

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR – ANNABA  
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Année 2016

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie

# THESE

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

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

**Etude de gestion de distribution des eaux de sources  
de la région de Séraïdi Nord Est algérien, évolution  
physico-chimique des eaux**

Option : Eau et Environnement

Par

**BENOUARA Nawel**

Directeur de thèse : LARABA Abdelaziz MCA. Univesrsité Badji Mokhtar- Annaba

DEVANT LE JURY

PRESIDENT :	KHERICI Nacer	Pr. Univesrsité Badji Mokhtar- Annaba
EXAMINATEURS:	DERRADJI El Fadel	Pr. Univesrsité Badji Mokhtar- Annaba
	KACHI Slimane	Pr. Univesrsité 08 Mai 1945- Guelma
	CHAFFAI Hichem	Pr. Univesrsité Badji Mokhtar- Annaba
	BENHAMZA Moussa	Pr. Univesrsité Badji Mokhtar- Annaba

## ملخص

على مدى السنوات الـ 50 الماضية، الجزائر تأثرت بوحدة من أقوى التغيرات في معدلات سقوط الأمطار التي لوحظت في نطاق الكرة الأرضية. وهذه التغيرات المناخية لم تأثر فقط في نظام هطول الأمطار ولكن قد ولدت أيضا تأثير على موارد المياه. هذه الأطروحة تتعامل مع إدارة وتوزيع مصادر المياه وتأثيرها على الموارد المائية وديناميكية الأراضي الرطبة.

الهدف من هذا العمل كان لمواءمة الموارد والاحتياجات المائية للسكان الذين يعيشون في المناطق الجبلية، ونوعية المياه الجوفية في بلدية سرايدي شمال شرق الجزائر.

من جهة النظر الكمية، لا يمكن أن موارد المياه الحالية أن تلبى الطلب في المستقبل القريب ونحن يجب أن نفكر في موارد المياه ذات نوعية جيدة وبكميات كافية لتحقيق التنمية الاقتصادية والرفاهية للسكان.

الأمطار مرافقة لمناخ رطب، حيث تتلقى المنطقة 1187 ملم / سنويا. لكن نظرا للموقع الجبلي للبلدية يرى السيول في كثير من الأحيان المنحدرات الشديدة جدا بسرعة حيث يتم إخلاء مياه الأمطار إما باتجاه البحر أو نحو السهول المجاورة.

وقد أجريت دراسة نوعية المياه الجوفية، لفهم أفضل آليات تشغيل مصادر المياه، والتراكيب الفيزيائية والكيميائية، فضلا عن الأسئلة في القضايا البيئية، وهي وجود الملوثات وأصولهم.

بعد تحليل مياه الينابيع، برنامج عمل كان يهدف إلى إجراء رصد التغيرات. كنا قادرين على دراسة تطور المعلمات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية في أربع حملات خلال عام 2015، من خلال استخدام طرق مختلفة، بما في ذلك الأساليب الإحصائية، دراسات قد بذلت مؤشرات الجودة لتوصيف حالة نوعية المياه الجوفية. كشفت تفسير هذه البيانات أن نوعية الكيميائية للمياه تتفاوت بين المتوسط والجيد، والناجمة عن وجود البكتيريا المتأثرة بمصب الصرف الحضري. وقد لوحظ وجود بعض الملوثات، مع أصولهم من جيولوجيا الأرض وتفكك المواد العضوية.

**كلمات البحث: منبع، نوعية، التلوث، ACP، سرايدي.**

# Abstract

In the course of past 50 years, Algeria has been one of the strongest variations in rainfall observed in of the Globe scale. These climate fluctuations were not only affected rainfall regime but they have also spawned consequences on hydrologic resources. This thesis deals the management and distribution of spring water and consequences on water resources and dynamics of wetlands.

The objective of this work was to put in adequacy the resources and the water needs of populations located in mountainous regions, as well as quality of groundwater in the municipality of Seraidi North East of Algeria.

From a quantitative point of view, the existing water resources can not satisfy demand in the near future we must think about a water resource of good quality and in sufficient quantity to the economic development and wellbeing of populations

Rainfall linked to a humid climate, the region receives 1187 mm / year. However, due to its mountainous location the municipality sees unborn torrents often very steep gradients very quickly evacuating precipitation either toward the sea or toward the adjacent plains. A study of groundwater quality was conducted, to better understand the mechanisms of running of spring water, and their physicochemical compositions, so as than environmental matters questions, namely the presence of pollutants and their origins.

Following the analysis of water sources, an action program was designed to conduct a tracking of changes. We have been able study the evolution of physico-chemical and microbiological parameters in four campaigns during the year 2015, through the use of different tools, especially statistical methods, Quality indices of studies have been made for the characterization of the status of the groundwater quality. The interpretation of these data revealed that the chemical quality of the water varies between average and good, resulting from the presence of bacteria influenced by urban rejection. One notes the presence of some pollutants pulling their origins from the geology of the terrain and the dissolution of organic matter.

**Keywords: Sources, Quality, Pollution, ACP, Seraidi.**

# Résumé

Au cours des 50 dernières années, l'Algérie a subi une des plus fortes variations de la pluviométrie observées à l'échelle du Globe. Ces fluctuations climatiques ont non seulement affecté le régime des précipitations mais elles ont également engendré des conséquences sur les ressources hydrologiques. Cette thèse traite de la gestion et la distribution des eaux des sources et de ses conséquences sur les ressources en eau et la dynamique des zones humides.

L'objectif de ce travail était de mettre en adéquation les ressources et les besoins en eau des populations situées en régions montagneuses, ainsi que la qualité des eaux souterraines de la commune de Seraïdi au Nord Est de l'Algérie.

D'un point de vue quantitatif, la ressource en eau existante ne peut pas satisfaire la demande, dans un avenir proche il faut réfléchir à une ressource en eau de bonne qualité et en quantité suffisante pour le développement économique et au bien-être des populations.

La pluviométrie liée à un climat humide, la région reçoit 1187 mm/ an. Toutefois, compte tenu de sa situation montagneuse la commune voit naître des torrents aux pentes souvent très fortes évacuant très rapidement les précipitations soit vers la mer, soit vers les plaines adjacentes.

Une étude de la qualité des eaux souterraines a été réalisée, Pour mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement des eaux de sources, et leurs compositions physico-chimiques, ainsi que les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants et leurs origines.

Suite à l'analyse des eaux de sources, un programme d'action a été conçu pour mener un suivi des variations. Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres physico- chimiques et microbiologiques au cours de quatre campagnes durant l'année 2015, par l'utilisation des différents outils, notamment les méthodes statistiques, des études des indices de qualité ont été portées pour la caractérisation de l'état de la qualité des eaux souterraines. L'interprétation de ces données a révélé que la qualité chimique de l'eau varie entre moyenne et bonne, résultant de la présence des bactéries influencées par les rejets urbains. On note la présence de quelques polluants, tirant leurs origines de la géologie du terrain et de la dissolution de la matière organique.

**Mots clés : Sources, Qualité, Pollution, ACP, Séraïdi.**

## Remerciements:

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage, la patience et la force pour réaliser ce travail.

Arrivé au terme de ce travail, je tiens à remercier vivement et profondément monsieur LARABA. A, Maître de conférences « A » à l'université d'Annaba et directeur de cette thèse et cela, pour sa disponibilité et sa patience. Il m'a offert une liberté de recherche tout en orientant ce travail par ses idées scientifiques précieuses.

Je tiens également à remercier, monsieur KHERICI. N, Professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de thèse, ainsi que Messieurs : Derradji. E Professeur à l'université d'Annaba, KACHI. S Professeur à l'université de Guelma, CHAFFAI. H Professeur à l'université d'Annaba, et BENHAMZA. M Professeur à l'université d'Annaba, trouvent mes vifs remerciements d'avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à remercier le Professeur OURDACHI. L de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire LHCH et d'avoir mis à ma disposition toutes les ressources nécessaires pour mon travail.

J'adresse mes remerciements en particulier à Mme HACHEMI RACHEDI. L pour son aide, encouragement, amitié, soutien inconditionnel le long de mon travail

Je remercie également Mr BOUTAGHANE. H pour son aide, ses conseils et ses encouragements.

Je suis reconnaissante à Mme Professeure KHERICI. H et Mme MAJOR. H pour les conseils qu'elles m'ont apportés, et leurs encouragements.

Mes remerciements vont également aux enseignants du département de Géologie et d'Hydraulique pour leur soutien moral et leur aide durant ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier tout le personnel administratif et les services techniques de la commune de Seraïdi, pour leur collaboration dans la constitution des données nécessaires à cette étude, en commençant par le Maire de la commune DJEMILI. S, les membres de l'Assemblée Mrs ALLALI. H, HAMDIS. N et FREIKH. A. Ainsi que mes collègues en particulier Mlle BESNACI. S, Mme DJEMILI. S, Messieurs : RAMDANI. Y, ALEM. H et JAMA.H.

Mes remerciements vont également à Monsieur DRICI. B le directeur de l'agence des bassins hydrographique d'Annaba, pour son accueil, pour son aide documentaire utile, et ces conseils.

Mes remerciements vont également à Monsieur MHAMDIA. N le Chef service de laboratoire de la direction de l'algérienne des eaux d'Annaba, pour son accueil, pour son aide, et ces conseils.

Je remercie mes très chers parents, Abdelaziz et Yasmina, qui ont toujours été là pour moi, «Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier».

Je remercie mes frères Mohamed Lamine et Zine El Abidine et leurs épouses, pour leur encouragement.

Je remercie affectueusement mon mari Nadjib, mon fils Mohamed Anes et mon futur fils nchala.

Je remercie mes beaux parents Khaled et Zahia, ainsi ma belle sœur Asma, et toute la famille Retima, pour leur encouragement.

Enfin, je remercie tous mes Ami(e)s que j'aime tant, Imen, Amel, Nariman, Hanene, Lamia, Souraya, Nadia ... Pour leur sincère amitié et confiance, et à qui je dois ma reconnaissance et mon attachement.

Que mes remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

# Table de matières

- ملخص
- Abstract
- Résumé
- Remerciement
- Table de matières
- Liste des tableaux
- Liste des figures
- Liste des abréviations

	Page
Introduction Générale.....	1

## *Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude*

1. Situation géographique de la commune de Séraïdi : .....	3
2. Climat .....	3
3. Le relief .....	4
4. Sismicité .....	5
5. La faune et la flore : .....	6
5.1. La faune:.....	6
5.2. La flore : .....	6

## *Chapitre 02 : Aperçu Géologique*

1. Introduction .....	8
2. Massif de l'Edough .....	8
3. Description lithologique .....	10
a. Les Gneiss .....	11
b. Les micaschistes .....	12
c. Les roches métabasiques .....	13
d. La couverture sédimentaire .....	13
e. Le magmatisme tertiaire .....	13
4. Tectonique et structure du massif de l'Edough .....	14
a. Déformations synmétamorphiques .....	14

b. Déformations tardives .....	14
5. Minéralisation du massif de l'Edough.....	15
6. Conclusion.....	15

### ***Chapitre 03: Caractéristiques Climatologiques***

1. Introduction .....	16
2. Station de mesure .....	16
3. Facteur Climatique .....	16
3.1. Analyse des précipitations.....	16
3.1.1.Coefficient pluviométrique (H) .....	18
3.1.2.Variations des précipitations dans le temps.....	20
3.1.2.1.Variations annuelles .....	2
3.1.2.2.Variations moyennes mensuelles et saisonnières. ....	21
3.2. Les températures.....	22
3.2.1.Variations moyennes mensuelles .....	22
3.3. L'humidité.....	23
3.4. Le vent.....	24
3.5. Courbe ombro-thermique .....	24
3.6. Détermination du type du climat (indice de Martonne E. De) .....	25
3.7. Evaporation du plan d'eau :.....	26
4. Bilan hydrique .....	26
4.1. Evapotranspiration.....	27
4.1.1.Evapotranspiration potentielle (ETP) .....	27
4.1.1.1.Formule de C.W. Thornthwaite (1948) .....	27
4.1.2.Evapotranspiration réelle (ETR).....	28
4.1.2.1.Formule de Turc (1961).....	28
4.2. Ruissellement .....	28
4.3. Infiltration.....	29
5. Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite.....	29

5.1. Interprétation du bilan de Thornthwaite .....	30
6. Conclusion.....	31

### ***Chapitre 04 : Hydrogéologie***

1. Introduction .....	32
2. Les types de ressources en eaux : .....	32
2.1. Les eaux de surfaces : .....	32
2.2. Les eaux souterraines : .....	33
2.2.1. Quelques définitions.....	34
a. Sources et aquifères.....	34
b. <i>Capter une source</i> .....	34
2.2.2. Les principaux types de sources .....	35
2.2.2.1. Les sources artésiennes.....	35
2.2.2.2. Les sources par débordement .....	36
2.2.2.3. Les sources par émergence.....	37
2.2.2.4. Les sources par déversement.....	38
2.2.2.5. Les Résurgences .....	39
2.2.3. Les eaux de sources de la commune de Séraïdi.....	39
2.2.4. Les puits .....	41

### ***Chapitre 05 : Gestion des Ressources en Eau***

1. Introduction .....	42
2. La gestion de la demande en eau .....	42
3. Etude démographique : .....	43
3.1. Introduction .....	43
3.2. La Population .....	43
3.3. Evolution de la population à travers les RGPH en 2008 .....	44
3.4. Estimation de la population future par zone.....	44
4. L'Alimentation en Eau Potable dans la commune de Séraïdi: .....	46
4.1. Historique : .....	46

4.2. L'état actuel.....	46
5. Les ressources en eau alimentant Séraïdi .....	46
5.1. A.E.P chef lieu Séraïdi .....	47
5.2. A.E.P Agglomération Secondaire Bouzizi .....	47
5.3. A.E.P Agglomération Secondaire Ain Barbar :.....	47
5.4. A.E.P Agglomération Secondaire Romanet .....	47
6. Evolution de la demande en eau .....	50
6.1. Les besoins en eau domestiques .....	50
6.2. Les besoin d'équipements .....	51
6.3. Les besoins touristiques.....	53
6.3.1.Les besoins en eau à l'état actuel .....	53
6.3.2.Les besoins en eau (Tourisme moyen terme) .....	53
7. Récapitulatif des besoins .....	55
8. Bilan : Offre/Demande .....	55
9. Les techniques de gestions proposées .....	57
9.1. Les ressources conventionnelles.....	57
a. Les ressources en eau souterraines .....	57
9.2. Les ressources non conventionnelles.....	57
a. Le dessalement .....	57
b. Les eaux usées traitées.....	57
10. Conclusion.....	58

## ***Chapitre 06 : Hydrochimie***

1. Pollution de l'eau.....	59
1.1. Introduction .....	59
1.2. Substances polluantes de l'eau .....	59
1.3. Origine de la pollution des eaux .....	59
1.3.1.La pollution d'origine naturelle et l'eau de pluie .....	59
1.3.2.La pollution urbaine .....	60

1.3.2.1. Les eaux usées urbaines de temps sec .....	60
1.3.2.2. Les apports liés au ruissellement .....	61
1.4. Pollution agricole .....	62
1.5. La pollution industrielle .....	63
2. Matériels et méthodes.....	63
2.1. Introduction .....	63
2.2. Analyses physico-chimiques des eaux .....	64
2.3. Echantillonnage et analyse des paramètres physico- chimiques et microbiologiques (eaux des sources).....	64
2.3.1. Mesures in situ : .....	66
2.3.2. Analyse des éléments chimiques :.....	66
2.4. Méthodologie.....	68
2.4.1. Le faciès chimique.....	68
2.4.2. L'Analyse en Composante Principale .....	69
2.4.3. L'indice de qualité de l'eau .....	69
2.4.4. Aptitude de l'eau à l'irrigation .....	70
3. Caractérisation physico-chimique des eaux des sources .....	71
3.1. Introduction .....	71
3.2. Analyse de la variation spatio- temporelle des eaux de sources.....	73
3.2.1. Variation des paramètres physiques : .....	73
3.2.2. La turbidité .....	75
3.2.3. Le débit.....	76
3.2.4. Les cations : .....	76
3.2.5. Les anions.....	79
3.2.6. Les nutriments .....	81
3.2.7. Les métaux lourds .....	82
3.2.8. Les coliformes fécaux .....	84
3.3. Détermination des principaux faciès chimiques.....	85

3.4. Etude du comportement hydro-chimique par l'analyse en composantes principales (ACP) pour les sources de la région de Séraïdi. ....	89
3.4.1.ACP pour la campagne d'hiver (janvier 2015) :.....	89
3.4.2.ACP pour la campagne du printemps (Mars 2015).....	91
3.4.3.ACP pour la campagne d'été (juin 2015).....	92
3.4.4.ACP pour la campagne d'automne (septembre 2015).....	93
3.5. L'indice de qualité des eaux.....	94
3.5.1.Description de l'IQE de la National Sanitation Foundation - NSF – des Etats-Unis. ....	94
3.5.2.Résultats et discussion.....	96
3.5.2.1.Première campagne d'hiver (Janvier 2015).....	97
3.5.2.2.Deuxième campagne du printemps (Mars 2015).....	98
3.5.2.3.Troisième campagne d'été (Juin 2015).....	100
3.5.2.4.Quatrième campagne d'Automne (Septembre 2015).....	102
4. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	104
4.1. Risque de Salinité :.....	104
4.1.1.Conductivité :.....	104
4.1.2.Tolérance aux sels:.....	105
4.2. Classifications des eaux destinées à l'irrigation.....	106
4.2.1.L'indice d'adsorption du Sodium (SAR).....	106
4.2.2.Diagramme de Richards.....	107
4.2.3.Diagramme de Wilcox:.....	111
4.2.4.L'indice de perméabilité (PI).....	113
4.2.5.L'indice de Kelly (KI).....	114
5. Conclusion.....	115
<b>Conclusion Générale</b> .....	117
<b>Références Bibliographiques</b> .....	120

## ***Liste des tableaux***

### ***Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude***

Tableau 1: Occupation forestière (PDAU 2012).....	7
---------------------------------------------------	---

### ***Chapitre 03: Caractéristiques Climatologique***

Tableau 2: Coordonnées géographiques de la station météorologique de Séraïdi .....	16
Tableau 3 : Pluviométrie moyenne mensuelles à la station de Séraïdi (1988- 2011).....	17
Tableau 4: Précipitations annuelles (mm) et Coefficient pluviométrique de la station de Séraïdi (1988-2011).....	19
Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles de la station de Séraïdi (1988-2011).....	21
Tableau 6: Nombre moyen de jours de pluie dans la région de Séraïdi (Office National de la Météorologie) .....	22
Tableau 7 : Températures moyenne mensuelles à la station de Séraïdi (1988- 2011).....	23
Tableau 8 : Humidité relative moyenne mensuelle de la station de Séraïdi (1988-2011).....	24
Tableau 9: Vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) ( Séraïdi 1988-2011) .....	24
Tableau 10: Evaporation moyenne mensuelle (Séraïdi 2001-2011).....	26
Tableau 11 : Résultats de l'ETP (en mm) selon la formule de Thornthwaite. ....	27
Tableau 12 : Résultats de l'évapotranspiration réelle (en mm) d'après la formule de Turc. ....	28
Tableau 13 : Résultats du ruissellement (en mm) selon la formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouk.....	29
Tableau 14 : Résultats du bilan hydrologique (en mm).....	29
Tableau 15 : Bilan hydrique d'après la formule de Thornthwaite (Station Séraïdi 1988-2011). ....	30

### ***Chapitre 04 : Hydrogéologie***

Tableau 16: Coordonnées des sources à travers la commune de Séraïdi .....	40
Tableau 17 : La localisation et le nombre de puits. ....	41

## ***Chapitre 05 : Gestion des Ressources en Eau***

Tableau 18: Evolution de la population dans les différentes cités de la commune de Séraïdi (2008-2050).....	45
Tableau 19: Les sources d'alimentation en eau potable de la commune de Séraïdi et leurs capacités de stockage (PDAU 2012). ....	48
Tableau 20 : Volume mensuelle des ressources en eau (ADE 2015).....	49
Tableau 21: Besoins en eau domestiques pour les différents horizons .....	51
Tableau 22 : Les équipements de la commune de Séraïdi.....	52
Tableau 23 : Besoins en eau des équipements pour les différents horizons .....	52
Tableau 24 : Nombre de lit et les besoin en eau des Hôtels. ....	54
Tableau 25: Evolution des besoins en eau du tourisme.....	54
Tableau 26: Les besoins en eau estimés et projetés de la commune de Séraïdi .....	55

## ***Chapitre 06 : Hydrochimie***

Tableau 27 : Représentation des eaux de sources avec les coordonnées.....	65
Tableau 28 : Statistiques sommaires pour les concentrations des paramètres physiques et chimiques des eaux des sources de Séraïdi .....	72
Tableau 29 : Faciès chimiques des eaux des sources des quatre campagnes 2015 .....	86
Tableau 30 : les paramètres physiques, chimiques et biologiques et ces poids.....	95
Tableau 31 : La classification de la qualité de l'eau fondée sur les valeurs du IQE (Rajendran & Mansiya 2015).....	96
Tableau 32 : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne d'hiver. ....	97
Tableau 33 : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne du printemps.....	98
Tableau 34 : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne d'été.....	100
Tableau 35 : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne d'Automne.....	102
Tableau 36 : Convenance à l'irrigation des eaux des sources de la région selon la conductivité. ....	105
Tableau 37 : Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation (Ayers & Westcot 1988).....	105

# ***Liste des Figures***

## ***Chapitre 01 : Présentation de la zone d'étude***

Figure 1 : Carte de la situation géographique de la zone d'étude.....	3
Figure 2: Carte de L'Oro-hydrographie de l'Est algérien vue à travers le Modèle Numérique de Terrain (Mebarki 2005).....	4
Figure 3: Carte de zonage sismique du territoire national (RPA 2003) .....	5

## ***Chapitre 02 : Aperçu Géologique***

Figure 4: Carte Géologique schématique du massif de l'Edough (Hilly 1962; Caby & Hammor 1992; Hammor & Lancelot 1998; Laouar <i>et al.</i> 2002).....	9
Figure 5: Colonne lithologique du massif de L'Edough (Aissa 1985).....	11

## ***Chapitre 03: Caractéristiques Climatologique***

Figure 6: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles de Séraïdi (1988-2011) .....	17
Figure 7: Les Variations des coefficients pluviométriques pour la station de Séraïdi (1988-2011). ....	20
Figure 8: Variations des précipitations annuelles pour la station de Séraïdi (1988-2011).....	21
Figure 9 : Répartition saisonnières des précipitations de la station de Séraïdi (1988-2011).....	22
Figure 10: Températures moyennes mensuelle à la station de Séraïdi (1988-2011).....	23
Figure 11: Diagramme ombrothermique de la station de Séraïdi.....	25
Figure 12 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite de la station de Séraïdi (1988-2011) (DA : Déficit agricole, SE : Surplus d'eau, ES : Epuisement du stock).....	31

## ***Chapitre 04 : Hydrogéologie***

Figure 13: Carte hydrographique du massif de l'Edough (Echelle : 1/300 000). En tirée et en pointillé, limite des bassins versants principaux et secondaires (Hilly 1962) .....	33
Figure 14 : Les éléments d'une source aménagée.....	34
Figure 15: Sources artésiennes (a-b : à travers un toit de roches consolidées. c : sources "de racines").(Archambault 1987). .....	36
Figure 16 : Sources par débordement (a : source située en amont de la partie captive de l'aquifère ; b : source située en aval de la partie captive de l'aquifère).....	37
Figure 17: Source par émergence.....	37

Figure 18: Sources par déversement (a: sur substratum meuble ; b: sur substratum consolidé; c : par variation progressive perméabilité).....	38
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

### ***Chapitre 05 : Gestion des Ressources en Eau***

Figure 19: Répartition de la population de la wilaya d’Annaba.....	43
Figure 20: Répartition géographique de la population de Séraïdi (2008).....	44
Figure 21: Estimation de la population de Séraïdi aux différents horizons.....	45
Figure 22: Evolution du volume des ressources en eau.....	49
Figure 23 : Estimation des besoins en eau domestiques de la commune de Séraïdi.....	51
Figure 24 : Besoins en eau des équipements de Séraïdi pour les différents horizons.....	53
Figure 25: Evolution des besoins en eau du tourisme dans la région de Séraïdi jusqu'à 2050.....	54
Figure 26 : La distribution de la ressource en 2014 dans la commune de Séraïdi.....	55
Figure 27 : La distribution de la demande en 2014 dans la commune de Séraïdi.....	56
Figure 28 : Le bilan Offre/Demande (Séraïdi 2014 – 2050).....	56

### ***Chapitre 06 : Hydrochimie***

Figure 29: Origines des polluants des RUTP (Yves 1994).....	61
Figure 30: Mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans les milieux de l’environnement (Merhi 2008).....	62
Figure 31 : Localisation des points de prélèvement des eaux de sources de Séraïdi 2015.....	65
Figure 32 : Protocole d’analyses des paramètres de pollutions.....	67
Figure 33 : Diagramme de Piper avec la représentation des différents facies hydro chimique.....	68
Figure 34 : Evolutions spatio- temporelle du pH (a), de la température (b), de la conductivité électrique (c) et de l’oxygène dissous (d) au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	73
Figure 35: Evolutions spatio- temporelle de la turbidité au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	75
Figure 36: Evolutions spatio- temporelle du débit au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	76
Figure 37 : Evolutions spatio- temporelle du Ca <sup>2+</sup> (a) , du Mg <sup>2+</sup> (b), du Na <sup>+</sup> (c) et du K <sup>+</sup> au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	77

Figure 38 : Evolutions spatio- temporelle du $\text{HCO}_3^-$ (a) , du $\text{SO}_4^{2-}$ (b), du $\text{Cl}^-$ (c) et du $\text{NO}_3^-$ au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	79
Figure 39 : Evolutions spatio- temporelle du $\text{NO}_2^-$ (a), du $\text{PO}_4^{3-}$ (b), et du $\text{NH}_4^+$ (c) au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	81
Figure 40 : Evolutions spatio- temporelle du $\text{Fe}^{2+}$ (a) et du $\text{Cu}^+$ (b), au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	83
Figure 41: Evolutions spatio- temporelle du Coliformes fécaux au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.....	84
Figure 42 : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne d’hiver 2015) Séraïdi.....	86
Figure 43 : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne printemps – 2015) Séraïdi.....	87
Figure 44 : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne d’été – 2015) Séraïdi.....	87
Figure 45 : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne d’Automne – 2015) Seraidi.....	88
Figure 46 : Représentation du cercle d’ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne d’Hiver 2015.....	89
Figure 47 : Représentation du cercle d’ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne de Printemps 2015.....	91
Figure 48 : Représentation du cercle d’ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne d’Eté 2015. ....	92
Figure 49 : Représentation du cercle d’ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne d’Automne 2015.....	93
Figure 50 : Courbe de l’OD % de saturation.....	95
Figure 51 : Niveau de la qualité de l’eau dans les échantillons d'eau de source. ....	98
Figure 52 : Niveau de la qualité de l’eau dans les échantillons d'eau de source. ....	99
Figure 53: Niveau de la qualité de l’eau dans les échantillons d'eau de source. ....	101
Figure 54: Niveau de la qualité de l’eau dans les échantillons d'eau de source. ....	103
Figure 55 : Variations saisonnières des valeurs du SAR dans les sources de Séraïdi .....	107
Figure 56 : Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l’irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne d’Hiver 2015. ....	108

Figure 57: Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l'irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne de Printemps 2015.....	109
Figure 58 : Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l'irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne d'Eté 2015.....	109
Figure 59: Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l'irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne d'Automne 2015.....	110
Figure 60 : Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox) -campagne d'hiver 2015.....	111
Figure 61 : Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox) - campagne de printemps 2015.....	112
Figure 62 : Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox) -campagne d'été 2015.....	112
Figure 63 : Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox) -campagne d'Automne 2015. ....	113
Figure 64 : boîtes à moustaches montrent la médiane, valeurs moyennes, minimales et maximales de l'indice de perméabilité. ....	114
Figure 65 : boîtes à moustaches montrent la médiane, valeurs moyennes, minimales et maximales de l'indice de Kelly.....	115

## Liste des abréviations

- ACP** : Analyse des Composantes Principales
- ACL** : Agglomération Chef Lieu
- A E P** : Alimentation en Eau Potable
- AS** : Agglomération Secondaire
- CL** : Chef Lieu
- CW** : Chemin Wilaya
- DA** : Déficit agricole
- ETP** : Evapotranspiration Potentielle
- ES** : Epuisement du stock
- ETR** : Evapotranspiration Réelle
- EXC** : L'excédent
- H** : Humidité
- ha** : Hectare
- hab** : Habitants
- Moy** : Moyenne
- Nbre** : Nombre
- OD** : Oxygène dissous
- ONM** : Office National Météorologique
- PEHD** : Polyéthylène Haute Densité
- PDAU** : Plan Directeur d'Aménagement Urbain
- RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'habitat
- RPA** : Règlement Parasismique Algérien
- RFU** : Réserves Facilement Utilisable
- SE** : Surplus d'Eau
- ZET** : Zone d'Extension Touristique
- Ø** : Diamètre

# *Introduction Générale*

## Introduction Générale

La question de la ressource en eau est aujourd'hui devenue une préoccupation à toutes les échelles. Nous sommes tous concernés par cet élément vital. Face à la croissance très importante des usages de l'eau au cours des dernières décennies, face à la diversité des activités qui utilisent cette ressource naturelle, il est apparu nécessaire de se poser la question de la rationalité de son utilisation. Nous sommes ici confrontés à un domaine géographique particulier : **la moyenne montagne cristalline**. Cet espace, plutôt rural, assez élevé ne dispose pas des conditions pédologiques et géologiques suffisantes pour maintenir une ressource en eau durable pendant plusieurs mois (Benmalek 2009).

La situation actuelle en Algérie, se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles. La croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux dernières décennies, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole.

Les besoins exprimés par les différents utilisateurs sont nettement supérieurs aux ressources en eau mobilisées, ce qui engendre des conflits d'affectation, et nécessite parfois des arbitrages difficiles.

En outre, les pollutions des nappes par les rejets domestiques, industriels et agricoles qui ne sont pas traitées avant de les rejeter dans les cours d'eau. Il s'agit de phénomène de la dégradation de la qualité de l'eau. Il nous appartient de déterminer l'étendue de ce déséquilibre, de réfléchir aux causes pour mieux en comprendre l'ampleur. Ces dégradations réduisent les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés. Il nous appartient aussi de proposer certaines solutions.

Notre problématique est clairement de déterminer s'il y a adéquation entre les besoins en eau, surtout ceux de la population, et les ressources en eau. Et de déterminer la qualité des sources pour pouvoir l'exploiter antérieurement.

Pour pouvoir approcher cette problématique et apporter quelques éléments de réponse aux questions posées, nous présentons les chapitres qui ont été abordés, qui sont :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation du site et la description des caractéristiques géomorphologiques de la région du Séraïdi. Ensuite nous avons abordé la sismicité, la faune et la flore
- Le deuxième chapitre présente un aperçu géologique par une synthèse des travaux antérieurs. Cet aperçu permet d'identifier les matériaux et les structures des formations géologiques susceptibles d'être aquifères, qui conditionnent l'écoulement des eaux de

sources et superficielles et éventuellement responsables de la minéralisation des eaux de la région d'étude.

- Le troisième chapitre est consacré à l'étude climatologique, cette étude a pour objectif de mieux connaître l'évolution des caractéristiques climatiques dans le temps et dans l'espace.
- Le quatrième chapitre s'articule sur une étude hydrogéologique de la région, il décrit les ressources en eau de la commune et les types des sources.
- Le cinquième chapitre présente la gestion des ressources en eau : il permet l'estimation de la ressource en eau, les besoins en eau et les outils de gestion, l'évolution des besoins en eau et les techniques de gestion proposés
- Le sixième chapitre présente une étude hydro-chimique des eaux de sources de la région du Séraïdi. Dans cette partie, nous avons essayé d'expliquer à partir d'une approche chimique certains processus responsables, de la minéralisation et la dégradation de la qualité des sources de la commune de Séraïdi.

Une conclusion générale permettra ensuite de tirer les renseignements des résultats et de proposer des solutions pour satisfaire les besoins en eau en quantité et en qualité.

*Chapitre 01*  
*Présentation de la zone d'étude*

## 1. Situation géographique de la commune de Séraïdi :

La commune de Séraïdi est située au Nord de la Wilaya d'Annaba (Nord Est de l'Algérie), sur les hauteurs du massif cristallophyllien de l'Edough à 850 mètres d'altitude et à 13,3 kilomètres d'Annaba et s'étend sur une superficie de 138 km<sup>2</sup>, Entre les latitudes 36° 55' 00" Nord et les longitudes 7° 40' 00" Est. Elle est limitée au nord par la Mer Méditerranée, au Sud par la commune d'El Bouni, à l'Est par la commune d'Annaba et à l'Ouest par la commune de l'Oued El Aneb (figure 1).



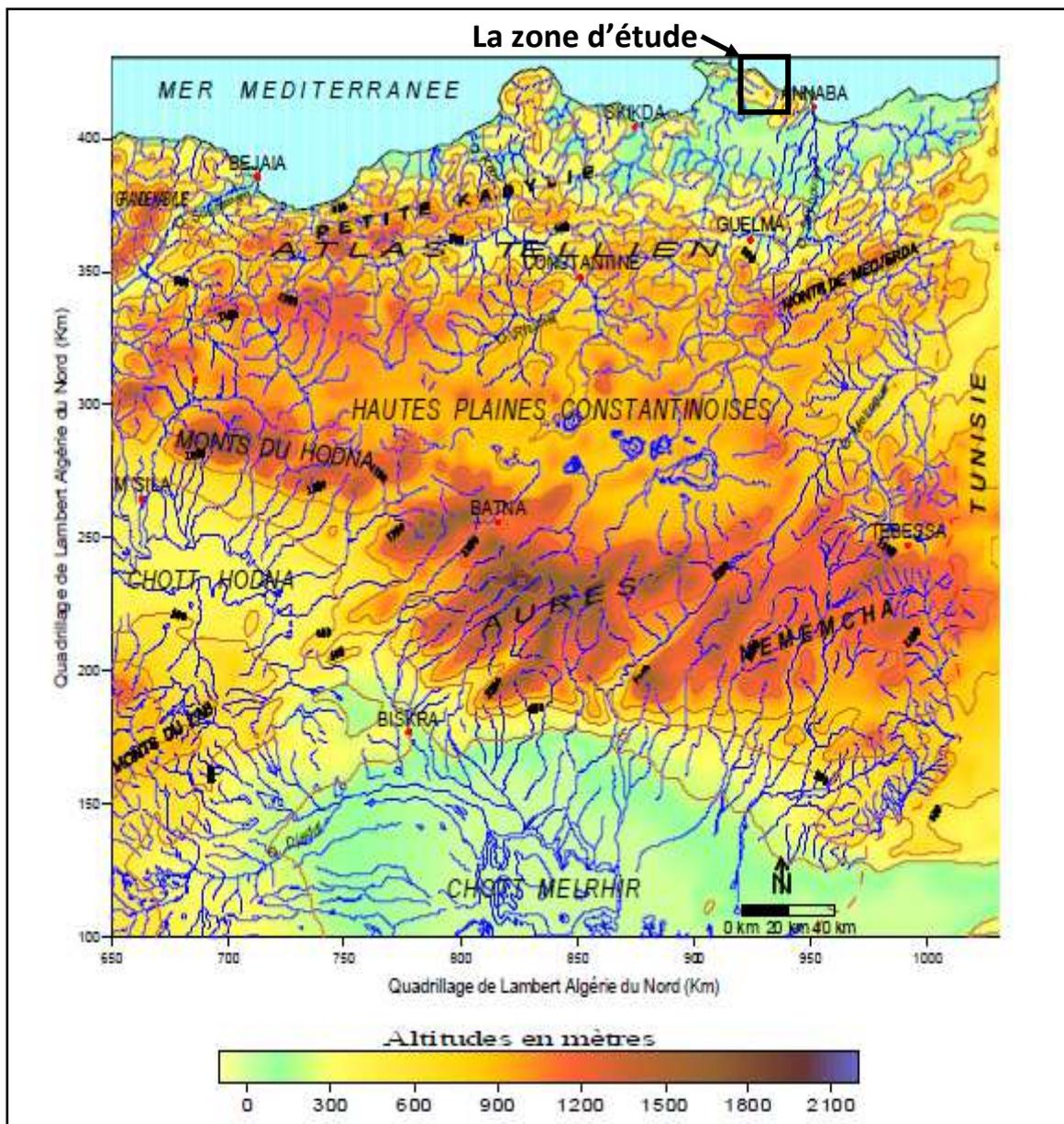
**Figure 1** : carte de la situation géographique de la zone d'étude.

## 2. Climat

La région d'étude est influencée par un climat de type méditerranéen. Les températures moyennes journalières varient entre 7,51 ° C en hiver (Janvier); et 24,8 ° C en été (Août) avec une moyenne 15,49 ° C. La précipitation moyenne annuelle au cours de la période 1988- 2011 est de 1187,20 mm/an. Elle fait partie des régions les plus arrosées de l'Algérie du nord.

### 3. Le relief

Les reliefs se caractérisent, du Nord au Sud, par leur organisation en élément. Le massif de l'Edough est le principal élément 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 à 867 m vers Séraïdi (figure 2), elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au Cap de Garde au Nord de la ville de Annaba (Hamzaoui 2007).



**Figure 2:** Carte de L'Oro-hydrographie de l'Est algérien vue à travers le Modèle Numérique de Terrain (Mebarki 2005).

D'après la figure ci-dessus on remarque que l'altitude de notre région d'étude est comprise entre 600 et 1000 m

#### 4. Sismicité

Un zoning sismique actualisé a été établi par le Règlement Parasismique Algérien (RPA 2003). Suite au séisme du 21 Mai 2003 qui a touché la région de Boumerdes et ses environs (figure 3).

Le territoire national a été subdivisé en cinq zones de sismicité croissante (Voir carte de zoning sismique ci-après), soit:

- Zone 0 : Sismicité négligeable
- Zone I : Sismicité faible
- Zone IIa et IIb : Sismicité moyenne
- Zone III : Sismicité élevée

Dans cette nouvelle classification, notre zone d'étude est située dans la zone sismique IIa, cette partie est caractérisée par des terrains à sismicité moyenne.

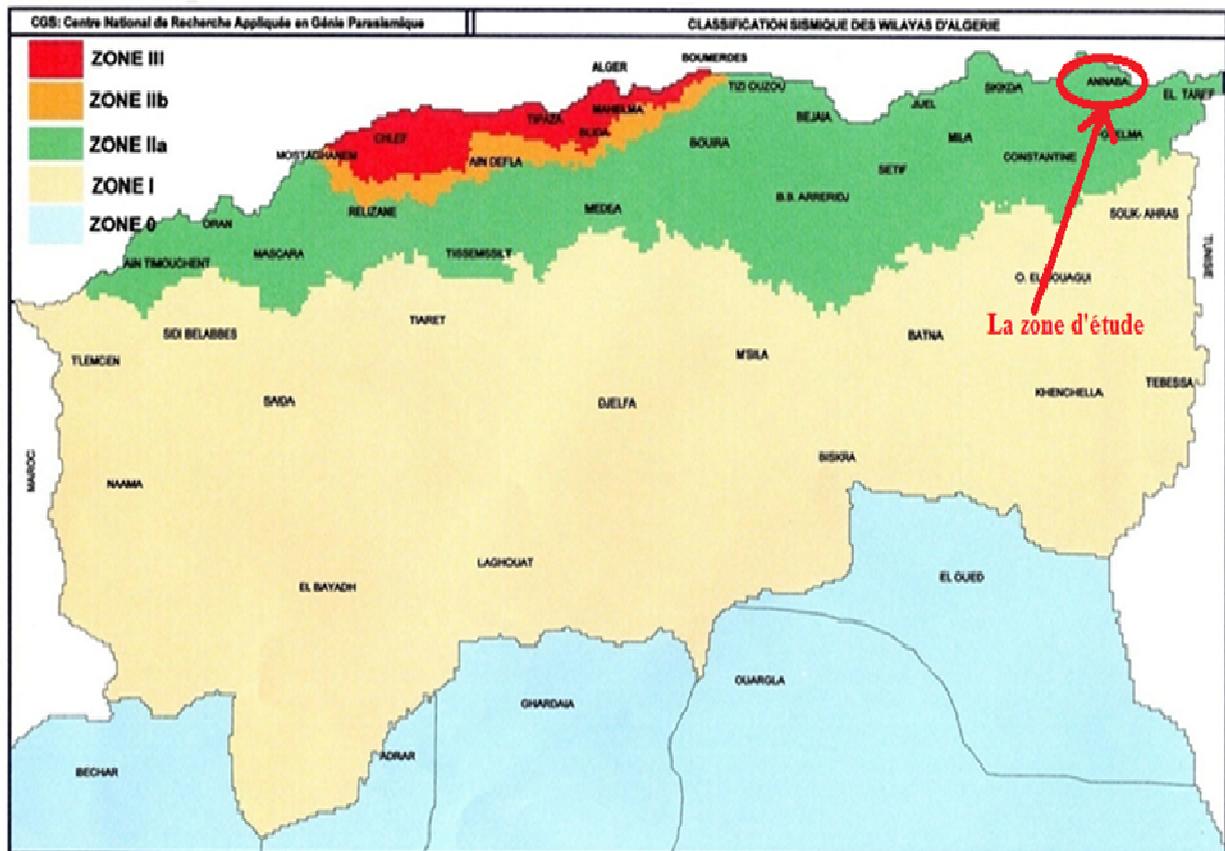


Figure 3: carte de zonage sismique du territoire national (RPA 2003)

## 5. La faune et la flore :

La Commune de Séraïdi dispose d'une grande variété animale et végétale.

### 5.1. La faune:

La faune de l'Edough y était beaucoup plus riche qu'elle ne l'est de nos jours. La faune y était composée d'une riche réserve de bêtes féroces. Le Kef Sbaâ évoque le roi des animaux dont les rugissements inquiétaient encore le siècle dernier le bétail et les villageois. Le dernier lion d'Algérie, dit lion de Barbarie ou "lion de l'Atlas", aurait été abattu, paraît-il, dans ces forêts vers 1890 par les colons. La panthère tachetée surabondait également dans ce vaste territoire boisé. Ces redoutables félins représentaient une menace quasi permanente pour les troupeaux et leurs bergers qu'ils n'hésitaient pas à attaquer. Lions et panthères ou encore ours furent massivement capturés par les romains pour les jeux du cirque.

Outre ces grands prédateurs, le gibier de poil et de plume, dont l'autruche et l'onyx, sont largement représentés sur les mosaïques d'Hippone. Dans l'antiquité, à en croire certains historiens, des éléphants de la plus petite espèce africaine typiquement locaux, pullulaient dans les forêts de l'Afrique du Nord, notamment dans les piémonts de l'Edough. Ils se seraient maintenus jusqu'aux 1er siècle de notre ère, et leur extinction est due à la chasse systématique dont ils furent victimes,

Signalons que c'est à dos de ces braves pachydermes que le Général Carthaginois Hannibal Barca et sa cavalerie Numides avaient remporté la célèbre bataille de Cannes durant la seconde guerre punique. La région d'Annaba était donc très giboyeuse. Comme partout en Méditerranée, les incendies de forêts provoquent des désastres écologiques et humains. De vastes superficies de l'Edough, allant du Cap de Garde au Cap de Fer, disparaissent périodiquement sous les flammes, entraînant une réduction de la faune et de la flore et repoussant de plus en plus loin la limite de la forêt vierge (PDAU 2012).

### 5.2. La flore :

L'espace forestier de la commune de Séraïdi couvre une superficie de 10.250 ha représente principalement la partie montagneuse. Il est constitué par une végétation naturelle spontanée représentée par des chênes lièges, des pins maritimes et des maquis et broussailles typiques des régions méditerranéennes où l'on trouve des bruyères, lentisques, myrtes, arbousiers.

