, d'envisager les échanges souterrains (écoulement, transfert de polluant, etc.) la reconstitution des eaux souterraines, la détermination du sens d'écoulement, les caractéristiques hydrodynamiques comme la perméabilité qui peuvent se produire dans les aquifères.

Selon les études effectuées antérieurement dans la région (cartes géologique, hydrogéologiques, etc...), on peut distinguer de haut en bas, un ensemble de remplissage Moi-Plio-quadernaire formé par une alternance de sable argileux, de sables, de graviers et de travertins constituant deux types d'aquifères d'importances quantitative et qualitative inégales vis-à-vis de l'étendue : (1) Aquifère superficiel ; (2) Aquifère profond.



**Fig.1.10** : Profil hydrogéologique schématique de la plaine d'Annaba [48]

Légende : 1: Argile limoneuse avec passées sableuses (nappe superficielle) 2: Argile détritique Plio-quaternaire, 3: Lentilles de sables, 4: Galets et graviers (nappe profonde), 5: Argile de Numidie ou du Paléocène, 6: Forage, 7: Direction de l'écoulement, 8: Niveau piézométrique.

## 8.2. Description des différents aquifères

### 8.2.1. Aquifère superficiel

Cet aquifère est représenté par des alluvions argilo-limoneuses. Il couvre la majorité de la plaine d'une superficie de 320 km<sup>2</sup> et s'étend sur tous les systèmes alluvionnaires des principaux oueds (oued Seybouse, oued Meboudja, oued Zied). L'épaisseur moyenne de l'aquifère varie de 5 à 15 mètres. Sa transmissivité est très faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s) [25] ; exceptée dans les zones en bordure immédiate des oueds et au niveau du cordon dunaire, où elle est de l'ordre de  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

La perméabilité moyenne est comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s et le coefficient d'emménagement est de l'ordre de 2%.

Selon la variation horizontale des faciès lithologiques, l'aquifère superficiel englobe quatre nappes:

- La nappe des gneiss altérés.
- La nappe du cordon dunaire.
- La nappe des cailloutis de terrasses.
- La nappe d'alluvions récentes et actuelles

#### **8.2.1.1. La Nappe des gneiss altérés**

Les gneiss altérés ont été reconnus par les sondages effectués en bordure des massifs de Bouhamra et Béllietia ; leur profondeur n'atteint jamais plus de 20 mètres, en moyenne elle est de 10 à 15 mètres.

La nappe qui s'y trouve est peu importante, elle est exploitée par les puits de faible débits (0.5 à 1.5 l/s). Les gneiss constituent surtout une zone de faible alimentation pour la nappe phréatique et la nappe profonde des graviers.

#### **8.2.1.2. La nappe du cordon dunaire**

Elle est située entre Annaba et la Mafragh. Cette nappe est limitée sur une bande littorale des sables dunaires éoliens de 0,5 à 2 km de largeur, et alimentée directement par les eaux de pluie.

La porosité efficace est de l'ordre de 10 % [39] et la perméabilité vaut  $10^{-4}$  à  $10^{-2}$  m/s tandis que la transmissivité est comprise entre  $10^{-3}$  et  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s. l'épaisseur moyenne est d'environ 20 m. Elle est exploitée uniquement par des puits à des usages domestiques, en particulier pour l'AEP et l'élevage.

#### **8.2.1.3. La nappe des cailloutis des terrasses**

Elle est localisée sur la bordure Sud Sud-ouest de la plaine d'Annaba, entre Ain Breda à l'Ouest et Zérizer à l'Est et contenue dans les cailloutis et les galets. D'après GAUD (1976), la transmissivité de cette nappe est faible variant de  $10^{-5}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s. Etant donné les faibles potentialités hydrauliques, cette nappe est exploitée par des puits pour l'agriculture.

#### **8.2.1.4. La nappe des alluvions récentes et actuelles**

Cette nappe se situe juste derrière le cordon dunaire vers le Sud, couvre la majorité de la plaine avec une superficie d'environ 320 km<sup>2</sup> elle est constituée par des alluvions récentes et actuelles à texture argilo sableuses, argilo limoneuse ou sablo argileuses avec quelques lentilles de sables de porosité efficace de 2% [25], son épaisseur moyenne est de 10 mètres tandis que sa transmissivité entre  $10^{-6}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

### **8.2.2. Aquifère profond**

Il se situe en dessous de l'aquifère superficiel. Il est constitué par des graviers, sables et galets Plio-quaternaires encaissés dans un bassin d'effondrement. Son toit est

imperméable, semi-perméable à perméable, formé de sables argileux, d'argiles sableuses ou d'argiles. L'épaisseur de l'horizon aquifère est variable (de 02 m à 70 m) d'Ouest en Est et du Sud vers le Nord. On note deux nappes d'importances inégales : nappe de cipolins et nappe des graviers.

### 8.2.2.1. La nappe de cipolins

Elle est localisée dans les formations métamorphiques à cipolin, caractérisant les massifs, de Bouhamra et de Béllielita (Fig.1.11). La profondeur de la nappe varie entre 12 et 80 m, exploitée par des forages allant jusqu'à 15 l/s, sa conductivité varie de  $5 \cdot 10^{-5}$  à  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  [39].

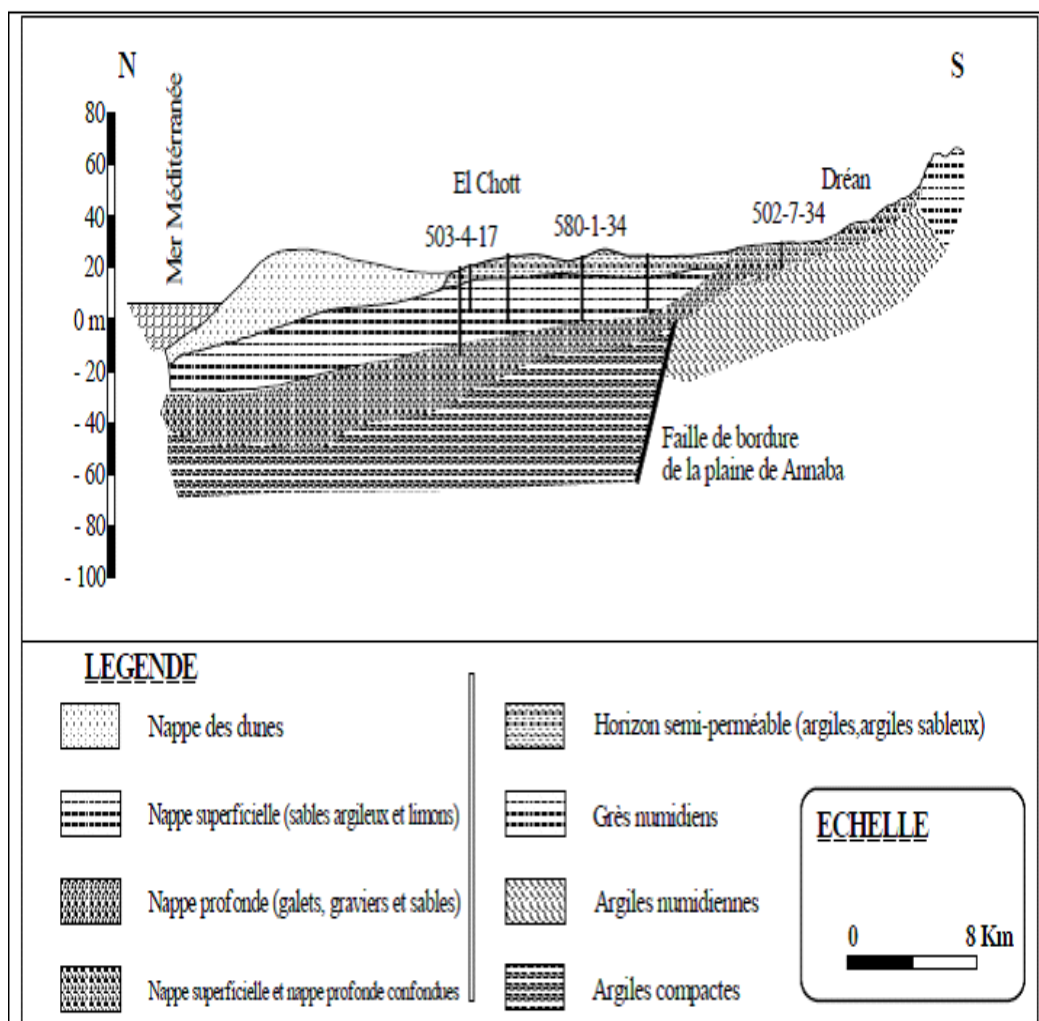
### 8.2.2.2. La nappe des graviers

La nappe se trouve au fond du bassin d'effondrement, son plafond est perméable (sableux-argileux) à semi-perméable (argileux-sableux) et dans certaines régions imperméables (argileux) compatible avec ces formations (Fig.1.11). Selon les régions, la nappe des graviers est séparée de la nappe superficielle, son exploitation se fait par 150 forages. Les débits exploités sont estimés entre 5 et 54 l/s [39].

La transmissivité est de  $3.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  et le coefficient d'emménagement (s) est parfois très faible de l'ordre de  $10^{-4}$  où la nappe est captive atteint  $10^{-2}$  dans les zones où elle est libre (Tab.1.5)

**Tab.1.5:** Paramètres hydrodynamiques des aquifères de la plaine d'Annaba.

Aquifères	Transmissivité ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Perméabilité ( $\text{m/s}$ )	Coefficient d'emménagement
Nappe de sables et graviers	$10^{-2}$	$10^{-3}-10^{-5}$	$10^{-2}$
Nappe des cipolins	$5 \cdot 10^{-3}-5 \cdot 10^{-5}$	$10^{-4}-10^{-6}$	$10^{-4}$



**Fig.1.11:** Coupe schématique du système aquifère d'Annaba [39]

### 8.3. La piézométrie

La carte piézométrique permet de déterminer 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.

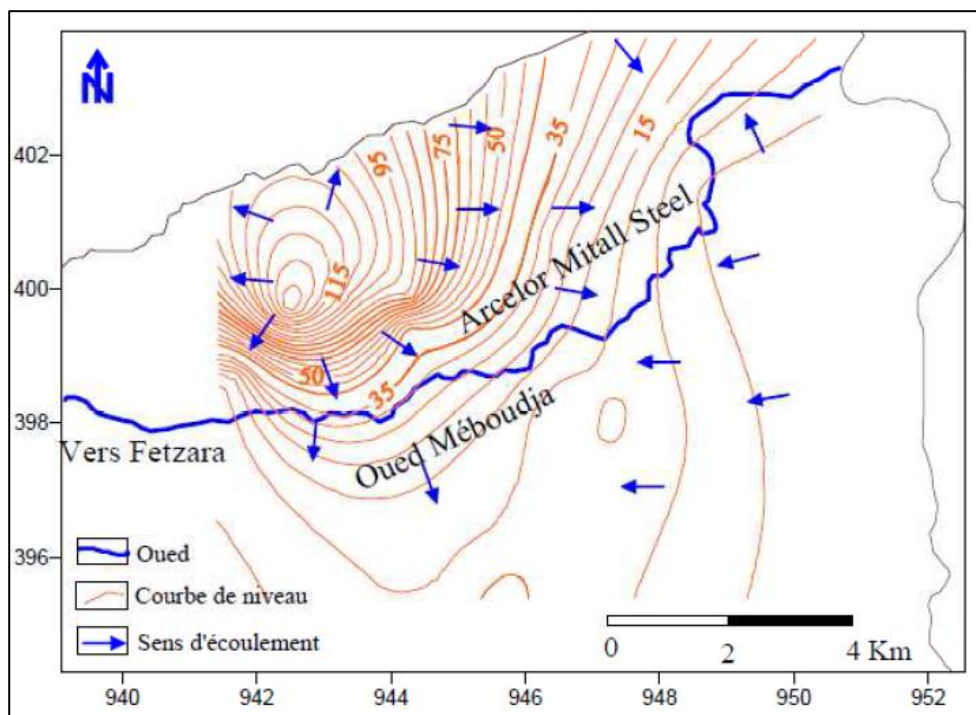
Dans notre cas, l'étude piézométrique a abordé, uniquement, la plaine de l'oued Méboudja (les zones industrielles : d'Arcelor Mittal Algérie, de Meboudja I et II).

Les mesures et les prélèvements ont été effectués sur les eaux superficielles et souterraines sur près de 30 points. Il s'agit surtout de puits domestiques, captant la nappe phréatique, utilisés pour l'AEP, l'irrigation et l'abreuvement du bétail. A ce niveau, la nappe est susceptible de subir une pollution. Sa sensibilité étant élevée, ce qui exige une protection des rejets urbains et industriels.

L'évolution du niveau piézométrique est fonction de plusieurs paramètres, dont les précipitations, la topographie, la lithologie et l'état de la nappe. Les mesures

piézométriques effectuées ont permis d'obtenir la carte représentée dans la figure n°1.12.

Les courbes piézométriques, fermées et serrées dans la partie amont de l'oued Méboudja (localité de Derradji Redjam), indiquent une zone de protubérance due à un apport à partir du socle métamorphique sous l'effet de la topographie. Le gradient hydrique y est de l'ordre de  $5.10^{-2}$ , il montre l'existence d'un écoulement rapide dû à la pente. Dans la partie aval de l'oued, ainsi que dans le centre de la plaine, les courbes convergentes vers l'oued indiquent une alimentation de celui-ci par la nappe. A ce niveau, les courbes piézométriques deviennent ouvertes et espacées, le gradient hydraulique y est alors de  $8.10^{-4}$ .



**Fig.1.12** : Carte Piézométrique dans le bassin de l'oued Méboudja Avril, 2008[12]

## 9. Aperçu Climatologique

### 9.1. Introduction

L'étude hydroclimatique est nécessaire pour bien comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielle, et souterraines. Par ailleurs la détermination des divers éléments du bilan hydrique, nous permettrons d'approcher au mieux à l'évolution des niveaux de la nappe, et des écoulements souterrains.

## 9.2. 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 trentaines dernières années, c'est-à-dire de 1980/1981 à 2013/2014. Le tableau 1.6 donne quelques indications sur les stations de mesures (coordonnées Lambert, périodes d'observations, etc.).

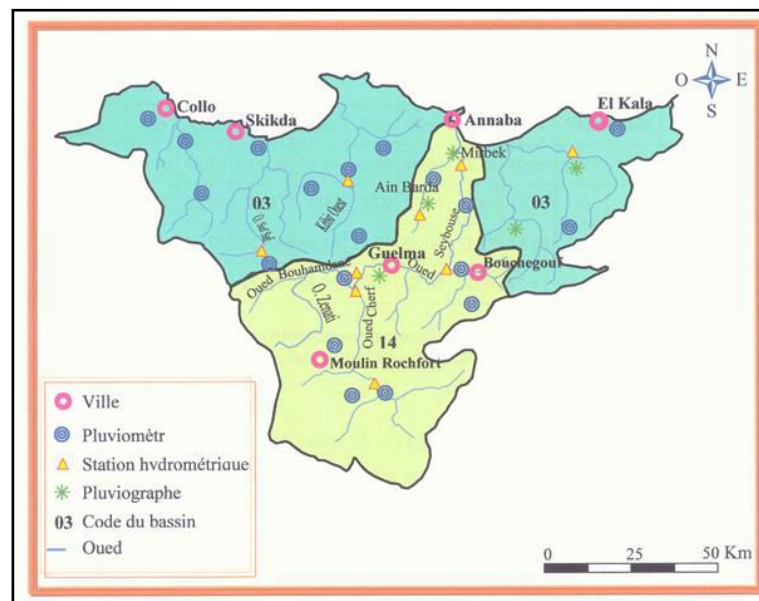
**Tab.1.6** : Les coordonnées géographiques des stations pluviométriques.

Station	X	Y	Z	Longitude	Latitude	Années d'observation
Les Saline	955,8	403,8	3	07° 49' E	36° 50' N	1980/1981 à 2013/2014
Pont Bouchet	950,25	402,8	6	07 ° 48' E	36° 58' N	1980/1981à 2013/2014

## 9.3. Aperçu sur les variations des paramètres climatiques

### 9.3.1. 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. Les Tableaux: 1.7, 1.8 et les Figures1.14 et 1.15, donnent un aperçu sur la répartition spatio-temporelle des précipitations enregistrées au niveau des stations considérées.



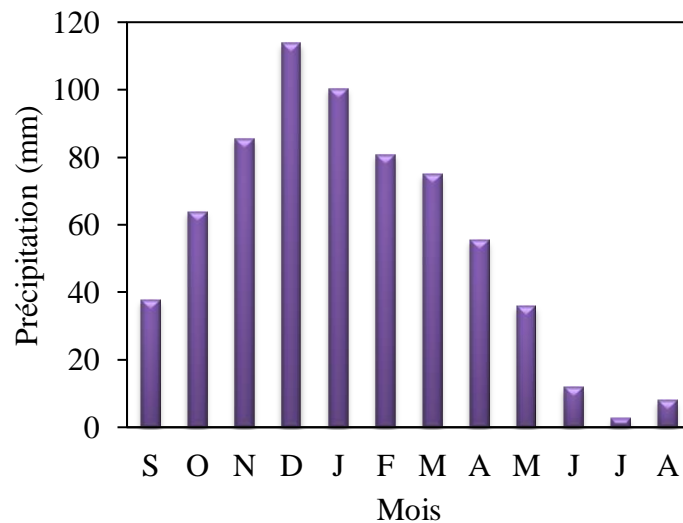
**Fig.1.13** : Stations climatique et hydrométrique dans le bassin de la Seybouse

**Tab.1.7:** Répartition des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières à la station des Saline (1980-2014)

saison	Autonne			Hiver			Printemps			Eté			MOYENNE
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
<b>P(mm)</b>	37,75	63,92	85,54	113,8	100,4	80,84	74,94	55,42	35,77	11,91	2,56	7,86	670,63
	187,21			295			166,12			22,34			
<b>%</b>	27,9			44			24,78			3,33			100

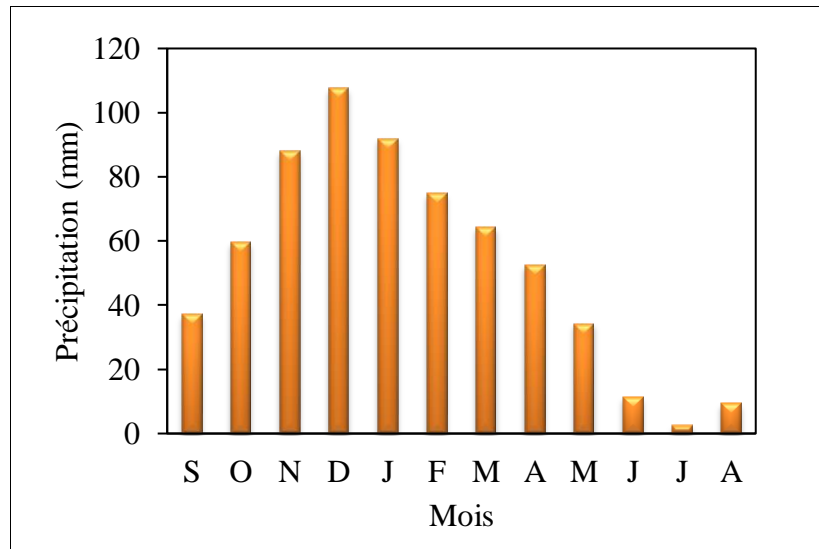
**Tableau 1.8:** Répartition des précipitations moyennes mensuelles et saisonnières à la station de Pont Bouchet (1980-2014)

Saison	Autonne			Hiver			Printemps			Eté			MOYENNE
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
<b>P(mm)</b>	37,1	59,72	88,12	107,6	91,81	74,85	64,41	52,56	34,24	11,37	2,45	9,39	634,23
<b>%</b>	184,74			274,3			151,21			23,76			
	29,16			43,24			23,84			3,74			100



**Fig.1.14:** Variation des précipitations moyenne mensuelle à la station des Saline (1980-2014)



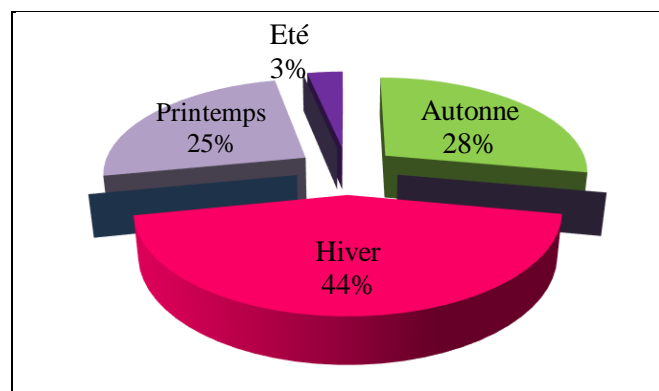


**Fig.1.15:** Variation des précipitations moyenne mensuelle à la station de Pont Bouchet (1980-2014)

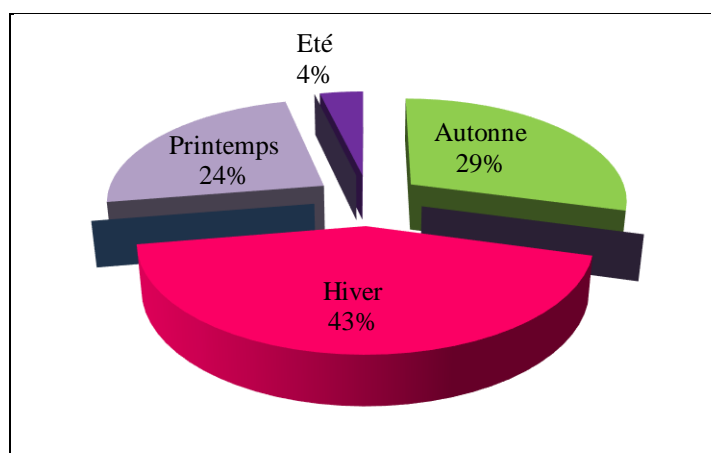
L'observation des précédents tableaux et figures, montrent que les mois de Novembre, Décembre, Janvier et Février, restent les mois les plus pluvieux. Cependant, nous remarquons que le mois de Décembre demeure le plus pluvieux pour les deux stations. A l'opposé le mois de Juillet est le moins arrosé. 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.

### 9.3.2.1. Répartition saisonnière des précipitations

L'observation des histogrammes suivants (Fig. 1.16 et 1.17), 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.



**Fig.1.16:** Variation des précipitations saisonnières à la station des Saline (1980-2014)



**Fig.1.17:** Variation des précipitations saisonnières à la station de Pont Bouchet (1980-2014)

### 9.3.2. Régime thermique

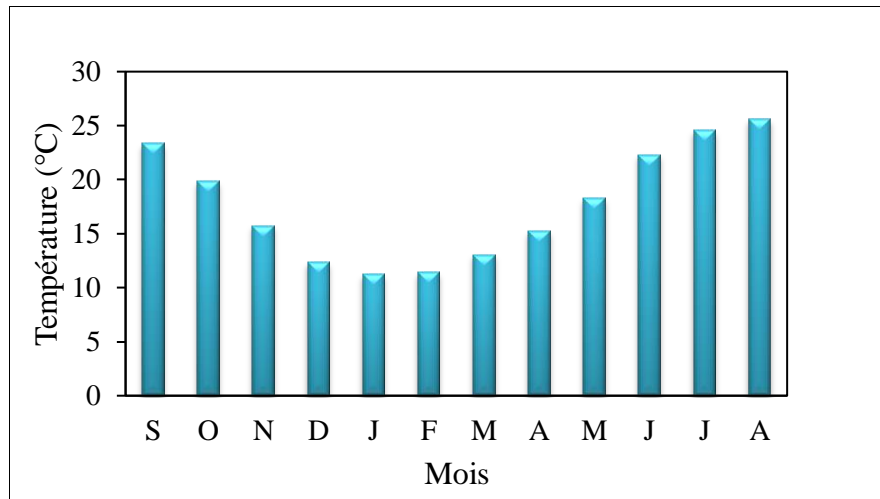
La température est le second facteur influençant les termes du bilan hydrique et la disponibilité de la ressource, de ce fait son étude demeure très importante. L'analyse des données de la température est basée sur les données mes station des Salines de la période allant de 1980 à 2014.

#### 9.3.2.1. Températures moyennes mensuelles

La température est un facteur régissant le phénomène d'évapotranspiration et donc le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les données collectées sont analysées dans les paragraphes qui suivent.

**Tab.1.9:** Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières (Station des Salines 1980-2014)

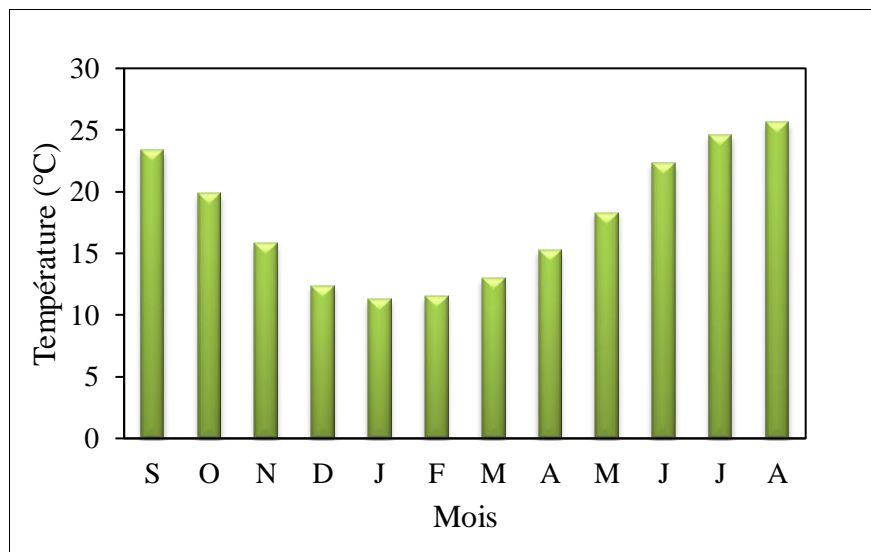
mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C)	23,35	19,87	15,75	12,37	11,28	11,45	13,08	15,27	18,29	22,29	24,55	25,62



**Fig.1.18:** Variations des températures moyennes mensuelles (Station des Salines 1980-2014)

**Tableau 1.10:** Variation des températures moyennes mensuelles et saisonnières (Station de Pont Bouchet 1980-2014)

mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T°(C)	23,4	19,9	15,8	12,4	11,3	11,5	13	15,3	18,3	22,3	24,6	25,6



**Fig.1.19:** Variations des températures moyennes mensuelles (Station de Pont Bouchet 1980-2014)

Les précédents tableaux montrent, des valeurs de températures oscillant entre 12.37°C (décembre) et 25.62°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.

### 9.4. Diagramme Ombrothermique

Pour déterminer le type de climat, nous avons, réalisé pour chaque station un diagramme ombrothermique ( $P=2T$ ). 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. 1.20 et 1.21). La période humide couvre le reste de l'année et est plus longue que la période sèche.

On déduit donc, que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par deux périodes : (1) L'une froide et humide: allant du mois de Septembre jusqu'à Mai, et (2) L'autre sèche s'étalant du mois de Juin jusqu'à Août.

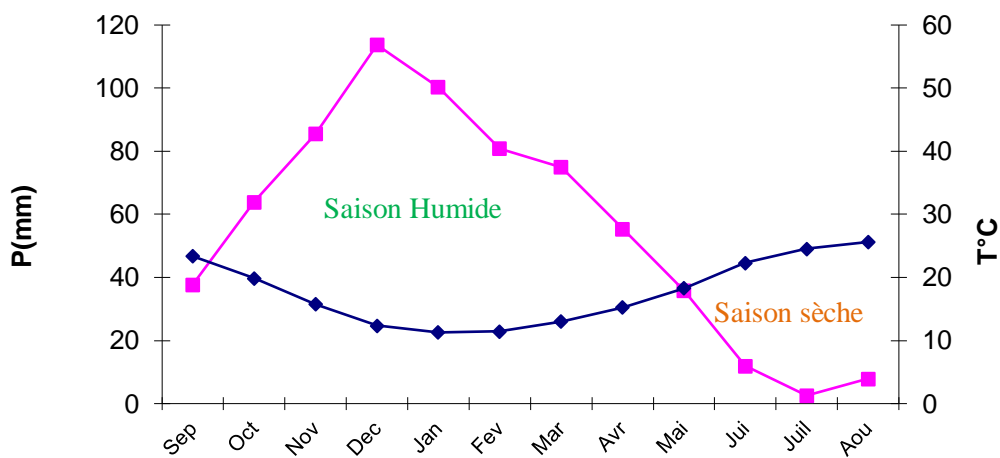


Fig.1.20: Diagramme Ombrothermique à la station des Saline (1980-2014)

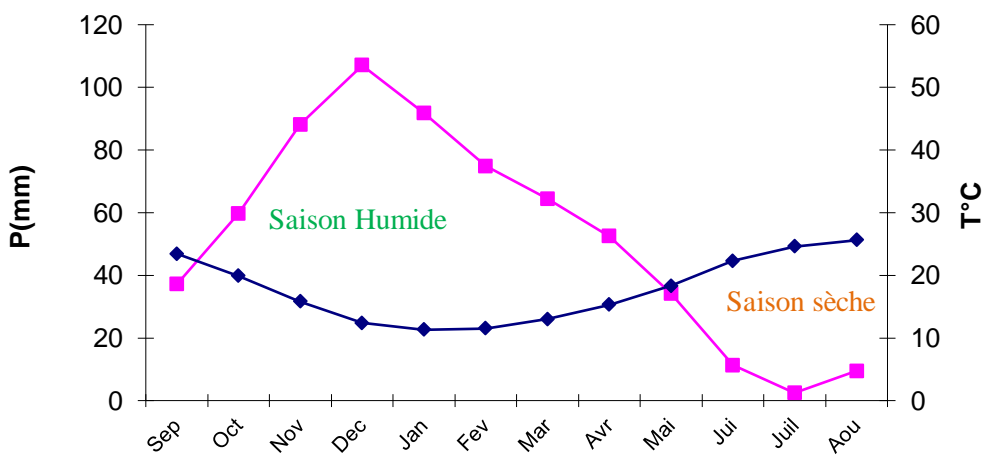


Fig.1.21: Diagramme Ombrothermique à la station de Pont Bouchet (1980-2014)

### 9.5. Bilan hydrique.

L'hydrologie est la science qui étudie l'eau sous ses aspects quantitatif et qualitatif durant les différentes phases de son cycle dans la nature. Elle utilise des modèles mathématiques pour prédire les différents phénomènes hydrologiques dans le but de gérer les ressources hydriques. L'ensemble de tous les processus de transformation de l'eau sur terre s'appelle cycle hydrologique (Fig.1.23) dont les phases principales sont : 1-Evaporation, 2- Transport par les vents et les courants, 3- Précipitations, 4- Infiltration, 5- Ecoulement souterrain, 6- Ruissellement de surface.

$$P = ETR + I + R$$

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

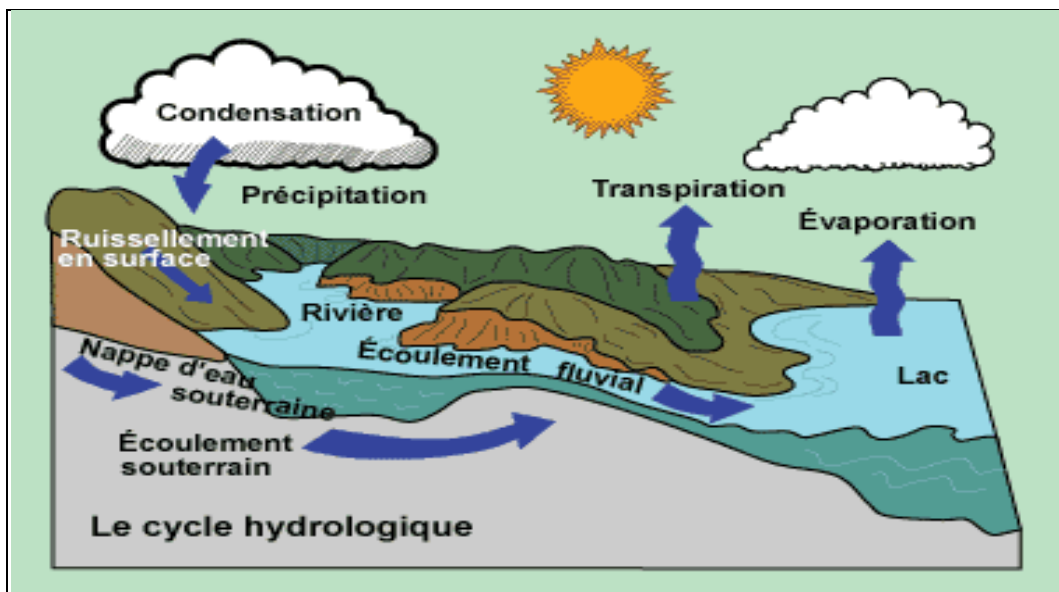


Fig.1.23 : Le cycle hydrologique.

#### 9.5.1 Evapotranspiration

L'évapotranspiration est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique). On distingue :

- 1) 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:

$$\text{ETP (mm)} = 16 (10T/I)^{\alpha} * K$$

$$I = \sum i; i = (t/5)^{1.5}, \alpha = (1.6/100)*I+0.5$$

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.

2) L'évapotranspiration réelle (ETR): On utilise la méthode de C.W. Thornthwaite, où on distingue deux principaux 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

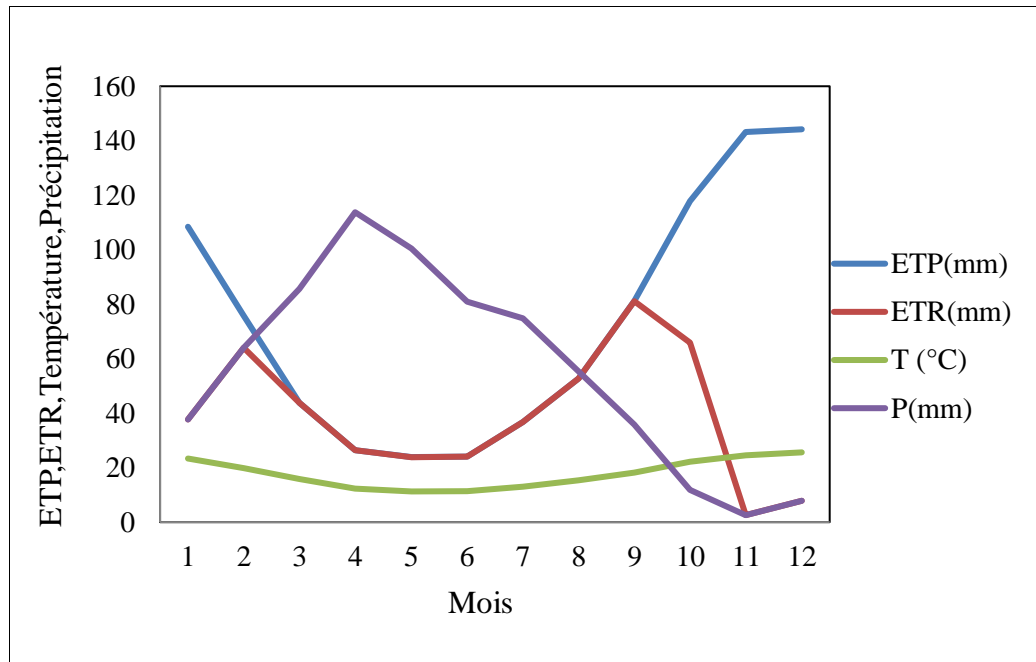
\* Si :  $P - ETP < 0$  ; c.à.d.  $P < ETP$ , ce cas est caractérisé par les deux cas suivants :

▪ Si :  $P + RFU > ETP$   $ETR = ETP$

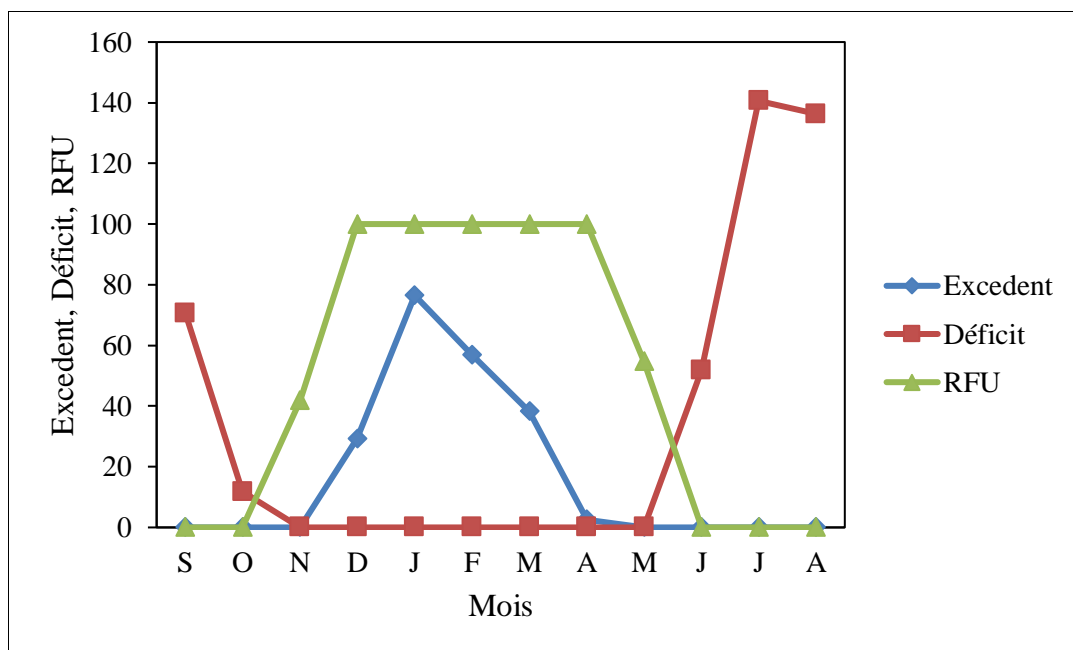
▪ Si :  $P + RFU < ETP$   $ETR = P + RFU$ .

**Tab.1.11:** Bilan hydrique selon la méthode de «**THORNTHWAITE**», Station Les Salines, (1980-2014).

	TP	IT	CL	ETP (C)	Pr	BH	CH	VR	RU	ETP R)	Def.	Exc.
<b>S</b>	23,4	10,3	1,03	108,4	37,75	-70,6	-0,7	0	0	37,8	70,6	0
<b>O</b>	19,9	8,1	0,97	75,7	63,92	-11,8	-0,2	0	0	63,9	11,8	0
<b>N</b>	15,8	5,7	0,86	43,7	85,54	41,8	1	41,8	41,8	43,7	0	0
<b>D</b>	12,4	3,9	0,81	26,3	113,76	87,4	3,3	58,2	100	26,3	0	29,3
<b>J</b>	11,3	3,4	0,87	23,9	100,36	76,5	3,2	0	100	23,9	0	76,5
<b>F</b>	11,5	3,5	0,85	24	80,84	56,9	2,4	0	100	24	0	56,9
<b>M</b>	13	4,3	1,03	36,8	74,94	38,2	1	0	100	36,8	0	38,2
<b>A</b>	15,3	5,4	1,1	52,8	55,42	2,6	0	0	100	52,8	0	2,6
<b>M</b>	18,3	7,1	1,21	81,1	35,77	-45,3	-0,6	-45,3	54,7	81,1	0	0
<b>J</b>	22,3	9,6	1,22	117,8	11,19	-106,6	-0,9	-54,7	0	65,9	51,9	0
<b>J</b>	24,6	11,1	1,24	143,2	2,56	-140,6	-1	0	0	2,6	140,6	0
<b>A</b>	25,6	11,8	1,16	144,2	7,86	-136,3	-0,9	0	0	7,9	136,3	0
<b>Annuel</b>	<b>17,8</b>	<b>84,3</b>		<b>877,7</b>	<b>669,9</b>	<b>-207,8</b>				<b>466,4</b>	<b>411,3</b>	<b>203,5</b>



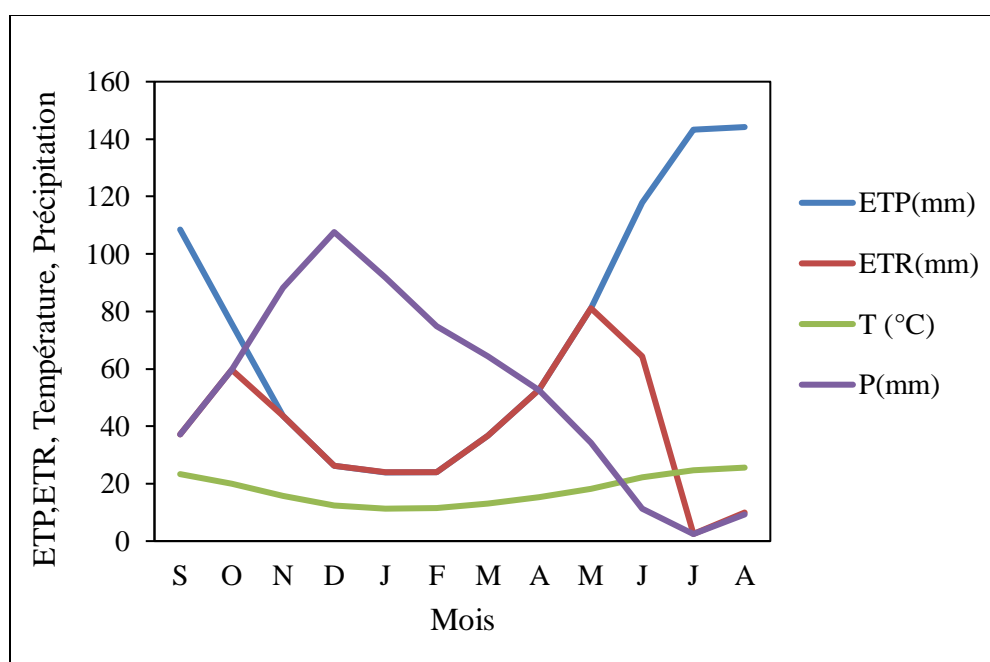
**Fig.1.24** : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station des Salines (1980-2014)



**Fig.1.25** : Représentation graphique du bilan hydrique de la station les Salines (1980-2014)

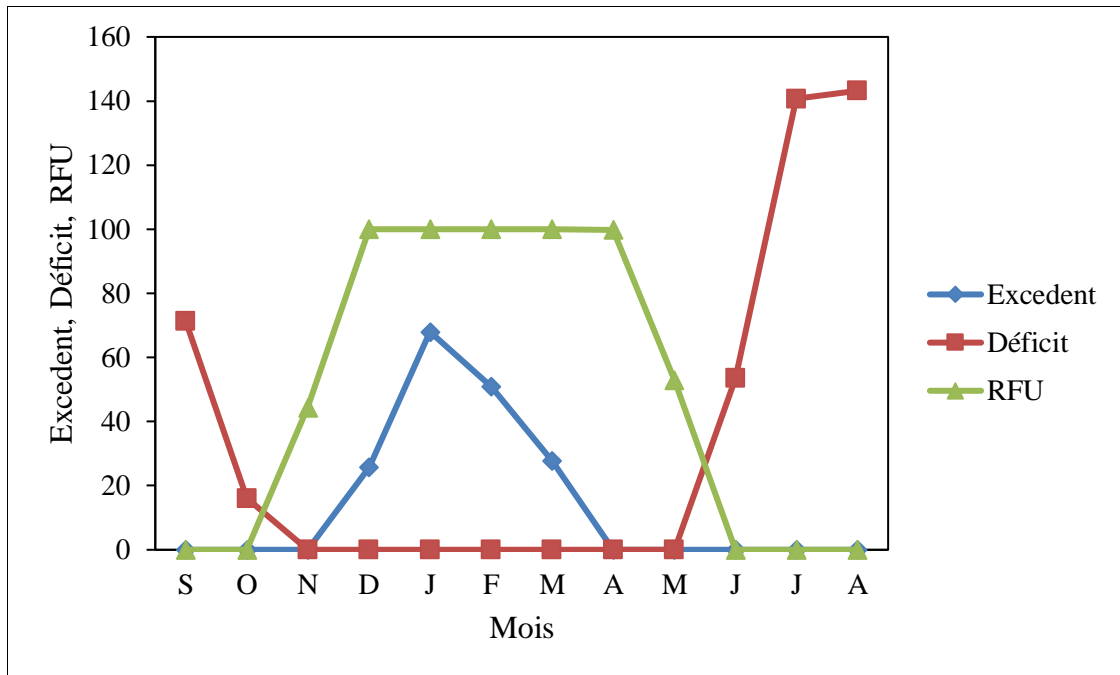
**Tableau 1.12:** Bilan hydrique selon la méthode de «**THORNTHWAITE**», Station Pont Bouchet (1980-2014)

	TP	IT	CL	ETP C)	Pr	BH	CH	VR	RU	ETP R)	Def	Exe
S	23,4	10,3	1,03	108,4	37,13	-71,3	-0,7	0	0	37,1	71,3	0
O	19,9	8,1	0,97	75,7	59,72	-16	-0,2	0	0	59,7	16	0
N	15,8	5,7	0,86	43,7	88,12	44,4	1	44,4	44,4	43,7	0	0
D	12,4	3,9	0,81	26,3	107,6	81,3	3,1	55,6	100	26,3	0	25,7
J	11,3	3,4	0,87	23,9	91,81	68	2,8	0	100	23,9	0	68
F	11,5	3,5	0,85	24	74,85	50,9	2,1	0	100	24	0	50,9
M	13	4,3	1,03	36,8	64,41	27,7	0,8	0	100	36,8	0	27,7
A	15,3	5,4	1,1	52,8	52,56	-0,2	0	-0,2	99,8	52,8	0	0
M	18,3	7,1	1,21	81,1	34,24	-46,8	-0,6	-46,8	52,9	81,1	0	0
J	22,3	9,1	1,22	117,8	11,37	-106,4	-0,9	-52,9	0	64,3	53,5	0
J	24,6	11,1	1,24	143,2	2,45	-140,7	-1	0	0	2,5	140,7	0
A	25,6	11,8	1,16	144,2	9,93	-134,2	-0,9	0	0	9,9	143,2	0
Annuel	<b>17,8</b>	<b>84,3</b>		<b>877,7</b>	<b>634,2</b>	<b>-243,5</b>				<b>462</b>	<b>415,7</b>	<b>172</b>



**Fig.1.26 :** Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Pont Bouchet (1980-2014)





**Fig.1.27** : Représentation graphique du bilan hydrique de la station Pont Bouchet (1980-2014)

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

### 9.5.2. 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.

$$ETR = P / \sqrt{0.9 + (P/L)^2}$$

Avec : ETR : évapotranspiration réelle ; P : précipitations moyennes annuelles;

L = 300 + 25 T + 0,05 T<sup>3</sup> ; T : températures moyennes annuelles. Application

Numérique :

#### 1- Pour Les Salines :

P = 670.6 mm

L = 1026.99

T = 17.8 °C

D'où : **ETR = 582.28 mm.**

#### 2- Pour Pont Bouchet :

P = 634.2 mm

L = 1026.99

T = 17.8 °C

D'où : **ETR = 560.26 mm.**

Le Tableau 1.12 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).

