

**République Algérienne Démocratique Et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la**  
**Recherche Scientifique**



**Université Badji Mokhtar Annaba**  
**Faculté des Sciences**  
**Département de Biologie**



**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme**  
**de Magister en Ecologie végétale**

**Option : Cartographie des écosystèmes forestiers de l'Est Algérien**

**Thème**

**Cartographie des relations sol-eau-végétation**  
**dans un milieu salé (lac Fetzara)**

**Présenté par : M<sup>elle</sup> Boudjema Sonia**

**Devant le jury composé de :**

**Présidente : Mme Bordjiba O.**

**Professeur (Université de Annaba).**

**Examinatrice : Mme Toubal O.**

**Maître de conférences (Université de Annaba).**

**Examineur : Mr Laifa A.**

**Maître de conférences (Université de Annaba).**

**Promoteur : Mr Djamai R.**

**Maître de conférences (Université de Annaba).**

**Promotion 2010**

## Table de matières

- ملخص
- Résumé
- Abstract
- Remerciement

Introduction.....	1
-------------------	---

### Chapitre I : Généralité sur la cartographie

1. Généralités sur la cartographie.....	3
2. Définition de la cartographie.....	4
3. Les clefs pour réussir une bonne carte.....	4
4. Les 05 éléments fondamentaux de la carte.....	4
5. Classification des échelles cartographiques.....	5
6. Les différents types des cartes.....	6
6.1. Les cartes thématiques.....	6
6.1.1. Les cartes quantitatives.....	6
6.1.2. Les cartes qualitatives.....	7
6.1.2.1. La carte pédologique.....	7
7. Les différents types de la carte pédologique.....	7
8. Conception des cartes.....	7
8.1. La carte de la végétation.....	8
8.2. La carte géomorphologique.....	9
8.3. La carte climatique.....	9
8.4. La carte hydrologique.....	9
9. Cartographie assistée par ordinateur.....	9
9.1. La photographie aérienne.....	11
9.2. La télédétection.....	11
Conclusion.....	12

### Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Le cadre physique de la région.....	13
1. Localisation géographique.....	13
2. Géomorphologie.....	13
2.1. Lac Fetzara.....	14
2.2. Les montagnes.....	14
2.3. La plaine de Annaba.....	15
3. L'aperçu géologique.....	16
3.1. Description lithologique.....	17
3.2. Tectonique et structure du massif de l'Edough.....	18
3.3. Plaines littorales.....	19
4. Couverture végétale.....	21
5. Le climat.....	23
5.1. Les stations de mesure.....	23
5.2. Les principaux facteurs climatiques.....	24
5.2.1. Précipitations.....	24
5.2.1.1. Précipitations moyennes mensuelles.....	24
5.1.2. Coefficient pluviométrique (H).....	26
5.1.3. Répartition saisonnière des précipitations.....	26

5.2. Température.....	29
5.3. Humidité relative.....	29
5.4. Vent.....	30
5.5. Synthèse climatique.....	31
5.6. Diagramme ombrothermique de Gausson (1954).....	34
5.7. Le quotient pluviothermique d'Emberger (1954).....	34
6. Bilan hydrique.....	36
6.1. Evapotranspiration.....	36
6.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	36
6.1.1.1. Formule de Serra.....	36
6.1.1.2. Formule de C.W.Thornthwaite.....	37
6.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	38
6.1.2.1. Formule de Coutagne.....	38
6.1.2.2. Formule de Turc.....	38
6.2. Ruissellement.....	39
6.3. Infiltration.....	40
7. Bilan hydrique selon C.W.Thornthwaite.....	40
7.1. Interprétation du bilan de Thornthwaite.....	43
7.2. Détermination de l'infiltration efficace mensuelle.....	45
8. Hydrologie.....	47
8.1. Réseau hydrologique.....	47
8.1.1. Lac Fetzara.....	47
8.1.1.1. Les entrées du lac Fetzara.....	48
8.1.1.2. Les sorties du lac Fetzara.....	49
9. Hydrogéologie.....	53
9.1. Description des différents aquifères.....	53
9.1.1. Les nappes superficielles.....	53
9.1.2. Les nappes profondes.....	54
10. La perméabilité.....	55
11. Pédologie.....	56
11.1. Etudes réalisées.....	56
11.2. Différentes classes de sols.....	56
11.2.1. Les sols peu évolués (SPE).....	57
11.2.2. Les sols vertisols (SV).....	57
11.2.3. Les sols hydromorphes (SH).....	57
11.2.4. Les sols halomorphes (SHA).....	57

### **Chapitre III : Matériels et méthodes**

1. Etude pédologique.....	59
---------------------------	----

1.1. Echantillonnage des sols.....	59
1.2. Préparation des échantillons.....	61
1.3. Méthodes d'analyses au laboratoire.....	62
1.4. Caractéristiques physico-chimiques.....	62
1.4.1. Le pH. ....	62
1.4.2. La conductivité électrique (CE).....	62
1.4.3. Carbone organique (C).....	62
1.4.4. Calcaire total (CaCO <sub>3</sub> ).....	63
1.4.5. L'humidité hygroscopique (H).....	63
1.4.5. Matière organique (MO).....	63
1.4.6. Densité apparente (Da).....	63
1.4.7. Densité réelle (Dr).....	63
1.4.8. La porosité (P%) ....	63
1.4.9. La granulométrie.....	64
1.5. Bilan de la salinité.....	64
1.5.1. Dosage des cations.....	64
1.5.2. Dosage des anions.....	65
2. Etude hydrochimique.....	65
2.1. Etude sur terrain.....	65
2.1.1. Prélèvement des échantillons d'eau.....	68
2.1.2. Mesure de certains paramètres sur terrain.....	68
2.2. Etude au laboratoire.....	68
2.2.1. Paramètres à déterminer.....	68
2.2.1.1. Dosage des anions.....	69
2.2.1.2. Dosage des cations ....	69

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

1. Les caractéristiques physico-chimiques des sols.....	71
1.1. Le $pH_{eau}$ .....	71
1.2. Le $pH_{kcl}$ .....	72
1.3. La conductivité électrique (C.E).....	72
1.4. Le carbone organique (C%).....	73
1.5. Le calcaire total ( $CaCO_3$ ).....	74
2. Les caractéristiques physiques des sols.....	74
2.1. L'humidité hygroscopique.....	75
2.2. La matière organique.....	76
2.3. La porosité.....	76
2.3.1. La densité réelle.....	78
2.3.2. La densité apparente.....	78
2.4. La granulométrie.....	80
3. Etude de la salinité des sols.....	82
3.1. La conductivité électrique (C.E).....	83
3.2. Les sels solubles.....	83
3.2.1. La concentration des cations.....	83
3.2.2. La concentration des anions.....	84
4. Etude hydrochimique.....	87
4.1. La conductivité électrique (C.E).....	88
4.2. Le potentiel d'oxydoréduction.....	89
4.3. Les éléments chimiques majeurs.....	90
4.3.1. La composition des eaux de surface.....	90
4.3.2. La composition des eaux souterraines.....	91

## **Chapitre V : Relations sol - végétation**

Introduction.....	94
1. La végétation.....	94
1.1. Caractéristiques générales des espèces végétales.....	95
1.2. Les adaptations.....	95
1.3. Les systèmes racinaires.....	96
1.4. Les principaux facteurs écologiques.....	97
1.4.1. Les facteurs climatiques.....	97
1.4.2. Les facteurs édaphiques.....	97

1.4.3. Les facteurs anthropiques.....	97
1.4.4. Les facteurs de régression des forêts.....	97
2. Relation : sol-végétation.....	106
3. Relation : sol-eau.....	107
<b>Chapitre VI : Etude statistique</b>	
1. Introduction.....	108
2. Etude statistique des eaux.....	108
2.1. La matrice des corrélations.....	109
2.2. Analyse en composantes principales (ACP).....	110
2.2.1. Plan factoriel.....	112
3. Etude statistique des sols.....	113
3.1. La matrice des corrélations.....	114
3.2. Analyse en composantes principales (ACP).....	114
3.2.1. Plan factoriel.....	116
Conclusion .....	116
Conclusion générale.....	118
Références bibliographiques.....	120

## **Introduction**

Les zones humides sont des sites de transition entre les milieux terrestres et les milieux aquatiques. Elles se distinguent par des sols hydromorphes, une végétation dominante composée de plantes hygrophiles au moins pendant une partie de l'année et abritent de façon continue ou momentanée des espèces animales inféodées à ces espaces (Grossclaude, 1999).

Par leur richesse floristique, faunistique et leur biodiversité, les zones humides jouent un rôle important dans l'épuration des eaux, le développement de la pêche, la production du bois, la prévention des inondations, le captage des sédiments, la recharge des nappes phréatiques, la stabilisation des berges et l'atténuation des forces érosives (Hollis, 1989). Ce qui a attiré l'attention de plusieurs organismes et pays à l'établissement de règles régissant le contrôle, la gestion, la protection et la sauvegarde de ces écosystèmes continentaux.

L'Algérie est riche en zones humides qui font partie des ressources les plus précieuses sur le plan de la diversité biologique et de la productivité naturelle. Aujourd'hui, nous savons qu'elles jouent un rôle important dans les processus vitaux, entretenant des cycles hydrologiques et accueillant une flore importante, des poissons et des oiseaux migrateurs.

Les zones humides sont détruites à un rythme sans précédent, elles sont privées de leur eau par des pompages excessifs ou par la construction de barrages, elles sont même complètement drainées au profit de l'agriculture. Durant la colonisation, cela a été le cas pour de nombreuses zones humides en Algérie, tel que lac Fetzara qui a subi plusieurs tentatives d'assèchement heureusement échouées (Boumezbeur, 2008).

Les zones humides algériennes sont également caractérisées par une végétation diversifiée qui comprend du phytoplancton, des algues, des plantes supérieures (phragmites, arbustes et arbres notamment). Relativement peu connue encore, plusieurs thèmes de recherches lui sont consacrés (notamment : Kadid, 1989 et 1999 ; Miri, 1996 ; Cherouana, 1996 ; Mokrane, 1999 ; Djaaboub, 2003 ; Bouzghina, 2003).

La pollution de l'eau est placée en tête des problèmes de notre planète, car l'eau est une interface entre l'air et le sol et elle subit donc la dégradation de ces deux milieux (Merabti, 2008). La salinisation considérée comme une forme de pollution naturelle car c'est un processus d'accumulation de sels solubles à la surface du sol et dans la zone racinaire (Cheverry, 1995). Le phénomène de salinisation est souvent accompagné par la sodisation qui peut provoquer des effets nocifs sur le sol et sur les végétaux, il peut s'en suivre une diminution des rendements de cultures, et à terme, une stérilisation du sol qui peut engendrer une disparition du couvert végétal (Cheverry et Robert, 1998).

Le lac Fetzara est l'un des plus importants lacs de l'extrême Nord-Est algérien, il a été officiellement classé comme une zone « Ramsar », donc sa protection s'impose. Plusieurs études ont été effectuées sur les eaux et les sols de ce site : (Durand,1950; Ifagraria,1967; A.J.C.I,1985; Djamai,1993 et 2007; Zenati,1999; Belhamra,2001; B.N.E.D.E.R,2004; Habes,2006 ; Djamai,1993 et 2007 ; Zahi,2008 ).

Notre étude a été réalisée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux superficielles et souterraines de la région du lac Fetzara, d'évaluer les propriétés des sols menacés par le phénomène de la salinité et d'étudier leur influence sur les différentes espèces végétales de la région. Pour présenter ce travail on a suivie cette démarche :

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur la cartographie.

Le second chapitre présentera la zone d'étude en insistant sur le climat de la région avec les caractéristiques saisonnières des variations de la pluviométrie et de l'évaporation qui peuvent influencer sur le phénomène de salinisation. Avec une étude pédologique et un aperçu sur la végétation du lac Fetzara.

Le troisième chapitre sera réservé aux matériels et méthodes d'étude, dans lequel on va présenter les travaux effectués sur les sols et les eaux du lac, les campagnes d'échantillonnage, les techniques analytiques et les outils de traitement des données.

Le quatrième chapitre récapitule les différents résultats obtenus de l'étude des caractéristiques physico-chimiques des sols et des eaux de la région du lac Fetzara, cette étude qui a été menée afin de contrôler l'état actuel de la salinité.

La relation sol-végétation fait l'objet du cinquième chapitre.

Le dernier chapitre sera consacré pour l'analyse statistique.

# **CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA CARTOGRAPHIE**

## **Introduction**

Quelle que soit l'époque à laquelle on se place, la cartographie apparaît comme l'un des moyens les plus adéquats, voire le seul moyen, pour représenter l'espace géographique et le monde qui nous entoure. La réaction traditionnelle de l'homme face à la complexité du monde qui l'entoure est qu'il peine à comprendre consiste en effet souvent à le décomposer et à le simplifier. Il peut ainsi en construire une image simplifiée et intelligible (Chorafas et Chorley, 1967).

### **1. Généralités sur la cartographie**

La cartographie a pour but la conception, la préparation et la réalisation des cartes. Sa vocation est la représentation du monde sous une forme graphique et géométrique. En cela, elle répond à un besoin très ancien de l'humanité qui est de conserver la mémoire des lieux et des voies de communication ainsi que de leurs caractères utiles ou hostiles à l'activité des hommes. Grâce à sa précision et à son efficacité, elle est devenue à partir du XVII<sup>e</sup> siècle un instrument de connaissance et de puissance au service des états et un moyen de prévoir et de planifier l'action de l'homme sur le milieu.

La cartographie est un art dans la mesure où elle impose de nuancer et de compléter l'objectivité des mesures de la terre par des interprétations subjectives. Comme science, elle est tributaire du progrès des connaissances ainsi que du progrès des instruments et des méthodes d'observation et d'évaluation des phénomènes qu'elle a pour mission de représenter.

### **2. Définition de la cartographie**

La cartographie mobilise un ensemble de techniques servant à la production des cartes, elle constitue un des moyens privilégiés pour l'analyse et la communication en géographie. Elle sert à mieux comprendre l'espace, les territoires et les paysages. Elle est aussi utilisée dans des domaines connexes, démographie, économie, dans le but de proposer une lecture spatialisée des phénomènes (Barthes et Bornand, 1986).

### **3. Qu'est une carte ?**

Une carte est une représentation géométrique, plane, simplifiée et conventionnelle de tout ou partie de la surface de la terre et cela dans un rapport de similitude convenable qu'on appelle l'échelle. (Joly, 1976). La carte traduit le regard porté par un cartographe sur la surface de la terre à un moment donné. Elle exprime une information géographique et peut servir à l'analyse et donc à la production d'information géographique.

#### **4. Les clefs pour réussir une bonne carte**

**Lecture globale :** Appréciation rapide de l'idée principale transmise par la carte.

**Lecture moyenne :** Compréhension rapide de l'ensemble des figurés sur la carte.

**Lecture détaillée :** Possibilité de recueillir une information précise sur chaque point de la carte.

#### **5. Les 05 éléments fondamentaux de la carte sont :**

- **Le titre :** Toute carte doit porter un titre correspondant bien au sujet traité, il doit être le plus court possible et expressif.
- **La légende :** Elle doit être ordonnée : les valeurs sont classées par ordre croissant ou décroissant. Elle doit comporter les indications des valeurs et des unités choisies.
- **L'échelle :** La carte doit comporter une échelle graphique et/ou numérique. (Rey, 1971).
- **L'orientation :** Selon les cartes on fera figurer les 04 points cardinaux et/ou les coordonnées géographiques (Bornand, Lagacherie et Robbez, 1995).
- **La source :** La carte sera datée et on précisera à partir de quelles données elle a été réalisée cela facilitera sa mise à jour (Rey, 1954).

#### **6. Classification des échelles cartographiques**

Le choix de l'échelle est délicat et demande beaucoup d'attention ; si on choisit une petite échelle, on ne peut représenter des phénomènes complexes sans risquer de rendre la carte confuse et difficilement lisible (capacité saturée).

Si l'échelle est trop grande, le territoire représenté n'a qu'une faible étendue et il n'est pas possible d'obtenir une vue synthétique des grandes lignes du sujet étudié par exemple : la végétation, c'est pour cette raison que les moyennes échelles sont les plus employées. (Toubal, 2008).

**-Les cartes à très grande échelle :** l'échelle est supérieure à 1/10 000 ème ; elles sont souvent exemptes d'altimétrie, comme les plans cadastraux, ou simplement cotées, sans courbe de niveau.