Dans le cadre de la mise en valeur de cet espace vital des reboisements de pins maritimes et surtout d'eucalyptus ont été introduits après l'indépendance. Nous reproduisons un état de l'occupation forestière de la commune dans le tableau ci-après et ce, par espèces et superficie :

**Tableau 1:** Occupation forestière (PDAU 2012)

<b>Espèces</b>	<b>Superficies (ha)</b>
Chêne liège	3.039,30
Chêne Zeen	738,43
Pins maritimes	33,37
Maquis	4.377,49
Chêne liège / Pins maritimes	82,60
Chêne liège / Chêne Zeen	296,99
Vides	1.681,82
Total	10.250,00

*Chapitre 02*  
*Aperçu Géologique*

## 1. Introduction

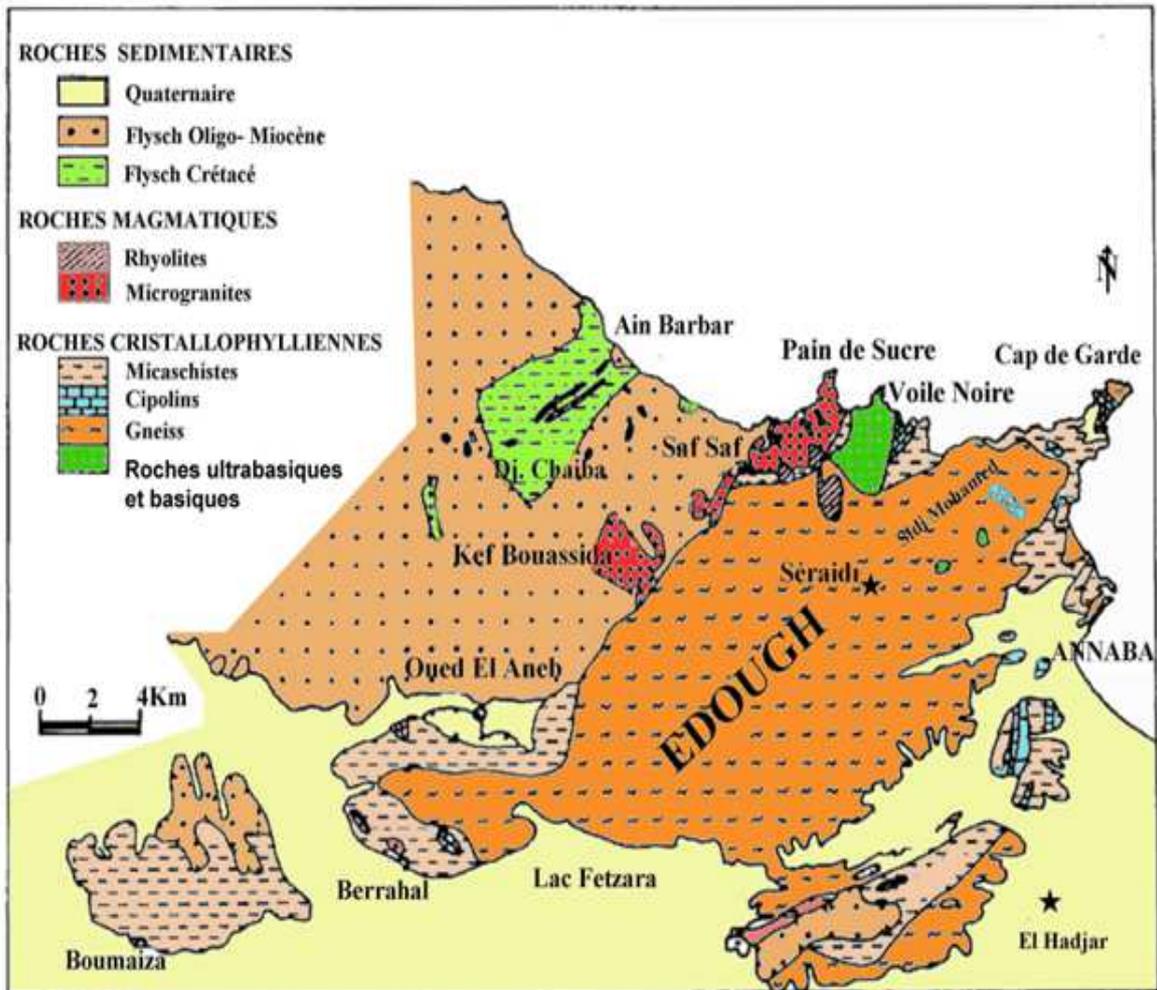
L'analyse de l'environnement géologique permet d'identifier les matériaux et les structures des formations géologiques susceptibles d'être aquifères et qui conditionnent l'écoulement des eaux souterraines et superficielles (Zahi 2014).

Le massif cristallophyllien de la région de Séraïdi est complexe, il correspond à la partie orientale de la chaîne alpine de l'Algérie du Nord, il est constitué par un socle métamorphique qui affleure, sous forme d'un dôme asymétrique allongé NE-SW sur environ 50 km de long et 20 km de large.

## 2. Massif de l'Edough

En Algérie, le massif de l'Edough est le plus oriental des massifs cristallophylliens du littoral (Gleizes et al. 1988), (Figure 04) Il a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Hilly 1962; Vila 1970; Marignac & Zimmermann 1983; Marignac 1985; Gleizes et al. 1988; Hammor 1992; Monié et al. 1992; Aissa et al. 1995; Hammor & Lancelot 1998; Laouar et al. 2002). Il se présente en un brachyantoclinal à prédominance de gneiss entourés de micaschistes à intercalations de marbres, d'amphibolites et de schistes satinées (Vila 1980), et il est considéré comme une partie des zones internes de la chaîne alpine de l'Afrique du Nord, originaire de l'activité tectonique dans le bassin méditerranéen occidental associée à la collision de la plaque africaine et européenne durant la période Oligo-Miocène (Auzende et al. 1975; Bouillin 1979; Cohen 1980; Bouillin 1986; Maury et al. 2000; Laouar et al. 2005).

Le complexe de l'Edough est composé d'une variété de roches métamorphiques d'âge Précambrien à Paléozoïque. L'ensemble de ces roches forme une antiforme d'axe NE-SW. Les gneiss formant la base ont été décrits par Ahmed-Said et Leake (1993) (Ahmed-Said & Leake 1993). Leur étude pétrologique et géochimique indique que ce sont d'anciennes roches magmatiques à caractère calco-alcalin. Ils ont été datés par la méthode U-Pb à  $595 \pm 51$  Ma pour les orthogneiss de base et  $606 \pm 55$  Ma pour les leucogranites supérieurs qui sont fortement déformés (Hammor & Lancelot 1998), et ils ont été considérés comme des roches granitiques mises en place durant l'orogène Pan-Africaine (figure 4).



**Figure 4:** Carte Géologique schématique du massif de l'Edough (Hilly 1962 modifié par: Caby & Hammor 1992; Hammor & Lancelot 1998; Laouar *et al.* 2002)

Les métapelites qui viennent juste au-dessus des gneiss consistent en deux unités principales : des micaschistes à grenat et souvent à disthène en alternance avec des niveaux de marbre et de skarns d'épaisseur métrique, et une unité supérieure d'âge Paléozoïque (Ilavsky & Snopkova 1987), constituée de schistes alumineux à andalousite et staurotide en alternance avec des quartzites feldspathiques. Ces formations ont subi un trajet polycyclique de température et pression durant le métamorphisme ; depuis des conditions de hautes température et pression (cycle 1) jusqu'à moyennes température et pression (cycle 2) et finalement basse pression et haute température (cycle 3) (Hammor 1992).

Les terrains cristallophylliens sont en partie, recouverts par un système de nappes sédimentaires résultant de l'activité tectonique Oligo-Miocène. Ces nappes sont constituées de marnes, d'argiles et de grès crétacés (flysch crétacé), et de grès Oligo-Miocènes (argiles et grès numidiens).

Durant le Miocène à environ 16 Ma, des corps magmatiques ont été mis en place au sein du complexe métamorphique et sa couverture sédimentaire (Marignac & Zimmermann 1983). Ces roches ignées constituent deux groupes principaux : des masses et filons rhyolitiques, et des microgranites. Leur pétrologie, géochimie et pétrogenèse ont été étudiées par Ahmed- Saïd et al. (1993) et Laouar (2002). L'activité magmatique et l'hydrothermalisme associé dans le massif de l'Edough ont été considérés responsables de l'emplacement de plusieurs indices et gîtes polymétalliques (Laouar et al. 2002): exemple, ceux de Ain Barbar (la mine la plus importante dans la région, actuellement fermée) et El-Mellaha (Bolfa 1948; Marignac 1985); les gîtes à W-Sn associés aux skarns de Bouzizi et Belelieta (Aissa *et al.* 1995) ; et les gîtes de Fe-Pb-Zn-Cu associés aux skarns et amphibolites de la région de Boumaïza et de Berrahal.

### 3. Description lithologique

Le cœur de l'antiforme de l'Edough est constitué essentiellement par la superposition tectonique, observée à l'Est du massif, de deux unités principales : l'unité inférieure est composée de gneiss fortement foliés, d'âge Précambrien (Pan-Africain) (Hammor 1992; Hammor & Lancelot 1998) et l'unité supérieure constituée de micaschistes du Paléozoïque (Ilavsky & Snopkova 1987).

Des niveaux de marbre, d'amphibolites et de roches ultrabasiques sont également associés à ces deux unités.

La figure ci-dessous montre les différentes formations lithologiques qui constituent le massif métamorphique de l'Edough

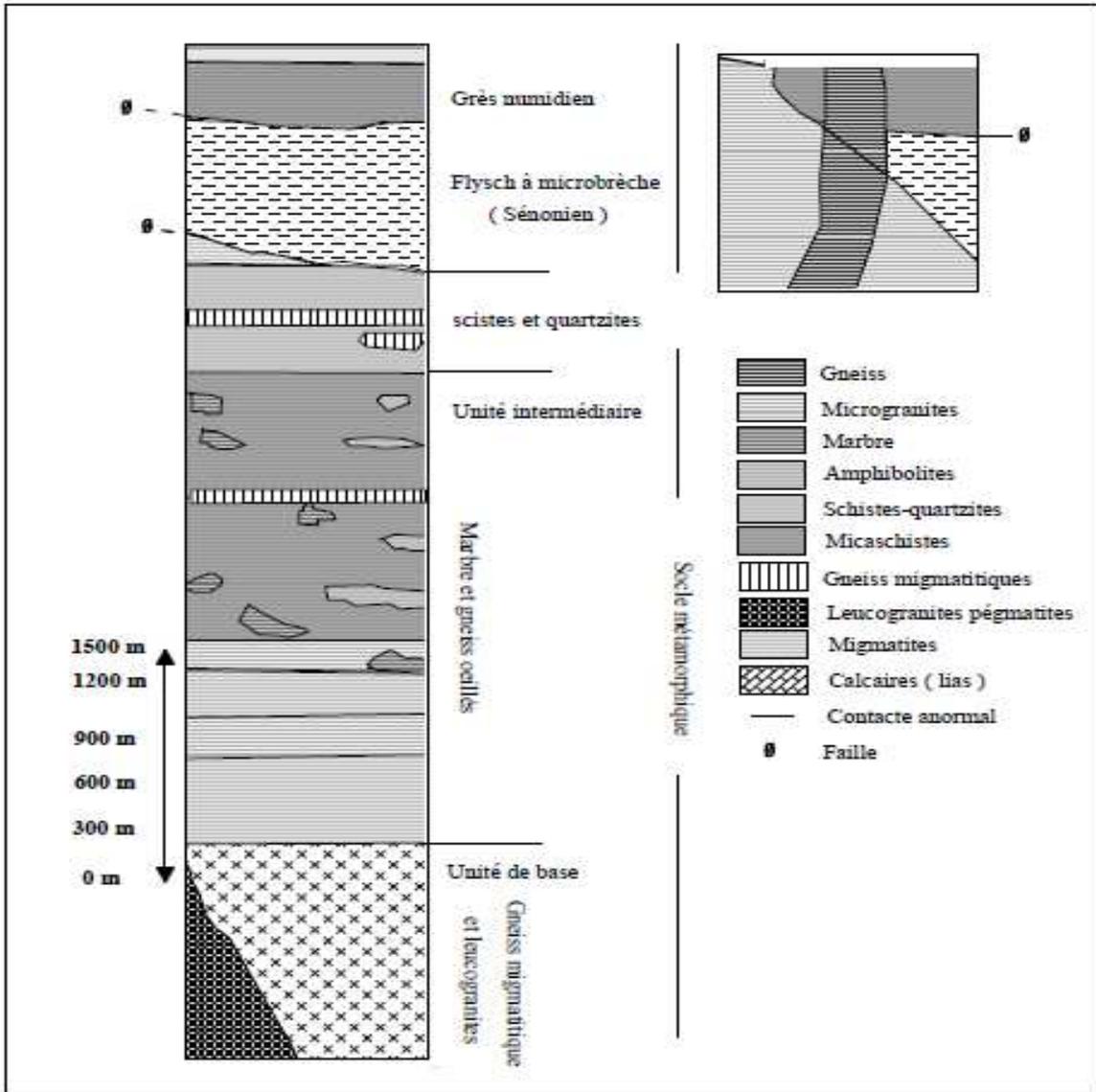


Figure 5: Colonne lithologique du massif de L'Edough (Aissa 1985).

### a. Les Gneiss

Les gneiss à biotite qui forment le cœur de l'antiforme sont des roches fortement foliées et plissées et sont composés principalement par une variété oillée étroitement associée à de nombreux niveaux leptynitiques (quelques centimètres à une dizaine de mètres d'épaisseur) riche en tourmaline et autre variété plus ou moins migmatique. Ces deux variétés ont été longtemps considérées comme orthogneiss et paragneiss respectivement (Gleizes *et al.* 1988). Les travaux récents de Hammor et Lancelot (1998) (Hammor & Lancelot 1998) ont donnés les âges de  $630 \pm 50$  Ma pour les paragneiss et de 606 à 595 Ma pour les

orthogneiss, ces derniers sont constitués principalement de biotite, quartz, orthose, plagioclase et grenat.

L'andalousite, la fibrolite, la muscovite, l'amphibole, la tourmaline, l'apatite et le zircon peuvent également être présents. Les yeux sont des mégacristaux de feldspath potassique contenant plusieurs inclusions d'autres minéraux et leur taille peut atteindre 8 cm de diamètre.

L'étude géochimique (éléments majeurs, éléments en traces et isotopes de Rb-Sr) des orthogneiss (*Ahmed-Said & Leake 1993*) indique qu'ils sont à l'origine des roches ignées de nature acide, à caractère calco-alcalin et qui ont été plus tard, affectées par un métamorphisme isochimique.

### **b. Les micaschistes**

Ils sont constitués de deux ensembles principaux :

L'ensemble inférieur, qui repose directement sur les gneiss, est souvent caractérisé par la présence de niveaux plus ou moins lenticulaires de marbre d'épaisseur très variable (quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres). Il affleure principalement dans les zones périphériques du massif de l'Edough et dans la région de la Voile Noire au Nord-Est du massif.

Dans cet ensemble se trouve également intercalés des niveaux et lentilles d'amphibolites, de métagabros, de serpentines et des filons de quartz-grenat. Ces micaschistes sont des roches schisteuses souvent riches en disthène et grenat et leur contact avec les marbres est souvent souligné par des skarns de réaction. Leur étude géochimique (*Ahmed-Said & Leake 1993*) indique que ce sont d'anciens sédiments riches en illite avec quelques fragments ignés de composition intermédiaire et qui ont subi un métamorphisme de haute pression (7 - 9 kb) et de moyenne température ( $600 \pm 30$  °C).

L'ensemble supérieur est constitué par une série dite « des alternances » (*Gleizes et al. 1988; Caby & Hammor 1992*), surmonté par une unité épimétamorphique. La série des alternances est caractérisée par une alternance régulière de micaschistes, souvent fortement alumineux, et quartzites feldspathiques d'épaisseur décimétrique à métrique. La découverte des acritarches (*Ilavsky & Snopkova 1987*) précise que cette série est d'âge Paléozoïque (Ordovicien à Dévonien). L'unité épimétamorphique, quant à elle, est représentée par les métapélites de Beleleita, Boumaiza et Berrahal. Elle correspond à des micaschistes

à mica blanc, biotite, disthène, staurotide, rutile et parfois grenat, interstratifiés avec des marbres.

### c. Les roches métabasiques

Les roches métamorphiques basique du massif de l'Edough se trouvent généralement dans la partie supérieure des gneiss et au niveau des micaschistes. Elles comprennent des amphiboles, des pyroxènes, des péridotites, des métagabros, etc... ; le volume le plus important des quelles est celui des amphiboles de Kef Lakhal (La Voile Noire). Celles-ci sont constituées de roches massives et d'autres rubanées ; le passage de l'une à l'autre est souvent graduel. La roche est composée d'hornblende, plagioclase (An34), grenat, rutile, magnétite, ilménite, quartz, épidote, scapolite, diopside, zircon, apatite et carbonates secondaires. De fines couches de micaschiste à grenat, épidotites et des filons de roches à quartz et plagioclase ainsi que des filons de quartz peuvent se trouver au sein de ces amphibolites. Les filons de quartz sont contrôlés par la tectonique (Hilly 1962; Ahmed-Said & Leake 1992).

Parmi les roches ultrabasiques, on note la présence d'enclaves de nature amphibolites et de roches riches en olivine, surtout au niveau des roches encaissantes (micaschistes). (Ahmed-Said & Leake 1992) Ahmed Said considèrent les amphibolites de Kef Lakhal comme roches ignées basiques à ultrabasiques de nature effusive, formées dans un domaine de marge continentale.

### d. La couverture sédimentaire

Elle comprend la nappe de flyschs créacés et la nappe de flyschs numidiens. Les flyschs créacés affleurent en fenêtre sous la nappe numidienne et occupent la région de Ain Barbar et El-Mellaha (Hilly 1962; Marignac 1976, 1985). Il s'agit d'intercalations d'argilites noires bleutées et de bancs peu épais de calcaires gréseux de type Massylien.

Les niveaux calcaires renferment des foraminifères permettant de rapporter cette série au Maestrichtien. Les flyschs numidiens correspond à un faciès argilo-gréseux constitué par des bancs minces de grès à la base qui deviennent plus épais et plus grossiers au sommet avec la présence de dragées de quartz. L'épaisseur de cet ensemble varie de 1000 à 1500 m (Zahi 2014).

### e. Le magmatisme tertiaire

Le magmatisme tertiaire de l'Edough est représenté par des leucogranites et aplo-pegmatites d'âge Burdigalien (Aissa et al. 1995) et des microgranites et rhyolites d'âge Langhien (Marignac & Zimmermann 1983). Les leucogranites et aplo-pegmatites

se rencontrent souvent dans le socle de l'Edough, et sont spatialement associées à des complexes pegmatites. Les leucogranites restent généralement confinés dans les gneiss, alors que les aplo-pegmatites se rencontrent aussi bien dans les gneiss que dans les micaschistes, y compris ceux de la série « des alternances ».

Les microgranites et rhyolites de l'Edough s'intègrent dans le cadre du magmatisme de la marge Nord algérienne. Ils appartiennent d'une manière générale à l'ensemble Edough-Cap de Fer (Hilly 1962), et dessinent, avec toutes les intrusions dispersées d'Ain Barbar, un complexe centré sur une importante anomalie magnétique suggestive de l'existence en profondeur de masses intrusives plus importantes.

Dans le massif de l'Edough, les produits de ce magmatisme scellent les grands accidents et les contacts tectoniques plus particulièrement les contacts socle-couverture (Zahi 2014).

## 4. Tectonique et structure du massif de l'Edough

### a. Déformations synmétamorphiques

Le socle de l'Edough a subi une histoire tectono-métamorphique complexe où deux séquences d'événements peuvent être individualisées :

- ✓ Plissements synschisteux contemporains d'un métamorphisme de type barrovien (disthènestaurotide- grenat).
- ✓ Plissements synschisteux et cisaillements ductiles, contemporains d'un métamorphisme de basse pression (andalosite-sillimanite) dans le contexte distensif d'une faille de détachement (Brunel et al. 1988), d'âge Burdigalien (Monié et al. 1992; Aissa et al. 1995).

### b. Déformations tardives

Les déformations tardives se résument essentiellement en la formation de plis et de failles (Aissa et al. 1995). Plis droits à N140°E et brachyanticlinal N50-60°E façonnant la forme actuelle du massif.

Failles : Un premier type de failles (F1) constitue une famille dont l'orientation dominante varie de N120° à N150°E et correspondrait à des failles décrochantes dextres. Les failles N150° à N160°E contrôlent les minéralisations polymétalliques hydrothermales et paraissent par ailleurs, avoir guidé la mise en place des rhyolites.

Un deuxième type de failles (F2), d'orientation NE-SW, semble conjugué au type précédent, et aurait probablement joué en décrochements senestres. La grande faille de l'Oued

Afris qui appartient à ce système paraît avoir la mise en place de plusieurs corps microgranitiques.

Un troisième type de failles (F3) moins important, qui a une direction moyenne E-W ; et un quatrième type rare, de direction moyenne N-S qui semble en liaison avec le premier type (F1) (Zahi 2014).

## 5. Minéralisation du massif de l'Edough

La présence de gîtes et indices métallifères dans le massif de l'Edough est en relation plus ou moins directe avec l'activité magmatique et les systèmes de failles, principalement (F1) contrôlés par la tectonique distensive langhienne. Quatre types principaux de minéralisation sont reconnus :

- (1) gîtes à Fe-(Pb-Zn-Cu) liés aux marbres et skarns ; exemple : ceux de Berrahal et Boumaïza ;
- (2) filons à minéralisation polymétallique encaissés dans les flyschs crétacés ; exemple : Ain Barbar et El-Mellaha ;
- (3) gîtes à W-As-Au liés aux skarns et gneiss ; exemple : Belelieta et Bouzizi ;
- (4) filons à Sb-Au situés à travers le complexe métamorphique ; exemple : Koudiat El-Ahrach, Saf-Saf et Ain Barbar (Zahi 2014).

## 6. Conclusion

Le massif de l'Edough, qui est considéré souvent comme étant la continuité des massifs internes kabyles de la chaîne des maghrebides, formé d'un socle cristallophyllien et d'une couverture sédimentaire. L'étude géologique de la région d'étude a montré les affleurements de terrains métamorphiques, des roches éruptives (gneiss, schistes, micaschistes, cipolins, marnes et marno-calcaires) et des formations Mio-Pliocène et du Quaternaire. Elles constituent des réservoirs d'eau pour l'alimentation pour les nappes de la région. Dans le massif de l'Edough, les sources naissent à la faveur des failles, liées à la tectonique cassante.

*Chapitre 03*  
*Caractéristiques Climatologiques*

## 1. Introduction

L'étude des données climatologiques facilite la compréhension des mécanismes de l'alimentation et de la circulation des eaux superficielles et souterraines. Elle permet de déterminer les termes du bilan hydrique notamment les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

Le massif de l'Edough est situé sur la frange littorale de la région d'Annaba à plus de 800 m d'altitude. L'analyse de la variabilité des précipitations sera basée sur les données de la station pluviométrique de Séraïdi car elle se situe dans notre région d'étude. Elle est particulière des autres stations de Annaba vue son altitude.

## 2. Station de mesure

Pour étudier les variations des caractéristiques climatiques de la région de Séraïdi dans le temps, nous avons pris en considération les données de précipitations et de températures de la station de Séraïdi durant la période allant de 1988 à 2011. Les coordonnées sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 2:** Coordonnées géographiques de la station météorologique de Séraïdi

Coordonnées de la station	Code	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'observation
Séraïdi	31402	07 ° 41'E	36° 55'N	870.0	1988-2011

## 3. Facteur Climatique

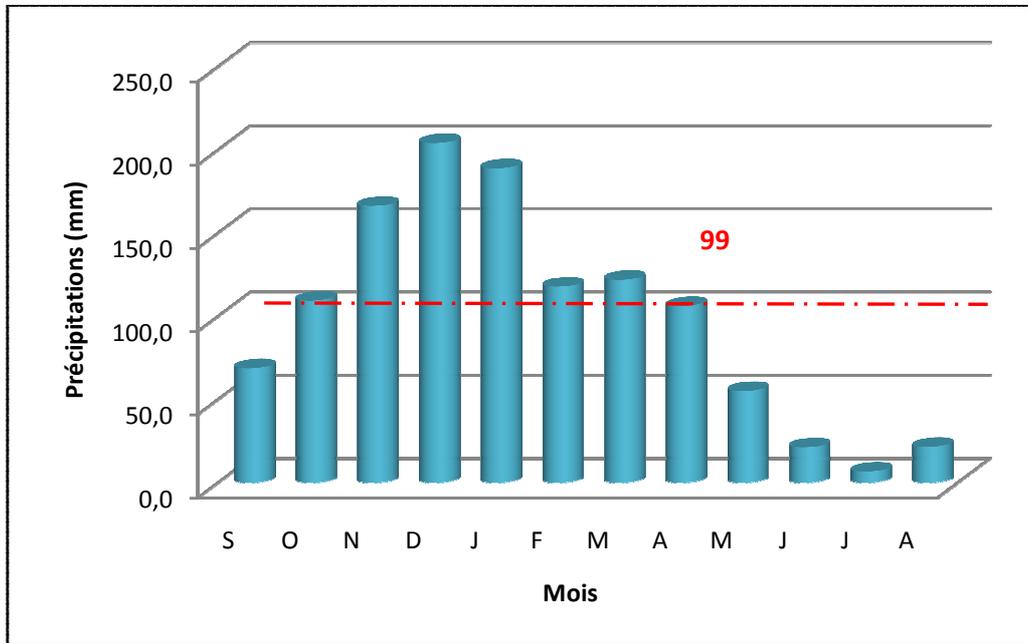
Faisant partie de la chaîne du littoral, le massif de l'Edough est soumis au climat type méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : la saison humide et la saison sèche. Les contrastes géomorphologiques font que les précipitations atmosphériques (P), la température (T), l'évapotranspiration (ETP) et l'infiltration (I), sont les principaux facteurs climatiques ayant une influence sur le régime hydrologique de la région.

### 3.1. Analyse des précipitations

On entend par précipitations la hauteur de la lame d'eau recueillie par le pluviomètre, quelque soit l'origine de cette eau, pluie, neige,...etc. Nous prenons en considération uniquement les précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur fondamental dans le comportement hydrologique de la région.

**Tableau 3 :** Pluviométrie moyenne mensuelles à la station de Séraïdi (1988- 2011).

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moy (mm)	68,7	109,4	166,3	204,0	188,8	117,8	121,8	106,1	55,0	21,2	6,6	21,5

**Figure 6:** Précipitations moyennes mensuelles interannuelles de Séraïdi (1988-2011)

L'établissement de l'histogramme des précipitations moyennes mensuelles pour la station de Séraïdi pour la période 1988-2011, montre que les maxima de la moyenne mensuelle des précipitations sont enregistrés durant les mois de Décembre et Janvier qui sont respectivement (204 mm et 170 mm). Le minimum est observé durant le mois de juillet avec la valeur de (6,6 mm) (Figure 6).

On constate que le massif de l'Edough reçoit des quantités de pluies relativement importantes. Le relief joue un rôle essentiel dans la répartition des précipitations sur les massifs montagneux les plus élevés et les plus proches de la mer. Cet accroissement de la pluviométrie de Séraïdi est principalement lié au gradient altimétrique de plus de (870 m).

### 3.1.1. Coefficient pluviométrique (H)

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (H). Ce paramètre est très important dans la détermination des années excédentaires et les années déficitaires. Il est défini par le rapport de la pluviométrie (P) d'une année à la pluviométrie moyenne  $\bar{P}$  d'une période d'observation.

$$H = \frac{P}{\bar{P}}$$

Avec : H : Coefficient pluviométrique,

P : Pluviométrie d'une année (mm).

$\bar{P}$  : Pluviométrie moyenne annuelle (mm).

Les hauteurs moyennes annuelles des précipitations (p) enregistrées durant la période d'observation est de l'ordre de 1187,20 mm.

Le coefficient pluviométrique est en relation proportionnelle avec la pluviométrie (Tableau 4).

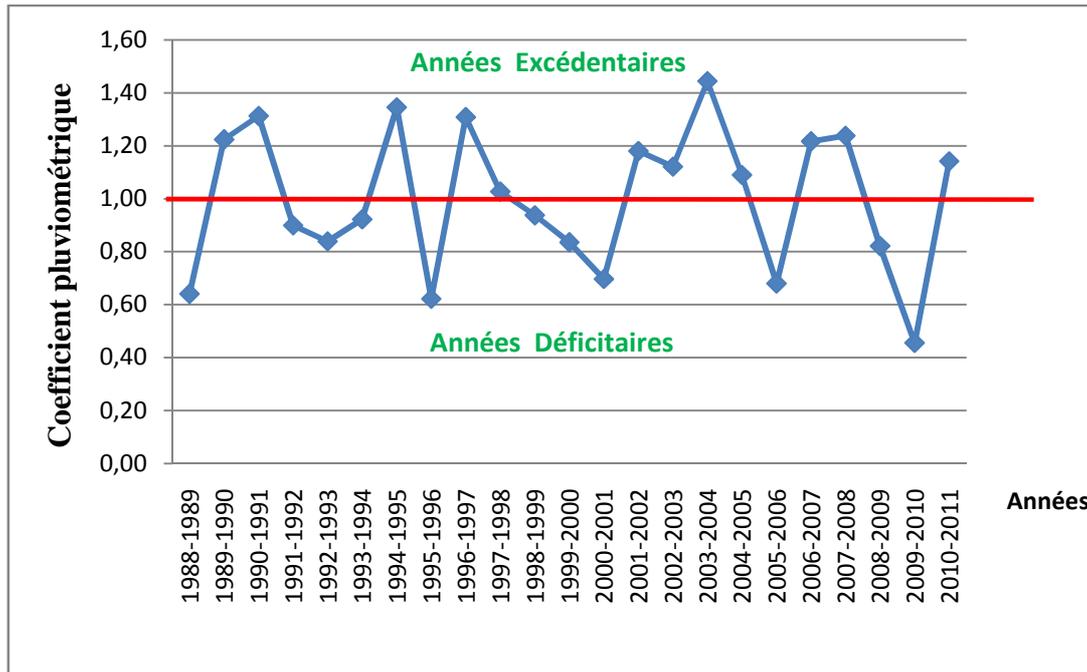
Nous avons deux cas

{	Si l'année est excédentaire (H > 1)
{	Si l'année est déficitaire (H < 1).

**Tableau 4:** Précipitations annuelles (mm) et Coefficient pluviométrique de la station de Séraïdi (1988-2011).

Année hydrologique	Hauteur annuelle des précipitations (mm)	Coefficient pluviométrique
1988-1989	760	0,64
1989-1990	1453	1,22
1990-1991	1559	1,31
1991-1992	1068	0,90
1992-1993	996	0,84
1993-1994	1095	0,92
1994-1995	1597	1,35
1995-1996	738	0,62
1996-1997	1554	1,31
1997-1998	1220	1,03
1998-1999	1113	0,94
2000-2001	827	0,70
2001-2002	1401	1,18
2002-2003	1331	1,12
2003-2004	1715	1,44
2004-2005	1294	1,09
2005-2006	807	0,68
2006-2007	1445	1,22
2007-2008	1470	1,24
2008-2009	975	0,82
2009-2010	541	0,46
2010-2011	1356	1,14
1999-2000	992	0,84

La forte pluviométrie enregistrée à Séraïdi est principalement lié au gradient altimétrique et à la proximité de la mer. Pendant les années fortement excédentaires, l'année hydrologique 2003-2004 correspond à un coefficient pluviométrique de l'ordre de 1.44, la pluviométrie atteint 1715 mm/an (tableau 4). C'est l'année la plus arrosée.



**Figure 7:** Les Variations des coefficients pluviométriques pour la station de Séraïdi (1988-2011).

L'analyse des courbes des variations du coefficient pluviométrique (figure 7), montre que le nombre des années déficitaires est presque identique aux années excédentaires. Les années excédentaires sont : 1989-1990; 1990-1991; 1994-1995; 1996-1997; 1997-1998; 2001-2002; 2002-2003; 2003-2004; 2004-2005; 2006-2007; 2007-2008; 2010-2011, le reste des ce sont des années déficitaires.

### 3.1.2. Variations des précipitations dans le temps

#### 3.1.2.1. Variations annuelles

Les années 1994-1995 et 2003-2004 sont les plus arrosées où les quantités des précipitations sont respectivement 1597 et 1715 mm/an. Par contre, les années 1988-1989; 1995-1996 ; 2009/2010 sont les plus sèches où les quantités des précipitations respectueusement sont 760, 737,8 et 540,5 mm/an (figure 8).

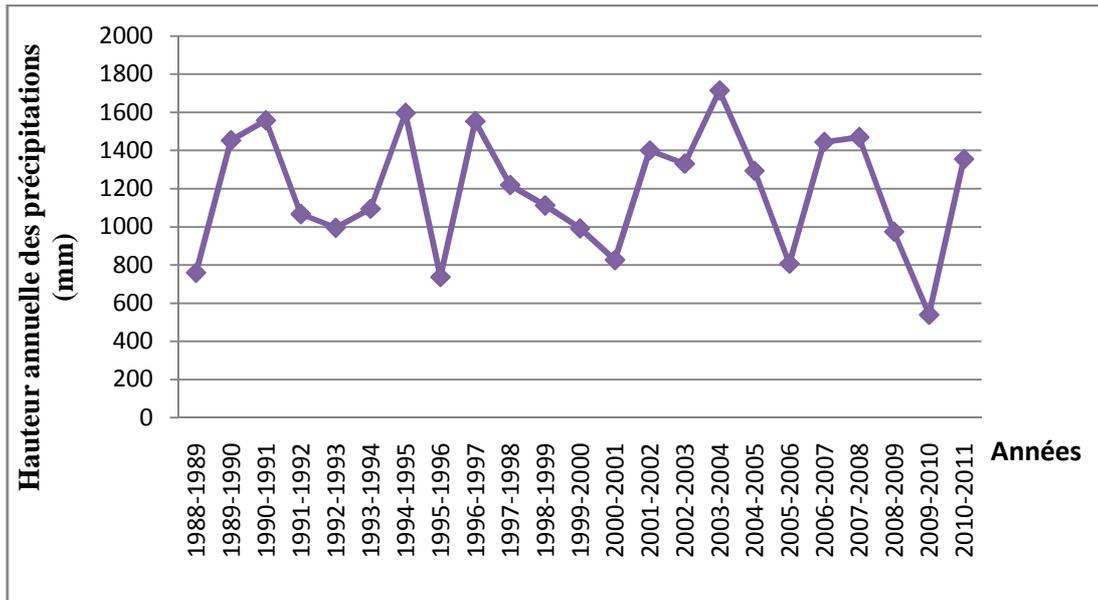


Figure 8: Variations des précipitations annuelles pour la station de Séraïdi (1988-2011)

**3.1.2.2. Variations moyennes mensuelles et saisonnières.**

Le tableau suivant donne un aperçu sur la répartition des précipitations moyennes mensuelles au niveau de la station Séraïdi sur une période d'observation qui s'étale sur 23 ans.

Tableau 5: Précipitations moyennes mensuelles de la station de Séraïdi (1988-2011).

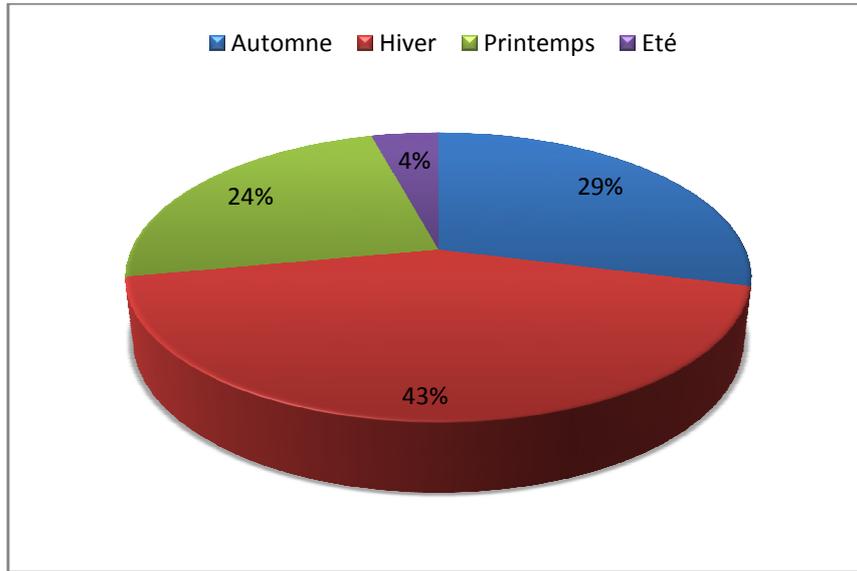
saisons	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Somme
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
P (mm)	68,7	109,4	166,3	204,0	188,8	117,8	121,8	106,1	55,0	21,2	6,6	21,5	1187,2
	344,3			510,6			282,9			49,3			
P (%)	29,00%			43,01%			23,83%			4,16%			100

Le tableau ci-dessus montre que les mois les plus pluvieux sont octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars et avril. Par contre, les mois de juin, juillet et août sont les moins pluvieux. On constate qu’au niveau de la station de Séraïdi, jugée représentative des hautes altitudes, plus de 85 % des pluies tombent entre les mois de octobre et avril, période la plus pluvieuse. Le mois de décembre enregistre le maximum de pluie (204 mm).

L’examen des résultats du (tableau 5) montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse pour les quatre saisons avec un taux de 43,01%.

La répartition des précipitations sur la saison du printemps et celle de l’Automne est presque identique ; elles représentent entre 23.83 % et 29% de la totalité des précipitations

pour les quatre saisons. En outre, L'été correspond à la saison sèche elle représente seulement 4,16 % de la totalité des pluies (figure 9).



**Figure 9 :** Répartition saisonnières des précipitations de la station de Séraïdi (1988-2011)

Les pluies tombent le plus souvent sous forme d'averses d'intensités variables. Le nombre moyen de jours de pluvieux est de l'ordre de 109 jours/an (tableau 6).

**Tableau 6:** Nombre moyen de jours de pluie dans la région de Séraïdi (Office National de la Météorologie)

Station	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Année
Séraïdi	9	9	14	15	14	11	11	11	6	4	1	3	109

### 3.2. Les températures

La température est un élément fondamental du climat, elle joue un rôle important dans les pertes en eau par le phénomène de l'évapotranspiration. Contrairement aux précipitations, les températures subissent un gradient thermique décroissant avec l'altitude.

#### 3.2.1. Variations moyennes mensuelles

Les valeurs de la température de la station de Séraïdi sont consignées dans le tableau ci-dessous pour une période d'observation de 23 ans (1988-2011).

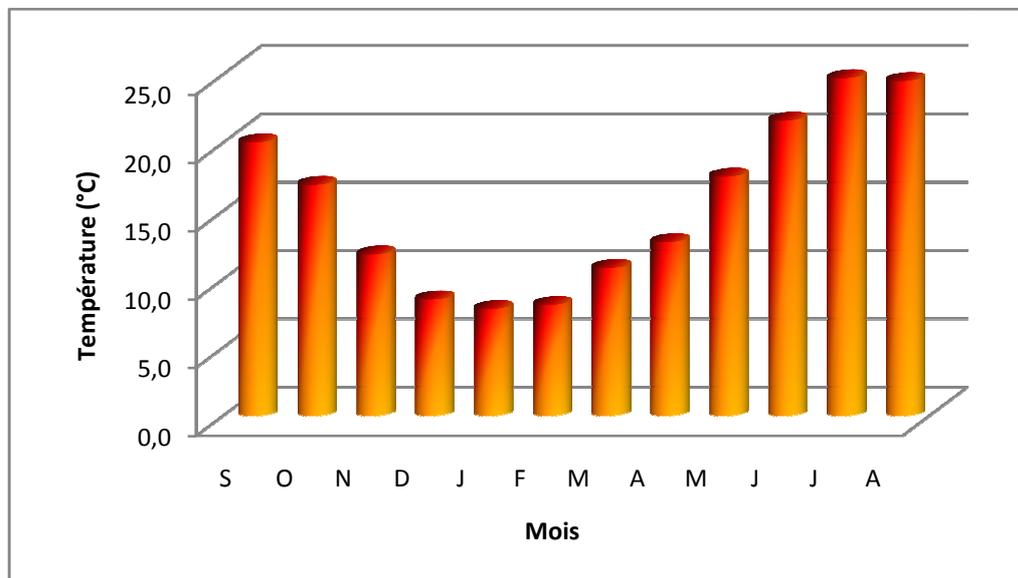
En effet, la température moyenne est de l'ordre de 15°C à la station de Séraïdi. Les minima s'observent durant la période hivernale (Décembre - Février). Au cours du mois de

Janvier, mois le plus froid, les thermomètres enregistrent des moyennes de l'ordre de 7 °C à Séraïdi.

**Tableau 7 :** Températures moyenne mensuelles à la station de Séraïdi (1988- 2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>Tem. Moy</b>	20,0	16,9	11,8	8,5	7,8	8,1	10,8	12,7	17,5	21,6	24,7	24,5
<b>Tem. Min</b>	12,2	7,4	9,0	6,1	5,0	3,9	8,6	9,6	12,6	17,9	20,8	17,0
<b>Tem. Max</b>	23,5	21,0	13,9	11,8	10,2	11,9	17,3	21,3	25,3	25,4	28,3	18,7

D'après l'histogramme des températures moyennes mensuelles (Figure 10). Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une température de 7,8 °C. Alors que le mois le plus chaud est celui de juillet avec une température de 24,7 °C.



**Figure 10:** Températures moyennes mensuelle à la station de Séraïdi (1988-2011)

### 3.3. L'humidité

Nous disposons des valeurs mensuelles et annuelles de l'humidité relative à la station de Séraïdi, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 65,3 % sur une période d'observation de 23 ans (1988-2011) (tableau 8). L'humidité atteint son minimum au mois de juillet avec une valeur de 59,3 % et un maximum au mois de décembre avec une valeur de 80,4 %.

**Tableau 8** : Humidité relative moyenne mensuelle de la station de Séraïdi (1988-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
H (%)	70,8	74,3	77,7	80,4	79,7	79,2	74,0	74,1	68,4	63,3	59,3	61,6	65,3

### 3.4. Le vent

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'après les données de la station météorologique de Séraïdi, les vents dominants sont du Nord au Sud. Pour caractériser le régime des vents nous avons dépouillés les données de la station météorologique de Séraïdi (tableau 9).

**Tableau 9**: Vitesse moyenne mensuelle du vent en (m/s) (Séraïdi 1988-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Le vent (m/s)	1,8	2,0	2,8	3,4	3,4	3,6	2,8	2,6	1,7	1,4	1,1	1,1	2,3

La vitesse moyenne annuelle du vent est 2,3 m/s. La vitesse moyenne mensuelle minimale du vent est de 1,1 m/s (Juillet et Aout), celle moyenne mensuelle maximale atteint 3,6 m/s (Février).

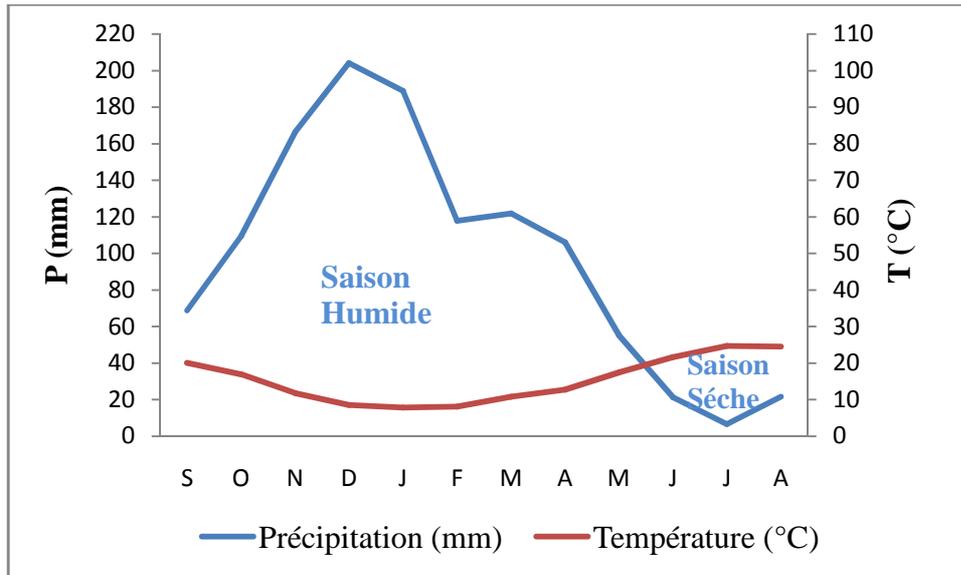
### 3.5. Courbe ombro-thermique

L'analyse des deux paramètres climatiques : température et précipitation permet de tracer la courbe ombro-thermique qui permet de mettre en évidence les deux périodes sèche et humide.