**Tab.1.13 :** Récapitulatif des ETR et de l'ETP concernant les stations Les Salines et Pont Bouchet (1980-2014).

Paramètres	Méthodes	Station	Valeurs (mm)	Valeurs en (%)
<b>ETP (mm)</b>	Thornthwaite	Les Saline	878,1	130,94
		Pont Bouchet	878,1	138,46
<b>ETR (mm)</b>	Thornthwaite	Les Saline	467	69,64
		Pont Bouchet	461,9	72,83
	Turc	Les Saline	582,28	86,83
		Pont Bouchet	560,26	88,34

### 9.5.3. 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.

<p><u>Si :</u></p> <p><math>P &gt; 600\text{mm} \Rightarrow R = P^3/3(ETP)^2</math></p> <p><math>P &lt; 600\text{mm} \Rightarrow R = P^3/3</math></p>
---

**Tab.1.14:** les résultats obtenus par la formule de Tixeront-Berkaloff concernant les stations des Salines et Pont Bouchet (1980-2014).

Paramètre	Stations	Valeurs (mm)	Valeurs (%)
<b>Ruissellement</b>	Les Saline	130,37	19,44
	Pont Bouchet	110,27	17,38

### 9.5.4. 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.

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

**Tab.1.15 :** les résultats d'infiltration concernant les stations des Salines et Pont Bouchet (1980-2014).

Paramètres	Station	Valeurs en (mm)	Valeurs en (%)
Infiltration	Les Saline	73,23	10,92
	Pont Bouchet	62,03	9,78

#### 9.5.5. 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.

## 10 Conclusion

La zone d'étude « Plaine d'El-Hadjar » est située entre l'amont du secteur Deradji Redjam et pont Bouchet.

La région est traversée par deux principaux oueds, l'Oued Seybouse et l'Oued Méboudja, et leurs affluents.

Le bassin versant de l'Oued Seybouse se caractérise par une agriculture traditionnelle et moderne, les cultures maraichères, les céréales et l'arboriculture

L'industrie est concentrée autour des agglomérations principales dont El-Hadjar (Arcelor Mittal Algérie) et Asmidal. La croissance industrielle dans la wilaya d'Annaba pendant les années 70, a conduit à un exode rural massif des populations. Ceci a entraîné un accroissement massif de la population dans les grandes communes et l'extension des zones urbanisées. La population se concentre le plus souvent autour des zones industrielles, terres agricoles et des points d'eau.

La ville d'Annaba est alimentée par la combinaison de ressources superficielles (barrage, retenus collinaires) et les eaux souterraines. A cause de l'accroissement démographique et du développement de l'industrie et de l'agriculture, les besoins en eau dans les divers secteurs de consommations accentuent de jour en jour.

La wilaya d'Annaba, région urbaine, agricole et industrielle a connu ces dernières années un important développement. L'accroissement des populations et l'intense activité agricole et industrielle ont engendré une forte pollution du milieu et des eaux

(surfaces et souterraines) ce qui a engendré une dégradation de l'environnement dans cette région.

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental. La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du primaire jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : des alluvions (sables, gravier, cailloutis...), des argiles, des grès, des calcaires et des flyschs. Les études géologiques réalisées dans la région montrent l'existence de deux types de terrains, à savoir le complexe métamorphique de l'Edough et les formations sédimentaires d'âge Secondaire.

Le massif cristallophyllien, l'Edough, constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes du massif kabyle. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté SW-NE se prolonge au-dessus de la plaine.

Cet ensemble montagneux de structure complexe (faillé et plissé) affecté par toutes les phases tectoniques depuis le Paléozoïque, il apparaît comme tout à fait indépendant du reste de la région d'Annaba dont l'orogénèse se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.

Les roches éruptives intrusives mises en place au Mio-pliocène ne sont représentées que par trois petits affleurements au sein du périmètre d'étude (un affleurement de pyroxénite et deux affleurements de Magnétite).

L'étude hydrogéologique confirme l'extension et la superposition de la nappe superficielle et profonde qui sont séparées par un niveau semi-perméable. Celui-ci disparaît au sud de la plaine laissant se confondre les deux nappes.

La nappe superficielle (libre) ; formé de sable fin et gravier d'une épaisseur de l'ordre de 10 m, sa transmissivité est très faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s), sa perméabilité moyenne est comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s et le coefficient d'emménagement est de l'ordre de 2%.

La nappe profonde, semi-captive qui devient captive à l'Ouest de la zone d'étude localisée à une profondeur varie de 12 à 80 m ; sa transmissivité comprise entre  $5.10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

L'infiltration représente la principale source d'alimentation de ces aquifères. La carte piézométrique réalisée montre que :

Dans la plaine de la Méboudja ; la cartographie piézométrique permet de définir le sens de l'écoulement souterrain et met en évidence la relation qui existe entre l'oued et la nappe.

Une description et une analyse de divers facteurs climatologiques de la région d'étude concernant une période de 34 ans (1980 – 2014) pour les deux stations (Les Salines et Pont Bouchet) indiquant des précipitations moyennes dans la région d'étude 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.

## **CHAPITRE 2**

# **ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DES EAUX ET DES SOLS : CAS DE LA PLAINE D'EL-HADJAR**

## 1. Introduction

Les problèmes de pollution, quelles que soient leurs natures (liés à l'air, à la mer, au sol ou à l'industrie, etc...) ont fait l'objet d'études et de recherches et ont intéressés toutes les disciplines : chimistes, écologistes, biologiste, urbanistes, géologues, etc... Tous ont tenté de débattre la question compte tenu des risques qu'elle présente pour la santé et l'environnement.

Les pollutions dites diffuses proviennent d'épandages de produits solides ou liquides à la surface du sol sur des superficies importantes : par exemple engrais, herbicides, pesticides.

Les pollutions ponctuelles par contre, proviennent d'une surface délimitée, faible vis-à-vis du bassin versant des eaux souterraines ou de surface et définie dans un espace géographique. Elles sont qualifiées quelquefois d'accidentelles, mais elles ont le plus souvent pour origine des fuites sur des conduites ou des cuves, ou l'infiltration de lixiviats d'un dépôt solide, quelque fois la retombée de polluants, émis dans l'atmosphère, sur le sol à proximité des points d'émission. La nature des produits polluants peut être fortement variée, mais les plus fréquemment rencontrés sont les hydrocarbures (ce sont les liquides autres que l'eau les plus largement distribuées), les solvants chlorés, les chlorures, les sulfates, quelques métaux lourds particulièrement mobiles (chrome hexavalent par exemple), et autres sous-produits de l'industrie.

La solubilité est la quantité maximale dissoute d'un composé dans l'eau à une température donnée. Elle est influencée outre la température, par la pression, la fraction molaire de chaque composé dans le mélange de polluants et la teneur en matières organiques dissoutes. Les composés très solubles sont facilement transportés par l'eau, car ils suivent son écoulement. Ils sont souvent peu adsorbés sur les sols, et plus facilement biodégradables. Cependant, certaines espèces solubles, de métaux par exemple, ne sont pas biodégradables.



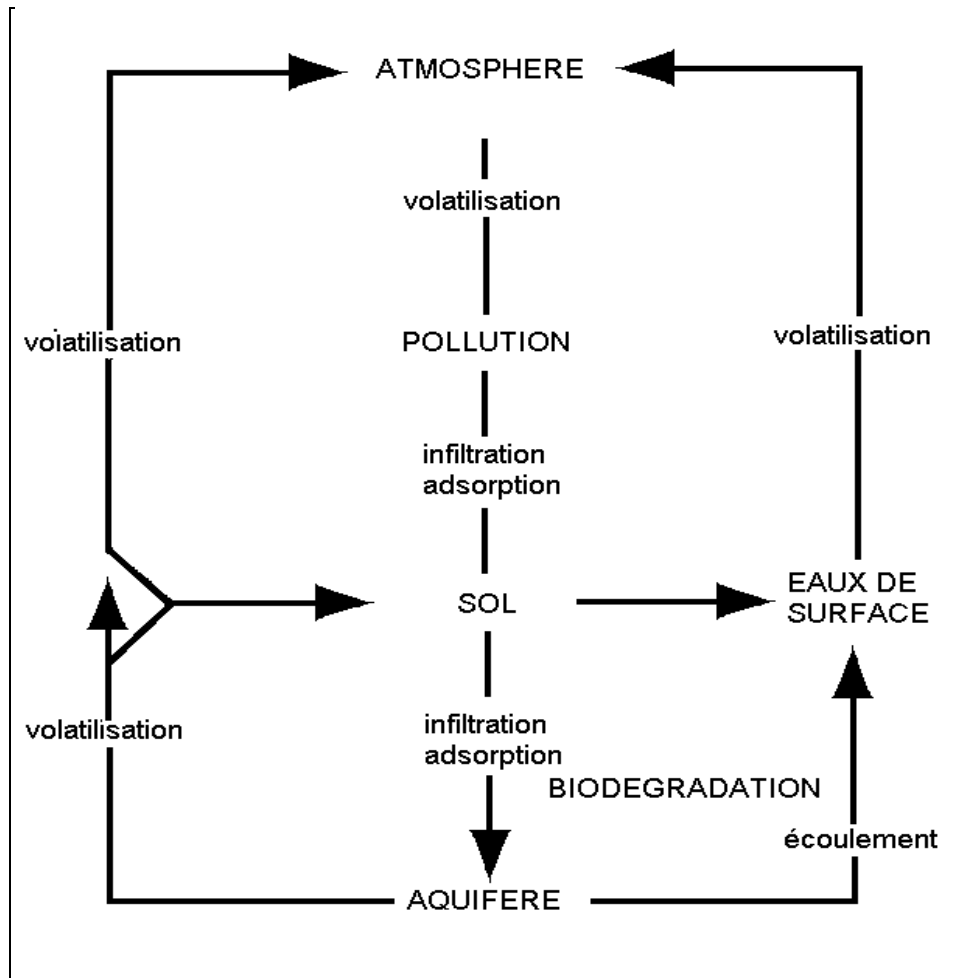


Fig.2.1: Comportement du polluant dans son environnement

Cette partie traite plus particulièrement l'étude bibliographique sur la pollution des eaux et des sols dans la région d'El-Hadjar.

## 2. La pollution des eaux de surfaces

La pollution d'une eau superficielle est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les effets indésirables de ce phénomène sur les organismes vivants ont fait l'objet de nombreux travaux.

Cette pollution provient de plusieurs sources d'origine anthropique, les principales sont :

- Urbaines (activités domestiques ; eaux d'égout, eaux de cuisine...)
- Agricoles (engrais, pesticides)
- Industrielles (agroalimentaire, chimie-pharmacie, pétrochimie, raffinage...)

### **3. Types de pollution**

Trois grandes familles caractérisent la pollution :

#### **3.1. Pollution physique**

Elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels. On distingue :

- Pollution solide : elle provient des particules solides apportées par les eaux industrielles ainsi que les eaux de ruissellement et issue des décharges de déchets à ciel ouvert.
- Pollution thermique : causée généralement par les eaux des circuits de refroidissement des usines, en effet tout changement de température de l'eau a des conséquences significatives sur l'équilibre écologique du milieu aquatique naturel et la survie des organismes vivants.
- Pollution radioactive : liée aux rejets des éléments radioactifs par les installations et les centrales nucléaires ainsi que les usines de traitement de déchets radioactifs.

#### **3.2. Pollution chimique**

Elle est due aux polluants chimiques de nature organique et minérale générés par les différentes activités anthropiques. Ce type de pollution regroupe les solvants, les métaux (Zn, Pb, Cd,.....), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles(PCB), les produits pharmaceutiques, les pesticides, les sels, etc...

#### **3.3. Pollution microbiologique**

Elle provient de plusieurs sources comme les rejets des hôpitaux, l'agriculture ainsi que les rejets d'eaux usées. L'eau se charge alors de microorganismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) qui peuvent être dangereux pour l'environnement et pour la santé humaine.

### **4. Les eaux usées**

Une eau usée ou résiduaire est une eau issue des activités anthropiques (domestiques, industrielles, agricoles) qui a été dégradée après usage. Le rejet direct de ces eaux dans le milieu naturel représente la forme de pollution la plus dommageable pour l'ensemble des écosystèmes. Ces eaux transportent des concentrations élevées en

matières polluantes (azote, phosphore, matière organique, métaux lourds, bactéries pathogènes...), ce qui détériore la qualité des eaux pour les milieux récepteurs (rivières, lac ...).

Suivant l'origine des substances polluantes, on peut classer ces eaux usées en trois catégories :

- Les eaux usées domestiques : comme leur nom l'indique, elles résultent des activités humaines (les excréments humains, les eaux ménagères, etc...). Ces eaux sont généralement chargées en matière organique, azote et phosphore.
- Les eaux usées industrielles : Elles proviennent essentiellement des usines et des installations industrielles ; ces eaux peuvent contenir des éléments traces métalliques (As, Pb, Cr, etc ...), des solvants, des colorants, etc...
- Les eaux usées agricoles : Elles proviennent du lessivage des terres cultivées et traitées avec des engrais et des pesticides, l'utilisation extensive de ces produits sont à l'origine de la présence des nitrates et des éléments traces métalliques (Zn, Cu, Pb,...) dans ces eaux.

## **5. Impact sur l'environnement et la santé humaine**

Les eaux usées rejetées dans les milieux aquatiques sans traitement préalable peuvent occasionner des dégâts irréversibles sur la santé du vivant et sur les écosystèmes.

Sur l'environnement : Le déversement des eaux usées directement dans l'environnement cause de nombreux dangers pour la survie des organismes vivants et l'équilibre écologique. Par exemple la présence de quantités excessives d'azote et de phosphore engendre un phénomène appelé eutrophisation, qui favorise la prolifération de végétaux et diminue la quantité d'oxygène dissous, ce qui provoque à long terme la mort de nombreux organismes vivants au sein du milieu aquatique (poissons, crustacés, etc...). La présence des éléments traces métalliques comme le mercure et l'arsenic dans ces eaux peut avoir un impact négatif sur les organismes vivants les plus fragiles en raison de leur toxicité même à faibles doses, provoquant des dysfonctionnements et des troubles dans leurs fonctions physiologiques (nutrition, respiration et reproduction).

La qualité de l'eau des nappes phréatiques peut être également dégradée par l'infiltration des eaux usées à travers le sol, qui permet la migration des polluants présents dans ces eaux usées vers les eaux souterraines.

Sur la santé humaine : L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. L'insuffisance ou la mauvaise qualité de l'eau est à l'origine de nombreuses maladies dans le monde, notamment dans les pays en développement où 80% des maladies sont dues à l'eau. Les maladies hydriques peuvent être classées selon six catégories différentes :

- Maladies transmises par l'eau (parasites, bactéries, virus) ;
- Infections de la peau et des yeux, dues au manque d'eau ;
- Maladies causées par un organisme aquatique invertébré ;
- Maladies causées par un insecte fourmillant à proximité de l'eau.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), chaque année 4 milliards de cas de diarrhée, en plus des millions d'autres cas de maladies, sont liés à un manque d'accès à l'eau propre pour la consommation humaine. Chaque année, il y a 1,7 million de personnes qui meurent à la suite de diarrhées, la plupart étant des enfants âgés de moins de cinq ans. La santé humaine est gravement touchée par les maladies liées à l'eau, de même que par la pollution due à des rejets de produits chimiques dans l'eau issus des différentes activités humaines. D'après l'UNICEF 60% de la mortalité infantile dans le monde est due à des maladies infectieuses ou parasitaires, majoritairement liées à la pollution de l'eau.

## **6. Pollution en Algérie**

Partout dans le monde, les phénomènes de pollution font l'objet de programmes de surveillance, d'études et de recherches, compte tenu des risques qu'ils présentent pour la santé et l'environnement. Il est temps, d'évaluer, au niveau de l'Algérie, les risques potentiels liés à la pollution. Notre pays et particulièrement nos villes subissent une pollution visible et de plus en plus grande. Les véhicules rejettent leur gaz de combustion, sans aucun contrôle et rendent l'atmosphère des villes irrespirable. Nos déchets sont à 50% collectés et entreposés sur des sites non contrôlés. En somme, nous subissons de plein fouet une pollution qui affecte l'air que nous respirons, l'eau que nous buvons et le sol d'où nous tirons nos aliments. Cette pollution s'intensifie avec l'expansion démographique et l'extension urbaine qui créent une pression de plus en plus forte en matière de ressources, d'énergie, de transport, de sol et de production de déchets. Plusieurs études à caractère national ou international conduites par les organismes d'Etat,

les universités, les instituts, les bureaux d'études et les institutions internationales, ont été menées en Algérie pour diagnostiquer cette pollution.

Parmi les unités industrielles très polluantes qui se situent dans la périphérie des grandes villes d'Algérie on a :

- Le complexe sédirugique d'El-Hadjar et l'usine ASMIDAL d'Annaba qui fabrique des engrais phosphatée et azoté, les polluants solides rejetés par cette dernière sont principalement constitués de poussières de photo gypse (des pierres a plâtre).
- La centrale électrique du Ravin Blanc a oran qui fonctionne au gaz et fuel. Aussi le parc de stockage Naftal qui est une grande cuve pour stoker les carburants où on peu avoir une évaporation des hydrocarbures car les cuves n'ont pas de système anti-évaporation.
- La ville de Skikda demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution par les hydrocarbures du pays. En effet, Skikda est dotée d'une plateforme industrielle vouée à la pétrochimie et qui constitue la principale source de pollution hydrocarbonée et de la pollution métallique

## **7. Diagnostic de la pollution dans la région d'El-Hadjar**

### **7.1. Introduction**

Généralement, il est admis que l'eau dans la nature est rarement pure car différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution ou par un simple mélange. La composition de l'eau dépend de l'environnement dans lequel elle se trouve sous forme d'un processus d'écoulement ou d'un stockage. L'eau est identifiée par ses propres caractéristiques physico-chimiques telles que la dureté, la salinité et le pH. Les éléments qui se mélangent à l'eau lui confèrent un chimisme particulier traduisant certaines propriétés ou spécificités intrinsèques relatif au trajet suivi par l'eau.

L'eau traverse des couches géologiques perméables, ce qui entraîne une augmentation de la minéralisation par lessivage des roches, notamment ceux à nappes libres. Cette situation donne lieu à des atteintes graves à la qualité de l'eau par contamination verticale. Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure par rapport à celles des eaux de surface. La vulnérabilité des systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains est matérialisée par une contamination sous la forme d'affluents qui se jettent dans les cours d'eau. Comme il y a

une relation entre les eaux de surface, les sols et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement étendue vers les eaux souterraines et superficielles par le phénomène de drainage. L'objectif visé dans cette étude est la détermination de la vulnérabilité à la pollution dans la plaine d'El-Hadjar.

La pollution due aux rejets industriels et urbains de la région d'étude est très variée, ses sources potentielles sont :

- Les eaux usées d'origine industrielle chargées en polluants provenant du complexe Arcelor Mittal Algérie.
- Les rejets des usines des zones industrielles de Chaiba et Pont Bouchet.
- Les rejets des eaux usées domestiques (habitation, commerce).
- Activités agricoles : L'agriculture et l'élevage sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans la zone d'étude et proviennent parfois de l'érosion des terres agricoles.

## **7.2. Présentation du complexe Arcelor Mittal**

Le complexe sidérurgique d'EL Hadjar « Arcelor Mittal Algérie » est situé à 12 km d'Annaba. Il occupe une superficie de 832 hectares. Il est intégré dont 51% des actions détenues par Sider et 49% par Arcelor Mittal holdings AG.

Sa Capacité de production est de 1.8 million de tonnes de produits sidérurgiques.

Le complexe se répartit approximativement en trois zones : (1) Les ateliers de production « 300 hectares », (2) La superficie de stockage « 300 hectares » et (3) La superficie des services « 200 hectares »

D'autres terrains ont été acquis à proximité du complexe pour l'implantation du crassier de l'usine et comme réserve d'eau brute (Fig.2-2).

## **7.3. Activités du complexe**

Les premières unités ayant débuté la production sont le secteur fonte et aggloméré ainsi que la tubaire spirale.

Le programme du complexe visait les objectifs suivant :

- Satisfaction optimale des besoins nationaux.
- Formation du personnel.
- Production ayant un haut niveau d'intégration.
- Maitrise des nouvelles technologies.

- Substitution de la production nationale à l'importation.

Parmi les principales unités actives au niveau de complexe, l'unité PMA (préparation de minerai et agglomération) qui comprend :

- Le secteur minerai : dont le rôle est identique en ce qui concerne le minerai acheminé par wagons des mines de l'Ouenza à la station de déchargement.
- Le secteur Coke et addition.
- Le secteur agglomération qui comprend deux secteurs :

1- L'agglomération N°1 mise en service en juin 1961 ayant une capacité de 2100 t/j.

2- L'agglomération N°2 mise en service en mai 1969, d'une capacité de 8260 t/j.

Les rejets du complexe sidérurgique Arcelor Mittal Algérie :

Au cours des cycles de production, les effluents gazeux sont rejetés dans l'atmosphère, d'une part et d'autre part certains liquides toxiques sont déversés dans l'oued Méboudja sans aucun traitement préalable (Tab. 2.1). Cette situation crée une pollution atmosphérique et hydrique à titre d'exemple ce complexe rejette annuellement dans l'atmosphère :

- 36890 tonnes de poussières
- 30895 tonnes de CO
- 2260 tonnes de SO<sub>2</sub>
- 3093 tonnes de NH<sub>3</sub>

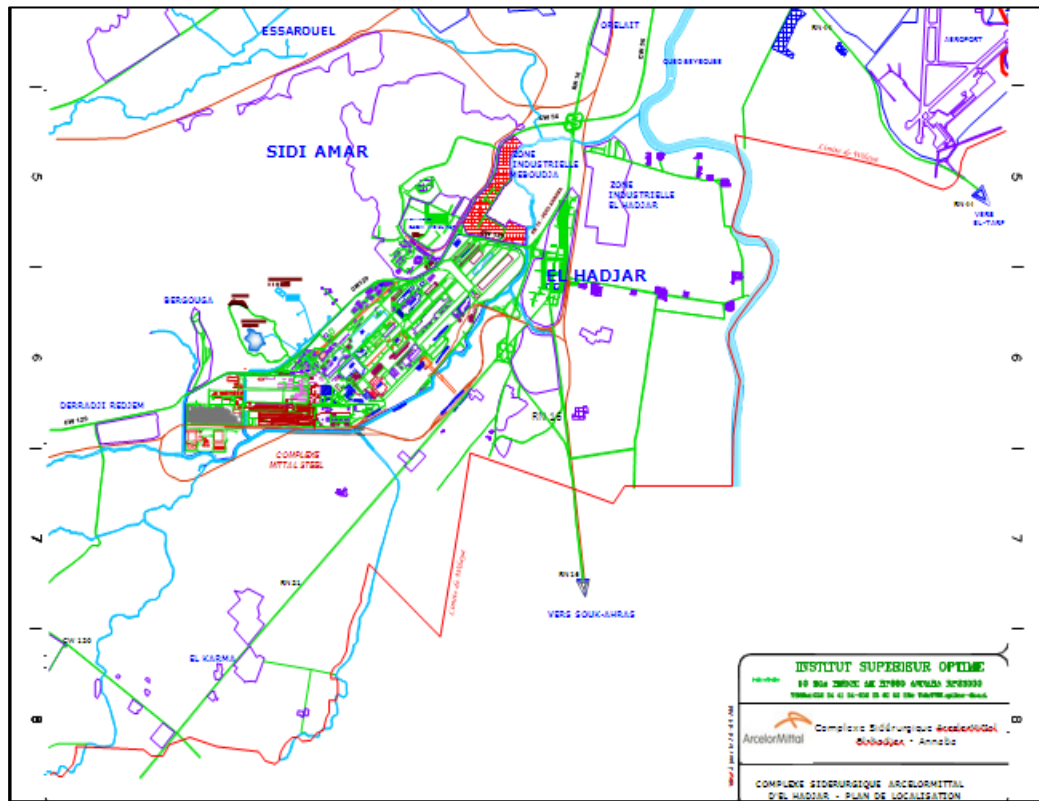


Fig.2.2: Complexe sidérurgique Arcelor Mittal Algérie [12]

Tab.2.1 : Types et Quantités de rejets provenant de l'unité Arcelor Mittal Algérie.

Unité	Type de rejet	Quantité annuelle	Milieu récepteur	Milieu affecté
Laminoin à chaud (LAC)	Huiles Minérales	870 m <sup>3</sup> /an	Oued Meboudja	Sol d'agriculture Eau d'irrigation
Aciérie électrique (ACE)	Poussière	7600 tonnes/an	Atmosphère	L'Atmosphère Terrains Agricoles
Aciérie à oxygène N°1 (ACO <sub>2</sub> )	Mas à l'Oued Poussières	1070 tonnes 190 tonnes/an	Oued Méboudja	Sol d'agriculture Eau d'irrigation
Aciérie à oxygène N°2 (ACO <sub>2</sub> )	Huiles Minérales	1925 m <sup>3</sup> /an	Oued Méboudja	Sol d'agriculture Eaux d'irrigation
Hauts fourneaux HFX	MES Poussière	4900 tonnes/an 8425 tonnes/an	Atmosphère	L'Atmosphère Terrains Agricoles
Préparation Matière (PMA)	Poussière Nox CO	15120 tonne/an 846 tonnes/an 308950 tonnes/an	Atmosphère	L'Atmosphère Terrains Agricoles
Cokerie	Poussière SO <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> MO CN Phénol	5644 tonnes/an 2260 tonnes/an 3093 tonnes/an 1220 tonnes/an 94 tonnes/an 660 tonnes/an	Atmosphère Atmosphère Atmosphère Atmosphère O. Méboudja O. Méboudja	L'Atmosphère Terrains agricole Eaux d'irrigation



## **8. Etudes réalisées sur le site**

Parmi les travaux concernant la pollution industrielle de la zone d'étude, nous citons ceux de N. Kherici, 1993 ; L. Djabri, 1996 ; A. Louhi, 1997 ; T. H. Debièche, 2002 ; hazourli 2007; Boughrira 2015; Attoui 2014. On s'est inspiré sur les références citées plus haut pour dresser un bilan préliminaire de l'état des lieux. Les deux dernières thèses ont été les plus utilisées, en raison de leurs disponibilités et du fait qu'elles renferment des données plus récentes. Ces travaux ont porté sur l'impact des rejets de Sider sur les eaux superficielles et souterraines et les sols.

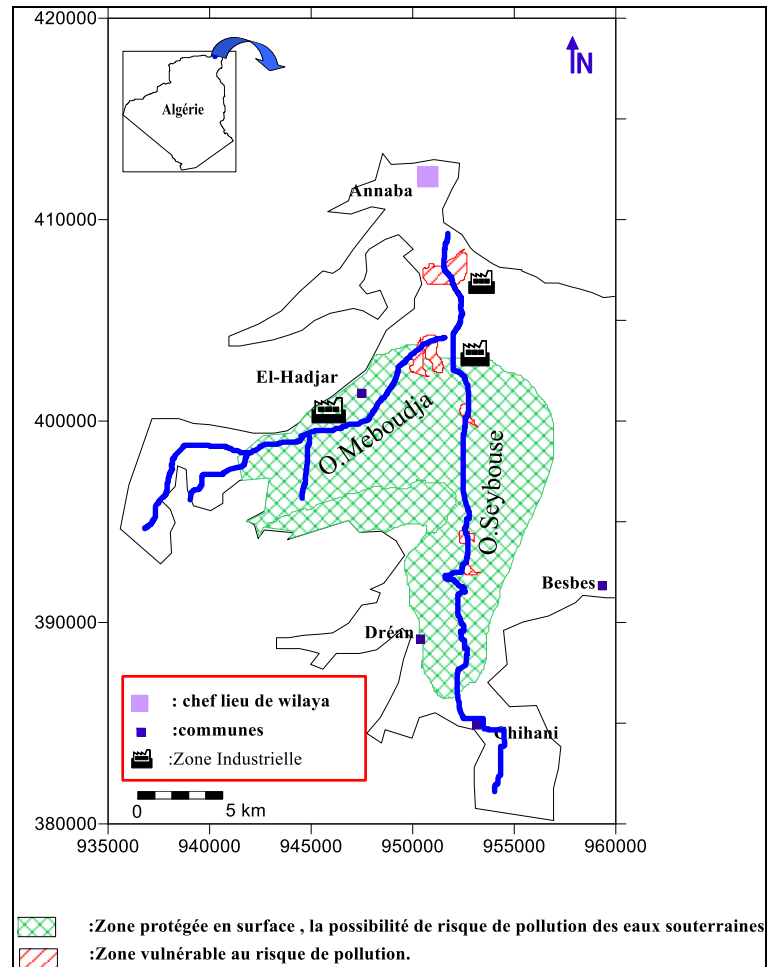
### **8.1 Vulnérabilité à la pollution**

La vulnérabilité des eaux souterraines est en effet fragile et le risque de pollution est d'autant plus redoutable qu'il est lent à produire leurs effets, à travers le sol jusqu'à la zone non saturée. Ainsi, quelque soit la nature de la pollution physique (radioactivité), chimique (polluants minéraux) et organiques (pesticides, solvants divers) et ou bactériologique : les bactéries, virus, les aquifères sont toute fois touchés.

Cependant la prévention contre la pollution des nappes constitue une étape importante, à laquelle les scientifiques consentent de plus en plus d'efforts, notamment en étudiant la vulnérabilité des nappes souterraines, dans ce cadre ils ont créé des méthodes scientifiques classiques et numériques, pour faciliter l'identification de l'état de ces nappes et pour contrôler l'évolution des polluant dans les réservoirs d'eau telles que les méthodes (DRASTIC, GOD, SI, SINTACS...) (Annexe 1), Voici un exemple sur la détermination de la vulnérabilité dans la région d'étude :

#### **8.1. Méthode de détermination de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux [7]**

Le travail consiste à évaluer la vulnérabilité et le risque de pollution d'un certain nombre de points d'eau, représentant la région d'Annaba (Fig.2.3).



**Fig.2-3:** Carte de vulnérabilité et de risque de pollution de la nappe superficielle dans la région d'Annaba-Bouteldja [7].

Dans cette nappe il existe deux types d'états de vulnérabilité (Fig.2.3) et de risque à la pollution.

1-Le terrain vulnérable avec risque de pollution, occupe la zone colorée en rouge. La lithologie de ce terrain est essentiellement formée de couches sablo-argileuses avec un pouvoir auto épurateur du sol sur le trajet vertical  $M_{dinf}$  inférieur à 1, lié surtout au niveau piézométrique proche de la surface du sol (<1m). L'indice de contamination minérale (ICM) est très élevé de l'ordre de 6.

2-Le vert qui occupe presque toute la plaine d'El-Hadjar, indique un terrain protégé en surface avec la possibilité de risque de pollution des eaux souterraines. La lithologie est presque la même, où la valeur du pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical  $M_{dest}$  supérieur à 1. Par contre les valeurs de l'indice de contamination minérale (ICM) et organique (ICO) sont élevées.

## 8.2. Pollution par les métaux des eaux et sols de la région d'Annaba [40]

L'étude réalisée, concernant les rejets liquides dans les zones proches des unités industrielles de Annaba, et les eaux de l'oued Seybouse et son affluent Meboudja , nous a permis de cerner les risques de pollution que présentent certains métaux pour les eaux superficielles et pour les sols.

**Tab.2.2:**Résultats des analyses des eaux superficielles dans la région de Sider [40]

Eléments	Al	Fe	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb	Sn
<b>Eaux de Sider</b>	0.324	63.33	8.894	6.644	0.081	4.759	0.115	0.072
<b>Oued Meboudja (1Km de Sider)</b>	0.182	17.28	6.271	0.220	0.042	2.137	0.240	0.028

**Tab.2.3 :** Analyse des sols [40]

Eléments	Sn	Pb	Cr	Ni	Zn	Cu	Fe	Al
<b>El-Hadjar</b>	0.097	0.814	0.587	0.160	2.180	0.382	131.90	219.531
<b>El Bouni</b>	0.052	0.655	0.331	0.110	1.375	0.590	101.00	171.163
<b>Sidi Salem</b>	0.054	0.454	0.390	0.154	1.421	0.138	81.94	105.002

Les résultats obtenus montrent que les métaux : Fe (T), Al, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb et Sn sont présents à des teneurs importantes dans les eaux et dans les sols.

- Le Fer total se trouve avec des teneurs plus ou moins importantes dans les eaux, la concentration maximale oscille autour de 63,3 mg/l, se trouve au niveau des rejets de Sider (oued Meboudja). Dans les sols, la quantité maximale trouvée est de l'ordre de 142,8 mg/l. Sa concentration limite est de 5 mg/l, il apparaît donc, que les eaux de l'oued Meboudja et les sols avoisinants de Sider renferment des quantités en fer dépassant les seuils de tolérance.

La présence de cet élément avec des quantités excessives est due partiellement aux rejets des poussières de Sider, ceci s'explique par la diminution des concentrations trouvées à mesure qu'on s'éloigne de Sider.

- Les quantités d'Aluminium trouvées dans les sols sont importantes. La valeur maximale est de l'ordre de 223 mg/l. Ceci peut être du à la géologie du sol. Par contre,

dans les eaux, la concentration maximale trouvée oscille autour de 0,32 mg/l. Cette teneur est inférieure aux seuils établis par l'OMS (0,5 mg/l).

- Cependant, le Cuivre présente une teneur relativement élevée, elle est de l'ordre de 8,89 mg/l dans les eaux de l'oued Meboudja (près de Sider). Il provient partiellement des processus technologiques. Les teneurs trouvées dépassent largement les normes de l'OMS. Dans les sols, la concentration maximale obtenue oscille autour de 0,62 mg/l.

- Pour le Zinc, les teneurs trouvées dans les points de prélèvement, sont de l'ordre de 6,64 mg/l et 2,18 mg/l respectivement dans les eaux et les sols. Ces quantités restent faibles par rapport aux normes établies par l'OMS.

- L'analyse du Nickel révèle que l'industrie de Sider rejette une concentration plus au moins faible de l'ordre de 0,08 mg/l. Cette quantité provient vraisemblablement des équipements composés d'alliage de nickel, utilisés dans les ateliers. Les concentrations du nickel dans les sols varient autour de 0,16 mg/l, ceci peut avoir comme origine la lithologie du sol.

- Le Chrome, présent dans les eaux rejetées par Sider (oued Meboudja) avec une concentration de l'ordre 4,76 mg/l, provient des rejets de l'atelier de galvanoplastie. D'ailleurs les teneurs trouvées diminuent le long de l'oued de Meboudja vers la mer. Les normes de l'OMS donnent à propos du chrome la valeur de 0,05 mg/l dans l'eau potable, ce qui montre que les eaux étudiées présentent un risque plus ou moins important.

- Le Plomb a été également dosé dans les eaux et les sols. Le dosage dans les eaux a donné un résultat de l'ordre de 0,24 mg/l dans l'oued Meboudja (Sider). Sa teneur dans les sols est de l'ordre de 8,1 mg/l près des agglomérations d'El-Hadjar. Ce métal provient de la fusion des minerais et de la combustion des carburants. Les quantités de plomb trouvées dans les eaux dépassent très peu la limite établie par l'OMS pour les eaux naturelles et largement les eaux de surface.

- En ce qui concerne l'Etain, les concentrations maximales trouvées sont de l'ordre de 0,072 mg/l dans les eaux rejetées par Sider (oued Meboudja). Les quantités trouvées sont probablement dues aux processus technologiques.

En plus les techniques analytiques quantitatives appliquées aux échantillons de sédiments utilisées par N. Boughrira (2015) sont la DRX le MEB et l'extraction par les acides, Confirme l'existence des éléments traces métalliques; dans le lit de l'oued Meboudja, et la présence d'argile ou d'oxydes de fer et de manganèse va jouer le rôle de piège pour les contaminants métalliques.

### 8.3 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 [34]

L'objet de son travail est l'étude des caractéristiques physico-chimiques des eaux superficielles et souterraines dans la basse plaine de la Seybouse, et l'impact des activités industrielles, et particulièrement l'influence des rejets de Sider sur les eaux superficielles et souterraines de la région.

Dans la basse vallée de la Seybouse, une grande activité industrielle et urbaine se développe sur les deux rives de son affluent l'oued Meboudja. Ce dernier reçoit quotidiennement des centaines de mètres cubes de rejets déversés par Sider, qui produisent une détérioration totale de la qualité des eaux de l'oued Meboudja.

Dans cette étude, Debièche a montré l'état de l'eau de l'oued, les différents polluants chimiques existants, leurs origines ainsi que leur évolution en fonction des paramètres physico-chimiques de l'eau de l'oued. Les stations de prélèvements ont été choisies en fonction de la position de la zone industrielle. Deux stations de prélèvement sont choisies, une à l'entrée et l'autre à la sortie du complexe, dans les deux périodes ; hautes eaux et basses eaux. Les résultats obtenus sont représentés dans le Tableau 2-4.

La composition chimique de l'oued Meboudja, montre une dominance des cinq éléments chimiques majeurs:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . L'origine de ces éléments au niveau de l'oued est liée au lessivage des cipolins et aux apports salifères du lac Fetzara [71].

D'autres éléments secondaires ( $\text{Fe}$  (T),  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) apparaissent au niveau de l'oued Meboudja avec des concentrations élevées. Ces éléments ont un caractère polluant.

➤ **Ammonium** : l'existence de cet élément dans les eaux de l'oued Meboudja est due à l'utilisation de bases ammoniacales dans la cokerie, pour l'épuration du gaz et l'extinction du coke. La concentration maximale de l'ammonium dans l'eau de l'oued est de l'ordre de 44 mg/l.

➤ **Fer et Manganèse** : ces éléments ont une origine commune représentée par les rejets acides de l'usine de Sider, qui sont déversés directement dans l'oued. Les concentrations maximales du Fer et du Manganèse sont respectivement 9,9 mg/l et 2,5 mg/l.

**Tab.2.4:** Composition physico-chimique des eaux de l'oued Meboudja (ppm)[34]

Site et période Paramètre	Oued Meboudja (Amont)		Oued Meboudja (Aval)	
	Février	Août	Février	Août
<b>Ph</b>	8.26	7.95	8.6	7.0
<b>Conductivité (µs/cm)</b>	1377	3832	1435	1630
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	66.5	114	75	108
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	21.5	86	22	28
<b>Na<sup>+</sup></b>	150	673	132	216
<b>K<sup>+</sup></b>	3.9	11.75	5	13
<b>Si<sup>4+</sup></b>	1.32	0.34	1.8	2.3
<b>Sr</b>	0.37	1.13	0.3	0.6
<b>Cl<sup>-</sup></b>	212.03	1056	232	333
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	82.96	48.89	106	243
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0.0	0.0	5.54	0.0
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	165.92	324.52	196	173
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	0.165	1.485	0.26	0.5
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0.16	5.95	0.16	<b>44</b>
<b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	0.37	1.43	0.47	0.8
<b>Fe(T)</b>	0.07	0.56	0.16	<b>9,9</b>
<b>Mn<sup>2+</sup></b>	0.02	1.04	0.13	<b>2,5</b>

## 9. Conclusion :

Cette étude bibliographique a montré l'existence de plusieurs types de pollutions au niveau de la plaine d'El-Hadjar qui peuvent influencer sur la qualité des eaux et des sols.

- Les eaux de surface sont affectées par une pollution dans l'oued Meboudja par le fer, le manganèse et l'ammonium. Ces éléments polluants sont dus aux rejets industriels du complexe sidérurgique qui se jettent directement dans l'oued. Le risque de cette contamination contribue à la détérioration de la qualité des eaux qui deviennent inutilisables en pour l'irrigation.

-La nappe superficielle est soumise à une contamination naturelle due à la dissolution des formations évaporitiques et carbonatées d'où la forte concentration en Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

Les concentrations élevées d'hydrocarbures dans les sédiments de fond sont typiques des zones périphériques comme les baies, les estuaires et les embouchures des rivières. Les concentrations dépendent souvent d'événements associées aux déversements et aux conditions environnementales (conditions hydrologiques, sédimentologiques et climatiques par exemple). Il faut tenir compte de plusieurs facteurs pour caractériser la contamination des eaux douces par les hydrocarbures. À titre d'exemple, les plans d'eau et rivières continentales subissent un impact anthropique bien plus important que les eaux océaniques. De plus la diversité des polluants dont les hydrocarbures est bien plus grande. Lorsque le processus d'absorption des hydrocarbures par les sédiments survient, le polluant subit des transformations chimiques avec une augmentation de la part des goudrons et asphaltes, résistants à la dégradation, et des HAP, reconnus pour leur haute toxicité et leurs propriétés cancérigènes.

## **CHAPITRE 3**

# **ETUDE DES CARACTERISTIQUES DES SOLS DANS LA PLAINE D'EL-HADJAR**

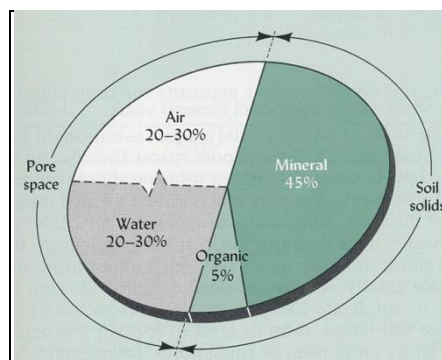


## 1. Introduction

L'état du sol n'a fait l'objet d'une prise de conscience que depuis les années 90. Principalement la base de la ressource alimentaire, le sol était autrefois considéré comme une simple ressource économique. L'homme s'est alors comporté comme si le sol était capable de supporter une pollution infinie. Mais, des pressions de plus en plus fortes (activité agricole intense, pollution industrielle, enfouissement des déchets, épandage de boues...) ont révélé ses limites (rétention des pollutions, capacité d'épuration limitée, de réparation très lente...). Le sol constitue un patrimoine à préserver des dégradations car c'est une ressource non renouvelable. Une substance dans le sol, par l'effet de différents mécanismes tels que les eaux de ruissellement, la volatilisation ou l'absorption par les plantes, peut devenir mobile pour atteindre la nourriture de l'homme ou un écosystème vulnérable ou tout simplement une ressource en eau facilement accessible. Si des voies de transfert et des voies d'exposition de l'homme existent, un impact sur la santé est alors envisageable.

## 2. Ce qu'est un sol ? :

Ce qui pourrait passer pour un matériau homogène, se révèle, à la loupe, un mélange de "grains » durs, d'eau, d'air, d'êtres vivants ou morts et d'humus. On peut donc décrire le sol comme un système polyphasique. Il comprend :



**Fig. 3.1:** Répartition moyenne en% des différentes phases du sol

- Une phase solide comportant les minéraux et les substances organiques inertes, mais aussi les êtres vivants
- Une phase liquide, quasi exclusivement aqueuse qui outre l'eau, contient l'ensemble des substances et gaz dissous qui jouent un grand rôle dans les fonctions du sol (nutrition, réservoir et filtre de certains éléments...)

-Une phase gazeuse en équilibre avec la phase liquide. Elle constitue l'air du sol, dont la composition est assez différente de celle de l'air atmosphérique, avec lequel il existe de nombreux échanges. La teneur en CO<sub>2</sub> est notoirement plus élevée (0,5 à 5%) contre 0,035% dans l'atmosphère. En contrepartie, la teneur en oxygène est parfois plus basse, mais nécessaire à la respiration des organismes vivants dans le sol (racines, champignons, vers de terre, etc...). Elle est en outre pratiquement toujours à vapeur saturante pour la vapeur d'eau.

### **3. Sources et types de polluants rencontrés dans les sols :**

Dans la plupart des cas, les contaminations locales des sols trouvent leur origine dans des pratiques du passé qui ne tenaient pas compte des impacts environnementaux, que ce soit en matière d'exploitation industrielle ou minière (infiltration ou déversement de substances polluantes, stockage sans mesure de protection des sols, retombées de poussières...), ou en matière d'élimination des déchets (décharges, dépôts de résidus miniers ou industriels utilisés comme remblais...).

Aujourd'hui, les nouvelles pollutions locales de sols ont plus souvent un caractère accidentel, lié au transport ou au stockage de substances dangereuses. Les législations environnementales qui encadrent les activités pouvant présenter un risque pour l'environnement réduisent en effet le risque d'apparition de pollutions nouvelles, même si aucune législation visant spécifiquement la protection des sols n'est encore en vigueur en région wallonne, hormis celle relative aux stations-service et à l'épandage de boues d'épuration.