**-Les cartes à grande échelle :** du 1/10 000 ème au 1/25 000 ème, et les cartes à moyenne échelle du 1/50 000 ème au 1/100 000 ème , portent à la fois la planimétrie et l'altimétrie, régulières ou expédiées, et contiennent normalement tous les détails nécessaires à une étude minutieuse du terrain. Ce sont de véritables cartes topographiques.

**-Les cartes à moyenne échelle :** vont du 1/25 000 ème au 1/100 000 ème.

**-Les cartes à petites échelles :** inférieures au 1/100 000 ème, ce sont plus des cartes topographiques, ni par la précision ni par l'usage ; seuls les points principaux sont en place,

beaucoup de figurés sont purement conventionnels. Telles sont les cartes chorégraphiques et les cartes d'ensemble.

**-Les plans parcellaires :** à une échelle voisine du 1/1 000 ème ; comportent le tracé des limites des parcelles, des murs, haies et fossés, des chemins, des ruisseaux, la mise en place des bâtiments, l'indication de la nature des cultures, et des noms des lieux-dits et des propriétaires.

**-Les plans cadastraux :** à l'échelle du 1/2500 ème environ, regroupent les plans parcellaires d'une commune, et s'accompagnent de documents annexes sous forme de registres.

**-Les plans urbains :** sont souvent au 1/5 000 ème ou même au 1/2 000 ème (CEA ,1993).

### **7. Cartographie assistée par ordinateur**

L'introduction de la cartographie automatique est l'événement le plus remarquable et le plus lourd de conséquences qui se soit produit dans le développement de la cartographie au cours des dernières décennies. La conception comme la réalisation des cartes en subit des changements. Opérationnelle depuis 1960, la cartographie automatique se perfectionne sans cesse avec une rapidité surprenante, et son usage est désormais de pratique courante.

Stocker sous forme de fichiers numérisés des informations pour pouvoir ensuite les traiter et produire automatiquement des documents graphiques de toutes sortes est l'objet de l'infographie. Appliquée à la cartographie, l'infographie est la cartographie assistée par ordinateur (CAO). Ainsi se créent un peu partout des systèmes d'informations géographiques (SIG) qui ont pour but de rassembler, d'organiser, de localiser, d'analyser et de gérer un lot sans cesse croissant et mis à jour de données cartographiables. L'informatisation touche donc toute la chaîne de production des cartes, depuis l'enquête sur le terrain ou la télédétection jusqu'aux sorties sur écran conversationnel ou sur imprimante en noir ou en couleurs. Tables à numériser, traitement statistique ou matriciel des données, traceurs électroniques commandés par ordinateur permettent l'exécution rapide et de qualité de multiples produits : visualisations d'essai ou de contrôle sur écran, changements d'échelle ou de projection, confection de typons d'imprimerie et même création de figures d'un nouveau type comme les anamorphoses ou les représentations en trois dimensions.

Actuellement, les problèmes que rencontre la cartographie assistée par ordinateur tiennent moins à la réalisation technique des cartes qu'au choix et au coût des matériels et surtout à la collecte et à la mise en œuvre des données. La description de l'espace en mode numérique dans les banques de données, l'organisation et la création de l'image cartographique exigent du cartographe une grande familiarité avec les thèmes cartographiés. Débarrassé des soucis

techniques par la machine, le cartographe n'est plus un simple dessinateur, mais un opérateur capable de maîtriser les concepts et les taxons de la discipline qu'il se charge d'illustrer.

La localisation des figures en  $x$  et en  $y$  est relativement facile grâce aux traceurs automatiques, mais les données qualitatives ou quantitatives en  $z$  sont loin d'être connues pour tous les points du plan. La source principale de documentation reste en effet l'enquête sur le terrain, nécessairement discontinue. Certes, la télédétection est exhaustive, mais elle ne prendrait toute sa valeur que si, comme peu de pays l'ont fait jusqu'à présent, les observations, réelles ou calculées, étaient rapportées à une grille dont les mailles seraient de mêmes dimensions que celles des unités d'image élémentaires, ou pixels, des documents satellitaires. Dans ces conditions, la figuration des cartes statistiques est plus facile que celle des phénomènes concrets. Les ordinateurs tracent automatiquement les lignes isarithmes, et la représentation par taches des statistiques administratives ne présente guère de difficultés. Mais les choses se compliquent avec l'introduction d'objets géographiques réels tels que formes du relief, hydrographie, bâtiments, voies de communications, etc. L'IGN a cependant réussi à effectuer automatiquement la carte de base de la France au 1/25 000 à partir des photographies aériennes au 1/30 000. Et on se préoccupe activement d'établir des S.I.G. à partir de diverses données naturelles, géologiques, géomorphologiques, pédologiques, phytogéographiques, ...etc.

Pourtant, si séduisante soit-elle, la cartographie assistée par ordinateur a ses limites. La mise en mémoire et la gestion d'un S.I.G. sont souvent plus longues et plus coûteuses qu'une cartographie classique. Les phénomènes naturels, notamment, toujours complexes et généralement singuliers, ne sont guère répétitifs, de sorte que la rentabilité et les avantages de l'automatisation ne sont pas toujours assurés, même si la lisibilité et l'esthétique des cartes sont maintenant affirmées. Il reste donc encore une place honorable pour la cartographie traditionnelle, notamment dans le cadre d'ouvrages territorialement limités. L'appel sur écran cathodique de documents qu'on peut compléter, corriger, modifier, extraire et reproduire par l'imprimerie ou transmettre par télématique offre en revanche des perspectives nouvelles. Une voie s'ouvre là à une certaine cartographie de recherche et de communication qui est peut-être avec le couplage des banques de données, de la télédétection et du traitement informatique, la voie la plus originale de la cartographie à l'ère des ordinateurs.

### **7. 1. La photographie aérienne**

La photographie aérienne a été, jusqu'aux dernières années, la seule base pour les cartes détaillées modernes que nous avons à notre disposition, avant d'être complétée par des images

spatiales à petit pixel (en dessous du mètre, et jusqu'à 40 cm environ), disponibles depuis peu pour les applications civiles. Il s'agit de couvrir de vastes zones de territoires avec des images prises avec un axe vertical. Ces images aériennes sont souvent exploitées par photogrammétrie, afin de permettre la production de bases de données géographiques puis de cartes.

Les photographies aériennes ont pendant longtemps été disponibles seulement en noir et blanc, la couleur ne s'est généralisée qu'au cours des années 1990, ce qui permettait d'accentuer les contrastes et de faciliter l'interprétation par la méthode photogramétrique.

## **7. 2. La télédétection**

Elle désigne un ensemble de techniques destinées à étudier soit la surface de la terre soit l'atmosphère ; c'est en quelque sorte l'acquisition d'information sur un objet ou un phénomène par un instrument de mesure (un avion, un satellite, un laser, radar, un sismographe...etc).

La télédétection touche à plusieurs domaines d'application : les prévisions météorologiques, la surveillance des ressources agricoles, le contrôle de la pollution des mers et des rivières, le contrôle de l'urbanisation et de l'évolution de l'environnement, la désertification et le mouvement des dunes.

## **Conclusion**

L'évolution des possibilités techniques accompagnant l'évolution récente de l'informatique permet donc des modifications notables en cartographie. Ainsi, si l'ajout d'une dimension thématique avait permis de fixer des processus sur des représentations graphiques de l'espace terrestre, et ainsi de construire des cartes thématiques sur la base de cartes topographiques pré-existantes, l'ajout d'une dimension « méta-thématique », dont nous avons précisé les principes et les intérêts majeurs, semble autoriser une nouvelle transition. De ceci naît une confusion qui contribue à remettre en cause la définition de la carte et de la cartographie.

Si l'on se réfère à l'étymologie, force est de constater qu'une carte ne s'associe plus toujours ; aujourd'hui à un morceau de papier. Elle continue pourtant toujours à essayer de représenter le monde qui nous entoure, en prenant mieux en compte sa complexité et l'enchevêtrement des facteurs qui y prennent place.

En tant que telle, l'évolution apportée par le multimédia et l'interactivité qui émerge aujourd'hui, n'est pas fondamentalement différente de celle qu'a apportée la carte thématique à son époque, comparée à la carte topographique. Si l'on considère en effet que la carte est fondamentalement un outil, l'un des outils qui aide les géographes, les gestionnaires et les aménageurs de l'espace, il est nécessaire qu'il évolue pour rester fidèle à des objectifs qui, eux, n'évoluent pas ; les valeurs ajoutées identifiées ici apparaissent alors véritablement comme de nouvelles solutions ; mais, nous ne pouvons pas être sûrs que ces solutions fonctionnent, c'est-à-dire que les possibilités de réflexion interactives proposées par les cartes de troisième génération permettent effectivement de mieux comprendre la complexité du monde qui nous entoure. Nous pouvons uniquement poser l'hypothèse qu'elles y contribuent, en nous appuyant par exemple sur l'expérience probante de l'Analyse Exploratoire de Données.

## **CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

### **Le cadre physique de la région**

#### **1. Localisation géographique**

L'extrême Nord-Est Algérien est caractérisé par la présence de plusieurs lacs, dispersés sur les plaines littorales. Le lac Fetzara est l'un des plus importants qui représente un écosystème humide et remarquable. Ce lac est situé dans la wilaya de Annaba, dans la partie Nord-Est de l'Algérie, à 14km de la mer méditerranée et 18km au Sud-Ouest du Cheurfa (lieu de la wilaya), sous une longitude de 7°24 à 7°4 Est et une latitude de 36°50 Nord.

Ce lac est bordé par le massif de l'Edough au Nord, les collines d'Ain Berda au Sud, et les cordons dunaires à l'Est et l'Ouest. Le lac constitue une large dépression. Avec une superficie de 18600ha, dont les dimensions sont approximativement de 17km d'Ouest en Est et 13km du Nord au Sud.

Tout autour du lac Fetzara, existent plusieurs agglomérations, au Nord la commune de Berrahal, au Sud les communes d'El-Eulma et de Cheurfa et à l'Est les petits villages d'El Gantra et Oued Zièd.

#### **2. Géomorphologie**

La géomorphologie du lac Fetzara présente deux formes morphologiques distinctes, il s'agit des reliefs montagneux qui correspondent à la retombée des djebels Edough et Belleleita au Nord et aux chaînes telliennes au Sud, et de la plaine de Annaba.

Ces structures sont dues essentiellement à la tectonique ayant affectée la région au Quaternaire, ces unités appartiennent à deux sous bassins versant principaux qui sont celui du lac Fetzara à l'Ouest avec une superficie de 515km<sup>2</sup>, et celui d'oued Meboudja à l'Est avec 252 km<sup>2</sup> de superficie (figure 1).

## **2.1. Lac Fetzara**

La cuvette du lac Fetzara présente des bordures Nord et Sud nettement dissymétriques, elle est due à une grande tectonique active pendant le Quaternaire; Au Sud, un véritable piémont avec quatre niveaux de glacis, s'est construit en aval du Tell Nord Guelmien. Au Nord, le massif de l'Edough pénètre brutalement dans la cuvette du lac, et peu de formes quaternaires assurent le passage de la montagne au fond de la dépression.

Sur le piémont de la bordure Nord du lac, la tectonique semble avoir été plus active que sur la bordure Sud.

Le fond de la cuvette du lac Est occupé, à l'Ouest par le lac proprement dit, et à l'est par la plaine d'El Hadjar qui se prolonge par celle de Annaba. Ces deux ensembles morphologiques sont séparés par un cordon dunaire celui-ci sert de ligne de partage des eaux, entre le lac Fetzara et l'Oued Meboudja et il ferme aussi la dépression (Marre, 1992).

## **2.2. Les montagnes:**

Le lac Fetzara est limité dans sa partie Nord par le massif de l'Edough, qui est nettement séparé des reliefs situés au Nord-Ouest par la vallée de Oued El Aneb. Sa masse principale est plongée en direction du Nord à 55° Est. La ligne de crête relativement rectiligne longue de 26km, débute au Nord du lac Fetzara, elle s'élève rapidement à plus de 600 m pour culminer à 1008 m d'altitude au Kef Seba et redescend à 867m vers Seraidi, elle s'abaisse ensuite régulièrement jusqu'au Cap de Garde au Nord de la ville de Annaba.

A l'Est du lac Fetzara, le massif de l'Edough est isolé du Djebel Beleleita par une vallée à fond plat, il s'agit là d'un fossé d'effondrement de direction Ouest-Est ouvrant ainsi une dépression vers la mer méditerranée.

Entre Beleleita et Bouhamra se creuse la vallée transversale de la basse Meboudja qui prend naissance au pied de la rive dunaire limitée à l'Est par la cuvette du lac Fetzara, et qui entre en confluence avec l'oued Seybouse au Nord d'El Hadjar.

A l'Ouest, Djebel Edough est relié par deux ensembles de collines; le premier situé entre les deux communes d'Oued El Aneb et Berrahal (226 m), le second au Nord de Boumaiza

(130m). Enfin au Sud, l'encadrement montagneux est constitué par les chaînes telliennes qui présentent ici une diversité morphologique encore plus grande que dans le reste de l'Algérie.

### **2.3. La plaine de Annaba**

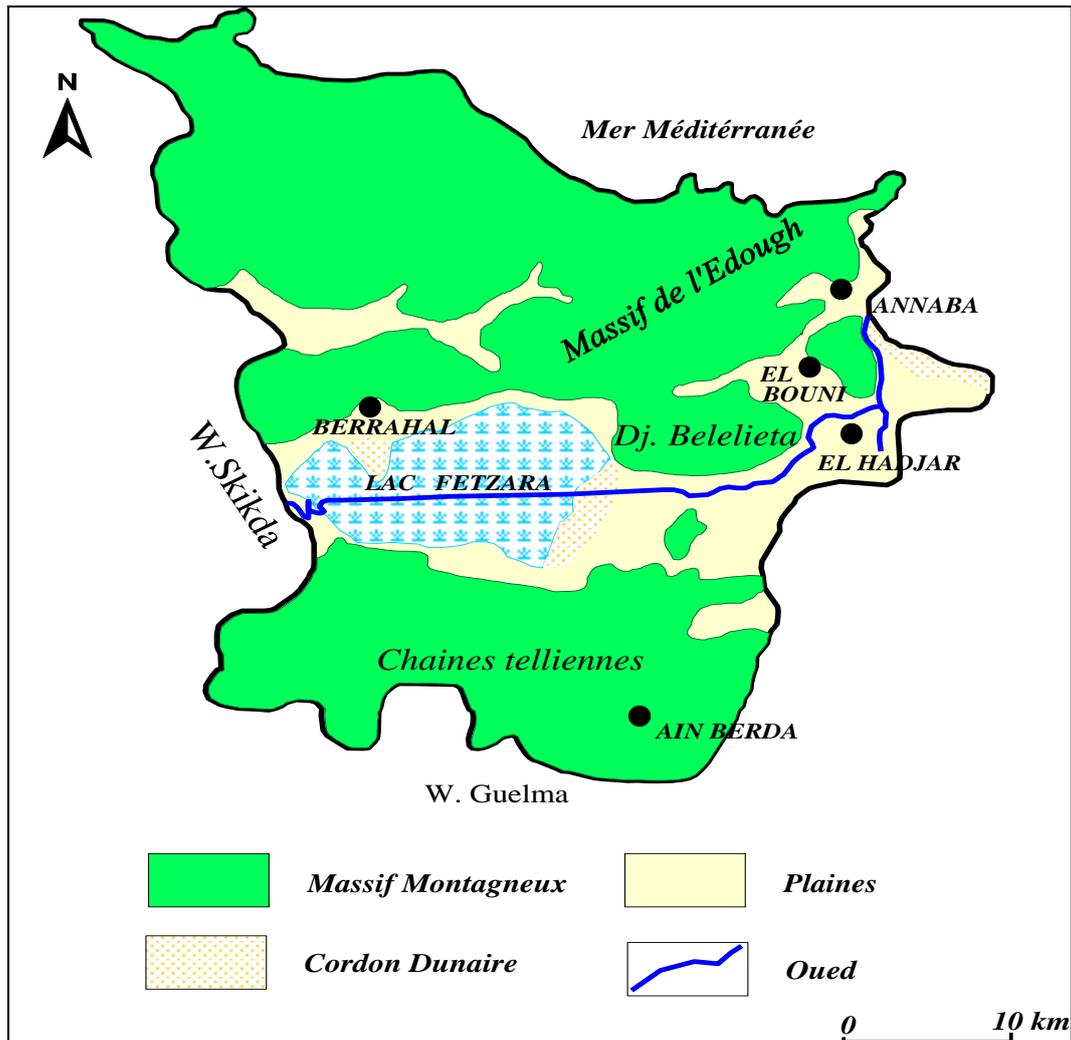
Le drainage du lac Fetzara se fait par l'intermédiaire d'un canal, dont les eaux d'évacuation se déversent dans l'oued Meboudja, vont ensuite dans l'oued Seybouse. Ce dernier draine la plaine d'Annaba et débouche dans la mer Méditerranée.