L'étude de la courbe ombro thermique sur une période 23 ans (1988-2011) (Figure 11), montre que la région de Séraïdi est caractérisée par deux (02) périodes.

- L'une humide et pluvieuse s'étalant du mois d'Octobre jusqu'à la fin d'Avril, caractérisée par une précipitation considérable atteignant 204 mm durant le mois de Décembre.
- L'autre sèche s'étalant du mois de mai jusqu'au la fin de Septembre avec un maximum de précipitation de 68.70 mm et une température moyenne maximale de l'ordre de 28.3 °C

On peut donc dire que la région de Séraïdi présente un climat méditerranéen caractérisé par deux saisons. L'une humide et pluvieuse et l'autre sèche.



**Figure 11:** Diagramme Ombro-thermique de la station de Séraïdi.

### 3.6. Détermination du type du climat (indice de Martonne E. De) :

Pour la détermination du type du climat Martonne E. De (1925 – 1927) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyenne annuelle :

$$A = P / (T + 10)$$

Avec :

A : indice d'aridité annuelle

P : précipitations moyenne annuelle en mm

T : température moyenne annuelle en °C

Selon Martonne E. De :

$A < 5$  : le climat est hyper aride.

$5 < A < 10$  : le climat est très sec.

$10 < A < 20$  : le climat est sec.

$20 < A < 30$  : le climat est tempère.

$A > 30$  : le climat est humide (écoulement abondant).

Pour notre cas :

$P = 1187,2$  mm

$T = 15,4$  °C

$$A = \frac{1187,2}{(15,4 + 10)} = 46,74$$

Les résultats de l'indice d'aridité trouvés pour la zone d'étude montrent que le climat est de type humide (écoulement abondant).

### 3.7. Evaporation du plan d'eau :

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpirée par le sol, et les végétaux. Voici des valeurs de l'évaporation du plan d'eau d'après la station météorologique de Séraïdi (en millimètre) représentée dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 10:** Evaporation moyenne mensuelle (Séraïdi 2001-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne
Evaporation (mm)	64,0	66,2	41,0	39,4	30,4	29,3	55,2	54,6	74,2	89,4	114,9	121,9	64,9

La moyenne mensuelle annuelle de la quantité d'eau évaporée dans la région de Séraïdi est 64,94mm/an. La grande quantité d'eau évaporée est enregistrée au mois d'Aout (121,9 mm), et on remarque que la quantité d'eau évaporée est diminuée au mois de Février (29,3 mm).

## 4. Bilan hydrique

Le but du bilan hydrique est d'établir une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, écoulement et évapotranspiration).

Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante :

$$P = R + ETR + I$$

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

## 4.1. Evapotranspiration

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations. Elle résulte de la combinaison de deux phénomènes ; l'évaporation (processus physique) et la transpiration (phénomène biologique), on distingue ;

- Evapotranspiration potentielle (ETP).
- Evapotranspiration réelle (ETR).

### 4.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

C'est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer et respirer sur une surface limitée et pendant une période bien définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration, on utilise la formule de C.W. Thornthwaite (1948):

#### 4.1.1.1. Formule de C.W. Thornthwaite (1948)

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

Avec; ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

t : Température moyenne mensuelle (°C).

i : Indice thermique mensuel.

K : Coefficient de correction.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Avec} \quad i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,5}$$

$$a = \left( \frac{1,6}{100} \right) I + 0,5$$

L'application de la formule de C.W. Thornthwaite conduit aux résultats réunis dans le tableau suivant ;

**Tableau 11** : Résultats de l'ETP (en mm) selon la formule de Thornthwaite.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
I	8,16	6,32	3,67	2,23	1,96	2,08	3,21	4,10	6,66	9,16	11,23	11,09	69,90
ETP (mm)	90,35	64,79	32,12	17,80	16,63	17,27	33,34	46,28	85,51	121,20	153,04	141,30	819,60

### 4.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR)

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement, la somme de l'évapotranspiration et de transpiration réelle pour une surface donnée. Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle, nous utilisons la formule suivante :

#### 4.1.2.1. Formule de Turc (1961)

Cette formule tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climats, la formule est la suivante :

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

Où ; P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

L = 300 + 25t + 0,05t<sup>3</sup>; pouvoir évaporant de l'atmosphère.

T : Température moyenne annuelle (°C).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm/an).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant ;

**Tableau 12** : Résultats de l'évapotranspiration réelle (en mm) d'après la formule de Turc.

Stations	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)
Séraïdi	1187,2	15,4	867,61	512,8

## 4.2. Ruissellement

L'évaluation du ruissellement est impérative pour estimer l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface du sol, il est calculé selon deux formules :

✓ Formule de Tixeront Berkaloff ;

$$R = \frac{P^3}{3} \times (ETP)^2 \quad \text{si } P < 600 \text{ mm}$$

✓ Formule de Tixeront Berkaloff modifiée par Romantchouk (1974) (Daifallah 2008) ;

$$R = \frac{P^3}{3} \quad \text{si } P > 600 \text{ mm}$$

Avec : P : Précipitations moyennes annuelles (mm),

ETP : Evapotranspiration potentielle annuelle (mm),

R : Ruissellement (mm).

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 13** : Résultats du ruissellement (en mm) selon la formule de Tixeron-Berkaloff modifiée par Romantchouk

Stations	P (mm)	R (mm)
Séraïdi	1187,2	557,76

### 4.3. Infiltration

L'infiltration est calculée à partir de la formule générale du bilan, Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous ;

$$I = P - R - ETR$$

**Tableau 14** : Résultats du bilan hydrologique (en mm).

Stations	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I (mm)
Séraïdi	1187,2	512,8	557,76	116,64

## 5. Bilan hydrique selon la formule de C.W Thornthwaite

C'est la méthode la plus utilisée pour les climats sub-humides et semi-arides, elle permet de quantifier ou d'évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique (écoulement, infiltration et évapotranspiration). Il permet également de cerner plus précisément la notion de sécheresse.

L'estimation de l'évapotranspiration réelle établie par la méthode de Thornthwaite est liée au volume de précipitations ; trois cas peuvent se présenter :

- **1<sup>er</sup> Cas:** ( $P \geq ETP \implies ETR = ETP$ ): Il y a reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation (un sol saturé, quand il aura absorbé une lame d'eau équivalente à une précipitation de 100 mm), le surplus représentera l'écoulement superficiel.
- **2<sup>eme</sup> Cas :** ( $P < ETP \implies ETR = P + RFU$ ) : Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP.
- **3<sup>eme</sup> Cas:** ( $P < ETP$  et  $RFU = 0 \implies ETR = P$ ) : Dans ce cas, on aura un déficit qui représentera la quantité d'eau apportée pour l'irrigation (déficit agricole) (Zahi 2014).

Le tableau ci – dessous résume les calculs du bilan hydrologique pour la station de Séraïdi.

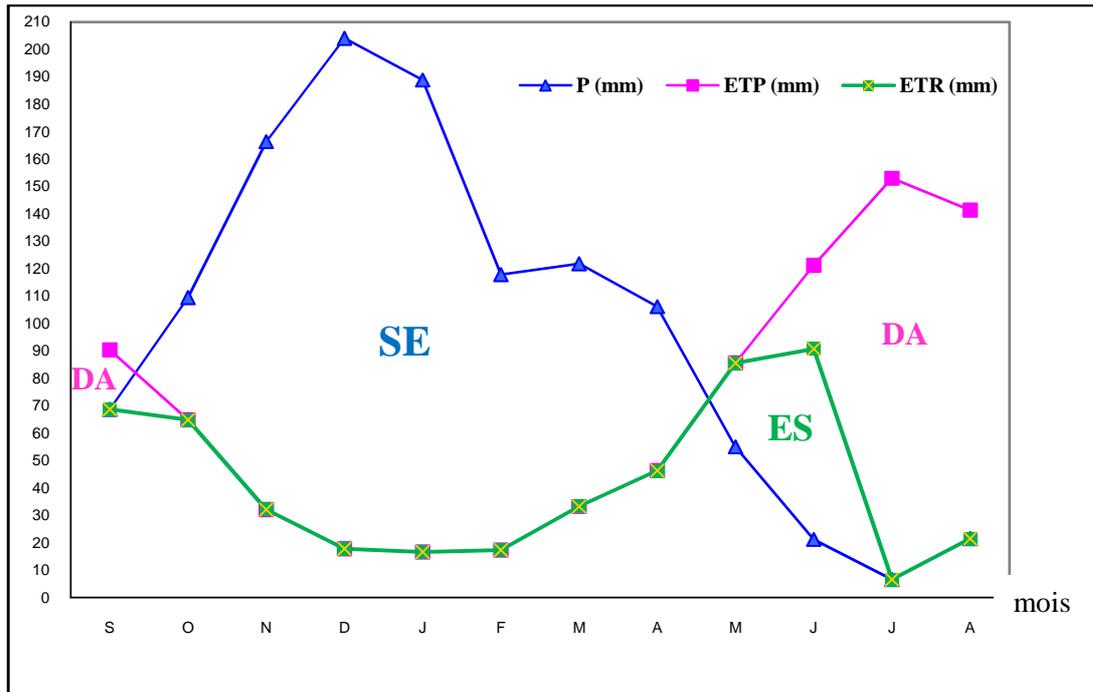
**Tableau 15:** Bilan hydrique d'après la formule de Thornthwaite (Station Séraïdi 1988-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>P</b> (mm)	68,70	109,40	166,30	204,00	188,80	117,80	121,80	106,10	55,00	21,20	6,60	21,50
<b>T</b> (°C)	20,00	16,90	11,80	8,50	7,80	8,10	10,80	12,70	17,50	21,60	24,70	24,50
<b>I</b>	8,16	6,32	3,67	2,23	1,96	2,08	3,21	4,10	6,66	9,16	11,23	11,09
<b>K</b>	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16
<b>ETP</b> (mm)	90,35	64,79	32,12	17,80	16,63	17,27	33,34	46,28	85,51	121,20	153,04	141,30
<b>ETR</b> (mm)	68,70	64,79	32,12	17,80	16,63	17,27	33,34	46,28	85,51	90,69	6,60	21,50
<b>RFU</b> (mm)	0,00	44,61	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	69,49	0,00	0,00	0,00
<b>Exc</b> (mm)	0,00	0,00	78,79	186,20	172,17	100,53	88,46	59,82	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>DA</b> (mm)	21,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,52	146,44	119,80

### 5.1. Interprétation du bilan de Thornthwaite

L'interprétation du bilan hydrologique calculé par la méthode de Thornthwaite pour la station, nous a permis de constater les précipitations sont importantes de 1187,2 mm.

L'observation de l'allure des courbes de la station de Séraïdi (figure 12) montre que l'évapotranspiration atteint son maximum au mois de juillet avec une valeur de 153,04 mm, ce qui provoque un déficit agricole nécessitant une irrigation en mois du juillet, août et septembre. A partir du mois d'octobre, on assiste à une reconstitution du stock qui devient important entraînant une RFU maximale (SE), et ceci jusqu'au mois d'avril où l'épuisement du stock commence



**Figure 12** : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite de la station de Séraïdi (1988-2011) (DA : Déficit agricole, SE : Surplus d'eau, ES : Epuisement du stock)

## 6. Conclusion

L'analyse des données climatiques de la station météorologiques de Séraïdi nous a permis d'attribuer à la région d'étude un climat de type humide (méditerranéen) caractérisé par deux saisons distinctes :

L'une humide marquée par une forte pluviosité allant du début du mois de Septembre jusqu'au début de Mai par de faibles températures, l'autre est sèche, relativement courte s'établant de la fin du mois Mai jusqu'au début de mois de Septembre.

La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1187,2 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 15,4 °C.

La reconstitution du stock commence en novembre et s'achève en avril. L'épuisement du stock du sol s'observe en mai, ce qui provoque un déficit agricole (DA) nécessitant une irrigation surtout pour la période allant de juin jusqu'à octobre.

*Chapitre 04*  
*Hydrogéologie*

## 1. Introduction

L'eau douce est une ressource vitale, elle peut être contaminée dans son milieu naturel par des éléments polluants provenant des rejets qui y sont déversés ou se trouvant dans les terrains traversés. Cette ressource doit être protégée, de la prolifération de plusieurs maladies ou d'épidémies touchant la santé humaine.

L'approvisionnement en eau des petites collectivités rurales des pays en développement est encore loin d'être satisfaisant. De nombreux projets et programmes s'efforcent de l'améliorer en agissant suivant deux axes :

- ✓ faciliter l'accès au point d'eau (éventuellement le rapprocher) ainsi que les conditions de puisage, ce qui a pour effet d'accroître les quantités d'eau consommées.
- ✓ Isoler les points d'eau des sources de pollution, ce qui améliore la qualité de l'eau consommée.

Dans notre région d'étude, nous avons deux types de ressources en eau. Que nous allons l'exposer dans ce chapitre.

Dans notre région d'étude, nous avons deux types de ressources en eau.

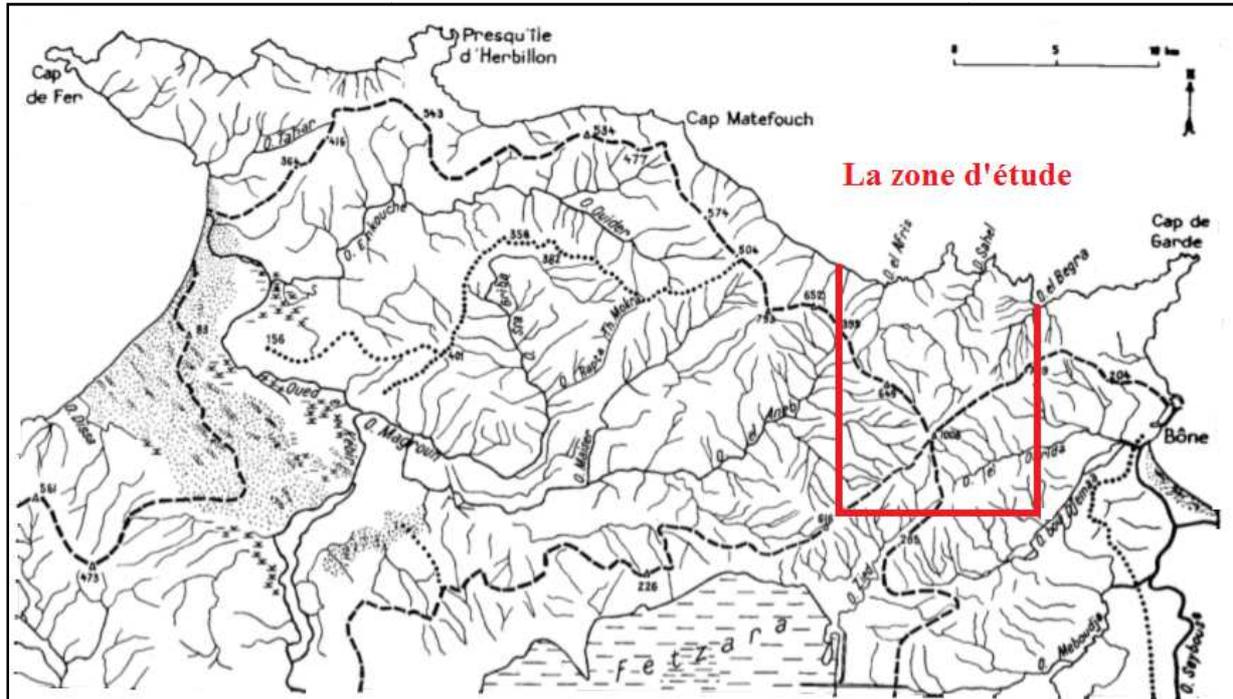
## 2. Les types de ressources en eaux :

### 2.1. Les eaux de surfaces :

Les principaux cours d'eaux de la région d'étude sont représentés par des oueds à caractère torrentiel, qui se déversent dans la méditerranée. Ces oueds à cause des fortes pentes provoquent, en période de pluies les crues qui peuvent inonder toutes les basses vallées. C'est le cas de l'Oued El Afris, Oued Sahel, Oued Begraât et des autres oueds du versant sud de l'Edough qui s'écoulent vers la plaine ouest d'Annaba (Oued Ourida) et le Fetzara (oueds Zied et Aneb) (PDAU 1998).

On peut distinguer, dans la zone montagneuse, quatre bassins versants délimités, au moins partiellement, par les lignes de crêtes du Djebel Edough et de la chaîne côtière des massifs du Chaiba et du Cap de Fer. Ils ont un point commun : le kef Seba, point culminant de la région (1008 m). Ces bassins sont les suivants : Au Nord, le domaine des oueds côtiers ; à l'Est, le bassin des affluents de la Seybouse ; au Sud, le bassin des affluents du Fetzara ; à l'Ouest, le bassin des affluents de l'Oued el Kebir (figure 13). (Hilly 1962). Les principales particularités des cours d'eau de la commune consistent dans l'irrégularité

de leur débit soumis au régime torrentiel. Un grand nombre d'entre eux sont complétement à sec une bonne partie de l'année.



**Figure 13:** Carte hydrographique du massif de l'Edough (Echelle : 1/300 000). En tirée et en pointillé, limite des bassins versants principaux et secondaires (Hilly 1962)

## 2.2. Les eaux souterraines :

La région présente une nappe phréatique superficielle, en bordure du massif métamorphique dans les alluvions récentes, elle est exploitée par des puits domestiques de quelques mètres de profondeur dans les points les plus bas et pendant la saison des pluies. Le niveau piézométrique remonte en surface.

Les niveaux de cipolins dans les schistes et les zones d'amphibolites en général peuvent aussi contenir des poches d'eaux. Dans le flysch numidien les grès peuvent contenir un niveau phréatique, les granites et les gneiss lorsqu'ils sont altérés peuvent aussi donner naissance à des sources (Ain Achour, source du Curé ..... ) (PDAU 2012).

## 2.2.1. Quelques définitions

### a. Sources et aquifères

L'existence d'une source est liée à l'affleurement ou l'émergence d'une nappe d'eau souterraine contenue dans une roche perméable que l'on appelle "aquifère".

Il existe plusieurs types de sources, correspondant à plusieurs natures d'aquifères et des conditions d'émergence différentes selon la nature du sous-sol, le relief, la végétation, l'exploitation humaine, .....etc (Archambault 1987).

### b. Capter une source

C'est capter et exploiter l'émergence d'une nappe, dont le comportement est toujours particulier et sujet à modification (figure 14). Mais un captage ne se résume pas à la seule chambre de captage, dont nous étudions les différents modes de mise en place.

C'est bien sûr drainer et concentrer. Mais c'est aussi distribuer une eau de bonne qualité pour chacune des utilisations traditionnelles de la communauté boisson, lessive, toilette, abreuvement, irrigation. La réussite du captage dépend donc beaucoup de la qualité des aménagements. La qualité sanitaire, en particulier, est liée à la protection de l'eau et des ouvrages.

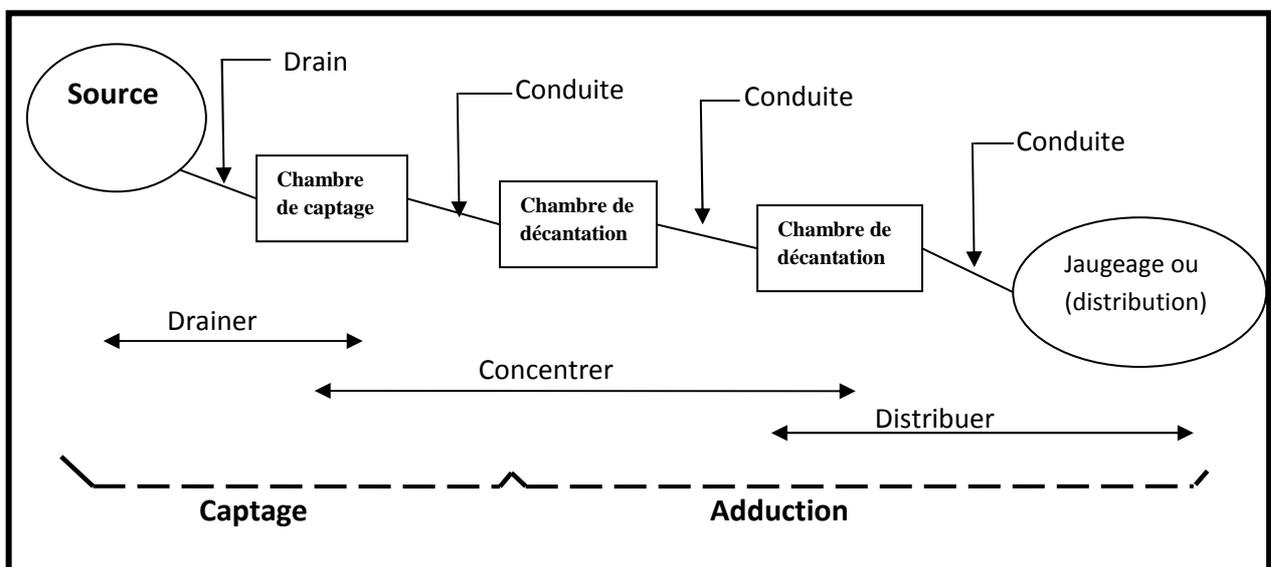


Figure 14 : Les éléments d'une source aménagée

## 2.2.2. Les principaux types de sources

Une source est généralement caractérisée par son mode d'apparition localisé ou diffus, et par le lieu topographique de son émergence : haut, milieu, bas de pente, rupture de pente, changement géologique, ....etc.

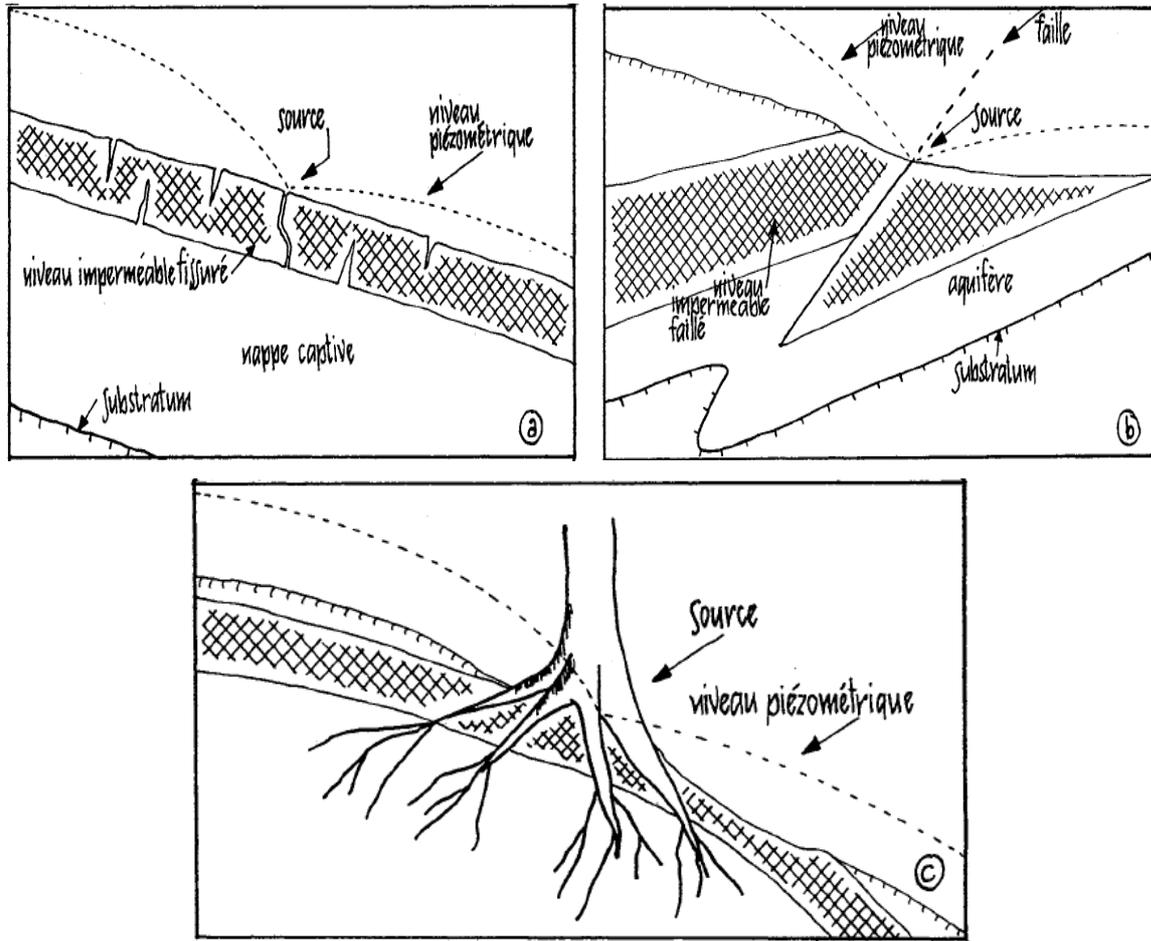
### 2.2.2.1. Les sources artésiennes

Ce sont des sources jaillissantes. Elles jaillissent d'une nappe emprisonnée sous pression dans le sol. Elles jaillissent dans les pentes, parfois au bas des pentes, sans qu'il y ait nécessairement dans le relief et la géologie une anomalie qui en signale l'emplacement (figure15).

Ce sont des sources d'aquifères captifs, dont l'altitude du niveau piézométrique est supérieure à celui du sol. L'eau circule "sous pression" depuis l'aquifère jusqu'à la surface du sol, à travers les fissures du toit de la nappe. Ce toit peut être constitué de roches meubles ou consolidées.

S'il est constitué de roches consolidées (figure 15 a-b), l'eau ne circule que dans des fissures très localisées. Les sources présentent des arrivées d'eau regroupées dont les alentours sont secs. Sources ponctuelles, elles seront captées comme telles et leur débit ne pourra être amélioré de façon significative.

Une roche meuble, au contraire, ne présente pas de fractures (figure 15c). Dès lors ce sont les racines des grands arbres qui jouent le rôle de drains en traversant le toit de la nappe.



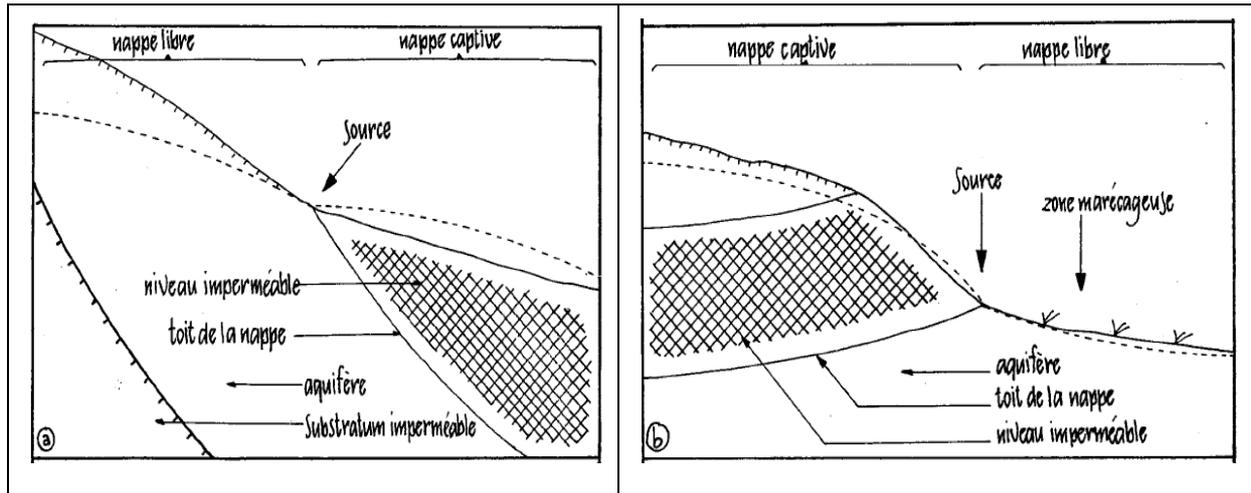
**Figure 15:** Sources artésiennes (a-b : à travers un toit de roches consolidées. c : sources "de racines").(Archambault 1987).

### 2.2.2.2. Les sources par débordement

L'aspect de ces sources aux arrivées d'eau très diffuses est variable suivant la situation dans laquelle elles se trouvent par rapport à l'aquifère (figure 16 a).

Ces sources apparaissent dans des zones où la nappe d'un aquifère captif devient libre par affleurement de la base du toit imperméable.

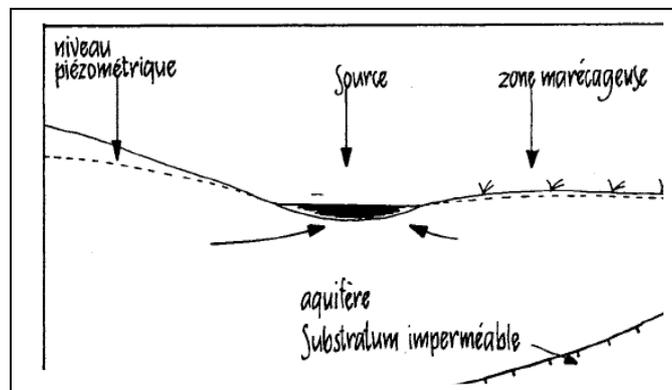
Il existe alors deux configurations possibles : soit la partie libre de la nappe est située en amont de la partie captive, c'est la disposition qu'on rencontre au niveau des zones de recharge des aquifères à nappe captive (figure 16a), soit la partie libre se trouve en aval de la partie captive et c'est la disposition qu'on rencontre au niveau des exutoires (figure 16b).



**Figure 16 :** Sources par débordement (a : source située en amont de la partie captive de l'aquifère ; b : source située en aval de la partie captive de l'aquifère).

### 2.2.2.3. Les sources par émergence

Ce sont les sources typiques de zones au relief très peu accentué des régions de bouclier (figure 17). On les rencontre directement en amont de zones marécageuses étendues. Ces sources correspondent à l'affleurement de la zone saturée d'un aquifère à nappe libre, nappe alluviale ou nappe de vallée.

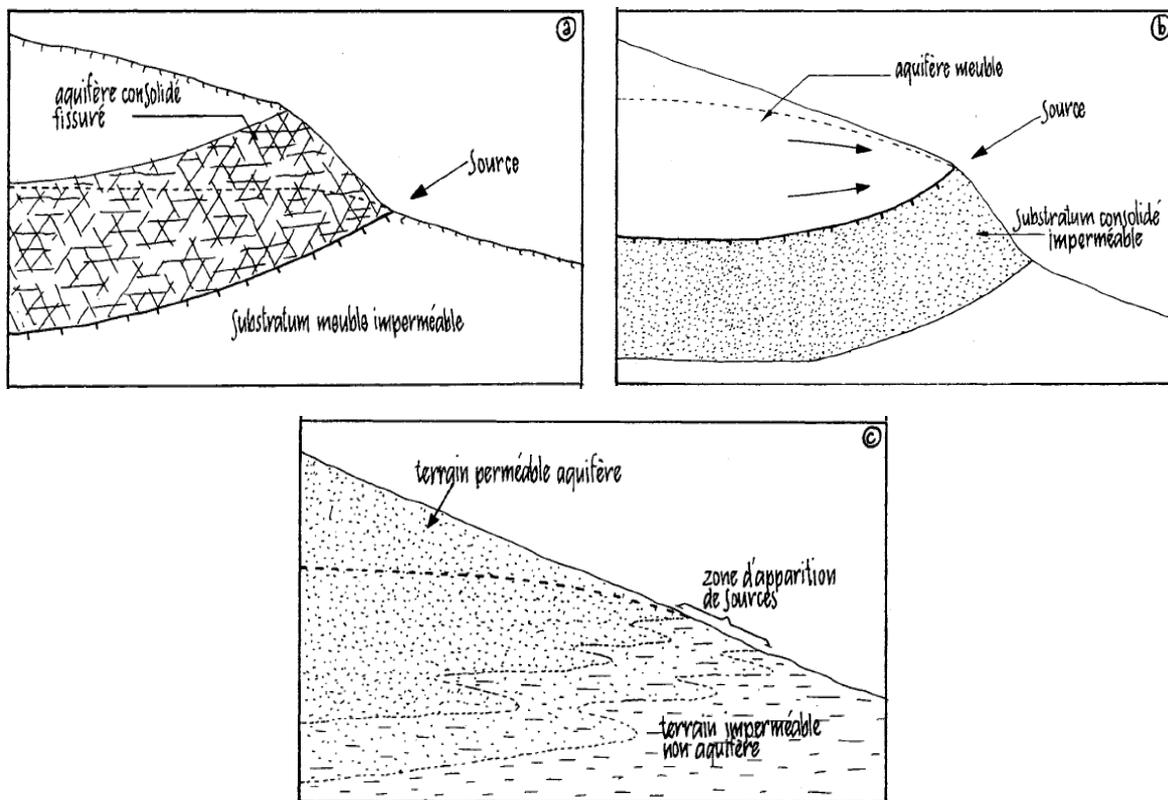


**Figure 17:** Source par émergence.

### 2.2.2.4. Les sources par déversement

Ce sont des sources drainant le plus souvent des niveaux perchés, liées à l'affleurement du substratum de la nappe qui est libre (figure 18). On les trouve à mi-pente dans des régions au relief plutôt marqué. Leur emplacement est souvent signalé par une rupture de pente. Ces sources sont rarement isolées et s'échelonnent le long de la ligne d'affleurement du substratum, à la faveur des points bas de celui-ci. On parle d'une ligne de sources.

On distingue trois catégories de sources par déversement suivant le contraste lithologique entre aquifère à nappe libre et substratum



**Figure 18:** Sources par déversement (a: sur substratum meuble ; b: sur substratum consolidé; c : par variation progressive perméabilité).

Si le substratum est formé de roches meubles et l'aquifère de roches consolidées (figure 18 a), les sources apparaissent au bas de ruptures de pente. Ces ruptures sont dues au passage de la roche dure et fissurée de l'aquifère à la roche meuble du substratum.

Si c'est l'aquifère qui est formé de roches meubles et le substratum de roches consolidées (figure 18b), les sources sont généralement situées en haut de ruptures de pente formées par l'affleurement du substratum plus résistant.

Si les roches de l'aquifère et du substratum sont identiques (figure 18 c), la variation de perméabilité et la variation de teneur en argile et de degré d'altération provoquent l'apparition de la source.

### 2.2.2.5. Les résurgences

Dans les milieux fissurés, dans les régions où l'altération karstique a profondément entaillé des calcaires massifs mais aussi parfois dans celles où la cuirasse latéritique suffisamment puissante, altérée et fracturée présente des fissures largement ouvertes, le réseau hydrographique superficiel et le réseau souterrain sont en relations permanentes par un jeu de pertes et de résurgences.

On devra donc s'assurer, chaque fois que l'eau jaillit au bas d'un talus ou d'une falaise formée de roches dures et fissurées, calcaires ou cuirasse latéritique, qu'il s'agit bien d'une source (Archambault 1987).

### 2.2.3. Les eaux de sources de la commune de Séraïdi

La région d'étude est formée essentiellement par des roches altérables telles que les schistes et grés, les terrains de la commune renferment des réserves d'eau assez importantes. Les niveaux de cipolins dans les schistes et les zones d'amphibolites en général peuvent aussi contenir des poches d'eaux. Dans le flysch numidien les grés peuvent contenir un niveau phréatique, les granites et les gneiss lorsqu'ils sont altérés peuvent aussi donner naissance à des sources (PDAU 1998). Il existe plusieurs sources à l'échelle de la commune :

- Sources à débits irréguliers,
- Sources utilisées en Fontaines,
- Sources à débits faibles (abandonnées).

Le tableau suivant montre les coordonnées des sources à travers la commune de Séraïdi qui ont été géo-localisées avec le système de positionnement géographique (GPS).

**Tableau 16:** Coordonnées des sources à travers la commune de Séraïdi

N°	Nom de source	Coordonnées des sources en NTU		
		X	Y	Z
1	El Anser	32S 0382429	4085752	819
2	Ain Mouhkim	32S 0382364	4085019	778
3	Parck au Jeu	32S 0381599	4085539	829
4	Ain El Rahma	32S 0381607	4085574	831
5	Ain Achour	32S 0385803	4074284	803
6	Benjaballah	32S 0381424	4085530	776
7	Alali Hocine	32S 0378937	4085103	869
8	Dar Mzata	32S 0379144	4085002	869
9	Groupage	32S 0378625	4084569	922
10	Ain Kcher	32S 0352740	4084164	930
11	El Nchaa	32S 0371710	4092281	349
12	El ka	32S 0370639	4092907	455
13	Ain El Garita	32S 0382183	4085506	378
14	Ain Chetabb 1	32S 0369969	4093794	475
15	Ain Chetabb 2	32S 0369973	4093811	475
16	Ain Fedha	32 S 0379700	4084278	811
17	Bouhadada (Source de Curré)	32S 0381571	4085076	817
18	Ain El Gaid	32S 0371707	4092320	820
19	Dar Lekhel	32S 0379212	4085144	811
20	Oued El Zouz	32S 0378991	4084118	955
21	Oued Rbiba	32S 0379311	4084254	821
22	Wichaoui	32S 0380996	4085108	732
23	El Gab	32S 0381101	4085500	684
24	El Hrig	32S 0380963	4085672	669
25	Chaiba	32S 0380956	4085668	698
26	Mizeb	32S 0382108	4084589	678

### 2.2.4. Les puits :

La région présente une nappe phréatique superficielle, en bordure du massif métamorphique dans les alluvions récentes, elle est exploitée par des puits domestiques de quelques mètres de profondeur dans les points les plus bas et pendant la saison des pluies.

Cette nappe peut remonter à la surface (PDAU 2012). Les puits ont un débit moyen de l'ordre de 1 l/s et la profondeur moyenne est de 10 m.

Le tableau suivant indique la localisation et le nombre des puits

**Tableau 17** : La localisation et le nombre de puits.

N°	Localisation	Nbre de puits	Nature du Puits
1	Rue Institution Pédagogique	8	IND
2	Cité Belle Vue	3	IND
3	Cite Sidi Tameme	2	IND
4	Centre PTT	1	IND
5	Cite 08 Mai 1945	4	IND
6	Cite Oued Cheioux	3	IND
7	Cite Barouaka	3	IND
8	Rue Mazouzi Hacene	4	IND
9	Rue Tabet Hocine	6	IND
		2	COLL
10	Rue El Montazah	1	IND
		6	COLL
11	Rue Seyaghi Salah	10	IND
12	Cite Parc au jeu	9	IND
13	El Hamra	1	IND
14	Dar El Bagara	1	IND
15	Cité Mehkim	1	IND
16	Cité L'Edough	3	IND
17	Place Emir Abd El Kader	1	IND
18	Route Annaba	1	IND
19	Rue Bouzizi	11	IND
		2	COLL
<b>Total</b>		73	IND
		10	COLL

IND : individuel

COLL : collectif

*Chapitre 05*  
*Gestion des Ressources en Eau*

## 1. Introduction

La gestion efficace et durable des eaux est une opération complexe, qui nécessite une nouvelle approche permettant l'amélioration de la situation hydrique des pays et par la même réaliser le développement durable qui prend en compte les politiques et les conventions adoptées à l'échelle internationale. Toute approche ne peut réussir sans prendre en considération les intérêts de tous les acteurs et les besoins d'un état en matière de la gestion efficace des ressources en eau.

L'accroissement de la demande en matière d'eau alors que les ressources sont limitées, et parfois non renouvelables, et la parution de nouveaux modes de vie et de nouvelles industries ont abouti à la consommation excessive de l'eau. De même, le problème devient plus complexe lorsqu'il s'agit de pays partageant la même ressource ou le même cours d'eau.

La concurrence est de plus en plus rude entre la ville et la campagne, entre le secteur industriel et le secteur touristique en matière d'eau et d'irrigation.

De plus, la croissance démographique galopante, l'accroissement de l'urbanisation et de l'industrialisation ont eu pour conséquence l'augmentation de la demande en matière d'eau. Par ailleurs, la désertification, la pollution de l'environnement, l'impact négatif des changements climatiques (sécheresse, inondation) commencent à ravager de grandes superficies du monde ; sachant que les ressources en eau ont subi des modifications profondes sur le plan quantitatif et qualitatif, et ont entravées les cours d'eau et les lieux de stockage (barrages ; lacs ; aquifères souterrains) ce qui a eu un impact négatif sur la sécurité de l'approvisionnement en eau.

La gestion optimale des ressources en eau est le choix idoine pour planer sur ce problème de grande importance. En effet, sans une utilisation optimale de l'eau on ne peut répondre aux besoins de tous les secteurs en matière d'eau.

## 2. La gestion de la demande en eau

La gestion de la demande en eau doit permettre l'adoption de pratiques visant à :

- ❖ augmenter le niveau d'économie de l'eau, en assurant une utilisation efficace maximale ;
- ❖ protéger et améliorer la qualité de l'eau distribuée, pour répondre aux exigences de la demande ;
- ❖ augmenter les réserves en eau, en utilisant des ressources d'eau non-conventionnelles ;

- ❖ envisager un approvisionnement varié en eau, selon les secteurs utilisateurs et en fonction des divers degrés de qualité d'eau (Bentahar 2014).

### 3. Etude démographique :

#### 3.1. Introduction

La mobilisation de l'eau se fait à partir des différents types de ressources (forages, puits, Source,...), pour répondre à l'alimentation en eau potable « AEP », et aux besoins en eau d'irrigation.

#### 3.2. La Population

La Commune de Séraïdi représente 1% de la Wilaya d'Annaba d'après le dernier recensement fait en 2008. Comme le montre la figure19 avec une population (estimée en 2008) à 7580 Habitants dont 82 % sont concentrés au niveau du Chef Lieu de Commune. La densité moyenne de cette population est de 55 hab./km<sup>2</sup>, avec un taux d'accroissement démographique de l'ordre de 3,4% .

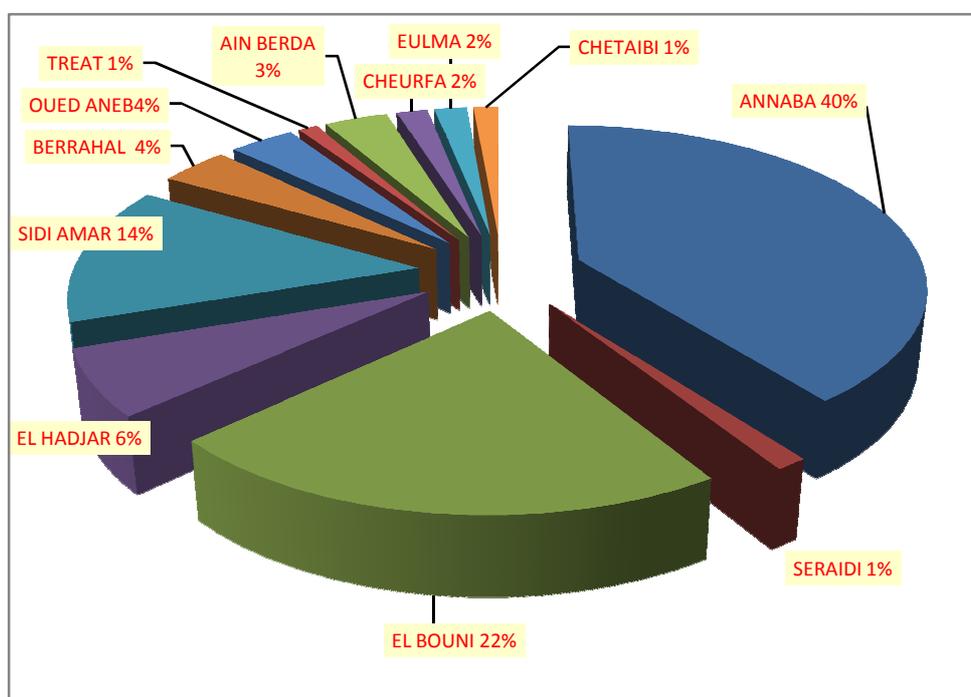


Figure 19: Répartition de la population de la wilaya d'Annaba.