Outre les activités économiques, les activités de service (hôpitaux, centrales électriques, infrastructures de transport...) et les particuliers peuvent aussi être à l'origine de pollutions locales des sols (fuites de cuves à mazout, usage de pesticides, déversement de solvants, stockage de produits dangereux, entreposage de déchets...).

Ces sources ont libéré et libèrent dans les sols des substances chimiques organiques (hydrocarbures, HAP, BTEX, PCB, solvants halogénés...) ou inorganiques (cyanures, arsenic, cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb, zinc...), susceptibles de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité de l'environnement.

Certaines de ces substances peuvent se rencontrer à l'état naturel dans les sols en faibles concentrations. C'est le cas des éléments traces métalliques (ETM), dont les concentrations naturelles dans le sol proviennent essentiellement de l'altération du matériau géologique à partir duquel le sol s'est formé. En certains endroits, leurs teneurs

peuvent sensiblement croître en raison d'anomalies géochimiques naturelles ou de phénomènes de contamination diffuse. D'autres sont exclusivement d'origine anthropique. C'est le cas général des polluants organiques.

Les polluants les plus fréquemment rencontrés dans les sols sont les suivants : les éléments traces métalliques ou ETM (arsenic, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc...), issus de la métallurgie (scories, mâchefers...), ou utilisés dans l'industrie du textile, de l'imprimerie, de la peinture (pigments), du bois (agents antibactériens), ou encore dans l'industrie chimique (catalyseurs) ; les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène), utilisés comme solvants dans l'industrie chimique et cosmétique, dans l'imprimerie, ou générés par les industries de traitement du charbon (cokéfaction)..., ou encore présents dans les combustibles et carburants ; les hydrocarbures aliphatiques (fraction C10-C40), présents dans les combustibles, carburants, lubrifiants (huiles minérales) et goudrons, ou générés par les industries de raffinage et de transformation de produits pétroliers, ainsi que par les activités de transport, de stockage et de distribution de ces produits ; les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP (naphtalène, benzo(a)pyrène, phénanthrène, chrysène...), produits par des processus de combustion (moteurs, chauffage, incinérations, fumoir en industrie agro-alimentaire...), ou générés par les activités de traitement du charbon (cokéfaction, usines à gaz) et l'industrie pétrochimique, ou encore utilisés comme intrants dans le traitement du bois (créosote)... ; les composés organiques halogénés volatils ou COV (trichloroéthylène, tetrachloroéthylène, chlorure de vinyle, chlorométhane, chlorobenzène...), utilisés comme intrants dans l'industrie du textile (dégraissants et détergents), dans l'industrie du papier (agents de blanchiment)... ; les polychlorobiphényles ou PCB, utilisés comme huile de transformateurs et de condensateurs, comme fluides caloriporateurs et hydrauliques, comme plastifiants, lubrifiants, dans les peintures, les vernis, les encres, les huiles de coupe... ; les cyanures, utilisés comme intrants dans des procédés de traitement de surface, de galvanoplastie, de traitement de minerais, ou générés comme sous-produits indésirables de la cokéfaction, des usines à gaz, de la chimie du charbon ou du pétrole (plastiques, pesticides, teintures), ou encore présents dans les eaux de lavage des hauts fourneaux.

**Tab.3.1:** Les principales dégradations des sols [54]

Problèmes	Origines	Conséquences
<b>Dégradation physique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Artificialisation-Imperméabilisation</li> <li>• Désertification</li> <li>• Compaction - tassement</li> <li>• Érosion</li> </ul>	Pertes en récoltes et terres agricoles, pertes des fonctionnalités épuratrices, baisse de productivité agricole, pollution des cours d'eau, modification de l'hydraulique.
<b>Dégradation chimique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acidification</li> <li>• Contaminations d'origine industrielle ou agricole (pesticides, métaux, etc.)</li> <li>• Salinisation</li> </ul>	Modification des fonctionnalités du sol et remobilisation des métaux, pollutions des eaux de surface et des aquifères, stérilisation des sols, risques pour la santé humaine, toxicité du sol et de ses produits, pertes en terres agricoles.
<b>Dégradation biologique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perte de matière organique</li> <li>• Dégradation de l'humus</li> <li>• Perte de la biodiversité</li> </ul>	Perte de biodiversité, aggravation des dégradations chimiques et physiques, flux de gaz à effet de serre.

#### 4. Risques de pollution

La pollution des sols est liée à la présence de trois facteurs à savoir ; l'existence d'une source de pollution dangereuse, les possibilités de transfert et l'existence de cibles. Elle est liée à la mobilité des substances polluantes soit par le transfert dans l'air, l'eau des nappes phréatiques, dans les cultures, etc. soit par la combinaison chimique des polluants au contact des constituants du sol, combinaisons plus ou moins dangereuses.

#### 5. Les conséquences possibles sur la santé

L'évaluation des polluants présents dans le sol peut être réalisée par des mesures physiques ou chimiques (calcul de la concentration de polluants comme le mercure, le cuivre, le plomb, etc.), ou bien par observation des indicateurs biologiques : biodiversité végétale et animale, etc.

En effet, ces polluants peuvent se retrouver dans l'air (poussières) et dans l'eau, où ils deviennent dangereux car potentiellement absorbés par les êtres vivants et donc avoir un impact sur leur santé :

- Certains métaux lourds et métalloïdes sont connus pour leur pouvoir neurotoxique ou cancérigène par ingestion et/ou inhalation.

- Certains hydrocarbures, en particulier le benzène et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sont reconnus pour leur effet CMR (cancérigène, mutagène, reprotoxique). En 2003, les HAP ont été rajoutés aux produits visés par la convention de

Stockholm sur les polluants organiques persistants : ils ont été classés comme produits très préoccupants pour la santé.

- Beaucoup de solvants halogénés ou leurs produits de dégradation sont reconnus comme substances très toxiques, toxiques et nocives, parfois cancérigènes (par exemple le trichloroéthylène ou le chlorure de vinyle). Ils peuvent causer divers troubles, notamment neurologiques aigus et chroniques, cutanéomuqueux, hépato-rénaux, cardio-respiratoires et digestifs.

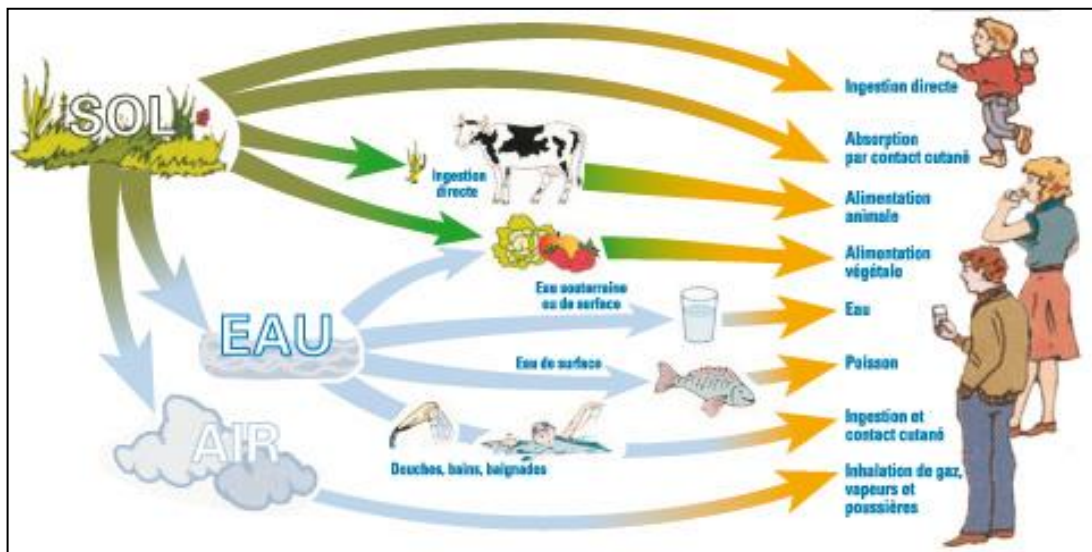


Fig.3.2:Relation sol et santé humaine

## 6. Caractérisation des sols de la plaine d'El Hadjar

La plaine d'El-Hadjar qui constitue le prolongement de la plaine ouest d'Annaba, s'étend sur une superficie de 7980 ha. Du point de vue pédologique, la zone d'étude est caractérisée par une homogénéité lithologique où les sédiments du quaternaire (récents) constituent la quasi-totalité des terrains avec prédominance de sables, limons et galets [72, 71]. La couverture pédologique prospectée permet d'avancer que la plaine d'El-Hadjar présente une fertilité moyenne à bonne, avec :

- **Sols peu évolués** : d'origine non climatique (3042 ha), ce type de sols se localise essentiellement sur les terres onduleuses des pieds de montagnes et sur les terrasses (Fig. 3.3). L'épaisseur varie selon leur position topographique, et ils se caractérisent par une très faible rétention d'eau, une perméabilité très élevée et un taux de matières organiques moyen.

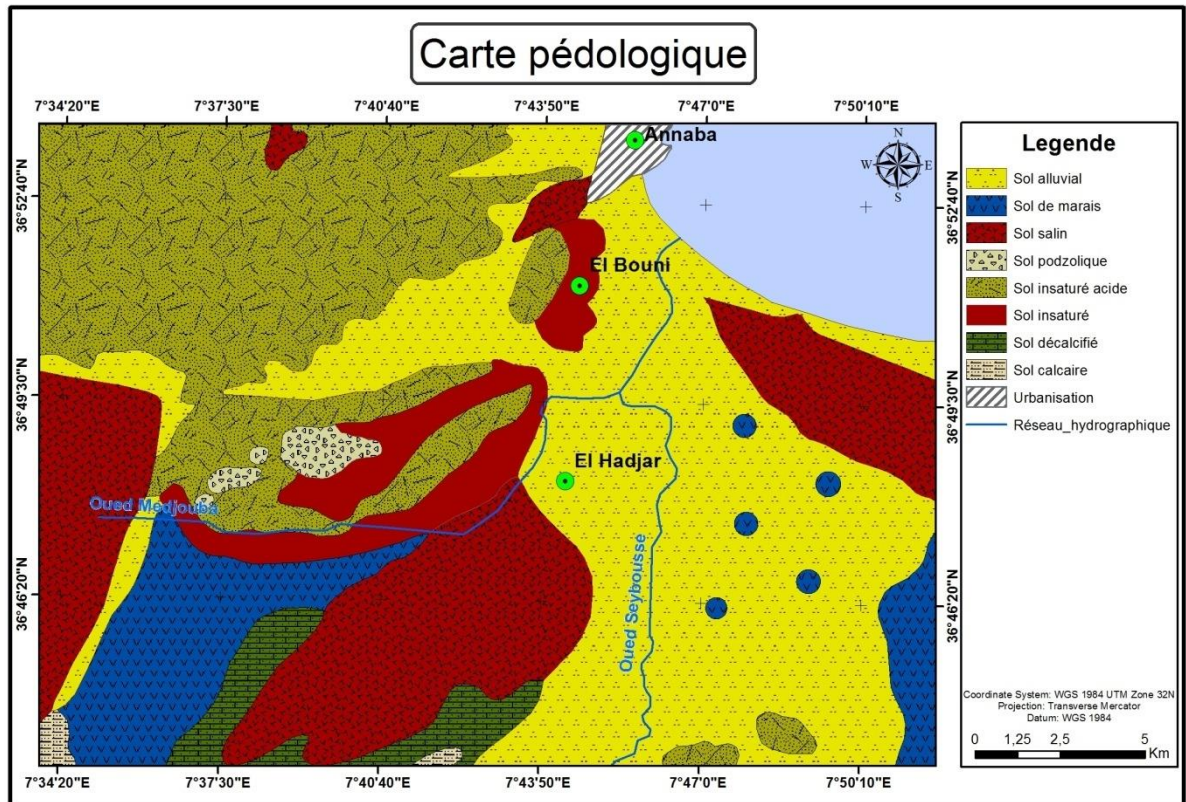
- **Vertisols (1331 ha)** : sont des sols riches en argile gonflante, ils ont de mauvaises propriétés physiques (sols lourds), possèdent une texture très fine et présentent un mauvais drainage. On distingue deux classes, les sols à drainage externe nul ou réduit et les sols à drainage externe possible (Fig. 3.3).

- **Sols hydromorphes (482 ha)** : Ces sols sont fréquents à l'Ouest, au sud, à côté de la plaine Ouest d'El Hadjar (Fig. 3.3). Ce sont des sols à texture très fine et une faible perméabilité. La présence d'une nappe explique alors l'hydromorphie temporaire ou permanente.

- **Sols halomorphes (684 ha)** : Ces sols se trouvent dans une petite partie de la plaine d'El Hadjar (Fig. 3.3). Ils sont caractérisés par l'accumulation des sels solubles, à texture lourde et riches en minéraux argileux gonflants.

- **Sols calci-magnésiques (1437 ha)** : Ils s'étendent sur la plaine Ouest d'El Hadjar (Fig. 3.3), ce sont des sols à texture favorable, à dominance de calcium et de magnésium, de texture fine à moyennement fine et de perméabilité modérée. Leur teneur en calcaire total peu élevée n'affecte pas l'assimilabilité de certains éléments tels que le phosphore et le potassium.

- **Sols minéraux bruts (372 ha)** : Ils sont fréquents dans la plaine Ouest d'El Hadjar (Fig.3.3), ils se caractérisent par une texture sableuse par une très faible rétention d'eau, une perméabilité très élevée, une structure continue et un taux de matière organique moyen.

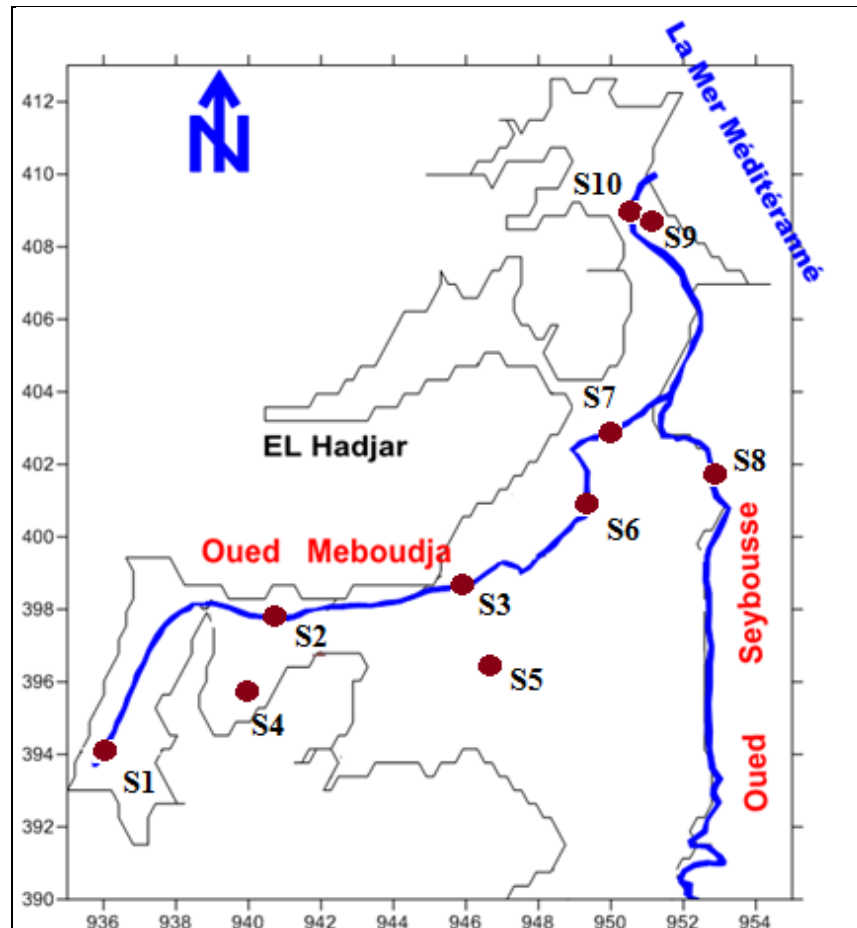


**Fig.3.3:** Différents types de sol de la plaine d'El Hadjar

## 4.7 Matériels et Méthodes

### 4.7.1 Echantillonnage des sols

L'étude de la répartition spatiale des sels dans les sols par prélèvements d'échantillons suivis d'analyses de laboratoire est très difficile à cause de la grande variabilité des teneurs en sels d'un point à un autre. L'échantillonnage est l'étape la plus importante car la qualité des résultats d'analyses obtenus au laboratoire dépendra de la représentativité des échantillons prélevés sur le terrain. Les prélèvements des échantillons de sols ont été effectués, durant le mois de Juin 2013, au niveau de dix (10) points (Fig. 3.4), sur la couche superficielle (0 – 25 cm), car c'est à ce niveau que s'effectuent les échanges ioniques les plus importants.



**Fig.3.4:** Carte d'inventaire des points de prélèvements du sol dans la plaine d'El-Hadjar.

Les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2 mm, pour obtenir de la terre fine qui va servir à toutes les analyses chimiques, physico-chimiques et physiques. Les analyses de sols sont réalisées avec les méthodes d'analyse courantes en pédologie (Tab. 3.2).

**Tab.3.2:** Méthodes d'analyses physico-chimiques des sols

Paramètres	symbole	Unité	Méthodes
pH	pH	/	pH mètre
Conductivité électrique	CE	mS/cm	Conductimètre
Carbone organique	CO	%	Anne modifiée
Matière organique	MO	%	MO = % C * 1.72
Calcium et Magnésium	Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup>	mg/l	Complexométrie
Sodium et Potassium	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	mg/l	Spectrométrie d'émission à flamme



## **8. Résultats et discussions**

### **8.1. Les propriétés physiques des sols**

Les principaux objectifs de la physique des sols consistent à établir les lois générales décrivant de manière quantitative le comportement des sols à court terme, de sorte qu'elles puissent être utilisées à la solution de problèmes. Les phénomènes rapides de transfert d'eau, d'air, de chaleur et de solutés exercent une influence déterminante sur les conditions et la croissance des plantes, mais aussi sur la protection et la conservation des sols et la protection des nappes phréatiques contre les contaminants.

#### **8.1.1 La granulométrie**

La texture d'un sol ou granulométrie est la représentation de la taille des particules qui compose le sol. Les sols naturels sont constitués par un mélange de particules élémentaires de différentes dimensions et par suite de propriétés différentes. D'une manière générale, les propriétés d'un sol dépendront de la proportion des particules fines par rapport à celle des plus grosses. Pour étudier les propriétés mécaniques des sols, il est donc nécessaire de connaître leur nature et de les classer. L'analyse granulométrique est un des moyens classiques de l'étude des sols. Elle permet de définir la texture, qui conditionne à son tour en partie les propriétés physiques et physico-chimiques du milieu [26]. La texture ou la granulométrie d'un sol est généralement décrite par la classe texturale basée sur les proportions de sable, limon et argile que contient le sol.

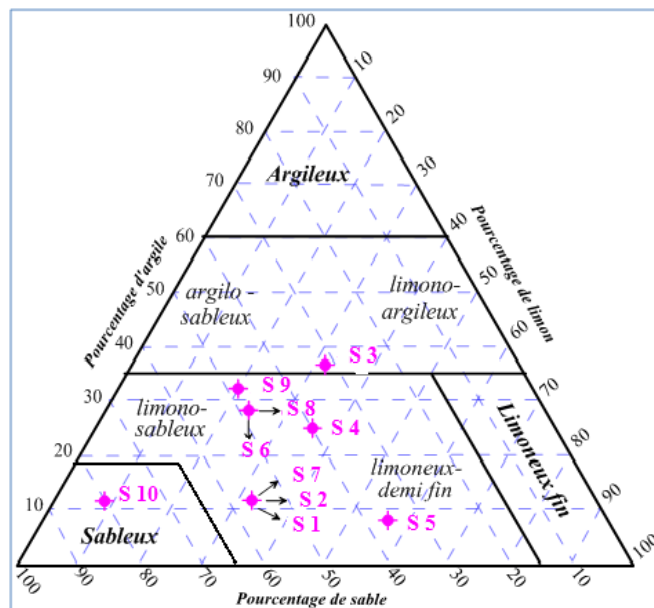
Ces proportions déterminent la grosseur des pores ou espaces entre les particules de sol et d'air et dans une large mesure, la capacité à retenir l'humidité et les éléments nutritifs. Les particules du sol de moins de 2 mm de grosseur sont classées en trois catégories : sable (la plus grosse), limon et argile (les plus petites) [70]. On classe les sols d'après les ratios de ces différentes particules. Par exemple, les sols classés comme "sableux" sont constitués de plus de 50 à 55 % de sable, alors que les sols "argileux" ont un contenu d'argile de 45 % ou plus. Les résultats des analyses granulométriques sont présentés dans le tableau suivant (Tab.3.3).

La représentation des résultats des analyses granulométriques sur les triangles des textures (Fig.3.5) montre la dominance de la fraction limono-sableuse dans la majorité des échantillons avec des valeurs moyennes de 62,34 %, cet excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une structure massive, accompagnée de mauvaises propriétés physiques de sols.

**Tab.3.3 :** Résultats de l'analyse granulométrique des sols de la région d'El-Hadjar.

Echantillons	Sable %	Argile %	Limon %
S1	56	12	32
S2	56	12	32
S3	32	36	32
S4	48	28	24
S5	36	8	56
S6	40	24	36
S7	56	12	32
S8	48	28	24
S9	48	32	20
S10	80	12	8

La fraction sableuse moyenne est d'ordre de 32 % et 56 %, elle est supérieure à 50 % au niveau de l'échantillon S1, S2, S7 et S10 situé dans la partie Nord-est de la région d'étude proximité de la mer. Alors que la fraction argileuse se présente avec des faibles valeurs, soit une moyenne de 12 % et une valeur maximale (36%) est enregistrées au niveau de l'échantillon S3.



**Fig.3.5 :** Texture des sols de la région de la plaine d'El-Hadjar

### 8.1.2. Les propriétés physico-chimiques des sols

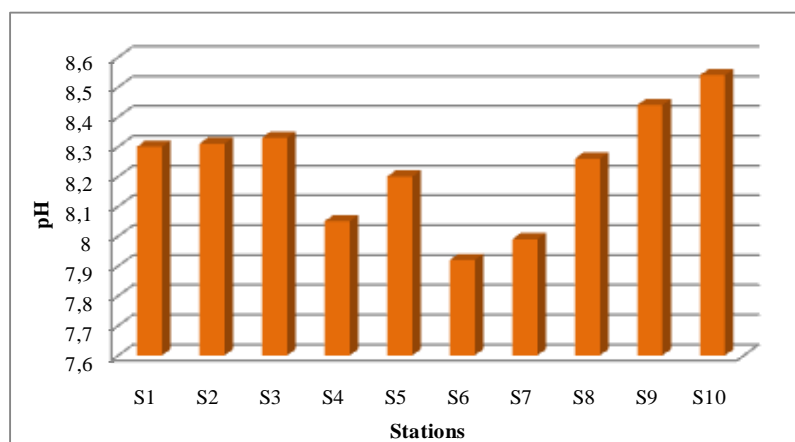
*a. Caractère acide ou alcalin du sol :* Le terme « pH » signifie « potentiel hydrogène » et définit l'acidité ou l'alcalinité du sol. Un pH de 7.0 est neutre. Plus élevé, c'est basique/alcalin ; plus bas, c'est acide. Plus les ions  $H^+$  sont retenus aux particules de sol, plus le sol est acide. Chaque unité de pH représente un multiple de 10 de la quantité d'acidité ou d'alcalinité. Par exemple :

- Un sol de pH 6.0 possède 10 fois plus d'ions  $H^+$  qu'un sol à pH 7.0 ;
- Un sol a pH 5.0 à 100 fois plus d'ions  $H^+$  qu'un sol à pH 7.0.

Les besoins en chaux pour réduire l'acidité augmentent donc rapidement en fonction du pH qui diminue. La capacité d'absorption chimique du sol influence aussi sur les besoins en chaux. Un sol argileux prendra beaucoup plus de chaux pour changer son pH par rapport à un sol sableux. Un point majeur pour le maintien d'un bon pH est que la disponibilité optimale des éléments nutritifs en dépend ; il en est de même pour l'activité chimique et biologique du sol. Les pH situés entre 6.0 et 7.0 sont les meilleurs compromis. La quantité de chaux à apporter est déterminée selon le pH « eau » qui est la cible à atteindre pour une culture donnée et le pH « tampon » qui est une mesure de l'acidité de réservoir du sol ; un sol qui a plus de particules fines aura davantage besoin de chaux pour se neutraliser qu'un sol de texture grossière (exemple : sable).

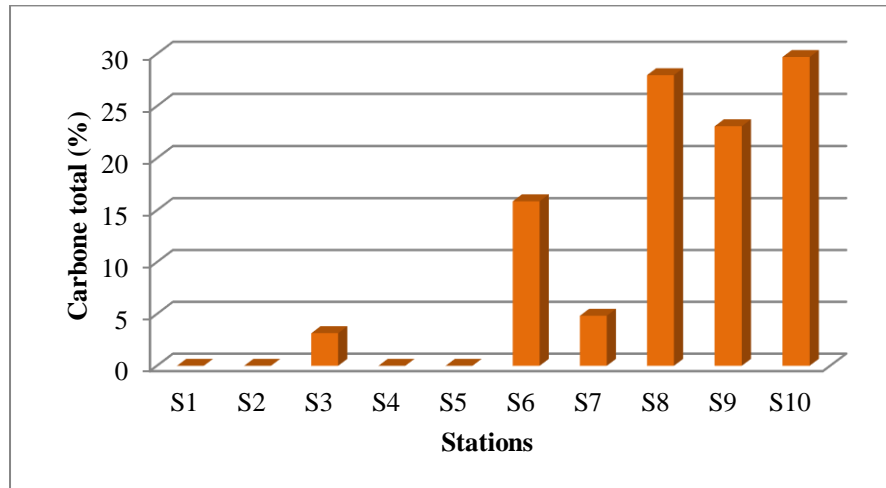
Le pH ou potentiel hydrogène mesure l'activité chimique des ions hydrogènes ( $H^+$ ). La majorité des plantes agricoles exige des sols avec un pH entre 6.5 et 7 pour offrir une bonne productivité.

Les valeurs du pH varient entre 7,92 et 8,54 avec une moyenne de 8,23 (Fig. 3.6). Elles indiquent une faiblesse de l'activité microbienne.



**Fig.3.6:** Evolution du pH dans les sols de la plaine d'El-Hadjar.

**b. Le carbone total (C%) :** La détermination du carbone organique total nous permet d'évaluer la quantité de la matière organique présente dans l'échantillon de sol. D'une manière générale le carbone organique total oscille entre 3.15 et 29.71% dans la plupart des échantillons, à l'exception des points S1, S2, S4 et S5 situant en amont de la plaine (le long d'oued Méboudja) où il présente en traces (Fig. 3.7).



**Fig.3.7:**Evolution du carbone total dans les sols de la plaine d'El-Hadjar.

**c. La matière organique (MO %) :** La matière organique contenue dans le sol est formée essentiellement par des débris de végétaux se présentant à tous les stades de décomposition jusqu'à celui de la substance organique noire intimement incorporée au sol qui constitue l'humus proprement dit. Dans la constitution d'un sol, la matière organique nécessite une considération spéciale car elle évolue rapidement dans le temps par rapport aux minéraux et elle joue un rôle spécial dans le sol.

Les sources de matière organique dans le sol sont les résidus de récolte, les fumiers et lisiers, les engrais verts et les racines des plantes mortes. La matière organique est dégradée rapidement sous l'action des bactéries et des organismes vivants dans le sol. La matière organique est constituée d'une partie considérée stable qui se dégrade lentement et d'une partie plus facilement dégradable que les microorganismes dégradent rapidement.

La matière organique dans le sol peut être décrite par deux grands rôles : la matière organique non décomposée et la matière organique décomposée. Cette dernière joue un rôle de grosses particules qui favorisent l'aération du sol et la circulation de l'eau. L'espace intracellulaire peut absorber l'eau et ainsi augmenter la capacité de rétention en eau du sol.

La stabilité structurale favorise aussi la porosité et la circulation de l'eau dans le sol. La matière colloïdale représente de grandes surfaces de fixation des anions et des cations, ce qui se traduit par une augmentation de la capacité d'échange cationique du sol. En vue que le sol idéal doit avoir un pourcentage de plus au moins 5 % de matière organique dans sa composition, donc notre sol avec un pourcentage qui dépasse 0,97 % de matière organique est un sol léger, quoique moins fertile (Fig. 3.8).

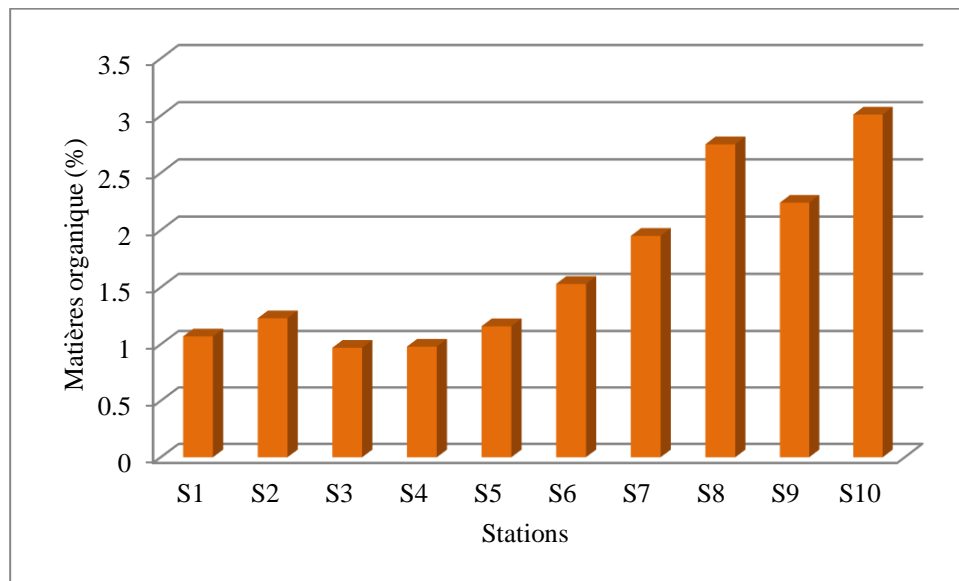


Fig.3.8: Evolution de la matière organique dans les sols de la plaine d'El-Hadjar

### 8.1.3. Origine de la salinité des sols

Les zones qui présentent un problème de salure représentent 24% de la surface des terres émergées. Les principales causes d'accumulation des sels dans le sol sont : la décomposition in-situ des roches, la remontée par capillarité et l'évaporation des eaux de surface. La salinisation présente des répercussions directes sur la végétation, ainsi que sur la dégradation des propriétés physico-chimiques du sol.

Selon le processus de salinisation des sols on peut distinguer deux différents types de salinité :

- **La salinité primaire:** la présence des roches salifères primaires in situ, favorisé par l'altération qui affecte les minéraux sodiques, potassique et magnésique, ce qui donne souvent des sels solubles en particulier les carbonatés et les bicarbonatés.

- **La salinité secondaire:** suite à des actions anthropiques telles que l'irrigation qui peut provoquer ce type de salinité. *Robert (1996)* signale que la pratique de l'irrigation dans les régions arides et semi arides où l'eau est le facteur limitant, contribue à la salinité secondaire. L'origine des sels est la décomposition des roches ignées et l'activité

des volcans, les ions sont ensuite libérés par les processus tel que l'hydratation, l'hydrolyse, l'oxydation et des réductions et échanges. Ces éléments sont : les cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), les anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) et autres éléments chimiques tel que : Si, B, Se, etc.

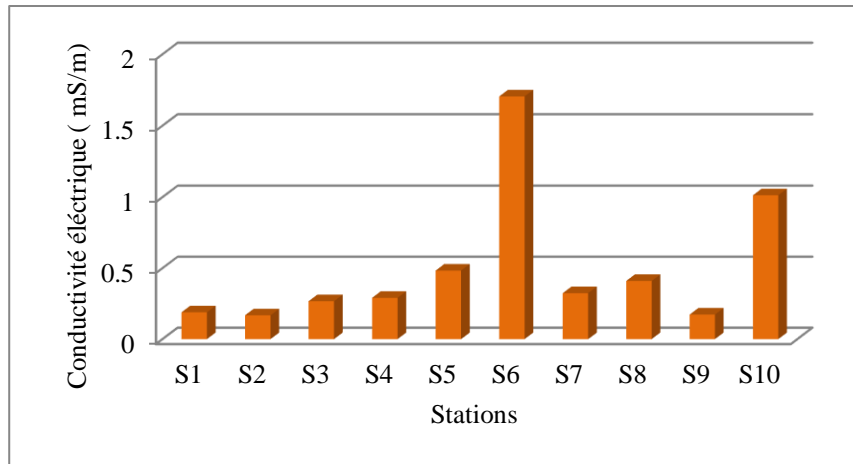
- **Conductivité électrique (CE)** : La conductivité électrique est importante à connaître, car elle nous donne une idée générale sur la salinité d'un sol.

La classification des sols en fonction de la conductivité électrique mesurée d'après la classification proposée par l'*US Salinity Laboratory (1954)* [64] (Tab.3.4), nous a permis de classer les sols de la région d'étude comme sols non salés car la conductivité électrique ne dépasse pas les 2 mS/cm dans la majorité des stations de mesure (Fig. 3.9).

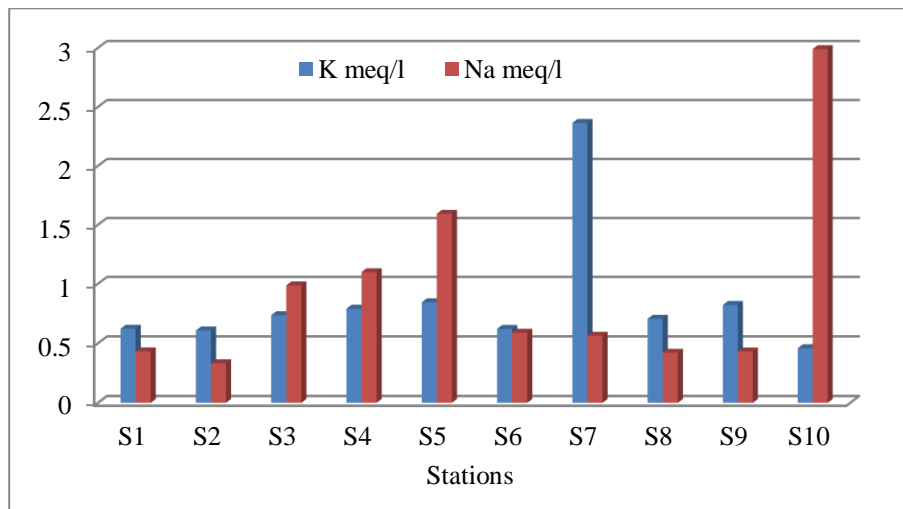
- **Les sels solubles** : Les sols peuvent être affectés par le problème de la salinité à cause de la présence des concentrations excessives en sels solubles (sols salins), en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins) ou les deux à la fois (sols alcalino-salins). Les sels solubles concernés sont essentiellement ;  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  (Fig.3.10 et 3.11). La dynamique de ces sels dans le sol est liée au fonctionnement hydrique et structural des sols, aux conditions hydriques et géochimiques aux limites du profil de sol, soit principalement à l'apport d'eau d'irrigation et aux fluctuations de nappe [22].

**Tab.3.4** : Classification des sols en fonction de la conductivité électrique [54].

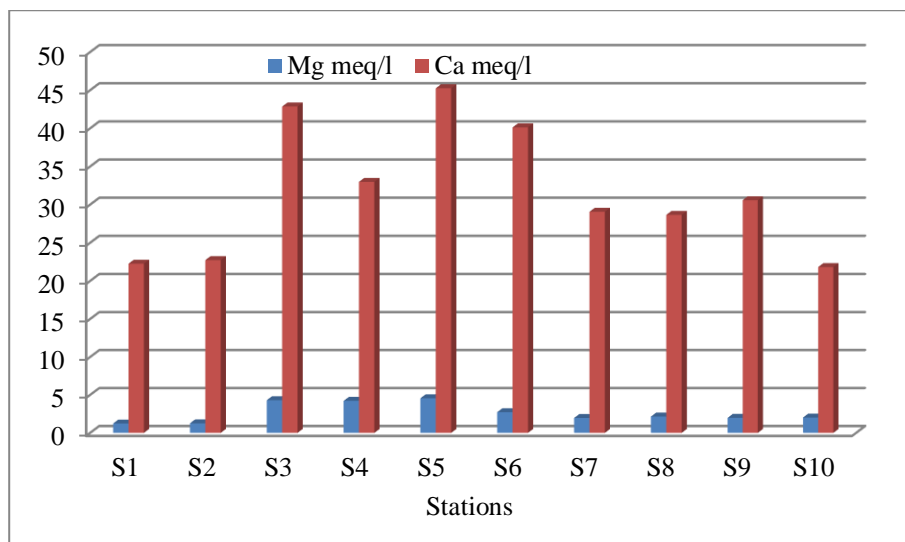
<b>CE (mS/cm)</b>	<b>Appréciations</b>
<b><math>\text{CE} \leq 2</math></b>	Les sols ne sont pas salés
<b><math>2 &lt; \text{CE} \leq 4</math></b>	Les sols sont faiblement salés
<b><math>4 &lt; \text{CE} \leq 8</math></b>	Les sols sont moyennement salés
<b><math>8 &lt; \text{CE} \leq 16</math></b>	Les sols sont salés
<b><math>\text{CE} &gt; 16</math></b>	Les sols sont très salés



**Fig.3.9:** Evolution du Conductivité électrique dans les sols de la plaine d'El-Hadjar



**Fig.3.10:** Evolution du Sodium et du potassium dans les sols de la plaine d'El-Hadjar



**Fig.3.11:** Evolution du Calcium et du Magnésium dans les sols de la plaine d'El-Hadjar

- **La capacité d'échange cationique du sol (CEC)** : Tout d'abord, un cation est une particule (ou ion) chargée positivement (exemple :  $K^+$ ) ; un anion est chargé négativement (exemple :  $NO_3^-$ ). A peu près toute la nourriture que les plantes absorbent est sous forme ionique (chargée + ou -).

Dans un sol, seulement les plus petites particules (argile et matière organique) ou colloïdes sont capables de retenir des éléments nutritifs sous forme ionique. Elles sont en général chargées négativement et ont donc tendance à retenir davantage de particules chargées positivement (exemples :  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $H^+$ , etc.). Les particules ioniques négatives (exemple :  $NO_3^-$ ) ont moins retenu car deux signes semblables se repoussent. Les colloïdes organiques peuvent être chargés positivement (+) et sont capables de retenir des anions (-).

La capacité d'échange cationique fait donc référence à la capacité du sol de retenir et d'échanger des éléments nutritifs facilement disponibles pour les plantes. Les cations retenus sur les colloïdes du sol peuvent être remplacés par d'autres cations ; cela veut dire qu'ils sont échangeables. La CEC dépend des quantités et sortes d'argiles et de la matière organique présente ; plus il y en a, plus la CEC est haute.

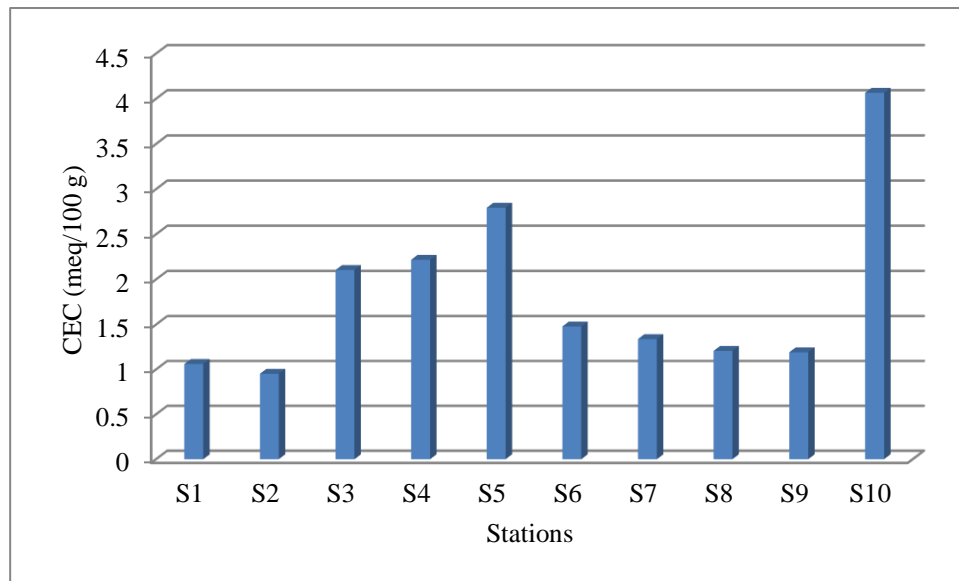
La CEC s'exprime en milligrammes d'équivalents par 100 grammes de sol (meq/100 g), elle varie en fonction de la nature de sol ; elle oscille entre 10 à 150 pour les argiles, entre 200 et 400 pour la Matière organique et varie entre 10 à 20 en moyenne pour les sols agricoles (Tab.3.5).

Les producteurs biologiques ont particulièrement intérêt à viser une CEC assez élevée afin d'avoir un sol pouvant emmagasiner de plus grandes réserves d'éléments nutritifs et d'eau. À la limite, les interventions en fertilisation pourront être moins nombreuses et la plante aura toujours suffisamment de nourriture sous la main.

**Tab.3.5** : Classification des sols en fonction de la CEC (meq/100 g).

CEC (meq/100 g)	Nature de sol
4 – 10	Sol léger
10 – 25	Sol moyen
25 – 50	Sol lourd
50 – 200	Sol organique





**Fig.3.12:** Evolution du CEC dans les sols de la plaine d'El-Hadjar

D'une manière générale, les valeurs de la capacité d'échange cationique du sol de la plaine d'El Hadjar sont très faibles ne dépassent pas 4 meq/100g de sol (Fig. 3.12). Ces valeurs indiquant que les sols de notre région d'étude sont des sols légers.

### 8.2 Salinité et sodicité des sols :

Le risque de dégradation des sols peut être apprécié par deux critères importants à savoir, la teneur en sels solubles qui mesure la salinité au sens strict et le pourcentage de sodium échangeable dans le sol mesurant la sodisation [52].

La salinisation est un terme générique caractérisant une augmentation progressive de la concentration des sels dans les sols. Elle peut affecter des milieux naturels sans qu'il y ait intervention directe de l'homme. Il s'agit alors de salinisation primaire. Elle peut aussi être une résultante de pratiques agricoles et de l'irrigation sur des sols cultivés, c'est alors une salinisation secondaire.

Le phénomène de sodisation, s'agit d'un échange de sodium sur le complexe absorbant des argiles. La capacité du sol d'échanger des cations est appelée capacité d'échange cationique (CEC). La sodisation est mesurée en pourcentage de la CEC occupée par le sodium. Ce pourcentage est nommé le pourcentage de sodium échangeable (ESP), il est donné par la formule suivante :

$$\text{ESP (\%)} = (\text{Na}^+/\text{CEC}) * 100$$

Durant notre étude, nous n'avons pas effectué les mesures de la capacité d'échange cationique (CEC), c'est pour cela nous avons été obligés de chercher d'autres méthodes pour calculer le pourcentage du sodium échangeable (ESP). Nous avons utilisé une équation empirique proposée par *USSL (1954)*, cette dernière s'exprime par le pourcentage du sodium échangeable (ESP) en fonction des valeurs du rapport d'adsorption de sodium (SAR) des solutions du sol. Elle est utilisée par plusieurs auteurs [15, 57, 13, 70], et peut s'écrire par la formule suivante :

$$ESP(\%) = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 * SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * SAR)}$$

Cette équation empirique satisfait la condition de limite théorique pour les hautes valeurs du SAR et ESP. Toutefois, les données utilisées dans le calcul de ce rapport étaient SAR < 65 et ESP < 50.

Le rapport d'adsorption de sodium (SAR), a été développé pour décrire empiriquement le déséquilibre entre les cations bivalents (calcium et magnésium) et le sodium pour évaluer le risque de sodisation du complexe adsorbant, il a été calculé selon la formule suivante [54] :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \text{ où les concentrations sont exprimées en (meq/l)}$$

Le tableau ci-dessous (Tab. 3.6) montre la variabilité et l'ordre de grandeur du pourcentage de sodium échangeable (ESP) et le rapport d'adsorption de sodium (SAR) des solutions de sols de la région d'étude.

**Tab.3.6 :** Le rapport d'adsorption de sodium et le pourcentage de sodium échangeable des solutions de sols

Couche (0 - 25 cm)	SAR	ESP (%)
S1	0.47	40.69
S2	0.37	34.92
S3	0.60	46.85
S4	0.67	49.51
S5	0.90	57.02
S6	0.45	39.83
S7	0.50	42.12
S8	0.37	34.85
S9	0.39	36.21
S10	1.88	73.50

### 8.2.1 Classification des sols salins

Il existe différentes méthodes de classification des sols salins: américaine, française, russe et *FAO (1975)*. Parmi ces classifications et la plus utilisée est la classification de l'*USSL (1954)* (Tab.3.7), parce qu'elle est basée sur des paramètres faciles à obtenir comme la conductivité électrique et le pourcentage du sodium échangeable (ESP).