La plaine d'Annaba est située immédiatement en arrière de la ville de Annaba. Elle est limitée au Nord par la mer Méditerranée, au Nord-Ouest par l'anticlinal du massif de l'Edough et au Sud par l'anticlinal de la chaîne numidienne, avec une topographie relativement régulière, Dans l'espace ainsi défini trois secteurs présentent chacun des formes différentes; la basse plaine dans laquelle s'encaisse l'oued Seybouse, les bordures où on peut observer des glacis et le littoral où quelques formations quaternaires sont visibles.

Cette basse plaine a une forme inclinée et légèrement bombée avec la Seybouse comme axe de drainage. Celle-ci présente un tracé plus rectiligne (Belhamra, 2001 ; Habes, 2006).

A l'Est et à l'Ouest, la basse terrasse sableuse de la Seybouse disparaît pour laisser la place à des dépressions de 2m d'altitude et aux formations argileuses noires et hydromorphes (marais de Boukhmira près de l'aéroport de Annaba).

La Seybouse se jette dans la mer Méditerranée à Sidi Salem par l'intermédiaire d'un chenal artificiel creusé pendant les années 1960 (Zahi, 2008).



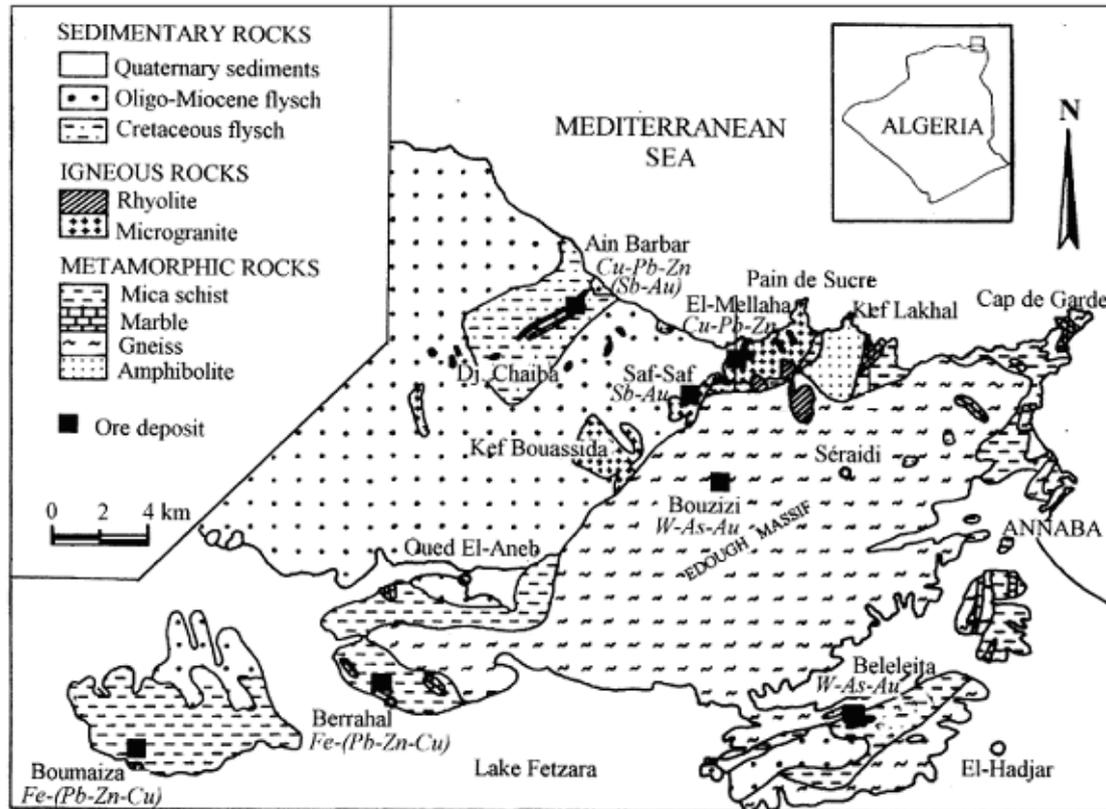
**Fig.1: Carte géomorphologique de la plaine de Annaba.**

### 3. L'aperçu géologique:

Le lac Fetzara a fait l'objet de plusieurs études géologiques (Joleaud ,1936 ;Hilly 1962 et Vila,1980). Ces études montrent que la région de Annaba est située au fond d'un golfe dans lequel vient se jeter le second fleuve de l'Algérie par ordre d'importance, la Seybouse, elle fait partie de l'ensemble géologique du Tell d'Algérie Nord orientale, cet ensemble s'étend de la région de Constantine à la frontière algéro-tunisienne.

En se basant sur les diverses cartes géologiques, on constate que le lac Fetzara est une vaste dépression bordée au Nord par le massif de l'Edough , au Sud par les monts de Aïn Berda, vers l'Ouest ,en allant vers l'Est on trouve la plaine d'Annaba qui se compose en réalité de deux plaines inégales, la petite plaine d'El Hadjar et la grande de Annaba, séparées l'une de l'autre par les buttes de Belelieta et Bouhamra.

Ainsi, la région de Annaba comporte à la fois les affleurements de terrains métamorphiques, de roches éruptives (Djebels Edough, Belelieta et Bouhamra), des terrains sédimentaires occupent le reste de la plaine (figure 2).



*Fig. 2 : Carte géologique du massif de l'Edough (Laouar et al. 2002).*

### 3.1. Description lithologique

Le cœur de l'antiforme de l'Edough est constitué essentiellement par la superposition tectonique de deux unités principales: l'unité inférieure composée de gneiss fortement foliés, d'âge Précambrien, Pan-Africain (Hammor et Lancelot, 1987; Hammor, 1992). Des niveaux de marbre, d'amphibolites et de roches ultrabasiques sont également associés à ces deux unités.

**3.1.1. 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 ocellée étroitement associée à de nombreux niveaux leptynitiques (quelques centimètres à une dizaine de mètres d'épaisseur) riche en tourmaline et autres variétés plus au moins magmatiques.

**3.1.2. 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 au moins lenticulaires de marbre d'épaisseur très variable. Il affleure principalement dans les zones périphériques du massif de l'Edough. Dans cet ensemble se trouve également intercalés des niveaux et lentilles d'amphibolites, de métagabros, de serpentines et des filons de quartz grenat. Leur étude géochimique indique que ce sont d'anciens sédiments riches en illite avec quelques fragments ignés (Ahmed et Leake, 1993).

L'ensemble supérieur est constitué par une série dite "des alternances" (Gleizes et al.1988; Caby et Hammor, 1992), cette série qui est caractérisée par une alternance régulière de micaschistes, souvent fortement alumineux et quartzites feldspathiques d'épaisseur décimétrique à métrique.

**3.1.3. Les roches metabasiques:** Les roches métamorphiques basiques du massif de l'Edough se trouve généralement dans la partie supérieur des gneiss et au niveau des micaschistes. Elles comprennent des amphiboles, des pyroxènes, des péridotites et des métagabros (Hilly, 1962; Ahmed et Leake, 1992).

**3.1.4. 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 Berda et El Mellaha (Hilly, 1962; Marignac, 1976 et 1985).

## **3.2. Tectonique et structure du massif de l'Edough**

❖ **Déformations synmétamorphiques:** Le socle de l'Edough a subi une histoire tectonométamorphique complexe, où deux séquences d'évènements peuvent être individualisées:

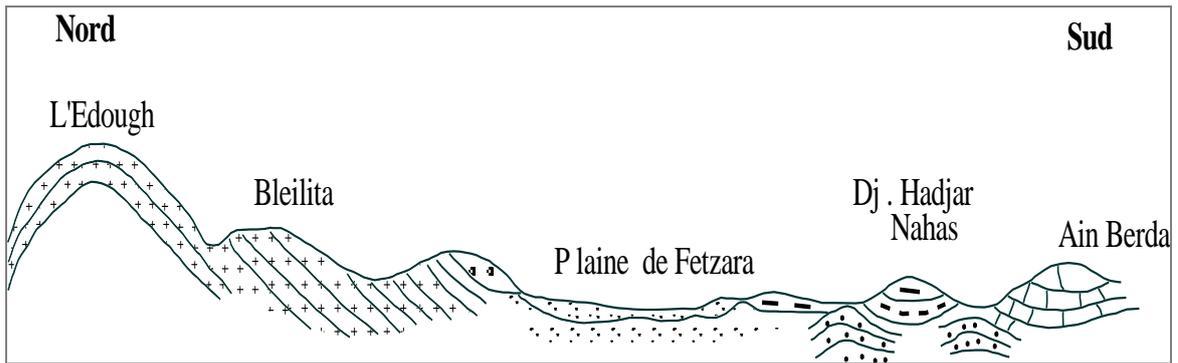
- Plissements synschisteux contemporains d'un métamorphisme de type barrovien.
- Plissements synschisteux et cisaillements ductiles, contemporains d'un métamorphisme de basse pression dans le contexte distensif d'une faille de

détachement (Brunel et al, 1989), d'âge Burdigalien (Monié et al, 1992; Aissa et al, 1994 et 1995).

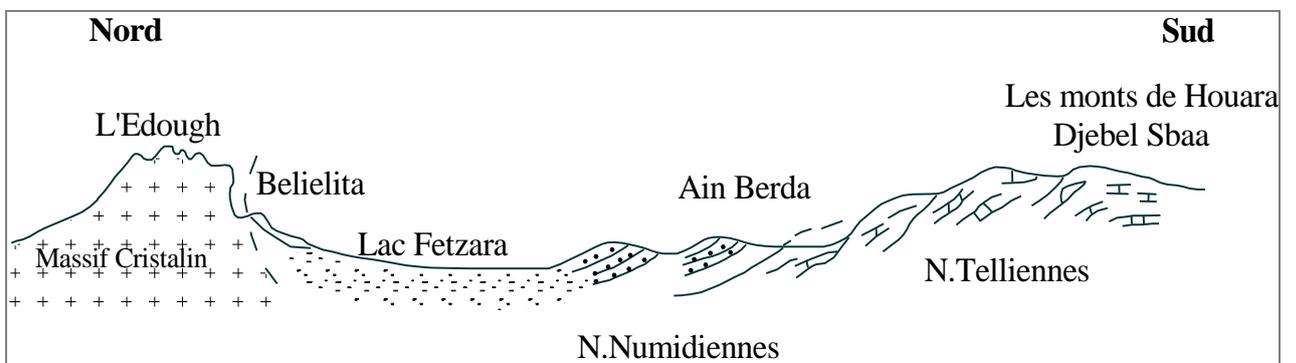
❖ **Déformations tardives:** les déformations tardives se résument essentiellement en la formation de plis et de failles (Aissa, 1995).

**3.3. Plaines littorales:** Ces plaines s'étendent de la vallée de la Seybouse jusqu'à la frontière tunisienne, sur une largeur d'environ 15km et une longueur de 110km. Elles ne constituent pas un ensemble homogène, car on y trouve des dunes sableuses des espaces marécageux, des plaines fertiles et petits reliefs.

De l'Ouest à l'Est, on distingue successivement la plaine de Guerbes, la dépression du lac Fetzara, la plaine d'El Hadjar et la plaine de Annaba; elles sont caractérisées par des sédiments quaternaires récents, constituant ainsi le fond de cette dépression tectonique. Les grés numidiens constituent les sommets, dont les plus importants se situent autour du village de Daghoussa.



***a - J.M. VILA 1980***



***b - L. JOLEAUD 1936***

**Légende :**

	Gneiss et Micaschistes
	Grés Numidien
	N. Tellienne (Marnes, Marno Calcaire)
	Quaternaire
	Graviers-Galets
	Argiles - Sables
	Graviers - Sables

***Fig. 3: Coupes géologiques entre Ain Berda et l'Edough par le lac Fetzara.***

#### **4. La couverture végétale**

L'occupation du sol est un autre facteur dont il faut tenir compte, on peut distinguer en dehors des zones urbanisées, des terrains occupés par la végétation naturelle ou par les reboisements et d'autres cultivés.

Les versants Nord et Sud disposent d'une remarquable couverture végétale donnant l'aspect d'une succession visible à l'œil nu, le maquis sur les niveaux plus ou moins hauts et la forêt sur les niveaux de haute altitude (figure 4).

Le Djebel Menchoure au Sud, est très dégradé et ne se reconstitue que très lentement, bien qu'il ne fasse l'objet d'aucune exploitation, il s'agit uniquement de chêne liège, de pin maritime et surtout d'eucalyptus au bord des routes. Des aménagements agricoles en versants ont été mis en œuvre par le développement d'arboriculture en montagne, comme l'olivier, le pêcher, etc....

Sur les grés, c'est le domaine du maquis méditerranéen typique à Cistes et Calycotomes associés à des plantes annuelles, le plus souvent tubéreuse et à des touffes de brachypodes rameux. Le Diss n'apparaît en abondance qu'au-dessus de 600m d'altitude. Au Nord, la forêt occupe les sommets du massif de Berrahal et la région du Douar Toubeiga à l'Ouest. Le chêne liège est l'essence principale couvrant environ 1/3 de la superficie forestière, cette forêt est exploitée en matière de bois et de liège fournis à l'unité SNLB localisée à l'Oued el Aneb.

Un peu plus bas, la présence du maquis révèle la dégradation d'une ancienne forêt, elle est due aux actions anthropiques continues (incendies et parcours du bétail), il serait donc nécessaire de préserver ces zones contre le pâturage pour rétablir l'équilibre naturel et lutter contre le phénomène de dégradation.

Les reboisements sont constitués de deux essences; l'une feuillue (Eucalyptus) et l'autre résineuse (Pin maritime), ce qui a contribué à une régénération de la forêt et une stabilisation des versants.

Par ailleurs, sur les sols alluvionnaires, la végétation pastorale (prairie naturelle) occupe les zones basses de la région et principalement les alentours du lac Fetzara. C'est une végétation continue et très dense au niveau des marécages telle que Garaat Tacha au Nord-Ouest. La présence de ce couvert végétal, constitue une véritable réserve de fourrage pour le cheptel qui

est important dans la région . Le surpâturage pose le problème de régénération des herbes. L'agriculture de la plaine est surtout axée sur le maraîchage, la tomate industrielle, la céréaliculture et les cultures fourragères, ainsi que l'arboriculture fruitière en irrigué pour les agrumes et fruits à noyaux.



**Légende :**

- |   |                      |  |        |
|---|----------------------|--|--------|
|  | Forêts               |  | Maquis |
|  | Végétation pastorale |  | Oueds  |
|  | Routes               |  |        |

**Fig. 4 : Carte du couvert végétal dans de la région du lac Fetzara  
(Direction générale des forêts, Annaba 2002).**

## 5. Le climat

Le travail réalisé porte sur la région du lac Fetzara caractérisée par l'absence de station au niveau du lac. Pour mener notre travail, nous avons utilisé les données des quatre stations limitrophes (les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal), de ce fait les résultats obtenus ne constitueront qu'une approximation des caractéristiques climatiques.

La détermination des caractéristiques hydroclimatologiques est nécessaire pour l'évaluation et la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. Elle permet également d'approcher les termes du bilan hydrique, qui sont les précipitations, la température et l'évapotranspiration.

### 5.1. Stations de mesure

Pour étudier les variations des caractéristiques climatiques de la région du lac Fetzara dans le temps et dans l'espace, nous avons pris en considération les données de précipitations et de températures de quatre stations : les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal.