### 3.3. Evolution de la population à travers les RGPH en 2008

Les données de population actualisées sont celles relatives aux résultats de l'enquête préliminaire du recensement de 2008 (figure 20). Cette enquête s'est déroulée en 2007.

Selon les données de la RGPH (RGPH 2008), la population est répartie sur la commune de SÉRAÏDI comme suit :

- Population agglomérée chef-lieu : 6208 hab. soit 81,90 % de la population totale.

- Population des agglomérations secondaires :

- BOUZIZI : 819 hab. soit 10,80 % de la population totale.

- Population des zones éparses :

- AIN BARBAR : 67 hab. soit 0,88 % de la population totale.
- ROMANET : 15 hab. soit 0,20 % de la population totale.
- Zones éparses : 471 hab. soit 6,21 % de la population totale.

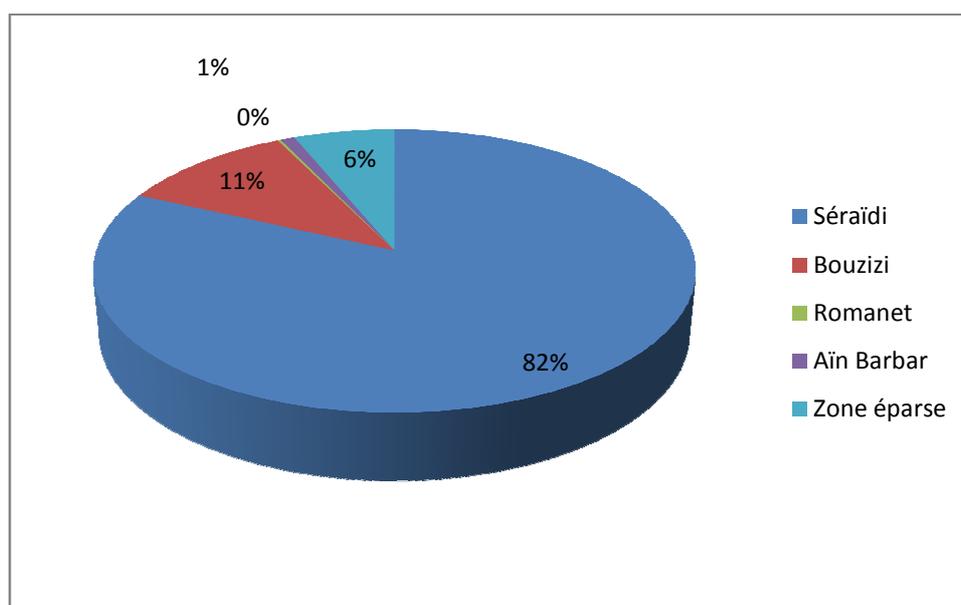


Figure 20: Répartition géographique de la population de Séraïdi (2008)

### 3.4. Estimation de la population future par zone

On fait une estimation de la population future en utilisant le taux d'accroissement annuel moyen, et en appliquant la formule suivante :

$$P_n = P_2(1 + \alpha)^n$$

Avec :

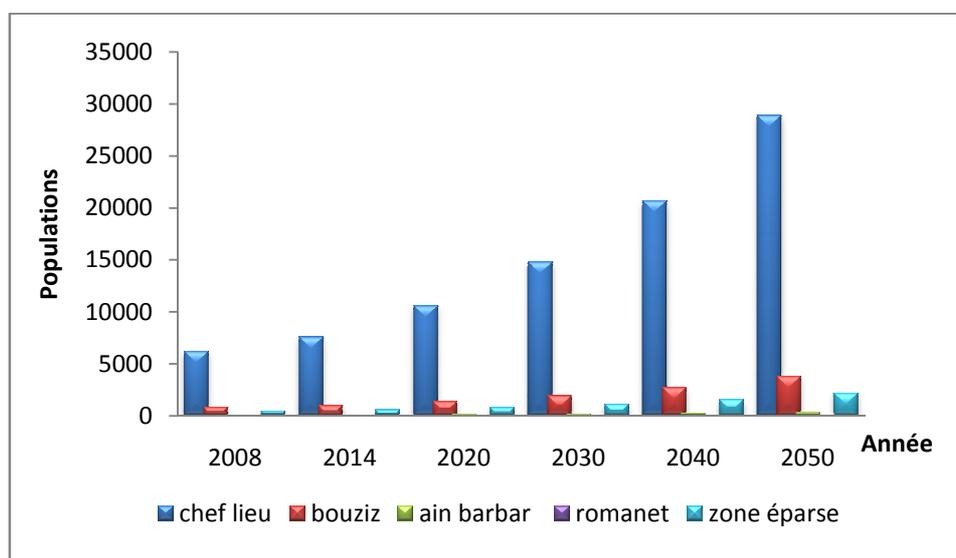
$P_n$  : Population à l'année  $t_n$

$n = t_n - t_2$

L'application de la formule d'estimation de la population future, expliquée ci-dessus, nous conduit vers les résultats présentés dans le tableau suivant, dont la population totale estimée à l'horizon 2050 est à **35287** habitants.

**Tableau 18:** Evolution de la population dans les différentes cités de la commune de Séraïdi (2008-2050)

Zone Année	Nombre de population par zone (hab)					Commune de Séraïdi
	Chef lieu	Bouzizi	Ain barbar	Romanet	Zone éparse	
2008	6208	819	67	15	471	7580
2014	7587	1001	82	18	576	9264
2020	10599	1398	114	26	804	12942
2030	14808	1954	160	36	1123	18080
2040	20687	2729	223	50	1569	25259
2050	28900	3813	312	70	2193	35287



**Figure 21:** Estimation de la population de Séraïdi aux différents horizons

## 4. L'Alimentation en Eau Potable dans la commune de Séraïdi:

### 4.1. Historique :

A la création du village de Séraïdi les habitants construisent leur puits où ils captent l'eau des sources et des nappes.

L'eau de ces puits et ces sources serviront à l'alimentation en eau potable au fil des années et seront utilisés en eaux brute (pour les ménages et les jardins).

✓ avant 1928, la commune de Séraïdi à procédé au captage des sources de Bouzizi à environ 5 km au Sud-Ouest du village, les sources au nombre de 12 alimentent le village par gravité avec une conduite d'un diamètre de 100 mm.

✓ en 1928 le captage de la source supérieure de l'oued Chioukh à 500 m à l'ouest du village et l'installation d'un captage motopompe.

✓ en 1931 la construction d'une station de pompage au village ST Croix de l'Edough. A cette époque elle alimente une partie d'Annaba.

✓ En 1953 des sondages sont effectués aux sources de l'Oued Anja et laissent espérer en moyenne un débit de 500 à 1200 m<sup>3</sup>/j.

✓ En 1972 l'alimentation en eau à Séraïdi est assurée d'une manière exclusive à partir des sources de Bouzizi (inferieur et supérieur) et l'Edough.

Le débit total des apports d'eau en provenance de ces sources parviennent du château d'eau du village.

### 4.2. L'état actuel

La wilaya de Annaba est alimentée en eau potable essentiellement à partir des deux barrages (Meksa et Chaffia) situés à Taref. Les eaux sont acheminées vers la station de traitement principale Chaïba puis distribuées à travers les différents réseaux.

La commune de Séraïdi est desservie en eau potable par un réseau de distribution constitué de canalisation de type maillé d'un linéaire égal à 22 km dont les diamètres des canalisations varient de 90 à 250 mm. Le matériau utilisé est le PEHD sauf pour la conduite qui alimente l'Edough qui est en fonte. Le réseau est en bon état (PDAU 2012).

## 5. Les ressources en eau alimentant Séraïdi

### 5.1. A.E.P chef lieu Séraïdi

L'alimentation en eau potable de l'ACL se fait à partir de la station de pompage Sidi Harb à Annaba ( $4 \times 5000 \text{ m}^3$ ) à travers une conduite d'adduction  $\varnothing 100$  ainsi qu'un piquage sur la boucle Sidi Achour avec une conduite d'adduction  $\varnothing 250$  qui alimente un réservoir de  $700 \text{ m}^3$  puis un autre de  $1000 \text{ m}^3$ , le  $700 \text{ m}^3$  est alimenté en plus à partir de la source Laribi. Le réseau de distribution couvre en bonne partie le tissu du centre de Séraïdi, mais d'une façon sommaire les nouveaux sites d'auto construction (Dar Smair, Randa, Chioukh et Sidi Temam)(PDAU 2012).

### 5.2. A.E.P Agglomération Secondaire Bouzizi

Alimentée à partir d'un captage de source, une station de pompage refoule vers un réservoir de  $200 \text{ m}^3$ , le réseau de distribution couvre uniquement la cité de recasement et doit être étendu à toute la zone urbanisée.

### 5.3. A.E.P Agglomération Secondaire Ain Barbar :

Alimentée à partir d'un captage de source située à proximité de l'agglomération, un réservoir de  $300 \text{ m}^3$  alimente un réseau de distribution constitué d'une conduite principale en PEHD 160 couvre la totalité de l'agglomération.

### 5.4. A.E.P Agglomération Secondaire Romanet

Alimentée à partir d'une source située en bordure du CW 16, une station de pompage alimente 02 réservoirs de  $100 \text{ m}^3$ . Le réseau de distribution couvre pratiquement la totalité de l'agglomération (PDAU 2012).

**Tableau 19:** Les sources d'alimentation en eau potable de la commune de Séraïdi et leurs capacités de stockage (PDAU 2012).

Agglomérations	Source d'alimentation en AEP	Capacité de stockage (m <sup>3</sup> )
ACL	Station Sidi Harb	• 700
	Source Laribi	• 1000 • 300
		} 2000
AS Bouzizi	Source	• 500 • 200
		} 700
AS Romanet	Source	• 100
AS Ain Barbar	Source	• 300
	Total	3100

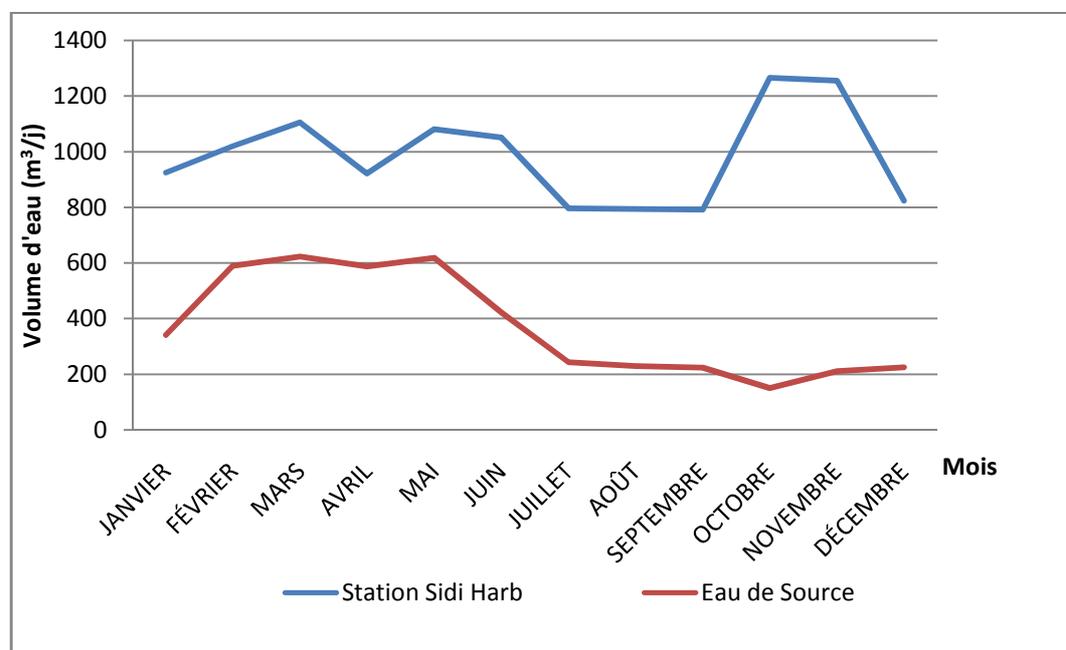
Toutefois, les quantités d'eau et les tranches horaires de distribution restent très insuffisantes. Ce problème est dû principalement aux branchements illicites ainsi qu'aux fuites.

Le tableau ci-dessous représente les quantités d'eaux destinées à l'alimentation en eau potable provenant d'Annaba à partir de la station de SIDI HARB qui représente 72,61% et des eaux de sources captées avec 27,39%.

**Tableau 20** : Volume mensuelle des ressources en eau (ADE 2015).

Mois	Station Sidi Harb (m <sup>3</sup> /j)	Eau de Source (m <sup>3</sup> /j)
Janvier	925,8	340,78
Février	1020,22	589,44
Mars	1105,81	622,84
Avril	921,43	587,07
Mai	1080,74	618,67
Juin	1051,33	422,43
Juillet	797,65	243,76
Août	794,3	230,07
Septembre	792,5	223,5
Octobre	1265,81	150,58
Novembre	1256	211,9
Décembre	825,16	225,00
Moy (m3/j)	986,40	372,17

Le volume total d'eau est de **0,50 Hm<sup>3</sup>/an**

**Figure 22**: Evolution du volume des ressources en eau

D'après la figure ci-dessus qui représente l'évolution du volume des ressources en eau on remarque qu'elle varie d'un mois à l'autre, et que le volume des eaux de sources captées diminue dans la période d'étiage qui s'étale entre les mois de juin à septembre.

## 6. Evolution de la demande en eau

La demande en eau potable est définie comme la somme des volumes à mobiliser pour satisfaire les différents besoins en eau potable tout en prenant en compte les pertes en réseaux des infrastructures d'hydraulique.

Les besoins « eau potable » correspondent aux volumes d'eau potable à distribuer « au robinet » pour satisfaire les différents usages répartis selon 3 grandes familles de consommateurs :

- Les **besoins domestiques** qui couvrent la consommation des particuliers,
- Les **besoins « autres usages »** qui couvrent les consommations liées à l'administration, les commerces et l'artisanat et petites industries,
- Les **besoins touristiques** qui couvrent les consommations spécifiques saisonnières liées à une activité touristique,
- Les **besoins d'irrigation qui couvrent la consommation liée aux différentes cultures connues**

### 6.1. Les besoins en eau domestiques

En Algérie, la conjugaison de la croissance démographique et du développement des secteurs industriel et agricole a entraîné un accroissement spectaculaire des besoins en eau; accroissement nettement plus important par rapport aux quantités mobilisées, au point où le déficit entre l'offre et la demande en eau risque de constituer, à long terme, un handicap insurmontable au développement et un impact négatif sur le plan socio-économique.

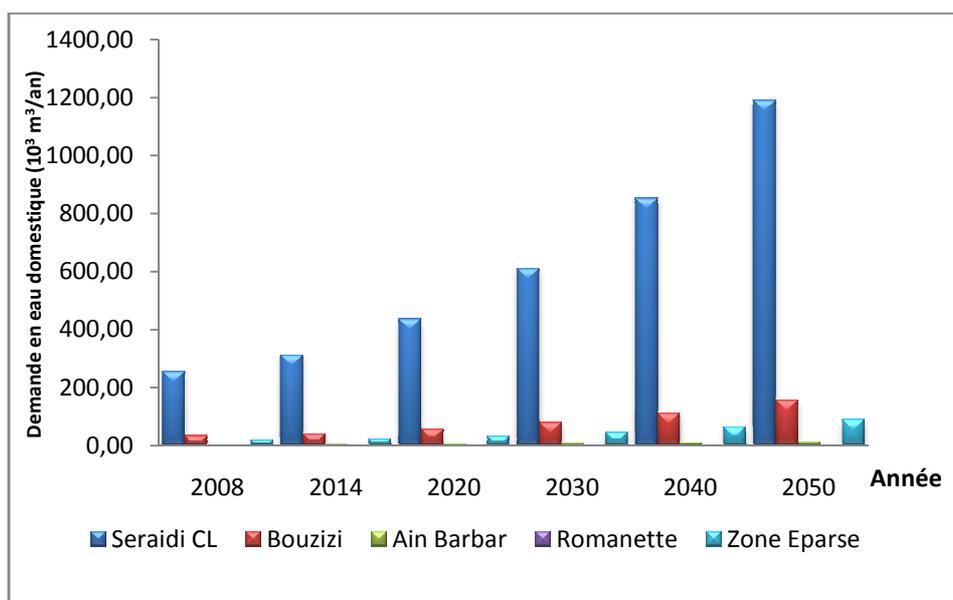
La dotation en eau potable est estimée à partir de l'évaluation des besoins en eau potable d'une agglomération selon son importance. Le débit unitaire est souvent normalisé sur la base de critères socio-économiques.

En se basant sur une dotation unitaire domestique de 150 l/hab/jour, nous avons évalué les besoins en eau domestiques aux horizons 2008, 2014, 2020, 2030, 2040, et 2050.

Les résultats des besoins domestiques sont donnés dans le tableau suivant :

**Tableau 21:** Besoins en eau domestiques pour les différents horizons

Besoin (x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /an)	2008	2014	2020	2030	2040	2050
<b>Séraïdi</b>	256,05	312,93	437,16	610,76	853,24	1191,98
<b>Bouzizi</b>	33,78	41,29	57,66	80,59	112,56	157,27
<b>Ain Barbar</b>	2,76	3,38	4,70	6,60	9,20	12,87
<b>Romanet</b>	0,62	0,74	1,07	1,48	2,06	2,89
<b>Zone Eparse</b>	19,43	23,76	33,16	46,32	64,71	90,45
<b>Total</b>	312,64	382,09	533,75	745,75	1041,77	1455,45



**Figure 23 :** Estimation des besoins en eau domestiques de la commune de Séraïdi

## 6.2. Les besoin d'équipements

La commune de Séraïdi dispose de plusieurs types d'équipement dispersés en zone. Représenté dans le tableau suivant :

**Tableau 22:** Les équipements de la commune de Séraïdi.

Zone	Types d'équipements			
	Scolaire	Sanitaire	Culturel	Sportif
<b>ACL Séraïdi</b>	2 primaires	Hôpital + salle de soin	02 Mosquées	Complexe sportifs CREPS
	1 secondaire	Clinique dentaire	Cimetière Chrétien	Maison des jeunes
<b>Bouzizi</b>	1 primaire	- Salle de soins	Salle de prière	-
<b>Ain Barbar</b>	1 primaire	Salle de soins	Salle de prière	-
<b>Romanet</b>	1 primaire	Salle de soins	Salle de prière	-

Pour connaître les besoins en eau de cette catégorie, on fait recours au calcul d'un coefficient de proportionnalité basé sur la projection de la situation réelle pour une situation future. Ce coefficient est en fait un rapport de la consommation annuelle des équipements sur la consommation annuelle de la population. Sa valeur est de l'ordre de 20% ( $K_1 = 20\%$ ) dans notre cas.

C'est ainsi que les besoins en eau des équipements sont estimés à 20% des besoins Domestiques (tableau 23, figure 24).

**Tableau 23 :** Besoins en eau des équipements pour les différents horizons

Année \ Zone	2008	2014	2020	2030	2040	2050
<b>Séraïdi CL</b>	51,21	62,59	87,43	122,15	170,65	238,40
<b>Bouzizi</b>	6,76	8,26	11,53	16,12	22,51	31,45
<b>Ain Barbar</b>	0,55	0,68	0,94	1,32	1,84	2,57
<b>Romanet</b>	0,12	0,15	0,21	0,30	0,41	0,58
<b>Zone Eparse</b>	3,89	4,75	6,63	9,26	12,94	18,09
<b>Total</b>	62,53	76,42	106,75	149,15	208,35	291,09

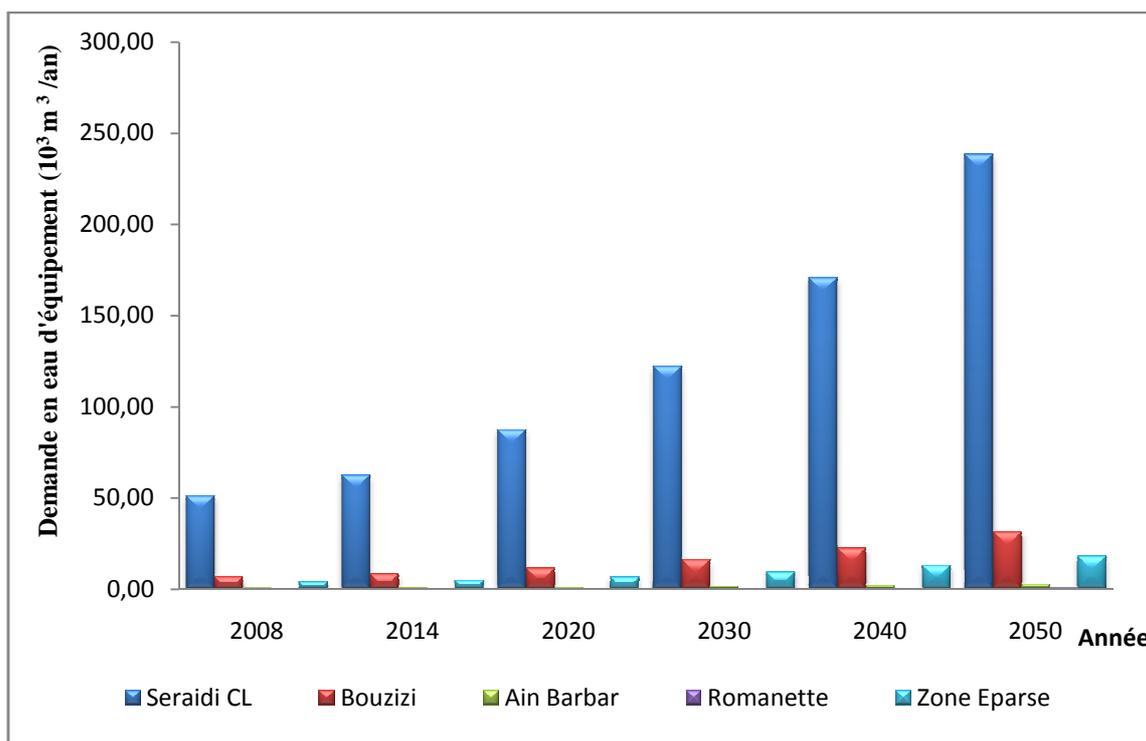


Figure 24 : Besoins en eau des équipements de Séraïdi pour les différents horizons

### 6.3. Les besoins touristiques

#### 6.3.1. Les besoins en eau à l'état actuel

Pour Les Infrastructures touristiques, La commune dispose de deux hôtels, El Mountazah et El Jazair.

#### 6.3.2. Les besoins en eau (Tourisme moyen terme)

Afin de donner un nouveau souffle a ce secteur important, une zone d'expansion touristique (ZET) a été initiée par la direction du tourisme de la wilaya d'Annaba. Il s'agit de la ZET d'Oued Begrat qui est d'une superficie d'environ 1375 ha, qui est délimitée comme suit :

- **au Nord:** la mer méditerranéenne ;
- **au Sud :** une ligne fictive ;
- **à l'Est :** le chemin de wilaya qui relie le cap de garde à la ville d'Annaba étant donné que la limite de la ZET suit les limites Sud/Est et Nord/Est du parc zoologique et de loisirs ;
- **à l'Ouest :** une ligne fictive perpendiculaire à la limite Sud qui rejoint la limite Ouest de l'anse du Cap de sucré (PDAU 2012).

Le tableau ci-dessous décrit le nombre de lit pour chaque Hôtel ainsi que les besoin en eau:

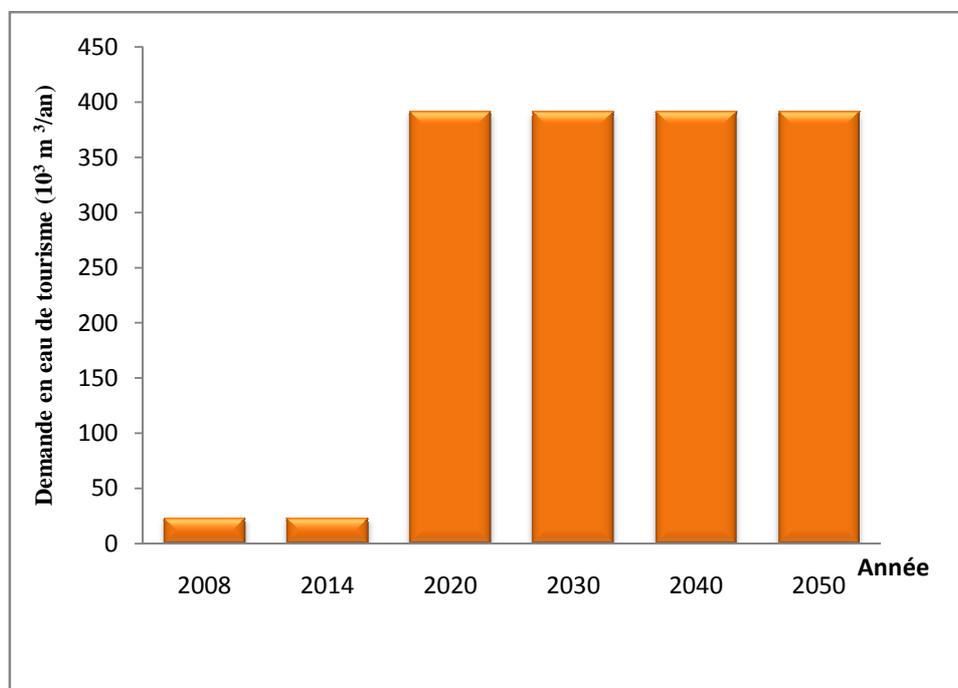
**Tableau 24** : Nombre de lit et les besoin en eau des Hôtels.

	nbre de lit	Besoin (m <sup>3</sup> /j)	Besoin (m <sup>3</sup> /an)
<b>Hôtel El Montazah</b>	102	40,8	14892
<b>Hôtel El Djazair</b>	60	24	8760
<b>Nouvelle zone touristique</b>	2520	1008	367920
<b>Total</b>	2682	1072,8	391572

L'évolution des besoins touristiques sont représenté dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 25: Evolution des besoins en eau du tourisme**

Année	2008	2014	2020	2030	2040	2050
Commune						
<b>Commune de Séraïdi (x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/an)</b>	23,65	23,65	391,57	391,57	391,57	391,57



**Figure 25:** Evolution des besoins en eau du tourisme dans la région de Séraïdi jusqu'à 2050.

## 7. Récapitulatif des besoins

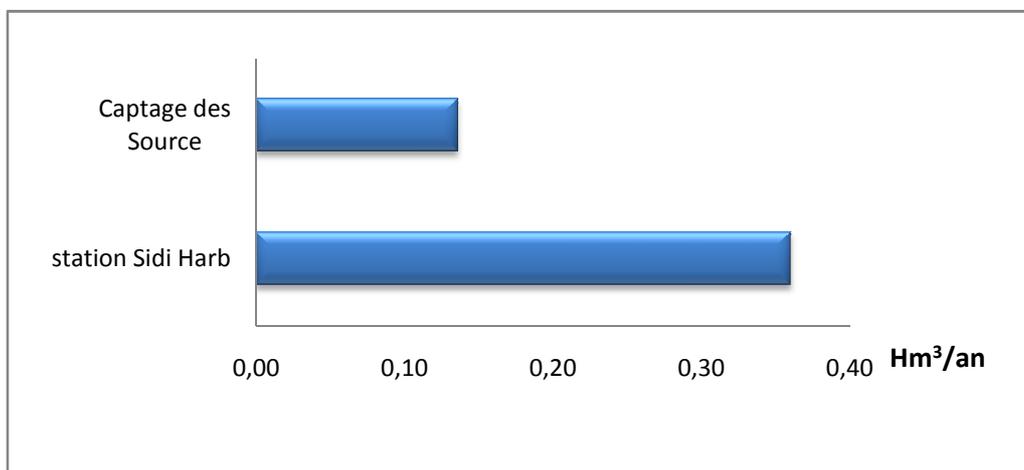
L'ensemble des besoins en eau estimés et projetés de la commune de Séraïdi est regroupé dans le tableau ci - dessous.

**Tableau 26:** Les besoins en eau estimés et projetés de la commune de Séraïdi

Besoin (hm <sup>3</sup> /an)	2014	2020	2030	2040	2050
Population	0,38	0,54	0,75	1,04	1,46
Equipement	0,08	0,11	0,15	0,21	0,29
Tourisme	0,02	0,39	0,39	0,39	0,39
<b>TOTAL</b>	<b>0,47</b>	<b>1,02</b>	<b>1,27</b>	<b>1,61</b>	<b>2,1</b>

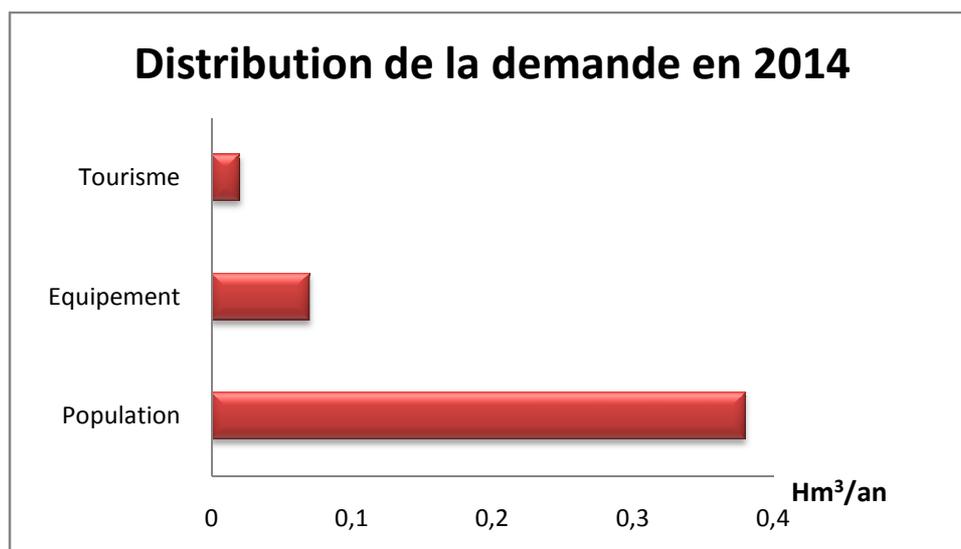
## 8. Bilan : Offre/Demande

La ressource d'alimentation en eau potable, comme il est détaillé dans ce chapitre est assuré à partir de la station Sidi Harb et du captage des sources. Les quantités de ces ressources sont représentées dans la figure ci-dessous



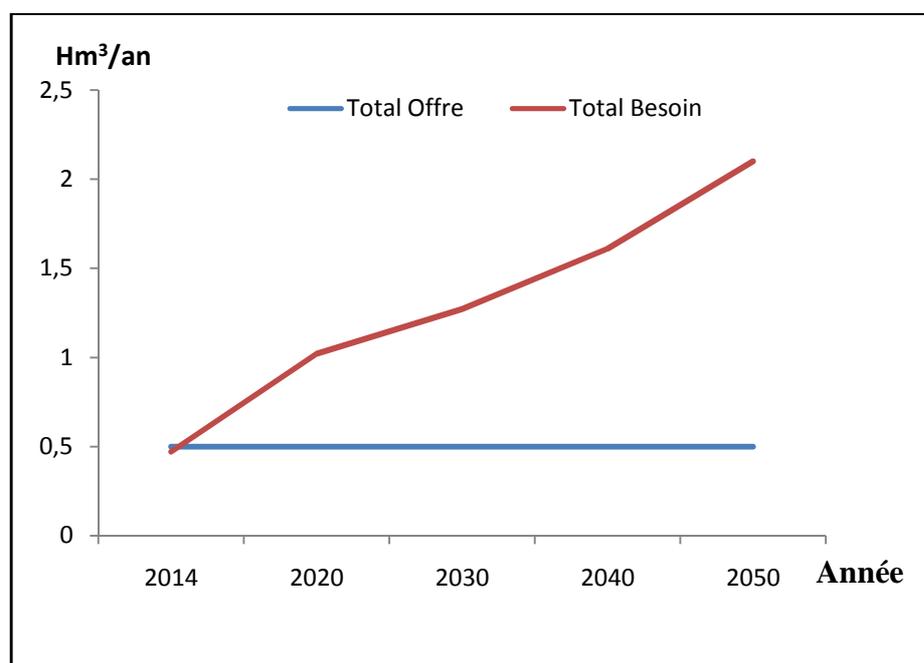
**Figure 26 :** La distribution de la ressource en 2014 dans la commune de Séraïdi.

La distribution des ressources en eau se fait pour satisfaire les besoin en eau pour trois catégories, qui sont : la population, l'équipement et le Tourisme. Comme le montre la figure 27.



**Figure 27** : La distribution de la demande en 2014 dans la commune de Séraïdi.

Pour voir si les ressources existantes dans la commune de Séraïdi peuvent satisfaire les besoins en eau dans le futur, un calcul des besoins a été fait pour différents horizons jusqu'à l'année 2050. En prenant en compte les ressources offertes. Voir (figure 28).



**Figure 28** : Le bilan Offre/Demande (Séraïdi 2014 – 2050).

D'après ce graphique, on constate que la région enregistre en 2014, un excédent global de 0,03 Hm<sup>3</sup>. Mais au de-là il y aura un déficit qui augmente chaque année, il peut atteindre 1,6 Hm<sup>3</sup> dans l'horizon 2050.

## 9. Les techniques de gestions proposées

Afin de satisfaire les besoin en eau, on propose quelques techniques de gestion. S'orientés vers les ressources non conventionnelles (dessalement d'eau de mer et de traitement des eaux usées), et ressources souterraines (forages, sources).

### 9.1. Les ressources conventionnelles

#### a. Les ressources en eau souterraines

Les eaux souterraines jouent un rôle important dans l'approvisionnement en eau potable de la commune de Séraïdi car elles contribuent par une quantité importante par apport aux autres ressources. Ces eaux sont stockées dans le massif de l'Edough. La ressource souterraine actuellement exploitée est mobilisée par le captage des sources qui sont répartis sur les communes, elles représentent  $0,14 \text{ Hm}^3/\text{an}$ . Mais ils existent d'autres sources qui ne sont pas exploité qui ont un débit important.

### 9.2. Les ressources non conventionnelles

#### a. Le dessalement

En raison de la balance déficitaire qui caractérise la commune de Séraïdi, il s'est avéré nécessaire de chercher des nouvelles ressources tout en veillant à la protection des ressources existantes. Pour assurer l'alimentation en eau potable du Séraïdi, la commune doit penser de pour le dessalement de l'eau de mer.

#### b. Les eaux usées traitées

Le traitement des eaux usées représente une composante essentielle de gestion durable des ressources en eau. Les impacts les plus importants peuvent être résumés comme suit:

- ✓ Amélioration de la situation écologique des systèmes hydrographiques ;
- ✓ Réduction des risques pour la santé ;
- ✓ Réutilisation des eaux usées traitées en tant que nouvelle ressource ;
- ✓ Amélioration de la qualité de l'eau dans les cours d'eau et ainsi que la mise à disposition de ressources supplémentaires de meilleure qualité (Bentahar 2014).

Une étude d'une station d'épuration de Séraïdi est en cour de réalisation.

## 10. Conclusion

La gestion de la demande en eau est une solution efficace pour faire face aux défis du secteur de l'eau potable. L'utilisation rationnelle de l'eau nécessite des efforts continus et durables. Les moyens techniques sont-ils suffisants pour réussir une stratégie de la gestion de la demande en eau ?

Ces moyens sont nécessaires, certes, mais ils demeurent insuffisants. Ils doivent s'accompagner par une politique de sensibilisation continue pour que l'utilisation rationnelle de l'eau devienne un devoir collectif et la responsabilité commune. L'économie de l'eau donc la rationalisation de son utilisation doit donc devenir une véritable culture. C'est ainsi que l'on assurera la pérennité de toute politique en la matière.

*Chapitre 06*  
*Hydrochimie*

## **1. Pollution de l'eau**

### **1.1.Introduction**

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et/ou perturbe la vie aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et les eaux souterraines. Les origines de la pollution des eaux sont variées et intimement liées aux activités humaines : pollutions domestiques, urbaines, industrielles et agricoles. Les principales manifestations de la pollution des eaux de surface sont de nature chimique ou biologique et peuvent être pathogènes pour l'homme (Haddou 2010). On va présenter dans ce chapitre les secteurs responsables de la pollution qui modifie la qualité de ces eaux.

### **1.2.Substances polluantes de l'eau**

Les substances polluantes de l'eau sont celles qui la rendent impropre à la consommation ou qui dégradent certaines de ses propriétés (Bliefert 2001). Parmi ces composés, outre certains composés biologiquement dégradables comme les substances nutritives, on compte aussi de nombreux polluants difficilement voire pas dégradables, par exemple ceux qui contiennent des huiles minérales, des résidus de pesticides, des métaux ou des hydrocarbures halogénés. Dans le cas idéal, les déchets organiques se décomposent par autoépuration biologique jusqu'à minéralisation complète pour finir sous forme de substances inorganiques. D'autres polluants, introduits dans l'environnement par l'industrie, sont pratiquement réfractaires à toute forme de dégradation par voie biologique. Leur teneur augmente dans les eaux, les sédiments et les organismes aquatiques (Zgheib 2009; CICEED 2011).

### **1.3.Origine de la pollution des eaux**

#### **1.3.1. La pollution d'origine naturelle et l'eau de pluie**

La teneur de l'eau en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent y contribuer (contact de l'eau avec les gisements minéraux, ruissellement des eaux de pluie, irrptions volcaniques,...). En ce qui concerne l'eau de pluie, bien que longtemps considérée comme propre, l'eau d'origine pluviale

est en fait relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière) sont envoyés vers le sol à la moindre averse.

Lorsqu'elle ruisselle, l'eau de pluie a un second effet nocif: elle transporte les hydrocarbures, les papiers, les plastiques et les débris végétaux accumulés sur la terre et les toitures. De plus, cette pollution est déversée sur de courtes périodes et peut atteindre des valeurs très élevées ce qui provoque un effet de choc sur le milieu biologique.

### **1.3.2. La pollution urbaine**

Par temps sec, les eaux usées urbaines ont des caractéristiques qualitatives et quantitatives variables mais assez Reproductibles d'un cycle journalier à l'autre.

Par temps de pluie, les eaux qui transitent dans les réseaux unitaires ont généralement des caractéristiques spécifiques différentes de celles des eaux usées et des eaux pluviales strictes

#### **1.3.2.1. Les eaux usées urbaines de temps sec**

C'est un mélange d'eau usée domestique et de divers déversements dans le réseau d'assainissement urbain avec des eaux parasites.

Dans un réseau d'assainissement unitaire, les eaux usées de temps sec peuvent être divisées en quatre catégories, suivant leur origine :

- ✓ Eaux usées domestiques, produites par les habitants résidant sur le bassin versant
- ✓ Eaux usées liées aux activités professionnelles sur le bassin versant : eaux usées «industrielles» issues des activités artisanales et commerciales du quartier, eaux usées produites par les personnes ne résidant pas dans le quartier (employés, clients, touristes...)
- ✓ Eaux de lavage de la voirie
- ✓ Eaux claires : fuites des réseaux d'eau potable et d'eau non potable circulant dans le réseau d'assainissement, infiltrations, fonctionnement des réservoirs de chasse.

La production d'eau usée domestique est variable mais assez reproductible sur un cycle journalier, toutes choses égales par ailleurs. Il existe cependant des cas particuliers tels que les stations touristiques en saison (variation brutale et importante de la population sur une courte période) ainsi que les réseaux d'assainissement urbains qui reçoivent une part

importante de rejets industriels. La production d'eaux usées observée par temps sec continue bien évidemment pendant le temps de pluie (Philippe 2003).

### 1.3.2.2. Les apports liés au ruissellement

Le phénomène de ruissellement commence après mouillage de la surface (de l'ordre de 0,5 mm de pluie) qui ne se traduit pas par un écoulement. On constate donc que les eaux de ruissellement, avant même de pénétrer dans un réseau d'assainissement, peuvent contenir une charge non négligeable de pollution.

Au cours des événements pluvieux, les polluants des eaux de pluie et des surfaces des bassins versants sont transportés par le ruissellement sur les surfaces des bassins versants, dans les caniveaux et les bouches d'égout, puis au sein des réseaux d'assainissement, dans lesquels ils s'ajoutent aux polluants des eaux usées et des éventuels dépôts des réseaux remis en suspension par l'augmentation des débits générée par les événements pluvieux (figure 29) (Philippe 2003).

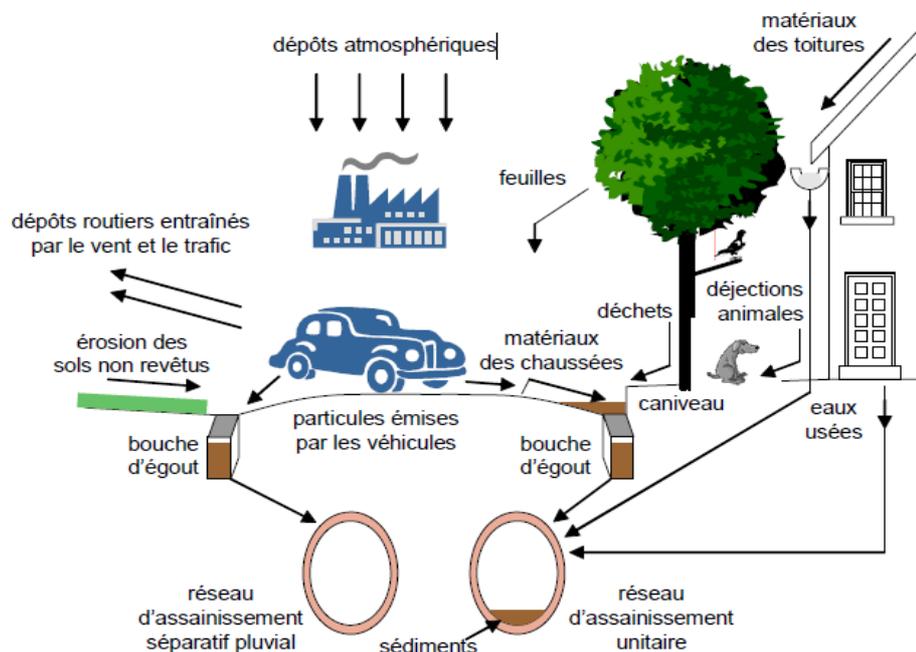


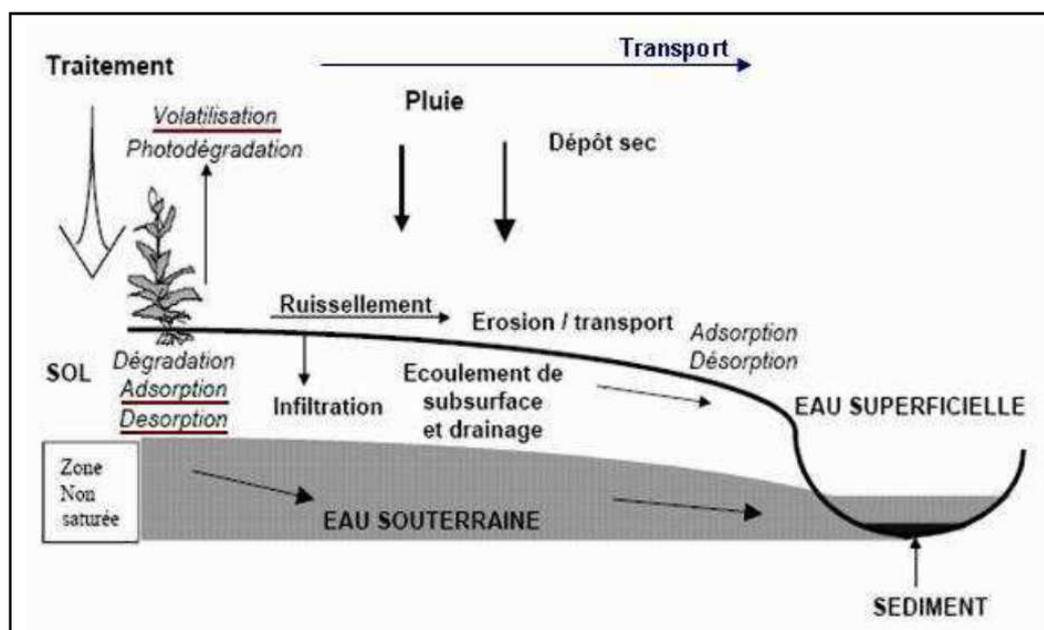
Figure 29: Origines des polluants des RUTP (Yves 1994).