**Tab.3.7:** Classification des sols salins selon *USSL (1954)* [64] .

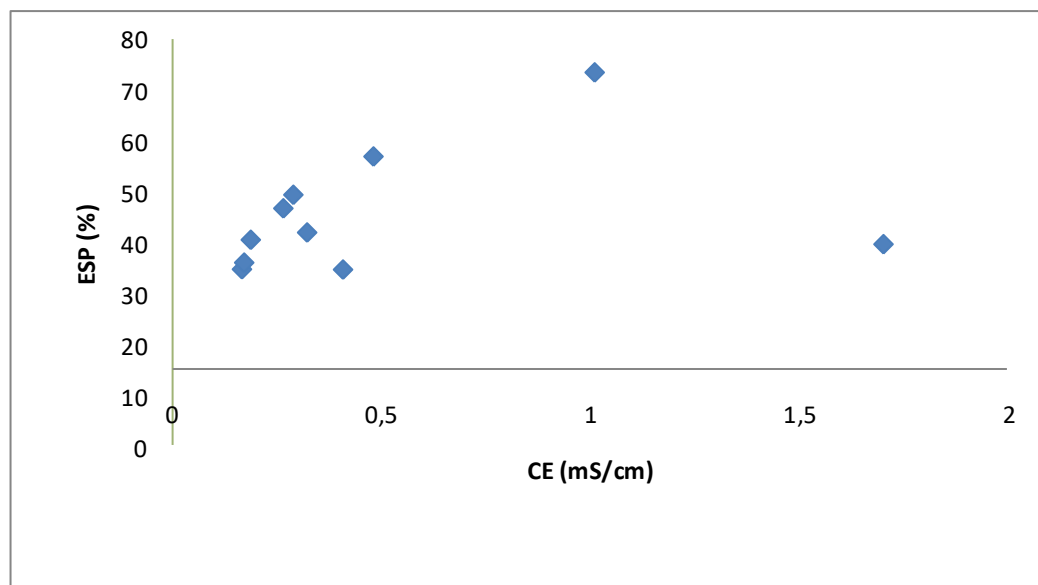
Paramètres	CE ≤ 4 mS/cm	CE > 4 mS/cm
ESP ≤ 15 %	sols non salins et non alcalins	Sols salins
ESP > 15 %	sols alcalins	solsalcalino-salins

• **Sols salins** : sols caractérisés par une teneur élevée en sels [52]. Ils sont généralement floculés, ce qui contribue à maintenir une bonne structure du sol et une bonne circulation de l'eau et de l'air [52]. Ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 mS/cm, un pH inférieur à 8.5 et un pourcentage de sodium échangeable inférieur à 15 %.

• **Sols salins à alcalins** : caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 mS/cm et pH supérieur à 8.5. Par définition, ce sont des sols qui contiennent suffisamment de sels solubles et de sodium échangeable supérieur à 15 %.

• **Sols alcalins** : sols présentant un taux de sodium échangeable suffisamment élevé, mais ils ne contiennent pas des quantités excessives de sels solubles [70]. Ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation inférieur à 4 mS/cm, un pH compris entre 8.5 et 10 et un pourcentage de sodium échangeable supérieur à 15 %.

**Cas des sols de la plaine d'El-Hadjar** : La représentation graphique de la variation du pourcentage du sodium échangeable (ESP) en fonction de la conductivité électrique mesurée sur l'extrait de pâte saturée, et d'après la classification proposée par *USSL (1954)*, nous remarquons que la majorité des sols étudiés de la région d'étude sont classés parmi les sols alcalins ( $ESP > 15\%$ ,  $CE < 4\text{ mS/cm}$ ) (Fig.3.13).



**Fig.3.13:** Classification des sols de la région de la plaine d'El-Hadjar selon USSL (1954).

### 8.3 Effet de l'eau salée sur les caractéristiques physico-chimiques de sols

Les caractéristiques chimiques permettent d'évaluer les concentrations des différents éléments minéraux contenus dans le sol et d'apprécier, d'une façon globale la fertilité. La teneur en matières organiques (carbone, azote et rapport C/N), la capacité d'échange cationique, la somme des bases échangeables, le taux de saturation, le pH et les teneurs en oligo-éléments sont également influencés par la qualité des eaux. En effet,

l'eau joue deux rôles opposés, elle contribue à la salinisation des sols par ses apports en éléments minéraux et son évaporation, et assure le lessivage de ces derniers au niveau des couches de surface.

## **9 Conclusion**

Les études pédologiques qui ont été effectuées sur les sols de la région de la plaine d'El Hadjar, nous ont permis de ressortir six classes de sols, à savoir : les sols peu évolués, les vertisols, les sols hydromorphes, les sols halomorphes, les sols calcimagnésiques et les sols minéraux bruts. L'interprétation des données analytiques par les différentes méthodes montre que les sols de la plaine d'El Hadjar sont caractérisés par un pH faiblement alcalin (7.92 à 8.54), et une teneur en matière organique très variable (0.97 à 3.01 %). L'analyse granulométrique montre la dominance de la fraction limono-sableuse dans la majorité des échantillons avec des valeurs moyennes de 62,34 %, cet excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une structure massive, accompagnée de mauvaises propriétés physiques de sols.

La majorité des sols sont classés parmi les sols alcalins ( $ESP > 15 \%$ ,  $CE < 4 \text{ mS/cm}$ ), avec une conductivité électrique très variable (0,167 à 1,705 mS/cm), atteint son maximum dans la partie centrale de la plaine (S6) avec une valeur de 1,705 mS/cm.

## **CHAPITRE 4**

# **ETUDE HYDROCHIMIQUE DES EAUX DE LA PLAINE D'EL-HADJAR**

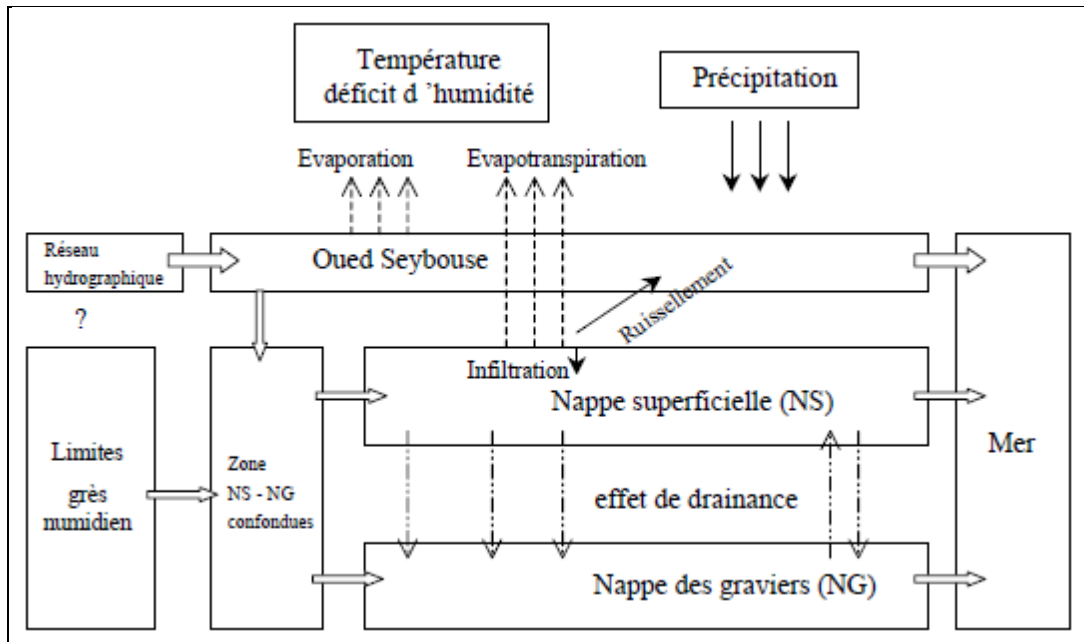
## 1. Introduction

Généralement, il est admis que l'eau dans la nature est rarement pure car différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution ou par un simple mélange. La composition de l'eau dépend de l'environnement dans lequel elle se trouve sous forme d'un processus d'écoulement ou d'un stockage. L'eau est identifiée par ses propres caractéristiques physico-chimiques telles que la dureté, la salinité et le pH. Les éléments qui se mélangent à l'eau lui confèrent un chimisme particulier traduisant certaines propriétés ou spécificités intrinsèques relatif au trajet suivi par l'eau.

L'eau traverse des couches géologiques perméables, ce qui entraîne une augmentation de la minéralisation par lessivage des roches, notamment ceux à nappes libres. Cette situation donne lieu à des atteintes graves à la qualité de l'eau par contamination verticale. Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure par rapport à celles des eaux de surface. La vulnérabilité des systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains est matérialisée par une contamination sous la forme d'affluents qui se jettent dans les cours d'eau. Comme il y a une relation mixte entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement étendue vers les eaux souterraines et superficielles par le phénomène de drainage. L'objectif visé dans cette étude est la détermination de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la région d'El-Hadjar.

Le but de ce chapitre est de caractériser essentiellement les eaux de la nappe superficielle et les eaux superficielle de la plaine d'El-Hadjar par identification des différents facteurs et processus qui peuvent être l'origine d'une contamination naturelle à l'intérieure de la zone industrielle.

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 Méboudja dans sa patrie Sud-Ouest et les eaux de l'Oued Seybouse issues de la zone Sud. Dans sa partie Nord, la nappe est en contact avec la mer d'où un risque de l'intrusion marine. Le schéma suivant (Fig.4.1) donne un aperçu sur la situation de la nappe avec son environnement.



**Fig.4.1** : Schéma possible de fonctionnement des systèmes aquifères de la région d'Annaba [29].

Le précédent schéma (Fig. 4.1) décrit de manière succincte les différentes relations existantes 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 Méboudja 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.

L'oued Méboudja, reçoit les eaux du canal de vidange du Lac Fetzara, il traverse successivement les localités d'El Gantra, Derradji Redjem, Hadjar Eddis, Sidi Amar, El Hadjar, Pont Bouchet, El Allalik, et El Bouni. Par ailleurs, il 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. Matériels et méthodes

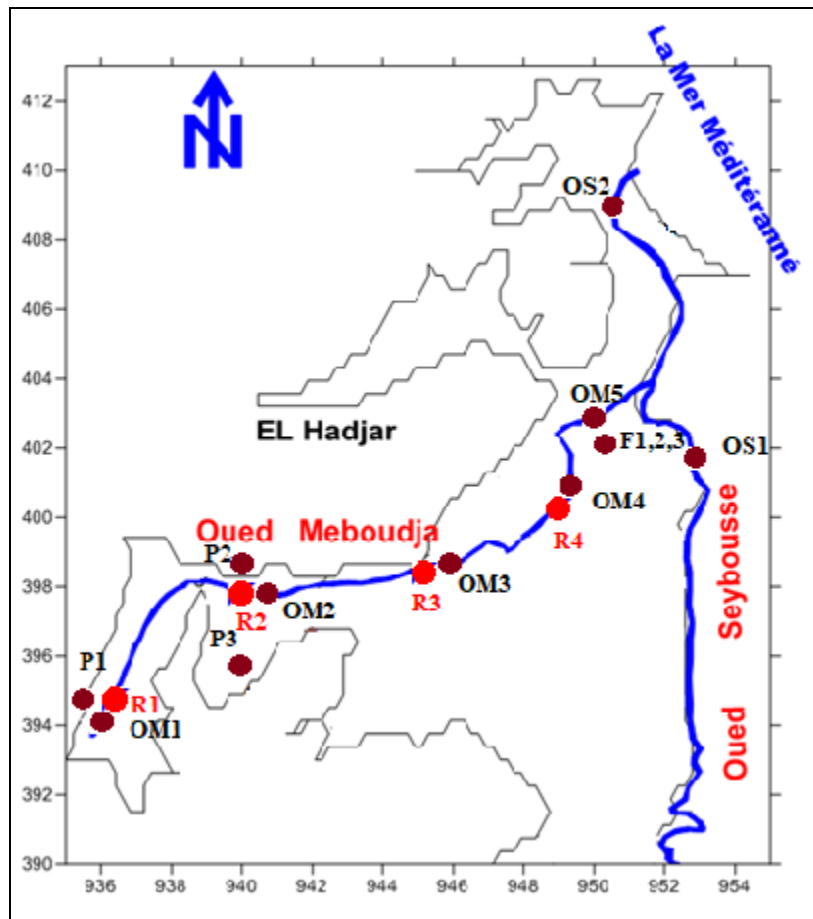
Dans ce chapitre nous présenterons notre stratégie de travail, nos choix du matériel et méthodes sur le terrain et au niveau du laboratoire depuis le prélèvement des eaux de surfaces et souterraines aux analyses physico-chimiques au laboratoire.



Dans l'objectif de l'étude du chimisme des eaux souterraines et de surfaces, 34 points de prélèvement des eaux de rejet sont été effectués durant les périodes (2009, 2015) et (2008, 2009) dont la balance ionique présente une erreur inférieure à 10%.

Le choix des points de prélèvements (Fig.4.2) était basé sur l'emplacement des sources des rejets liquides industriels et urbains par apport à l'oued Méboudja. Ils sont répartis comme suit (Fig. 4.3):

- Quatre (4) points de rejets répartis le long de l'oued Méboudja.
- Sept (7) points de prélèvements pour les eaux de surface dont : 5 le long de l'oued Méboudja et 2 sur l'oued Seybouse. Ils se situent à l'entrée ou la sortie d'une zone industrielle ou agricole;
- Trois (3) puits implantés dans la nappe superficielle et trois (3) forages captant la nappe des graviers.



**Fig.4.2** : Carte d'inventaire des points de prélèvements dans la plaine d'El Hadjar.

Légende : ● Points de rejets    ● Points d'eaux

Quatre paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh, conductivité) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil

multiparamètres (WTW Multiline P3 PH/LF-SET, Cellox 325). Alors qu'une caractérisation complète des éléments chimiques a été effectuée au laboratoire de l'usine «Arcelor Métal Algérie », par trois méthodes : la méthode volumétrie pour ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , TH), la spectrophotométrie à absorption atomique à flamme pour le plomb et le sodium et la spectrophométrie Hanna Dr 5000 pour les éléments restant (Annexe 3).

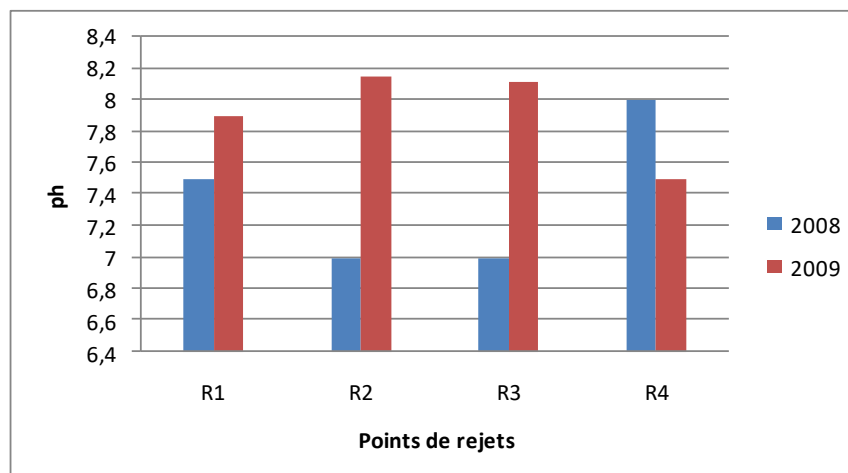
### 3. Résultats et discussion

#### 3.1 Eaux de rejets

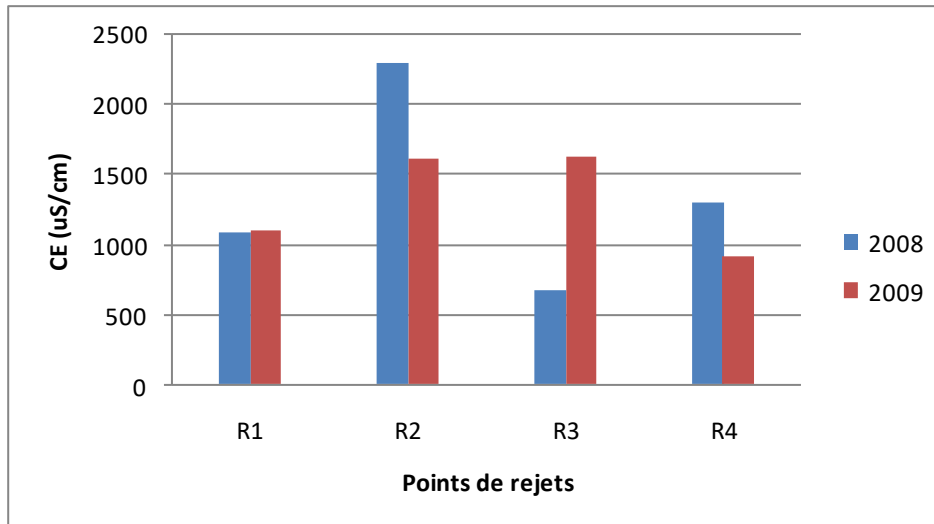
Comme le sens d'écoulement dans les Oueds prend un trajet saigneux de l'amont (Oued Méboudja) vers l'aval (Oued Seybouse) par la suite vers la mer (Fig.4.2). L'évolution spatiotemporelle des teneurs des différents éléments chimiques est représentée par les histogrammes ci-dessous (Fig.4.3, 4.4, 4.5, 4.6).

Les valeurs moyennes de pH des eaux usées des différents points de prélèvement sont généralement comprises entre 7 et 8 (Fig. 4.3). Ces variations seraient liées au surdosage en produits de nettoyage acido-basique. Alors que, les eaux des rejets sont faiblement minéralisées à minéralisées où la conductivité électrique varie entre 600 et 2250  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en 2008 et entre 900 et 1600  $\mu\text{s}/\text{cm}$  en 2009.

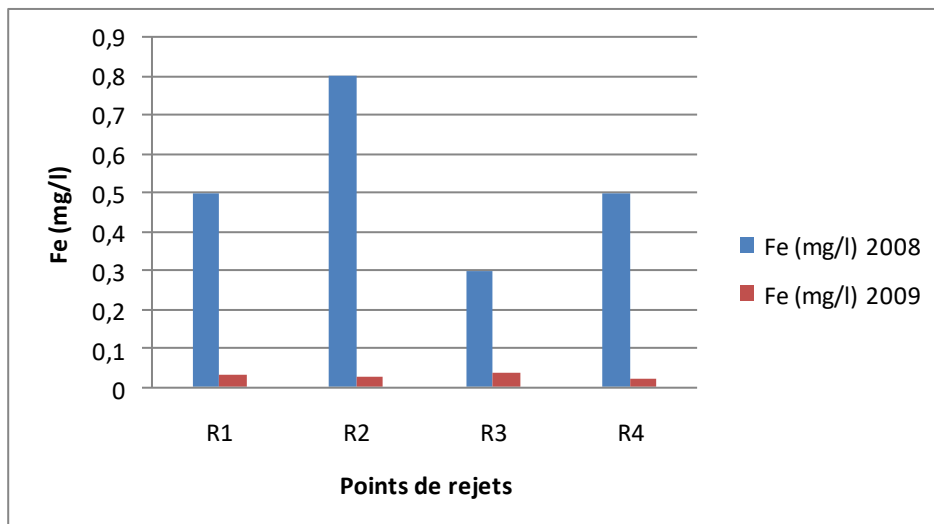
Des moyennes teneurs en fer sont observées dans les rejets de l'oued (Fig. 4.6), elles sont dues à la présence des poussières de minerais de fer surtout au niveau du R2 (des rejets du complexe sidérurgique).



**Fig.4.3 :** Evolution du pH des eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)

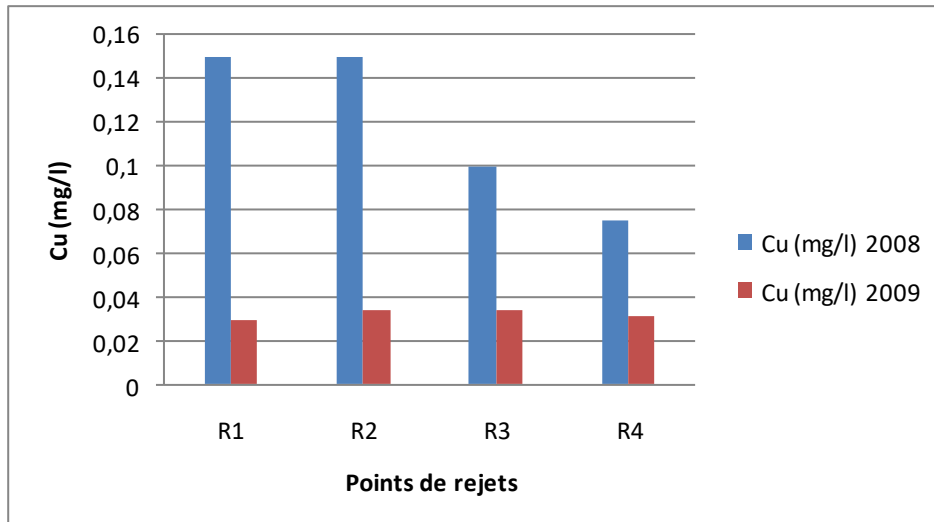


**Fig.4.4** : Evolution de la conductivité électrique des eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)



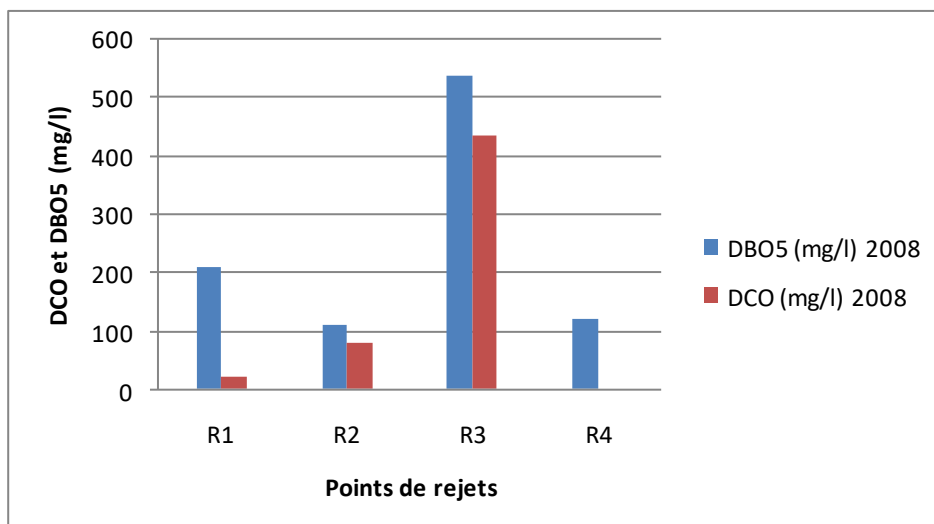
**Fig.4.5** : Evolution des teneurs du fer dans les eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)

La présence du cuivre n'est pas aussi marquée que le fer puisque dans la plupart des sites considérés la valeur de la teneur en cuivre ne dépasse pas la norme des eaux de rejets (2 mg/l) (Fig. 4.6). En effet, la précipitation du fer sous forme d'hydroxyde et la présence des matières en suspensions (majorités argileuses) font diminuer la valeur de la teneur en cuivre, puisque les hydroxydes de fer fixent préférentiellement le Cu, Pb, Zn, Hg, Cr tandis que les argiles fixent le Cu, Pb et le Zn.



**Fig.4.6 :** Evolution des teneurs du cuivre dans les eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008 et 2009)

Il est à noter que les valeurs de la DCO et la DBO<sub>5</sub> (Fig. 4.7) sont très élevées par rapport aux normes admises, Ces eaux peuvent être classées comme eaux usées de types urbains fortement pollués. On peut constater aussi que la pollution urbaine participe aussi à la pollution des cours d'eau. Pour le point R3, les valeurs de la DBO<sub>5</sub> et de la DCO sont significatives d'une charge organique la plus importante comparée à R1, R2 et R4. Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> est de 0,81 ; indiquant une biodégradabilité éminente du rejet, c'est-à-dire la vitesse de dégradation biologique du milieu est rapide.



**Fig.4.7 :** Evolution des teneurs du DBO<sub>5</sub> et du DCO dans les eaux de rejets dans l'oued Méboudja de l'amont vers l'aval (Année 2008)

### 3.2 Eaux de surfaces et souterraines

Les phénomènes de pollution se traduisent généralement par des modifications des caractéristiques physico-chimiques du milieu récepteur. Un des moyens d'étude de cette pollution consiste à mesurer, par des analyses et à différents secteurs d'exposition, les paramètres physico- chimiques des eaux souterraines et de surface. En effet, l'accroissement de la population et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées ont conduit à l'utilisation intensive des engrais, l'intensification des pompages dans les forages et l'augmentation des rejets ce qui a provoqué la modification du régime hydrodynamique de la nappe et la dégradation de la qualité de l'eau de surface et souterraine.

### 3.2.1. Détermination du faciès chimique

Les faciès chimiques des différents échantillons ont été identifiés par le calcul de la formule ionique et la représentation graphique sur deux types de diagramme (Scholler Berkalof et Piper).

- **Formule ionique :** Cette formule à pour but de classer par ordre décroissant les quantités en réaction en (méq/l) des groupes d'anions et de cations. Elle permet de définir les caractéristiques physico-chimiques des eaux de l'aquifère en relation avec sa lithologie et de classer les eaux de même origine. Le tableau ci-dessous (Tab. 4.1) récapitule les faciès chimiques des eaux souterraines et de surface de la région d'étude pour l'année 2009.

D'après la formule ionique, on distingue que:

- Les eaux des deux oueds (Mébouddja et seyhouse sont caractérisées par deux types de faciès chimiques ; l'un faciès chloruré-sodique et l'autre bicarbonaté-Sodique.
- Les eaux souterraines de la plaine d'El-Hadjar sont caractérisées par un faciès chloruré calcique.

**Tab.4.1** : Faciès chimiques des eaux de la plaine d'El-Hadjar et les deux Oueds  
Seybouse et Méboudja (2009)

N°	Echantillons	Formule chimique	Faciès chimique
P1	OM1	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \quad r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré- Sodique
P2	OM2	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl \quad r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté-sodique
P3	OM3	$rHCO_3^- > rSO_4^{2-} > rCl \quad r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Bicarbonaté-sodique
P4	OM4	$rSO_4^{2-} > rCl > rHCO_3^- \quad r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Sulfaté - Sodique
P5	OM5	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \quad r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré - Sodique
P6	OS1	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \quad r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré - Sodique
P7	OS2	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \quad r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$	Chloruré - Sodique
P8	P1	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \quad rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$	Chloruré - Calcique
P9	P2	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \quad r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+} > rCa^{2+}$	Chloruré - Sodique
P10	P3	$rCl > rSO_4^{2-} > rHCO_3^- \quad rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Chloruré- Calcique
P11	F1	$rCl > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Chloruré- Calcique
P12	F2	$rCl > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Chloruré- Calcique
P13	F3	$rCl > rHCO_3^- > rSO_4^{2-} rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$	Chloruré- Calcique

• **Diagramme de Piper :**

Le diagramme de Piper permet la visualisation d'un grand nombre d'analyse et de suivre l'évolution de chimisme de la nappe et des eaux superficielles (Fig. 4.8 et 4.9). Il met en évidence trois familles bien distinctes (Fig. 4.8 et 4.9) :

- Une famille assez riche en calcium et en magnésium, définissant les eaux de la nappe.
- Une famille moyennement riche en calcium et en magnésium, caractérisant les eaux de l'Oued Seybouse.
- Une famille relativement pauvre en calcium et en magnésium déterminant les eaux de l'Oued Méoudja. Toute fois l'ensemble des points d'eau montre des eaux pauvres en hydrates alcalins.

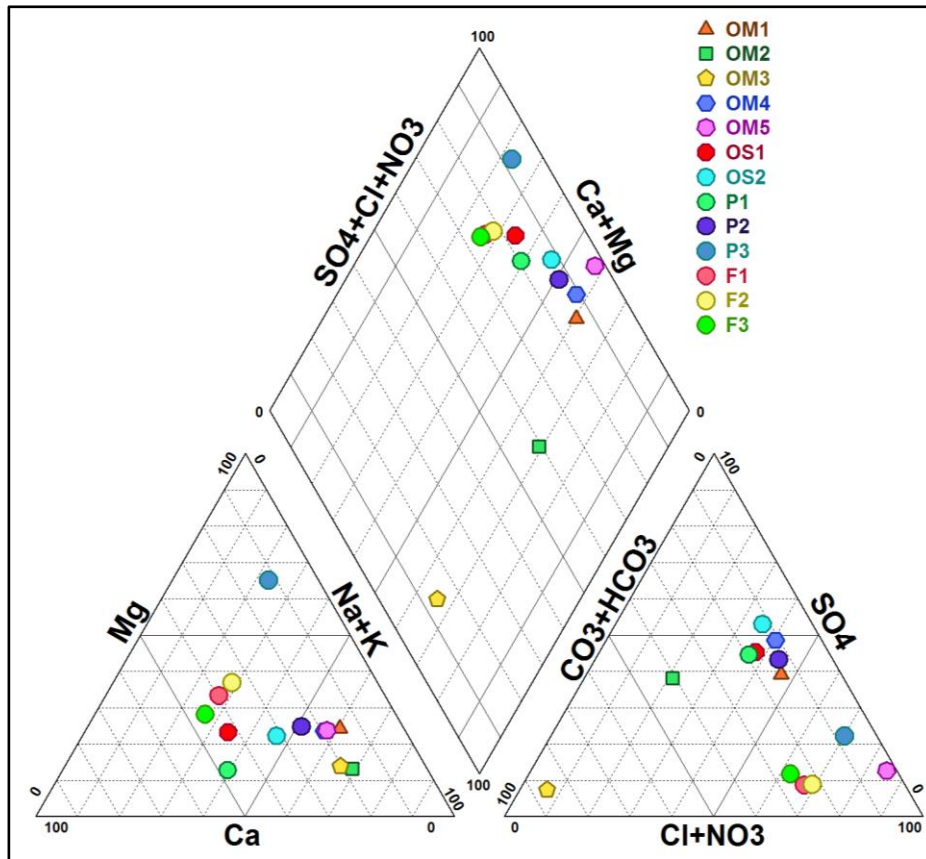


Fig.4.8 : Diagramme de Piper (2009)

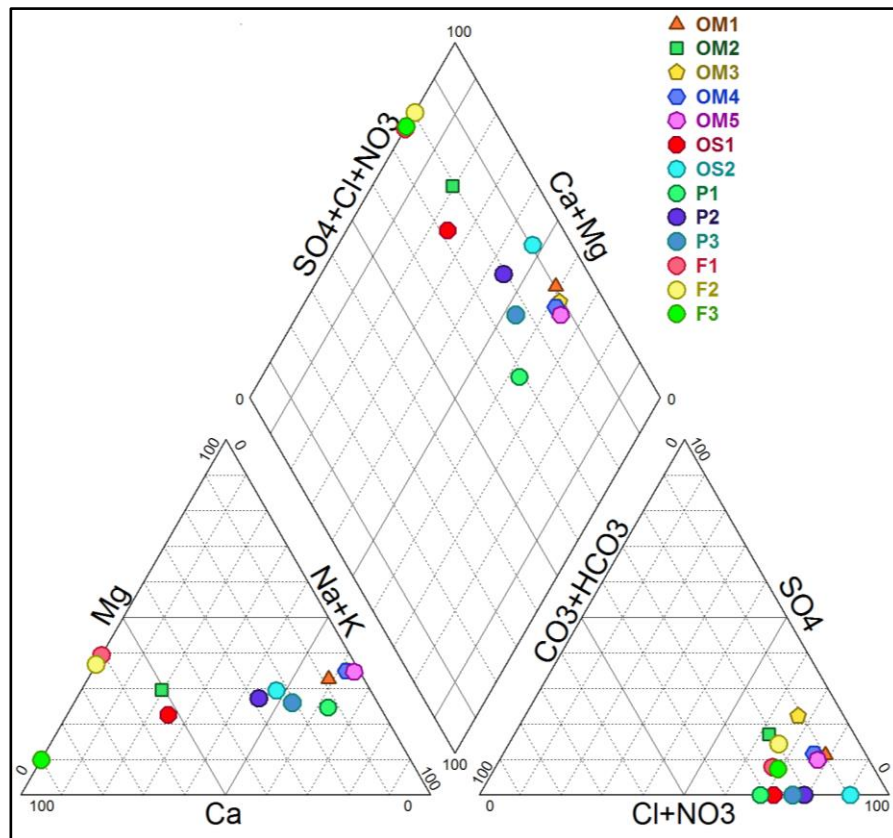


Fig.4.9: Diagramme de Piper (2015)

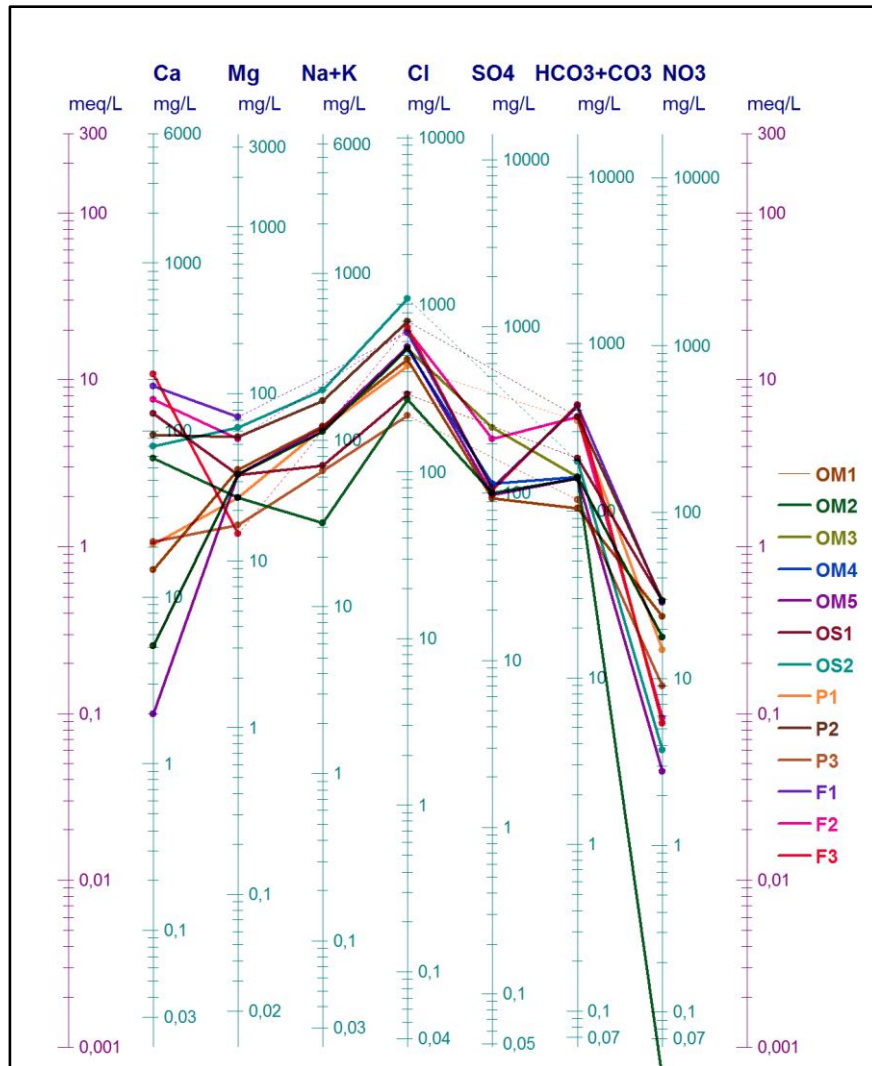
• **Diagramme de Scholler Berkaloef** : Le diagramme semi-logarithmique de Scholler Berkaloef permet de distinguer les différentes familles des eaux et les comparer entre elles (Fig. 4.10 et 4.11).

Pour le chimisme des eaux de la région, le diagramme de Piper montre un faciès chloruré-sodique dans le cas de l'Oued Seybouse. Les teneurs en chlorure et sodium atteignant 951,4 mg/l et 242,92 mg/l respectivement. La variation simultanée de ces deux éléments confirme leur origine commune, qui peut être attribuée ; pour la nappe superficielle, à la dissolution des formations salifères riches en halite. Alors que, pour oued Méboudja, aux apports salifères du lac Fetzara par l'effet de l'évaporation [71] ou à la remontée des eaux marines dans l'oued Seybouse et donc dans son affluent l'oued Méboudja [58].



Fig. 4.10: Diagramme de Schoeller Berkaloef (2009)





**Fig.4.11** : Diagramme de Schoeller Berkloff (2015)

La teneur en Na et Cl dépassent énormément les normes de potabilité (Na : 100 mg/l, Cl : 200 mg/l) dans la majorité des puits surtout ceux qui se trouvent sur la rive Est de l'oued Méboudja pour atteindre jusqu'à 951,4 mg/l de Cl et 723,24 mg/l de Na.

Parmi les méthodes souvent utilisées pour l'évaluation de la qualité des eaux superficielles et souterraines citons :

- l'indice de contamination [39]
- l'indice de pollution organique [14]

### 3.2.2. Indice de contamination [39]

En vue d'apprécier la contamination des eaux de la nappe et des eaux de surface, Kherici (1993) a admis des classes pour chacun des éléments chimiques (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>,

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>...) et après avoir attribué ces classes aux points d'eau de la zone d'étude, on a calculé l'indice de contamination correspondant. Ainsi, plus la valeur de l'indice de contamination est élevée est plus le point d'eau est contaminé.

Les tableaux 4.2 et 4.3 montrent que toutes les eaux sont contaminées avec un indice de contamination supérieure à 12, alors que, les eaux de l'Oued Méboudja sont moins contaminées que les eaux souterraines de la plaine d'El-Hadjar.

**Tab.4.2 :** Intervalle des classes [39]

Classe	1	2	3	4	5	6	7
<b>Ions</b>							
<b>Cl-</b>	<250	250-500	500-750	750-1000	1000-250	>1250	
<b>SO4--</b>	<150	150-250	250-350	350-450	450-550	>550	
<b>Na+</b>	<100	100-150	150-200	200-250	250-500	>500	
<b>K+</b>	<5	5-10	10-15	15-20	20-25	>25	
<b>Ca++</b>	<50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	>300
<b>Mg++</b>	<15	50-100	100-150	150-200			
<b>NO3-</b>	<13	13-18	18-23	23-30	>30		

**Tab.4.3:** Indice de Contamination des eaux

Points	OM1	OM2	OM3	OM4	OM5	OS1	OS2	P1	P2	P3	F1	F2	F3
<b>2009</b>	17	21	13	16	16	13	18	21	18	26	18	14	17
<b>2015</b>	13	10	12	11	12	14	15	15	16	7	14	11	11

### 3.2.3. Indice de pollution organique (IPO)

Le principe d'IPO est de répartir les valeurs des éléments polluants en cinq classes puis de déterminer à partir de ses propres mesures comme l'indique la formule suivante :

$$\text{IPO} = (\text{DBO}_5 + \text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{PO}_4) / 4$$

**Tab.4.4 :** Intervalle des classes des paramètres de pollution organique

Paramètres Classes	DBO <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub>
5	<2	<0.1	5	15
4	2-5	0.1-0.9	6-10	16-75
3	5.1-10	1-2.4	11-50	76-250
2	10.1-15	2.5-6	51-150	251-900
1	>15	>6	>150	>900

**Tab.4.5:** Grille de degré d'indice de pollution organique

Pollution organique nulle	Pollution organique faible	Pollution organique modérée	Pollution organique forte	Pollution organique très forte
5.0-4.6	4.5-4.0	3.9-3.0	2.9-2.0	1.9-1.0

**Tab.4.6:** Indice de pollution organique des eaux

Points	OM1	OM2	OM3	OM4	OM5	OS1	OS2	P1	P2	P3	F1	F2	F3
2009	3.66	3.66	4.33	4	3.66	4	3.66	4.66	3.66	4	4.66	4.66	4.66
2015	3.5	3.75	3.5	3	3	4.25	4.25	4	3.25	4	4.33	4.66	4.66

L'IPO indique que les eaux de surface ont une pollution organique faible à nulle donc les eaux ont une qualité moyenne à bonne (Tab. 4.6).

### 3.2.4. Evolution spatiotemporelle des paramètres physico chimiques

L'OMS a établi des normes de potabilité des eaux en fonction de la teneur en éléments chimiques qui la composent. Nous discutons ici la variation des concentrations des différents éléments dans le temps et dans l'espace ainsi leurs conséquences sur la potabilité des eaux et leurs impacts sur la santé.

#### 3.2.4.1. pH

Le pH traduit le caractère acido-basique des eaux avec une échelle de 0 à 14, il peut avoir un effet indirect en modifiant la toxicité de certaines substances en solution qui

peut prendre une forme toxique. La plus importante est de se souvenir que les plantes comme les poissons ne sont en aucune façon concernée par la valeur du pH mais ce qui est essentiel pour eux, c'est la composition des substances qui donnent ce pH et ses variations. Le pH des eaux des deux Oueds (Méboudja et Seybouse) se trouve dans l'intervalle de la norme de potabilité avec des valeurs oscillant entre 7,53 et 8,40. Par contre il est relativement faible pour les eaux de la plaine d'El-Hadjar avec un  $pH < 7,90$  (Fig.4.12).

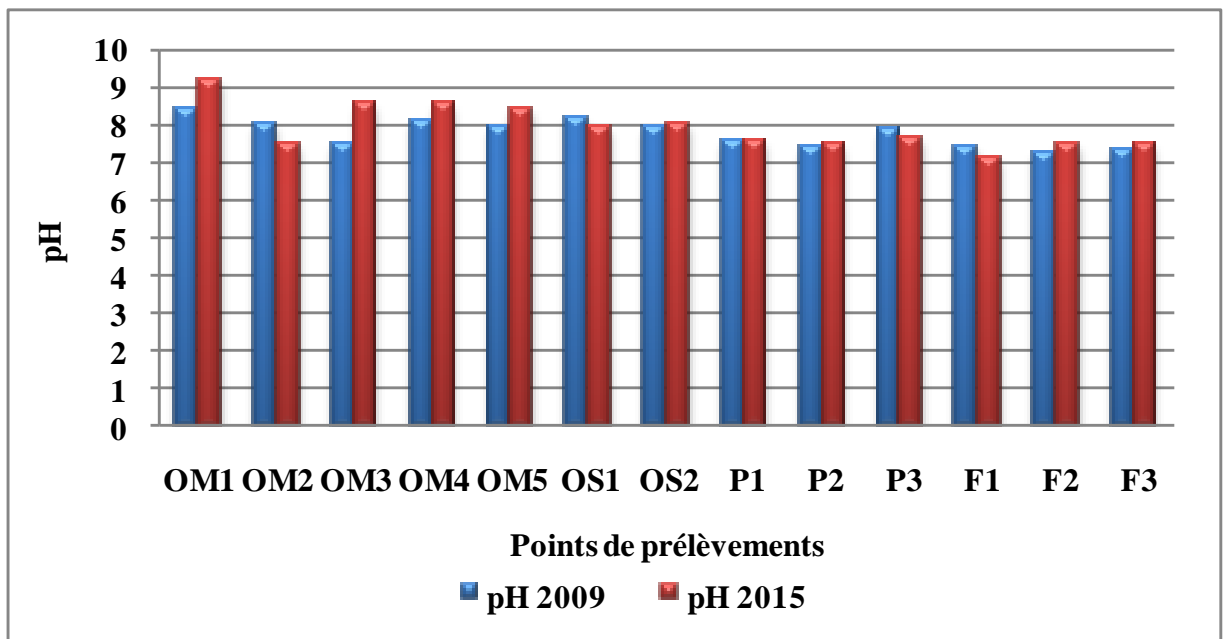


Fig.4.12 : Variation du pH dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.

### 3.2.4.2 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique donne une indication sur la minéralisation globale de l'eau. Plus l'eau est minéralisée plus il y a d'ions et par conséquent plus le passage du courant sera important et la conductivité élevée. Les points d'eau de la plaine d'El-Hadjar présentent une conductivité supérieure à 894  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 4.13) qui rend l'eau très mauvaise à l'alimentation et la même chose pour les eaux de surfaces avec une conductivité qui atteint 3050  $\mu\text{S}/\text{cm}$  au niveau de l'Oued Méboudja.