Les coordonnées des stations météorologiques sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

*Tab. 1 : coordonnées géographiques des stations de mesure.*

Stations	X	Y	Z (m)	Période d'observations	Distance par rapport au lac Fetzara
<b>Les Salines</b>	955.80	403.80	3	1975/2006	15 Km au N.E
<b>Pont Bouchet</b>	950.25	402.80	6	1975/2006	12 Km au N.E
<b>Ain Berda</b>	937.60	387.75	73	1975/2006	8 Km au S.O
<b>Berrahal</b>	923.35	405.56	33	1981/2006	2 Km au N.O

**Source : ANRH.**

## 5.2. Les principaux facteurs climatiques

### 5.2.1. Précipitations

#### 5.2.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

Les moyennes mensuelles des précipitations pour les quatre stations sont résumées dans le tableau suivant :

**Tab. 2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) des quatre stations étudiées.**

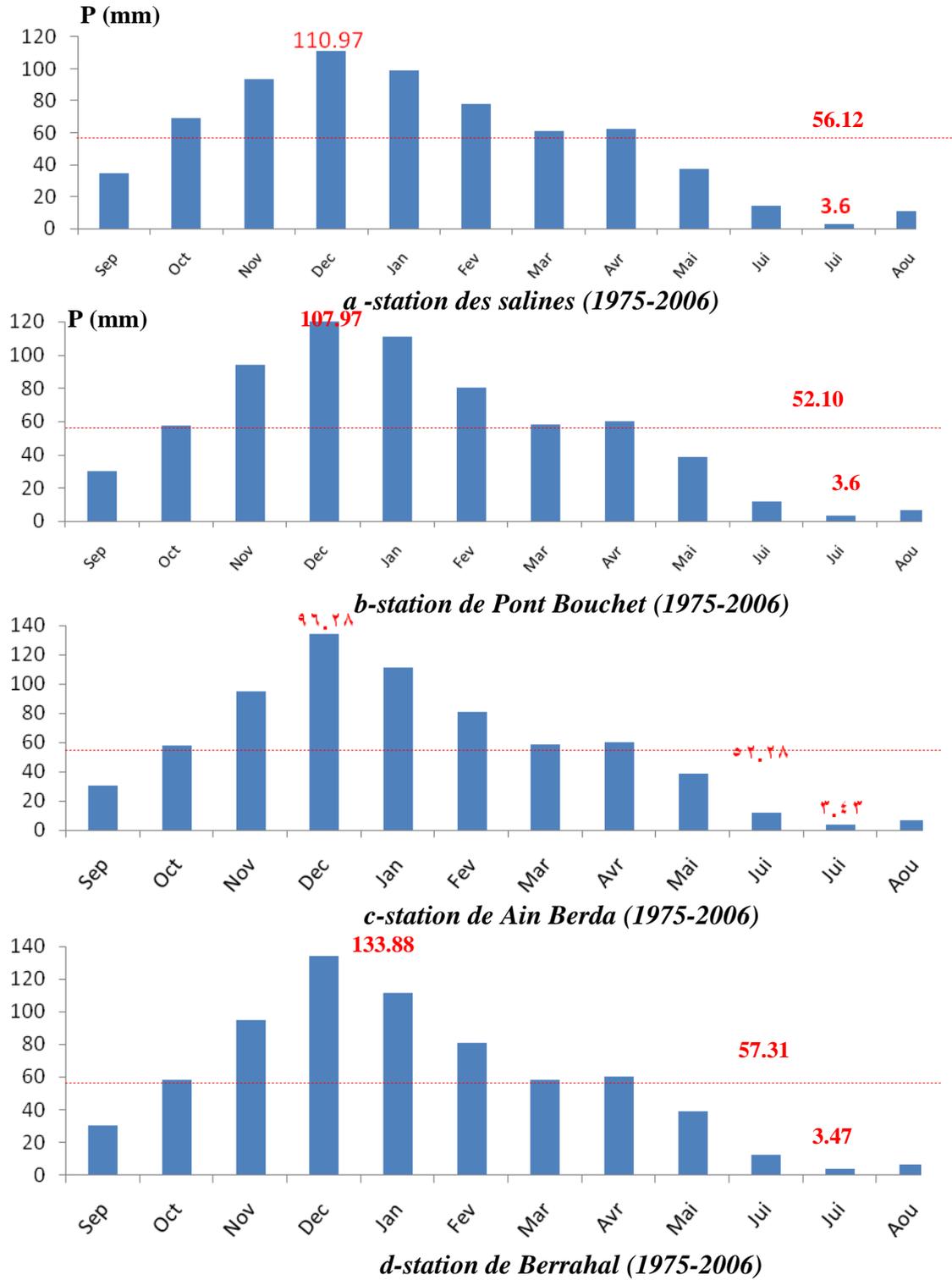
Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout
<b>Les salines 1975-2006</b>	34.47	69.33	93.58	110.97	99.32	77.84	61.13	62.47	37.05	14.09	2.68	10.5
<b>Pont Bouchet 1975-2006</b>	37.05	53.96	95.70	107.94	89.76	68.27	56.54	57.82	34.96	11.32	3.6	8.30
<b>Ain Berda 1975-2006</b>	36.59	49.83	88.64	96.05	96.28	69.8	61.95	61.44	43.24	12.2	3.43	8
<b>Berrahal 1981-2006</b>	30.1	58	94.5	133.9	111.4	80.7	58.2	60.3	38.8	12	3.5	6.3

On remarque que les mois les plus pluvieux sont : novembre, décembre, janvier, février, mars et avril. Par contre les mois de juin, juillet et août sont les plus secs.

Les histogrammes des précipitations moyennes mensuelles montrent la variation des précipitations d'un mois à un autre (figure 5).

Le maximum des précipitations est enregistré au mois de décembre pour les quatre stations :

Les Salines (**110.97 mm**), Pont Bouchet (**107.94 mm**), Ain Berda (**96.28 mm**) et Berrahal (**133.9 mm**) par contre le minimum est enregistré au mois de juillet avec des valeurs de 2.68 mm, 3.6 mm, 3.43 mm, et 3.5 mm respectivement aux stations des Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal.



**Fig. 5 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) des stations étudiées.**

### 5.1.2. Coefficient pluviométrique (H)

Ce coefficient permet de déterminer pour une station donnée, si l'année est excédentaire ( $H > 1$ ) ou déficitaire ( $H < 1$ ). Il est défini par le rapport de la pluviométrie ( $P$ ) d'une année sur

la pluviométrie moyenne  $\bar{P}$  d'une période d'observation. 
$$H = P / \bar{P}$$

avec :  $H$  : Coefficient pluviométrique.  
 $P$  : pluviométrie d'une année (mm).  
 $\bar{P}$  : pluviométrie moyenne (mm).

Les hauteurs moyennes annuelles des précipitations  $\bar{P}$  enregistrées durant la période d'observation sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

**Tab. 3 : Hauteurs moyennes annuelles des précipitations ( $\bar{p}$  en mm).**

Stations	Les Salines	Pont Bouchet	Ain Berda	Berrahal
<b>Précipitations moyennes annuelles (mm)</b>	673.46	625.22	627.45	687.77

L'analyse des courbes des variations du coefficient pluviométrique (figure5) montre que les années déficitaires communes pour les quatre stations sont plus nombreuses que les années excédentaires qui sont : **1976/77, 81/82, 83/84, 85/86, 86/87, 95/96, 97/98, 98/99, 2002/03, 2003/2004, et 2004/05**, le reste des années sont considérées comme déficitaires.

Les années **2002/2003** et **2004/2005** sont les plus arrosées où les quantités des précipitations dépassent les 850 mm/an, par contre les années **1987/1988, 1996/1997, 2001/2002**, sont les plus sèches avec une quantité des précipitations inférieure à 500 mm/an.

### 5.1.3. Répartition saisonnière des précipitations

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les quatre saisons agricoles :

- ✓ **l'automne** (septembre, octobre, novembre).
- ✓ **l'hiver** (décembre, janvier, février).
- ✓ **le printemps** (mars, avril, mai).
- ✓ **l'été** (juin, juillet, août).

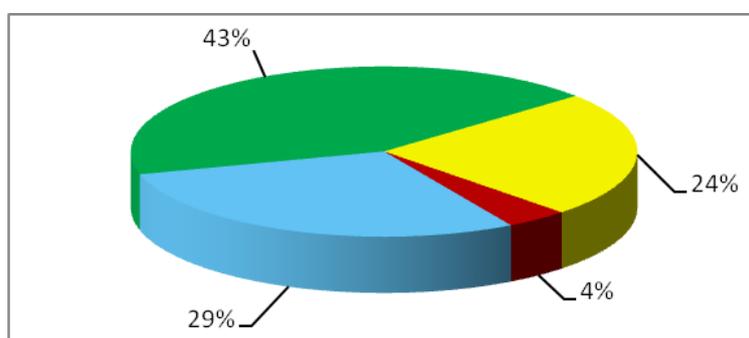
**Tab. 4 : Répartition saisonnière des précipitations des stations étudiées**

Station	Les Salines		Pont Bouchet		Ain Berda		Berrahal	
	P (mm)	P%	P (mm)	P%	P (mm)	P%	P (mm)	P%
<b>l'automne (A)</b>	197.4	29.31	186.71	29.86	175.06	27.90	182.6	26.55
<b>l'hiver (H)</b>	288.13	42.78	265.97	42.54	262.13	41.78	326	47.4
<b>le printemps (P)</b>	160.65	23.85	149.32	23.88	166.63	26.56	157.3	22.87
<b>l'été (E)</b>	27.28	4.05	23.22	3.71	23.63	3.77	21.8	3.16

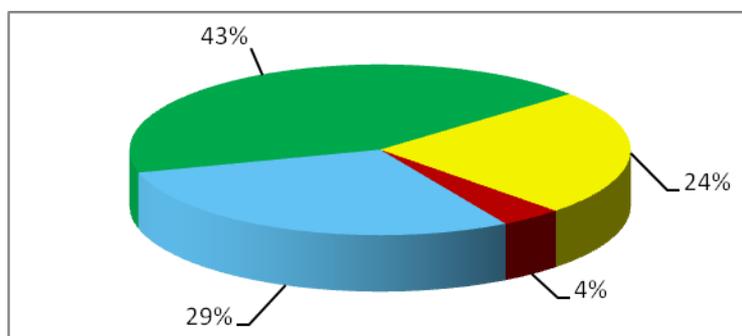
Indices saisonniers	HAPE	HAPE	HAPE	HAPE
Type de climat	Hivernal	Hivernal	Hivernal	Hivernal

L'examen des résultats du tableau ci-dessus montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse pour les quatre stations. Au total, il tombe **288.13 mm**, **265.97 mm**, **262.13 mm** et **326 mm** soit **42.78%**, **42.54%**, **41.78%**, et **47.4%** des pluies annuelles, respectivement pour les stations : Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal (tableau 4, figure 6).

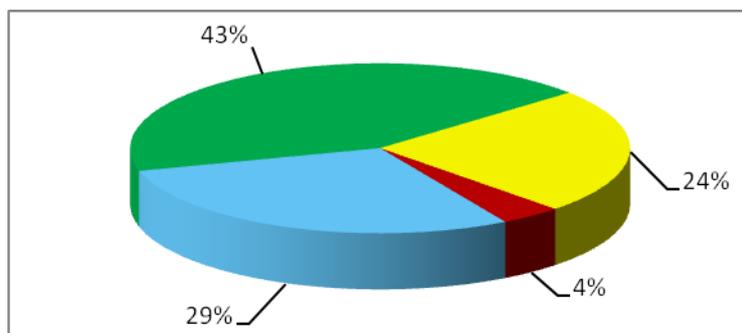
Au printemps, le total des précipitations est de l'ordre de **160.65 mm** soit **23.85%** pour la station des Salines, **149.32 mm** soit **23.88%** pour Pont Bouchet, **166.63 mm** soit **26.56%** pour Ain Berda et **157.3 mm** soit **22.87%** pour Berrahal.



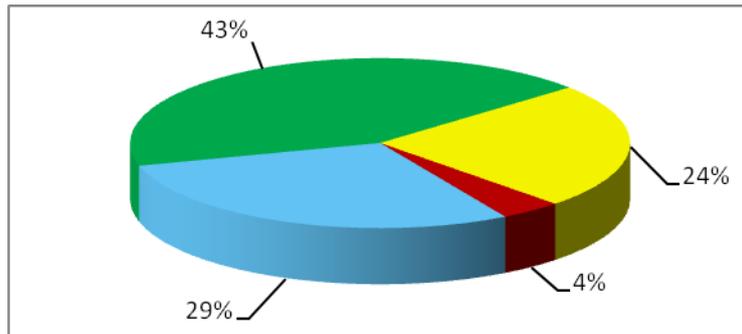
*a - Les salines*



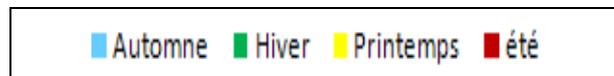
*b - Pont Bouchet*



*c - Ain Berda*



*d - Berrahal*



**Fig. 6 : Répartition saisonnière des précipitations pour les stations étudiées.**

Les saisons estivales et automnales sont les plus sèches, la pluviométrie enregistrée est la plus faible de l'ordre de **33.36 %**, **33.57 %**, **31.67 %** et **29.71 %** de la totalité des pluies, respectivement pour les stations : Les Salines, Pont Bouchet, Ain Barda et celle de Berrahal.

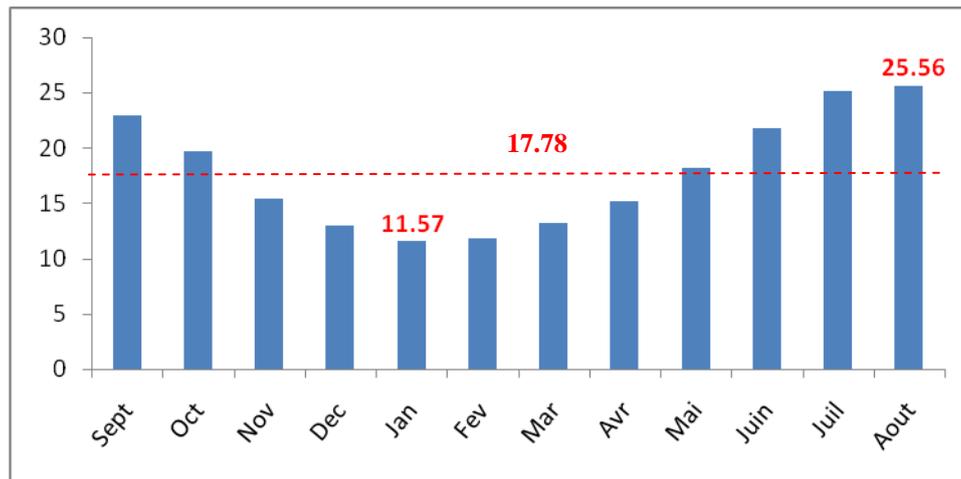
## 5.2. Température

La Température joue un rôle déterminant dans l'étude de l'évaporation et de l'évapotranspiration. La station Les Salines est la seule où ce paramètre a été enregistré.

Les valeurs de la température sont consignées dans le tableau ci-dessous (tableau 5).

**Tab. 5 : Températures moyennes mensuelles (°C) à la station Les Salines (1975-2006).**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout
<b>Les salines</b>	22.97	19.65	15.42	13.01	11.57	11.80	13.21	15.14	18.15	21.81	25.16	25.55



**Fig. 7 : Températures moyennes mensuelles (°C) à la station Les Salines (1975-2006).**

D'après l'histogramme des températures moyennes mensuelles (figure7), le mois de Janvier est le mois le plus froid (11.5°C), alors que le mois d'Août est le plus chaud (25.5°C).

### 5.3. Humidité relative

Nous disposons des valeurs mensuelles et annuelles de l'humidité relative pour les Salines avec une moyenne annuelle de l'ordre de **74.66%** sur une période d'observation de 31 ans (1975-2006).

Elle atteint son minimum au mois de juillet avec une valeur de **70.18 %** et un maximum au mois de janvier avec une valeur de **78.16 %** (tableau 6).