### 1.4. Pollution agricole

De façon générale, l'agriculture est une grande consommatrice d'eau. Dans les conditions arides et semi arides, les exploitants agricoles sont amenés à utiliser différentes sources d'eaux pour l'arrosage de leurs cultures.

L'agriculture utilise également des quantités importantes de produits agrochimiques, comme des insecticides, des pesticides, des herbicides, des fongicides, des fertilisants et des produits vétérinaires (Corvaglia 2006), qui sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédiments provenant de l'érosion des terres agricoles, des éléments nutritifs et des métaux lourds issus des déchets animaux et des engrais commerciaux.

L'utilisation des pesticides peut entraîner la présence de résidus dans les denrées végétales récoltées et dans les aliments d'origine animale mais également dans l'eau de distribution (Merhi 2008) . Ainsi pour les années 2003 et 2004, on a noté la présence des pesticides sur 96% des points de mesure des cours d'eau et 61% des points de mesure des eaux souterraines (IFEN 2006), avec des niveaux de contamination significatifs. La figure 30 représente les mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans les milieux de l'environnement.



**Figure 30:** Mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans les milieux de l'environnement (Merhi 2008) .

## 1.5. La pollution industrielle

Le développement considérable des activités industrielles est la cause d'un croisement important des pollutions et des nuisances suite aux sous produits organique et inorganiques des activités humaines. Ces derniers existent depuis des siècles, mais leur nocivité s'est exercée à cause de leur excès qui dépasse les capacités de destruction et de recyclage des organismes décomposeurs présents dans tout écosystème (Koller 2004).

La métallurgie et l'industrie chimique rejettent dans l'environnement des quantités importantes de polluants ainsi que des gaz toxiques et des substances minérales et organiques à effets nocifs. L'électronique recoure de plus en plus à des oligoéléments telles que l'arsenic, le nickel, le sélénium, le plomb, les cyanure, etc. (Ramade 2007)

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Introduction

L'eau est nécessaire pour la vie, sa préservation et sa protection vis à vis des agents contaminants devient une nécessité capitale. De ce fait la potabilité des eaux de surface ou des nappes phréatiques constitue pour l'homme un des enjeux majeurs. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, ne signifie pas qu'elle est exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre la santé du consommateur en danger.

Les analyses effectuées sur les eaux souterraines qui alimentent le secteur urbain et la totalité des zones rurales doivent être menues d'une façon régulière pour prévenir tout risque éventuel des intoxications sur la santé. Dans le contexte actuel de la politique de gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale. Pour cela, la sauvegarde, à moyen et à long terme, de la qualité de ces ressources s'impose (AMHARREF & BERNOUSSI 2007).

Dans ce chapitre on va présenter : le prélèvement, l'échantillonnage et les analyses utilisés dans ce travail.

## 2.2. Analyses physico-chimiques des eaux

Les sites de prélèvements couvrent : Séraïdi chef lieu et Bouzizi (figure 31), car le nombre de population est très important par rapport aux d'autres zones d'habitations dans la commune (cas de Ain Barber et Romanet). Le choix de ces sites est basé sur les eaux des sources pérennes, leur accessibilité et la présence ou non de sources de pollution susceptibles de modifier la qualité des eaux de sources.

Cependant, la qualité de cette eau est parfois incertaine, compte tenu de l'échec du réseau d'assainissement existant, qui peut directement affecter la qualité de l'aquifère. En fait, le terrain accidenté de la commune rend parfois la connexion au réseau d'assainissement de certains sites urbanisés difficile, ce qui facilite la sélection des fosses septiques comme les seuls moyens d'évacuation des eaux usées premièrement. D'autre part, ceux rejetés dans le réseau, se terminent dans les bassins de décantation, généralement non-fonctionnels.

## 2.3. Echantillonnage et analyse des paramètres physico- chimiques et microbiologiques (eaux des sources).

Quatre campagnes de prélèvements (Janvier, Mars, Juin et Septembre 2015), pour un total de 40 échantillons, ont été effectuées afin d'étudier la qualité des eaux des sources, l'origine de la salinité et son évolution spatio-temporelle durant les quatre saisons de l'année.

Les analyses effectuées se rapportent aux eaux souterraines de la nappe superficielle de la commune de Séraïdi.

Les prélèvements sont répartis de la façon suivante :

Dix sources ont été choisies pour chaque campagne, soit 40 échantillons, elles sont bien réparties et couvrent les zones d'habitations: Séraïdi chef lieu et Bouzizi (figure 31). Les coordonnées, relevées à l'aide d'un GPS de type GARMIN GPS map 62 sts, sont présentés au (tableau 27).



**Figure 31 : Localisation des points de prélèvement des eaux de sources de Séraïdi 2016.**  
(Google Earth)

Les échantillons d'eau ont été recueillis dans 500 ml de bouteilles en polyéthylène propres. Au moment de l'échantillonnage, les bouteilles ont été rincées à fond deux à trois fois par l'eau de source à échantillonner.

**Tableau 27 :** Représentation des eaux de sources avec les coordonnées.

Source N°	Ident. N°	Nom de source	Coordonnées		Altitude (m)
			Nord	Est	
1	SW1	Ain Mouhkim	36°54'26.39"	7°40'57.67"	762
2	SW2	El Anser	36°54'53.91"	7°40'35.05"	804
3	SW3	Bouhadada	36°54'33.43"	7°40'19.58"	820
4	SW4	Dar Lekhel	36°54'37.18"	7°38'36.03"	824
5	SW5	Ben Jaballah	36°54'50.55"	7°40'7.16"	778
6	SW6	Alali Hocine	36°54'12.18"	7°38'17.33"	926
7	SW7	Parck au Jeu	36°54'48.09"	7°40'18.49"	847
8	SW8	Mizeb	36°54'24.51"	7°38'22.29"	909
9	SW9	Dar Mzata	36°54'14.85"	7°40'35.87"	669
10	SW10	Ain Fedha	36°54'5.30"	7°38'48.38"	817

### 2.3.1. Mesures in situ :

Quatre paramètres physico-chimiques (le potentiel d'hydrogène, l'oxygène dissous, la température et la conductivité électrique) ont été mesurés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une valise multi-paramètres de terrain WTW. 340i / SET. Un étalonnage préalable est effectué avant chaque campagne de mesure.

Les mesures de la turbidité ont été effectuées à l'aide d'un turbidimètre portable 2100 robuste sur le terrain. Appareil portable en infra-rouge (2100P ISO). L'appareil est également étalonné avant chaque campagne.

Les échantillons ont été stockés dans une glacière à basse température (4°C) et transportés au laboratoire, dans la même journée pour les analyses.

### 2.3.2. Analyse des éléments chimiques :

Analyses physico-chimiques:

- ❖ Les analyses chimiques ont été effectuées sur les principaux éléments responsables de la minéralisation des eaux, appelés couramment les éléments majeurs ; les cations (calcium, magnésium, sodium et potassium) et les anions (chlorures, sulfates et bicarbonates).

- ❖ Analyses des substances indésirables: Les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les chlorures (Cl<sup>-</sup>), les phosphates, les sulfates.

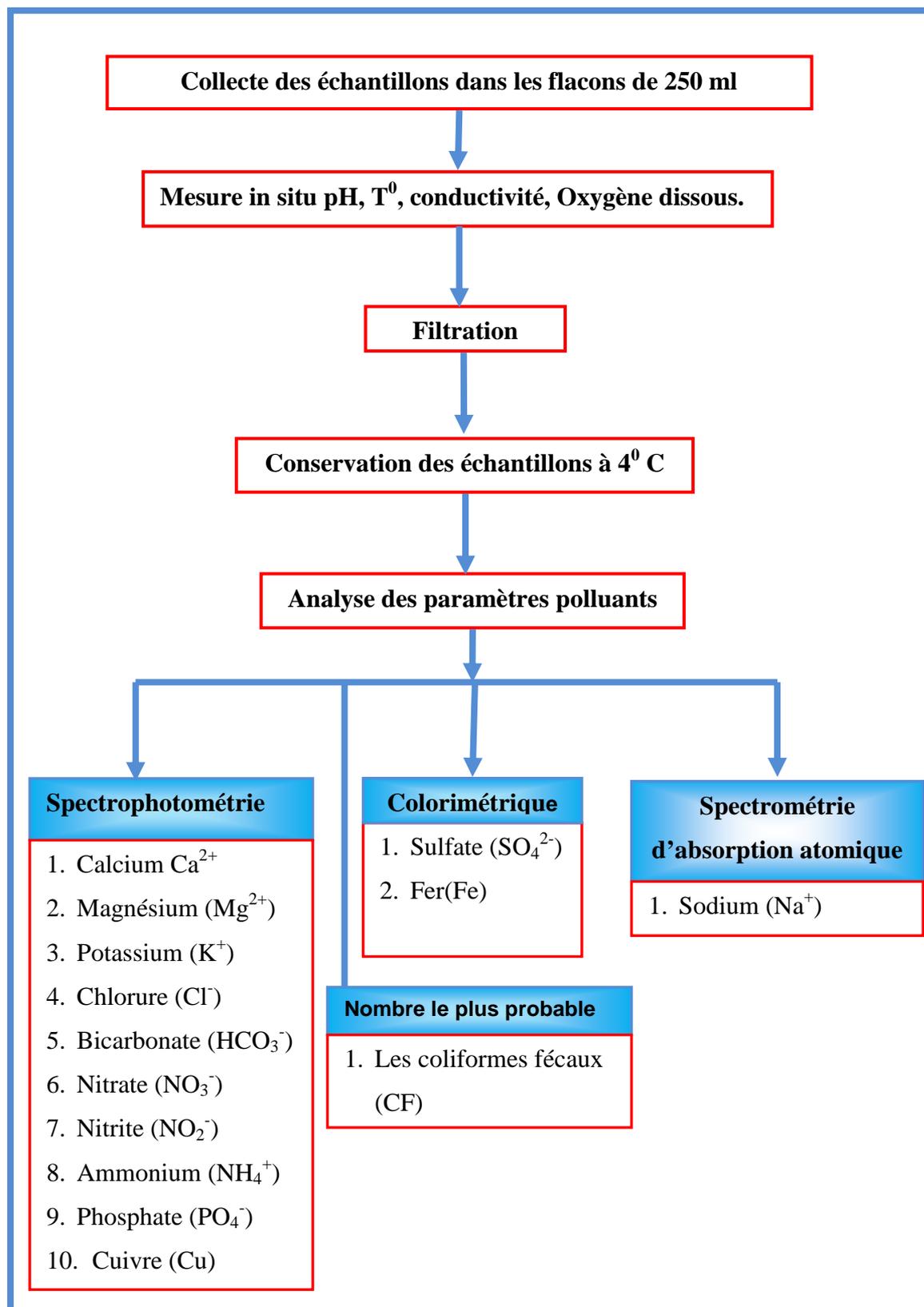
- ❖ Analyses des substances toxiques «métaux lourds» tels que : le fer et le Cuivre.

- ❖ Analyses bactériologiques : Les germes recherchés dans les eaux des dix sites étudiés sont les coliformes fécaux.

Les analyses des : calcium, magnésium, potassium, chlorures, bicarbonates, nitrites, nitrates, l'ammonium, phosphates, et Cuivre ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre HACH LANGE DR2800. Les analyses des sulfates et le fer ont été effectués à l'aide d'un colorimètre série DR 890 Les analyses du sodium ont été réalisées à l'aide d'une spectrométrie d'absorption atomique à flamme.

Les coliformes fécaux ont été estimés dans des échantillons d'eau par méthode du multiple tube de fermentation appelé le nombre le plus probable NPP. Pour les différentes analyses des eaux de sources, les erreurs d'analyses ont été tolérées jusqu'à 6 % de la balance ionique.

Le protocole de travail est résumé dans l'organigramme (figure 32) suivant :



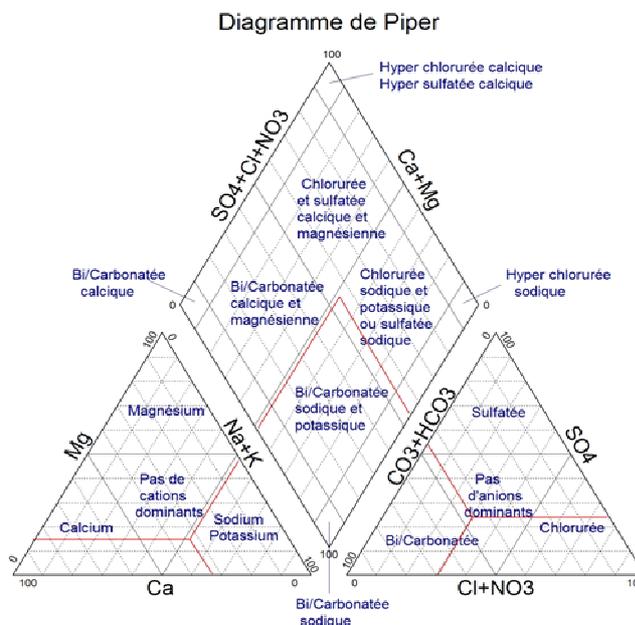
**Figure 32 :** Protocole d'analyses des paramètres de pollutions

## 2.4. Méthodologie

### 2.4.1. Le faciès chimique

Le concept hydro chimique peut aider à élucider les mécanismes d'écoulement et de les transporter dans les systèmes d'eau souterraine, et de déverrouiller un archive d'informations paléo environnementales (Glynn 2005; Sundaray 2009). L'évolution hydro chimique des eaux souterraines peut être comprise en traçant les ions majeurs des cations et anions dans le tri linéaire diagramme Piper (Hem 1991). Ce schéma est utile pour faire ressortir les relations chimiques entre l'eau en termes plus précis. (Piper 1944) a développé une forme de diagramme tri linéaire, qui est un outil efficace pour la ségrégation d'analyse des données en respectant les constituants des sources dissous dans les eaux souterraines, des modifications dans le caractère de l'eau qui passe à travers une zone et des problèmes géochimiques connexes (Piper 1944). La concentration ionique des principaux cations et anions trouvés dans les eaux de sources de la zone d'étude sont tracés dans le tri linéaire diagramme de Piper (Figure 33) par le logiciel géochimique **Diagramme**

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global (figure 33).



**Figure 33** : Diagramme de Piper avec la représentation des différents faciès hydro chimique.

### 2.4.2. L'Analyse en Composante Principale

L'approche de la statistique multi variée a été réalisée à partir de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) sur des variables centrées réduites. En effet, l'ACP est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive, utilisable comme outil d'aide à l'interprétation d'une matrice de données. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque (Biémi 1992). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances et la position graphique que présenteraient deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution.

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0. L'utilisation de cette méthode permet de connaître l'origine de la minéralisation des eaux de sources et de déterminer les différents processus qui gouvernent la minéralisation des eaux de sources de la région de Séraïdi.

### 2.4.3. L'indice de qualité de l'eau

La gestion de ressource en eau exige des intervenants une bonne connaissance de la qualité de celle-ci et des différentes sources de pollution pouvant l'affecter. Afin de pouvoir prendre des décisions éclairées, le gestionnaire doit avoir accès à une information simple, synthétique et bien ciblée. Les données concernant la qualité de l'eau sont à l'opposé d'une telle définition, elles se rapportent à une multitude de descripteurs (Phosphore, Oxygène, pH, Coliformes fécaux, etc) mesurés à plusieurs reprises et à plusieurs endroits. Un outil de synthèse et de communication facilitant la représentation de l'état de la qualité des cours d'eau auprès du public et des gestionnaires devenait donc indispensable.

Ainsi, l'acquisition de données dans les programmes de connaissance de la ressource eau conduit parfois à l'accumulation d'un grand nombre d'information .il n'est pas toujours facile de faire le lien entre ces connaissances et l'utilisation que l'on veut faire de cette eau. C'est les indices qui présentent la meilleure façon de communiquer ces informations sur les tendances de l'environnement au décideur politique et le grand public.

Les indices de la qualité de l'eau (IQE) appelés communément WQI (*water quality index*), ont fait l'objet d'un grand nombre d'étude ces trois derniers temps, mais le concept en sa forme rudimentaire date de plus de 150 ans, C'est en Allemagne en 1848 que les premiers indicateurs environnementales ont été utilisés. Au départ c'était la présence ou l'absence

de certains organismes dans l'eau qui a été utilisée comme indicateur des différentes aptitudes de l'eau. Dans la même période, l'importance de la qualité de l'eau pour la santé publique a été reconnue au Royaume-Uni (Snow 1854)

En 1965 Horton a donné la première formulation de l'indice de qualité de l'eau (Horton 1965), où il a tenu compte de la réduction des variables et de leurs fiabilités (pour faciliter la manipulation de l'indice) et de la signification des sites de prélèvement.

Horton dans l'élaboration de son indice a choisi les dix(10) paramètres communément utilisés pour l'évaluation de la qualité de l'eau; l'oxygène dissous (OD), pH, coliformes, conductivité spécifique, alcalinité et les chlorures. Conductivité spécifique sert à l'évaluation approximative du total solide dissous (TDS) et l'extrait de chloroforme de carbone (CCE) a été inclus pour tenir compte de l'influence de la matière organique (Horton 1965). Une version améliorée de l'indice a été proposée par Brown et al (Brown *et al.* 1970) et Deininger et Maciunas (Deininger 1971) avec le soutien de la National Sanitation Foundation (NSF) des États-Unis. Pour cette raison, l'indice de Brown est également appelé NSF-IQE (Abbasi 2012)

De nombreux auteurs ont par la suite donnés de nombreuses formulations à l'indice de qualité et qui ont amené des changements à la méthodologie en fonction des objectifs fixés par l'étude. On peut citer ceux de: Prati et al (Prati *et al.* 1971), Deininger et Landwehr (Deininger & Maciunas 1971), Dinius (Dinius 1972), Walski et Parker (Walski & Parker 1974), indice de Stoner (Stoner 1978), indice de Smith (Smith 1990), indice de qualité de l'eau de l'Oregon modifié (Cude 2001), et l'indice de qualité de l'eau du conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME 2001).

#### 2.4.4. Aptitude de l'eau à l'irrigation

Pour évaluer la qualité de l'eau, et son aptitude à l'irrigation, L'étude a été basée sur les critères suivants à savoir : le risque de salinité et sodicité (conductivité, et tolérance aux sels), le diagramme de Richards (méthode du SAR) et le diagramme de Wilcox, à l'aide du logiciel Diagramme, (*Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2012*).

Nous avons calculé le rapport d'adsorption du sodium (SAR), le ratio de Kelly (KR), et l'indice de perméabilité (PI), en utilisant le logiciel AQQA, Géochimie Software AQQA version AQC10664 (Rockware AQQA Software 2011) et quelques calculs mathématiques.

### 3. Caractérisation physico-chimique des eaux des sources

#### 3.1.Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable, ou à des fins agricoles et industrielles. Dans la région de Séraïdi les données des sources ont révélées des variations dans les caractéristiques physico-chimiques des eaux.

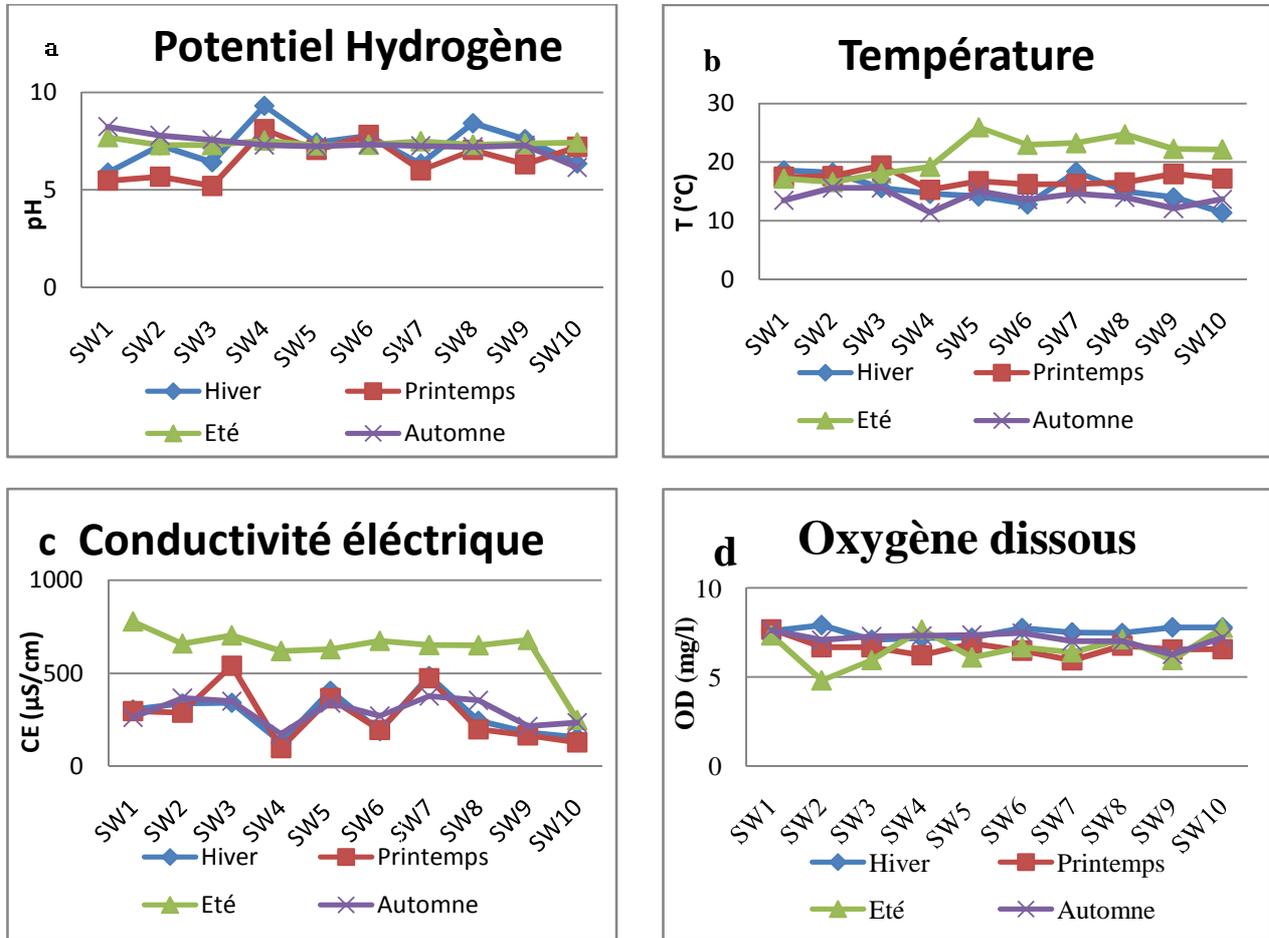
Cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux de sources, son évolution dans le temps, et dans l'espace. Un plan de travail a été adopté pour atteindre cet objectif, à réaliser un suivi trimestriel des eaux de sources, pendant la période de janvier à septembre 2015, avec des paramètres physico-chimiques et microbiologiques y compris des mesures statistiques à l'aide du logiciel Statistica 8.0, telles que minimum, maximum, moyenne, médiane sont résumées dans le tableau 28. Les valeurs ont été comparées avec l'Organisation mondiale de la santé (WHO 2004) ( Tableau 28 ).

**Tableau 18** : Statistiques sommaires pour les concentrations des paramètres physiques et chimiques des eaux des sources de Séraïdi.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart type	Variance	Norme OMS
<b>pH</b>	5,21	9,31	7,15	7,30	0,82	0,67	6,5-8,5
<b>T (°C)</b>	11,40	26,00	16,89	16,43	3,53	12,47	12-25
<b>CE (µS/cm)</b>	96,80	777,00	368,44	338,50	192,98	37242,66	400
<b>Turbidité (NTU)</b>	0,17	0,90	0,50	0,47	0,21	0,04	/
<b>OD (mg/l)</b>	4,81	7,92	6,97	7,10	0,67	0,45	/
<b>%</b>	62,40	106,45	91,87	94,69	10,46	109,34	
<b>TDS (mg/l)</b>	123,00	701,00	454,53	487,50	171,68	29474,87	500-1000
<b>Ca<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	6,42	124,00	55,83	61,02	34,35	1179,72	100
<b>Mg<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	4,90	61,20	29,36	21,81	17,85	318,77	50
<b>Na<sup>+</sup> (mg/l)</b>	12,09	61,20	40,77	42,80	14,66	214,83	200
<b>K<sup>+</sup> (mg/l)</b>	0,54	7,12	3,70	3,59	1,76	3,11	20
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	6,59	183,20	70,98	46,87	61,02	3723,76	125-350
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/l)</b>	10,77	214,30	107,14	123,20	50,40	2540,38	250
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	3,40	189,20	67,41	49,57	54,36	2954,72	250
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	1,00	58,34	17,32	16,80	14,27	203,51	50
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	0,00	0,21	0,03	0,02	0,04	0,00	/
<b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (mg/l)</b>	0,07	0,028	0,016	0,015	0,03	0,00	/
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l)</b>	0,00	0,17	0,05	0,05	0,02	0,00	/
<b>Fe<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	0,00	0,53	0,17	0,15	0,12	0,02	0,3
<b>Cu<sup>2+</sup> (mg/l)</b>	0,11	0,62	0,27	0,25	0,11	0,01	2
<b>Q Débit (l/s)</b>	0,04	2,08	0,39	0,19	0,46	0,21	/
<b>CF (U/100ml)</b>	1,00	240,00	31,68	6,50	69,68	4855,25	20

### 3.2. Analyse de la variation spatio- temporelle des eaux de sources

#### 3.2.1. Variation des paramètres physiques :



**Figure 34 :** Evolutions spatio- temporelle du pH (a), de la température (b), de la conductivité électrique (c) et de l’oxygène dissous (d) au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

#### Potentiel d’Hydrogène (pH) :

C’est un paramètre qui détermine l’acidité ou l’alcalinité d’une eau ainsi que l’état d’équilibre des éléments chimiques en solution dans l’eau. Il est l’un des paramètres les plus importants de la qualité de l’eau (WHO 2011). Les valeurs de pH mesurées varient de 5,21 à 9,31 (figure 34 a). Les résultats sont variables, avec des valeurs inférieures à la norme admissible (pH acide) dans les sources d’eau SW1, SW2, SW3, SW7, et SW10) en hiver et en printemps qui peut être due aux eaux météoriques. La valeur la plus élevée qui dépasse la norme à été enregistrée en hiver au niveau du SW4. Aucune valeur guide fondée sur la santé

est proposé pour le pH. Bien que le pH n'a pas généralement d'impact direct sur les consommateurs (WHO 2011).

### La température (T) :

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Elle est l'une des caractéristiques les plus importantes d'un système aquatique qui affectent les niveaux d'oxygène dissous (Rajendran & Mansiya 2015). Les valeurs de la température oscillent entre 11,4 et 26 °C avec une moyenne de 16,89°C (figure 34 b). La température la plus élevée a été enregistrée durant la saison sèche (été) au niveau de la source SW5 et la plus faible pendant la saison des pluies (hiver) au niveau de la source SW10. Toutes les valeurs enregistrées ne dépassent pas les normes de potabilité sauf en été dans la source SW5, ainsi on a enregistré une valeur inférieure à la norme en automne au niveau de la source SW4 et SW10 situé au niveau de Bouzizi. Cette baisse de température est due à l'altitude élevée (1008 m) au point culminant à Kef Sebaa. L'eau fraîche est généralement plus acceptable que l'eau chaude. La température élevée de l'eau augmente la prolifération des micro-organismes et les problèmes liés au goût, l'odeur, la couleur et à la corrosion (WHO 2011).

### La conductivité électrique

Elle est liée à la présence des ions en solution. Les valeurs mesurées ont été corrigées par rapport à une température standard de 25°. Elle représente la quantité totale de substances dissoutes (Dahiya & Kaur 1999). La mesure de la conductivité est directement liée à la concentration de la substance ionisée dans l'eau et peut également être liée à des problèmes de dureté excessive et d'autres contaminants minéraux (Alam *et al.* 2012). La conductivité électrique des eaux de sources fluctuent entre 96,8  $\mu\text{s}/\text{cm}$  enregistré en printemps au niveau de la source SW4 et 777  $\mu\text{s}/\text{cm}$  noté en été au niveau de la source SW10 avec une moyenne de 368,44  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (figure 34 c). Ces faibles valeurs indiquent que le temps de séjour des eaux de sources au contact avec la roche est court, ou une faible altération du gneiss. Les valeurs les plus élevées sont marquées à la période d'étiage (compagne d'été) correspondent aux sources localisées à Séraïdi chef lieu, tandis que les plus faibles sont enregistrées dans la période pluviale (compagne de printemps), sont celles situées à Bouzizi.

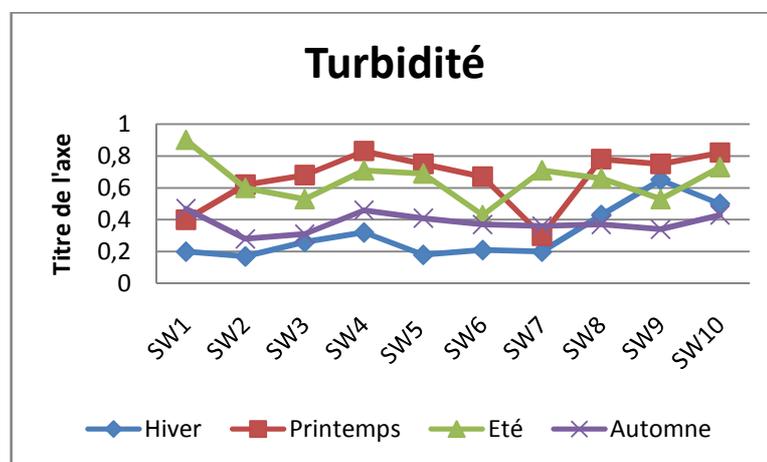
L'origine de cette minéralisation, est attribuée aux teneurs élevées en sulfates et chlorures. Toutes les valeurs mesurées sont conformes à la norme de potabilité.

### L'oxygène dissous

La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction. La concentration en oxygène dissous mesurée dans les eaux de sources est admissible à la limite standard. Ces valeurs oscillent entre 4,81 mg/l en été et 7,92 mg/l en hiver, les deux au niveau de la source SW2 (figure 34 d). L'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des teneurs plus élevées en période humide (hiver) que celles en période sèche (été), ceci est essentiellement dû à la diminution de la température de l'eau.

L'oxygène dissous est nécessaire pour convertir la matière organique biodégradable d'une forme à une autre par des organismes vivants principalement des bactéries afin de maintenir le processus métabolique et produire de l'énergie pour leur croissance et leur reproduction (Alam *et al.* 2012).

#### 3.2.2. La turbidité

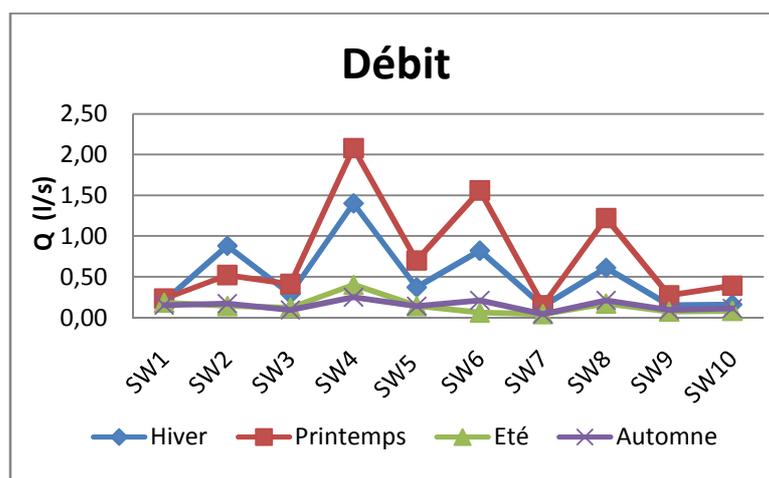


**Figure 35:** Evolutions spatio-temporelle de la turbidité au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

La turbidité est un paramètre important pour caractériser la qualité de l'eau (Rajankar *et al.* 2011). La turbidité de l'eau peut être due à une grande variété de matières en suspension (Prakash & Somashekar 2006). Le minimum enregistré est de 0,17 NTU en hiver (source SW2) et le maximum est de 0,9 NTU en été (source SW1) avec une moyenne de 0,5 NTU

(figure 35). L'augmentation de la valeur de la turbidité peut être expliquée du fait que le volume d'eau devenait plus faible et que la saison sèche a atteint son maximum. Les totalités des mesures faites sur les eaux des sources sont conformes à la valeur objective de 5 NTU, indiqué dans les normes.

### 3.2.3. Le débit



**Figure 36:** Evolutions spatio- temporelle du débit au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

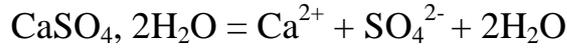
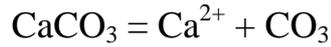
L'influence du débit sur les variations physico- chimiques des éléments à l'émergence est très marquée : une baisse du débit engendre une reconcentration des éléments à l'origine probablement endogène suite à une dissolution qui varie en fonction de la vitesse de l'eau et du temps de contact eau-roche (Major 1996). Les valeurs mesurées du débit oscillent entre à 0,04 et 2,08 l/s avec une moyenne de 0,39 l/s. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au printemps où le pic est situé au niveau de la source SW4 situé à Bouzizi. Le débit change en fonction de la pluviométrie et l'altitude, les valeurs les plus faibles se situent en été et le minimum est enregistré au niveau de la source SW7 (figure 36).

## Les éléments de la pollution

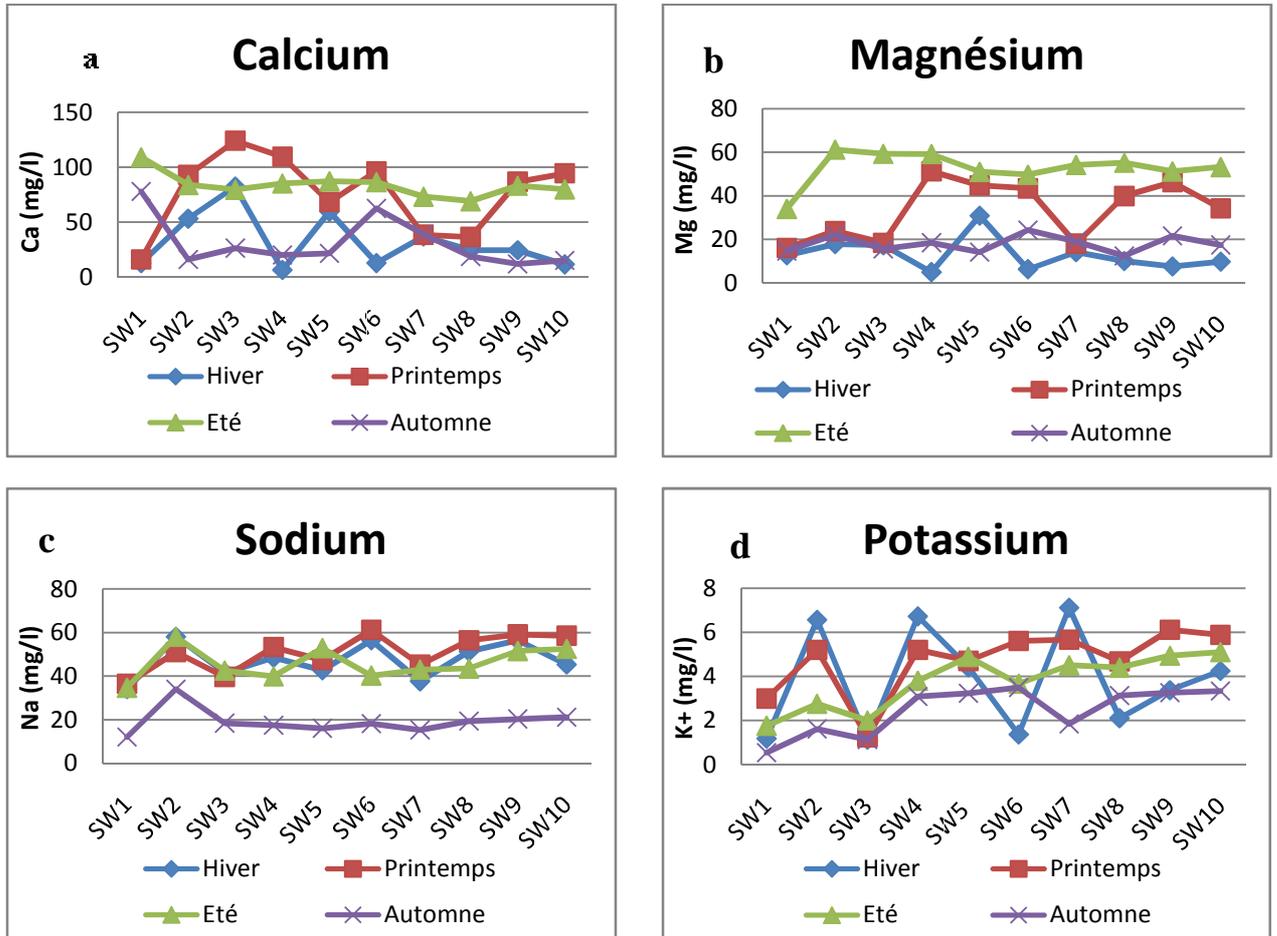
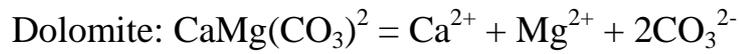
### Les éléments majeurs :

#### 3.2.4. Les cations

**Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) :** la présence des ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : Soit la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ), soit la dissolution des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ).



**Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)** : Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).



**Figure 37** : Evolutions spatio- temporelle du Ca<sup>2+</sup> (a) , du Mg<sup>2+</sup> (b), du Na<sup>+</sup>(c) et du K<sup>+</sup> au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

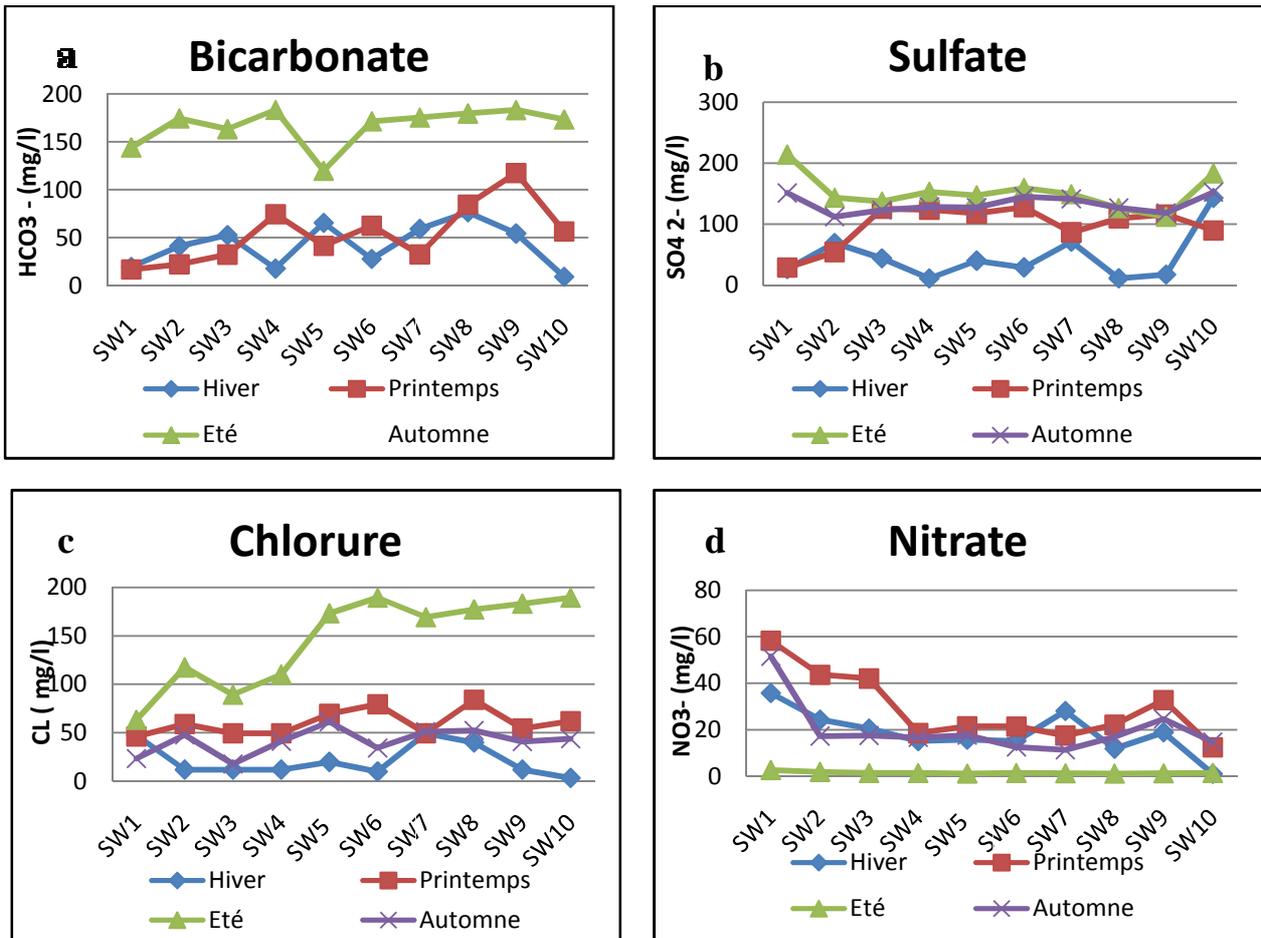
## Le Calcium et le Magnésium

Les ions du calcium et du magnésium présents dans les eaux souterraines des zones côtières voisines sont dérivées de lessivage du calcaire, de la dolomie, le gypse et anhydrites, tandis que les ions calcium peuvent dériver de processus d'échange de cations (Garrels 1976). Les concentrations du calcium et du magnésium mesurées sont conformes aux valeurs admissibles (norme de potabilité) elles varient entre un minimum de 6,42mg/l, 4,90 mg/l en hiver (source SW4) et un maximum, 124 mg/l, 61,20 mg/l en printemps (Source SW3, SW2) respectueusement (figure 37 a, b). A Séraïdi et Bouzizi les teneurs en calcium et magnésium sont faibles, le temps de séjour de l'eau au contact est court, ce qui rend l'altération des plagioclases est moins intense vue les faibles températures causé par l'altitude par rapport a la teneur en calcium. La faible concentration du magnésium est due au faible l'altération des micas noirs et des amphiboles des gneiss en raison des basses températures et des faibles teneurs en CO2 dissous dans l'eau.