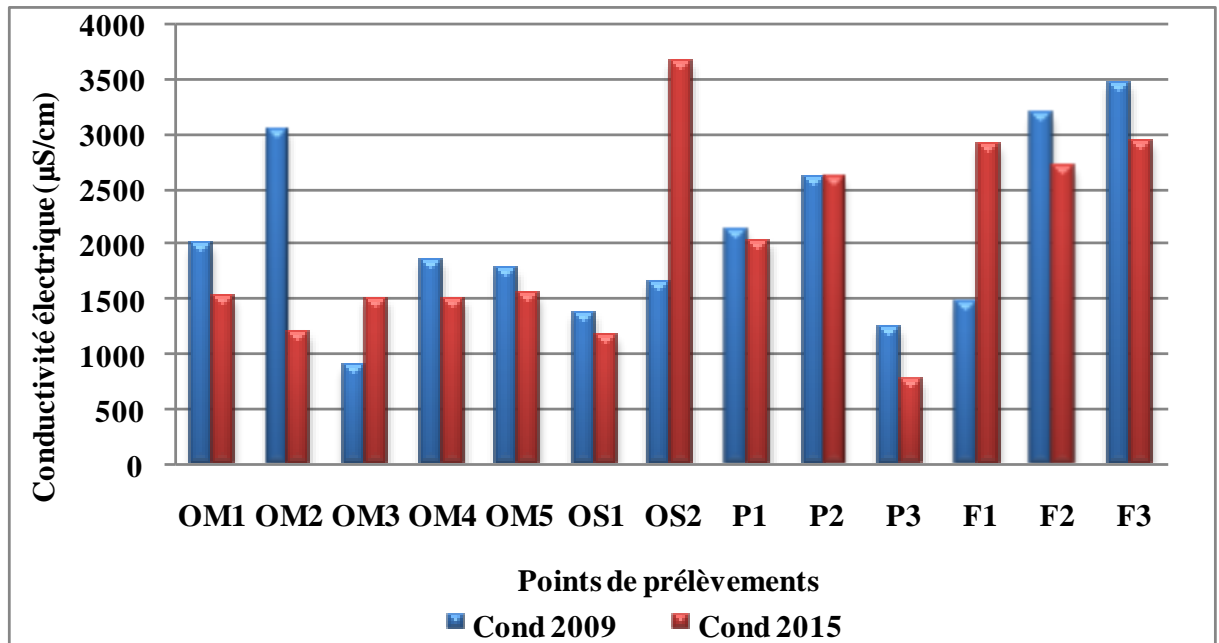
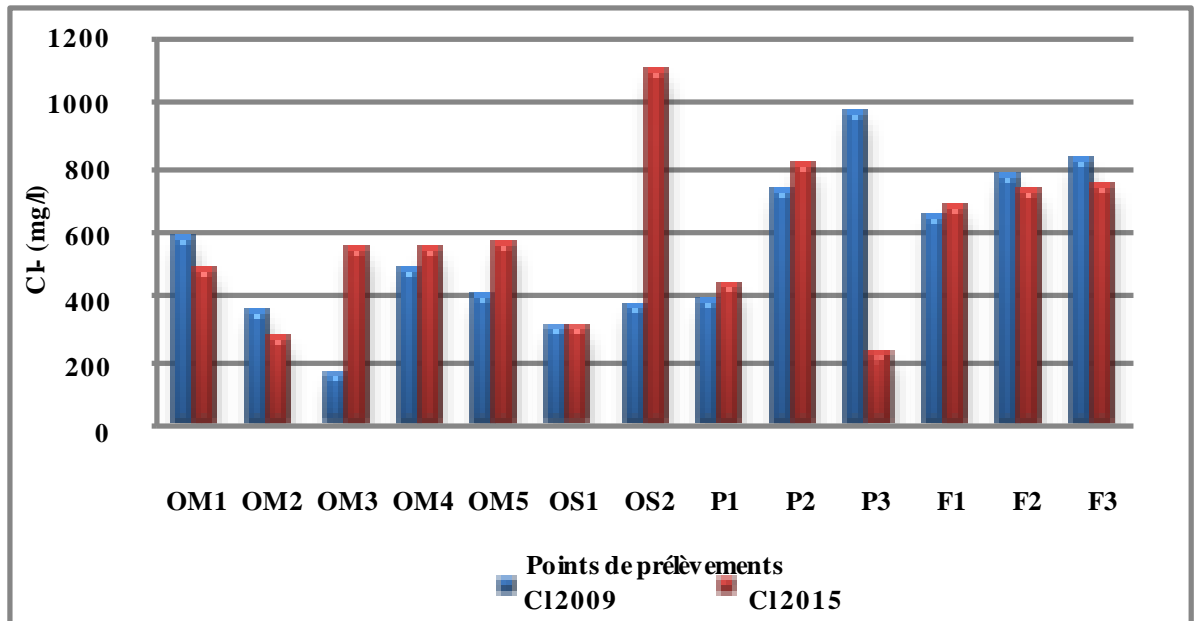


Fig.4.13 : Variation de la conductivité électrique dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

### 3.2.4.3. Les Chlorures

Les Chlorures sont généralement très réponsus dans la nature, sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl<sub>2</sub>), l'ion chlore est très mobile. La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la nature des terrains traversés, à la pénétration de l'eau de mer dans les régions côtières, à la pollution provenant des rejets urbains et industrielles et à la pollution par la lixiviation des décharges. Chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

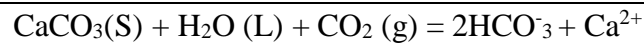
Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives et peuvent poser des problèmes aux personnes atteintes de maladie cardiovasculaire ou rénales. Le seuil de détection gustative des chlorures dans l'eau de boisson est de l'ordre de 200 à 300 mg/l. Les teneurs des chlorures varient entre 144,64 à 951,4 mg/l pour les eaux souterraines et superficielles de la plaine d'El-Hadjar (Fig. 4.14) qui prouve l'influence de l'Oued Méboudja sur les eaux de l'Oued Seybouse et la nappe. Les eaux arrivent par cet affluent étant salées (des formations salifères riches en halite), contaminent Oued Seybouse qui est en relation avec la nappe (la piézométrie).



**Fig.4.14:** Variation des Chlorure dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.

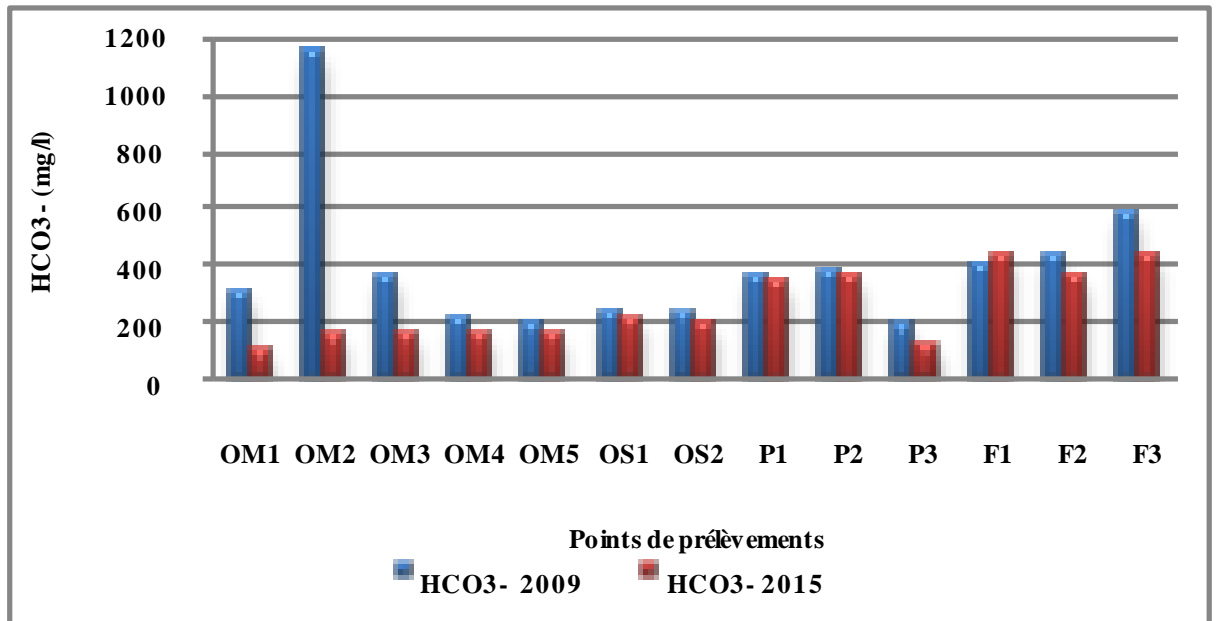
#### 3.2.4.4. Les Bicarbonates $\text{HCO}_3^-$

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. la somme des équations de dissolution et donnée comme suit :



Les tenures sont très variables, elles varient d'une valeur minimale de 185.6 mg/l au point (OM3) et un maximale de 1140.6 mg/l au point (OM2) (Fig. 4.15).

La présence de cet élément dans les eaux de l'oued Méboudja, est liée à la dissolution des formations calcaires existant dans la zone d'étude.

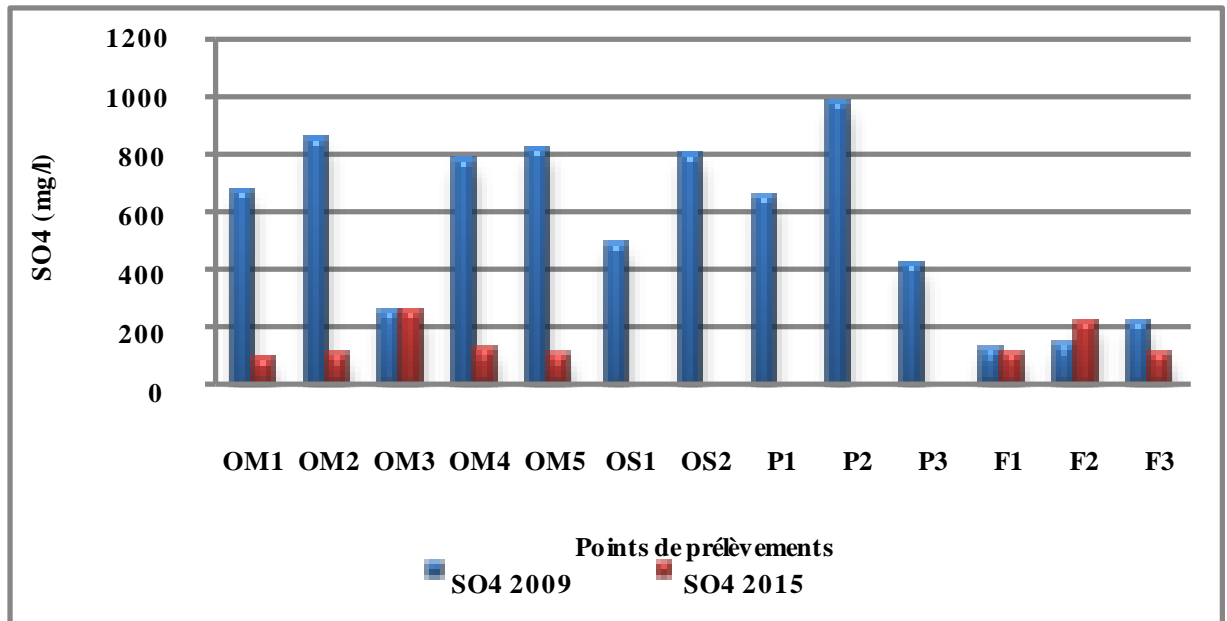


**Fig.4.15:** Variation des  $\text{HCO}_3^-$  dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.

### 3.2.4.5. Les sulfates

L'eau contient toujours des sulfates en proportion très variables, leur présence dans l'eau résulte de la légère solubilité du sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ) des roches gypseuses ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), de l'oxydation des sulfates (pyrites...) et de l'oxydation des sulfures d'hydrogène et des oxydes de soufre émis dans l'atmosphère puis entraînés lors des précipitations.

Les concentrations en sulfates peuvent être très élevées, ils résultant d'une réaction biochimique des sulfates dissous. En ce que concerne notre secteur d'étude, les teneurs en  $\text{SO}_4^{2-}$  sont élevées et varient entre 115 mg/l et 841 mg/l. La majorité des échantillons ont des teneurs supérieures à la norme fixée par l'OMS (250 mg/l) à l'exception des points F1, F2 et F3 (Fig.4.16).

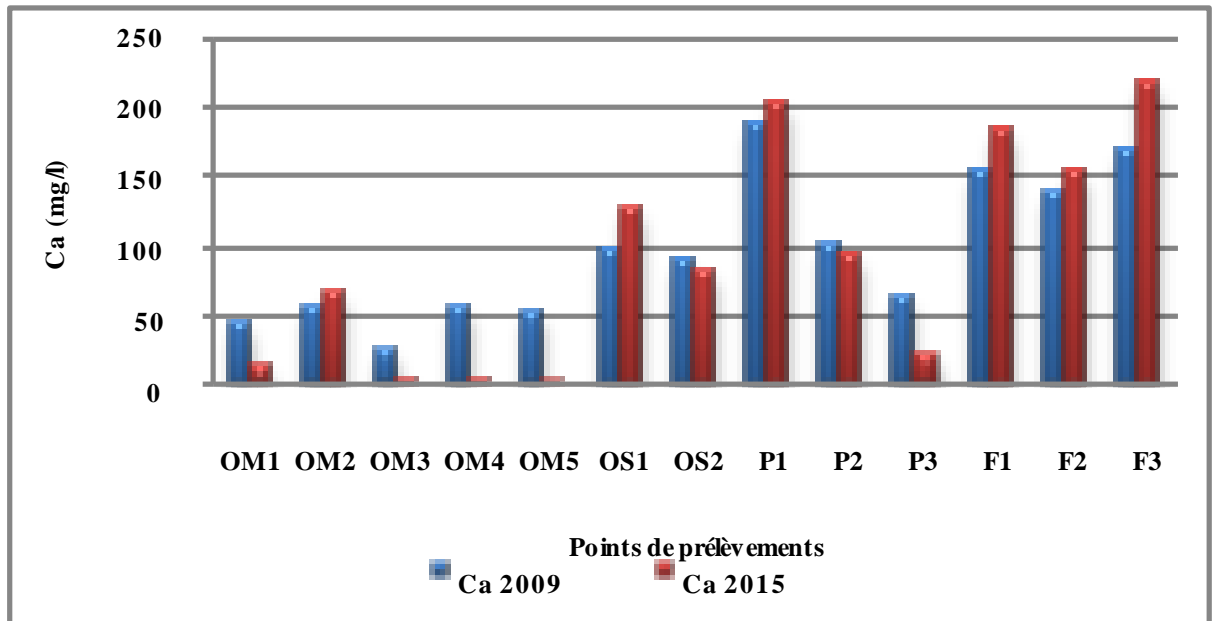


**Fig.4.16:** Variation des sulfates dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

### 3.2.4.6. Calcium

Le calcium est un constituant majeur du calcaire, ce qui en fait un élément très important pour la formation du squelette des poissons, de la carapace des crustacés (gammars, écrevisses..) et des mollusques (anodontes, limnées...). Le calcium joue un rôle essentiel dans la formation de la paroi cellulaire et la division de cellules dans tous les organismes vivants. L'OMS a fixé une limite maximale admissible de la concentration en calcium à 200 mg/l. dans notre région d'étude les concentrations sont faibles au niveau des eaux souterraines et superficielles (25,39 à 188,2 mg/l) (Fig.4.17).



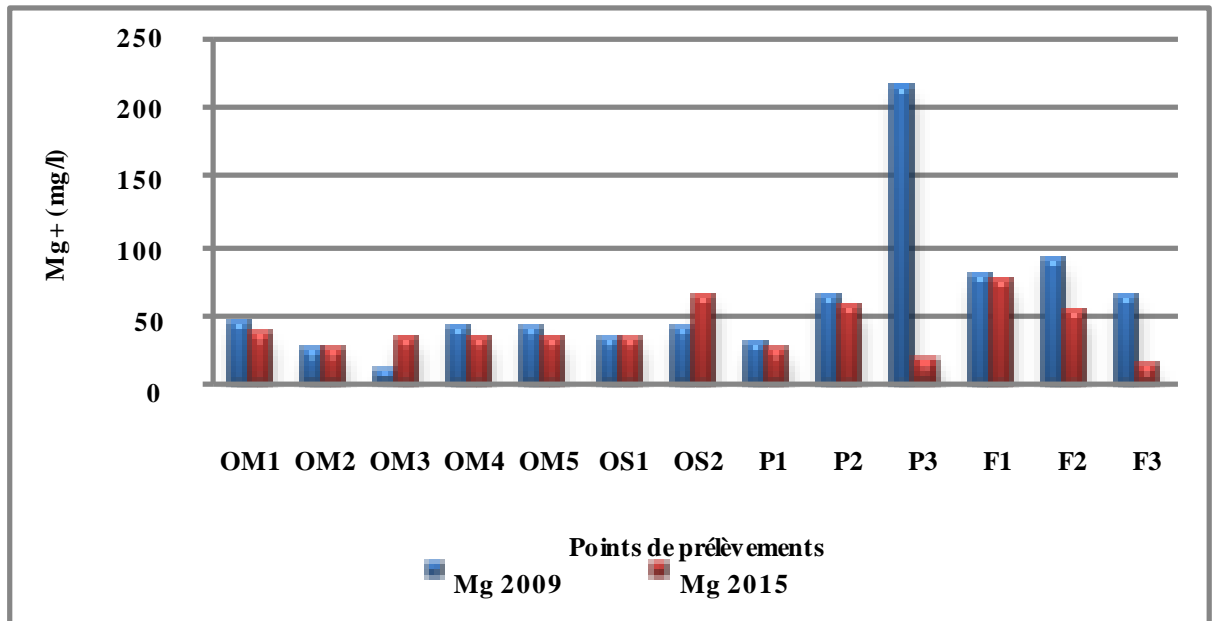


**Fig.4.17 :** Variation du Calcium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

### 3.2.4.7. Magnésium

Le magnésium, atome central de la chlorophylle, est un élément essentiel de la vie plantes. Il est indispensable à la croissance des végétaux ainsi qu'au métabolisme animal dans lequel il fonctionne entre autres, comme activateur de la dégradation des sucres.

Les cations Mg ont la même provenance que ceux du Ca (dissolution des formations carbonatées riches en Mg). D'après les résultats des analyses de Mg (Fig. 4.18), on remarque que tous les échantillons ont des teneurs inférieures à 150 mg/l (valeur maximale admissible par l'OMS).



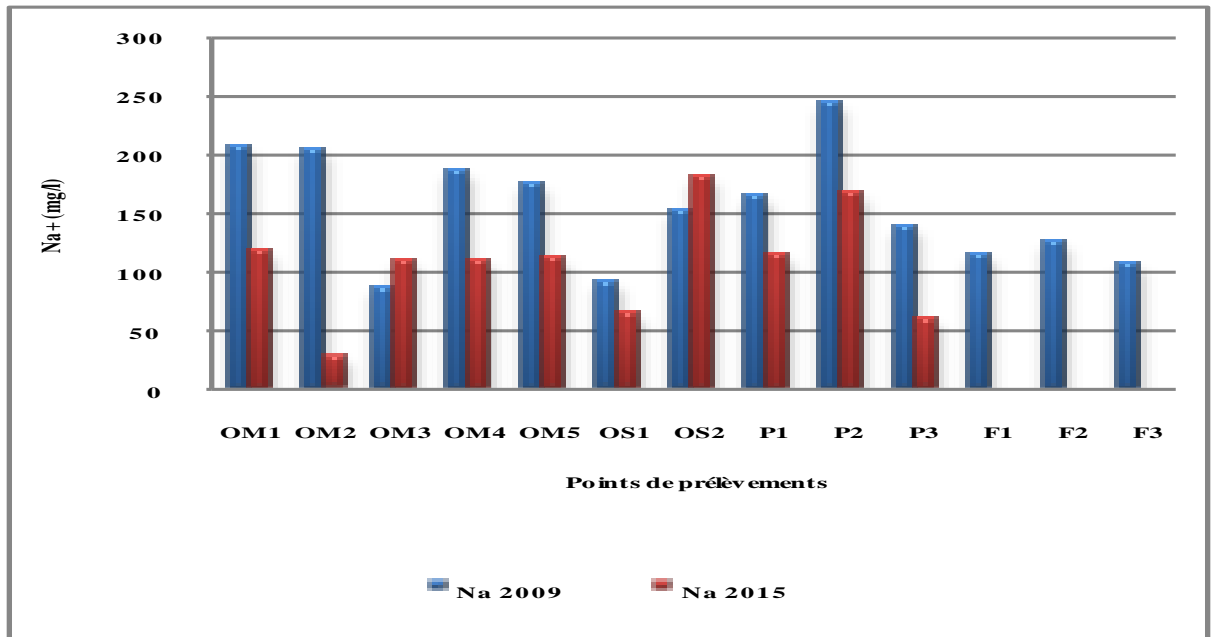
**Fig.4.18 :** Variation du Magnésium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

### 3.2.4.8. Sodium (Na<sup>+</sup>)

Le Sodium constitue 2,83% des constituants de la croûte terrestre, il a un degré de dissolution élevé dans l'eau, c'est pour ça qu'il existe dans les eaux superficielles et profondes d'une façon naturelle, en plus les eaux usées domestiques et agricoles contiennent des quantités importantes en sodium.

Il constitue l'un des éléments indispensables pour la croissance végétale mais l'augmentation de sa proportion dans l'eau d'irrigation conduit à la diminution de la perméabilité du sol, et à l'augmentation exponentielle de son pH.

Les teneurs en sodium sont pour la majorité des points inférieures à la norme de l'OMS (150 mg/l), les fortes teneurs observées au niveau de l'oued Méboudja OM1 et au niveau de la nappe OM2 avec des concentrations de 206 mg/l et de 242 mg/l (Fig. 4.19).



**Fig.4.19** : Variation de  $\text{Na}^{+2}$  dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

### 3.2.4.9. Potassium ( $\text{K}^{+}$ )

Le potassium provient de l'altération des roches silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK, à base d'Azote, Potasse et Phosphore). On observe une variation de Potassium dans les eaux d'oued Méboudja ; le taux de potassium le plus élevé est observé au niveau du OM2 et P1 avec une concentration de 67 et 20 mg /l, alors que la valeur la plus faible est au niveau de OM2 (1.57 mg/l)(Fig.4.20).Le taux élevé du potassium peut être due aux rejets des eaux de drainage et d'assainissement dans la zone d'études. La norme fixée par l'OMS est de 12 mg/l

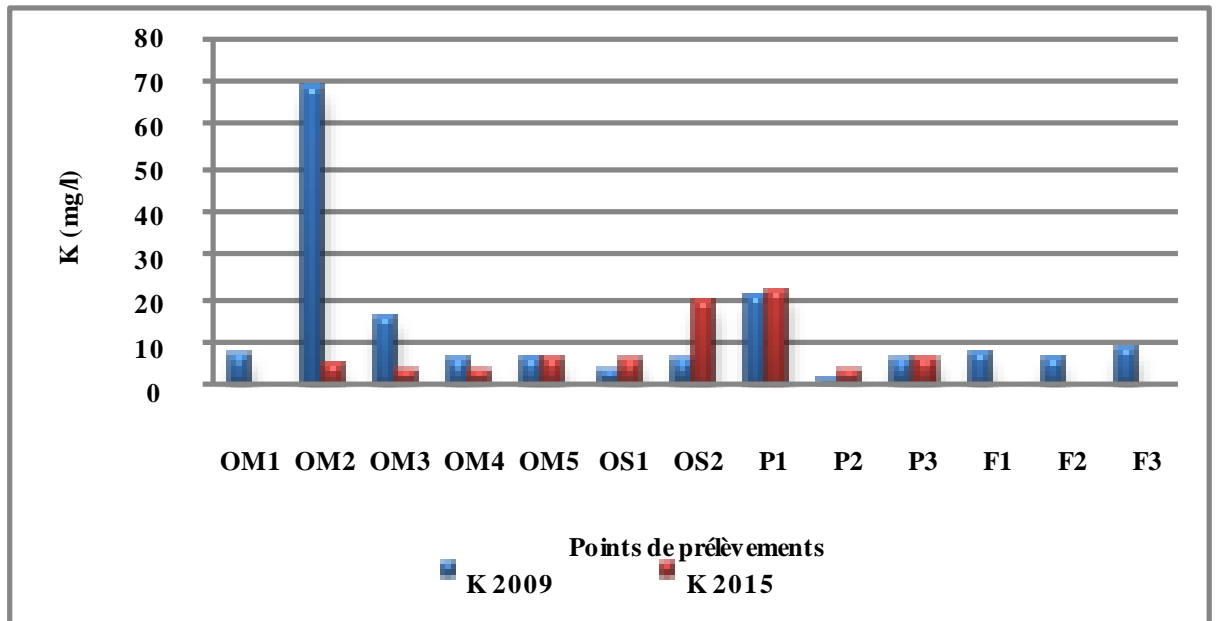


Fig.4.20 : Variation de potassium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.

### 3.2.4.10. Les nitrates

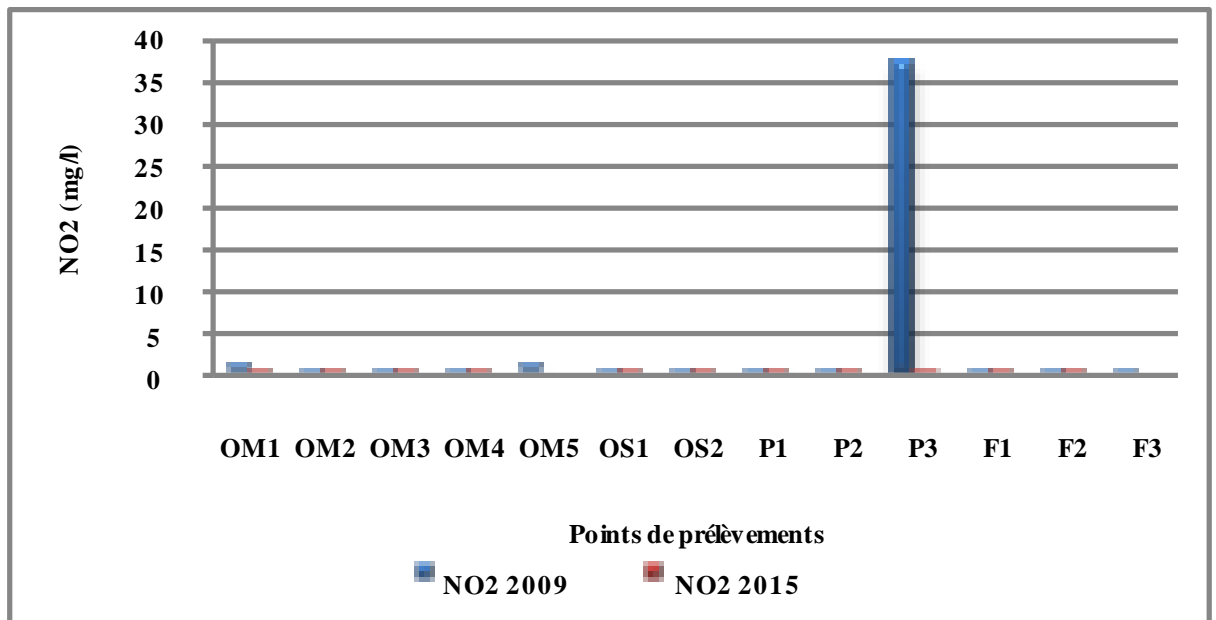
Les ions nitrates constituent la dernière étape de la dégradation bactérienne de l'azote N. Les plantes absorbent le nitrate du sol pour croître. Elles le convertissent en protéines, à leur tour nécessaire à l'alimentation et à la croissance des animaux et des hommes. Comme les déjections des animaux sont converties par les bactéries présentes dans le sol, en nitrate, le cycle est bouclé. Mais les nitrates peuvent également être présents dans l'eau de distribution suite à une pollution des réserves en eau. Le nitrate excédentaire subsistant dans le sol est rapidement lessivé pour aboutir dans l'eau du profil qui poursuit progressivement son chemin vers les nappes phréatiques plus profondes d'où elle est pompée par les sociétés de distribution d'eau potable.

L'excédent en nitrates des eaux de surface susceptibles est principalement dû à l'utilisation d'engrais azoté (déjections animales et engrais de synthèse), mais est également imputable aux rejets d'eaux usées par les ménages.

**a. Effets sur la santé :** La présence de nitrates à des concentrations excessive dans les eaux peut induire, pour le consommateur, des risques de nature différentes, mais dont l'origine est toujours liée à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites. C'est pourquoi les nourrissons ainsi que les jeunes animaux, dont la faible acidité stomacale favorise cette transformation, constituent une population particulièrement sensible. Les nitrites ainsi formés, par combinaison avec l'hémoglobine

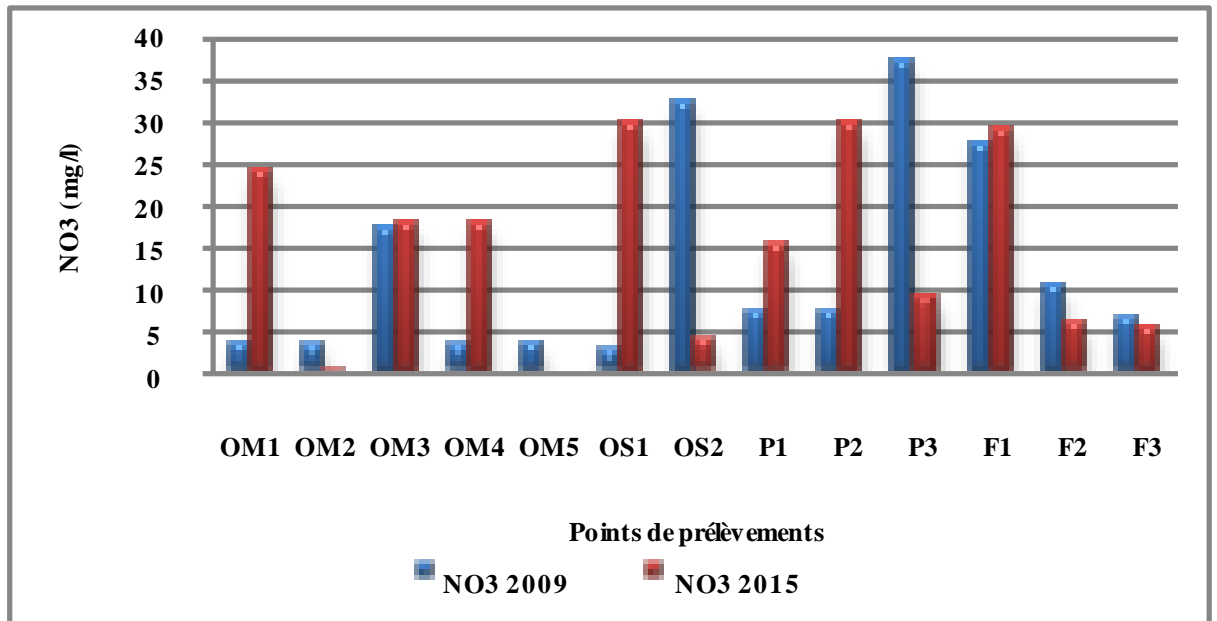
du sang, réduisent les capacités de transport de l'oxygène, la méthémoglobinémie (maladie bleue des nourrissons) peut provoquer des troubles plus ou moins graves : cyanose, asphyxie musculaire....

Chez l'adulte, les concentrations de nitrates et de nitrites habituellement observées dans l'eau ne semblent pas présenter de toxicité aiguë. Along terme, en revanche, les composées N nitroso (nitrosamines et nitrosamides) issus de la combinaison des nitrates avec des amines et amides, sont suspectés de provoquer des cancers. Cette cancérogénicité a pu expérimentalement être mise en évidence chez de nombreuses espèces animales. Chez l'homme, malgré de fortes présomptions, les données toxicologiques, encore insuffisantes, ne permettent pas de tirer de conclusion définitive. L'exposition à ces composées et à leurs précurseurs doit par conséquent être maintenue aussi faible que possible.



**Fig.4.21:** Variation des Nitrites dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

**b. Nitrates dans l'eau de boisson :** En général, environ 60% de l'eau de boisson provient d'eaux souterraines (nappe phréatique) et d'eau de source et pour environ 40% d'eau superficielles. Dans notre région les eaux superficielles ne posent généralement pas de problème au niveau des nitrates car tous les points de prélèvement (dans l'Oued Seybouse et dans l'Oued Méboudja ont données des valeurs inférieures à 50 mg/l (valeur indicative par l'OMS) (Fig. 4.22). La nappe d'El-Hadjar quant à elle peut contenir des teneurs un peu élevées en nitrates par rapport aux eaux superficielles (36 mg/l) du fait de l'agriculture intensive.



**Fig.4.22:** Variation des Nitrates dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

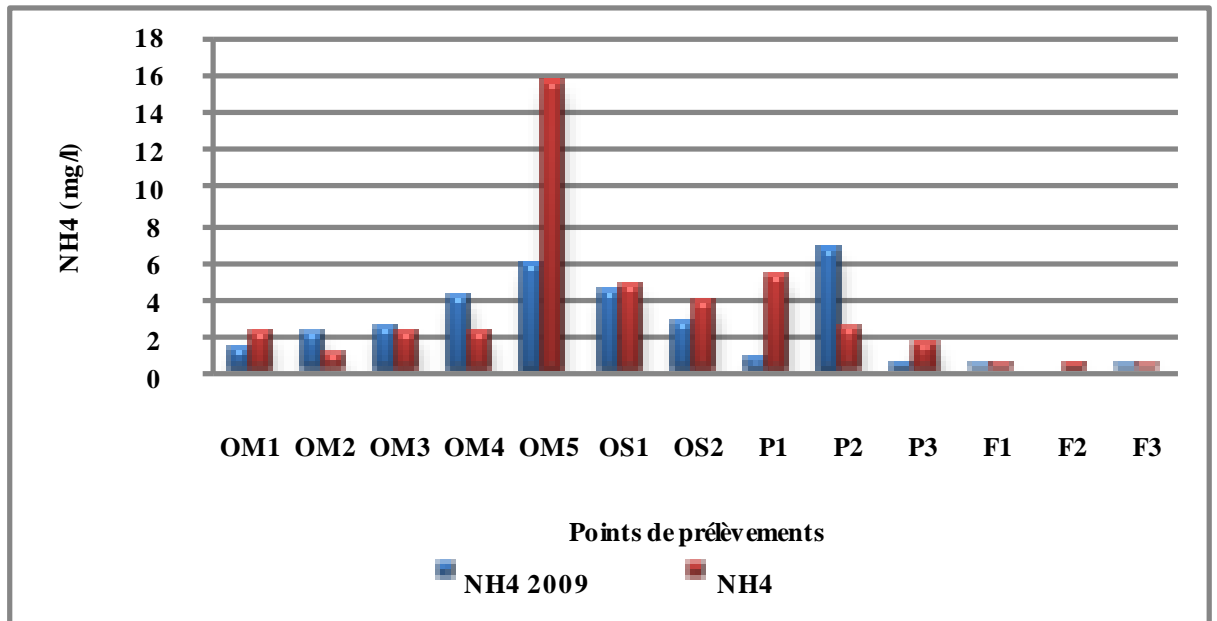
### 3.2.4.11. Ammonium

L'ammonium dans les eaux peut avoir pour origine : la matière végétale des cours d'eau, la matière organique animale ou humaine les rejets industriels et les engrais. Il n'est pas directement toxique pour les communautés animales et végétales des milieux aquatiques, mais par des réactions chimiques dans l'eau.

**Tab.4.7 :** Intervalle des classes de l'Ammonium dans l'eau.

$\text{NH}_4^+$ (mg/l)	Qualité
<0.1	Bonne. Absence de pollution de l'eau significative.
0.1 – 0.5	Assez bonne. Pollution de l'eau modérée.
0.5 – 2	Médiocre. Pollution de l'eau nette.
2 – 8	Mauvaise. Pollution de l'eau importante.
>8	Hors classe. Pollution de l'eau très importante.

Les résultats obtenus (Fig. 4.23) sont inférieurs aux normes à cause de la dilution, sauf au niveau des points OM1 et OM5 à cause des rejets urbaines de la ville d'El-Hadjar.



**Fig.4.23:** Variation de l'Ammonium dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

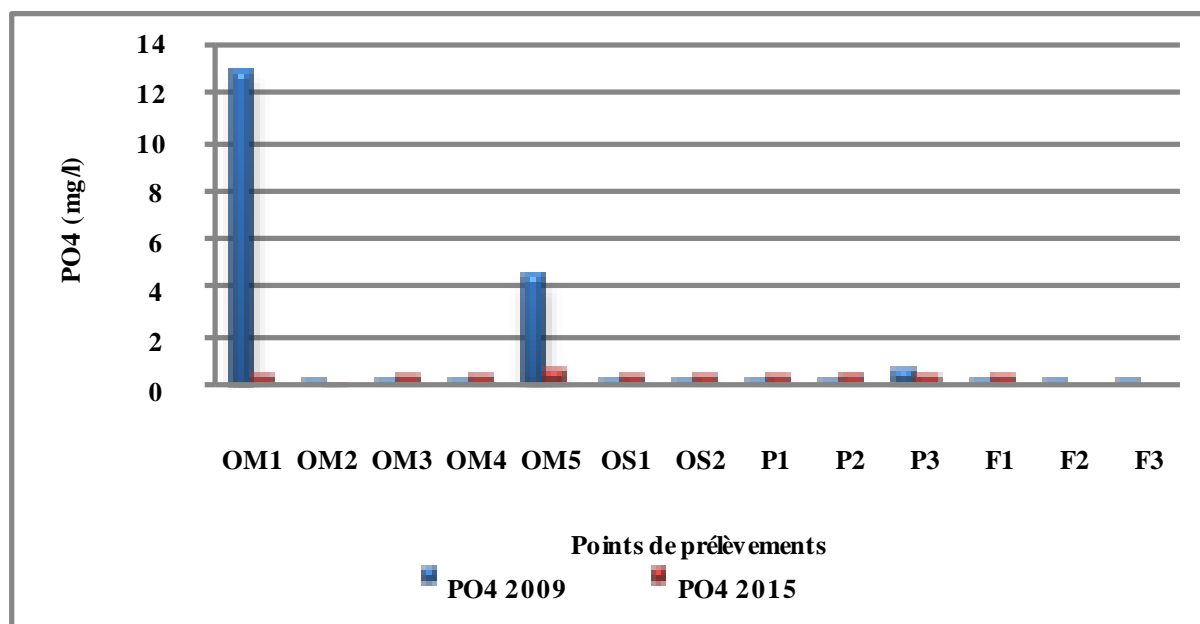
### 3.2.4.12. Phosphates

On peut trouver le phosphore dans l'environnement en général sous forme de phosphate. Ce dernier est indispensable aux animaux comme aux plantes. Il est un des éléments nécessaires à la formation du squelette. Les poissons couvrent leurs besoins en phosphore par la nourriture, les plantes se contentent de celui qui est présent dans l'eau. Des quantités minimales suffisent car les végétaux sont capables d'enrichir jusqu'à 1000 fois le phosphore à l'intérieur de leurs cellules.

Les phosphates sont des substances importantes aussi pour le corps humain car ils sont un composant de l'ADN et ils participent à la distribution de l'énergie. Donc les phosphates ont beaucoup d'effets sur les organismes, car l'homme a modifié radicalement les réserves naturelles de phosphates par l'addition d'engrais dans le sol et en utilisant des détergents contenant des phosphates. On ajoute aussi des phosphates à certains aliments tels que le fromage, les saucisses et le jambon et aussi par l'exploitation minière. Lors du traitement de l'eau, les phosphates ne sont en général pas éliminés convenablement alors le problème est grave si ces eaux ne sont pas traitées.

Trop de phosphates peuvent provoquer des problèmes de santé, tel que de l'ostéoporose ou des problèmes aux reins. On peut aussi avoir des carences en phosphates qui sont dues à une utilisation intensive de médicaments. Dans notre région les eaux souterraines ont des concentrations inférieures à 0.5 mg/l (norme OMS)

(Fig.4.24). Par contre les eaux de surfaces ont des concentrations élevées pour les points OM1 et OM5 du à l'utilisation des engrais.



**Fig.4.24** : Variation des Phosphates dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar.

### 3.2.4.13. Les ETM (éléments traces métalliques)

On appelle classiquement métaux lourds, les éléments chimiques qui correspondent actuellement au terme générique d'ETM. Ces éléments traces métalliques désignent en fait un nombre important de métaux ayant un intérêt de plus en plus important dans la vie des sociétés modernes et à caractère toxique pour l'environnement et pour l'homme.

La toxicité des métaux lourds est fonction de leur concentration : ils peuvent être indispensables pour la vie à très faible doses (micronutriments pour la transformation enzymatique) et devenir inhibiteurs ou des toxiques pour le système biologique au-delà de certain seuil de concentration.

En général, les métaux toxiques proviennent de la combustion du charbon, pétrole, des ordures ménagères et de certains procédés industriels particuliers. Ils sont principalement issus des usines d'incinération de déchets et du trafic automobile. De plus, les éléments métalliques sont également présents naturellement (fond géochimique).

L'agriculture peut en constituer une source importante :

- Les impuretés dans les engrais : Cr, Pb, Zn, U, V, et Cu.
- Les pesticides : Cu, As, Hg, Mn, Zn, Cu



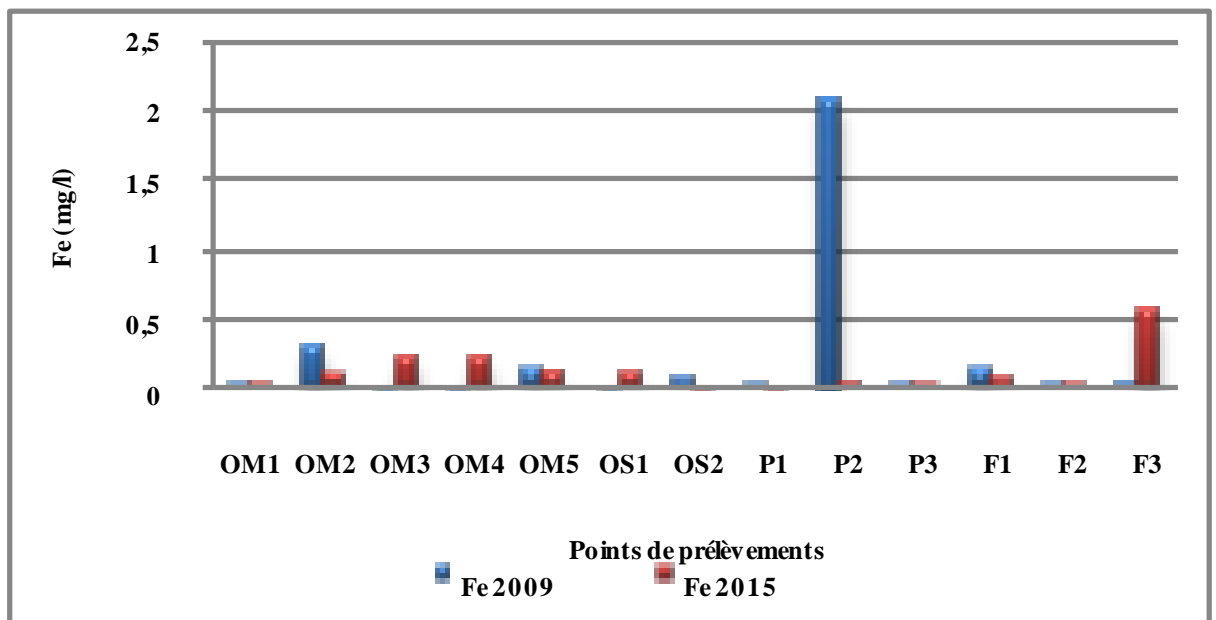
➤ La conservation du bois : As, Cu, Cr et l'élevage intensif de porcs et de volaille Cu, As, Zn

➤ Boues d'épuration spécialement Cd, Ni, Pb, Zn et As

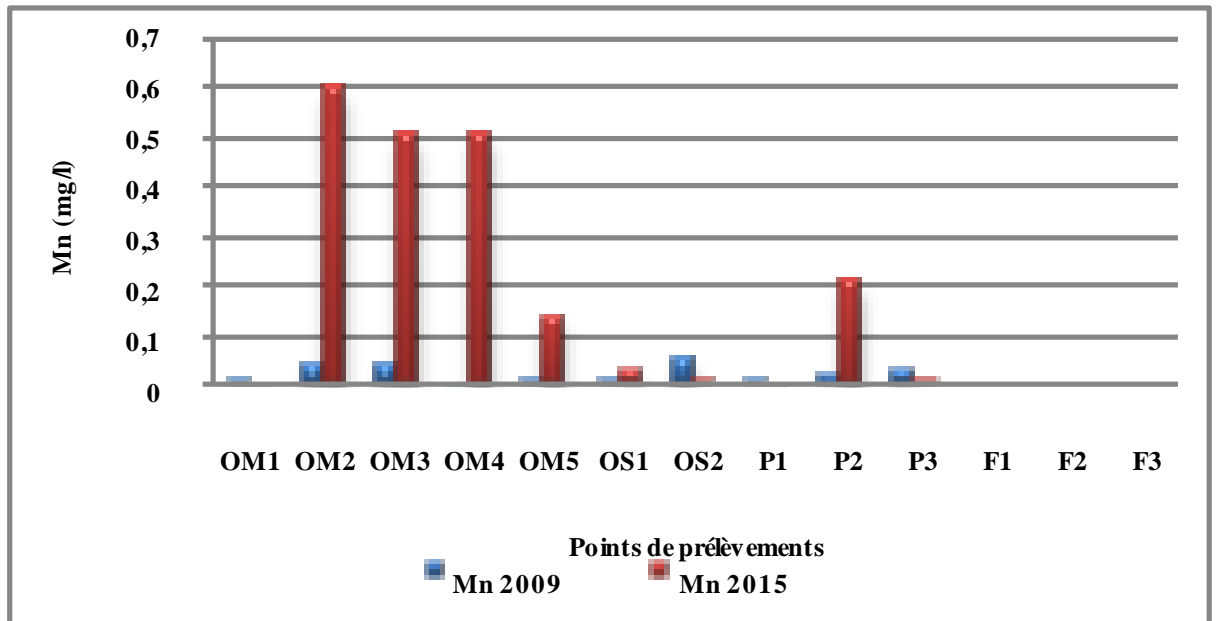
Dans l'industrie, ils sont obtenus à partir de l'exploitation minière, du recyclage de déchets et débris de métaux dérivant originairement de source géologique.

**Fer et Manganèse ( $Mn^{2+}$ )** : Ces deux éléments chimiques sont souvent rencontrés ensemble dans la nature. La présence de fer dans l'eau peut avoir diverses origines : naturelle par le lessivage des terrains argileux, ou industrielle (métallurgiques, sidérurgiques). Par contre, la présence du manganèse, du point de vue industriel, est liée à la métallurgie, l'industrie électrique et l'industrie chimique. Dans les eaux bien aérées, les concentrations de ces deux éléments sont souvent faibles. En revanche dans les eaux peu aérées (nappe captive), on observe de fortes concentrations.

Les concentrations observées pour ces deux éléments dans la basse plaine sont illustrées dans les Figures 4.25 et 4.26. Elles sont inférieures aux normes (3 mg/l pour le fer et 1mg/l pour le manganèse). L'existence de ces éléments au niveau de l'oued Méboudja est liée aux rejets urbains et industriels qui sont déversés directement dans l'oued.