**Tab.6 : Humidité relative moyenne mensuelle (H %) à la station les Salines (1975-2006)**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy
<b>H %</b>	72.42	74.70	76.42	77.20	78.16	77.00	75.45	74.65	75.03	72.83	70.18	71.86	<b>74.66</b>

### 5.4. Vent

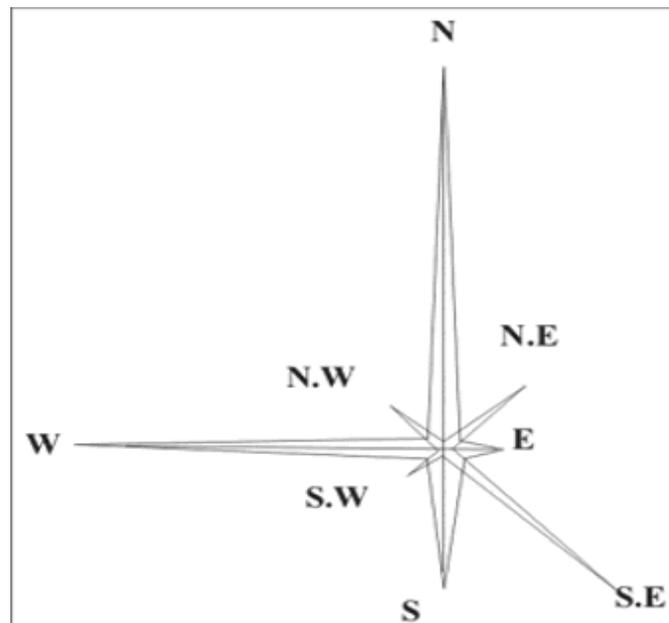
Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'après la station météorologique les Salines, les vents dominants sont de direction Nord et Nord-Ouest, avec des vitesses moyennes variant entre 2.9 et 3.45 m/s. Ces vents en contact avec le massif de l'Edough et la barrière montagneuse du Sud, déversent des pluies au passage (tableau 7).

**Tab .7 : Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s) à la station les Salines (1975-2006).**

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Moy
<b>vent (m/s)</b>	3.04	2.90	3.05	3.45	3.31	3.30	3.30	3.24	3.02	3.03	3.18	3.13	<b>3.16</b>

*Tab.8 : Fréquence des vents de la région de Annaba (1978-1998).*

Direction des vents	Fréquence (%)
Nord (N)	29.7
Nord-Est (N.E)	8.6
Est (E)	2.5
Sud-Est (S.E)	15.9
Sud (S)	10.4
Sud-Ouest (S.W)	0.4
Ouest (W)	26.5
Nord-Ouest (N.W)	5.9

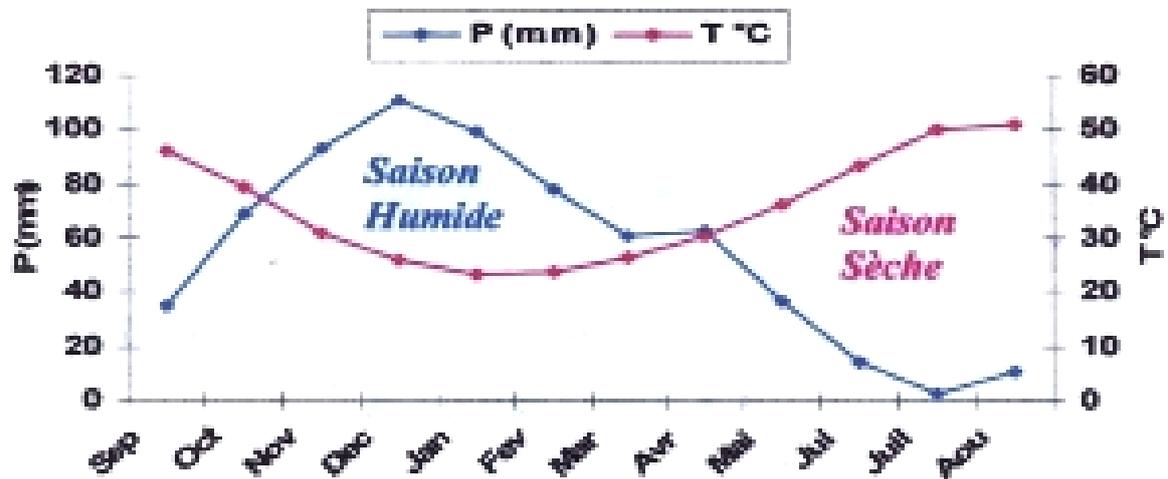


**Fig. 8 : La fréquence des vents de la région de Annaba (1978-1998).**

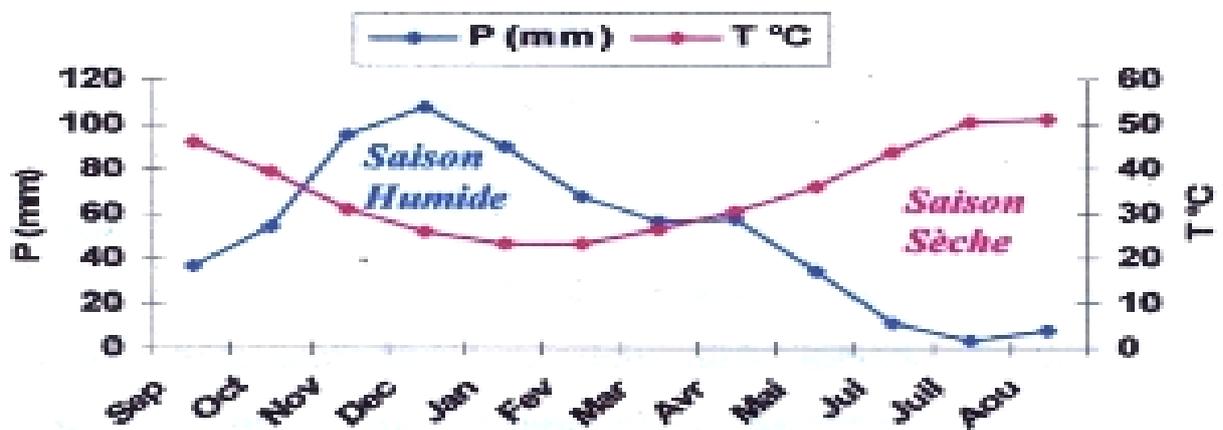
### **5.5. Synthèse climatique**

La courbe pluviométrique (combinaison de deux paramètres climatiques ; la température et les précipitations), permet la détermination du type du climat régnant dans la région. Pour les quatre stations (les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal), on remarque la succession de deux saisons, la première dite la saison humide se caractérisant par une forte pluviométrie et une faible température, elle s'étend du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai, au cours de cette période les précipitations sont importantes atteignant leur maximum aux mois de décembre et janvier avec **110.97** mm à la station les Salines, **107.94** mm à Pont Bouchet, **96.28** mm à Ain Berda et **133.9** mm à Berrahal.

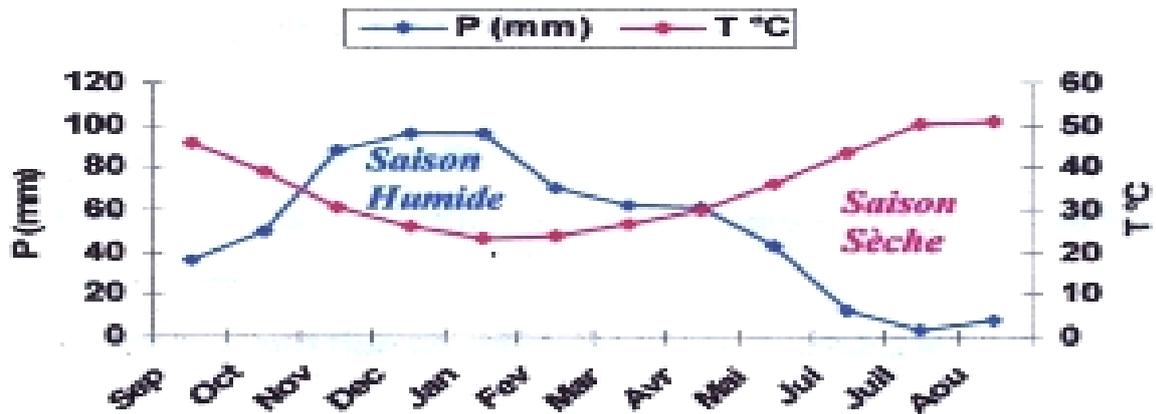
La saison sèche occupe le reste des mois, c'est-à-dire de Mai jusqu'à septembre. Au cours de cette période les températures maximales sont atteintes et sont de l'ordre de 25.55 °C (fig. 9).



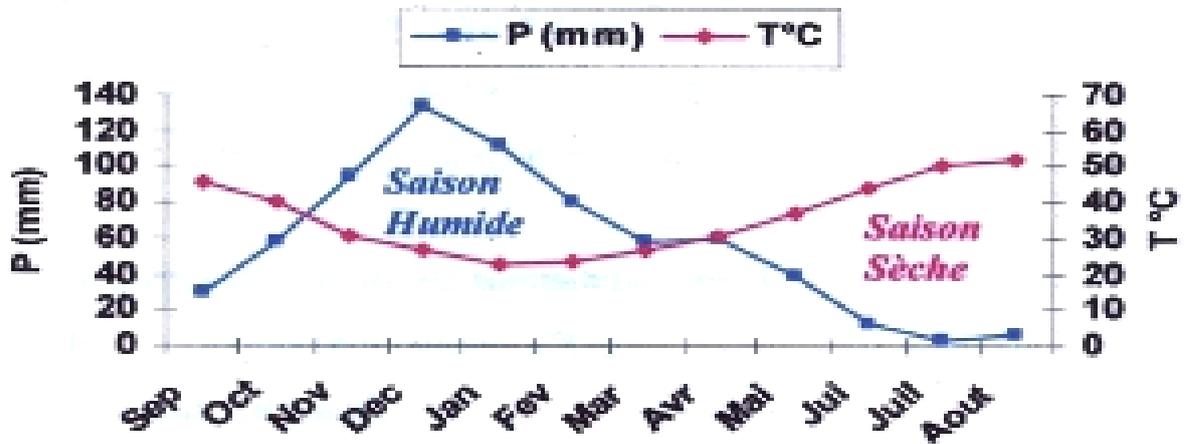
*a- Station des Salines (1975/2006).*



*b- Station de pont Bouchet (1975/2006).*



c- Station de Ain Berda (1975/2006).



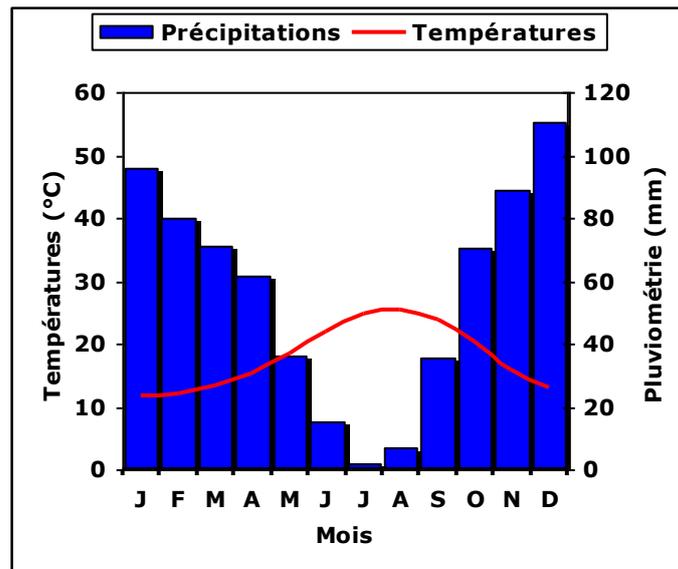
d- Station de Berrahal (1981-2006).

Fig.9 : Courbe pluviothermique des quatre stations étudiées.

### 5.6. Diagramme ombrothermique de Gaussen (1954)

Il est conduit afin de définir la période de sécheresse, sa durée et son intensité à partir de la courbe moyenne mensuelle des températures et le diagramme des précipitations. L'échelle des précipitations étant doublée par rapport à celle des températures ( $P=2T$ ).

A partir de ce diagramme, on a remarqué une sécheresse de six mois (Mai à Octobre). Juillet étant le mois le plus sec (figure 10).



**Fig. 10 : Diagramme ombrothermique de Gaussen (1954) pour la région de Annaba (1997-2006).**

### 5.7. Le quotient pluviothermique d'Emberger (1954)

Emberger (1954) a proposé un indice appelé quotient pluviothermique (Q) spécifique au climat méditerranéen :

$$Q = 2000. P / (M^2 - m^2)$$

**P** : pluviométrie moyenne annuelle (mm).

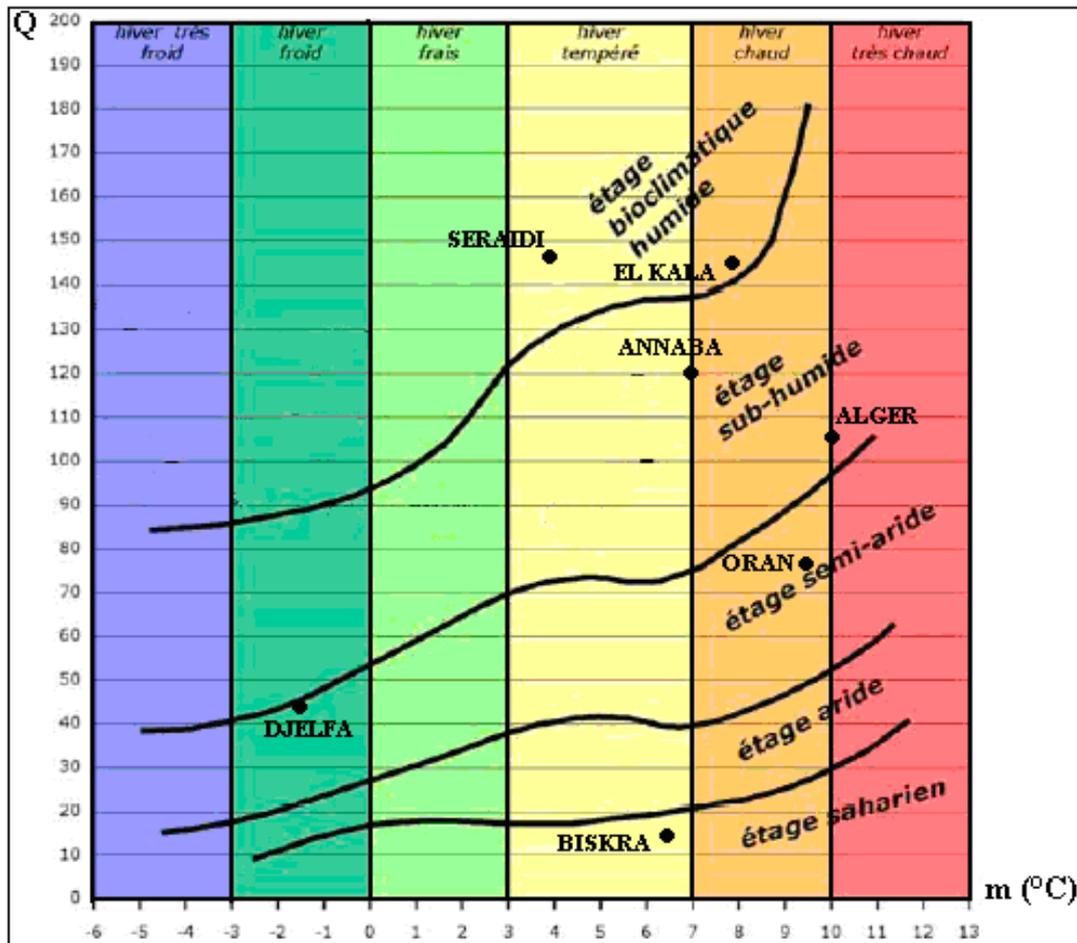
**M** : température maximale moyenne annuelle en degrés absolus (°K).

**m** : température minimale moyenne annuelle en degrés absolus (°K).

Stewart (1969) a montré que le quotient pluviothermique d'Emberger (1954) pouvait être simplifié pour le Maghreb pour s'écrire :

$$Q_2 = 3.43. P / (M - m)$$

Le quotient pluviothermique d'Emberger (1954), classe la région de Annaba dans le climagramme qui porte son nom, dans le climat méditerranéen tempéré à étage sub-humide doux (figure11).



**Fig. 11 : Etage bioclimatique de la région de Annaba selon le climagramme d'Emberger (1954).**

En conclusion, il s'avère que le climat de la région de Annaba présente des saisons contrastées, avec une période humide et fraîche de 6 mois et une période sèche et chaude de 6 mois. Il correspondrait à un climat méditerranéen sub-humide.

### **6. Bilan hydrique**

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

Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec : **P** : précipitation moyenne annuelle (mm).