## Le Sodium et le Potassium

Le sodium est souvent présent dans les eaux naturelles. En proportions très variables, il provient des apports atmosphériques et de l'altération des minéraux silicatés, échanges des cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques. Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). L'épandage des engrais chimiques augmente les concentrations en sodium (Plagnes 1997). Les concentrations du sodium et potassium oscillent de 12,09 mg/l, 0,54 mg/l en automne (source SW1) à 61,20 mg/l, 7,12 mg/l en hiver (sources : SW6, SW7) respectueusement (figure 37 c, d). Les teneurs du sodium et du potassium présentent en général des valeurs acceptables à la valeur limite fixé par l'OMS. La principale source de potassium dans l'eau douce naturelle est l'altération des roches, mais les quantités augmentent dans l'eau polluée en raison de l'élimination des eaux usées (Trivedy & Goel 1984). Ainsi il provient des eaux météoriques et lors du contact avec les roches métamorphique par l'altération des minéraux silicatés présent dans notre région d'étude. A Séraïdi les concentrations du sodium sont relativement très faibles ce qui peut être due à la géologie du terrain ou par l'absence des feldspaths sodi-potassique et les amphiboles.

## 3.2.5. Les anions



**Figure 38** : Evolutions spatio- temporelle du  $\text{HCO}_3^-$  (a) , du  $\text{SO}_4^{2-}$  (b), du  $\text{Cl}^-$  (c) et du  $\text{NO}_3^-$  au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

## Les chlorures

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). La concentration en chlorures fluctue entre 3,40 mg/l enregistré en printemps au niveau de la source SW10 et 189,20 mg/l observée en été au niveau de la même source avec une valeur moyenne de 67,41 mg / l (figure 38 a). La concentration en chlorures sert d'indicateur de la pollution causée par les eaux usées, ils sont présents dans les eaux souterraines en raison de l'altération météorique et la lixiviation des roches sédimentaires et des sols, les teneurs élevées en chlorures dans l'eau produisent des effets laxatifs (Dahiya & Kaur 1999). La teneur en chlorure dans les eaux de sources de la zone d'étude ne dépasse pas la limite souhaitable de 250 mg / l dans les dix points d'échantillonnage. Nous notons aussi une augmentation des chlorures durant la saison sèche

qui serait favorisée par l'étiage des sources et les faibles valeurs ont été observées durant la période de pluies sont en relation avec les crues. Bien que les chlorures ne posent pas de danger pour la santé humaine mais à des niveaux supérieurs à 250 mg/l, le gout de l'eau deviendra salé. L'évolution temporelle est marquée par un abaissement des teneurs en chlorures en saison humide (hiver) par rapport à la saison sèche (été). Cependant, des niveaux élevés de chlorure peuvent même rendre l'eau impropre pour l'irrigation.

### Les Bicarbonates

Les teneurs en Bicarbonates dans les eaux de source sont comprises entre 6,59 mg/l enregistrées en automne (source SW2) et 183, 20 mg/l noté en été (source SW4) (figure 38 b), ces valeurs satisfont les valeurs guides. Ces eaux sont considérées non bicarbonatées ( $\text{HCO}_3^- < 600$  mg/l) (CCE 2009). La dissolution des minéraux carbonates et l'action du  $\text{CO}_2$  des eaux météoriques et du sol sont, d'une manière générale, à l'origine des Bicarbonates (Parizot 2008). A la commune de Séraïdi, les fortes teneurs en bicarbonates sont peut être due au contact avec la roche et par l'altération des calcaires métamorphique, des feldspaths, des micaschistes et des gneiss sous l'effet du gaz carbonique.

### Les nitrates

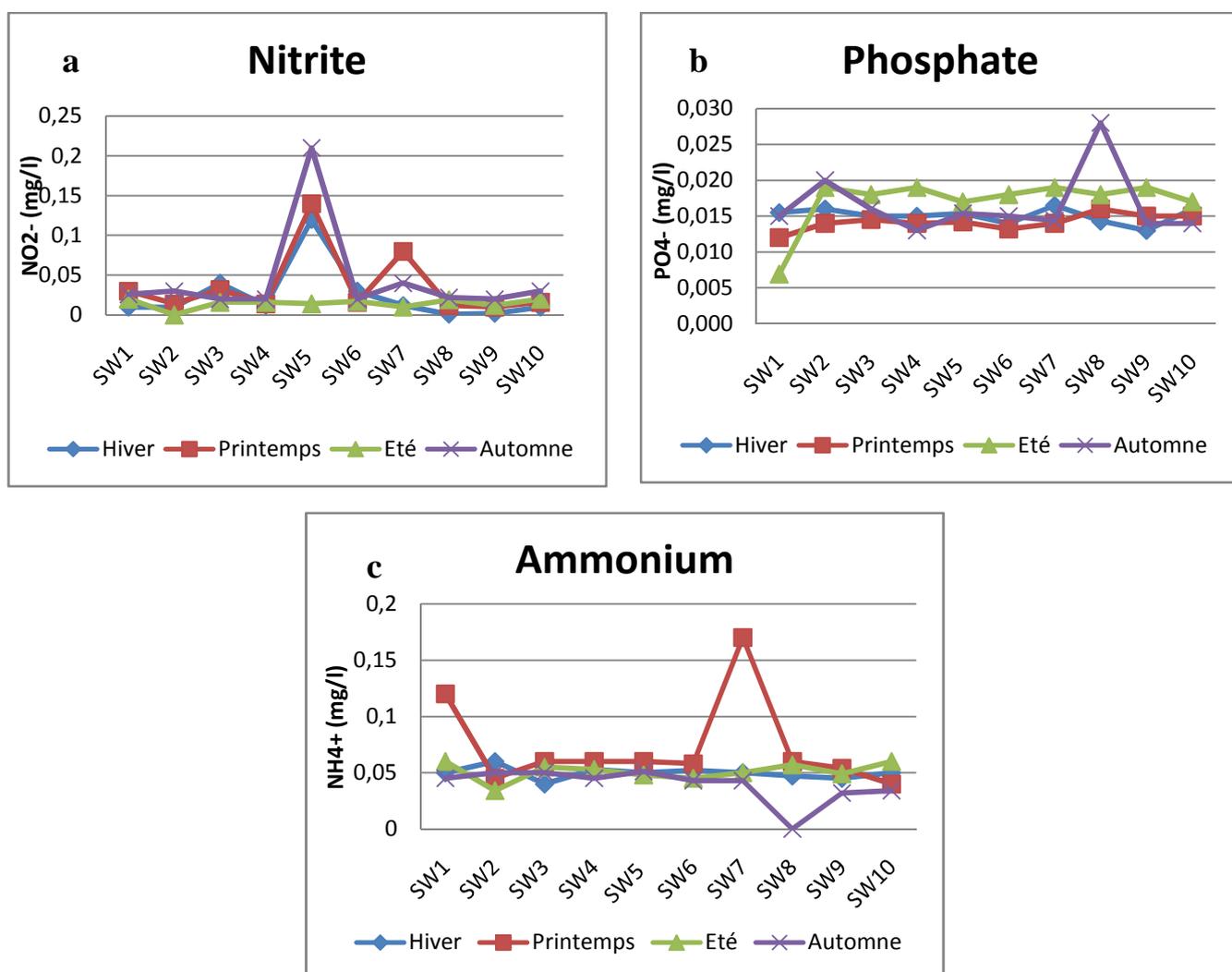
La contamination par les nitrates dans l'eau souterraine est l'un des problèmes majeurs dans les études sur la qualité de l'eau (Alam *et al.* 2012). Les concentrations de nitrates enregistrées répondent à la valeur guide sauf au printemps au niveau de la source SW1 où elle atteint sa valeur maximale. Les valeurs oscillent entre 1 mg/l enregistrées en hiver (source SW10) et 58,34 mg/l avec une moyenne de 17,32 mg/l (figure 38 c). La présence du nitrate dans les sources peut être due à l'utilisation des fertilisants dans les activités agricoles et les rejets d'eaux usées ce qui augmente le phénomène de dénitrification. les nitrates ne produisent pas de couleur ou d'odeur dans l'eau et peuvent causer le cancer chez les humains lorsqu'ils sont consommés sur une longue période de temps (Alam *et al.* 2012). La forte concentration de nitrate dans l'eau potable est toxique et provoque bébé bleu maladie / méthémoglobinémie chez les enfants et les carcinomes gastriques (Comly 1945; Gilly *et al.* 1984).

### Les sulfates

Les sulfates sont présents dans certains minéraux tels que le gypse et la baryte, Les ions du sulfate provoquent pas d'effets nocifs particuliers sur les sols ou les plantes; Toutefois, ils contribuent à augmenter la salinité de la solution du sol (Nag 2014). La teneur en sulfate

change de manière significative avec le temps lors de l'infiltration des précipitations dans le sol. La concentration de sulfate est susceptible de réagir avec les organes humains si la valeur dépasse la limite maximale autorisée de 400 mg/l et de provoquer un effet laxatif sur l'organisme humain avec l'excès de magnésium dans les eaux souterraines (Alam *et al.* 2012). Cependant, la concentration de sulfate minimale enregistrée est de 10,77mg/l en hiver (source SW4) et la valeur maximale est de 214,30 mg/l en été (source SW1) avec une valeur moyenne de 107,14 mg / l (figure 38 d). Ces valeurs sont dans la limite autorisée par l'OMS pour tous les points d'échantillonnage. La nature géologique des réservoirs gypse ou pyrite semble être à l'origine de ces variations saisonnières des teneurs en sulfates des eaux.

### 3.2.6. Les nutriments



**Figure 39** : Evolutions spatio- temporelle du  $\text{NO}_2^-$  (a), du  $\text{PO}_4^{3-}$  (b), et du  $\text{NH}_4^+$  (c) au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

## Les nitrites

Les teneurs en nitrites dans les eaux des sources varient dans une plage de 0 mg/l (valeur minimale observée pendant l'été au niveau de la source SW2) à 0,21 mg/l (valeur maximale observée pendant l'automne au niveau de la source SW5) avec une moyenne de 0,03 mg/l (figure 39 a). Les valeurs obtenues sont dans les limites indiquées par l'OMS dans tous les points prélevés. Les nitrites proviennent d'une transformation de l'ammonium par les bactéries. Leur présence est signe d'une pollution d'origine bactériologique et organique.

## Le phosphore

La signification du phosphore est principalement en ce qui concerne le phénomène de l'eutrophisation qui favorise la croissance des algues et d'autres plantes conduisant à efflorescences (EPA 2001). Il est largement utilisé comme engrais agricole et comme un constituant majeur des détergents, en particulier ceux à usage domestique. La valeur du phosphate dans les échantillons d'eau de source variait de 0,007 mg/l enregistré en été (source SW1) à 0,028 mg/l noté en automne (source SW8) (figure 39 b). Les valeurs obtenues sont admissibles aux normes de potabilité. Les rejets urbains sont la source de présence de phosphore dans les sources.

## L'ammonium

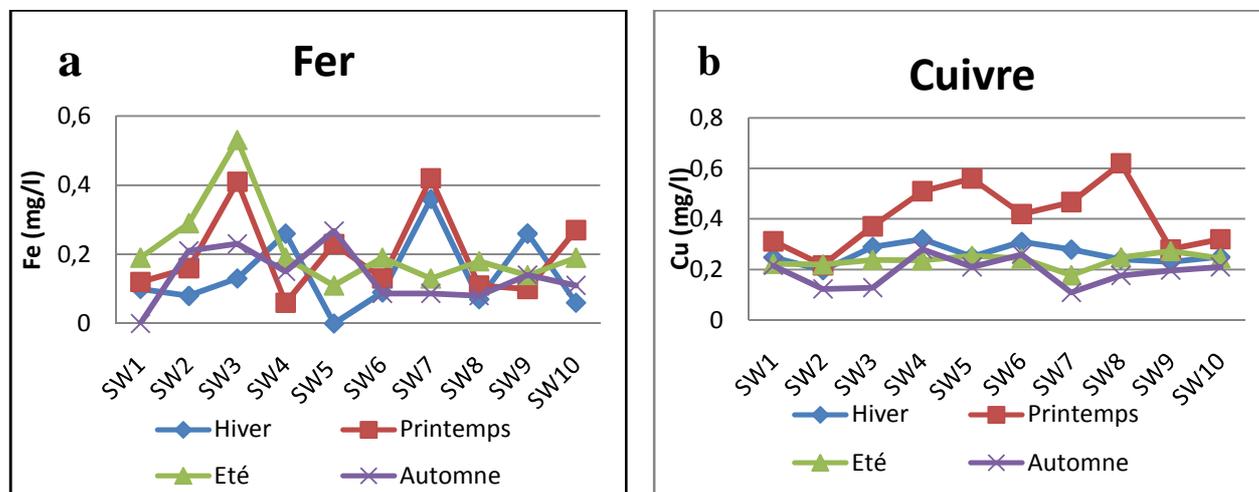
L'ion ammonium est la principale forme de l'azote dans la nature (Derwich *et al.* 2013; Chahboune *et al.* 2014). Il provient des conditions d'anaérobioses des écosystèmes (Chapman 1996). L'ammonium provient des activités humaines, rejets agricoles (notamment le lisier) ou bien des rejets et déchets industriels. L'ammonium varie entre un minimum de 0 mg/l observé en automne (source SW8) et 0,17 mg/l observé au printemps (source SW7) (figure 39 c). les concentrations en ammonium satisfont les normes de l'OMS.

### 3.2.7. Les métaux lourds

L'eau souterraine est polluée avec des métaux lourds à partir de divers sources, telles que l'altération chimique des roches et des sols, morts et la végétation en décomposition et de matière animale, les retombées humides et sèches de la matière particulaire atmosphérique et les activités anthropiques, y compris le rejet de divers effluents domestiques et industriels. Bien que les métaux lourds comme le cuivre, l'aluminium, le fer... etc. sont extrêmement

essentiel pour l'homme, mais de grandes quantités d'entre eux peuvent provoquer des troubles physiologiques (Alam *et al.* 2012).

Les mesures des concentrations des métaux lourds de tous les échantillons d'eaux de sources dans la zone d'étude sont représentées dans la figure suivante :



**Figure 40** : Evolutions spatio- temporelle du  $\text{Fe}^{2+}$  (a) et du  $\text{Cu}^+$  (b), au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

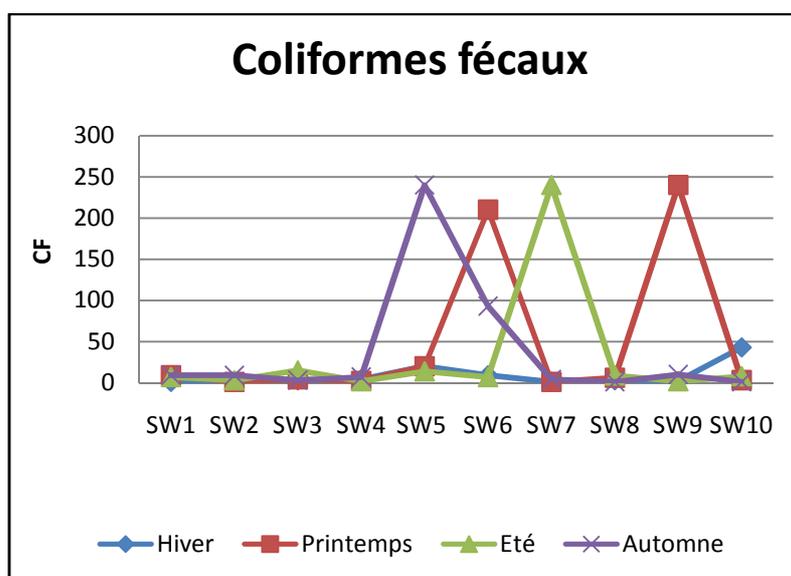
### Le fer

Le fer est un élément essentiel pour l'homme (Moore 1973) . Bien que le Fer a peu d'inquiétude en tant que danger pour la santé, il est toujours considéré comme une nuisance dans les quantités excessives (Dart 1974). Il provoque de la coloration des vêtements et des ustensiles. N'est pas également adapté pour la transformation des aliments, des boissons, la teinture, le blanchiment, etc. le minimum enregistré est de 0 mg/l en automne (source SW1) et le maximum est de 0,53 mg/l (source SW3) (figure 40 a). Les limites de concentration de fer dans la gamme de eau potable entre 0,3mg/l (maximum acceptable) et 1,0 mg /l (maximum autorisé) (Sharma *et al.* 1977). La concentration du fer dans toutes les eaux de sources de Séraïdi répond à la limite permise de l'eau potable sauf au niveau de SW 3 au printemps et en été, et SW7 en hiver et au printemps. La présence du fer pourrait être due au contact de la roche .Une concentration élevée de fer influe sur le goût, a des effets néfastes sur les usages domestiques et favorise la croissance des bactéries de fer. Des mesures doivent être prises avant la consommation par l'installation d'usines d'élimination du fer (Nag 2014).

## Le cuivre

Le cuivre est essentiel à la vie et la santé humaine, mais, comme tous les métaux lourds, il est aussi bien potentiellement toxique. L'inhalation continue de Cu contenant de pulvérisation est liée à une augmentation du cancer du poumon chez les travailleurs exposés. L'OMS a recommandé 2.000 µg / l comme valeur guide provisoire de besoins en eau potable (OMS, 1993). Les teneurs en cuivre enregistrées dans les eaux de sources varient entre 0,11 mg/l (minimum observé en automne au niveau de la source SW7) et 0,62 mg/l (maximum noté au printemps au niveau de la source SW8) avec une moyenne de 0,27 mg/l (figure 40 b). La concentration de Cu dans tous les échantillons d'eau de source de Séraïdi répond à la limite permise de l'eau potable. Au-delà de la limite autorisée, l'eau donne le goût astringent et la cause la décoloration et la corrosion des tuyaux, des raccords et des ustensiles (Alam *et al.* 2012).

### 3.2.8. Les coliformes fécaux



**Figure 41:** Evolutions spatio-temporelle du Coliformes fécaux au niveau des eaux de sources de la municipalité de Séraïdi.

Les coliformes fécaux des eaux de sources varie entre 1 et 240 colonies / 100 ml. Les eaux de sources qui dépassent les normes de l'OMS sont observées au niveau du SW5, SW10 pendant l'hiver, et les sources d'eau SW5, SW6 et SW9 pendant le printemps, la source SW7 pendant l'été et durant l'automne au niveau des sources SW5 et SW6 (figure 41). La présence

de bactéries coliformes fécales dans des niveaux très élevés peut indiquer les risques potentiels pour la santé et à la consommation humaine. Les bactéries de coliformes fécaux sont les indicateurs les plus couramment utilisés de pollution fécale dans l'eau et la nourriture. Elles habitent les étendues gastro-intestinales des organismes à sang chaud et quelques animaux à sang-froid et ne fournissent donc aucunes informations sur la source spécifique de contamination fécale. Cette information est importante parce que (i) les matières fécales provenant de sources telles que les humains et de bovins peut être considéré comme un «risque élevé» en raison de la présence possible d'agents pathogènes humains et (ii) l'identification de la source fécale est nécessaire si les plans de gestion pour la prévention des une nouvelle contamination sont à développer (Crabill *et al.* 1999)

### 3.3. Détermination des faciès chimiques

Pour bien identifier les faciès hydrochimiques et pour donner une indication sur les aspects qualitatifs des eaux de sources, la représentation graphique des résultats des analyses se révèle un outil incontournable. Pour atteindre cet objectif, les données hydrochimiques ont été traitées en utilisant le diagramme Piper (**Piper 1944**).

L'interprétation des résultats d'analyses hydro chimiques, correspondant aux périodes d'observations, a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux de sources de notre zone d'étude.

La fiabilité des analyses chimiques est contrôlée à l'aide de la balance ionique (BI) dont la formule (Schoeller 1962) est la suivante :

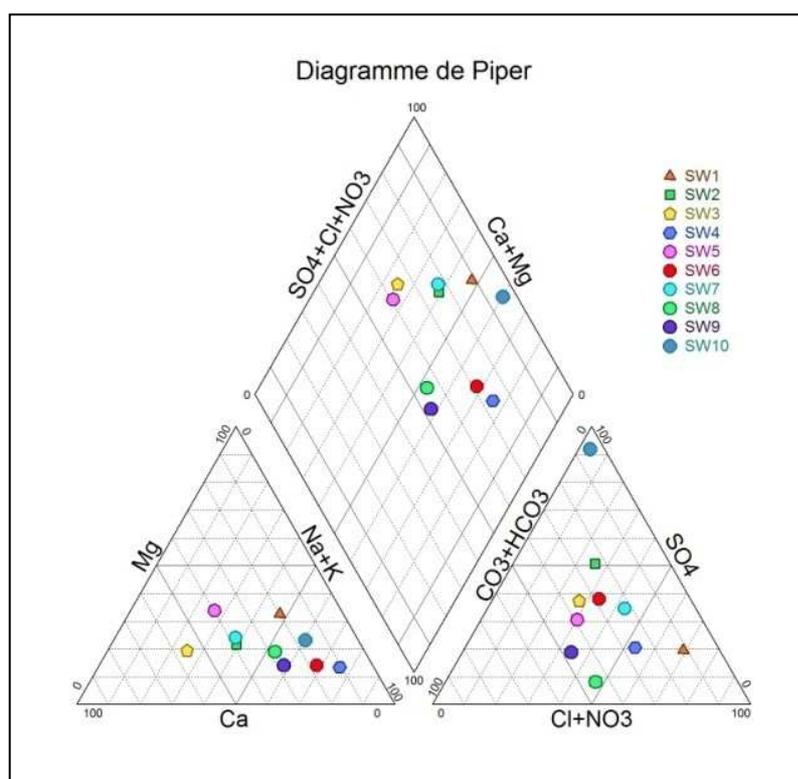
$$BI = \frac{\sum(\text{cations}) - \sum(\text{anions})}{\sum(\text{cations}) + \sum(\text{anions})} \times 100$$

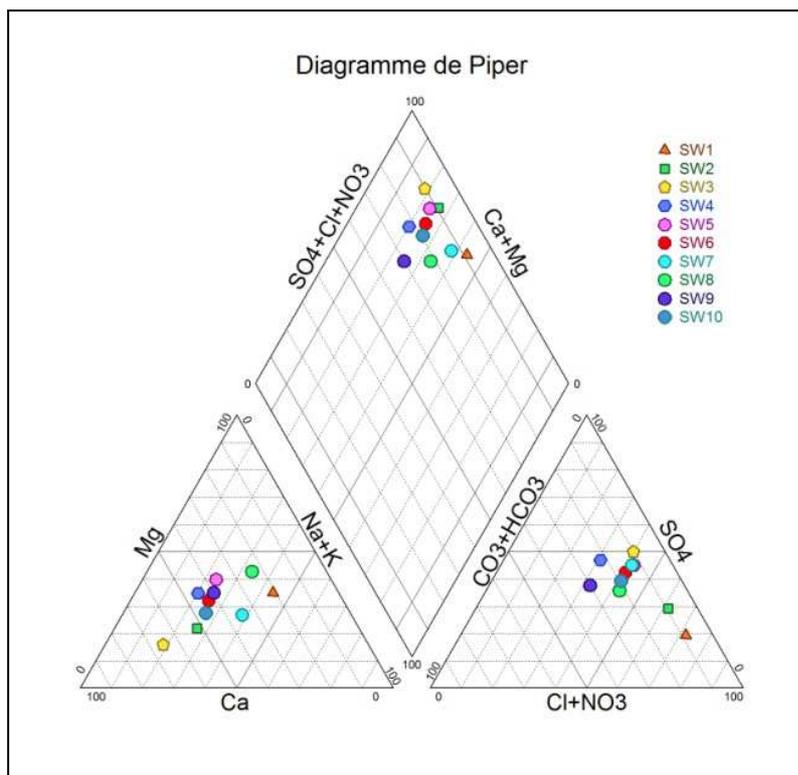
Les analyses pour lesquelles la BI est supérieure à 6% ont été éliminées. Les résultats obtenus des différentes campagnes sont récapitulés dans le tableau suivant (tableau 29).

**Tableau 29** : Faciès chimiques des eaux des sources des quatre campagnes 2015

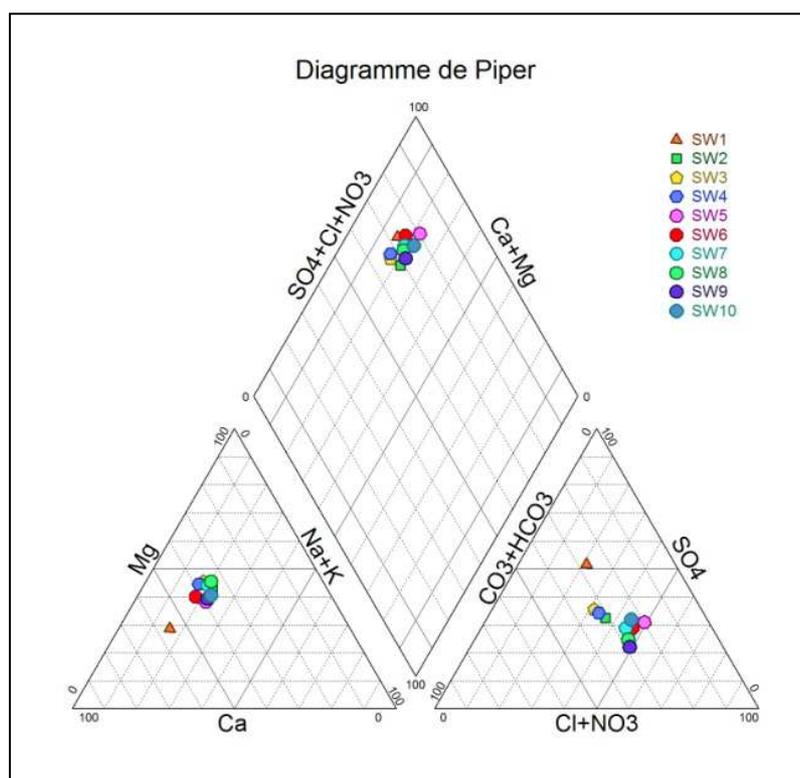
Campagnes	Faciès chimiques	Nbre de sources	Pourcentage
Hiver	chlorure et sulfaté calcique et magnésienne	5	50%
	chlorurée sodique et potassique	5	50%
Printemps	chlorure et sulfaté calcique et magnésienne	10	100%
Eté	chlorure et sulfaté calcique et magnésienne	10	100%
Automne	chlorure et sulfaté calcique et magnésienne	10	100%

La représentation des données physico-chimiques des eaux de source de la municipalité de Séraïdi des quatre campagnes de l'année 2015 sur le diagramme de Piper ont montré l'existence de deux familles de faciès chimiques. Ils sont représentés dans les figures ci-dessous :

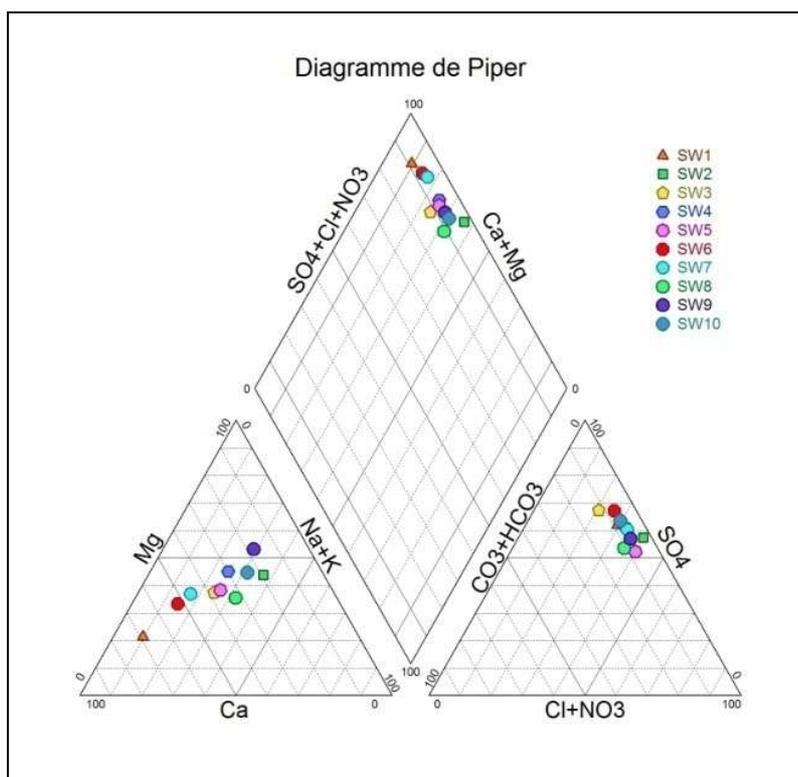
**Figure 42** : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne d'hiver 2015) Séraïdi.



**Figure 43** : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne printemps – 2015) Séraïdi.



**Figure 44** : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne d'été – 2015) Séraïdi.



**Figure 45** : Faciès des eaux de sources selon le diagramme de Piper (Campagne d'Automne – 2015) Seraidi.

Ce diagramme montre que la moitié des échantillons prélevés pendant l'hiver (figure 42) ont un faciès chlorure et sulfaté calcique et magnésien (SW1, SW2, SW3, SW5, SW7), et l'autre moitié ont un faciès chloruré sodique et potassique. La bonne corrélation entre les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  confirme la même origine de ces deux éléments, qui serait la dissolution des formations géologique (sédimentaire ou bien métamorphique) (Rouabhia 2012)

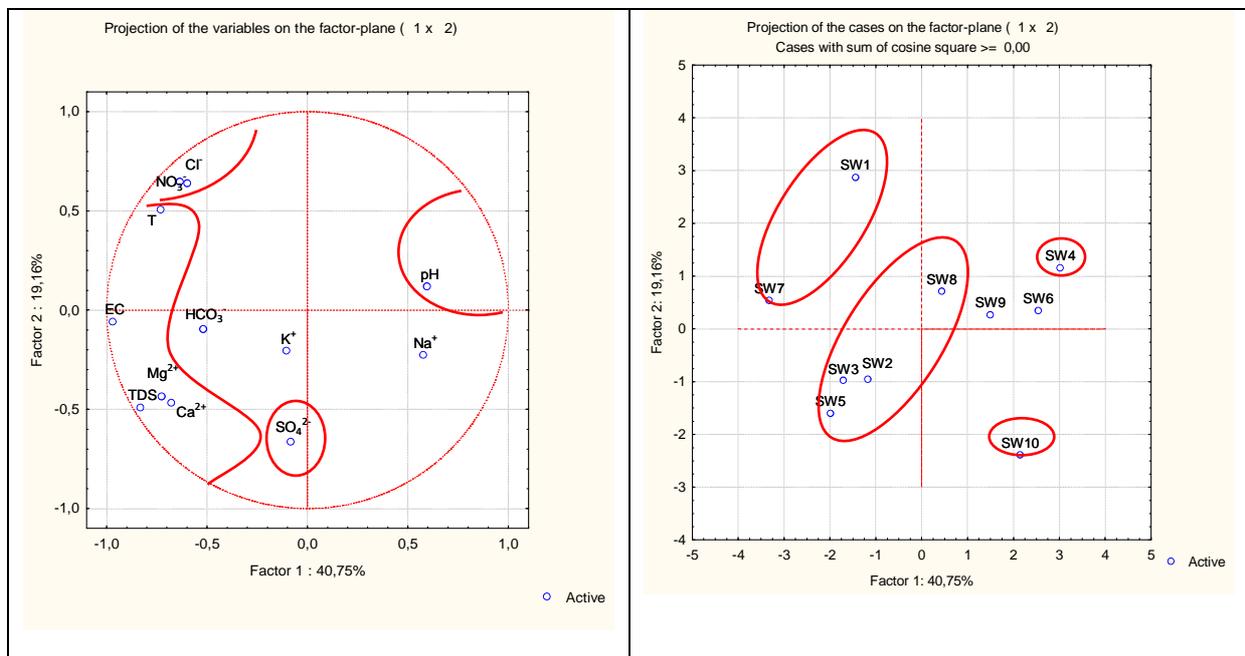
Pour le printemps, l'été et l'automne (figure 43, 44, 45), le diagramme montre clairement que toutes les eaux ont une prédominance de faciès chlorurée et sulfaté calcique et magnésienne. Les deux éléments (calcium et magnésium) interviennent dans plusieurs processus géochimiques tels que la dissolution et les précipitations secondaires des carbonates, l'échange cationique avec les minéraux argileux et la dissolution des minéraux gypseux (Zahi 2014).

### 3.4. Etude du comportement hydro-chimique par l'analyse en composantes principales (ACP) pour les sources de la région de Séraïdi.

Dans cette étude, les analyses en composantes principales ont été effectuées sur les 4 campagnes d'échantillonnage ((Janvier, Mars, Juin, Septembre 2015) et qui représentent l'analyse globale des éléments chimiques des eaux de sources. Le but de cette analyse statistique (ACP) est de faire ressortir les différents points d'eau qui possèdent des concentrations élevées en éléments chimiques par rapport à l'ensemble de la région. Cela nous permet de donner une idée préalable sur les éléments et les sites de pollution.

Ainsi, l'application de cette méthode a été réalisée sur 12 variables, qui représentent les concentrations en éléments chimiques (calcium, magnésium, sodium, potassium, chlorure, bicarbonate, sulfate, nitrate et *Total soluble solides*) et les paramètres physique (la Température de l'eau, le pH et la conductivité).

#### 3.4.1. ACP pour la campagne d'hiver (janvier 2015) :



**Figure 46** : Représentation du cercle d'ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne d'Hiver 2015

La projection de l'ensemble des paramètres sur le plan formé par les deux premières composantes principales (axe 1 et axe 2) est illustrée par la figure 46. Avec une variance de 59,91%.

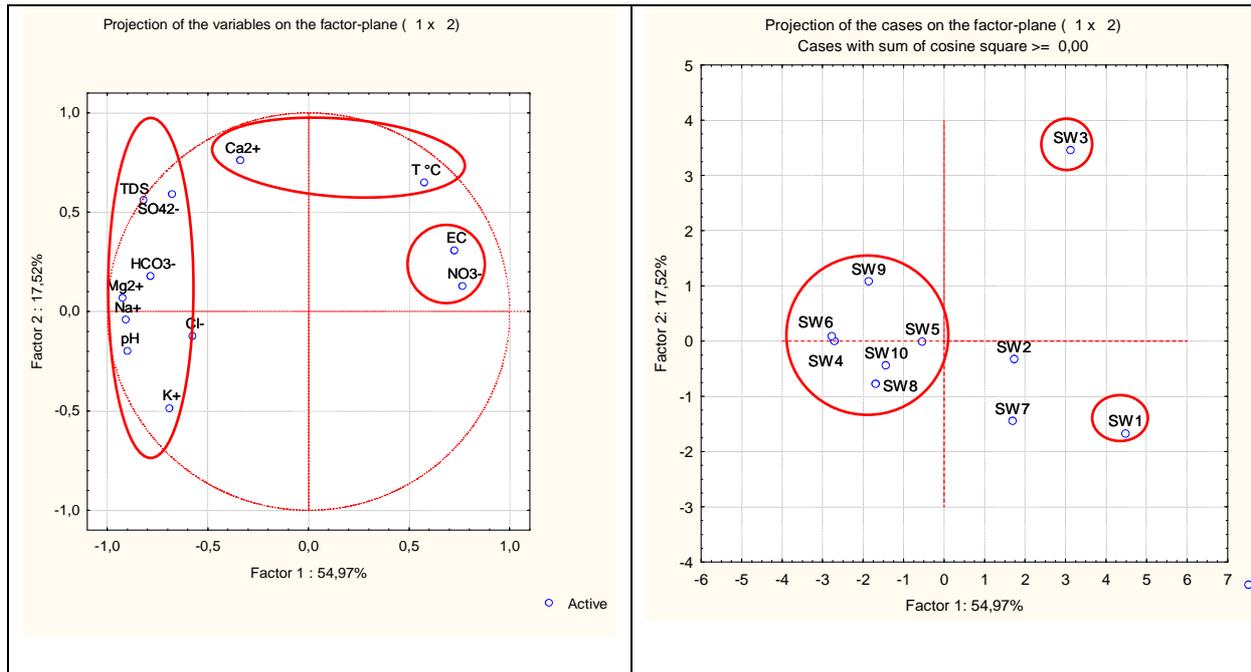
L'axe 1 avec 40,75% de la variance total, est bien corrélé à TDS, CE, T,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  avec un coefficient de corrélation très significative variant de 0,67 à 0,97. Ces éléments s'opposent au pH porté positivement par l'axe 1. Cet axe exprime l'influence du pH sur les variations de ces paramètres, notamment sur la minéralisation et la pollution. En effet au cours de la saison pluvieuse, les eaux météoriques acides contribuent à une dilution des éléments chimiques ce qui engendre une diminution des concentrations de ces éléments.

L'axe 2 avec 19,16% de la variance total, oppose les  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$  au  $\text{SO}_4^{2-}$ . Ce qui indique l'origine diverse de ces paramètres. Les  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{Cl}^-$  peuvent provenir d'une pollution suite à un déversement des eaux usées, et l'utilisation des fertilisants comme les engrais et la décomposition de la matière organique. Par contre les sulfates sont issues d'une oxydation des éléments sulfurés tels que la pyrite donc ils ont une origine géologique.

Quant aux autres éléments :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  leur répartition est aléatoire, leur coefficient de corrélation est faible, donc ils ne donnent aucune information supplémentaire.

La projection sur le plan (1-2) indique l'existence de 04 groupes, Le premier est caractérisé par des solutions minéralisées, représenté par les sources : SW2, SW3, SW5, SW8. Le second formé par les sources SW1 et SW7, il représente une pollution par la matière organique avec un apport important des nitrates et des chlorures. Le troisième est caractérisé par une solution basique représenté par la source SW4. Le dernier groupe est caractérisé par une pollution d'origine géologique représenté par la source SW10.

### 3.4.2. ACP pour la campagne du printemps (Mars 2015)



**Figure 47 :** Représentation du cercle d'ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne de Printemps 2015.

La projection de l'ensemble des variables et individus a été effectué sur les 2 axes, est illustrée par la figure 47. Avec une variance totale de 72,49%.

L'axe 1 exprime 54,97% de la variance totale, il est bien corrélé pH, TDS,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ . Avec un coefficient de corrélation très significatif qui varie entre 0,68 et 0,92. Ces éléments s'opposent aux CE et  $NO_3^-$  porté positivement par l'axe 1. Cette opposition peut être exprimée par l'influence d'infiltration issue des précipitations et du drainage des sols, décomposition de la matière organique.

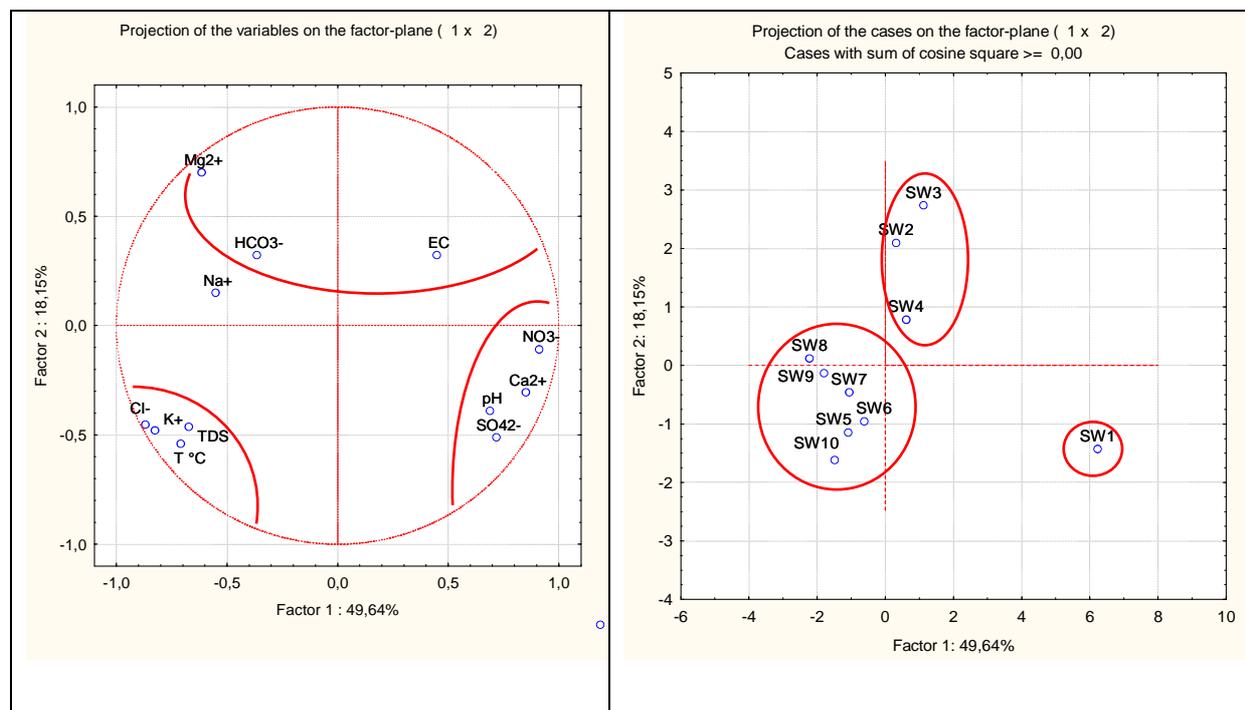
L'axe 2 avec 17,52% de la variance total, est représentée la T et les  $Ca^{2+}$ . Son interprétation s'avère délicate. Néanmoins il peut indiquer le l'influence de la température sur la dissolution des roches.

Quant au ( $Cl^- / Ca^{2+}$ ) Sa répartition est aléatoire, son coefficient de corrélation est faible, donc il ne donne aucune information supplémentaire.

La projection sur le plan (1-2) indique l'existence des 03 groupes. Le premier est caractérisé par une minéralisation, il est représenté par les sources : SW4, SW5, SW6, SW8, SW9, SW10. Le second formé par la source SW1, il représente une pollution organique

proviennent des rejets urbains. Le dernier groupe est caractérisé par un apport élevé du calcium provient de la dissolution des filons de la calcite intercalé dans les gneiss et une augmentation de la température, il est représenté par la source SW3.

### 3.4.3. ACP pour la campagne d'été (juin 2015)



**Figure 48** : Représentation du cercle d'ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne d'Été 2015.

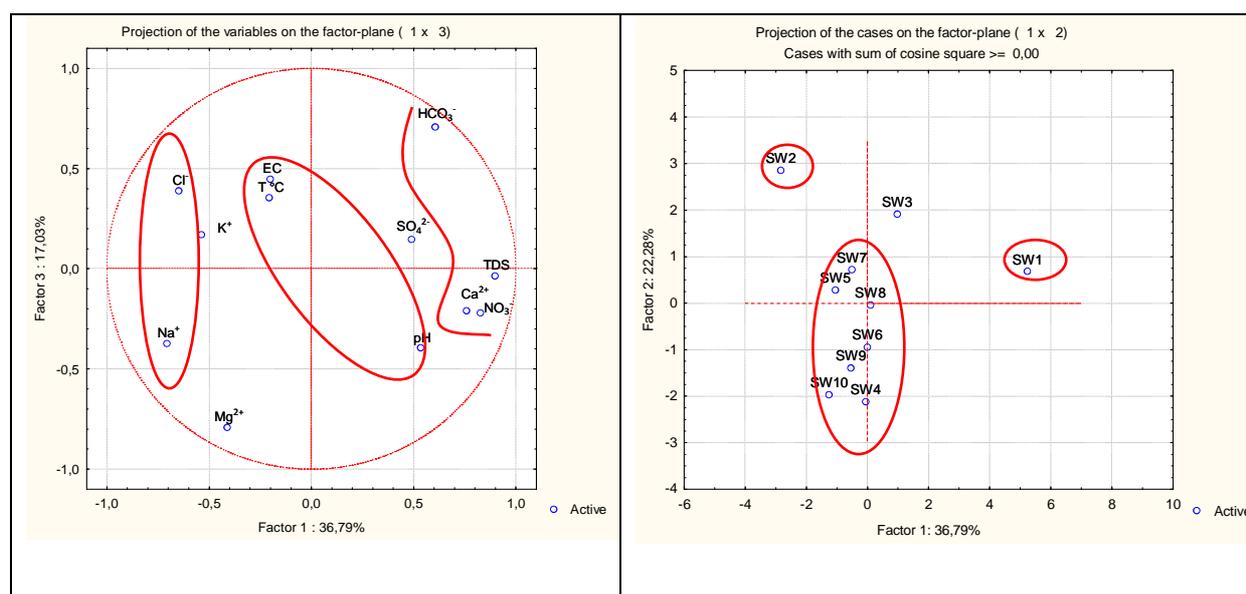
La projection de l'ensemble des variables et individus a été effectué sur les 2 axes, est illustrée par la figure 48. Avec une variance totale de 67,82%.