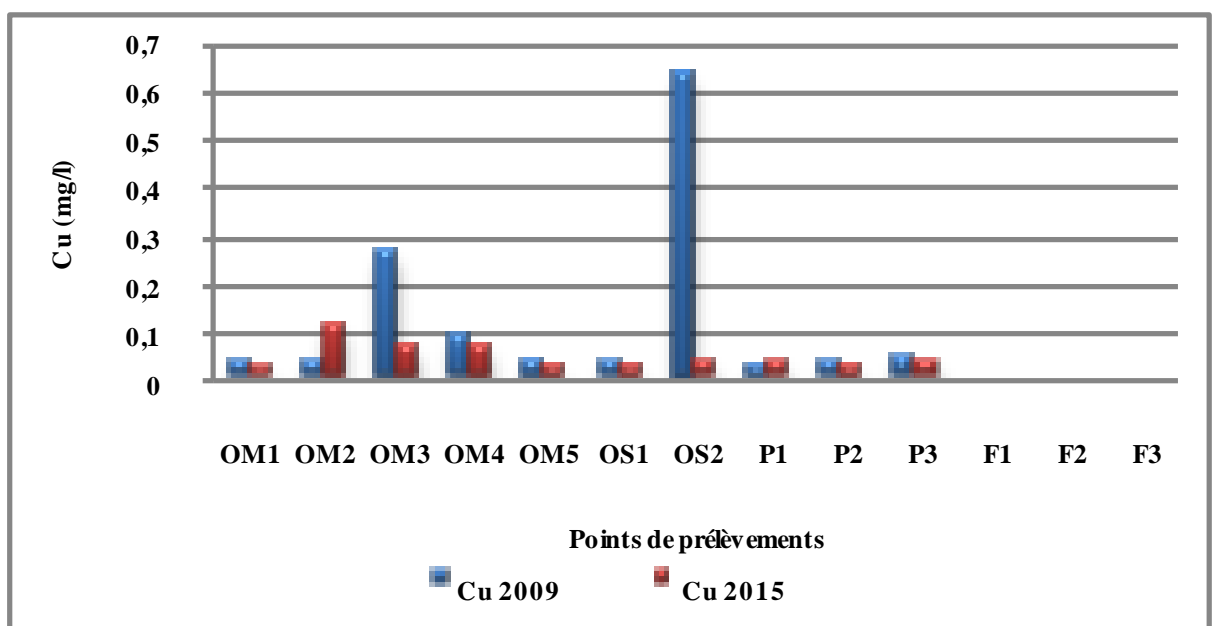


**Fig.4.25** : Variation des teneurs en Fer dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar



**Fig.4.26 :** Variation des teneurs en Manganèse dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

- Le Cuivre (Cu) :** Le cuivre est un métal qui existe dans la nature à l'état natif ou combiné à différents corps, notamment au soufre. Il forme des dépôts toxiques avec les acides faibles, sa présence dans les eaux est liée à l'industrie. Il est employé dans les alliages (laiton, bronze, maillechort), dans l'industrie électrique, le traitement de surface, la galvanoplastie ainsi que dans les traitements agricoles. Les concentrations en cuivre observées dans les deux types d'eaux sont faibles et n'atteignent pas la limite de potabilité ou de l'irrigation qui est de 1 mg/l (Fig.4.27).



**Fig.4.27:** Variation des teneurs en Cuivre dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

- Zinc** : Le zinc est une substance très commune qui est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol, sa concentration dans la croûte terrestre varie entre 10 et 300 mg/kg, pour une valeur moyenne de 70 mg/kg. Le minerai le plus courant à base de zinc est la Sphalérite (ZnS). Il entre dans la composition de nombreux alliages et il est utilisé dans les procédés de revêtement de l'acier anticorrosion. Ceci permet d'économiser les ressources métalliques, tels que les minerais de fer. Il est employé aussi dans la galvanisation ainsi que dans la fabrication des pigments pour la teinture. Les concentrations en zinc au niveau de la nappe superficielle, de graviers ou dans les eaux de surface, se trouvent faibles dans tous les points de mesure (inférieur à 3 mg/l) (Fig.4.28).

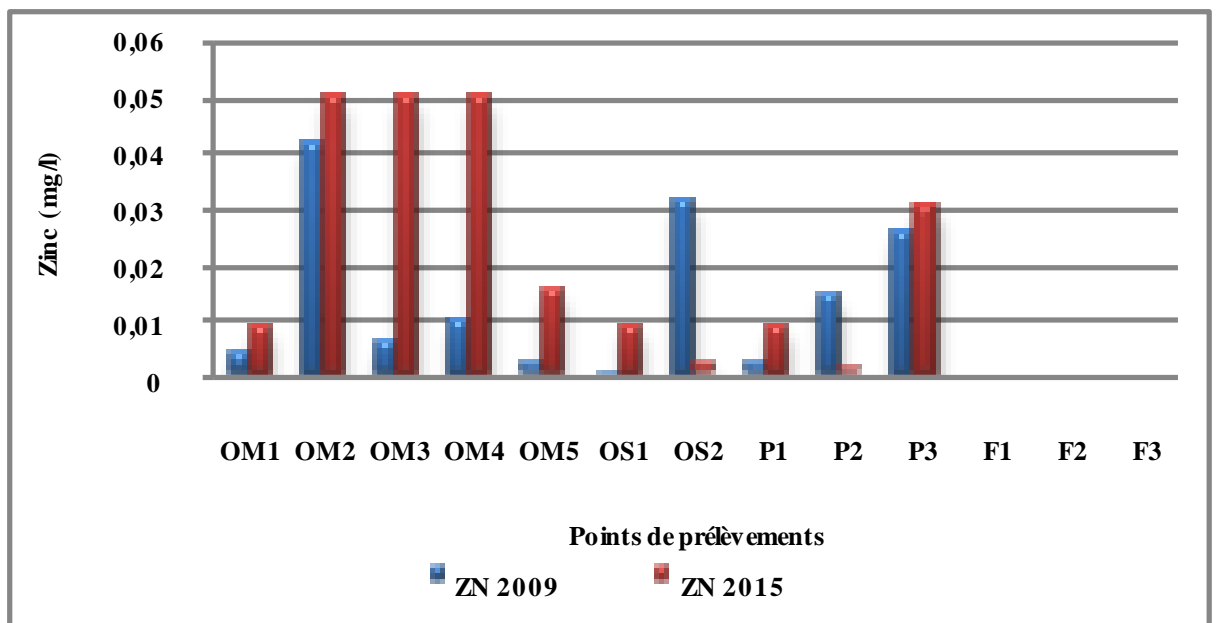


Fig.4.28 : Variation des teneurs en Zinc dans les eaux de la plaine d'El-Hadjar

### 3.2.5 Indices de saturations

Pour la détermination des indices de saturations, nous avons utilisé le logiciel PHREEQ C. Il est utilisé pour simuler des réactions chimiques et de transfert dans des eaux naturelles et polluées. Les premières versions du logiciel remontent à 1980. Il est suivi et est en constante amélioration. Aujourd'hui, il dispose d'une interface intuitive sous Windows. Les possibilités de PHREEQ C permettent notamment :

- De calculer la spéciation des espèces chimiques dans une solution aqueuse ainsi que les indices de saturation des minéraux ;
- De simuler pour les gaz, les phases solides et aqueuses, à différentes températures, des

réactions chimiques (précipitation, dissolution...) en batch ou avec du transport en ID (convection, dispersion) ;

- De tenir compte des lois cinétiques dans certaines réactions ;
- De simuler des réactions de surface (adsorption et complexation) ; d'utiliser également certains isotopes :  $^2\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{34}\text{S}$ , et  $^{87}\text{Sr}$ .

Le degré de saturation de l'eau peut être estimé par le calcul de l'indice de saturation, qui atteint la valeur zéro quand la solution est en équilibre avec une phase solide. Un indice de saturation négatif indique une sous saturation et un indice positif indique une sur saturation vis à vis des minéraux.

L'interprétation thermodynamique en utilisant la simulation de la concentration des ions majeurs ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) sous l'effet de l'évaporation isotherme à  $25^\circ\text{C}$ , par le logiciel thermodynamique « phreeq C » en terme d'équilibres sel/solution, montre que les eaux de la région d'étude sont :

- Sous saturées et des fois en équilibres par rapport à la Halite ( $\text{Na Cl}$ ), ce qui provoque sa dissolution en entraînant l'enrichissement de ces eaux en sodium et en chlorures (Fig. 4.29),

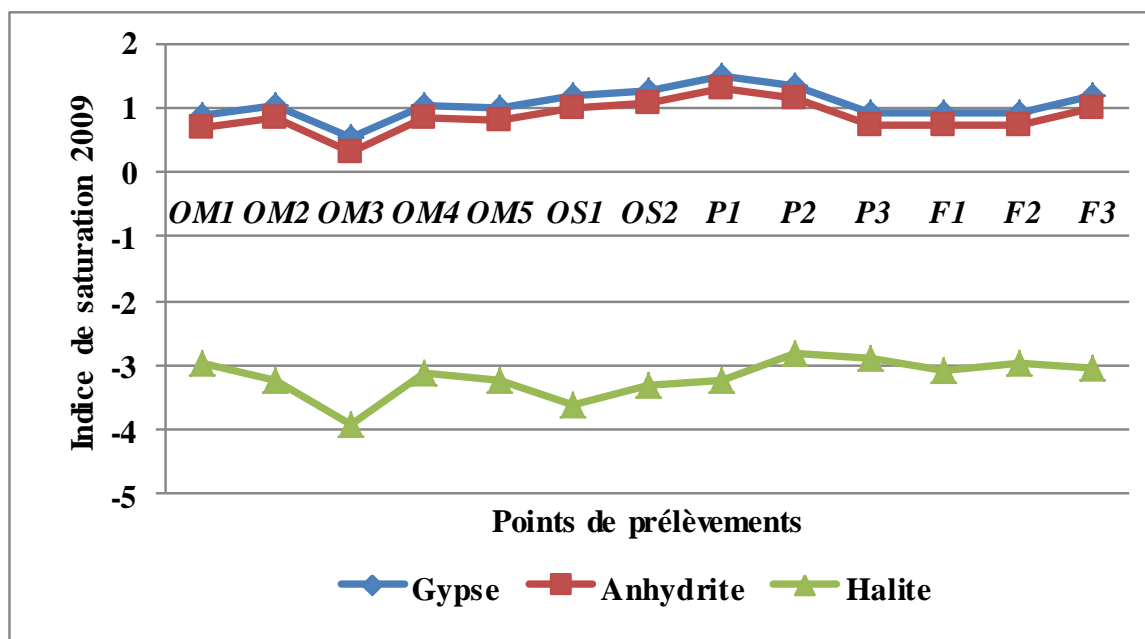


Fig.4.29: Indices de saturation des minéraux évaporitiques pour les eaux de la plaine d'El-Hadjar (2009)

Concernant le Gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et l'Anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) les eaux sont sursaturées ce qui provoque une précipitation sous forme de Gypse et Anhydrite.

- Les eaux sont sursaturées en Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomie [ $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ ], et Aragonite( $\text{CaCO}_3$ ) dans tous les points analysés, entraînant ainsi la précipitation des

éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite, et surtout sous forme de Dolomite (Fig. 4.30).

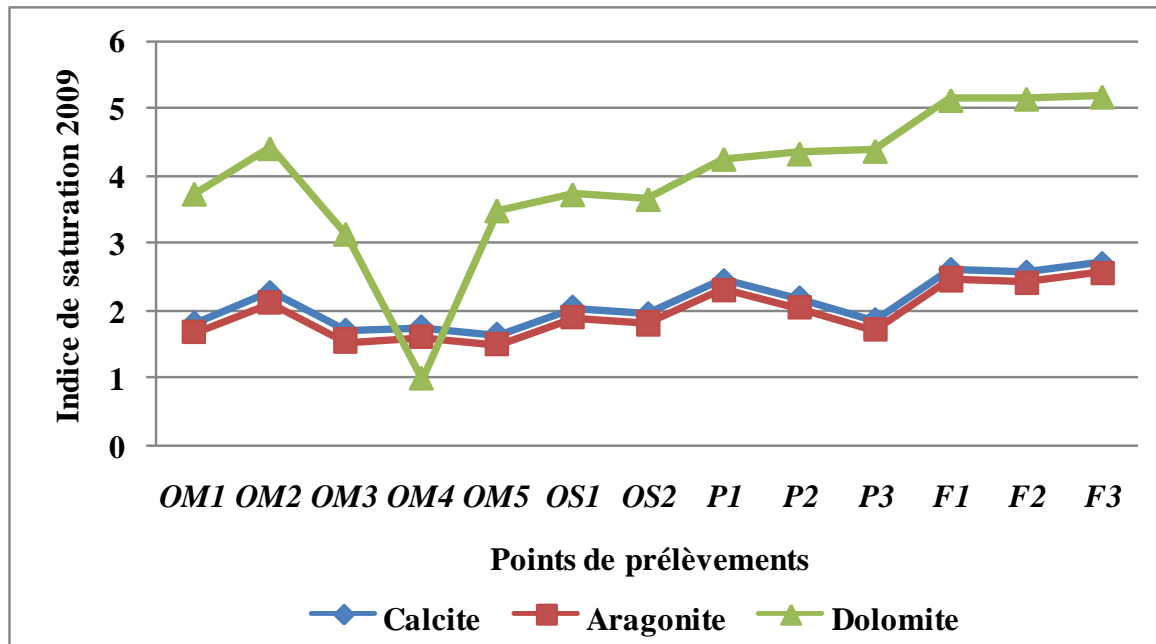


Fig.4.30: Indices de saturation des minéraux carbonatés pour les eaux de la plaine d'El-Hadjar (2009)

- Les eaux de la plaine de Méboudja sont sursaturée en éléments de fer concernant la Goethite  $FeOOH$ , l'Hématite  $Fe_2O_3$ , Jarosite- k  $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$  où l'indice de saturation est positif mais sont sous saturé en Melanterite ( $Fe SO_4$ ) (Fig. 4.31).

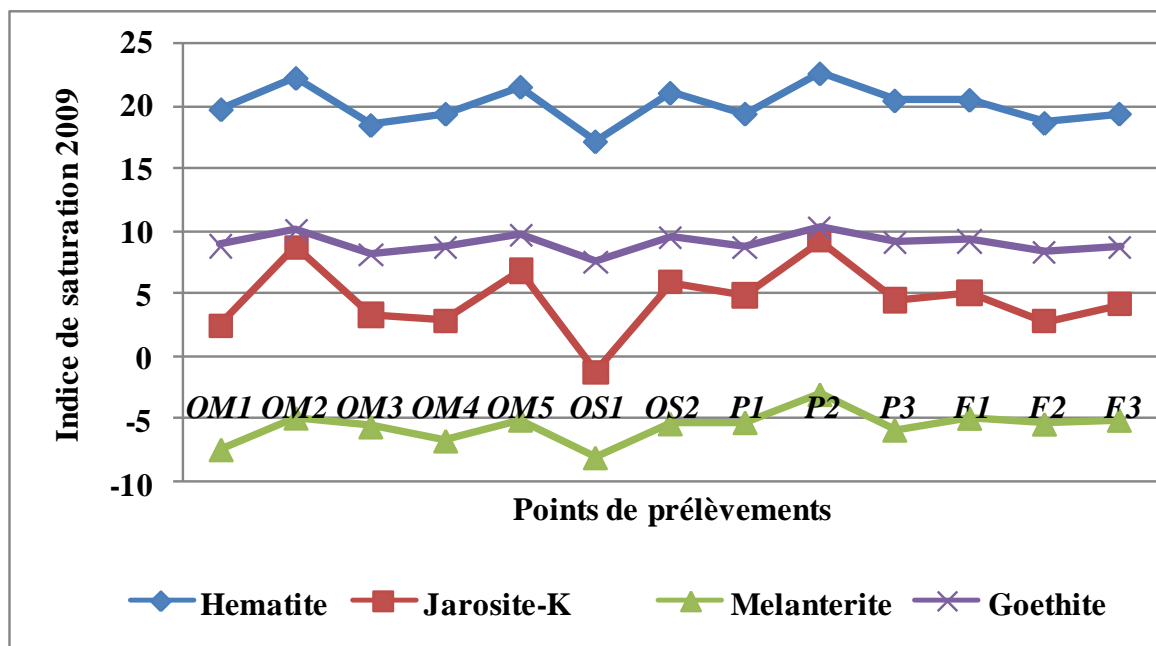


Fig.4.31: Indices de saturation des minéraux Ferreux pour les eaux de la plaine d'El-Hadjar (2009)

### 3.2.6. Aptitude des eaux à l'irrigation

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation du sodium par le complexe adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes. L'intensité du processus de salinisation dépend des caractéristiques du sol, de la qualité des eaux utilisées, des conditions de leur emploi et en particulier de l'efficacité du système de drainage. Cependant ces pratiques d'irrigation accroissent le risque de salinisation, au point que plus de 20 % des sols irrigués sont affectés par un problème de salinité en Algérie [27].

La salinisation et l'alcalinisation des eaux sont les principaux risques que peuvent encourir les eaux destinées à l'irrigation. Dans le but d'évaluer ces deux risques, les résultats des analyses physico-chimiques ont été projetés sur le digramme Riverside. Sur cette représentation graphique, le risque de salinité est estimé par la conductivité exprimé en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Alors que le risque d'alcalinisation des sols est quantifié par le Sodium Adsorption Ratio(SAR).

Pour déterminer la qualité des eaux de l'Oued Méboudja à des fins d'irrigation, nous avons eu recours au calcul de quelques indices qui peuvent donner des indications pertinentes sur la qualité ainsi que l'usage auquel sont destinées ces eaux.

• **Le risque de salinité** : La salinité a eu des effets sur l'agriculture depuis très longtemps. Les sels ont été reconnus comme un problème de puis des milliers d'années, particulièrement dans les régions arides et semi arides où il n'y a pas suffisamment de pluie pour lessiver les sels au-delà de la zone racinaire. Les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol et les plantes.

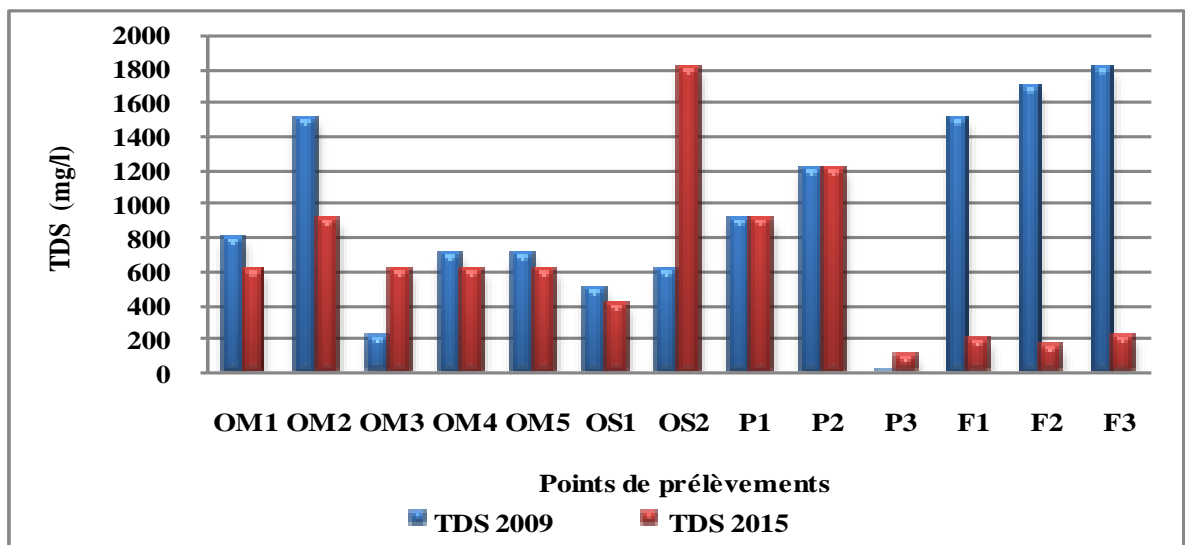
La salinité peut entraîner des effets nocifs conséquents en raison de la fixation du Sodium des sels de chlorure de sodium par les colloïdes du sol. Le sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation, de façon indirecte, en dégradant les propriétés physiques du sol. Sous cette action, les sols deviennent compacts et asphyxiants pour les plantes

• **Evolution temporelle et spatiale de la salinité** : Richards en 1969 a établi une échelle de qualité des eaux d'irrigation en fonction de leur salinité évaluée par leur conductivité électrique (Tab. 4.8).

D'après le tableau 10, les eaux présentent une forte salinité, les sels solubles estimés en NaCl correspondant sont compris entre 1500 et 3600 mg/l.

**Tab.4.8 :** Classes de salinité selon Richards.

Classes	CE (mmhos/cm)	Sels correspondant en NaCl (mg/l)
Excellente	<0.25	<160
Faible salinité	0.25-0.75	160-500
Forte salinité	0.75-2.25	500-1500
Très forte salinité	2.25-5	1500-3600



**Fig.4.32 :** Evolution spatio temporelle de la salinité des eaux de la plaine d'El-Hadjar

- **L'indice Kelly's Ratio (KR.) :** Cet indice est représenté par le rapport des concentrations de  $\text{Na}^+$  (meq/L) et la somme de  $\text{Ca}^{2+}$  (meq/L) et  $\text{Mg}^{2+}$  (meq/L). Il est parmi les indices constituant une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation. Une grande concentration en  $\text{Na}^+$  dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation, cet indice est donné par la relation suivante :

$$\text{KR} = r \text{Na}^+ / r (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Si : K.R. < 1 : l'eau est considérée comme bonne pour l'irrigation.

Si : K.R. > 1 : l'eau est mauvaise pour l'irrigation (elle est déconseillée)

**Tab.4.9 :** Valeurs de KR des différents points d'eau d'Oued Méboudja et Oued Seybouse

Points d'eau	OM1	OM2	OM3	OM4	OM5	OS1	OS2
<b>KR</b>	0,87	1,09	1,02	0,76	0,77	0,3	0,49

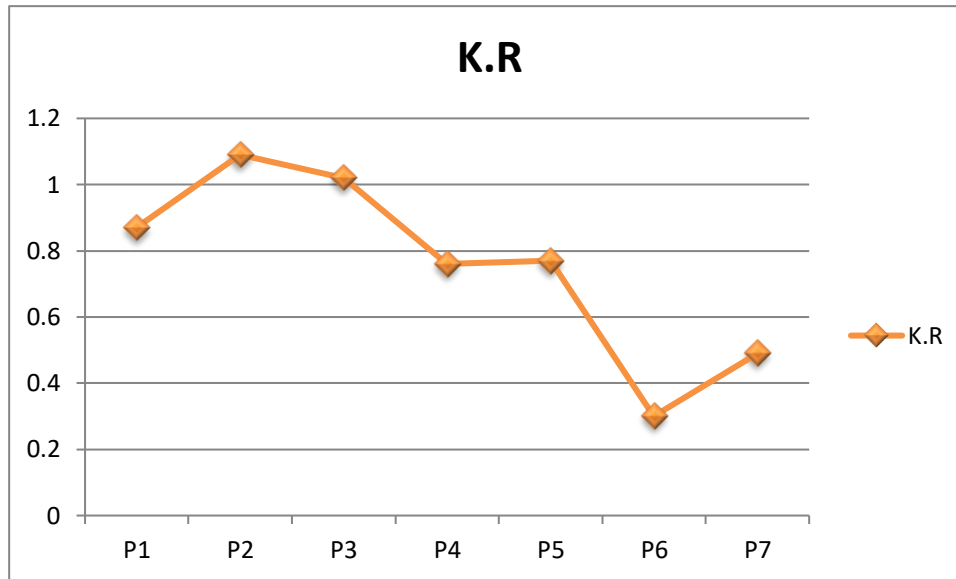


Fig.4.33 : Variation de l'indice de L'indice Kelly's Ratio (K.R.)

• **Pourcentage de Sodium (% Na<sup>+</sup>) et classification des eaux par la méthode de Wilcox :**

Le % Na<sup>+</sup> peut être calculé par la relation suivante :

$$\% \text{Na}^+ = \left( \frac{\text{Na}^+}{\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} \right) \cdot 100$$

Tab.4.10 : Classification des eaux en fonction du % Na<sup>+</sup>

Résultats	% Na <sup>+</sup>	Paramètres
	< 20	Classe 1 : Très bonne
OS1	20 – 40	Classe 2 : Bonne
OM1. OM4. OM5.OS2	40 – 60	Classe 3 : Admissible
OM2	60 – 80	Classe 4 : Médiocre
OM3	>80	Classe 5 : Mauvaise

Tab.4.11 : % Na<sup>+</sup> des différents points d'eau d'Oued Méboudja et Oued seybose

Points d'eau	OM1	OM2	OM3	OM4	OM5	OS1	OS2
%Na	48,02	62,97	83,56	44,59	45,18	21,15	34,47

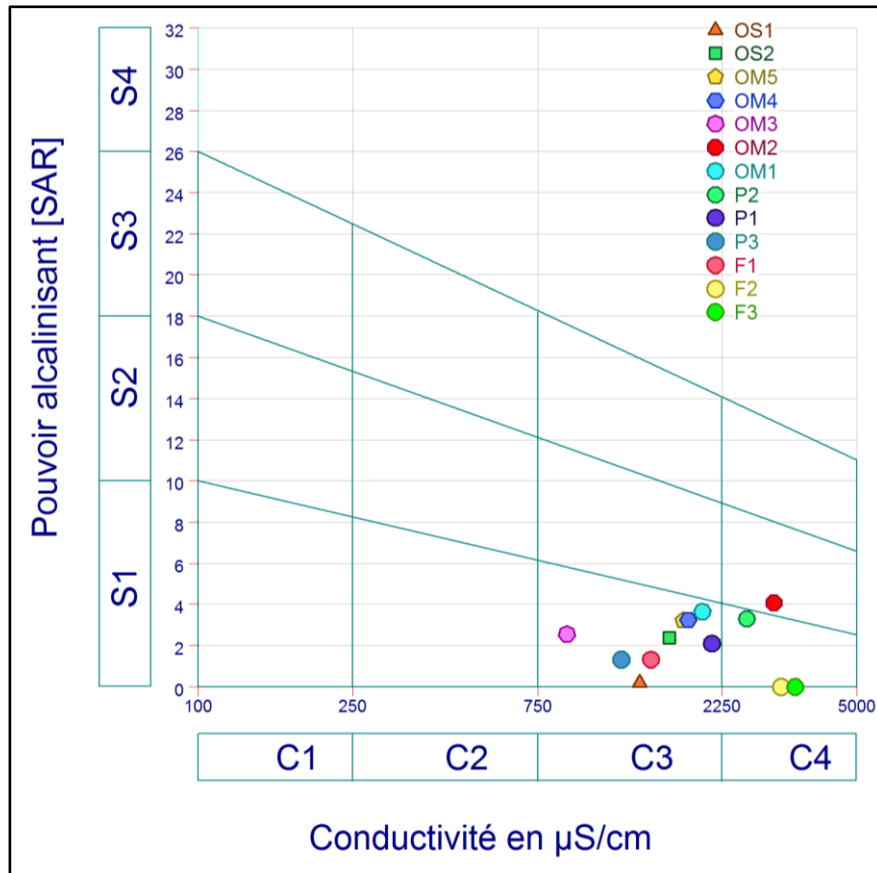
Le calcul du pourcentage en sodium montre que les points d'eau sont rangés dans les classes 2,3,4 et 5 c.à.d. que leur qualité est bonne au point OS1, admissible au point OM1,OM4,OM5, et OS2, médiocre et mauvaise au point OM2 et OM3 .



Il est connu que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium. Les études menées par Wilcox sur cette question ont abouti à un diagramme donnant la classification des eaux en fonction du pourcentage en Sodium et de la conductivité électrique (Fig. 4.34).

**Tab.4.12** : Classification des eaux par degré d'aptitude à l'irrigation par la méthode du SAR

Degré	Qualité	Classe	Etat d'utilisation
1	Excellente	C <sub>1</sub> – S <sub>1</sub>	Eau à utilisation sans danger pour l'irrigation pour la plupart des sols.
		C <sub>1</sub> – S <sub>2</sub>	
2	Bonne	C <sub>2</sub> – S <sub>1</sub>	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérante en sels.
		C <sub>2</sub> – S <sub>2</sub>	
3	Admissible	C <sub>3</sub> – S <sub>1</sub>	En général, eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit être cependant être contrôlée.
		C <sub>2</sub> – S <sub>3</sub>	
		C <sub>3</sub> – S <sub>2</sub>	
4	Médiocre	C <sub>4</sub> – S <sub>1</sub>	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes en sel sur des sols bien drainé et lessivés.
		C <sub>4</sub> – S <sub>2</sub>	
		C <sub>3</sub> – S <sub>3</sub>	
5	Mauvaise	C <sub>3</sub> – S <sub>4</sub>	Eau ne convenant pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certains conditions.
		C <sub>4</sub> – S <sub>3</sub>	
		C <sub>4</sub> – S <sub>4</sub>	



**Fig.4.34:** Diagramme de Wilcox (Année 2015)

D'après le diagramme de Wilcox (Fig.4.34) on constate que les eaux de la plaine d'El-Hadjar ont une qualité Admissible à médiocre donc sont des eaux convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés l'évolution de la salinité doit être cependant être contrôlée.

#### 4. Conclusion

Ce travail nous a permis d'évaluer à la fois le degré de la pollution des eaux superficielles et souterraines de la plaine d'El-Hadjar. Les résultats de caractérisation des points de prélèvements choisis confirment, pour la majorité des paramètres analysés, la pollution des eaux est évidente et la norme est souvent dépassée.

Les eaux de rejets représentent un danger majeur pour la qualité des eaux, compte tenu des fortes concentrations en polluants chimiques ainsi que le débit élevé des rejets.

Pour le chimisme des eaux de la région, le diagramme de Piper montre un faciès chloruré-sodique dans le cas de l'Oued Seybouse. Les teneurs en chlorure et sodium atteignant 951,4 mg/l et 242,92 mg/l respectivement. La variation simultanée de ces deux éléments confirme leur origine commune, qui peut être attribuée ; pour la nappe

superficielle, à la dissolution des formations salifères riches en halite. Alors que, pour oued Méboudja, aux apports salifères du lac Fetzara par l'effet de l'évaporation [73] ou à la remontée des eaux marines dans l'oued Seybouse et donc dans son affluent l'oued Méboudja [60].

Les éléments chimiques  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  ont une origine due au lessivage des formations métamorphiques (cipolins) et aux apports salifères du lac Fetzara [39, 34].

L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques, la halite est en sous saturation, par contre le gypse et l'anhydrite sont en sursaturation, ce qui provoque leur sédimentation. Les eaux sont sur saturées en Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomie [ $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ ], et en Aragonite ( $\text{CaCO}_3$ ) dans tous les points analysés, entraînant ainsi la précipitation des éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite, et surtout de Dolomie. Les eaux sont sur saturées en éléments de fer, par contre ils sont sous saturées vis-à-vis des éléments de plomb et de zinc.

L'impact de la pollution liée aux rejets de toutes sortes sur les eaux souterraines est très marqué. En effet, les valeurs fortes enregistrées dans les eaux des puits proches de l'oued diminuent progressivement en s'éloignant des berges de la Méboudja.

Le calcul de l'indice de Kelly's Ratio montre des valeurs inférieures à 1 ce qui confère à ces eaux une bonne qualité vis-à-vis de son utilisation en irrigation. Le calcul du pourcentage en sodium montre que les points d'eau sont rangés dans les classes 2,3,4 et 5 c.à.d. que leur qualité est bonne au point OS1, admissible au point OM1,OM4,OM5, et OS2, médiocre et mauvaise au point OM2 et OM3. Pour les deux diagrammes Richards et Wilcox la majorité des points sont des eaux convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés et l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

## **CHAPITRE 5**

# **CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA POLLUTION DES EAUX ET DES SOLS PAR LES HYDROCARBURES DANS LA PLAINE D'EL-HADJAR**

## 1. Introduction

«Avec deux cuillerées à soupe d'huile, je peux recouvrir le lac Léman» avait coutume de dire le physicien et chimiste américain Irving LANGMUIR, Prix Nobel de Chimie en 1932, qui a étudié les couches minces, mono moléculaires, qui portent son nom. Nous avons tous eu l'occasion de le constater un jour ou l'autre, lorsqu'un hydrocarbure léger est répandu sur un liquide, une infime quantité est suffisante pour en recouvrir une grande surface.

L'exploitation humaine des Hydrocarbures n'a cessé d'augmenter depuis le début du siècle dernier. L'extraction, le transport, et l'utilisation de cette source d'énergie entraînent des risques de pollution (accidentelle et chronique) pour l'environnement pouvant influencer sur l'environnement et la santé humaine, liée notamment à la propagation des molécules dangereuses dans le milieu (eaux superficielles, nappes souterraines et les sols).

Le présent travail est subdivisé en deux parties. La première résume les données relatives aux hydrocarbures (sources, nature, toxicité, etc.), suivi par une deuxième partie présente les concentrations des hydrocarbures dans les eaux et les sols dans la plaine d'El-Hadjar.

## 2. Définition :

L'expression hydrocarbures totaux (HCT) comprend l'ensemble des hydrocarbures, saturés ou non, comme par exemple les huiles minérales, les huiles et les graisses végétales ou animales.

Les HCT sont des composés organiques comportant essentiellement du carbone et de l'hydrogène, d'autres éléments, tel le soufre, l'oxygène et l'azote sont minoritaires.

En plus des divers dérivés des hydrocarbures, le pétrole et le gaz naturel présentent une grande importance commerciale ; on les utilise comme carburant, combustible, huiles lubrifiantes ainsi que comme produits de base en synthèses pétrochimiques.

Le nombre de HAP identifiés à ce jour est de l'ordre de 130. Parmi ceux-ci, une liste restreinte est généralement considérée pour les études environnementales. Ce sont les polluants retenus comme prioritaires par l'agence environnementale américaine (US-EPA). Elle contient les HAP les plus étudiés et posant des problèmes environnementaux majeurs du fait de leur toxicité. Cette liste figure dans le tableau ci-dessous (Tab. 5.1).

**Tab.5.1** : Liste des 16 HAP classés prioritaires par l'US-EPA3

Nom	Nombre de cycles	Formule chimique
Naphtalène	2	C10H8
Acénaphtylène		C12H8
Acénaphène		C12H10
Fluorène	3	C13H10
Anthracène		C14H10
Phénanthrène		C14H10
Fluoranthène		C16H10
Pyrène		C16H10
Benzo(a)anthracène	4	C18H12
Chrysène		C18H12
Benzo(a)pyrène		C20H12
Benzo(b)fluoranthène		C20H12
Dibenzo(ah)anthracène	5	C22H14
Benzo(k)fluoranthène		C20H12
Benzo(ghi)pérylène		C20H12
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	6	C22H12

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) propose de suivre principalement 6 HAP (Tab. 5.2).

**Tab.5.2** : Liste des HAP considérés par l'Organisation Mondial de la Santé (WHO, 2003)

Nom	Nombre de cycles	Formule chimique
Fluoranthène		C16H10
Benzo(a)pyrène	4	C20H12
Benzo(b)fluoranthène		C20H12
Benzo(k)fluoranthène		C20H12
Benzo(ghi)pérylène	5	C20H12
Indeno(1,2,3-cd)pyrène	6	C22H12

### **3. Propriétés physico-chimiques**

Le transport et la répartition des HAP dans l'environnement dépendent notamment de leurs propriétés physico-chimiques, à savoir la solubilité dans l'eau, la pression de vapeur, la constante de Henry, le coefficient de partage octanol/eau et le coefficient de partage du carbone organique.

Remarque : La migration et l'évolution de ces substances est aussi fonction des propriétés physico-chimiques du milieu récepteur et des populations microbiennes en présence.

#### **3.1. Propriétés physiques :**

De manière générale, la plupart des HAP sont peu volatils, très peu solubles dans l'eau, peu mobiles dans le sol car facilement adsorbés. Ces substances sont stables (hydrolyse négligeable) mais leur biodégradabilité varie fortement selon les conditions du milieu.

La tension de vapeur saturante des HAP diminue au fur et à mesure que la masse molaire moléculaire augmente tandis que la solubilité dans l'eau varie en fonction de la complexité de la structure moléculaire. En général, les HAP ont une faible solubilité, comprise entre 30 mg/l pour les composés légers et 10<sup>-4</sup> mg/l pour les plus lourds.

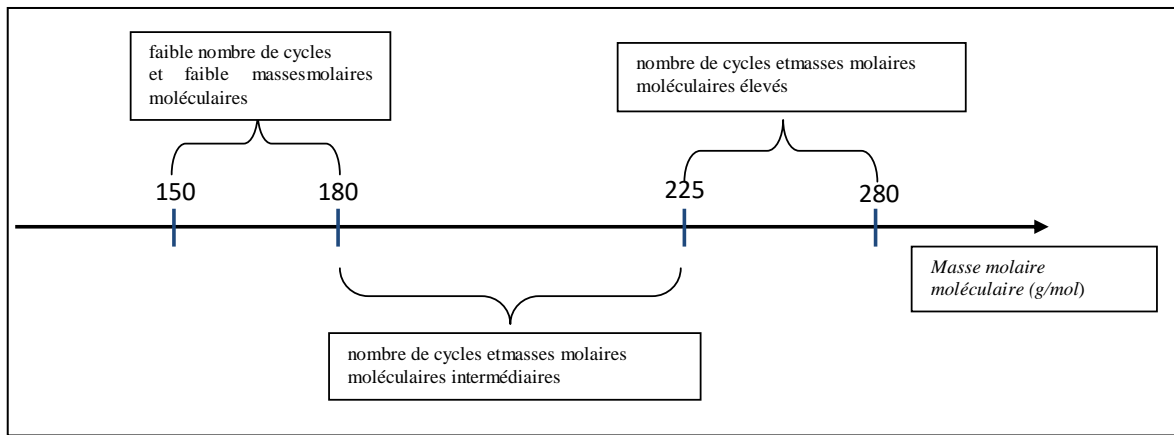
La constante de Henry (KH) est un coefficient qui exprime le ratio de la concentration dans l'air et dans l'eau à l'équilibre. Le coefficient de partage du carbone organique (Koc) indique la propension des HAP à se lier à la matière organique du sol ou du sédiment. Le coefficient de partage octanol/eau (Kow) permet d'estimer la migration des HAP vers des lipides. Ces propriétés sont fortement corrélées à la masse molaire moléculaire du HAP considéré.

La faible hydrosolubilité des HAP et leur masse volumique, supérieure à 1, permet de les classer dans la famille des phases liquides non aqueuses (DNAPL : dense non aqueous liquid phase). Etant hydrophobes, liposolubles et généralement volatils, les HAP ont tendance à s'adsorber sur les matrices solides et notamment les matières organiques [1, 14, 75].

#### **5.3.2. Propriétés chimiques**

Les HAP peuvent être classés en trois groupes (Fig. 5.1) basés sur le nombre de cycles aromatiques qu'ils contiennent et leurs masses molaires moléculaires :

- HAP de faibles masses molaires moléculaires (de l'ordre de 152-178 g/mol, soit 2 à 3 cycles) : naphthalène, acénaphthylène, acénaphthène, fluorène, anthracène et phénanthrène – solubilité et volatilité la plus élevée,
- HAP de masses molaires moléculaires intermédiaires (de l'ordre de 202 g/mol, 4 cycles) : fluoranthène, pyrène,
- HAP à masses molaires moléculaires élevées (de l'ordre de 228-278 g/mol, soit 4 à 6 cycles) : benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(a)pyrène, benzo(b)fluoranthène, dibenzo(ah)anthracène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3, cd)pyrène – sorption la plus forte.



**Fig.5.1** : Trois groupes de HAP sont à considérer (fonction de leurs propriétés physico-chimiques)

#### 4. Valeurs réglementaires

Le Décret n°2001-1220 du 20 décembre 2001, relatif aux eaux destinées à la consommation humaine, à l'exclusion des eaux minérales naturelles, impose une concentration inférieure à 0,1 µg/l pour la somme des quatre composés suivants : benzo (b) fluoranthène, benzo (k) fluoranthène, benzo (ghi) pérylène, indéno (1, 2 ,3- cd) pyrène. Pour le benzo (a) pyrène, la valeur limite est de 0,01 µg/l.

Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé imposent dans l'eau potable une teneur limite de 0,2 µg/l pour les 6 HAP de la liste présentée cidessus (fluoranthène, benzo(b) fluoranthène, benzo (k) fluoranthène, benzo (a) pyrène, benzo (ghi) pérylène, indéno (1,2,3, cd)pyrène, avec une valeur limite pour le benzo (a) pyrène de 0,7 µg/l .



## **5. Effets sur la santé**

La toxicité des HAP varie fortement d'un composé à l'autre. La plupart des HAP sont mutagènes. Ils peuvent notamment entraîner une diminution de la réponse du système immunitaire. Le benzo (a) pyrène, considéré comme traceur de la pollution urbaine aux HAP, est cancérigène pour l'homme. D'autres HAP sont reconnus cancérigènes probables ou possibles.

De nouvelles connaissances relient l'exposition aux HAP et l'état de santé cardiovasculaire. Mais les effets des HAP ne peuvent être individualisés de ceux des particules.

## **6. Effets sur l'environnement**

Certains HAP, tels que le benzo(a)anthracène, le fluoranthène et le pyrène, sont toxiques pour l'environnement. Les HAP contaminent les sols, les eaux et la chaîne alimentaire ; leur accumulation dans les organismes vivants en perturbe l'équilibre, notamment par stress oxydant.

## **7. Sources de HAP dans l'environnement :**

Les HAP sont présents dans l'environnement du fait de différents processus dont :

La biosynthèse par des organismes vivants [35], les pertes à partir du transport ou de l'utilisation des carburants fossiles, la pyrolyse des matières organiques à haute température, la combustion des charbons et pétroles.

Ce dernier processus constitue la principale voie d'introduction des HAP dans l'environnement et résulte majoritairement des actions anthropiques sur les sites des cokeries et des usines à gaz.

### **7.1. Les Cokeries**

Le coke, utilisé comme combustible dans les hauts fourneaux sidérurgiques et les fonderies, est produit dans les cokeries, par traitement thermique à haute température du charbon de houille.

Au cours de l'accroissement de la température les molécules organiques de la houille sont décomposées par étapes. Tout d'abord en produits gazeux, puis en matières goudroneuses et enfin en résidu à très haute teneur en carbone, le coke.

Une cokerie se compose essentiellement [8] :

- d'installations de stockage de houille et de charbon,

- d'installations de préparation de la pâte à coke, comprenant une station de mélange des différents constituants, une station de broyage, une tour à charbon recevant le mélange à enfourner,

- de fours à coke en batterie de 50 à 75 fours dans lesquels les températures peuvent atteindre 1250 à 1350 °C,

- d'installations d'extinction du coke (par arrosage pour la voie humide et par courant de gaz pour la voie sèche),

- d'installations de criblage (calibrage par fractions granulométriques),

- d'unités de récupération des sous produits.

Les premiers fours à coke construits dans la première moitié du 19<sup>ème</sup> siècle ne comportaient aucun système de récupération. Tous les produits volatils étaient brûlés. La réalisation d'unités de récupération des sous-produits a débuté en 1856. Après la seconde guerre mondiale, on ne construisait plus en France que des fours avec récupération des sous-produits.

D'une manière générale, lors de la cokéfaction d'une tonne de charbon sec, sont obtenus [16] :

- du coke 740-800 kg
- des gaz 300-350 Nm<sup>3</sup>
- des goudrons 18-35 kg
- des benzols 7-12 kg
- de l'ammoniac 2-2,5 kg
- de l'hydrogène sulfuré 2-2,5 kg
- des phénols 1-1,2 kg
- de l'acide cyanhydrique 0,2-0,5 kg

Les gaz produits sont en partie utilisés comme combustible pour le chauffage des fours à coke. Les autres gaz étaient brûlés à la torchère jusqu'à la fin de la première guerre mondiale. Dans les années 20, leur valorisation a été envisagée puis mise en pratique pour l'alimentation des réseaux de distribution des villes, le chauffage des hauts-fourneaux, l'utilisation pour la synthèse de l'ammoniac.

Le gaz brut produit lors de la cokéfaction subit un traitement d'épuration :

- une épuration physique par condensation et lavage pour l'élimination de l'eau ammoniacale et des goudrons,
- une épuration chimique pour enlever les produits sulfurés et cyanurés, par lavage à l'huile ou adsorption sur charbon actif.

La pollution des sols par les goudrons résulte le plus souvent du stockage des résidus de production. Le goudron, stocké en cuves enterrées, se trouvait souvent déversé (par accident ou volontairement) dans le sol. Par la suite, le démantèlement des installations a également donné lieu à des déversements plus ou moins contrôlés.

## **7.2. Les usines à gaz :**

Le procédé de base employé dans les usines à gaz est identique à celui utilisé dans les cokeries [53]. Une grande quantité de houille est chauffée en l'absence d'oxygène à des températures atteignant 1000 °C. Le chauffage provoque d'abord la vaporisation de l'eau et sa recombinaison avec le carbone.

Le charbon devient plastique entre 350 et 420 °C, provoquant un dégagement de produits goudronneux. Une resolidification intervient vers 450 °C, se traduisant par la formation du semi-coke, qui produira lors de la poursuite du chauffage le coke et le gaz manufacturé.

Les cokes sont récupérés, refroidis par arrosage avec de l'eau et criblés sur site.

Le mélange gazeux obtenu à la sortie des fours est épuré à l'aide de méthodes physiques et chimiques. Le gaz, qui sort des fours à une température élevée (600 °C) est refroidi jusqu'à une température d'environ 90 °C par la pulvérisation d'eau ammoniacale dans des barillets. Cette condensation permet de réduire le volume de gaz et d'éliminer une partie de l'eau, de l'ammoniac, du goudron et du naphthalène. Ces produits sont dirigés vers des cuves de décantation [66].

La deuxième condensation se fait dans des condensateurs à chocs électrostatiques pour enlever davantage de goudron. Le lavage des gaz consiste ensuite en une pulvérisation d'eau contenant parfois des faibles quantités d'acide sulfurique, pour extraire l'ammoniac, et le refroidissement du gaz est poursuivi dans des saturateurs.