**ETR** : évapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

**R** : ruissellement moyen annuel (mm).

**I** : infiltration moyenne annuelle (mm).

## 6.1. Evapotranspiration

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

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

### 6.1.1. 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.

#### 6.1.1.1. Formule de Serra

$$ETP = 16 * (10t / I)^a$$
$$i = 0.09 * t^{3/2} \quad I = \sum i$$

$$a = (1.6/100) * I + 0.5$$

Avec : **ETP** : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

**t** : température moyenne mensuelle (°C).

**i** : indice thermique mensuel.

L'application de la formule de Serra conduit aux résultats réunis dans le tableau suivant :

*Tab.9 : l'ETP selon la formule de Serra (en mm).*

	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Janv</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juill</i>	<i>Aout</i>	<i>Total</i>
<i>I</i>	9.91	7.84	5.45	4.22	3.54	3.65	4.32	5.30	6.96	9.17	11.36	11.62	83.34
<i>ETP</i>	102.3	76.88	49.33	36.15	29.16	30.23	37.17	47.71	66.48	93.05	120.85	124.30	813.61

#### 6.1.1.2. Formule de C.W.Thornthwaite

$$ETP = 16 (10 T / I)^a * k$$

**ETP** : Evapotranspiration potentielle mensuelle (mm).

**T** : température moyenne mensuelle (°C).

**I** : indice thermique annuel.

**i** : indice thermique mensuel. déterminé par l'expression :  $i := (T/5)^{15}$ .

**a** : coefficient calculé par la formule :  $1.6 (I/100) + 1.5$ .

**K** : coefficient de correction.

Les résultats de calcul de l'ETP sont représentés dans le tableau suivant :

*Tab.10: l'ETP selon la formule de C.W.Thornthwaite*

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juill	Aout	Total
ETP	108.61	70.74	37.41	25.58	21.53	23.84	38.33	55.47	88.73	125.12	162.51	155.84	913.71

### 6.1.2. 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'ETR on utilise les formules suivantes :

#### 6.1.2.1. Formule de Coutagne

La formule de Coutagne permet de calculer l'évapotranspiration réelle en faisant intervenir la pluviométrie et la température.

$$ETR = P - \lambda * P^2$$

Avec ;  $\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$

**ETR** : Evapotranspiration réelle (mm/an).

**P** : Précipitations moyennes annuelles (mm/an).

**T** : Température moyenne annuelle (°C).

Elle est applicable pour la condition suivante :  $1/8 \lambda < P < 1/2 \lambda$

Les résultats obtenus sont englobés dans le tableau ci-dessous ;

*Tab. 11 : l'ETR d'après la méthode de Coutagne(en mm).*

Stations	T °C	$\lambda$	$1/2\lambda$	P(m)	$1/8\lambda$	ETR (m)	ETR (mm)
Les salines	17.79	0.30	1.67	0.67346	0.42	0.53740	0.53740
Pont Bouchet				0.62522		0.50795	0.50795
Ain Berda				0.62745		0.50934	0.50934
Berrahal	17.88			0.68777		0.54586	0.54586

#### 6.1.2.2. Formule de Turc

Cette formule tient compte de la durée de l'insolation et applicable à tous les types de climat,

la formule est la suivante :  $ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{(r)}{L}}}$

Ou ; **P** : Précipitations moyennes annuelles (mm).

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

**T** : Température moyenne annuelle (°C).

**ETR** : évapotranspiration réelle (mm).

Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous ;

*Tab. 12: l'ETR d'après la méthode de Turc (en mm).*

<i>Stations</i>	<i>P (mm)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>L</i>	<i>ETR (mm)</i>
<i>Les Salines</i>	673.46	17.79	1021.92	583.02
<i>Pont Bouchet</i>	625.22			553.85
<i>Ain Berda</i>	627.45			555.24
<i>Berrahal</i>	687.77	17.88	1032.81	593.38

## 6.2. 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 Tixeron-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3 * ETP^2, \text{ si } p < 600 \text{ mm.}$$

- formule de Tixeron-Berkaloff modifié par Romantchouk :

$$R = P^3 / 3, \text{ si } p < 600 \text{ mm.}$$

Avec : **P** : Précipitations moyennes annuelles (mm).

**ETP** : Evapotranspiration potentielle annuelles (mm).

**R** : Ruissellement (mm).

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tab. 13: Ruissellement selon la formule de Tixeron-Berkaloff modifié par Romantchouk (en mm).**

<i>Stations</i>	<i>P (mm)</i>	<i>R (mm)</i>
<i>Les Salines</i>	673.46	101.81
<i>Pont Bouchet</i>	625.22	81.47
<i>Ain Berda</i>	627.45	82.34
<i>Berrahal</i>	687.77	108.44

## 6.3. Infiltration

L'infiltration est calculée à partir de la formule générale du bilan :

$$P = ETR + I + R \implies I = P - ETR - R$$

Avec : **ETR** : Evapotranspiration réelle (mm) selon Thornthwaite.

Les résultats du bilan hydrologique sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tab. 14: Bilan hydrologique**

<b>Stations</b>	<b>P (mm)</b>	<b>ETR (mm)</b>	<b>R (mm)</b>	<b>I (mm)</b>
<b>Les salines</b>	673.46	470.31	101.81	101.34
<b>Pont Bouchet</b>	625.22	451.35	81.47	92.40
<b>Ain Berda</b>	627.45	455.45	82.34	89.66
<b>Berrahal</b>	687.77	449.78	108.44	129.55

### **7. Bilan hydrique selon 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 différents composants du bilan hydrique (l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration). et 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 :**  $P \geq ETP \longrightarrow ETR = ETP.$

Il ya reconstitution des réserves du sol jusqu'à saturation (un sol saturé, quand il aura absorbé une lame d'eau équivalent à une précipitation de 100 mm), le surplus représentera l'écoulement superficiel :

**2<sup>er</sup> Cas :**  $P < ETP \longrightarrow ETR = P + RFU$

Dans ce cas, on puisera dans les réserves du sol jusqu'à satisfaction de l'ETP.

**3<sup>er</sup> Cas :**  $P < ETP$  et  $RFU = 0 \longrightarrow ETR = P$

On aura un déficit qui représentera la quantité d'eau a apporté pour l'irrigation (déficit agricole).

Les tableaux (15, 16, 17,18) résumant les calculs du bilan hydrologique pour les quatre stations : Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et celle de Berrahal.

**Tab.15: Bilan hydrique selon C.W Thornthwaite (Les Salines 1975-2006).**

	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Janv</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juill</i>	<i>Aout</i>	<i>total</i>
<b>P (mm)</b>	34.49	69.33	93.58	110.97	99.32	77.84	61.13	62.47	37.05	14.09	2.68	10.51	678.46
<b>T (°C)</b>	22.97	19.65	15.42	13.01	11.57	11.80	13.21	15.14	18.15	21.81	25.16	25.55	1779
<b>I</b>	9.85	7.79	5.42	4.20	3.52	3.63	4.29	5.27	6.92	9.11	11.29	11.55	I=82.84
<b>K</b>	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
<b>ETP(mm)</b>	108.61	70.74	37.41	25.58	21.53	23.84	38.33	55.47	88.73	125.12	162.51	155.84	319.17
<b>ETR(mm)</b>	34.49	69.33	37.41	25.58	21.53	23.84	38.33	55.47	88.73	62.41	2.68	10.51	470.31
<b>RFU(mm)</b>	0	0	56.17	100	100	100	100	100	48.32	0	0	0	/
<b>EXC(mm)</b>	0	0	0	41.56	77.79	54.00	22.80	7.00	0	0	0	0	208.15
<b>DA(mm)</b>	74.12	1.41	0	0	0	0	0	0	0	62.71	159.83	145.33	448.40

**Tab.16: Bilan hydrique d'après C.W Thornthwaite (Pont Bouchet 1975-2006).**

	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Janv</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juill</i>	<i>Aout</i>	<i>total</i>
<b>P (mm)</b>	37.05	53.96	95.70	107.94	89.76	68.27	56.54	57.82	34.96	11.32	3.60	8.30	625.22
<b>T (°C)</b>	22.97	19.97	15.42	13.01	11.57	11.80	13.21	15.14	18.15	21.81	25.16	25.55	1779
<b>I</b>	9.85	7.79	5.42	4.20	3.52	3.63	4.29	5.27	6.92	9.11	11.29	11.55	I=82.84
<b>K</b>	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
<b>ETP(mm)</b>	108.61	70.74	37.41	25.58	21.53	23.84	38.33	55.47	88.73	125.12	162.51	155.84	918.71
<b>ETR(mm)</b>	37.05	53.96	37.41	25.58	21.53	23.84	38.33	55.47	88.73	57.55	3.60	8.30	451.35
<b>RFU(mm)</b>	0	0	58.29	100	100	100	100	100	46.23	0	0	0	/
<b>EXC(mm)</b>	0	0	0	40.65	68.23	44.43	18.21	2.35	0	0	0	0	178.87
<b>DA(mm)</b>	71.56	16.72	0	0	0	0	0	0	0	67.57	158.91	147.54	462.36

**Tab.17: Bilan hydrique d'après C.W Thornthwaite (Ain Berda 1975-2006).**

	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Janv</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juill</i>	<i>Aout</i>	<i>total</i>
<b>P (mm)</b>	36.59	49.83	88.64	96.05	96.28	69.8	61.95	61.44	43.24	12.2	3.43	8	627.45
<b>T (°C)</b>	22.97	19.65	15.42	13.01	11.57	11.80	13.21	15.14	18.15	21.81	25.16	25.55	1779
<b>I</b>	9.85	7.79	5.42	4.20	3.52	3.63	4.29	5.27	6.92	9.11	11.29	11.55	I=82.84
<b>K</b>	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
<b>ETP(mm)</b>	108.61	70.74	37.41	25.58	21.53	23.84	38.33	55.47	88.73	125.12	162.51	155.84	918.71
<b>ETR(mm)</b>	36.59	49.83	37.41	25.58	21.53	23.84	38.33	55.47	88.73	66.71	3.43	8	455.45
<b>RFU(mm)</b>	0	0	51.23	100	100	100	100	100	54.51	0	0	0	/
<b>EXC(mm)</b>	0	0	0	21.70	74.75	45.96	23.62	5.97	0	0	0	0	172
<b>DA(mm)</b>	72.02	20.91	0	0	0	0	0	0	0	58.39	159.08	147.84	458.24

**Tab.18: Bilan hydrique d'après C.W Thornthwaite (Berrahal 1981-2006).**

	<i>Sept</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>	<i>Janv</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Juill</i>	<i>Aout</i>	<i>Total</i>
<b>P (mm)</b>	30.11	58.04	94.51	133.88	111.41	80.75	58.22	60.26	38.85	11.57	3.47	6.30	687.77
<b>T (°C)</b>	22.80	20.11	15.50	13.33	11.28	11.62	13.21	15.27	18.31	21.99	25.18	25.90	171.88
<b>I</b>	9.74	8.07	5.46	4.35	3.39	3.54	4.29	5.34	7.01	9.22	11.30	11.79	1183.5
<b>K</b>	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.33	1.24	/
<b>ETP(mm)</b>	106.66	73.37	37.45	26.49	20.31	22.92	37.96	55.87	89.56	126.4	162.19	159.26	918.48
<b>ETR(mm)</b>	30.11	58.04	37.49	26.49	20.31	22.92	37.96	55.87	89.56	61.26	3.47	6.3	449.78
<b>RFU(mm)</b>	0	0	57.02	100	100	100	100	100	49.29	0	0	0	/
<b>EXC(mm)</b>	0	0	0	64.41	91.10	57.83	20.26	4.39	0	0	0	0	237.99
<b>DA(mm)</b>	76.55	15.33	0	0	0	0	0	0	0	65.14	158.72	152.96	468.70

### 7.1. Interprétation du bilan de Thornthwaite

On constate qu'il y a deux périodes :

-Une période hivernale qui s'étale du mois d'octobre à avril, caractérisée par des précipitations importantes de **574.64** mm aux Salines, **529.99** mm à Pont Bouchet, **523.99** mm à Ain Berda et **597.07** mm à Berrahal, tandis que l'évapotranspiration est réduite avec une valeur de **272.9** mm. la reconstitution du stock se fait à partir du mois d'octobre et l'écoulement se manifeste à partir de décembre et se poursuit jusqu'au mois d'avril. Durant cette période, la quantité coulée est égale à **203.15** mm aux Salines, **173.87** mm à Pont Bouchet, **172** mm à Ain Berda et **237.99** mm à Berrahal.

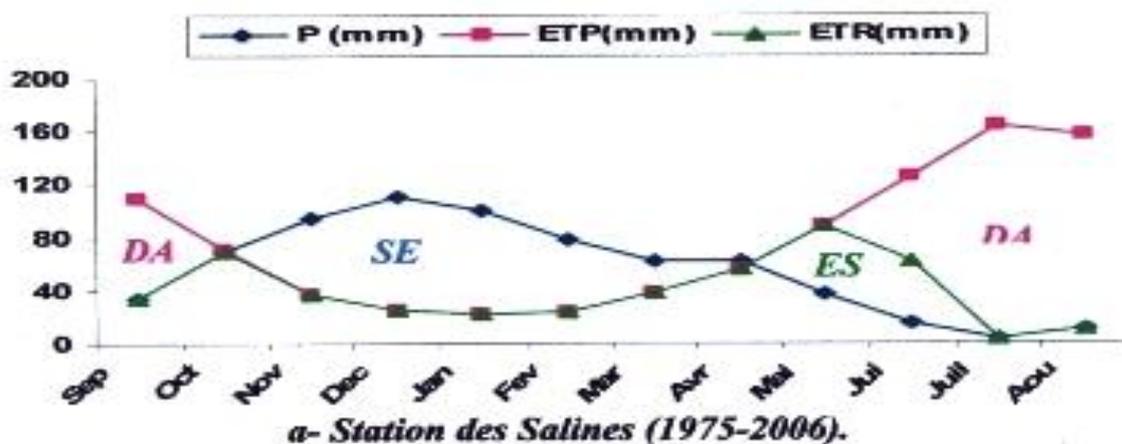
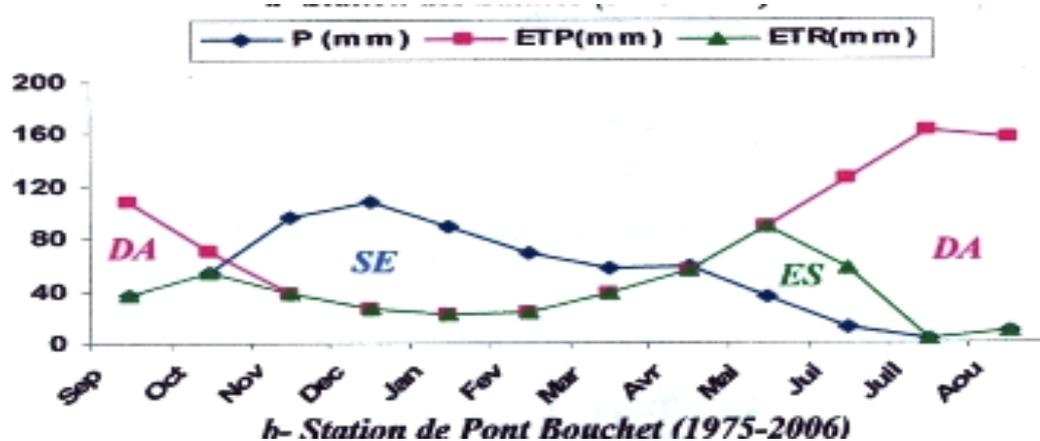
-Une période estivale qui s'étale du mois de Mai à Octobre où l'ETP est nettement supérieure aux précipitations. Le stock commence à épuiser pour vider complètement au mois de Juin accompagné d'un déficit agricole, qui atteint son maximum au mois de Juillet ce qui signifie que l'irrigation doit commencer à partir de ce mois, et devient indispensable en Juillet, Août et septembre.