L'axe 1 exprime 49,64% de la variance totale, il est bien corrélé aux paramètres de Température, TDS,  $K^+$ ,  $Cl^-$  Avec un coefficient de corrélation très significatif qui varie entre 0,67 et 0,87. Ces éléments s'opposent aux pH,  $SO_4^{2-}$ ,  $Ca^{2+}$  et les  $NO_3^-$  porté positivement par l'axe 1. Cette opposition peut être expliquée par l'influence des changements climatiques sur le chimisme des eaux. En effet lors de la période estivale ; la température augmente, le débit et la vitesse d'écoulement diminue ce qui engendre d'une part la dissolution de la matrice et d'autre part la décomposition de la matière organique en relation avec la variation du pH.

L'axe 2 (18,18 % de la variance), représente les  $Mg^{2+}$ , CE et  $HCO_3^-$ . Il exprime la minéralisation.

La projection sur le plan (1- 2) indique l'existence des 3 ensembles : Le premier est caractérisé par des solutions fortement minéralisé due au changement climatique représenté par les sources : SW5, SW6, SW7, SW8, SW9, SW10. Le second formé par la source SW1, il représente une pollution de type organique ou géologique suite à la dissolution de la roche. Le dernier groupe est caractérisé par un apport élevé du magnésium qui provient de la dissolution de la matrice rocheuse, représenté par la source SW2, SW3, SW4.

### 3.4.4. ACP pour la campagne d'automne (septembre 2015)



**Figure 49** : Représentation du cercle d'ACP des variables et des individus Axes (F1 F2) campagne d'Automne 2015

La projection de l'ensemble des variables et individus a été effectué sur les 2 axes, est illustrée par la figure 49. Avec une variance totale de 53,82%.

L'axe 1 (36,79 % de la variance), il est bien corrélé TDS, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et les NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Avec un coefficient de corrélation très significatif variant entre 0,60 et 0,90. Ces éléments s'opposent aux Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>, porté négativement par l'axe 1. Cette opposition peut être exprimée par la minéralisation due à la dissolution de la roche et une pollution par les nitrates suite a un lessivage des sols par les premières pluies automnales

L'axe 2 (17,03 % de la variance), représente la Température, pH et CE. Avec un coefficient de corrélation très significatif qui varie entre 0,61 et 0,84. ces éléments s'opposent

au  $K^+$  porté négativement par l'axe 2. Expliquant ainsi l'influence de la température et le pH sur la minéralisation des eaux.

Quant aux autres éléments  $Mg^{2+}$  et  $SO_4^{2-}$  leur répartition est aléatoire, leur coefficient de corrélation est faible, donc ils ne donnent aucune information supplémentaire.

La projection sur le plan (1-2) indique l'existence de 3 groupes : Le premier groupe est formé par la source SW1, la teneur en  $NO_3^-$  est élevée qui est due à la décomposition de la matière organique il représente une pollution organique. Le second montre la salinité des eaux est caractérisé par des solutions minéralisées avec un apport en  $Na^+$  et  $Cl^-$ , il représenté par la source : SW2. Le troisième groupe rassemble les sources d'eau minéralisées.

D'une manière générale l'interprétation de l'analyse en composantes principales a mis en évidence le scénario de la pollution des eaux de source de la commune de Séraïdi par deux types de pollution : une pollution organique issue de la décomposition de la matière organique, pollution de type géologique suite à la dissolution de la matrice rocheuse

### 3.5. L'indice de qualité des eaux

#### 3.5.1. Description de l'IQE de la National Sanitation Foundation - NSF – des Etats-Unis.

Brown et al. (1970) (Brown *et al.* 1970) ont développé un indice de qualité de l'eau en accordant une grande rigueur dans la sélection des paramètres, l'élaboration d'une échelle commune, et en attribuant poids pour lesquels des exercices complexes du Delphic ont été réalisées (Bharti & Katyal 2011). Cet effort a été soutenu par la National Sanitation Foundation (NSF), qui est pour cela également appelé comme NSF-IQE (Bharti & Katyal 2011). Dans cette enquête, nous avons utilisé la NSF-IQE pour le pays d'Algérie (nord du continent africain).

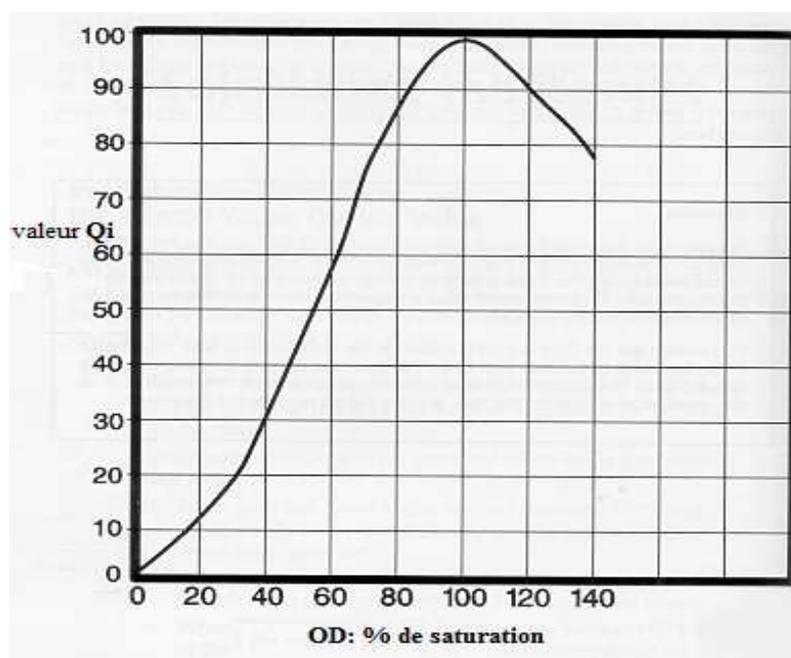
La méthode proposée destinée à comparer la qualité des divers eaux de sources, il est basée sur neuf paramètres de qualité d'eau tels que la température, le pH, la turbidité, les coliformes fécaux, l'oxygène dissous, demande biochimique en oxygène, les phosphates totaux, les nitrates et les solides totaux (Tyagi *et al.* 2013). Mais dans la présente enquête, les paramètres tels que le total des solides et la demande biochimique en oxygène (DBO) ne sont pas pris en considération car il n'y a pas de sources pour ces polluants dans la région choisie de notre étude.

Le tableau 30 qui représente les paramètres physique, chimique et biologiques pour le calcul de l'indice de la qualité de l'eau ainsi ces unités et ces poids.

**Tableau 30** : les paramètres physiques, chimiques et biologiques et ces poids.

Classification	Paramètre	Unité	poids
Physique	Température	°C	0.10
	Turbidité	NTU	0.08
Chimique	oxygène dissous (DO)	%	0.17
	phosphate totale	mg/l	0.10
	nitrate totale	mg/l	0.10
	pH		0.11
Biologique	Coliformes fécaux	CFU/100ml	0.16

Les données de qualité de l'eau sont enregistrées et transférées à un graphique de la courbe de pondération ( Figure 50), où une valeur numérique de  $Q_i$  est obtenu (Tyagi *et al.* 2013).



**Figure 50** : Courbe de l'OD % de saturation.

L'expression mathématique pour NSF IQE est donnée par l'expression suivante:

$$IQE = \sum_{i=1}^n Q_i W_i$$

Où,

Qi = sous-indice pour le paramètre de qualité de l'eau;

Wi = poids associé au ith paramètre de qualité de l'eau;

n = nombre de paramètres de qualité de l'eau

Pour cette méthode NSF IQE, l'évaluation des données de la qualité de l'eau ont été définis comme il est indiqué dans le tableau 31:

**Tableau 31** : La classification de la qualité de l'eau fondée sur les valeurs du IQE (Rajendran & Mansiya 2015)

Gamme	Qualité de l'eau	champ d'application
91–100	Excellente	Peut être utilisé pour la consommation domestique et des fins industrielles
71–90	Bonne	Bon peut-être utilisée pour boire, etc.
51–70	Moyenne	peut être utilisé que pour l'irrigation et le contact du corps partiel
26–50	Mauvaise	Ne peut pas être utilisé à n'importe quel but sans traitement
0–25	très mauvaise	Ne peut pas être utilisé à n'importe quel but sans traitement

### 3.5.2. Résultats et discussion

La National Sanitation Foundation (NSF) a donné une gamme de valeurs pour l'indice de qualité de l'eau (IQE) pour exprimer la qualité des échantillons des eaux (Rajendran & Mansiya 2015). La contamination des eaux souterraines est l'un des problèmes majeurs dans les études sur la qualité de l'eau (Schilling & Wolter 2007; Raju *et al.* 2009).

la NSF-IQE est calculé par sept variables de qualité de l'eau utilisée pour la compréhension de la qualité de l'eau souterraine à déterminé son aptitude à boire, domestique, agricole et à des fins industrielles. A partir des données de qualité de l'eau mesurée dans les Quatre campagnes de prélèvements (Janvier, Mars, Juin et Septembre 2015).

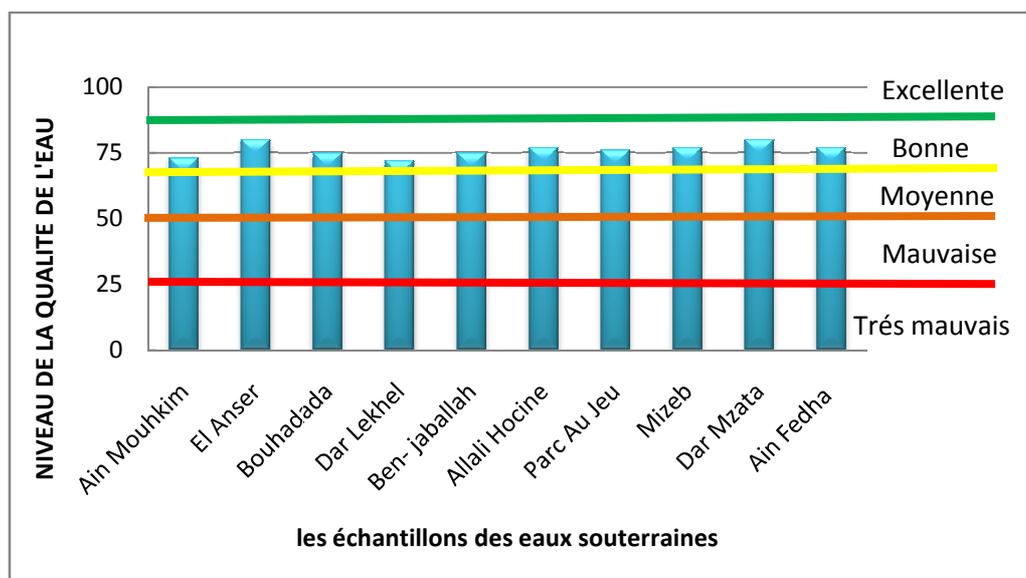
### 3.5.2.1. Première campagne d'hiver (Janvier 2015)

La qualité de l'eau évaluée sur dix échantillons d'eau est indiquée au tableau 32.

**Tableau 32** : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne d'hiver.

Paramètre	Facteur du poids (Q)	SW1	SW2	SW 3	SW4	SW5	SW6	SW 7	SW8	SW9	SW10
saturation OD%	0,17	99	98	98	99	99	98	99	99	98	98
Coliformes Fécaux	0,16	99	99	86	82	63	73	99	86	91	54
pH	0,11	52	92	68	39	93	90	65	69	92	66
Température (T°C)	0,10	24	25	30	32	32	35	25	31	33	39
Total phosphate	0,10	94	94	94	94	94	94	93	94	95	94
Total nitrate	0,10	19	33	37	43	42	43	29	48	38	96
Turbidité	0,08	98	98	98	98	98	98	98	98	97	98
Valeur totale de l'IQE		73	80	75	72	75	77	76	77	80	77

La valeur de l'OD (% de saturation) de tous les échantillons d'eau est comprise entre 95,30 et 106,45%. Les coliformes fécaux des eaux de sources varie entre 1 et 43 colonies / 100 ml. La valeur la plus haute est observée à SW5 et SW10. Les valeurs de pH dans des échantillons varient entre 5,89 et 9,31 avec une valeur moyenne de 7,28. Les valeurs de pH pour les échantillons sont bien dans les limites prescrites par l'OMS sauf au niveau SW1, SW3, SW4, SW7, SW10. Les valeurs de phosphate de tous les échantillons sont inférieures à 0,02 mg / l les valeurs de phosphate pour tous les échantillons sont bien dans les limites fixées par la norme OMS. Les valeurs de température des échantillons d'eau souterraine de la zone d'étude sont variables entre 11,40 et 18,60 ° C. Les valeurs de turbidité dans les échantillons d'eau sont variables entre 0,17 et 0,65 NTU. Les valeurs de turbidité des échantillons d'eau souterraine sont bien dans les limites prescrites par l'OMS(WHO 2013)



**Figure 51** : Niveau de la qualité de l'eau dans les échantillons d'eau de source.

Selon la grille NSF, IQE varie entre 72 et 80. Le Calcul de l'IQE pour des échantillons individuels est représenté dans la figure 51. Tous les eaux de sources sont classés comme de bonne qualité et peuvent être utilisées pour la consommation humaine, les usages domestiques et industriels.

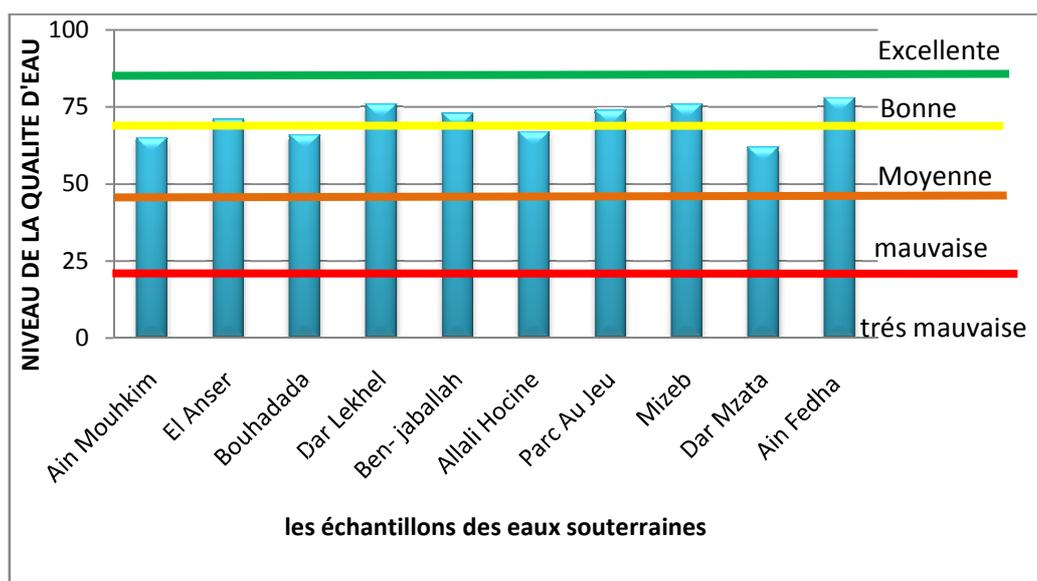
### 3.5.2.2. Deuxième campagne du printemps (Mars 2015)

La qualité de l'eau évaluée sur dix échantillons d'eau est indiquée au tableau 33.

**Tableau 33** : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne du printemps.

Paramètre	Facteur du poids (Q)	SW1	SW2	SW 3	SW4	SW5	SW6	SW 7	SW8	SW9	SW10
saturation OD%	0,17	99	95	95	90	97	93	87	96	93	93
Coliformes Fécaux	0,16	73	99	82	91	63	37	99	78	36	86
pH	0,11	40	46	33	80	89	89	55	89	65	92
Température (T°C)	0,10	26	26	23	30	28	29	29	28	26	27
Total phosphate	0,10	95	94	94	94	94	95	94	94	94	94
Total nitrate	0,10	7	15	16	38	36	36	39	35	24	47
Turbidité	0,08	98	97	97	97	97	97	98	97	97	97
Valeur totale de l'IQE		65	71	66	76	73	67	74	76	62	78

La valeur de l'OD (% de saturation) de tous les échantillons d'eau est comprise entre 79,83 et 103,09%. Les coliformes fécaux des eaux de sources varie entre 1 et 240 colonies / 100 ml. Les eaux de sources qui dépassent les normes de l'OMS sont observées au niveau du SW5, SW6 et SW9. Les valeurs de pH dans des échantillons varient entre 5,21 et 8,11 avec une valeur moyenne de 6,59. Les valeurs de pH pour les échantillons sont bien dans les limites prescrites par l'OMS sauf au niveau SW1, SW2, SW3, SW7, SW9. Les valeurs de phosphate de tous les échantillons sont inférieures à 0,2 mg / l les valeurs de phosphate pour tous les échantillons sont bien dans les limites fixées par la norme OMS. Les valeurs de NO<sub>3</sub>- pour les échantillons sont bien dans les limites prescrites par l'OMS sauf au SW1. Les valeurs de turbidité dans les échantillons d'eau varient entre 0,30 et 0,83 NTU. Les valeurs de turbidité des échantillons d'eau souterraine sont bien dans les limites prescrites par l'OMS (WHO 2013) .Les valeurs de température des échantillons d'eau souterraine de la zone d'étude sont variables entre 15,32 et 19,43 ° C.



**Figure 52** : Niveau de la qualité de l'eau dans les échantillons d'eau de source.

Selon la grille NSF, IQE varie entre 62 et 78. Le Calcul de l'IQE pour des échantillons individuels est représenté dans la figure 52. Tous les eaux sources sont classés comme de bonne qualité et peuvent être utilisées pour la consommation humaine, les usages domestiques et industriels à l'exception de l'eau souterraines SW1, SW3, SW6 et SW9 qui sont classées comme qualité moyenne et peut être utilisé que pour l'irrigation et le contact partiel avec le corps.

### 3.5.2.3. Troisième campagne d'été (Juin 2015)

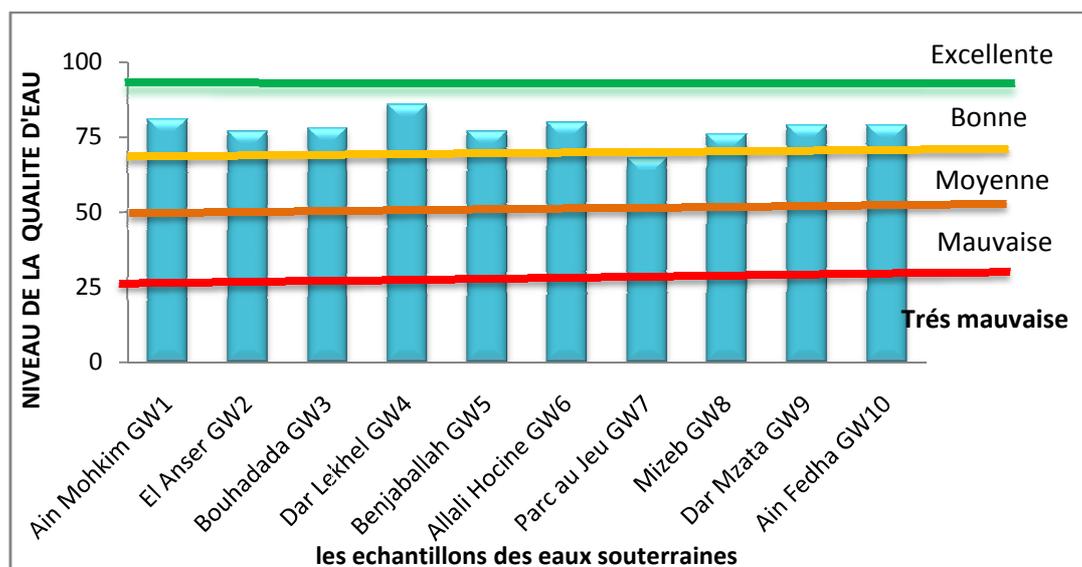
La qualité de l'eau évaluée sur dix échantillons d'eau est indiquée au tableau 34.

**Tableau 34** : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne d'été.

Paramètre	Facteur du poids (Q)	SW1	SW2	SW 3	SW4	SW5	SW6	SW 7	SW8	SW9	SW10
saturation OD%	0,17	88	61	84	99	83	92	69	99	87	88
Coliformes Fécaux	0,16	76	86	67	91	67	76	36	73	91	74
pH	0,11	92	92	92	90	92	83	93	48	63	85
Température (T°C)	0,10	27	28	25	23	14	18	17	16	19	21
Total phosphate	0,10	97	92	93	92	93	93	92	92	92	93
Total nitrate	0,10	92	95	96	96	96	96	96	96	96	96
Turbidité	0,08	96	97	97	97	97	97	98	97	97	97
Valeur totale de l'IQE		81	77	78	86	77	80	68	76	79	79

La valeur de l'OD (% de saturation) de tous les échantillons d'eau est comprise entre 62,4 et 100%. Les coliformes fécaux des eaux de sources varie entre 2 et 240 colonies / 100 ml. La valeur la plus haute est observée à SW 7 "parc au jeu" (zone de loisirs). Les valeurs de pH dans des échantillons varient entre 7,25 et 9,01 avec une valeur moyenne de 8,13. Les valeurs de pH pour les échantillons sont bien dans les limites prescrites par l'OMS. Les valeurs de pH dans des échantillons varient entre 7,25 et 9,01 avec une valeur moyenne de 8,13. Les valeurs de pH pour les échantillons sont bien dans les limites prescrites par l'OMS.

Les valeurs de phosphate de tous les échantillons sont inférieures à 0,02 mg / l les valeurs de phosphate pour tous les échantillons sont bien dans les limites fixées par la norme OMS. The turbidity values in water samples are varying between 0.43 and 0.73 units. Les valeurs de température des échantillons d'eau souterraine de la zone d'étude sont variables entre 16,60 et 24,80 ° C. Les valeurs de turbidité dans les échantillons d'eau sont variables entre 0,43 et 0,73 unités. Les valeurs de turbidité des échantillons d'eau souterraine sont bien dans les limites prescrites par l'OMS(WHO 2013)



**Figure 53:** Niveau de la qualité de l'eau dans les échantillons d'eau de source.

Selon la grille NSF, IQE varie entre 68 et 86. Le Calcul de l'IQE pour des échantillons individuels est représenté dans la figure 53. Toutes les eaux de sources sont classés comme de bonne qualité et peuvent être utilisées pour la consommation humaine, les usages domestiques et industriels, à l'exception de l'eau souterraines SW7"parc au jeu" qui est classé comme qualité moyenne et peut être utilisé que pour l'irrigation et le contact partiel avec le corps.

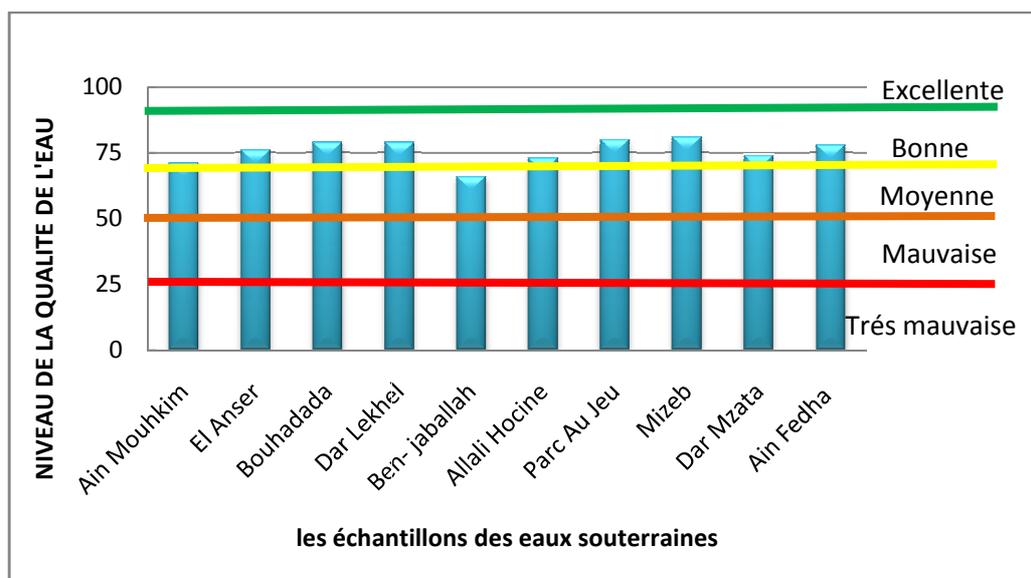
### 3.5.2.4. Quatrième campagne d'Automne (Septembre 2015)

La qualité de l'eau évaluée sur dix échantillons d'eau est indiquée au tableau 35.

**Tableau 35** : Les valeurs globales de l'IQE de tous les échantillons de la campagne d'Automne.

Paramètre	Facteur du poids (Q)	SW1	SW2	SW 3	SW4	SW5	SW6	SW 7	SW8	SW9	SW10
saturation OD%	0,17	99	98	99	99	99	99	98	98	90	99
Coliformes Fécaux	0,16	73	73	86	76	36	45	82	99	72	99
pH	0,11	84	88	88	88	88	88	88	88	88	55
Température (T°C)	0,10	34	31	31	40	31	34	33	33	36	34
Total phosphate	0,10	94	92	94	95	94	94	94	83	94	94
Total nitrate	0,10	10	40	40	42	40	48	49	42	33	45
Turbidité	0,08	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
Valeur totale de l'IQE		71	76	79	79	69	73	80	81	74	78

La valeur de l'OD (% de saturation) de tous les échantillons d'eau est comprise entre 84,14 et 102,42%. Les coliformes fécaux des eaux de sources varie entre 1 et 240 colonies / 100 ml. La valeur la plus haute est observée à SW5 et SW6 .Les valeurs de pH dans des échantillons varient entre 6,15 et 8,25 avec une valeur moyenne de 7,34. Les valeurs de pH pour les échantillons sont bien dans les limites prescrites par l'OMS sauf à SW10. Les valeurs de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans des échantillons varient entre 11,32 et 51,60 avec une valeur moyenne de 20,10. Les valeurs de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pour les échantillons sont bien dans les limites prescrites par l'OMS sauf au SW1. Les valeurs de phosphate de tous les échantillons sont inférieures à 0,2 mg / l les valeurs de phosphate pour tous les échantillons sont bien dans les limites fixées par la norme OMS. Les valeurs de température des échantillons d'eau souterraine de la zone d'étude sont variables entre 11,40 et 15,60 ° C. Les valeurs de turbidité dans les échantillons d'eau sont variables entre 0,28 et 0,47 NTU. Les valeurs de turbidité des échantillons d'eau souterraine sont bien dans les limites prescrites par l'OMS(WHO 2013)



**Figure 54:** Niveau de la qualité de l'eau dans les échantillons d'eau de source.

Selon la grille NSF, IQE varie entre 69 et 81. Le Calcul de l'IQE pour des échantillons individuels est représenté dans la figure 54. Toutes les eaux de sources sont classés comme de bonne qualité et peuvent être utilisées pour la consommation humaine, les usages domestiques et industriels, à l'exception de l'eau souterraines SW5 qui est classé comme qualité moyenne et peut être utilisé que pour l'irrigation et le contact partiel avec le corps.

## 4. Aptitude des eaux à l'irrigation

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). De nombreuses études ont été menées sur les sources tels que les processus géochimiques dans ces systèmes (Major 1996; Kiniouar 2006).

La chimie des eaux souterraines est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets urbains et l'activité agricole (kherici 1993; Djabri 1996). Et, en raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin d'évaluer l'aptitude des eaux des sources de Séraïdi à l'irrigation.

### 4.1. Risque de Salinité :

#### 4.1.1. Conductivité :

L'excès des teneurs en sels est l'un des soucis principaux de l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sels dans le sol affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation du sol et une pollution des eaux souterraines.

Les sels contenus dans les eaux d'irrigation, s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Pour éviter ce risque, on doit déterminer la valeur de la conductivité et la classer suivant les valeurs seuils suivantes :

- Si la conductivité en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  est inférieure à 700, il n'y aucune restriction pour l'irrigation;
- Si la conductivité variée entre 700 et 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la restriction pour l'irrigation est légère à modérée;
- Si la conductivité est supérieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la restriction pour l'irrigation est forte.

**Tableau 36 :** Convenance à l'irrigation des eaux des sources de la région selon la conductivité.

Restriction pour l'irrigation	Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Pourcentage des échantillons (%)			
		Campagne d'Hiver	Campagne de Printemps	Campagne d'Eté	Campagne d'Automne
Aucune	< 700	100	100	80	100
légère à modéré	700 -3000	0	0	20	0
Forte	> 3000	0	0	0	0

Dans notre région d'étude, la majorité des résultats obtenus (tableau 36) des sources n'exige aucune restriction pour l'irrigation sauf en été où 20 % des échantillons exigent une restriction légère à modérée.

#### 4.1.2. Tolérance aux sels:

Le tableau 37, montre la variation du rendement de certaines cultures en fonction de la salinité. On remarque que plus la salinité augmente, le rendement diminue. Pour éviter cela, il est recommandé l'utilisation d'eaux contrôlée et satisfaisante aux cultures pratiquées, et de prendre les précautions nécessaires en matière de drainage.

**Tableau 37 :** Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation (Ayers & Westcot 1988).

Culture	Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )			
Orge	5300	6700	8700	12000
Blé	4000	4900	6400	8700
Chute de rendement	0	10	25	50

## 4.2. Classifications des eaux destinées à l'irrigation

La qualité de l'eau pour l'irrigation des terres agricoles, peut être appréciée par les indices de qualité de l'eau tels que : le risque de salinité, la conductivité électrique CE, le SAR, le diagramme de Richards, diagramme de Wilcox, l'indice de perméabilité, l'indice de Kelly qui ont été calculés à partir des résultats d'analyses des dix sources répartis le long des quatre campagnes de l'année 2015.

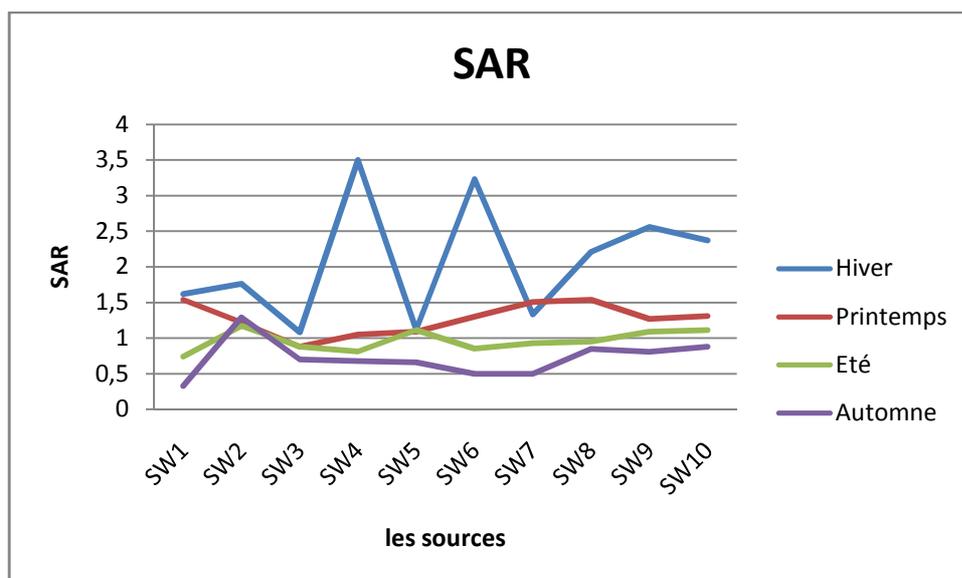
### 4.2.1. L'indice d'adsorption du Sodium (SAR)

Le Risque de sodium est également exprimé en termes de rapport d'adsorption du sodium (SAR). Ce paramètre est couramment utilisé comme un indice pour évaluer l'aptitude de l'eau à des fins d'irrigation (Ayers & Westcot 1994; Shaki & Adeloye 2006) . Le SAR est calculé à partir du rapport du sodium au calcium et au magnésium. Les deux derniers ions sont importants car ils tendent à contrer l'effet du sodium. L'utilisation continue de l'eau ayant un taux élevé de SAR conduit à la dégradation de la structure physique du sol. Le sodium est adsorbé et se fixe aux particules du sol. Le sol devient alors dur et compact lorsqu'il est sec et imperméable à la pénétration de l'eau. Le degré auquel l'eau d'irrigation a tendance à entrer dans des réactions d'échange de cations présents dans le sol peut être indiqué par le taux d'adsorption de sodium. Remplacer le sodium adsorbé par le calcium et le magnésium est un danger car elle provoque des dommages à la structure du sol. Le SAR est un paramètre important pour la détermination de l'aptitude de l'eau d'irrigation, car il est responsable des dangers de sodium (Nagarajah *et al.* 1988) . Le SAR est calculé par l'équation suivante :

Où toutes les concentrations sont exprimées en meq /l :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$$

Si la valeur SAR est <10 : l'eau est sans danger pour irriguer sans détérioration structurelle. D'autre part, si la valeur SAR est > 6-9 : l'eau d'irrigation peut causer des problèmes de perméabilité sur le rétrécissement et les types de sols argileux (Rhoades *et al.* 1992; Saleh *et al.* 1999). Une concentration élevée en sels dans l'eau conduit à la formation des sols salins et de la haute concentration de sodium conduit au développement d'un sol alcalin (Singh *et al.* 2004).



**Figure 55 :** Variations saisonnières des valeurs du SAR dans les sources de Séraïdi

Les valeurs du SAR des sources d'eau de Séraïdi sont présentées dans la figure 55. Ces valeurs oscillent entre 0,33 à 3,5; et restent dans les limites recommandées. La valeur la plus élevée a été observée en hiver (SW4). A travers les résultats du SAR obtenus pour les sources de Séraïdi qui sont <10, ce qui indique qu'ils sont d'une excellente qualité pour l'irrigation.

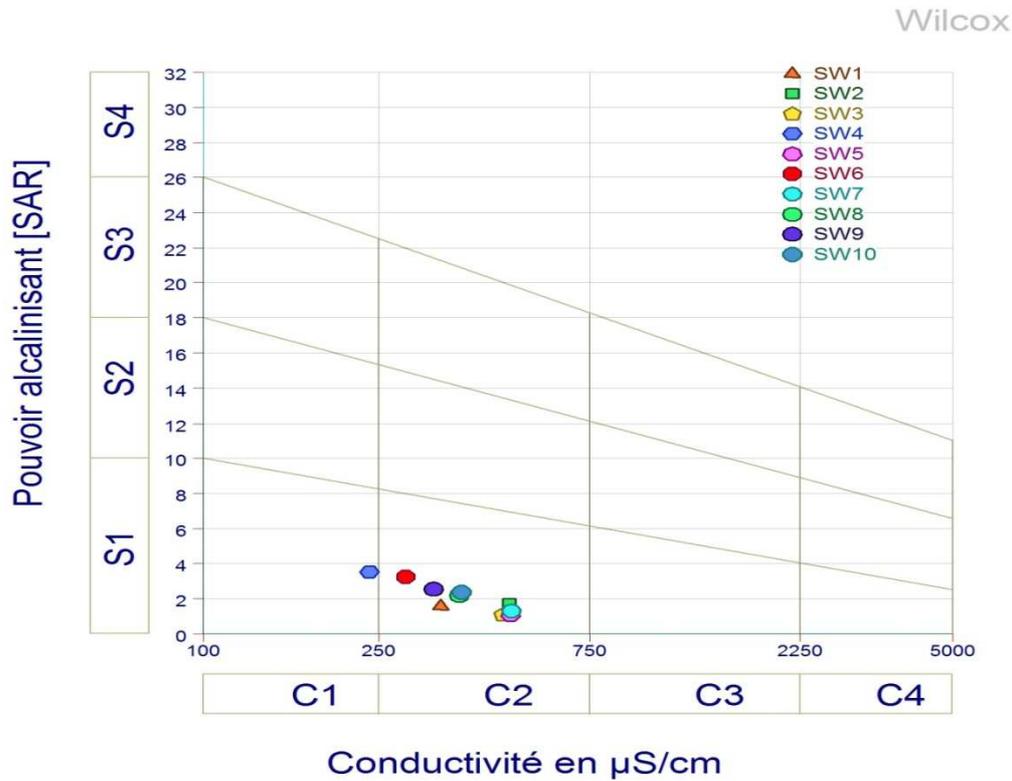
#### 4.2.2. Diagramme de Richards

Ce diagramme est utilisé pour évaluer le risque de salinisation des sols. L'indice d'adsorption du sodium (SAR) aussi appelé « pouvoir alcalisant », qui est une mesure du risque de la sodisation du sol du fait de l'irrigation.

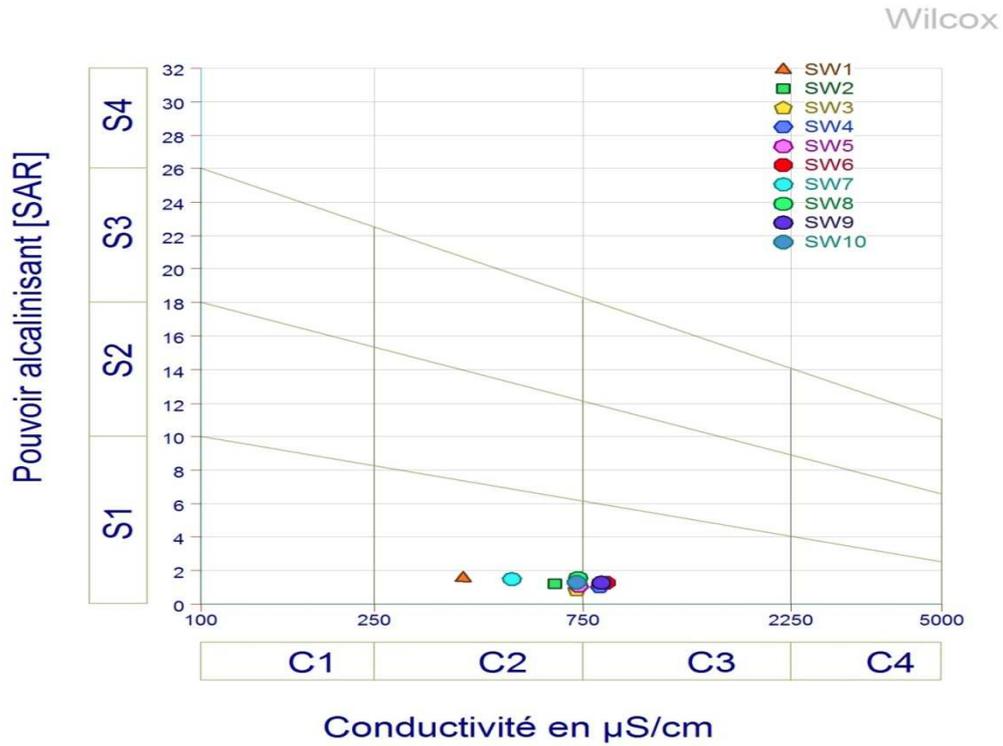
Le diagramme de Richards propose quatre classes du SAR en fonction quatre classes de salinité exprimée par la conductivité électrique.

Pour déterminer comment l'interaction des divers ions affectant l'aptitude de l'eau pour l'irrigation, le SAR a été tracée à la mesure de conductivité sur le diagramme de Richard (1954). Le diagramme de la salinité utilise des valeurs SAR et de la CE pour classer la qualité l'eau d'irrigation. Dans ce schéma, les eaux ont été divisées en bas (C1), moyen (C2), haute (C3) et très haute (C4) types sur la base du risque de salinité. L'eau qui est dans le milieu classe de danger de la salinité (C2) peut être utilisé dans la plupart des cas sans pratiques spéciales pour le contrôle de la salinité. Les échantillons d'eau tombant dans la salinité élevée classe de danger (C3) peuvent avoir des effets néfastes sur les cultures et les plantes sensibles;

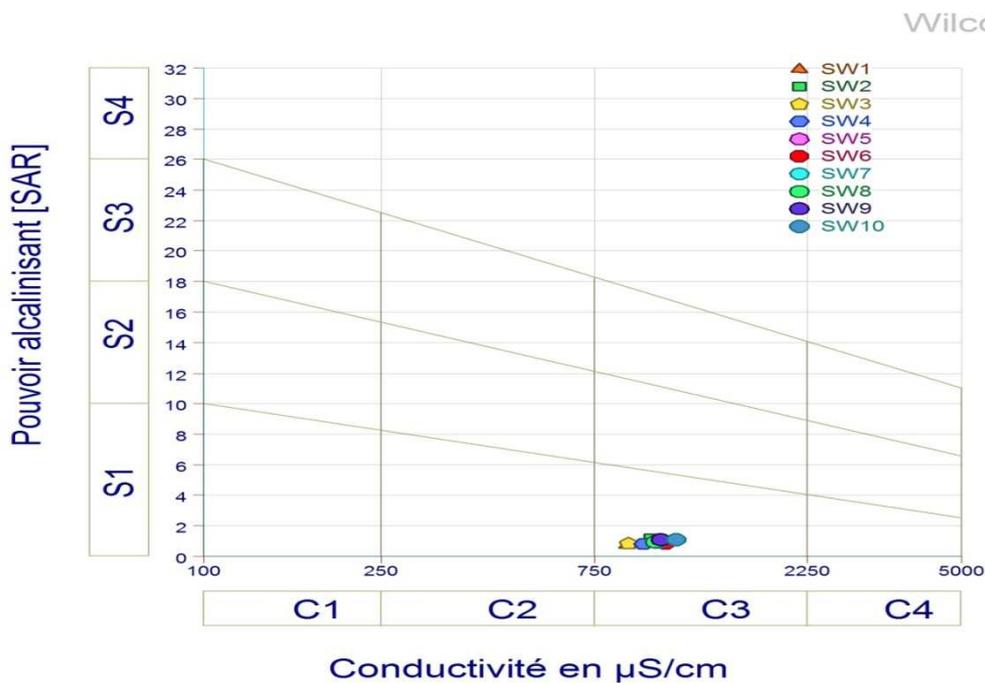
cependant, l'eau de salinité très élevée (C4) ne convient pas pour l'irrigation. Sur la base des eaux de danger de sodium ont été classés faible (S1), moyen (S2), haute (S3) et très élevé (S4) types (USSLS 1954). Dans la zone d'étude, les valeurs de conductivité électrique varie entre 96,8 et 777  $\mu\text{s/cm}$  avec une valeur minimale et maximale, respectivement.



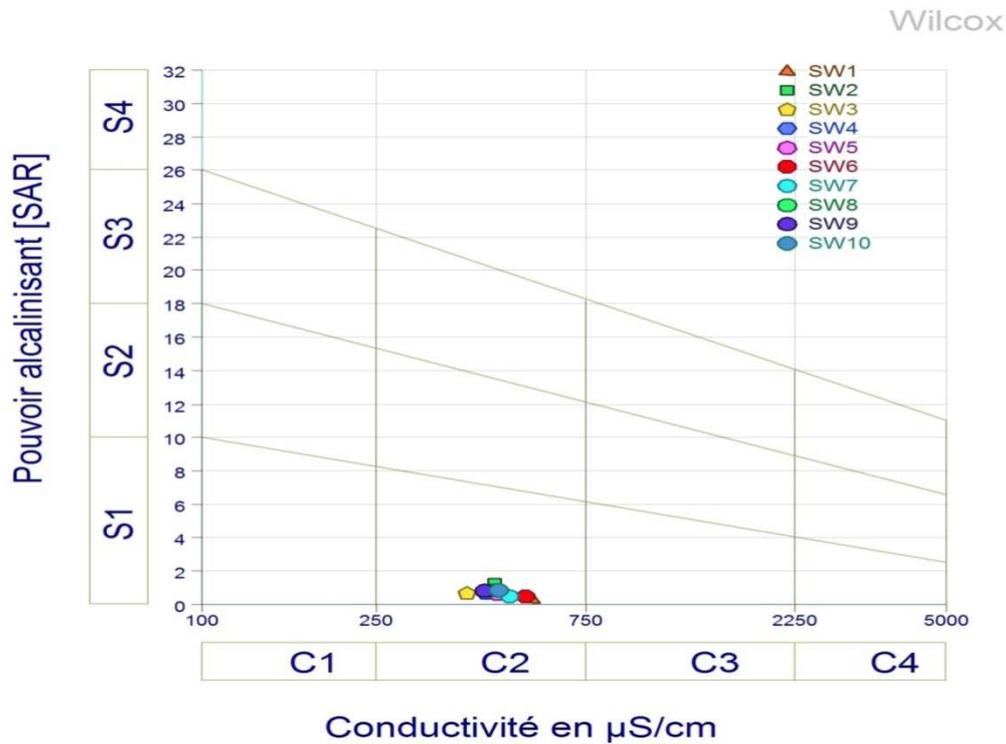
**Figure 56 :** Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l'irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne d'Hiver 2015.