Après ces opérations d'épuration physique, le gaz est mis en contact avec une matrice généralement riche en fer, appelée "masse épurante". Le principe du traitement consiste à oxyder l'hydrogène sulfuré. Ce mélange de masses épurantes était alors entreposé sur le terrain.

Suite à l'épuration, le gaz obtenu est stocké dans des gazomètres. Lors des démantèlements, ces gazomètres ont pu être utilisés pour y déverser des goudrons.

### **7.3. L'industrie du bois**

Les HAP sont rencontrés sur d'autres sites industriels, par exemple dans l'industrie du bois. En effet, le bois est vulnérable à la pourriture et doit être protégé. Parmi les produits utilisés pour la préservation du bois, se trouvent les huiles de goudrons.

Les matières actives entrant dans la composition des produits de traitement du bois sont de natures chimiques diverses. Nous retiendrons la créosote pour les huiles de goudrons. Les huiles de goudrons sont des produits issus de la distillation de la houille ou de la combustion du bois. La créosote a été l'un des principaux produits de préservation, utilisée dans le monde depuis 150 ans.

La créosote utilisée dans le traitement du bois provient du goudron de houille. Elle est caractérisée par un mélange d'huiles moyennes dénaphtanisées et déphénolées et d'huiles anthracéniques plus ou moins décantées.

Environ 300 constituants ont été identifiés dans la créosote de goudron de houille. La majorité des constituants est représentée par des HAP, plus de 85 % en masse du mélange. Le point d'ébullition de la créosote se situe entre 200 et 400 °C et sa densité varie de 0,91 à 1,17 g/cm<sup>3</sup>.

La créosote apparaît comme un liquide huileux de couleur ambrée à brune, possédant une odeur piquante de fumée. Elle brûle facilement mais ne se dissout pas aisément dans l'eau. Sa structure huileuse et épaisse lui permettant de pénétrer profondément et de façon permanente dans le bois, son pouvoir pesticide et son faible coût à l'achat en ont fait un produit de préservation du bois largement employé.

La Commission européenne a cependant présenté en octobre 2001, une directive (2001/90/EC) visant à interdire l'utilisation de la créosote dans le traitement du bois. Pour la France, la transcription de cette directive est effective depuis l'arrêté du 26 mai 2003 (publié au Journal Officiel le 1 juillet 2003, n°11052). Il est toutefois possible de continuer à utiliser la créosote pour d'autres applications industrielles, où le consommateur n'est pas directement en contact avec le produit, par exemple, les traverses de chemin de fer et les poteaux électriques, mais sa composition fera l'objet de restrictions plus sévères.

#### **7.4. L'industrie pétrolière**

Les HAP sont également présents dans les produits lourds issus de l'industrie pétrolière. Des accidents liés au transport de ces produits peuvent être à l'origine de l'émission des HAP dans l'environnement (par exemple au cours d'une "marée noire").

#### **7.5. Concentrations ubiquitaires**

Les teneurs liées à des sources naturelles telles que les incendies de forêt ou la synthèse par la végétation sont de l'ordre de 0,1 à 1 mg/kg de sol pour la somme des 16 HAP. Les sols de forêt, généralement riches en matière organique, présentent des teneurs plus élevées, de l'ordre de 10 mg/kg [53,50, 28] a constaté des teneurs en HAP de 2 à 6 fois supérieures dans les sols de terrain arborés par rapport à celles dans des sites nus ; il attribue cette différence à la synthèse et à l'accumulation de pollution atmosphérique par la végétation.

Les fiches de données toxicologiques et environnementales de l'INERIS (sources : HSDB, ATSDR...) présentent les concentrations ubiquitaires dans les différents milieux pour certains HAP.

### **8. Matériels et méthodes**

La multiplicité des sources fait que les HAP sont présents dans l'eau et dans les sols. Leur concentration est généralement très faible et varie fortement dans le temps et dans l'espace. La mise en évidence d'une contamination de l'environnement par les HAP nécessite souvent la mise en œuvre de techniques analytiques performantes et pointues, en raison de leur faible solubilité dans l'eau.

L'appareille utilisé pour le mesure des concentrations des HAP dans l'eau et le sol c'est l'analyseur d'hydrocarbures OCMA 310 (HORIBA). L'extraction des huiles est faite par le solvant S-316(*Annexe 4*). Les échantillons d'eaux et des sols ont été prélevés selon les techniques de Rodier et les normes AFNOR.



**Fig.5.2** : Analyseur d'hydrocarbure OCMA 310 (HORIBA)

Le dosage des hydrocarbures dans la région d'étude est basé sur 16 points de prélèvements pour les eaux sur deux périodes (Septembre 2015 et Janvier 2016) et 03 points pour les sols (Fig. 5.2 et 5.3).



**Fig.5.3** : Quelques photos des sites de prélèvements :

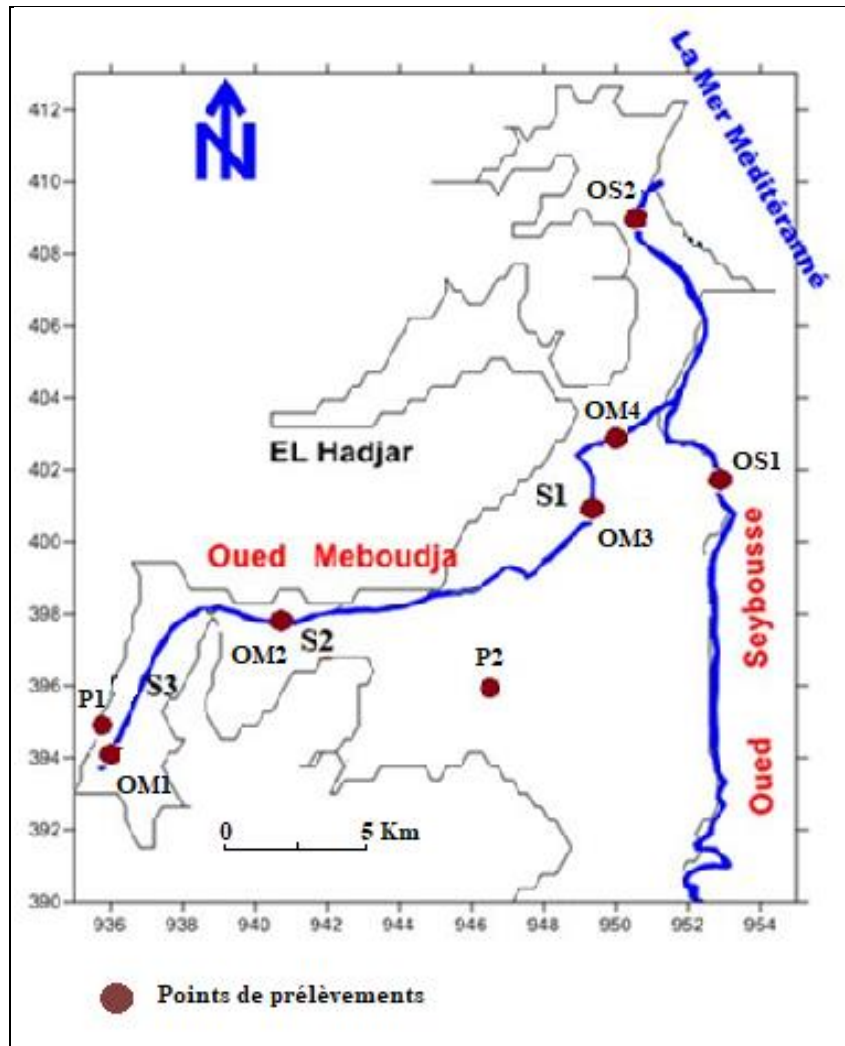


Fig.5.4 : Carte d'inventaire des points de prélèvements des hydrocarbures dans la plaine d'El-Hadjar

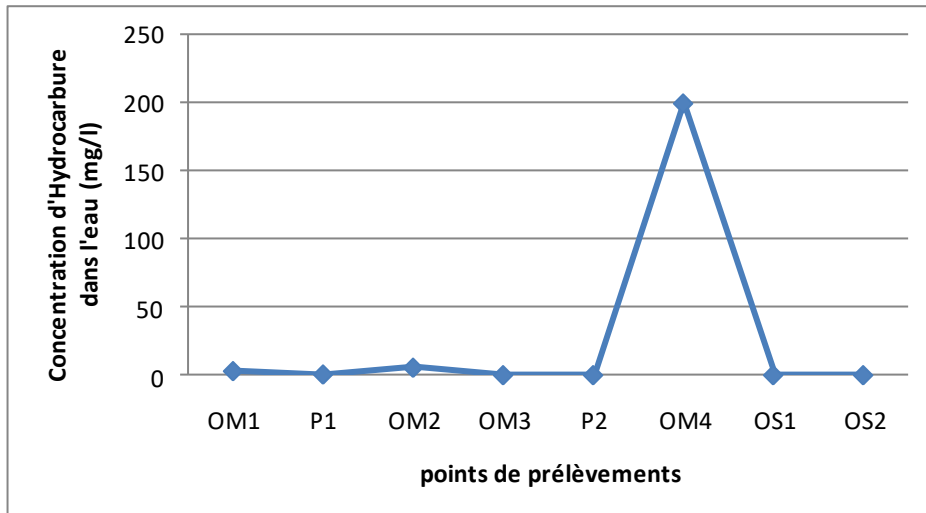
## 9. Résultats et discussions

### 9.1. Interprétation

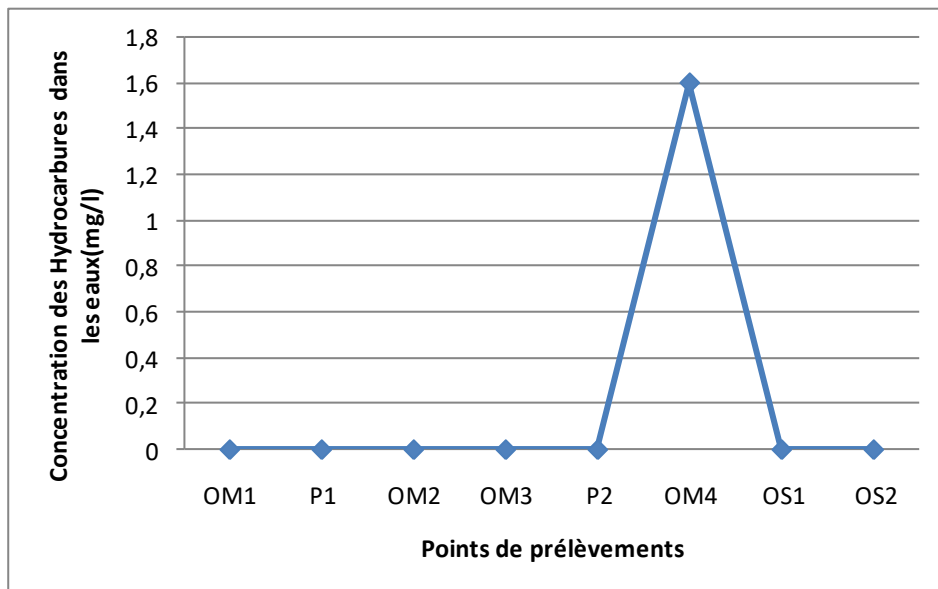
Comme le sens d'écoulement dans les Oueds prend un trajet saigneux de l'amont (Oued Méboudja) vers l'aval (Oued Seybousse). Les Figures 5.5 et 5.6 indiquent la variation des concentrations des HAP dans l'espace et dans le temps, les effets négatifs des rejets sur la qualité des Oueds avec l'autoépuration de ces derniers.

Les résultats montrent une importante charge polluante par les Hydrocarbures dans la zone industrielle de Pont Bouchet avec une concentration qui dépasse les 200 mg/l dans les eaux de l'oued Meboudja (Fig. 5.5) pendant la période de septembre 2015 (bases eaux) et qui diminue pour Janvier 2016 (Fig. 5.6) à cause de la dilution et à la migration des huiles avec le grand débit dans cette période, indiquant une pollution ponctuelle dû aux rejets industriels et aux stations de lavage.



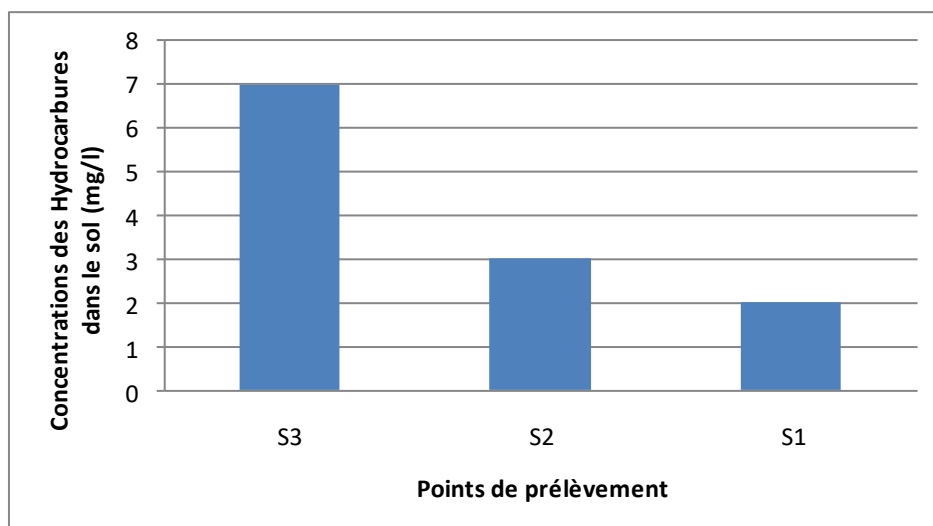


**Fig.5.5** : Variation des concentrations des hydrocarbures dans les eaux de la région d'étude (Septembre 2015)



**Fig.5.6** : Variation des concentrations des hydrocarbures dans les eaux de la région d'étude (Janvier 2016)

Pour la contamination des sols par les Hydrocarbures (Fig.5.7) elle existe avec des concentrations élevées surtout au niveau du point S3 (7 mg/l).



**Fig.5.7** : Variation des concentrations des hydrocarbures dans les sols de la région d'étude (Septembre 2015)

Les concentrations des Hydrocarbures dans les eaux et les sols dépassent la norme qui est de  $0.2\mu\text{g/l}$  pour les stations de mesures situées à proximité des zones industrielles.

## 10. Conclusion

La prévention de la pollution consiste en toute action en la réduisant, l'éliminant ou prévenant la pollution à sa source. De l'huile usagée répandue peut provoquer de fortes concentrations de HAP dans les zones humides, rivières, baies, océans, eaux souterraines et sédiments. Le fait de déverser de l'huile usagée dans les cours d'eau peut avoir un effet négatif sur les poissons et les micro-invertébrés benthiques, voire provoquer la mort de nombreux poissons et d'autres catégories de faune.

En cas de déversement d'huile dans l'eau, les êtres humains et les animaux peuvent être exposés par contact direct, ingestion, inhalation ou absorption. Au fur et à mesure que les éléments désintègrent l'huile, sa composition subit des modifications physiques et chimiques, différents processus pouvant intervenir simultanément.

L'huile usagée peut se répandre à la surface de l'eau par advection : sous l'influence des vents et des courants, elle ne se répand pas uniformément, augmentant ainsi la surface contaminée et le risque d'exposition des êtres humains et des écosystèmes. En outre, certains composants légers ou moyennement lourds peuvent s'évaporer dans l'air, ce qui modifie la composition de l'huile. Une dissolution est également possible, dans la mesure où certains des composants les plus légers se dissolvent dans la colonne d'eau. Une dispersion naturelle, une émulsification, une

photo-oxydation, une sédimentation, un échouement sur les côtes et une biodégradation sont aussi envisageables, modifiant encore davantage les propriétés chimiques et physiques des huiles.

Lorsque de l'huile est déversée sur le sol, elle détériore et pollue le sous-sol, pour finir dans les eaux souterraines et les aquifères situés plus en profondeur. Le déversement d'huiles usagées sur le sol peut largement compromettre l'exploitation future des sols, notamment à des fins d'urbanisation, de production agricole ou d'activités de loisir. Les sols pollués peuvent s'avérer impropres à ses activités si des mesures de dépollution coûteuses ne sont pas mises en œuvre. Les huiles usagées se diffusent doucement jusqu'à atteindre les eaux souterraines et les aquifères, et donc remonter dans les puits et les forages. Si l'eau polluée est utilisée pour l'alimentation en eau ou l'irrigation, ceci peut alors entraîner un risque élevé pour les êtres humains, les écosystèmes et les systèmes agricoles, introduisant des polluants dans la chaîne alimentaire et l'eau courante.

Des objectifs environnementaux clairs doivent être établis par l'État. Il est recommandé que ces objectifs environnementaux comprennent les aspects suivants :

- Établir un diagnostic sur les Huiles Industrielles Usagées (HIU) en Algérie.
- Comment se comporte l'environnement industriel national avec ses huiles usagées ?
  - Rechercher et établir des comparaisons avec les normes internationales dans le domaine des HIU
    - Mettre au point un Plan National de recyclage et régénération des HIU
    - Proposer les procédés de recyclage et de régénération des HIU pouvant être mis en œuvre en Algérie
  - Mettre à la disposition des concepteurs de programmes en éducation environnementale des statistiques algériennes sur la pollution par les HIU

## ***CONCLUSION GENERALE***

La plaine d'El-Hadjar traversée par deux principaux oueds, l'Oued Seybouse et l'Oued Méboudja, et leurs affluents. Elle se caractérise par une agriculture traditionnelle et moderne, les cultures maraichères, les céréales et l'arboriculture par contre l'industrie est concentrée autour des agglomérations principales dont El-Hadjar (Arcelor Mittal Algérie) et Asmidal.

La population se concentre le plus souvent autour des zones industrielles, terres agricoles et des points d'eau.

La ville d'Annaba est alimentée par la combinaison de ressources superficielles (barrage, retenus collinaires) et les eaux souterraines.

L'accroissement démographique et du développement de l'industrie et de l'agriculture, ont produit une forte pollution du milieu et des eaux (surfaces et souterraines) ce qui a engendré une dégradation de l'environnement dans cette région.

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell Algérien Nord Oriental.

La géologie de la région est caractérisée par des formations allant du primaire jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : des alluvions (sables, gravier, cailloutis...), des argiles, des grès, des calcaires et des flyschs.

Les études géologiques réalisées dans la région montrent l'existence de deux types de terrains, à savoir le complexe métamorphique de l'Edough et les formations sédimentaires d'âge Secondaire.

Le massif cristallophyllien, l'Edough, constitue la terminaison Est de la ligne des crêtes du massif kabyle. Il forme aujourd'hui un dôme anticlinal sous l'aspect d'une amygdale elliptique dont l'axe orienté SW-NE se prolonge au-dessus de la plaine.

Cet ensemble montagneux de structure complexe (faillé et plissé) affecté par toutes les phases tectoniques depuis le Paléozoïque, il apparaît comme tout à fait indépendant du reste de la région d'Annaba dont l'orogénèse se lie à la terminaison orientale de la chaîne Numidique.

Les roches éruptives intrusives mises en place au Mio-pliocène ne sont représentées que par trois petits affleurements au sein du périmètre d'étude (un affleurement de pyroxénite et deux affleurements de Magnétite).

L'étude hydrogéologique confirme l'extension et la superposition de la nappe superficielle et profonde qui sont séparées par un niveau semi-perméable. Celui-ci disparaît au sud de la plaine laissant se confondre les deux nappes.

La nappe superficielle (libre) ; formé de sable fin et gravier d'une épaisseur de l'ordre de 10 m, sa transmissivité est très faible ( $10^{-6}$  à  $10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s), sa perméabilité moyenne est comprise entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s et le coefficient d'emménagement est de l'ordre de 2%.

La nappe profonde, semi-captive qui devient captive à l'Ouest de la zone d'étude localisée à une profondeur varie de 12 à 80 m ; sa transmissivité comprise entre  $5.10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.

L'infiltration représente la principale source d'alimentation de ces aquifères.

Une description et une analyse de divers facteurs climatologiques de la région d'étude concernant une période de 34 ans (1980 – 2014) pour les deux stations (Les Salines et Pont Bouchet) indiquant des précipitations moyennes dans la région d'étude 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.

Les études pédologiques qui ont été effectuées sur les sols de la région de la plaine d'El Hadjar, nous ont permis de ressortir six classes de sols, à savoir : les sols peu évolués, les vertisols, les sols hydromorphes, les sols halomorphes, les sols calci-magnésiques et les sols minéraux bruts. L'interprétation des données analytiques par les différentes méthodes montre que les sols de de la plaine d'El Hadjar sont caractérisés par un pH faiblement alcalin (7.92 à 8.54), et une teneur en matière organique très variable (0.97 à 3.01 %). L'analyse granulométrique montre la dominance de la fraction limono-sableuse dans la majorité des échantillons avec des valeurs moyennes de 62,34 %, cet excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une structure massive, accompagnée de mauvaises propriétés physiques de sols.

La majorité des sols sont classés parmi les sols alcalins (ESP > 15 %, CE < 4 mS/cm), avec une conductivité électrique très variable (0,167 à 1,705mS/cm), atteint son maximum dans la partie centrale de la plaine (S6) avec une valeur de 1,705mS/cm.

Ce travail nous a permis d'évaluer à la fois le degré de pollution des eaux superficielles et souterraines de la plaine d'El-Hadjar. Les résultats de caractérisation des points de prélèvements choisis confirment, pour la majorité des paramètres analysés, la pollution des eaux est évidente et la norme est souvent dépassée.

Les eaux de rejets représentent un danger majeur pour la qualité des eaux, compte tenu des fortes concentrations en polluants chimiques ainsi que le débit élevé des rejets.

Pour le chimisme des eaux de la région, le diagramme de Piper montre un faciès chloruré-sodique dans le cas de l'Oued Seybouse. Les teneurs en chlorure et sodium atteignant 951,4 mg/l et 242,92 mg/l respectivement. La variation simultanée de ces deux éléments confirme leur origine commune, qui peut être attribuée ; pour la nappe superficielle, à la dissolution des formations salifères riches en halite. Alors que, pour oued Méboudja, aux apports salifères du lac Fetzara par l'effet de l'évaporation (Zenati, 1999) ou à la remontée des eaux marines dans l'oued Seybouse et donc dans son affluent l'oued Méboudja (Strojexport, 1975).

Les éléments chimiques  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  ont une origine due au lessivage des formations métamorphiques (cipolins) et aux apports salifères du lac Fetzara (Khérici 1993, Débièche 2002).

L'étude de l'indice de saturation montre que pour les éléments évaporitiques, la halite est en sous saturation, par contre le gypse et l'anhydrite sont en sursaturation, ce qui provoque leur sédimentation.

Les eaux sont sur saturées en Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), Dolomie [ $\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$ ], et en Aragonite( $\text{CaCO}_3$ ) dans tous les points analysés, entraînant ainsi la précipitation des éléments carbonatés sous forme de Calcite, d'Aragonite, et surtout de Dolomie.

Les eaux sont sur saturées en éléments de fer, par contre ils sont sous saturées vis-à-vis des éléments de plomb et de zinc.

L'impact de la pollution liée aux rejets de toutes sortes sur les eaux souterraines est très marqué. En effet, les valeurs fortes enregistrées dans les eaux des puits proches de l'oued diminuent progressivement en s'éloignant des berges de la Meboudja.

Le calcul de l'indice de Kelly's Ratio montre des valeurs inférieures à 1 ce qui confère à ces eaux une bonne qualité vis-à-vis de son utilisation en irrigation.

Le calcul du pourcentage en sodium montre que les points d'eau sont rangés dans les classes 2,3,4 et 5 c.à.d. que leur qualité est bonne au point OS1, admissible au point OM1,OM4,OM5, et OS2, médiocre et mauvaise au point OM2 et OM3 .

Pour les deux diagrammes Richards et Wilcox la majorité des points sont des eaux convenant à l'irrigation des cultures tolérantes en sel, sur des sols bien drainés et l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

Les concentrations des Hydrocarbures dans les eaux et les sols dépassent la norme qui est de 0.2µg/l pour les stations de mesures situées à proximité des zones industrielles.

## Références

- [1] Accardi-Dey, A. and Gschwend, P. M. (2002). Assessing the combined roles of natural organic matter and black carbon as sorbents in sediments. *Environmental Science & Technology*, 36 (1), 21-29.
- [2] AFNOR, (1992). Dictionnaire de l'environnement – les termes normalisés, Association Française de Normalisation.
- [3] Agence des bassins hydrographiques (2002) : Les cahiers de l'agence 120 pages.
- [4] Ahmed S. et Marsily G. de. (1988). Some applications of multivariate kriging in groundwater. *Ann. des Sciences de la terre* n°28, Nancy, pp. 1-25.
- [5] Aoun Sebati B. (2003). Modélisation quantitative et qualitative pour une gestion intégrée des ressources en eau. Application à la plaine d'Annaba. Mémoire de Magister, Université d'Annaba (133 p).
- [6] Attoui B. (2010). Etat de la vulnérabilité à la pollution des eaux des grands réservoirs d'eau souterraines de la région d'Annaba-El-Tarf et identification des sites d'enfouissement de déchets. Mémoire de magister, Université d'Annaba, 1-64.
- [7] Attoui B. (2014). Etat de la vulnérabilité à la pollution des eaux des grands réservoirs d'eau souterraines de la région d'Annaba- El-Tarf et identification des sites d'enfouissement de déchets. Thèse de doctorat, Université d'Annaba. (134 p).
- [8] Beck, J. (1950). Le goudron de houille et ses dérivés. *Que sais-je ?*, 402.
- [9] Benhamza M. (1996). Etude hydrogéologique de la zone mercurielle de Fendek (Azzaba) : conséquence de l'exploitation des gisements mercuriels sur l'environnement. Mémoire de magister Annaba.
- [10] Benhamza M. (2007). Contribution de la géophysique à l'étude hydrogéologie de la zone mercurielle Nord Numidique (Azzaba), nord-est Algérie - Conséquences de l'exploitation des gisements de mercure sur l'environnement. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Badji Mokhtar d'Annaba, Algérie. 147p.
- [11] Bendjama A., Chouchane T., Boukari O., Morakchi K., Meradi H., (2010). Caractérisation d'une pollution organique et inorganique des eaux superficielles oued Meboudja situé au Nord Est de l'Algérie, Conférence Internationale sur le soudage, le CND et l'industrie des métaux, IC-WNDT-MI'10, Oran, 27-28.



- [12] Bougherira N. (2008). Impact des rejets industriels du complexe sidérurgique sur les eaux superficielles et souterraines dans la plaine de Méboudja. Mémoire de magister, Université d'Annaba (92 p).
- [13] Boutelli M.H. (2012). Salinité des eaux et des sols au niveau de la sebkha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement. Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 90p.
- [14] Chaoui W. (2007). Impact de la pollution organique et chimique des eaux de Oued Seybouse et Oued Mellah sur la nappe alluviale de Bouchegouf, Mémoire de Magister, option hydrogéologie, Université d'Annaba, 120 p.
- [15] Chefetz, B.; Deshmukh, A.; Hatcher, P. (2000). Pyrene sorption by natural organic matter. *Environmental Science and Technology*, 34 (14), 2925-2930.
- [16] Cheverry C. (1972). Exemple d'application des travaux de l'«US Salinity Laboratory » (1963-1968) sur l'alcalinisation de sols soumis à l'action d'eaux bicarbonatées. *Cahier ORSTOM, série Pédologique*, Vol. X, N°2, pp 193-203.
- [17] Colin, F. *et al.* (2000). Pollution localisée des sols et sous-sols par les hydrocarbures et par les solvants chlorés. Rapport de l'Académie des Sciences, 44 : 0-415.
- [18] 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.
- [19] Djabri L. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques industrielles, agricoles et urbaines. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, 261 p.
- [20] 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.
- [21] Djorfi S. *et al.* (2010). Impact de la décharge publique d'Annaba sur la qualité des eaux de la plaine de l'Oued Zied. *Communication Science et Technologie*, Ecole Nationale de l'Enseignement supérieur et Technique d'Oran, N°08 (01/2010), pp. 151-157.

- [22] Douaoui A., Gascuel-Odoux C & Walter C. (2004). Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). *Étude et Gestion des Sols* (4), Vol. 11, pp 379-392.
- [23] FAO. (2002). *Eau et agriculture: produire plus avec moins d'eau*, Rome, 44p.
- [24] FAO. (2005). *Utilisation des engrais par culture en Algérie*. Division de la mise en valeur des terres et des eaux. Rapport de Première édition, publié par la FAO, Rome. 44 pages.
- [25] Gaud B. (1976). *Etude hydrogéologique du système d'Annaba-Bouteldja*. Synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation. Rapport A.N.R.H. (inédit), Annaba, 2 vol. 230p. 10 planches.
- [26] Gobat J.M., Grosvernier Ph., Matthey y &Buttler A. (1991).Un triangle granulométrique pour les tourbes : analyse semi-automatique et représentation graphique. *Science du Sol*, Vol. 29, (1), pp 23-35.
- [27] Gouaidia L. (2008). *Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est algérien*. Thèse de Doctorat, Université d'Annaba, Algérie, 199p.
- [28] Haan de F. A. M.; Keizer, M. G.; Lexmond, Th. M.; Van der zee, S. (1992). *Studiemateriaal bij het onderwijselement J100-211 DB2 Bodemverontreiniging*.LUW, Wageningen.
- [29] Habes S. (2006). *Pollution saline d'un lac, cas du lac Fetzara, Est Algérien*. Mémoire de Magister, option : Hydrogéologie. Université d'Annaba, Algérie, 103 p.
- [30] Hamzaoui W. (2007). *Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain*. Cas de la plaine d'El-Hadjar. Mémoire de magistère, Université d'Annaba, 102 p.
- [31] Hani A., Mezghache L., Djabri L. (2000). *Identification des paramètres hydrauliques du système aquifère de Annaba-Bouteldja (Nord Est algérien) à l'aide de méthodes statistiques et géostatistiques*. 4 ème Sem. de Géol. Pétrolière, Boumerdès.
- [32] Hani A. (2003). *Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen*. Thèse de Doct. d'Etat Univ. Badji Mokhtar Annaba. 214 p.

- [33] Hazourli S., Boudiba L., Ziati M. (2007). Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-Hadjar, LARHYSS Journal, N° 6, 45-55.
- [34] Jean-Emmanuel DELPHIN, Christiane HUCK, Jean-Luc TIQUET. (1986). Evaluation du pouvoir mineralisateur de sols agricoles en fonction de leurs caracteristiques physico-chimiques. Agronomie, EDP Sciences, 6 (5), pp.453-458.
- [35] 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.
- [36] Krauss, M.; Wilcke, W.; Martius, C.; Bandeira, A.G.; Garcia, M.V.B., Amelung, W. (2005). Atmospheric versus biological sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a tropical rain forest environment. Environmental Pollution, 135, 143-154.
- [37] Kelly, M. G., B. A. Whitton. (1995). The trophic diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. Journal of Applied Phycology 7:433–444.
- [38] Khelfaoui F. Et Medjani F. (2005). Influence des rejets de SIDER sur les eaux superficielles et souterraines (Wilaya d'Annaba). Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba. 69 p.
- [39] 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.
- [40] Louhi A. (1996). Pollution des eaux et des sols. Cas de la région de Annaba, Etude des interférences et dosage de Al, Fe, Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Sn, V et Hg par spectrométrie d'émission Plasma-ARC (DCP-AES), absorption atomique (SAA) et spectrophotométrie UV/VIS. Th. Doct. Univ. Annaba, 167p.
- [41] Maas , S., R. Scheifler , M. Benslama, N. Crini , E. Lucot , Z. Brahmia , S. Benyacoub , and P. Giraudoux (2010). Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. Environmental Pollution Journal, Elsevier Science Ltd.
- [42] Mania J. (1978). Gestion des systèmes aquifères. Application au Nord de la France. Soc. Géol. Nord, Mém. XV, Lille, 228 p.

- [43] Mebarki A. (2005). Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état. Université de Constantine. 360p.
- [44] Mebirouk H. (2002). Espaces publics dans les grands ensembles: Rapport entre espaces conçus et espaces vécus; cas d'Annaba. Mémoire de magister, Université de Constantine 118 p.
- [45] Mebirouk H. (2007). Principaux acteurs de la pollution dans l'agglomération d'Annaba, effets et développements. Actes du 2ème colloque international sur l'eau et l'environnement : Sidi Fredj les 30 et 31 Janvier 2007.
- [46] Messadi D., Louhi A., Ali-Mokhnache S., Zenati N. (2001). Utilisation des spectroscopies d'absorption et d'émission atomique pour le contrôle de la pollution minérale des oueds Meboudja et Seybouse dans la zone industrielle d'Annaba (nord-est Algérien), *COST*, Vol. 6(1), 41-48.
- [47] Mezghache H. (1989). Cartographie automatique et interprétation géostatistique d'une campagne de prospection géochimique sur sol – Application à la zone mercurielle Nord Numidique (Algérie). Th. Doct. INPL, Nancy, France, 230p.
- [48] Mourdi W. (2011). Pollution urbaine, impact sur l'homme et l'environnement. Cas de l'agglomération d'Annaba et ses environs. Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 136p.
- [49] Mourdi W, Chaffai H, Kahal A, Chaab S. (2012). Impact de la pollution des réseaux et de l'atmosphère sur l'homme et l'environnement. Cas de l'agglomération d'Annaba et ses environs. Colloque International terre & Eau, Annaba – 20, 21 & 22 Novembre 2012, Algérie.
- [50] Nafâa K. (1985). Nappes superposées en région côtière, hydrodynamique et hydrochimie (aquifère de Annaba) Nord Est algérien. Th. Doct. Ing. USTL, Montpellier, 159p.
- [51] Neilson, A. H. (1998). The Handbook of Environmental Chemistry : PAH and related compounds chemistry. Springer, Berlin, 3. OCDE/OECD (2000). Guideline for the testing of chemicals – Adsorption/desorption using a batch equilibrium method, 106p.
- [52] Ouardi J. (2005). Dégradation des sols et de la nappe des périmètres irrigués du Tadla marocain par salinisation et sodisation. Thèse de Doctorat,

- option Géosciences de l'Environnement, Université Cadi Ayyad Marrakech, Maroc, 154p.
- [53] Oosterbaan-Eritzpokhoff, J. (2000). Utilisation des méthodes de l'analyse exploratoire de données environnementales pour l'établissement de descripteurs macroscopiques de la dynamique des termes-sources polluants dans la géosphère. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- [54] Robert M. (1996). « Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement ». (Masson, 1996, et Commission d'Orientation du PNSE11).
- [55] Rodier. J. (1996). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition Dunod, Paris, France, 1383 p.
- [56] Royer J. (1988). New approaches to the recognition of anomalies in exploration geochemistry in C.F. Chung et al. (eds), Quantitative Analyse of Mineral and Energy Resources, NATO ASI Ser., Reidel, Dordrech, 89-112.
- [57] Saidi D., Le Bissonnais Y., Duval O., Daoud Y & Tessier D. (2008). Estimation et signification de la capacité d'échange cationique des sols salés du Cheliff (Algérie). Etude et Gestion des Sols, Vol. 15, N° 4, pp 241- 253.
- [58] Salperwyck M. (1990). Structure et réponses hydrochimiques d'un système karstique de plateau (Bassin des Reculées de la Seille). Th. de Doc. Univ. de Franche-Comté, 227p.
- [59] Sonatrach. (1966). Esquisse structurale de la plaine de Annaba. Rapport A.N.R.H., inédit. Annaba, Algérie.
- [60] Strojexport. (1975). Prospection géophysique de la plaine de Annaba. Réinterprétation. Rapport A.N.R.H., inédit, Annaba, Algérie, 30 p.
- [61] Thornthwaite, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review 38, pp 55-94.
- [62] Toubal A.C. (1998). Approche géophysique des problèmes d'hydrodynamique et d'invasion marine en milieu souterrain. Exemple des plaines d'Annaba, de la Mitidja et de la baie d'Alger. Thèse doctorat d'état, USTHB, Alger, 226p.
- [63] U.S. Environmental Protection Agency. (1987). Health effects assessment for boron and compounds. Environmental Criteria and Assessment Office. 8 p.

- [64] U.S. Salinity Laboratory. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook, N° 60, Washington, 160 p.
- [65] Vila J.M. (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro – tunisiens. Thèse Docteur es sciences. Université de Pierre et Marie-Curie. Paris VI, pp.58-68.
- [66] Wafelman, C. ; C. Hua, et al. (1997). "La réhabilitation des sites d'anciennes usines à gaz." Association Technique de l'Industrie du Gaz en France: 0-47p.
- [67] Zahi F. (2008). La qualité des eaux et des sols de la région du lac Fetzara (Nord-Est d'Algérie). Mémoire de magister, Université d'Annaba, 118 p.
- [68] Zahi F., Djamaï R., Drouiche A. & Medjani F. (2011). Contribution to study of soilsalinity in the region of Fetzara Lake (Northeast of Algeria). Journal of Materials and Environmental Science. Vol. 2 (S1), pp 439-444.
- [69] Zahi F., Djamaï R., Chaab S., Djabri L., Drouiche A & Medjani F. (2012). Dynamique de la nappe et qualités physico-chimiques des eaux souterraines du lac Fetzara (Nord-Est algérien). Revue des Sciences et de la Technologie. Synthèse N°26, pp 86-95.
- [70] Zahi F. (2014). Contribution à l'étude hydrochimique du sous bassin versant du lac Fetzara (Nord-Est Algérien) approche géochimique et fonctionnement des sols et des eaux. Thèse de Doctorat es-sciences, 164 p.
- [71] Zenati N. (1999). Relation nappe – lac. Confirmation par l'hydrochimie. Cas de la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El Hadjar-Lac Fetzara. Nord-Est Algérien. Mémoire de magister, université d'Annaba, 152 p.
- [72] Zenati N et Messadi D. (2010). Utilisation de la géostatistique dans l'établissement de la carte de vulnérabilité intrinsèque d'une nappe superficielle à un polluant par infiltration verticale. Cas de la nappe superficielle de la plaine ouest d'El Hadjar. Annaba. Algérie. Communication Science & technologie N° 8, pp 105-110.
- [73] Zenati N. (2010). Pollution de l'environnement aquatique : diagnostic et proposition « Région de Annaba ». Thèse de Doctorat en géologie appliquée, Université d'Annaba, Algérie, 289p.
- [74] Zerrouki H. (2007). Diagnostic pour une éventuelle réhabilitation des eaux de la Seybouse –La basse plaine Annaba-, Université d'Annaba (87 p).

- [75] Zhou, YM. ; Liu, RX. ; Tang HX. (2004). Kinetics study of aqueous sorption of phenanthrene to humic acids and sediments. *Journal of Environmental Sciences*, 16 (3), 408-413.

# ANNEXES



## **Annexes**

**Annexe 1** : Etudes réalisées sur la vulnérabilité à la pollution dans la plaine d'El-Hadjar

**Annexe 2** :Aperçu sur la pollution par HAP en Algérie

**Annexe 3** : Les Méthode d'analyses

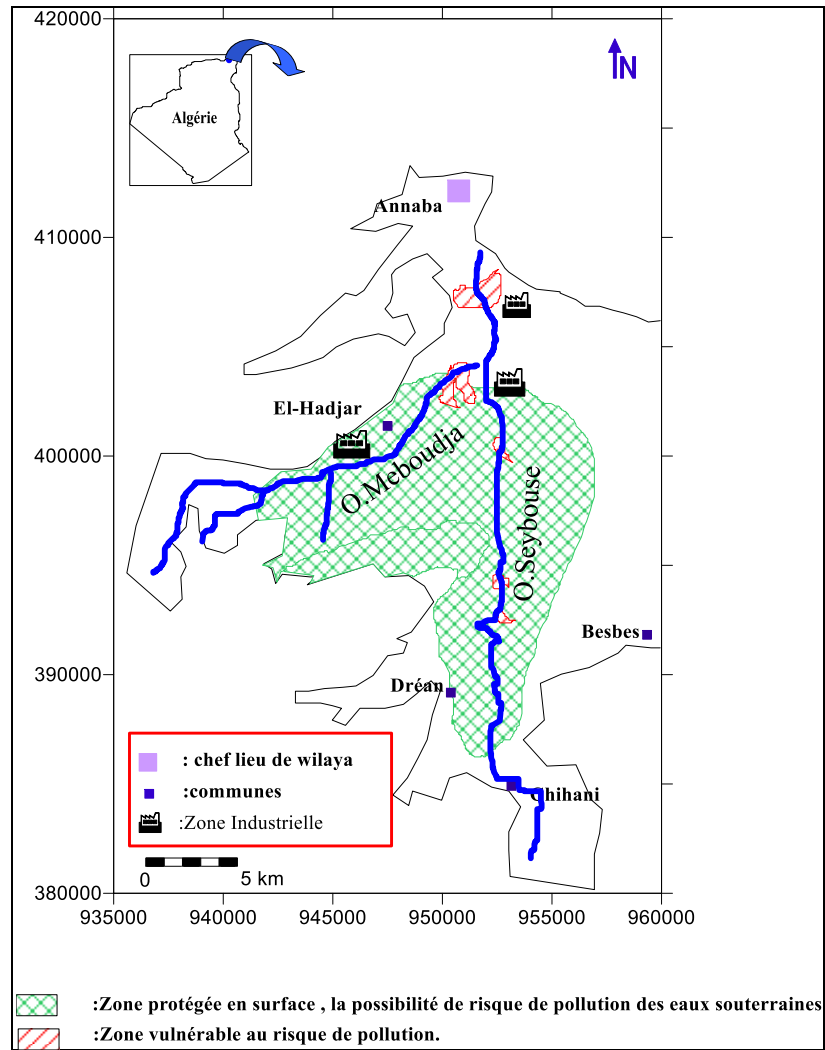
**Annexe 4** :Fiche technique : analyseur d'hydrocarbures OCMA-310

## **Etudes réalisées sur la vulnérabilité à la pollution dans la plaine d'El-Hadjar**

### **1. Méthode de détermination de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux (N.Kherici2008) (Attoui 2014)**

Le travail consiste à évaluer la vulnérabilité et le risque de pollution d'un certain nombre de points d'eau, représentantes la région d'Annaba (Fig.. 30). Les prélèvements ont été effectués sur les eaux de forages et de puits domestiques pendant une période de plus de 25 ans et complétés par des analyses actuelles. Le spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme a été utilisé pour l'analyse des métaux lourds, et le Spectrophotomètre d'absorption atomique (PU8620 philips) pour les nutriments ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ). Pour le dosage de la  $\text{DBO}_5$ (demande biochimique en oxygène), un DBO mètre a été utilisé.

Le traitement des analyses chimiques utilisé est basé sur une nouvelle méthode de détermination de la vulnérabilité et du risque de pollution des eaux (Kherici, 2010).Elle est représentée par un abaque appuyé sur des facteurs naturels (épaisseur de la zone non saturée, faciès géologique, degré d'autoépuration) et sur les causes de vulnérabilité des nappes à la pollution (facteurs anthropiques provoqués par l'homme).



**Fig. 1** : Carte de vulnérabilité et de risque de pollution de la nappe superficielle dans la région d’Annaba-Bouteldja (Attoui 2014).

Dans cette nappe il existe deux types d’états de vulnérabilité (Fig.. 30) et de risque à la pollution.

1-Le terrain vulnérable avec risque de pollution, occupe la zone colorée en rouge. La lithologie de ce terrain est essentiellement formée de couches sablo-argileuses avec un pouvoir auto épurateur du sol sur le trajet vertical **Md** inférieur à **1**, lié surtout au niveau piézométrique proche de la surface du sol (<1m). L’indice de contamination minérale (**ICM**) est très élevé de l’ordre de 6.

2- Le vert qui occupe presque toute la plaine d’El-Hadjar, indique un terrain protégé en surface avec la possibilité de risque de pollution des eaux souterraines. La lithologie est presque la même, où la valeur du pouvoir épurateur du sol sur le trajet vertical **Md** est supérieur à **1**. Par contre les valeurs de l’indice de contamination minérale (**ICM**) et organique (**ICO**) sont élevées.

## **2. Application de la méthode GALDIT à la zone d'étude (Ferroum 2015)**

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 :

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

- 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 :

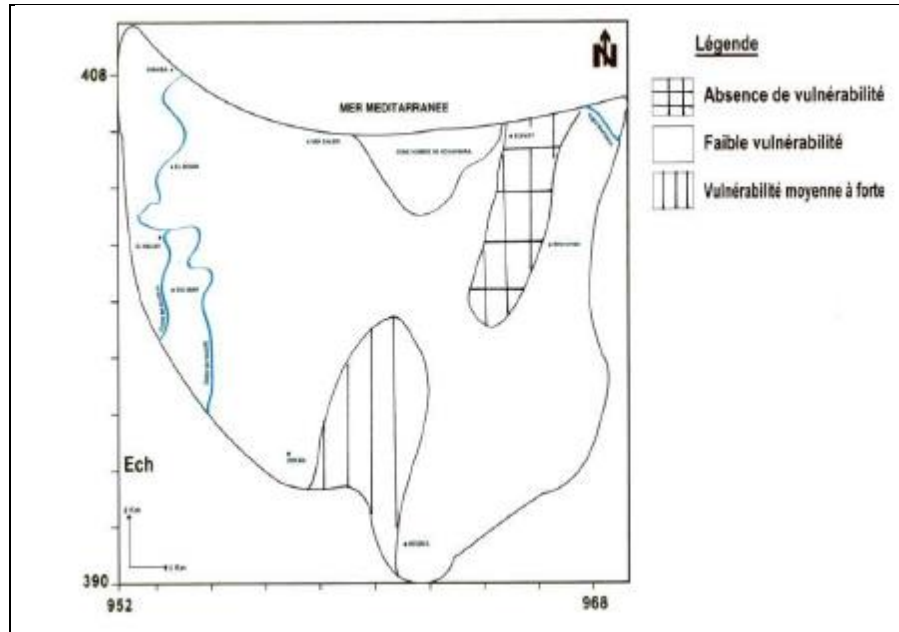
- $I < 30$  = Non vulnérable (absente),
- $I = 50$  à  $70$  : Vulnérabilité faible,
- $I = 70$  à  $90$  : Vulnérabilité moyenne
- $I > 90$  : vulnérabilité élevée.