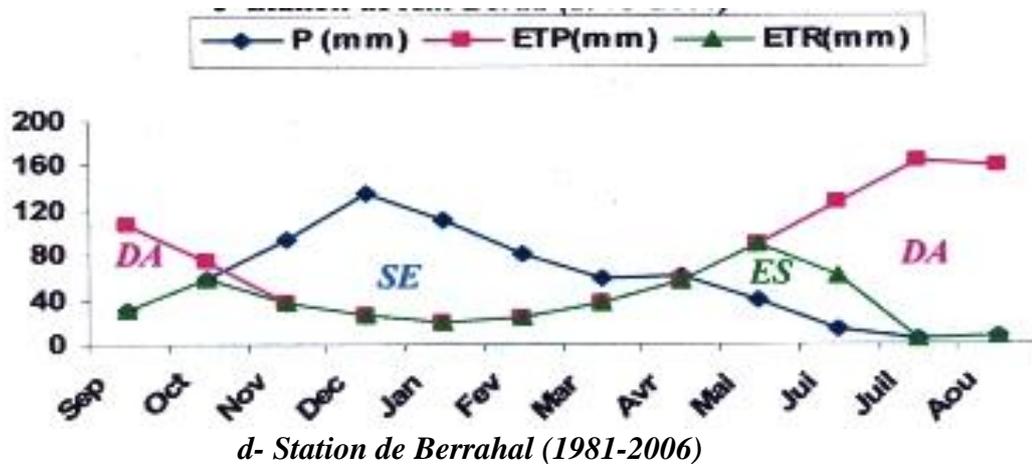
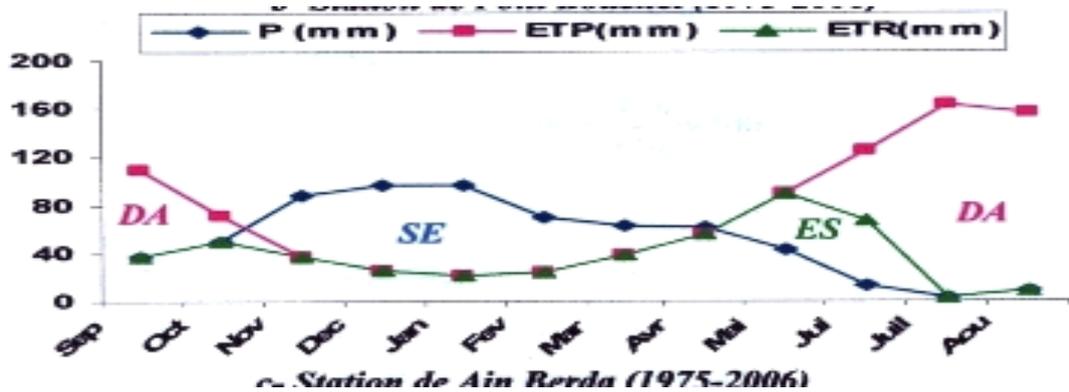
Les résultats représentés par le tableau ci-dessous montrent une différence entre les résultats des différentes méthodes de mesures, mais la méthode de Thornthwaite est la plus approprié pour de tels calculs car elle contient un facteur de correction **K** qui intègre la durée d'insolation.

Reste toujours que les valeurs de l'ETR de la station «Les Salines » sont supérieures à celles des stations de Pont Bouchet, Ain Berda, et Berrahal.

Tab. 19: Valeurs de l'évapotranspiration réelle selon les différentes méthodes.

<i>Station</i> <i>Méthode</i>	ETR (mm/an) Les Salines	ETR (mm/an) Pont Bouchet	ETR (mm/an) Ain Berda	ETR (mm/an) Berrahal
Thornthwaite	470.31	451.45	455.45	449.78
Coutagne	573.40	507.95	509.34	545.86
Ture	583.02	553.85	555.24	593.38





*DA* : déficit agricole, *SE* : surplus d'eau, *ES* : Epuisement du stock  
 Fig.12 : Bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite pour les quatre stations.

### 7.2. Détermination de l'infiltration efficace mensuelle

En vue d'estimer l'infiltration efficace on a fait recours à la méthode des chlorures mise en point par (Scholler, 1962). C'est une méthode basée sur la reconcentration par évapotranspiration des apports en chlorures par les précipitations, et consiste à comparer les concentrations en chlorures dans les eaux de pluie et dans les eaux souterraines.

L'utilisation de cette méthode est conditionnée par l'absence de roches salines pouvant se dissoudre, des chroniques d'eau de pluie suffisantes afin d'avoir une composition moyenne représentative, et une origine des chlorures uniquement due aux précipitations (Hadj Said, 2007).

Pour déterminer l'infiltration efficace, Scholler (1962) a développé un ensemble d'équations dont les principales lient les concentrations en chlorures de l'eau de pluie, des eaux souterraines et les quantités de pluie. Les principales sont les suivantes :

Si le coefficient de ruissellement n'est pas négligeable :

$$\frac{Ie}{P} \times 100 = (1 - r) \frac{Clp}{Cln} \times 100$$

Si le coefficient de ruissellement est faible :

$$\frac{Ie}{P} \times 100 = \frac{Clp}{Cln} \times 100$$

Avec :

**P** : Pluie (mm)

**r** : Coefficient de ruissellement (mm)

**Ie** : Infiltration efficace (mm)

**Clp** : Concentration en chlorure de l'eau de pluie (meq.l<sup>-1</sup>).

**Cln** : Concentration en chlorure de l'eau souterraine (meq.l<sup>-1</sup>).

## 8. Hydrologie

Les cours d'eaux dans la région du lac Fetzara sont caractérisés par un régime très irrégulier, torrentiel en hiver et sec en été, il correspond ainsi au climat méditerranéen.

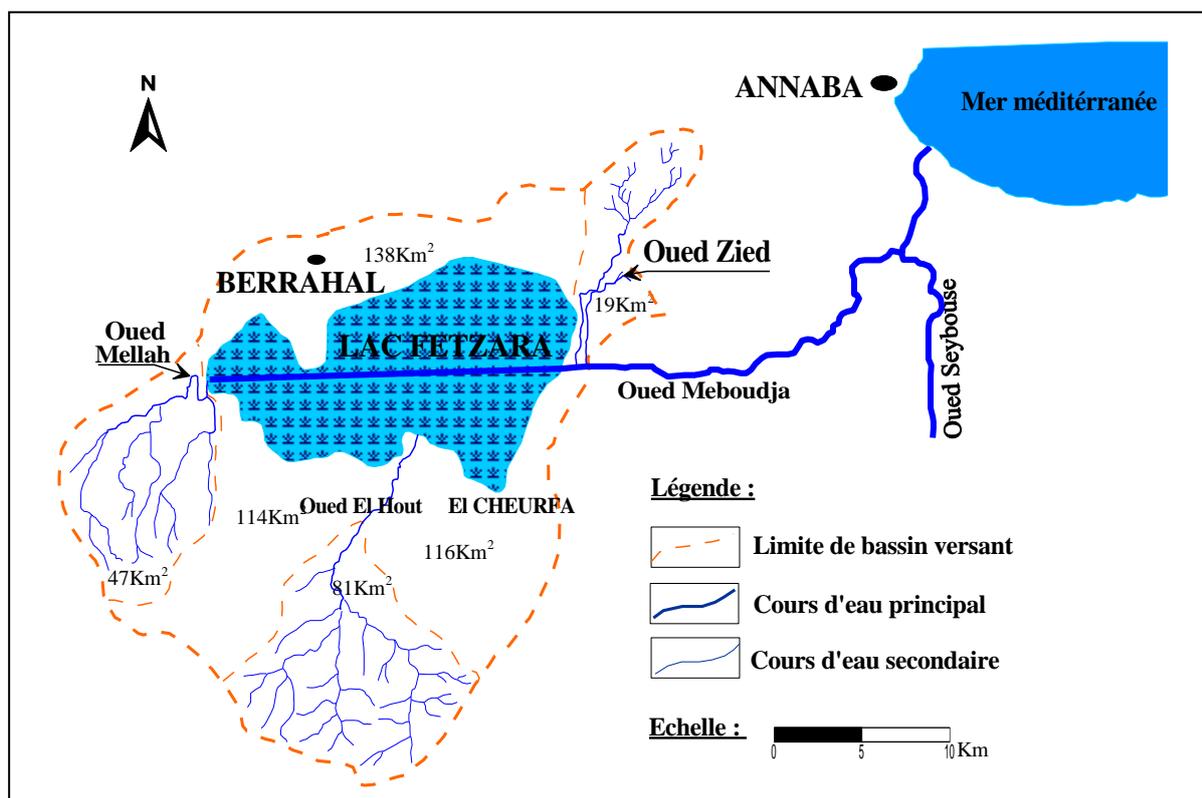
Les réseaux en eaux superficielles sont constitués par une ramification des étendus libres, les lits de ces cours d'eaux sont élargis dans les parties aval c'est-à-dire au contact du lac.

Il existe trois principaux oueds qui alimentent le lac : oued Zièd, oued El Hout, oued El Mellah, ces trois oueds sont canalisés, leurs eaux sont évacuées par l'oued Meboudja qui se déverse au niveau de l'oued Seybouse qui débouche dans la mer Méditerranée.

### 8.1. Réseau hydrologique

#### 8.1.1. Lac Fetzara

La dépression du lac Fetzara a une surface d'environ 23000ha, située à 18 km au Sud Ouest d'Annaba ; elle est insérée entre le massif de l'Edough au Nord, les monts d'Ain Berda au Sud, et les deux cordons dunaires à l'Est et à l'Ouest.



**Fig.13 : Carte des principaux sous bassins versants du lac Fetzara (Zenati, 1999).**

L'ensemble du bassin versant du lac Fetzara provient des oueds :Zièd, El Hout, El Mellah, des ruisseaux des eaux qui s'écoulent directement de la surface des pentes périphériques du lac, des rejets industriels et urbains et enfin des pluies, ce qui permet d'évaluer les apports du lac à un débit de 141 à 145 m<sup>3</sup>/s ( Marre, 1992 ).

La superficie submergée en hiver est de l'ordre de 60 km<sup>2</sup> (A.J.C.I, 1985).Elle se réduit du mois de juin jusqu'au mois de septembre, ceci est dû à une pluviométrie qui est pratiquement nulle et à une évaporation importante au cours de cette période. Les eaux du lac sont toujours drainées par le canal principal vers l'oued Meboudja. Le bassin versant du lac Fetzara est constitué de 30 sous bassins versants petits et moyens avec une superficie totale de l'ordre de 515 km<sup>2</sup>.

Parmi les principaux sous bassins versants, on note ceux des oueds : Zièd, El Hout, El Mellah, dont les superficies sont respectivement de 19 km<sup>2</sup>, 81 km<sup>2</sup> et 47 km<sup>2</sup>, représentant 29% de la superficie totale du bassin versant ; ils font partie du réseau hydrographique endoréique.

### **8.1.1.1. Les entrées du lac Fetzara**

- **Oued Zièd**

Situé au Nord du lac, il prend sa source à Kef Seba (Séraïdi) dont le sommet est à 1008m d'altitude. Il s'écoule du Nord vers le Sud-Ouest, sur une longueur de 10 km et débouche dans le lac Fetzara.

- **Oued El Hout**

Le plus grand cours d'eau, il prend sa source à Dj.Menchoura (versant Nord guelmien, 795m d'altitude) et s'écoule du Sud au Nord sur une longueur de 10 km.

- **Oued El Mellah**

A l'Ouest du lac Fetzara, draine un bassin versant de 47 km<sup>2</sup>, prenant sa source aux alentours de l'oued El Kébir Ouest. Il s'écoule de l'Ouest vers le canal d'assèchement du lac.

Les eaux emmagasinées dans le lac en saison pluvieuse, s'évacuent vers l'Oued Meboudja par l'intermédiaire du canal d'assèchement, passant par le pont-vanne, pour maintenir le niveau du lac à une certaine hauteur.

### **8.1.1.2. Les sorties du lac Fetzara**

- **Oued Meboudja**

C'est le collecteur intermédiaire entre le lac Fetzara et oued Seybouse, il draine une superficie de 203 km<sup>2</sup> et constitue le collecteur des eaux du bassin versant du lac Fetzara d'une superficie de 515 km<sup>2</sup> et du bassin versant d'oued El Ressoul dont la superficie est de 103 km<sup>2</sup>. Il reçoit deux affluents, oued Taieb et oued El Ressoul. Il présente une crue quinquennale de 20 m<sup>3</sup>/s (Bounnouna et al, 1986) ; ceci est dû au mauvais drainage au Sud du complexe sidérurgique d'El Hadjar et à une croissance importante des mauvaises herbes. La Meboudja rejoint oued Seybouse à environ 8 km de l'embouchure.

- **Oued Seybouse**

C'est le deuxième oued d'Algérie, il s'écoule dans une vallée étroite et rectiligne de direction Sud-Nord depuis Bouchegouf jusqu'à Chihani, puis il draine la large plaine d'Annaba (bassin versant de 7045 km<sup>2</sup>).

La confluence d'oued Bouhamdane et oued Cherf donne naissance à l'oued Seybouse dans la région de Guelma. En outre, l'oued Seybouse reçoit l'oued Meboudja et ses affluents, oued Mellah et oued Bou Athou dans la région d'Annaba.

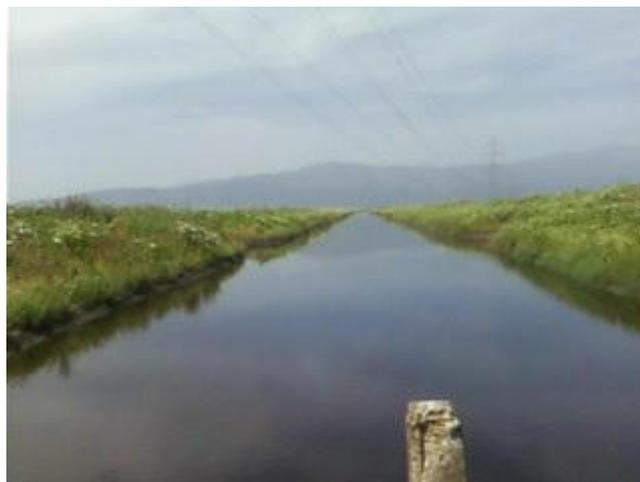
C'est le collecteur principal des eaux de la région, mais la capacité de drainage est limitée du fait de l'étroitesse de la section d'écoulement, de l'envasement du lit causé par les teneurs importantes en limons.

La capacité du drainage naturel est basse, elle est d'environ 60 cm. Lors du débordement de l'oued Seybouse, il se produit un contre courant qui entraîne des dégâts dus à l'inondation en aval de l'oued Meboudja (A.J.C.I ,1985).

**Tab. 20 : caractéristiques des principaux sous bassins versants du lac Fetzara.**

Principaux sous bassins versants	Oued El Hout	Oued El Mellah	Oued Zièd
Situation par rapport au lac	Sud	Ouest	Nord-Est
Longueur	10 km	8 km	10,5 km
Superficie	81 km <sup>2</sup>	47km <sup>2</sup>	19 km <sup>2</sup>
	15,73%	9,13%	3,69%

Les apports d'eau vers le lac sont tributaires des précipitations, les débits atteignent le maximums durant les mois de janvier, février, mars où les précipitations dépassent les 100 mm durant 72 heures (station de Pont Bouchet) avec des débits d'ordre 10,23 m<sup>3</sup>/s, 15,99 m<sup>3</sup>/s, 2,92 m<sup>3</sup>/s respectivement pour oued El Hout, oued Mellah, oued Zièd, par contre l'évolution des débits de oued Meboudja dépend de l'ouverture de la vanne.



**Photo 01: Canal principal (Sud du lac Fetzara). Le 02 /02/2009.**



**Photo 02 : Oued Meboudja (Sud du lac). Le 02/02/2009.**



**Photo 03 : Canal de drainage secondaire (Sud du lac). Le 02/02/2009.**



**Photo 04 : Oued El Hout (Sud du lac Fetzara)  
Le 25 /05 /2009.**



**Photo 05 : Oued Melleh (l'Ouest du lac Fetzara).**

**Le 25/05/2009.**



**Photo 06 : Lac Fetzara (partie Nord). Le : 25/05/2009.**



**Photo 07 : Lac Fetzara inondé (partie Sud). Le : 02/02/2009.**

## **9. Hydrogéologie**

L'étude hydrogéologique reste un moyen important pour la compréhension du fonctionnement des nappes et de leurs régimes. Cette approche permet l'estimation des paramètres hydrodynamiques selon le contexte de l'aquifère et la détermination du sens d'écoulement et les relations existantes : nappe-lac-oued, En se basant sur les travaux déjà effectués, la description géologique des terrains de la région d'étude et des caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation, On peut distinguer un ensemble de nappes se répartissant de manière hétérogène au niveau de la région de Annaba.