**Figure 57:** Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l'irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne de Printemps 2015.



**Figure 58 :** Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l'irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne d'Eté 2015.



**Figure 59:** Classifications des eaux de sources de Séraïdi destinées à l'irrigation (diagramme de (Richards 1954) - campagne d'Automne 2015.

On constate sur les Figures ci-dessus (figure 56,57 ,58 ,59), dans la campagne d'hiver et d'automne la majorité des points d'eau est représentée dans la classe C2-S1 mettant en évidence la salinité moyenne et faible teneur en sodium. Sauf en hiver où la source SW4 est représentée dans la classe C1-S1 montrant une faible salinité et concentration de sodium faible.

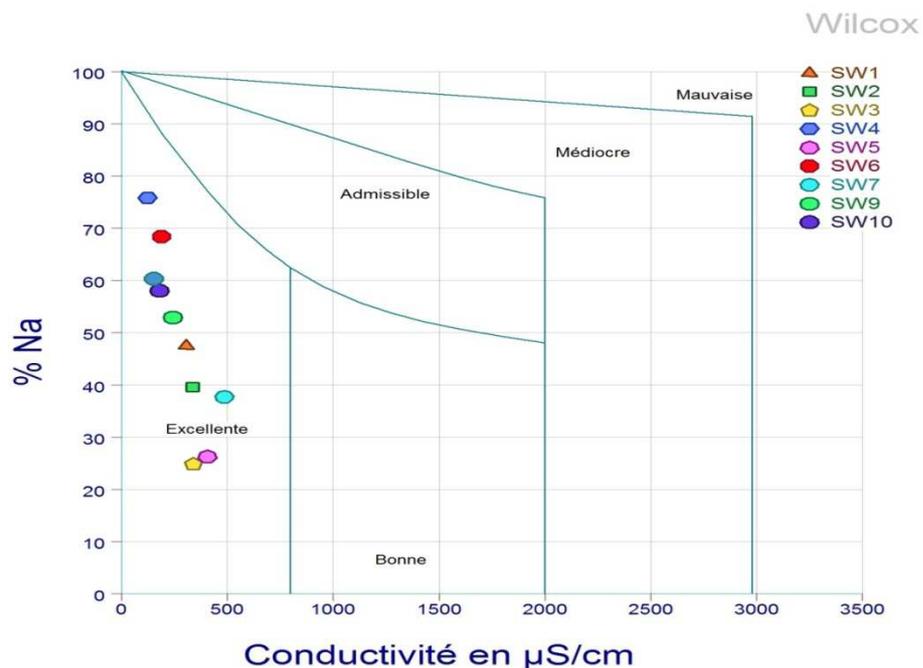
Cependant, tous les échantillons en été des eaux des sources représentés dans le domaine des classes C3-S1, ce qui indique un risque de salinité élevé et une faible teneur en sodium. campagne printemps, la plupart des sources sont classées dans C2 S1, sauf les sources SW4, SW6, SW9 qui sont dans la classe C3S1.

### 4.2.3. Diagramme de Wilcox:

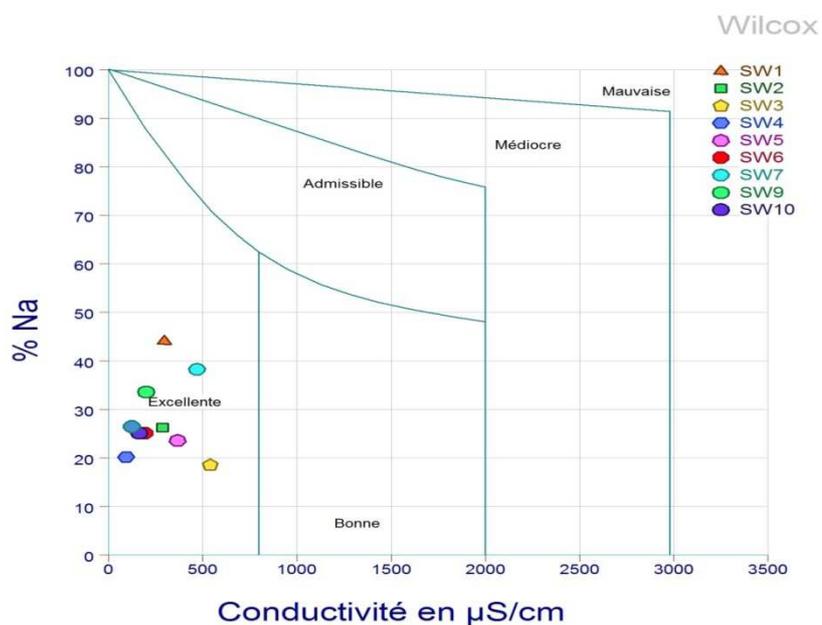
L'eau d'irrigation contenant de grandes quantités de sodium est particulièrement préoccupante en raison des effets de sodium sur le sol. Le sodium en excès dans l'eau produit des effets indésirables, tel que : la modification des propriétés du sol , la réduction de la perméabilité du sol (Rao 2006) et peut aussi empêcher la croissance des plantes (Joshi *et al.* 2009). Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de sodium (Na%) est calculé en utilisant l'équation suivante (Wilcox 1955), où toutes les concentrations sont exprimées en meq / l:

$$Na\% = \frac{Na+K}{Ca+Mg+Na+K} \times 100$$

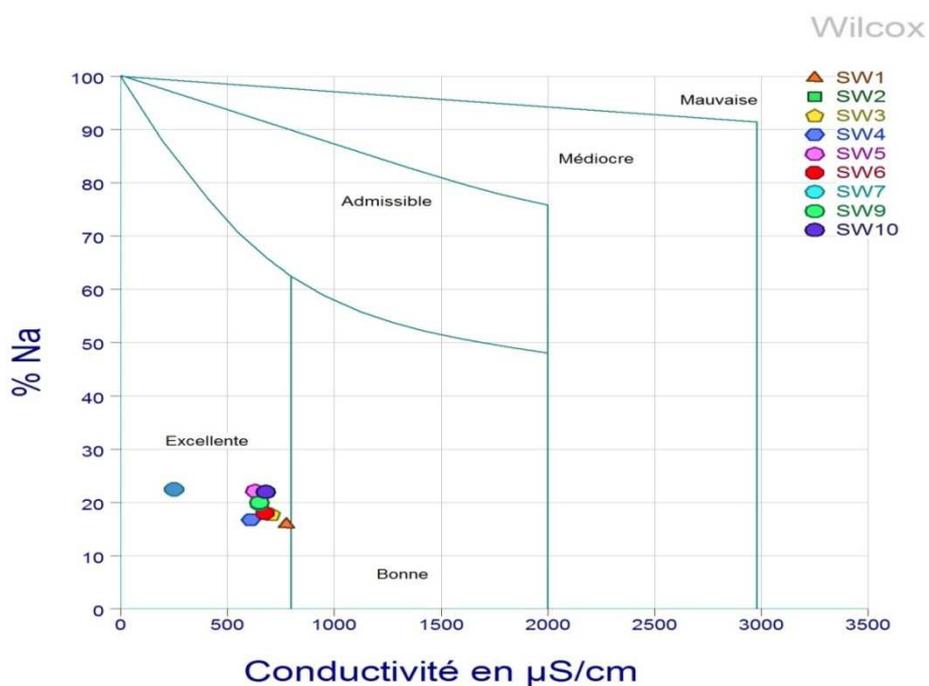
La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définit cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.



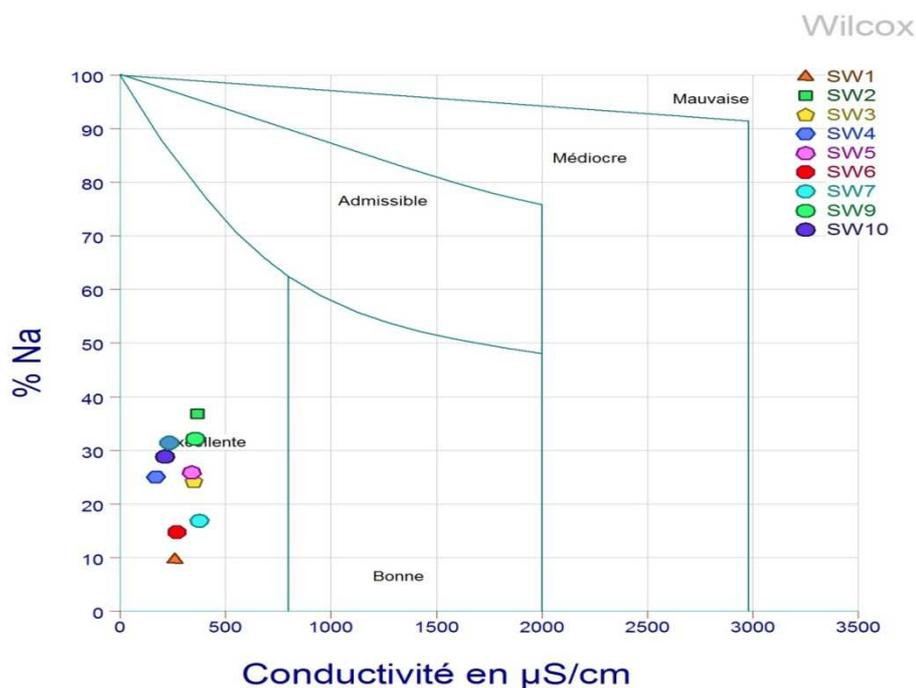
**Figure 60 :** Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox) - campagne d'hiver 2015.



**Figure 61 :** Classifications des eaux destinées à l’irrigation (diagramme de Wilcox) - campagne de printemps 2015.



**Figure 62 :** Classifications des eaux destinées à l’irrigation (diagramme de Wilcox) - campagne d’été 2015.



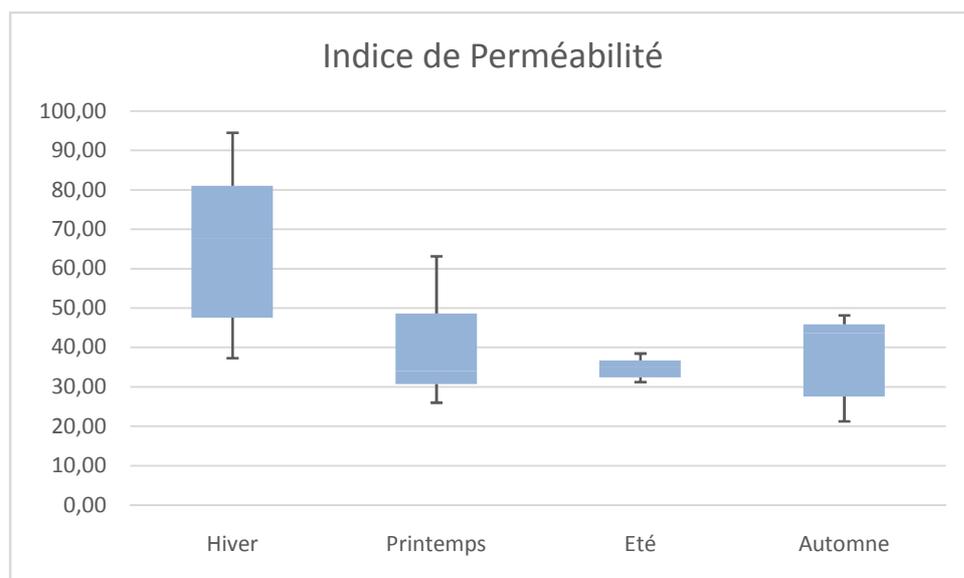
**Figure 63** : Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox) - campagne d'Automne 2015.

Le schéma de classification de l'eau d'irrigation (Wilcox 1955) a été utilisé pour évaluer la qualité de l'eau (Figure : 60, 61, 62, 63). Selon la classification Wilcox, la majorité des échantillons d'eau ont une excellente qualité d'eau d'irrigation, sauf en été au niveau de la source SW1 où l'eau est de bonne qualité, et il est dans la catégorie autorisée pour d'irrigation.

#### 4.2.4. L'indice de perméabilité (PI)

La perméabilité du sol est affectée par l'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation. Le sodium, le calcium, le magnésium et le bicarbonate contenu dans le sol influence. L'indice de perméabilité est défini par l'équation suivante (Ragunath 1987), où tous les ions sont exprimés en meq/l :

$$PI = \frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} \times 100$$



**Figure 64** : boîtes à moustaches montrent la médiane, valeurs moyennes, minimales et maximales de l'indice de perméabilité.

Les valeurs PI >75% (classe I) indiquent une excellente qualité de l'eau pour l'irrigation. Si les valeurs de PI sont entre 25 et 75% (classe II), ils indiquent une bonne qualité de l'eau pour l'irrigation. Toutefois; si les valeurs de PI sont inférieures à 25% (classe III), elles reflètent la nature impropre de l'eau pour l'irrigation. Les valeurs d'indice de perméabilité comprises entre 21,25 et 93,39 (Figure 64).

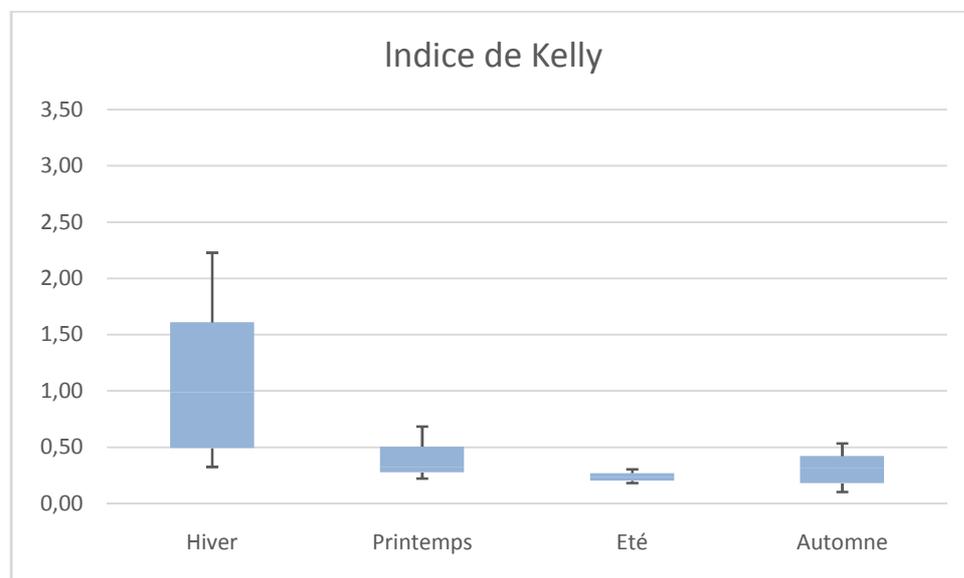
La plupart des échantillons d'eau (85%) est représentée dans la classe II avec et seulement 5% des échantillons se situent dans la catégorie I qui indique une bonne qualité à des fins d'irrigation. Cependant, 10% des sources de Séraïdi sont localisées dans la classe III pendant la campagne d'automne (SW4, SW6, SW8, SW9) et classés comme impropre à l'irrigation.

#### 4.2.5. L'indice de Kelly (KI)

Sur la base de l'indice de Kelly (KI) les eaux sont classées pour l'irrigation. Le sodium est mesurée sur le calcium et le magnésium a été examiné par Kelly (Kelly 1940) et Paliwal (Paliwal & Singh 1967) pour calculer ce paramètre. Les eaux souterraines ayant le indice de Kelley inférieure à un est généralement considéré comme approprié pour l'irrigation, tandis que ceux avec un indice plus d'un ne sont pas adaptés à l'irrigation. L'indice de Kelly a été calculé en utilisant l'expression suivante,

Où toutes les concentrations sont exprimées en meq/l:

$$KI = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$$



**Figure 65** : boîtes à moustaches montrent la médiane, valeurs moyennes, minimales et maximales de l'indice de Kelly.

Les valeurs d'indice de Kelly oscillent entre 0,10 et 2,92 avec une moyenne de 0,52. On constate d'après la figure 65 que toutes les sources des campagnes de printemps, été, et automne sont bonnes pour l'irrigation. Cependant, 50 % des sources dans la campagne d'hiver (SW4, SW6, SW8, SW9, SW10) sont impropre à l'irrigation en tant que les valeurs de KI sont plus de l'unité (1).

## 5. Conclusion

D'après l'étude hydro-chimique des sources de Séraïdi, on constate que la conductivité varie selon les saisons, ce qui rend la concentration des éléments chimique variable.

Les échantillons sont caractérisés par une prédominance d'un faciès chlorurée et sulfaté calcique. Alors que pendant l'automne ils ont un faciès chlorurée et sulfaté calcique et magnésien. Le  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$  et le  $SO_4^{2-}$  proviennent de la dissolution des formations évaporitiques, gypseuses au cours du transit des eaux dans la formation aquifère. Par contre, les éléments  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et  $HCO_3^-$  sont liés à la dissolution des cipolins de l'Edough et des formations carbonatées environnantes.

La concentration du Fer dans toutes les sources de Séraïdi répond à la limite permise de l'eau potable sauf au niveau de SW 3 au printemps et en été, et SW7 en Hiver et au Printemps. Alors que la concentration de Cu dans tous les échantillons d'eau de source de Séraïdi répond à la limite prescrite dans les normes de l'eau potable. La présence des métaux lourds se fait par l'altération chimique des roches et des sols, les cadavres (animaux) ainsi que la végétation en décomposition, le rejet urbains..... etc.

L'interprétation de l'analyse en composantes principales a mis en évidence le scénario de la pollution des eaux de source de la commune de Séraïdi par deux types de pollution : une pollution organique issue de la décomposition de la matière organique, pollution de type géologique suite à la dissolution de la matrice rocheuse

L'étude de l'indice de qualité de l'eau par le modèle du NSF, montre que la qualité des eaux de sources varie entre moyenne et de bonne qualité. Ainsi, on peut conclure que la qualité de Séraïdi des eaux de sources est bonne, sauf au printemps au niveau du SW1, SW3, SW6 et SW9 qui peut être causées par les nitrates et les coliformes fécaux. En été et en automne une seule eau souterraine SW7, SW5 respectivement par la présence des coliformes fécaux. Pouvant être présentes à partir des rejets d'effluents urbains.

Les eaux de source de commune de Séraïdi, ont été étudiées pour évaluer la qualité de l'eau à des fins de consommation et d'irrigation.

Les résultats des analyses physico-chimiques et les paramètres de qualité de l'eau calculée (le risque de salinité, la conductivité électrique CE, le SAR, le diagramme de Richards, diagramme de Wilcox, l'indice de perméabilité, l'indice de Kelly) montrent que la plupart des échantillons d'eau a été constatée bonne et adaptée à des fins d'irrigation. Cependant on signale quelques points d'eau de sources ont été jugées impropres à l'irrigation dans certains endroits :

- En hiver (SW4, SW6, SW8, SW9, SW10) d'après l'indice de Kelly
- En hiver (SW4, SW6, SW8, SW9) d'après l'indice de perméabilité
- En été SW1 d'après le diagramme de Wilcox
- En été (SW1, SW3) d'après la conductivité.

Cette dégradation de la qualité de l'eau est liée à l'interaction eau-roche et des rejets d'eaux usées.

En conclusion, la plupart des indices calculés reste dans les limites recommandées de (US EPA 1986), l'OMS et USSL; toutefois, le contrôle du risque de sodium et de la salinité est nécessaire pour l'irrigation.

# *Conclusion Générale*

## Conclusion Générale

L'eau une denrée rare et précieuse, représente un facteur déterminant pour le développement économique et social d'un pays, nécessite notamment une attention très particulière quant à sa mobilisation et sa gestion.

Le massif de l'Edough renferme dans son sous sol un potentiel hydrique assez important, constitué par un réseau de sources utilisées essentiellement pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation des parcelles de terre.

L'Edough constitue un véritable îlot montagneux, entouré par la mer Méditerranée au Nord, la vallée de l'oued Kébir à l'Ouest, au Sud par la dépression du lac Fetzara et par la plaine d'Annaba à l'Est.

L'analyse des données climatiques ont permis d'attribuer à la région de Séraïdi un climat de type humide (méditerranéen) caractérisé par deux saisons distinctes : L'une humide marquée par une forte pluviosité allant du début du mois de Septembre jusqu'au début de Mai et de faibles températures, l'autre est sèche, relativement courte s'établant de la fin du mois Mai jusqu'au début de mois de Septembre.

La région reçoit des précipitations abondantes dont le total moyen annuel est de 1187,2 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 15,4 °C. Le calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite pour l'année 2011, montre qu'à partir d'une précipitation de 1187,2 mm, seulement 10 % s'infiltrent vers la nappe, le reste part sous forme d'évaporation (43 %) et de ruissellement (47 %). La reconstitution du stock commence en novembre et s'achève en avril. L'épuisement du stock du sol s'observe en mai, ce qui provoque un déficit agricole (DA) nécessitant une irrigation surtout pour la période allant de juin jusqu'à octobre.

Le réseau hydrographique est très dense, les principaux oueds à écoulement pérenne sont : El Aneb, Boudjenane, El Ourida, Erbiba et Maiser.

Le Djebel Edough est un vaste anticlinal métamorphique constitué essentiellement par des gneiss ceinturés par des micaschistes. Dans le massif de l'Edough, la naissance des sources semble être liée à la tectonique cassante et l'altération superficielle du socle.

Dans l'étude de la gestion de distribution de la commune de Séraïdi, la région a enregistrée en 2014, un excédent global de 0,03 Hm<sup>3</sup>. Mais à long terme, dans l'horizon 2050 le déficit va être croissant chaque année, il peut atteindre 1,6 Hm<sup>3</sup>.

Pour satisfaire les besoins en eau dans la région de Séraïdi, Il est recommandé de proposer des solutions suivantes :

- l'augmentation des ressources par le dessalement de l'eau de mer et captages des sources.
- traitement des eaux non conventionnelles (eaux usées).

D'après l'étude hydro-chimique des sources de Séraïdi, on constate que la conductivité varie selon les saisons, ce qui rend la concentration des éléments chimique variable.

Les échantillons sont caractérisés par une prédominance d'un faciès chlorurée et sulfaté calcique. Alors que pendant l'automne ils ont un faciès chlorurée et sulfaté calcique et magnésien. Le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  et le  $\text{SO}_4^{2-}$  proviennent de la dissolution des formations évaporitiques, gypseuses au cours du transit des eaux dans la formation aquifère. Par contre, les éléments  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{HCO}_3^-$  sont liés à la dissolution des cipolins de l'Edough et des formations carbonatées environnantes.

La concentration du Fer dans toutes les sources de Séraïdi répond à la limite permise de l'eau potable sauf au niveau de SW 3 au printemps et en été, et SW7 en Hiver et au Printemps. Alors que la concentration de Cu dans tous les échantillons d'eau de source de Séraïdi répond à la limite prescrite dans les normes de l'eau potable. La présence des métaux lourds se fait par l'altération chimique des roches et des sols, morts et la végétation en décomposition et de matière animale, le rejet urbains..... etc.

L'interprétation de l'analyse en composantes principales a mis en évidence le scenario de la pollution des eaux de source de la commune de Séraïdi par deux types de pollution : une pollution organique issue de la décomposition de la matière organique, pollution de type géologique suite à la dissolution de la matrice rocheuse

L'étude de l'indice de qualité de l'eau par le modèle du NSF, montre que la qualité des eaux de sources varie entre moyenne et de bonne qualité. Ainsi, on peut conclure que la qualité de Séraïdi des eaux de sources est bonne, sauf au printemps au niveau du SW1, SW3, SW6 et SW9 qui peut être causées par les nitrates et les coliformes fécaux. En été et en automne une seule eau souterraine SW7, SW5 respectivement par la présence des coliformes fécaux. Pouvant être présentes à partir des rejets d'effluents urbains.

Les eaux de source de commune de Séraïdi, ont été étudiées pour évaluer la qualité de l'eau à des fins de consommation et d'irrigation.

Les résultats des analyses physico-chimiques et les paramètres de qualité de l'eau calculée (le risque de salinité, la conductivité électrique CE, le SAR, le diagramme de Richards, diagramme de Wilcox, l'indice de perméabilité, l'indice de Kelly) montrent que la

plupart des échantillons d'eau a été constatée bonne et adaptée à des fins d'irrigation. Cependant on signale quelques points d'eau de sources ont été jugées impropres à l'irrigation dans certains endroits :

- En hiver (SW4, SW6, SW8, SW9, SW10) d'après l'indice de Kelly
- En hiver (SW4, SW6, SW8, SW9) d'après l'indice de perméabilité
- En été SW1 d'après le diagramme de Wilcox
- En été (SW1, SW3) d'après la conductivité.

Cette dégradation de la qualité de l'eau est liée à l'interaction eau-roche et des rejets d'eaux usées.

En conclusion, la plupart des indices calculés reste dans les limites recommandées de (US EPA 1986), l'OMS et USSL; toutefois, le contrôle du risque de sodium et de la salinité est nécessaire pour l'irrigation.

En perspective, nous souhaitons développé ce travail très utile pour les gestionnaires de la quantité et la qualité de l'eau, leurs permettant ainsi une prise de décision afin d'éviter le déficit qui aura lieu dans le futur et de préserver la qualité de l'eau souterraines pour pouvoir l'exploiter.

# *Références Bibliographiques*

## Références Bibliographiques

- Abbasi T., Abbasi, Shahid A., (2012). *Water quality indices*. Elsevier.
- ADE (2015). Algérienne Des Eaux.
- Ahmed-Said Y. and Leake B. (1992). The composition and origin of the Kef Lakhel amphibolites and associated amphibolite and olivine-rich enclaves, Edough, Annaba, NE Algeria. *MINERALOGICAL MAGAZINE-LONDON*- **56**, 459-.
- Ahmed-Said Y. and Leake B. (1993). The Cap de Garde pelites and gneisses, Edough, Annaba, NE Algeria; their petrology, geochemistry and origin. *Bull Service Géol de l'Algérie* **4**(1), 3-23.
- Aissa D. (1985). *Etude des indices et gisements métallifères du massif de l'Edough (Annaba)*. Doctorate thesis of third cycle, USTHB Algiers, p 134.
- Aissa D., Cheilletz A., Gasquet D. and Marignac C. (1995). Alpine metamorphic core complexes and metallogenesis: The Edough case (NE Algeria). *Mineral deposits: from their origin to their environmental impacts*. Balkema, Rotterdam, 23-6.
- Alam M., Rais S. and Aslam M. (2012). Hydrochemical investigation and quality assessment of ground water in rural areas of Delhi, India. *Environmental Earth Sciences* **66**(1), 97-110.
- AMHARREF M. and BERNOUSSI A. S. (2007). Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines. *Actes des JSIRAUF, Hanoi*, 6-9.
- Archambault J. (1987). Le captage des sources 5-10.
- Auzende J.-M., Bonnin J. and Olivet J.-L. (1975). La marge nord-africaine considérée comme marge active. *Bulletin de la Societe Geologique de France* **17**(4), 486-95.
- Ayers R. and Westcot D. (1988). Qualité de l'eau en agriculture. In: *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage*, Food and Agricultural Organization.
- Ayers R. and Westcot D. (1994). Food, Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Water Quality for Agriculture. *Irrigation and Drainage, Rome. Paper*(29).
- Benmalek Y. (2009). *La confrontation entre les ressources en eau et les besoins en eau en moyenne montagne cristalline. Quelles contraintes, quels acteurs et quelles politiques de gestion?* , Université Jean Monnet-Saint-Etienne.

- Bentahar K. (2014). *GESTION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DE L'EAU DE LA VILLE DE TLEMCEN*. Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- Bharti N. and Katyal D. (2011). Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *International Journal of Environmental Sciences* **2**(1), 154.
- Biémi J. (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-sahéliens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué Côte d'Ivoire. *Thèse Doctorat ès Sciences Université d'Abidjan, Mars 1992*.
- Bliefert C. a. P., R. (2001). Chimie de l'environnement: Air, Eau, Sols, Déchets., 477.
- Bolfa J. (1948). *Contribution à l'étude des gîtes métallifères de la Kabylie de Collo et de la région de Bône*.
- Bouillin J.-P. (1979). *La transversale de Collo et d'El Milia (Petite Kabylie): une région-clef pour l'interprétation de la tectonique alpine de la chaîne littorale d'Algérie*. Société géologique de France.
- Bouillin J. (1986). Le " bassin maghrébin"; une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique a l'ouest des Alpes. *Bulletin de la Societe Geologique de France* **2**(4), 547-58.
- Brown R. M., McClelland N. I., Deininger R. A. and Tozer R. G. (1970). A WATER QUALITY INDEX- DO WE DARE.
- Brunel M., Hammor D., Misseri M., Gleizes G. and Bouloton J. (1988). Cisaillements synmétamorphiques avec transport vers le Nord-Ouest dans le massif cristallin de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie): une faille normale ductile Hercynienne? *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre* **306**(14), 1039-45.
- Caby R. and Hammor D. (1992). Le massif cristallin de l'Edough (Algérie): un Métamorphic Core Complex d'âge miocène dans les Maghrébides. *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre* **314**(8), 829-35.

- CCE (2009). Directives /54/CE du parlement Européen et du conseil du 18 juin 2009 relative à l'exploitation et à la mise dans le commerce des eaux minérales naturelles, Journal officiel de l'Union Européenne , L164/45 du 26/06/2009.
- CCME (2001). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. CCME water quality index 1.0, User's Manual, Winnipeg, .
- Chahboune M., Chahlaoui A., Zaid A., Mehanned S. and Ben Moussa A. (2014). Monitoring of the water's quality of Moulouya River: main tributary of Hassan II dam (Province of Midelt, Morocco). *Moroccan Journal of Chemistry* 2(5), Mor. J. Chem. 2 N° 5 (2014) 427-433.
- Chapman D. V. (1996). Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments, and water in environmental monitoring.
- CICEED (2011). 2ème Colloque International sur Chimie, Environnement et Développement Durable, Faculté des Sciences de Rabat (20 et 21 Octobre 2011).
- Cohen C. R. (1980). Plate tectonic model for the Oligo-Miocene evolution of the Western Mediterranean. *Tectonophysics* 68(3), 283-311.
- Comly H. H. (1945). Cyanosis in infants caused by nitrates in well water. *Journal of the American Medical Association* 129(2), 112-6.
- Corvaglia A. R. (2006). *Rôle des résidus d'antibiotiques dans l'environnement hydrique sur la sélection et la diffusion de bactéries résistantes des genres "Aeromonas", "Acinetobacter" et "Legionella"*. University of Geneva.
- Crabill C., Donald R., Snelling J., Foust R. and Southam G. (1999). The impact of sediment fecal coliform reservoirs on seasonal water quality in Oak Creek, Arizona. *Water research* 33(9), 2163-71.
- Cude C. G. (2001). OREGON WATER QUALITY INDEX A TOOL FOR EVALUATING WATER QUALITY MANAGEMENT EFFECTIVENESS1. In, Wiley Online Library.
- Dahiya S. and Kaur A. (1999). Assessment of physico-chemical characteristics of underground water in rural area of Tosham sub-division Bhiwani district, Haryana. *JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION* 6(4), 281-8.
- Daifallah T. (2008). Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin versant de l'Oued Kebir Ouest, Nord-Est algérien. Mémoire de Magister, Université de Annaba. 177.

- Dart F. (1974). The Hazard of Iron, Ottawa. *Water and pollution control, Canada*.
- Deininger R. and Maciunas J. (1971). A water quality index for public water supplies, Department of Environmental and Industrial Health, School of Public Health, University of Michigan. *Ann arbor, Michigan*.
- Deininger R., Maciunas, JJ., (1971). A water quality of environmental and industrial health, school of public health, University of Michigan. *Ann arbor, Michigan*.
- Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O. and Belghity D. (2013). Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès.
- Dinius S. (1972). Social accounting system for evaluating water resources. *Water Resources Research* **8**(5), 1159-77.
- Djabri L. (1996). *Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologique industrielle, agricole et urbaine*. Doctorat en sciences, Badji Mokhtar Annaba.
- EPA (2001). *PARAMETERS OF WATER QUALITY : interpretation and standards*.
- Garrels R. (1976). A survey of low temperature water-mineral relations. In: *Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology*.
- Gilly G., Corrao G. and Favilli S. (1984). Concentrations of nitrates in drinking water and incidence of gastric carcinomas. First descriptive study of the Piemonte Region, Italy. *Sci Total Environ* **34**, 35-7.
- Gleizes G., Bouloton J., Bossière G. and Collomb P. (1988). Données lithologiques et pétro-structurales nouvelles sur le massif cristallophyllien de l'Edough (Est-Algérien). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre* **306**(14), 1001-8.
- Glynn P. D., Plummer, L Niel., (2005). Geochemistry and the understanding of ground-water systems. *Hydrogeology Journal* **13**(1), 263-87.
- Haddou M. (2010). *Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène: procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse*. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

- Hammor D. (1992). *Du Panafricain au Miocène: 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord-Orientale) retracés par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$ )*.
- Hammor D. and Lancelot J. (1998). Métamorphisme miocène de granites panafricains dans le massif de l'Edough (Nord-Est de l'Algérie). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science* **327**(6), 391-6.
- Hamzaoui W. (2007). *Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain. Cas de la plaine d'El-Hadjar*. Magister Hydrochimie, Université Badji Mokhtar Annaba.
- Hem J. D. (1991). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water: United States Geological Survey Water-Supply Paper 2254*. Scientific Publishers.
- Hilly J. (1962). *Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est-Constantinois)*. Université, Faculté des Sciences.
- Horton R. K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation* **37**(3), 300-6.
- IFEN (2006). Les pesticides dans les eaux, bilan des données 2003 et 2004. *Institut Français de l'Environnement*
- Ilavsky J. and Snopkova P. (1987). Découverte d'Acritarches paleozoïques dans les terrains métamorphiques de l'Edough (Wilaya d'Annaba, Algérie). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2*, **305**(10), 881-4.
- Joshi D. M., Kumar A. and Agrawal N. (2009). Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar District. *Rasayan J Chem* **2**(2), 285-92.
- Kelly W. (1940). Permissible composition and concentration of irrigated waters. *Proceedings of the ASCF* **607**.
- 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)*. Doctorat es sciences, Badji Mokhtar Annaba.
- Kiniouar H. (2006). *Influence de la structure et des activités anthropiques sur les eaux de massif de l'Edough*. Mémoire de Magister, Badji Mokhtar Annaba.
- Koller E. (2004). *Traitement des pollutions industrielles: eau, air, déchets, sols, boues*. Dunod.

- Laouar R., Boyce A., Ahmed-Said Y., Ouabadi A., Fallick A. and Toubal A. (2002). Stable isotope study of the igneous, metamorphic and mineralized rocks of the Edough complex, Annaba, Northeast Algeria. *Journal of African Earth Sciences* **35**(2), 271-83.
- Laouar R., Boyce A., Arafa M., Ouabadi A. and Fallick A. (2005). Petrological, geochemical, and stable isotope constraints on the genesis of the Miocene igneous rocks of Chetaibi and Cap de Fer (NE Algeria). *Journal of African Earth Sciences* **41**(5), 445-65.
- Major H. (1996). *Utilisation de l'analyse statistique pour l'étude du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique du réservoir cristallin de l'Edough (Nord-Est Algérien)*. Magister Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar Annaba.
- Marignac C. (1976). *Mise en évidence des successions paragénetiques dans les principaux filons minéralisés du district filonien polymétallique d'Aïn-Barbar (Wilaya d'Annaba-Algérie)*. Fondation Scientifique de la Géologie et de ses Applications.
- Marignac C. (1985). *Les minéralisations filoniennes d'Aïn-Barbar (Algérie): un exemple d'hydrothermalisme lié à l'activité géothermique alpine en Afrique du Nord*.
- Marignac C. and Zimmermann J.-L. (1983). Ages K-Ar de l'Événement Hydrothermal et des Intrusions Associées dans le District Minéralisé Miocène d'Aïn-Barbar (Est Constantinois, Algérie). *Mineralium Deposita* **18**(3), 457-67.
- Maury R. C., Fourcade S., Coulon C., Bellon H., Coutelle A., Ouabadi A., Semroud B., Megartsi M. h., Cotten J. and Belanteur O. (2000). Post-collisional Neogene magmatism of the Mediterranean Maghreb margin: a consequence of slab breakoff. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science* **331**(3), 159-73.
- Mebarki A. (2005). *Hydrologie des Bassins de l'Est Algérien: Ressources en eau, aménagement et environnement*. Doctorat L'Aménagement du Territoire, Université Mentouri de Constantine.
- Merhi M. (2008). Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses: caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin.
- Monié P., Montigny R. and Maluski H. (1992). Age burdigalien de la tectonique ductile extensive dans le massif de l'Edough (Kabylies, Algérie); données

- radiométriques 39 Ar-40 Ar. *Bulletin de la Société Géologique de France* **163**(5), 571-84.
- Moore C. (1973). *Modern Nutrition in Health and Disease. Lea and Febiger, Philadelphia, 297.*
  - Nag S. (2014). Evaluation of hydrochemical parameters and quality assessment of the groundwater in Gangajalghati Block, Bankura District, West Bengal, India. *Arabian Journal for Science and Engineering* **39**(7), 5715-27.
  - Nagarajah S., Abeykoon V., Emerson B. and Yogalingam S. (1988). Water quality of some wells in Jaffna and Kilinochchi with special reference to nitrate pollution [Sri Lanka]. *Tropical Agriculturist (Sri Lanka).*
  - Paliwal K. and Singh S. (1967). Effect of gypsum application on the quality of irrigation waters. *The Madras agricultural journal* **59**, 646-7.
  - Parizot M., Laporte, P., Joseph, B., (2008). *Contrôle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Guyane conformément à la Directive Cadre Européenne sur l'Eau: saison des pluies 2008 Rapport final BRGM, RP-56890-FR.*
  - PDAU (1998). Plan Directeur d'Aménagement Urbain.
  - PDAU (2012). Plan Directeur D'aménagement Urbain.
  - Philippe B., Bernard, Chocat., (2003). La ville et son assainissement (édition CERTU), 503.
  - Piper A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union* **25**(6), 914-28.
  - Plagnes V. (1997). Structure et fonctionnement des aquifères karstiques. Caractérisation par la géochimie des eaux.(Structure and functioning of karstic aquifers. Water geochemistry characterisation) These de Doctorat, Université Montpellier II, France.
  - Prakash K. and Somashekar R. (2006). Groundwater quality- Assessment on Anekal Taluk, Bangalore Urban district, India. *Journal of Environmental Biology* **27**(4), 633-7.
  - Prati L., Pavanello R. and Pesarin F. (1971). Assessment of surface water quality by a single index of pollution. *Water research* **5**(9), 741-51.
  - Raghunath H. M. (1987). *Ground water.* New Age International.

- Rajankar P. N., Tambekar D. H. and Wate S. R. (2011). Groundwater quality and water quality index at Bhandara District. *Environmental Monitoring and assessment* **179**(1-4), 619-25.
- Rajendran A. and Mansiya C. (2015). Physico-chemical analysis of ground water samples of coastal areas of south Chennai in the post-Tsunami scenario. *Ecotoxicology and environmental safety*.
- Raju N. J., Ram P. and Dey S. (2009). Groundwater quality in the lower Varuna river basin, Varanasi district, Uttar Pradesh. *Journal of the Geological Society of India* **73**(2), 178-92.
- Ramade F. (2007). *Introduction à l'écotoxicologie: fondements et applications*. Tec & Doc.
- Rao N. S. (2006). Seasonal variation of groundwater quality in a part of Guntur District, Andhra Pradesh, India. *Environmental geology* **49**(3), 413-29.
- RGPH (2008). Resensement Général de la Population et de l'Habitat. In.
- Rhoades J. D., Kandiah A. and Mashali A. M. (1992). *The use of saline waters for crop production*. FAO Rome.
- Richards L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science* **78**(2), 154.
- Rouabhia A., Larbi, Djabri., Rihab, Hadji., Fethi, Baali., Chemseddine, Fehdi.,Azzedine, Hani., (2012). Geochemical characterization of groundwater from shallow aquifer surrounding Fetzara Lake NE Algeria. *Arabian Journal of Geosciences* **5**(1), 1-13.
- RPA (2003). Règlement Parasismique Algérien
- Saleh A., Al-Ruwaih F. and Shehata M. (1999). Hydrogeochemical processes operating within the main aquifers of Kuwait. *Journal of Arid Environments* **42**(3), 195-209.
- Schilling K. E. and Wolter C. F. (2007). A GIS-based groundwater travel time model to evaluate stream nitrate concentration reductions from land use change. *Environmental geology* **53**(2), 433-43.
- Schoeller H. (1962). *Les eaux souterraines: hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources*. Masson Paris.

- Shaki A. and Adeloye A. (2006). Evaluation of quantity and quality of irrigation water at Gadowa irrigation project in Murzuq basin, southwest Libya. *Agricultural water management* **84**(1), 193-201.
- Sharma H., Chawla A., Irrigation I. C. B. o. and Projects P. R. S. A. t. R. V. (1977). *Manual on Ground Water and Tubewells*. Central Board of Irrigation and Power.
- Singh K. P., Malik A., Mohan D. and Sinha S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water research* **38**(18), 3980-92.
- Smith D. G. (1990). A better water quality indexing system for rivers and streams. *Water research* **24**(10), 1237-44.
- Snow J. (1854). *On the mode of communication of cholera*. John Churchill.
- Stoner J. D. (1978). *Water-quality indices for specific water uses*. Department of the Interior, Geological Survey.
- Sundaray S. K., Nayak, Binod Bihari., Bhatta, Dinabandhu., (2009). Environmental studies on river water quality with reference to suitability for agricultural purposes: Mahanadi river estuarine system, India—a case study. *Environmental Monitoring and assessment* **155**(1-4), 227-43.
- Trivedy R. and Goel P. (1984). *Chemical and biological methods for water pollution studies*. Environmental publications.
- Tyagi S., Sharma B., Singh P. and Dobhal R. (2013). Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources* **1**(3), 34-8.
- US EPA (1986). Quality criteria for water. **440/5-86-001**.
- USSLS U. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Washington: United States Department of Agriculture*.
- Vila J.-M. (1970). Le Djebel Edough; un massif cristallin externe du Nord-Est de la Berberie. *Bulletin de la Societe Geologique de France*(5), 805-12.
- Vila J. (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des couffins d'Algéro-tunisiens I. II. III thèse *Es-sciences Paris*, 139-74.
- Walski T. M. and Parker F. L. (1974). Consumers water quality index. *Journal of the Environmental Engineering Division* **100**(3), 593-611.
- WHO (2004). Meeting the MDG drinking water and sanitation target: a mid-term assessment of progress.

- WHO (2011). Guidelines for Drinking-water Quality. 230.
- WHO (2013). WHO (1993) Guidelines for Drinking Water Quality Vol. 1, recommendations. In, Geneva.
- Wilcox L. (1955). Classification and use of irrigation waters.
- Yves P., D, Booudon., (1994). le lagunage écologique *economia*, 111.
- 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 . These de Doctorat Univ-Annaba. 30.
- Zgheib S. (2009). *Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire*. Ecole des Ponts ParisTech.