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

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 la zone de 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 provoqué une surexploitation de la nappe expliquant ainsi la forte vulnérabilité observée.



**Fig.2** :Carte de vulnérabilité à la pollution (GALDIT) (Ferroum 2015).

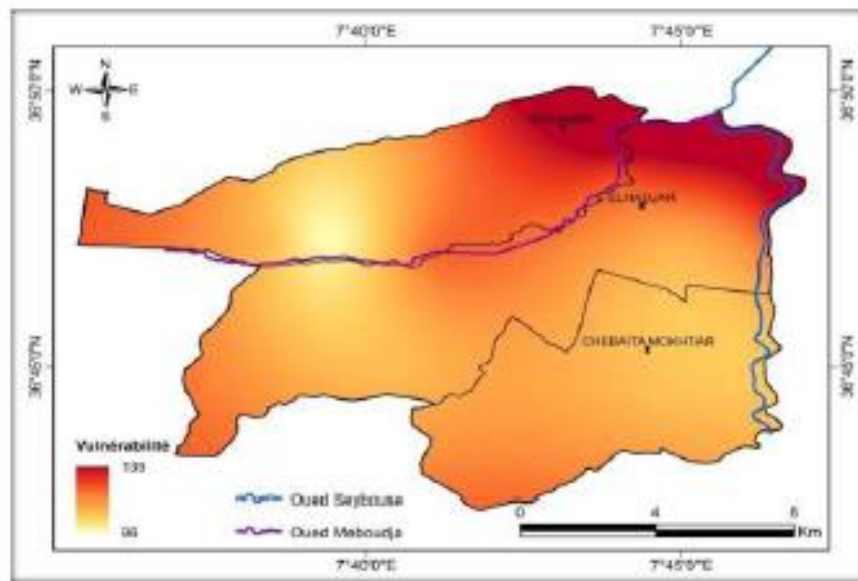
L'interprétation des cartes réalisées, montre que la zone est soumise à l'interférence de plusieurs facteurs de pollutions (industrielle, agricole, urbaine et intrusion marine), ce qui dégrade considérablement la qualité de la ressource en eau. Nous allons élaborer une méthode qui prendra en considération la protection des nappes souterraines, d'où la nécessité de protéger les aquifères contre les différentes pollutions.

### **3. Degrés de vulnérabilité de la nappe d'Annaba selon DRASTIC (Sassane 2017):**

A partir de la carte de vulnérabilité de l'aquifère étudié (fig.31), on remarque qu'il est caractérisé par l'étendue spatiale des terrains à vulnérabilité faible par rapport aux terrains à vulnérabilité moyenne. Le faible degré de vulnérabilité peut s'expliquer par le fait que la profondeur favorise les conditions au contaminant à prendre beaucoup de temps avant d'atteindre la nappe. Les sols limoneux et sablo argileux, favorisent certains processus

physico-chimiques, tel que l’absorption. Donc plus le sol est riche en argile plus l’absorption des polluants est importante et par conséquent les eaux souterraines sont bien protégées. La zone vadose qui contient des argiles et des sables retarde la percolation du polluant vers la surface piézométrique, alors cette classe, représente presque la totalité de la zone étudiée avec un indice compris entre 96 et 119.

D’autre part la carte de la vulnérabilité à la pollution montre que, la classe de moyenne vulnérabilité représente le secteur Nord-est de la zone étudiée avec un indice de vulnérabilité compris entre 119 et 139. Ce degré de vulnérabilité peut s’expliquer par les formations de la zone vadose avec des sables argileux et aussi des sables graveleux permettant au contaminant de mieux se solubiliser et atteindre la nappe, sachant que cette nappe est moyennement profonde (1m à 4.5 m) avec de faible pente qui favorise la propagation du polluant vers la nappe .



**Fig.3:** Carte de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région d’Annaba d’après la méthode DRATIC (Sassane 2017)

## **Annexe 2 : Aperçu sur la pollution par HAP en Algérie**

### **1. Aperçu sur la pollution par HAP en Algérie:**

Depuis longtemps, l'intérêt de l'homme est de satisfaire ses besoins sans cesse croissants, par rapport à une offre de plus en plus limitée. Bien qu'il ait réussi dans ces projets, il a oublié une chose, l'impact de ses actions sur l'environnement, car d'importants dégâts sont apparus sur la terre, la mer, l'air, sur les êtres vivants (animaux et plantes) et sur l'homme lui-même. Et il a fallu que la sonnette d'alarme retentisse par de nombreuses catastrophes écologiques telles que les déversements des hydrocarbures en mer causés par les naufrages des navires, comme le Torrey Canyon aux côtes anglaises en 1967 (120.000 tonnes de brut déversées), l'Amoco Cadiz dans le nord du Finistère en 1978 (220.000 tonnes), l'Exxon Valdez au large de l'Alaska en 1989 avec un déversement de 400.000 tonnes, l'Erika au large de la Bretagne en 1990 avec 20.000 tonnes, et le Prestige au large des côtes espagnoles en 2002 avec 77.000 tonnes déversées. Ainsi que dernièrement, l'accident de la plateforme de la société BP Deep water Horizon au golfe du Mexique le 20 avril 2010, cette catastrophe a causé la mort de 11 personnes, et la formation d'une gigantesque marée noire. Voilà comment l'activité industrielle détruit le monde dans lequel l'homme puise ses ressources. Toutes ces catastrophes ont fait émerger une prise de conscience des problèmes environnementaux aux échelles locales et régionales avec notamment la pollution de l'air urbain et de l'environnement industriel, jusqu'à une échelle mondiale par l'augmentation des teneurs de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique [MAHDJOUR Farah, Les instruments financiers de protection de l'environnement contre les pollutions en Algérie : Cas de la pollution marine par les hydrocarbures, Thèse, Univ. Oran, 2012, 204p].

Atmospheric pollution is one of the most important problems in urban environments. Countries with low or medium socio-economic levels are now facing a deterioration of air quality due to the disorderly multiplication of human activities, aggravated by the population explosion and the impact of technologies not always mastered. In these countries, health data highlight the emergence of chronic cardiorespiratory pathologies recognized under the influence of environmental risk factors. In Algeria, it is estimated that every year 10 to 12 million inhabitants consult for acute episodes of respiratory diseases. It can be assumed that the number of these episodes is directly related to exposure to air pollution. This leads to a higher over-all

rate of collective exposure to all of the resident population in the region. The Wilaya of Annaba suffers from air pollution due to the industrial activities occurring in the province including, electricity generation, fossil fuel combustion, waste incineration, chemistry and other small additional industrial operations. However, mining, steel industry and metallurgy are considered among the most polluting activities. The number of residents in the Annaba region is about 600.000 inhabitants. In this regard, it is necessary to monitor air quality in Annaba in order to assess the actual degree of urban and industrial pollution and implement a policy of protection of citizens' health. Every day are emitted in the atmosphere of industrial cities various types of pollutants such as CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, and Particulate matter. As a result, all these components can cause immediate health problems due to the increased anthropogenic impact. Particular attention should be given to identify the people's exposure to pollution risks, especially in the workplace and in their place of residence [Mykola KHARYTONOV, Aissa BENSELHOUB, Iryna KLIMKINA, Ahcène BOUHEDJA, Abdelaziz IDRES, Adel AISSI, Air pollution mapping in the wilaya of Annaba (NE of Algeria), Mining Science, vol. 23, 2016, 183–189].

Les hydrocarbures sont parmi les substances polluantes les plus répandues et les plus dangereuses pour l'environnement, notamment pour les eaux de surface. De nombreuses recherches ont porté sur ce type de polluants et la contamination des sols et des sédiments par les hydrocarbures demeure toujours un problème majeur. À titre d'exemple, en 1996, la contamination par les hydrocarbures aux États-Unis se chiffrait déjà entre 10 000 et 15000 nouveaux cas par année. Au Canada, environ 60 % des sites pollués le sont par des produits pétroliers. Les hydrocarbures de source naturelle sont présents dans l'environnement sous forme de traces tandis que ceux d'origine anthropique, comme de nombreux autres polluants, se présentent sous des concentrations élevées. Les recherches réalisées dans ce domaine se sont particulièrement intéressées à la distribution des contaminants dans les différents matériaux ainsi qu'aux mécanismes de migration des contaminants.

Les concentrations élevées d'hydrocarbures dans les sédiments de fond sont typiques des zones périphériques comme les baies, les estuaires et les embouchures des rivières. Les concentrations dépendent souvent d'événements associées aux déversements et aux conditions environnementales (conditions hydrologiques, sédimentologiques et climatiques par exemple). Il faut tenir compte de plusieurs facteurs pour caractériser la contamination des eaux douces par les hydrocarbures. À



titre d'exemple, les plans d'eau et rivières continentales subissent un impact anthropique bien plus important que les eaux océaniques. De plus la diversité des polluants dont les hydrocarbures est bien plus grande. Lorsque le processus d'absorption des hydrocarbures par les sédiments survient, le polluant subit des transformations chimiques avec une augmentation de la part des goudrons et asphaltes, résistants à la dégradation, et des HAP, reconnus pour leur haute toxicité et leurs propriétés cancérigènes. De plus, la production biologique qui varie grandement selon le statut trophique du milieu influence l'interprétation de l'état des hydrocarbures dans les sédiments. Finalement, le rôle spécifique des cours d'eau ainsi que la profondeur sont importants puisqu'ils influencent la quantité d'hydrocarbures qui va se déposer ainsi que les transformations subies dans la colonne d'eau. Les dépôts d'hydrocarbures sont nuisibles pour l'environnement puis qu'ils sont souvent très toxiques pour les organismes vivants. Des études écologiques et toxicologiques mettent en évidence des changements fonctionnels dans les communautés benthiques lorsque la contamination dans les sédiments est aussi faible que 0,1-1,0 mg/g (matière sèche). Un taux supérieur à ces quantités cause la mortalité dans les communautés touchées.

Plusieurs facteurs peuvent contribuer à l'absorption des contaminants dans le sol, à commencer par la présence de matière organique. Cette dernière favorise une plus grande rétention d'eau dans les sédiments et contribue de la même façon à la rétention des hydrocarbures et des métaux lourds. La charge électropositive des colloïdes organiques contribue aussi à une plus forte rétention des contaminants dans le sol, dont les métaux lourds. On sait aussi que la concentration des contaminants décroît habituellement des textures fines aux textures grossières (limon argileux, limon, sable loameux, sable fin, etc.) et en fonction de la profondeur. Les concentrations de contaminants retrouvés varient aussi dans le temps. Plusieurs phénomènes peuvent affecter les concentrations à commencer par le lessivage des sédiments lors des nombreuses fluctuations de la nappe phréatique et des niveaux d'eau de la rivière. L'accroissement de l'interface hydrocarbure-eau permet aussi de diminuer les concentrations des polluants puisque l'oxydation biologique se retrouve ainsi intensifiée et que les microorganismes présents peuvent utiliser les hydrocarbures comme. Le nombre de microorganismes pouvant utiliser les hydrocarbures en tant que nutriments comprend plus de 200 espèces différentes. En somme, lors d'une simulation du transport des hydrocarbures en milieu fluvial,

plusieurs paramètres doivent être considérés, tels que l'advection, la diffusion, la dispersion, l'absorption, les différentes réactions chimiques et biologiques ainsi que les échanges d'ions du type d'hydrocarbures déversés ce qui implique l'utilisation de modèles très complexes [MARLIES HAHNI, caractérisation de la contamination des berges des rivières Saint-François et Massawippi par des hydrocarbures pétroliers et métaux lourds (sud du QUÉBEC, CANADA), Thèse, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, 69 p, 2009].

Le déversement des hydrocarbures provoque l'engluement physique avec impact sur les fonctions physiologiques, aussi la toxicité chimique avec effets létaux ou sublétaux ou détérioration des fonctions cellulaires, les altérations écologiques, principalement la perte d'organismes clés d'une communauté et la prolifération d'espèces opportunistes au sein des habitats affectés. Les effets typiques sur les organismes marins varient de la toxicité, particulièrement pour les hydrocarbures et les produits pétroliers légers à l'engluement pour les fiouls intermédiaires IFO et lourds HFO et résidus vieillis (Fig. A2-1) [Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement, ITOPF, Guide d'informations techniques, N 13]



**Fig. A2-1** : Effets des hydrocarbures sur les organismes marins [Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement, ITOPF, Guide d'informations techniques, N 13] .

Les caractéristiques de l'hydrocarbure déversé jouent un rôle important dans la détermination de l'étendue du dommage. Un déversement d'une grande quantité persistant, tel que du fioul lourd (HFO), peut causer des dommages considérables dans les zones intertidales des littoraux, par engluement. Des effets toxiques sont moins probables dans le cas d'un HFO ou d'un hydrocarbure très visqueux peu soluble dans l'eau en raison de la faible disponibilité biologique de leurs composants chimiques. Les

hydrocarbures incorporés dans les revêtements d'asphalte (mélange aggloméré d'hydrocarbure très vieilli et de galets) sont eux aussi moins biodisponibles, indépendamment de la durée de leur présence sur le littoral. Des dommages indirects sont toutefois possibles en raison de l'altération des habitats.

Les composants chimiques du kérosène ou d'autres hydrocarbures légers, plus biodisponibles, sont quant à eux plus susceptibles d'entraîner des dommages par toxicité. Cependant, grâce à la dissipation rapide par évaporation et dispersion, les hydrocarbures légers peuvent être moins nuisibles dans l'ensemble, à condition que les ressources sensibles soient suffisamment éloignées du site du déversement. En revanche, des effets plus graves et plus durables peuvent être observés dans les situations où la dilution est ralentie, par exemple lorsque le polluant est piégé dans des sédiments vaseux ou des confinées, notamment les lagons peu profonds avec faible échange d'eau. A des niveaux d'exposition inférieurs aux niveaux mortels, la présence de composants toxiques peut donner lieu à des effets sublétaux, tels que des troubles de l'alimentation ou de la reproduction [Effets de la pollution par les hydrocarbures sur l'environnement, ITOPF, Guide d'informations techniques, N 13].

Les propriétés physiques des pétroles et produits pétroliers sont décrits avec les paramètres suivants : densité, viscosité, tension de vapeur, point éclair et point d'écoulement. « La densité d'un pétrole dépend de celle de ses constituants » et « se situe en général entre 780 g/l et 1 000 g/l ». C'est la densité du pétrole par rapport à celle de l'eau (1000 g/l) qui détermine son coulage ou sa flottaison. « La viscosité détermine la résistance du produit à l'étalement et donc son taux de dispersion dans l'environnement marin ». Son unité de mesure est le centistoke. « La tension de vapeur contrôle le taux d'évaporation et la concentration dans l'air des hydrocarbures ». « Le point d'écoulement est la température en dessous de laquelle le pétrole cesse de s'étaler lorsqu'il est sujet à un faible mouvement » et « le point éclair donne un indice de volatilité du pétrole ». Tous ces paramètres varient suivant les hydrocarbures considérés et évoluent considérablement dès leur introduction à l'océan. Les pétroles bruts comprennent quatre grands groupes d'hydrocarbures : les alcanes ou paraffines (méthanes, etc.), les cycloalcanes (naphtènes, etc.), les composés aromatiques et les asphaltènes. Les proportions varient considérablement suivant les bruts considérés. Les produits raffinés sont obtenus par la distillation des pétroles bruts et grossièrement, plus le point d'ébullition est élevé et plus la coupe obtenue est lourde, dense, visqueuse et persistante (Tableau 1) [Eric Le Gentil. Pollution

par les hydrocarbures en Manche et golfe de Gascogne. Risques et prévention entre 1960 et 2004. Géographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2009. Français. <tel-00435266>, 2009, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00435266>].

**Tableau A2.1** : Quelques propriétés physico-chimiques des pétroles et produits pétroliers

	Très légers	Légers	Intermédiaires	Lourds et très lourds
Densité ( <i>d</i> )	< 0,8	0,80-0,85	0,85-0,95	> 0,95
Viscosité moyenne (en <i>Cst</i> )	0,5-2,0	8	275	1 500 à solide
Évaporation	≥ 75 %	20 à 50 %		≤ 10 %
Volatilité, dispersion	Forte	Variable		Très réduite ou nulle
Teneurs en HAP <sup>a</sup>	≈ 0,028 <sup>b</sup>	≈ 0,034 <sup>c</sup>	≈ 0,00012 <sup>d</sup> / ≈ 0,014 <sup>e</sup> / ≈ 0,024 <sup>f</sup>	
Effets (toxicité, engluement)	Forte toxicité (court terme)	Toxicité et engluement variables selon les pétroles et produits pétroliers		engluement principalement, toxicité réduite à court terme et parfois forte à long terme <sup>g</sup>
Persistance	Faible	Moyenne à forte		Très forte
Produits raffinés	Essence, kérosène, etc.	Gazole, etc.	Fioul domestique, diesel marin, etc.	Bunker C, asphaltes, etc.
Pétroles bruts	—	<i>Ekofisk, Brent</i>	<i>Forties, Arabian</i>	<i>Boscan</i>

<sup>a</sup>Coefficients multiplicateurs utilisés par le NAS/NRC (2003) pour évaluer les apports en HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) de divers types d'hydrocarbures d'après les volumes introduits en mer.

<sup>b</sup>Teneurs moyennes en HAP de "Jet fuel B".

<sup>c</sup>Teneurs moyennes en HAP de différents gazoles.

<sup>d</sup>Teneurs moyennes en HAP de plusieurs lubrifiants.

<sup>e</sup>Teneurs moyennes en HAP de 25 pétroles bruts légers et lourds.

<sup>f</sup>Teneurs moyennes en HAP de 11 produits lourds (Bunker C et IFO [Intermediate Fuel Oil] principalement).

<sup>g</sup>Si la concentration en HAP est forte durant longtemps par exemple.

La toxicité des hydrocarbures pétroliers est fonction de leur persistance, de leur biodisponibilité et de leur cinétique de pénétration dans l'organisme. Elle dépend aussi des capacités des organismes à les bioaccumuler et à les métaboliser ». La toxicité des pétroles et des produits pétroliers varie considérablement selon la présence et les proportions des différents composés. A l'échelle d'un produit, la toxicité est difficile à mesurer, même si celle des différents constituants est connue, en raison du manque d'information sur d'éventuels phénomènes d'antagonisme et de synergie entre substances. En terme de toxicité intrinsèque, il est généralement admis que les composés aromatiques sont les plus toxiques. La toxicité augmentant avec le poids moléculaire, ce sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP : composés de haut poids moléculaires) les plus dangereux en raison de leur faible solubilité et de leur capacité à s'accumuler dans les organismes vivants. Les composés monoaromatiques (benzène) et diaromatiques (naphtalène) sont intrinsèquement moins toxiques car de plus faible poids moléculaire. Paradoxalement, la phase de toxicité aiguë qui suit l'introduction d'importants volumes d'hydrocarbures en mer est plutôt associée aux aromatiques légers (benzène et naphtalène notamment) « car si leur toxicité intrinsèque est inférieure à celle des composés de hauts poids

moléculaires, ils sont en général plus abondants dans le pétrole épandu ». Leur dissolution est également plus rapide et, « pour que des concentrations toxiques soient atteintes dans l'eau, ils nécessitent un brassage moindre ». Enfin, si les composés à haut poids moléculaires (HAP notamment) contribuent moins à la phase de toxicité aiguë (car moins solubles, etc.), « ils sont susceptibles à long terme de provoquer des dommages non négligeables s'ils s'accumulent à des doses notables dans les tissus des organismes » (toxicité résiduelle)[Eric Le Gentil. Pollution par les hydrocarbures en Manche et golfe de Gascogne. Risques et prévention entre 1960 et 2004. Géographie. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2009. Français. <tel-00435266>, 2009, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00435266>].

Les contaminations de sols par des hydrocarbures sont courantes et il faut différencier deux cas, soit les hydrocarbures sont volatils ou facilement biodégradables et ils peuvent être traités en place (in-situ), soit ce sont des hydrocarbures lourds et une excavation est nécessaire. A noter que les excavations peuvent être dictées par des besoins de construction et /ou d'aménagement. Dans ce cas il est possible d'être amené à excaver des hydrocarbures volatils. La nature du sol est également un facteur déterminant dans le choix de la technique de réhabilitation. Il existe trois approches possibles: (1) les hydrocarbures volatils peuvent être traités par une simple aération du sol (venting), (2) les sols contenant des hydrocarbures lourds peuvent être excavés et soit traités sur site par voie biologique ([bioterte-biopile](#)), soit éliminé hors site, (3) et dans certains cas particuliers, des confinements physiques peuvent être envisagés[<http://www.soleo-services.fr>, Les pollutions des sols par hydrocarbures].

La contamination du sol affecte les propriétés physiques et chimiques et engendre un déséquilibre écologique et microbiologique. Ce type de contamination semble souvent négligeable ou passe inaperçue par rapport à celles qui peuvent se produire en mer à cause de leur aspect souvent spectaculaire et de la quantité répandue localement (accident du Tirrey Canon). Cependant, il est impossible par exemple d'ignorer, en France que sur 1 million de tonnes d'huile lubrifiante utilisées annuellement dans l'industrie automobile, seules 30 000 tonnes sont régénérées et 30 000 tonnes incinérées. Près de 900 000 tonnes font donc l'objet de rejets clandestins dans les cours d'eau ou d'épandages sauvages sur les sols [P. Degranges, T. Gugalski, M. Leleu, J. Greffard, Devenir des hydrocarbures dans les sols, Bureau de Recherches Géologiques et Minières BRGM, Contrat N 75-36, 77 SGN 114 MGA, 1977].

Le rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (OPECST) en France sur la pollution de la mer Méditerranée (France), rendu public en juin, pointe du doigt l'Algérie pour son utilisation de pesticides interdits et ses rejets d'hydrocarbures dans la Méditerranée. Dans son rapport intitulé "La pollution de la Méditerranée : état et perspectives à l'horizon 2030", le Sénat indique que l'Algérie continuerait de stocker des pesticides interdits par la Convention de Stockholm. Le sénateur signale dans le rapport que l'Algérie stockerait actuellement près de 190 tonnes de pesticides interdits par les conventions internationales, notamment des polluants organiques persistants (POP) comme le DDT. Ces pesticides se trouveraient dans des entrepôts situés à Alger, Sidi Bel Abbès, Mascara, Tipasa, AïnTémouchent, TiziOuzou et Mostaganem. Le sénateur explique que ces stocks ont été évalués en 2002 par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Il estime que la situation n'a probablement pas beaucoup évolué depuis 2002 [Rapport sur la pollution en Méditerranée : l'Algérie pointée du doigt, <http://www.lematindz.net>].

L'Algérie diversifie ses moyens de lutte contre la pollution marine. Notre pays s'attelle à mettre en œuvre son dispositif dénommé Telbahr qui a pour objectif de préparer et de suivre des opérations de lutte sur différents aspects, techniques, humains et matériels. Une grande flotte de la Méditerranée passe par le littoral algérien. Plus de 30% du trafic maritime mondial transite par la Méditerranée dont un tiers à proximité des côtes algériennes. Il est recensé, en effet, que 10 000 navires/an dont 1 300 navires-citernes touchent les ports algériens. La proximité des côtes algériennes de la principale route maritime de navires citernes en mer Méditerranée par laquelle transitent environ 3 000 navires/an et 150 millions de tonnes de pétrole constitue aussi un facteur favorisant. La Méditerranée est l'une des mers les plus exposées au risque de pollution par les hydrocarbures. Entre 5 000 à 150 000 tonnes d'hydrocarbures sont rejetées par an dans cette mer. À cela, il y a lieu d'ajouter la flotte de pêche de 3 500 unités en pleine expansion. Ce qui rend cette partie du territoire exposée à de graves accidents. Toutefois, ceux qui sont survenus sur les côtes algériennes restent minimes, à l'exemple de celui enregistré en février 2007 au large du terminal pétrolier de Skikda après le déversement accidentel de pétrole brut et un autre en 2010 au niveau du port de Chlef. Des statistiques officielles indiquent que 50% des accidents enregistrés dans le littoral algérien sont liés aux hydrocarbures. Les accidents engendrés par des fuites de produits pétroliers en mer représentent la moitié du volume des accidents enregistrés sur les côtes

algériennes, a révélé un responsable au cours d'un séminaire organisé à ce sujet en 2012. Le littoral algérien a connu environ 300 accidents au cours des vingt dernières années. L'on cite le naufrage du navire "Béchar" en 2006 au port d'Alger qui a causé des pertes humaines, rappelant qu'il y avait à son bord une cargaison de carburant estimé à 370 tonnes de fuel et 40 tonnes de gasoil. Des centaines de milliers de tonnes d'hydrocarbures, poursuit-il, sont déversées annuellement dans la Méditerranée qui supporte 30% environ du commerce maritime mondial et 22% du transport international de pétrole. Les opérations de dégazage et de déballastage de navires engendrent aussi une pollution souvent sous-estimée. Les opérations d'exploitation, comme le dégazage et le déballastage, contribuent à 15% à la dégradation de l'eau de la Méditerranée tandis que les accidents contribuent à 25%. Le plan Telbahr, faut-il le souligner, repose sur trois plans d'urgence répartis à l'échelle nationale, régionale et au sein des wilayas. Dans sa stratégie de lutte contre la pollution marine par les hydrocarbures, l'Algérie vise l'amélioration de la protection de l'environnement marin et une meilleure coordination des activités maritimes afin d'assurer un développement durable. Le renforcement de la coopération régionale est également souhaité par les pouvoirs publics. C'est dans ce cadre qu'une journée d'étude a été organisée jeudi par la société finlandaise SeaHow. Cette Sarl a conçu un système de récupération d'hydrocarbures en mer baltique. L'entreprise est venue présenter ses services et solutions intelligentes qui encouragent l'utilisation durable des eaux marines et continentales. Avec ses plusieurs dizaines d'années d'expériences, cette société développe des produits contre le déversement d'hydrocarbures et leur récupération. Il s'agit de DualBrusher qui est une unité de récupération. Le Comjibber, un bras de balayage, composé de tubes flexibles en PVC, fixés aux navires. D'autres produits tels que le Minibagger ou le Maxibagger sont des moyens à même d'améliorer la préparation à la récupération locale d'hydrocarbures [Pollution marine : piège en haute mer !, <https://www.liberte-algerie.com>].

Le constat établi en Algérie, a documenté qu'au cours des dernières décennies les zones côtières ont été le théâtre d'un développement accéléré et une pression démographique très importante. Environ 45 % de la population est concentrée sur une bande très étroite du littoral, en particulier dans les zones industrielles et portuaires, comme Alger, Oran, Annaba, Arzew, et de Skikda. La densité de la population au niveau des villes côtières est de 281 habitants au km<sup>2</sup> par rapport à la densité de la population nationale, qui est de 12,2 habitants au km<sup>2</sup>. Cette pression démographique qui augmente

d'une année à l'autre s'accompagne inévitablement de répercussions sur l'environnement, en général, et sur le milieu marin, en particulier, entraînant ainsi des problèmes de contamination des écosystèmes aquatiques impliquant de nombreux produits chimiques dont des éléments métalliques rejetés par les industries, l'agriculture et les communautés urbaines. Le long du littoral marin, les estuaires représentent des écosystèmes originaux. De salinité très variable, ces milieux sont très souvent fortement perturbés par les activités humaines, leur confinement les transformant en zones particulièrement sensibles. Les importants dépôts de sédiments d'origine tellurique ou marine qui s'opèrent à leur niveau entraînent, par des processus de précipitation et d'adsorption, une accumulation de matière organique et de nombreux polluants (métaux lourds, hydrocarbures, pesticides, polychlorobiphényles). Ces sédiments contaminés peuvent alors présenter un risque d'intoxication aiguë/chronique pour les nombreuses espèces qui peuplent ces milieux et entraîner des effets négatifs pour les espèces les plus sensibles. La frange côtière Algérienne subit directement l'influence d'une pression démographique sans cesse croissante, une concentration industrielle importante, un trafic maritime et des activités portuaires intenses. A tout cela s'ajoute l'apport des bassins versants des plus importants cours d'eau qui drainent vers la mer les eaux usées engendrées par les activités humaines terrestres. Le golfe d'Annaba reçoit des apports en eaux douces par le biais de deux oueds importants, dont oued Mafrag qui ramène des éléments très riches en composés organiques et minéraux, et oued Sybouse qui véhicule des rejets d'origine agricole, domestique et industrielle, de plus la zone reçoit d'autres rejets des effluents urbains et industriels de plusieurs usines installées sur la côte. L'Algérie, pays producteur de sources énergétiques fossiles (gaz et pétrole), est fortement soumise aux divers polluants hydrocarbonés. La ville de Skikda demeure l'un des exemples les plus illustratifs de la pollution par les hydrocarbures du pays. En effet, Skikda est dotée d'une plateforme industrielle vouée à la pétrochimie et qui constitue la principale source de pollution hydrocarbonée et de la pollution métallique [GUEMOUDAMessaouda, Impact de la pollution par les hydrocarbures sur *Perinereis cultrifera* (Annélides, Polychètes) dans le littoral Est-Algérien, Thèse, Univ. Annaba, 306p, 2015].

Le littoral comprend les plages sous forme d'une bande étroite, dont la largeur varie entre 20 et 200 mètres et d'une longueur de 10 Km. Il s'étend du nouveau port jusqu'à l'embouchure de l'Oued Righa du côté Est, alors que du côté Ouest sa longueur est de 3 Km entre le port mixte et le port de Stora et dont la largeur se situe



entre 20 et 50 mètres, alors qu'elle est de 1 Km entre les deux ports où se trouve l'embouchure de l'Oued Safsaf. Les origines des pollutions par les hydrocarbures sont diverses. La principale source de dissémination des toxiques résulte des activités anthropiques (pesticides, hydrocarbures pétroliers, sels de métaux et autres composés inorganiques, les effluents industriels et urbains). Le littoral de Skikda est l'un des exemples de la pollution par les hydrocarbures. La commune de Skikda est dotée de grandes installations de transfert des hydrocarbures qui sont la principale source de pollution hydrocarbonée. Le pôle pétrochimique comprend plusieurs unités polluantes comme le complexe de matière plastique (CMPK), le complexe de liquéfaction (GNL), la raffinerie (RAK). Les différentes unités évacuent leurs eaux usées parfois sans aucun traitement préalable vers les Oueds (Safsaf et son effluent Zeramna). Egalement, la ville possède uniquement de réseaux d'égouts unitaires où les eaux usées sont déversées soit dans les principaux oueds précités débouchant dans la baie soit en mer directement cas de la commune Ain Zouit. En matière de réglementation, l'Etat algérien a mis en place des objectifs de protection de l'environnement des effluents liquides industriels (décret exécutif n°93-160 du 10 Juillet 1993), des déversements des huiles et lubrifiants dans le milieu naturel en fixant des modalités et des utilisateurs de récupération d'huile de traitement (décret exécutif n°93-160 et 93-162 du 10 Juillet 1993). Un règlement concernant l'établissement d'un inventaire du degré de pollution des eaux de surface (décret exécutif n° 93-163 du 10 Juillet 1993) et (décret n°88-108 du 31 mai 1988) recommande à ses membres le respect de la concentration en hydrocarbures délai ne dépassant pas 15 ppm [Mezedjeri Lyamine, Djebar Abdallah Borhane, Evaluation Quantitative des Hydrocarbures Totaux de la Zone Côtière de Skikda (Nord Est, Algérie), European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X / 1450-202X Vol. 114 No 2, 2013, pp.284-294, <http://www.europeanjournalofscientificresearch.com>].

## Annexe 3 : Les méthodes d'analyses

### Méthodes d'analyse des eaux

#### 1. Mesures in situ

Quatre paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh, conductivité) sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multiparamètres (WTW Multiline P3 PH/LF-SET, CellOx 325).

#### 2. Analyse des éléments chimiques

Une caractérisation complète des éléments chimiques a été effectuée dans le cadre de cette étude : les éléments majeurs ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ), les formes de l'azote ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ), les éléments mineurs en trace ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), les éléments métalliques en trace ( $\text{Mn}^{2+}$ , Cr (total),  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , Hg), DCO,  $\text{DBO}_5$  et enfin les hydrocarbures totaux. Environ 240 échantillons ont été analysés au total : la nappe superficielle (204 échantillons), et les différents rejets industriels (36 échantillons). Les méthodes d'analyses qui ont été utilisées, sont comme suit :

- dosage des éléments :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  par titrimétrie (AFNOR, 1995);
- dosage des éléments :  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  par colorimétrie (Spectronic 20 D) ;
- dosage par spectrométrie d'absorption atomique (Unicam 929 AA) des éléments :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , Cr (total),  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  et Hg ;
- dosage de la DCO par titrimétrie et mesure par l'appareil Tract 42mm RIN 29/32 ;
- dosage de la  $\text{DBO}_5$  par titrimétrie et mesure par un DBO-mètre à système intelligent (WTW DIN38 409) ;
- dosage des MES par gravimétrie et filtration à travers un standard GF/F et un filtre en fibre de verre (NF EN 872) ;
- dosage des hydrocarbures totaux par spectrométrie à infrarouge.

#### - Les chlorures $\text{Cl}^-$

Principe : (Méthode de MOHR).

On fait la dilution de l'échantillon s'il est concentré, on titre les chlorures par précipitation des ions chlorures par le nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ).



La fin de la précipitation de chlorures par  $\text{Ag}^{2+}$  est mise en évidence par un indicateur de concentration de  $\text{Ag}^{2+}$ , le bichromate potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), qui donne un précipité de chromate d'argent qui est rouge.

Ainsi, les réactifs utilisés sont :

- Bichromate de Potassium
- Nitrate d'argent,  $\text{AgNO}_3$ , 0,1N (on ne peut garder longtemps cette solution).
- Préparer une solution de 0,1N = 16,987 g/l  $\text{AgNO}_3$  et la garder dans un flacon brun.

### Calcul

$$\text{Cl}^- = (V \text{ AgNO}_3 \cdot N \text{ AgNO}_3 \cdot 35.46 \cdot 1000) / V \text{ ech}$$

### - Hydrocarbures totaux

Le pétrole brut contient une bande de variété assez large d'hydrocarbures où il est difficile de les quantifier tous séparément. Ainsi, dans l'intérêt d'identifier son impact sur le milieu, on s'intéresse à évaluer le total des hydrocarbures présents. Pour cela nous sommes basés sur les hydrocarbures semi et non volatils (C10-C40) et nous avons utilisé pour les doser dans l'eau un solvant d'extraction S-316 et le spectrophotomètre à infra rouge (HORIBA OCMA-310).

## 3. méthodes d'analyse des sols

### 3.1. Considérations préalables

Les analyses des sols sont très compliquées et difficiles à réaliser en raison des considérations préalables suivantes :

- choix des analyses (but et type de caractérisation) ;
- prélèvement des échantillons ;
- préparation des échantillons (séchage, homogénéisation,...) ;
- démarches d'extraction des éléments à analyser par attaque (acides, solvants,... tout dépend des éléments ciblés).

Les analyses sont réalisées au laboratoire au sein de l'usine ASMIDAL Annaba. Pour notre travail, nous avons opté pour le choix d'analyse de faire une caractérisation et vérification de la contamination des sols par les hydrocarbures.

### **3.2. Préparation des échantillons de sol**

#### **Séchage :**

Le séchage a été réalisé dans un endroit propre et à l'abri de la poussière. Pour les hydrocarbures, nous n'avons pas dépassé la température de 40 °C car ils risquent de se volatiliser.

#### **Homogénéisation :**

Nous avons procédé au tamisage 2 mm afin d'avoir une terre fine dans l'objectif d'émettre considérablement les agrégats et d'obtenir ainsi une poudre homogène, correspondant à une sorte d'état standard et sur laquelle seront réalisées les différentes analyses.

### **4. Extraction et analyse des hydrocarbures totaux**

Nous avons fait l'extraction des hydrocarbures totaux contenus dans dix grammes de sol par le solvant (Hexane Acétone) à travers l'extracteur desolvant accéléré le DIONEX ASE 300.

Finalement, nous avons fait passer les échantillons pour analyse au chromatographe degaz à spectrométrie de masse (GC MS). Les résultats sont exprimés après calcul en mg/kg de matière sèche.

## Fiche technique : Analyseur d'Hydrocarbure OCMA-310

**HORIBA**

*labo and Co*  
www.laboandco.com  
N° indigo 08 20 20 16 16

**ANALYSEUR D'HYDROCARBURES  
OCMA-310**

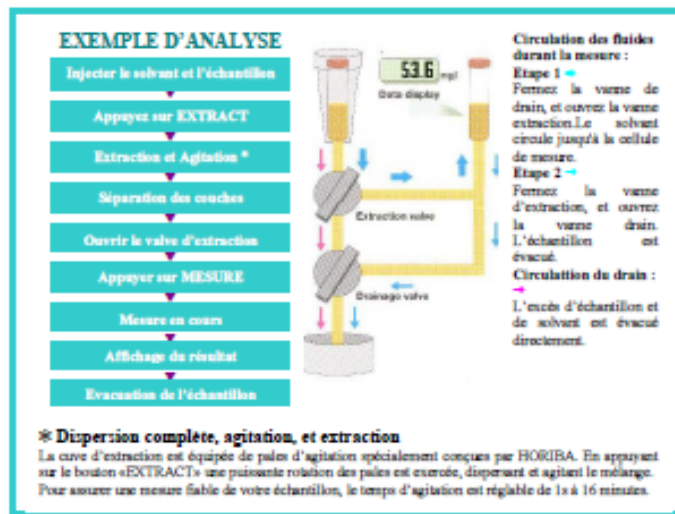
12.5 µg/l

ISO 14001

Assess of Certification  
100% satisfied  
ISO 9001  
2015/2016

## Une lecture stable et une échelle adaptée vous assure

L'analyseur d'hydrocarbures OCMA 310 mesure les traces d'hydrocarbures dans les sols et l'eau, mais aussi sur des produits finis. L'extraction des huiles est faite par le solvant S-316. Le solvant S-316 peut être recyclé grâce au régénérateur HORIBA livré en option, préservant ainsi l'environnement. De plus, sa large gamme de mesure évite les risques liés au changement d'échelle. L'OCMA 310 est donc rapide, simple d'utilisation, précis et stable.



### Contrôle manuel

Le système à double vanne vous rend maître de votre mesure. Injectez votre échantillon et appuyez sur le bouton EXTRACT pour commencer l'agitation et la séparation. Vous pouvez confirmer visuellement ces états au travers de la vitre. Ouvrez la première vanne pour faire circuler l'échantillon dans la cellule de mesure. Un filtre empêche l'eau de pénétrer dans la cellule. La deuxième vanne vous permet d'évacuer l'échantillon après la mesure.

### 0-200 mg/l, une échelle adaptée

L'OCMA 310 est équipé d'un détecteur pyro-électrique assurant une gamme de 0 à 200 mg/l. Cela élimine les risques dus au changement d'échelle et assure une mesure rapide, précise quelque soit le type d'échantillon quelque soit sa concentration.

### Une mise en route rapide

L'OCMA 310 assure une mesure stable après 30 minutes de chauffe seulement.

### Plus d'ajustement optique

La sensibilité aux réglages optiques des détecteurs pneumatiques est maintenant abolie grâce au détecteur pyro-électrique.

### Fonction stabilisation

Le processeur interne détermine automatiquement la stabilité de la mesure et maintient la valeur obtenue à l'affichage.

### Auto diagnostic

Le processeur contrôle tous les éléments importants de l'appareil. Une défaillance d'un de ces éléments et celui-ci est aussitôt déterminé et une alarme appropriée est affichée.

### Filtre séparatif eau/ huile

L'OCMA 310 est équipé d'un filtre de séparation eau / huile qui protège aussi la cellule des impuretés. La cellule de mesure ne peut pas être endommagée et mesure l'échantillon dans les meilleures conditions.

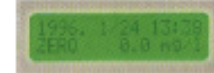
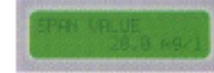
### Rétro éclairage LCD

L'affichage facilite la lecture des trois digits de mesures en mg/l.

Option : L'analyseur peut être équipé d'une sortie analogique 0-1 volts pour l'échelle 0-200 mg/l.

### Affichages des messages

Une grande diversité de messages sont affichés, incluant les opérations courantes, le statut de l'appareil, des éventuelles alertes vous informant à tout moment.



### 50 Mémoires

Avec une simple touche, vous pouvez mettre en mémoire 50 résultats et les rappeler. Chaque sauvegarde inclut un numéro d'identification, la date et la valeur mesurée.

*précision et simplifie vos analyses d'hydrocarbures.*



**Seringue Spéciale**

L'OCMA 310 est fourni avec une seringue spéciale qui vous permettra de mesurer votre solvant et votre échantillon de façon précise sans risque de contamination.



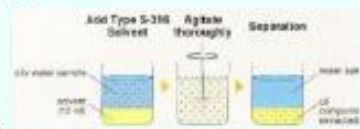
**Sorties RS 232 et imprimante**

En utilisant ces ports de sorties standards, vous pourrez imprimer, et sauvegarder vos résultats sur le support de votre choix, papier, PC ou enregistreur.

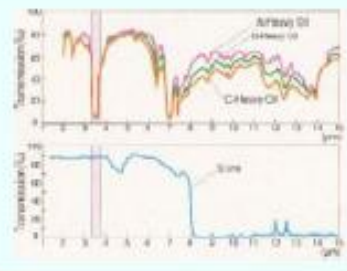


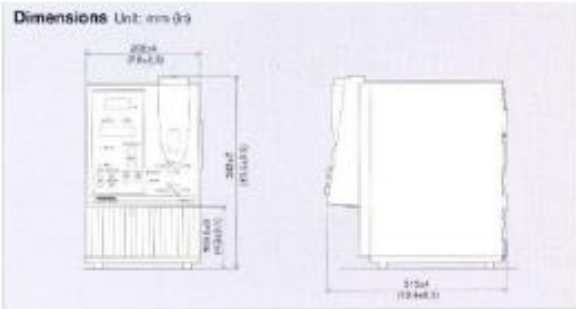
**Le SOLVANT S-316 extrait tous les types d'hydrocarbures**

L'OCMA 310 utilise le solvant HORIBA S-316, pour extraire de l'eau, des sols, ou des surfaces, tous les hydrocarbures. Il est ensuite mesuré par absorption d'une gamme d'onde d'une source infra rouge non dispersive, spécifique aux hydrocarbures.



L'OCMA 310 mesure l'absorption dans la gamme 3,4-3,5 µm. Ces deux graphiques montrent les spectres d'absorption d'hydrocarbures et du S-316. Tous les hydrocarbures, y compris les huiles, absorbent dans la bande 3,4-3,5 µm. L'appareil mesure donc tous les hydrocarbures extraits par le solvant rapidement et précisément.





**APPLICATIONS :**

- Environnement :** Surveillance de la qualité de l'eau et des sites à risques.
- Industrie :** Surveillance des effluents d'eau.
- Transport maritime :** Vérification des vidanges de ballasts.
- Raffinerie :** Vérification des process de séparation, Eau / Huiles.
- Dépôt d'hydrocarbures :** Surveillance du nettoyage des cuves.
- Automobile :** Surveillance des stations services.
- Assurance qualité :** Mesures des hydrocarbures résiduels sur tissus, métaux...

**Spécifications**


**Applications :** Mesures d'hydrocarbures dans l'eau, l'eau de mer, les sols.  
**Principe :** Extraction par solvant, analyse infra rouge.  
**Détecteur :** Capteur pyroélectrique.  
**Echelle :** 0 à 200 mg/l.  
**Résolution :** 0 à 99,9 mg/l : 0,1 mg/l  
 100 à 200 mg/l : 1 mg/l  
**Reproductibilité :**  
 0 à 9,9 mg/l : ±0,2 mg/l ±1 digit  
 10,0 à 99,9 mg/l : ±2,0 mg/l ±1 digit  
 100 à 200 mg/l : ±4,0 mg/l ±1 digit  
**Mesure :** manuelle  
**Etalonnage :** Une touche après introduction de l'étalon dans l'appareil.  
**Solvant d'extraction :** S-316  
 HORIBA ou Fréon 113.  
**Volume échantillon et solvant :** 20ml pour l'échantillon, 10 ml pour le solvant.  
**Méthode d'extraction :** Extraction interne pour les échantillons liquides.

**Affichage :** Valeur mesurée : 3 digits avec LCD à rétroéclairage  
**Messages :** en caractères rétroéclairés (16x2)  
 Anglais ou allemand.  
**Fonctions :** Mémoire jusqu'à 50 valeurs, auto diagnostic, horloge interne.  
**Sorties :** RS 232C, port parallèle pour imprimante.  
**En option :** Sortie analogique 0 à 200mg/l ; 0-1 V.  
**Température :** 0 à 40°C.  
**Alimentation :** 100 à 120 V AC ±10%  
 50/60 Hz, 80 VA.  
 200, 240 VAC ±10%  
 50/60 Hz, 120 VA.  
**Dimensions :**  
 200 (l) x 315 (L) x 342 (h) mm.  
**Poids :** environ 7 kg.

**Régénérateur de solvant SR 300D (Option)**

Conçu spécialement pour régénérer le Solvant S-316, cet appareil est muni d'un double étage contenant un charbon actif et de l'aluminium actif. Simple d'utilisation, il réduira considérablement les quantités de solvant à acheter et préservera l'environnement.



 Please read the operation manual before using this product to assure safe and proper handling of the product.

- The contents of the catalog are subject to change without prior notice, and without any subsequent liability to the company.
- The color of the actual products may differ from the color pictured in this catalog due to printing limitations.

**HORIBA**

**labo and Co**  
[www.laboandco.com](http://www.laboandco.com)

N° indigo 08 20 20 76 16

Date: 1/11/2000  
 Printed in Japan KY-M/SK133