### **9.1. Description des différents aquifères**

#### **9.1.1. Les nappes superficielles**

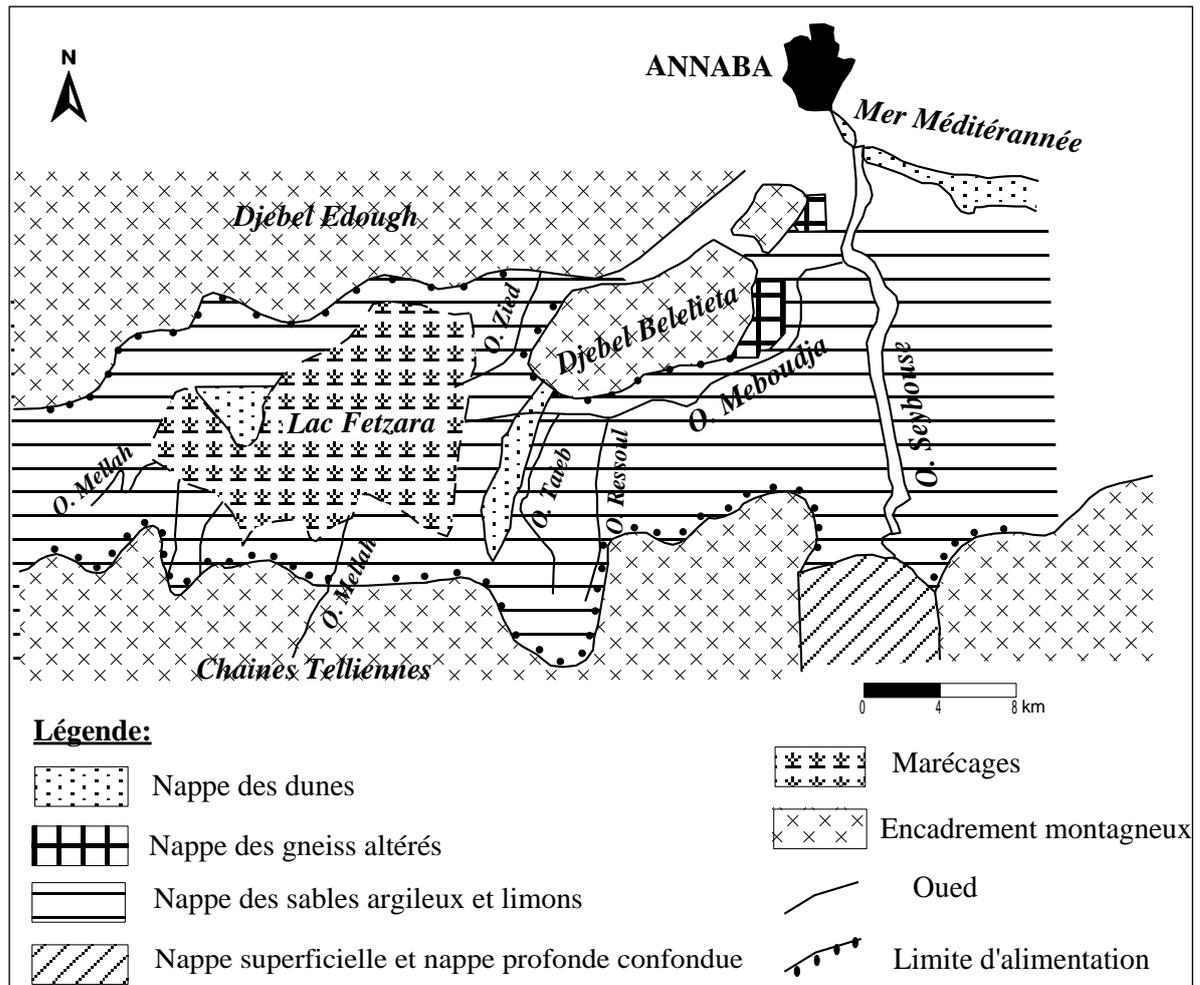
**9.1.1.1. La nappe des gneiss altérés :** Elle se localise dans la région Nord-Est du lac Fetzara, sur le flanc Est des massifs métamorphiques de Bouhamra et de Belelieta. La nappe est alimentée par les eaux de pluie, son épaisseur est de 15m. Elle est exploitée par des puits et des forages. La perméabilité varie entre  $10^{-6}$  et  $10^{-5}$  m/s (Belhamra, 2001).

**9.1.1.2. La nappe superficielle :** Cette nappe est répandue sur la majorité de la plaine d'Annaba. D'après la géomorphologie de la région, on peut diviser la nappe en deux régions qui communiquent entre elles à travers le cordon dunaire (Gantra), dont la texture est différente.

- La région Est présente une nappe superficielle continue, localisée dans la plaine Ouest d'El Hadjar ainsi que dans la région d'Allélick (Habes, 2006).

- La région Ouest est une nappe superficielle discontinue qui entoure le lac Fetzara. La lithologie de la nappe entourant le lac est constituée par des alluvions récentes (sables, limons, argiles) avec une texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse, son épaisseur varie entre 2 et 10m, donc à potentialités hydrauliques très limitées.

La capacité d'infiltration de l'eau dans le sol est moyenne d'ordre de 0,05 à 0,10m/j. La nappe superficielle est fortement exploitée par les puits surtout et quelques forages. L'alimentation de cette nappe se fait par les précipitations et par les crues des oueds (Zenati, 1999).



*Fig. 14: Carte de situation géographique des nappes superficielles de la plaine d'Annab (Habes, 2006)*

### 9.1.2. Les nappes profondes

### **9.1.2.1. La nappe des cipolins (formation métamorphique)**

Elle est contenue dans les lentilles des calcaires métamorphiques fissurés des massifs de Bouhamra et Belleilita, profonde de 12 à 80m. Les débits d'exploitation des forages sont de l'ordre de 15l/s et les transmissivités varient entre  $5 \cdot 10^{-5}$  et  $10^{-3}$  m/s (Derradji et al, 2005).

### **9.1.2.2. La nappe des graviers**

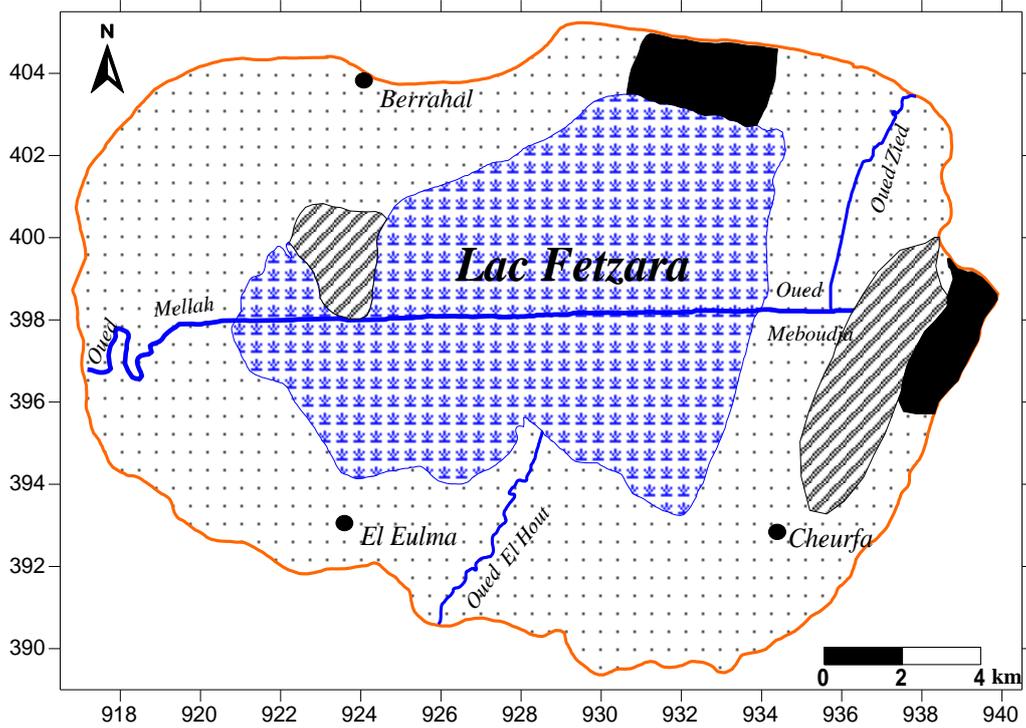
Cette nappe est captive dans la région de Annaba, au-dessous de la nappe superficielle. Elle devient libre dans la région de Dréan. Elle est contenue dans les graviers dans sa partie captive, par contre elle est constituée de sables et de galets du Plio-Quaternaire dans sa partie libre. La transmissivité est de  $3,5 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. L'épaisseur de la nappe ne dépasse pas les 70 m.

## **10. La perméabilité**

Les mesures de la perméabilité verticale selon la méthode de Henin montrent que les valeurs de la perméabilité varient entre  $0,11 \cdot 10^{-5}$  m/s et  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s (Zenati, 1999).

L'examen de la carte de la perméabilité verticale fait apparaître trois types de sols.

- Les sols peu perméables dont la valeur de la perméabilité verticale est de  $0,11 \cdot 10^{-5}$  m/s, ils occupent la partie Nord-Est du lac Fetzara.
- Les sols moyennement perméables avec des valeurs de la perméabilité verticale qui oscillent entre  $0,11 \cdot 10^{-5}$  et  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s, caractérisent la majorité de la plaine.
- Les sols perméables dont la valeur de la perméabilité verticale est supérieure à  $5 \cdot 10^{-5}$  m/s, caractérisent les régions sableuses (Berrahal et Gantra).



**Légende:**

-  Sols peu perméables ( $0.03 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  à  $0.11 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ )
-  Sols moyennement perméables ( $0.11 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  à  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ )
-  Sols perméables (supérieure à  $5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ )

*Fig. 15: Carte de la perméabilité verticale des sols du lac Fetzara (Zahi, 2008).*

## **11. Pédologie**

Le sol qui est le support et le pourvoyeur des plantes en éléments fertilisants et en eau constitue un facteur vital dans tous les écosystèmes. Sa dégradation a un impact direct sur la production agricole.

La salinisation et la sodisation des sols constituent des phénomènes importants dans les zones sèches, Elles provoquent une dégradation des propriétés : biologiques, chimiques et physiques des sols. La conséquence de cette dégradation des propriétés des sols est la diminution de leur fertilité qui entraîne une réduction des rendements des cultures, et parfois la disparition du couvert végétal naturel. Ces phénomènes de dégradation des sols sont donc des facteurs de désertification (Aubert, 1975).

Les études classiques des risques de dégradation des terres sont généralement abordées à travers les processus d'interaction entre la charge saline des eaux et les constituants chimiquement actifs du sol (Cheverry, 1974; Droubi, 1976 et Saboles, 1979).

Selon Demelon (1966), les sols salés peuvent se former sous des influences très diverses; la roche mère naturellement riche en sels, les eaux d'irrigation et l'évaporation.

Notre étude a pour objectif d'évaluer les propriétés des sols du lac Fetzara qui sont très affectés par le phénomène de salinisation et d'étudier leur relation avec la qualité des eaux de la région et leur influence sur la végétation naturelle.

### **11.1. Etudes réalisées**

Les sols du lac Fetzara ont fait l'objet de plusieurs études de mise en valeur agricole, qui ont toutes révélé toutes des contraintes non négligeables quant à leur utilisation telles que la salinisation et l'hydromorphie (Durand, 1950; Ifagraria, 1967; A.J.C.I, 1985; B.N.E.D.E.R, 2004 ; Djamai, 2007 et Zahi, 2008).

**11.2. Différentes classes de sols:** Sur le lac Fetzara, il existe quatre catégories de sols dominants: les sols peu évolués, les vertisols, les sols hydromorphes et les sols halomorphes.

### **11.2.1. Les sols peu évolués (SPE)**

Les sols peu évolués sont d'origine non climatique ; Ils sont formés sur une couche d'apport constituée de sables et d'argiles. L'épaisseur varie selon leur position topographique; leur superficie est de 5199 ha, soit 28% de la superficie totale du lac ; ils se situent essentiellement sur les terres onduleuses des pieds de montagnes et sur les terrasses et se caractérisent par une faible rétention d'eau, une perméabilité très élevée et un taux de matière organique moyen.

### **11.2.2. Les sols vertisols (SV)**

Ces sols s'étendent sur une superficie de l'ordre de 625 ha, soit 3,3% de la superficie totale ; ils sont répartis dans la zone Ouest du lac et sont riches en argile gonflante. Les vertisols ont de mauvaises propriétés physiques (sols lourds) ; Ils possèdent une texture très fine et présentent un mauvais drainage.

### **11.2.3. Les sols hydromorphes (SH)**

Ce sont des sols peu humifères et salins, à texture très fine avec une très faible perméabilité. Ils occupent une superficie de 254 ha, soit 13,7% de la surface totale et sont localisés dans la zone centrale du lac. Ces sols moyennement profonds, se caractérisent par la présence d'une nappe qui explique l'hydromorphie temporaire ou permanente, ils sont fortement calcaires.

### **11.2.4. Les sols halomorphes (SHA)**

Ces sols sont fréquents dans la partie Est et Sud-Est du lac, sur une superficie de 10228 ha, soit 55% de la surface totale. Ce sont des sols salins, caractérisés par la présence des sels solubles, une perméabilité moyenne, une texture lourde et riche en minéraux argileux gonflants.

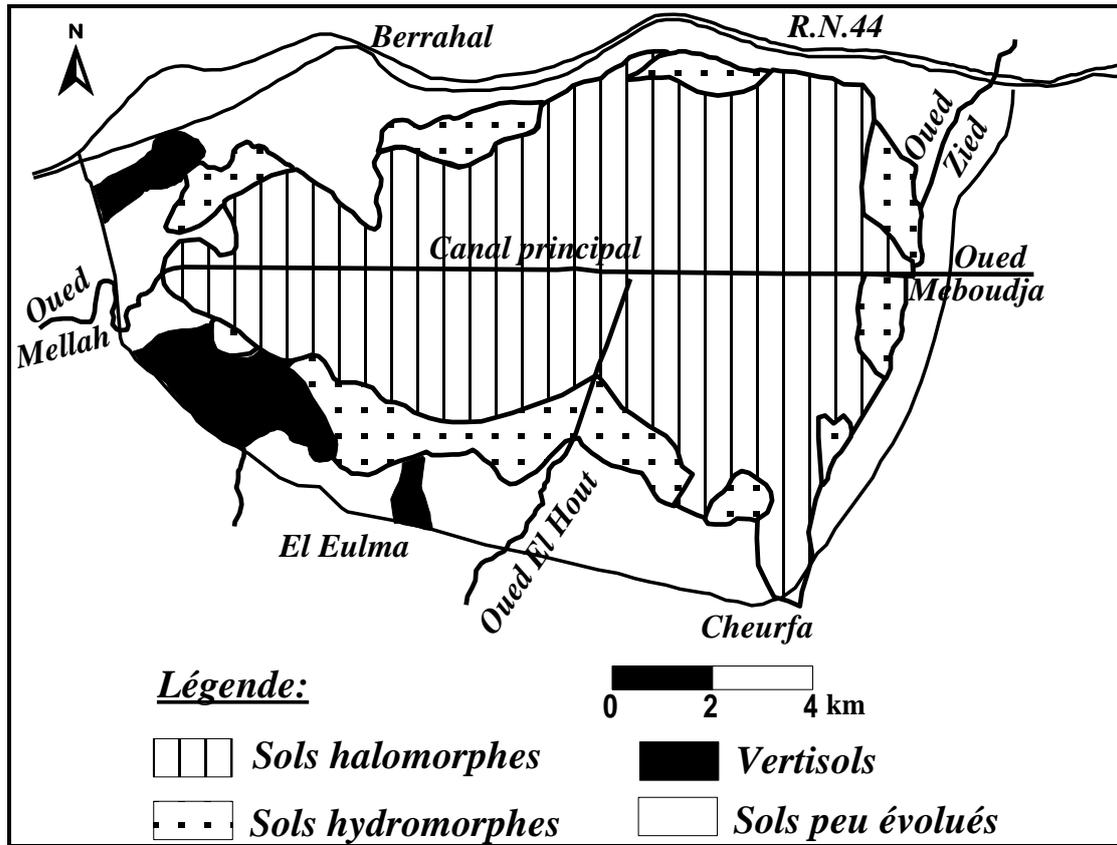


Fig. 16 : Carte de répartition des classes des sols du lac Fetzara (A.J.C.I, 1985).

## **CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES**

### **1. Etude pédologique**

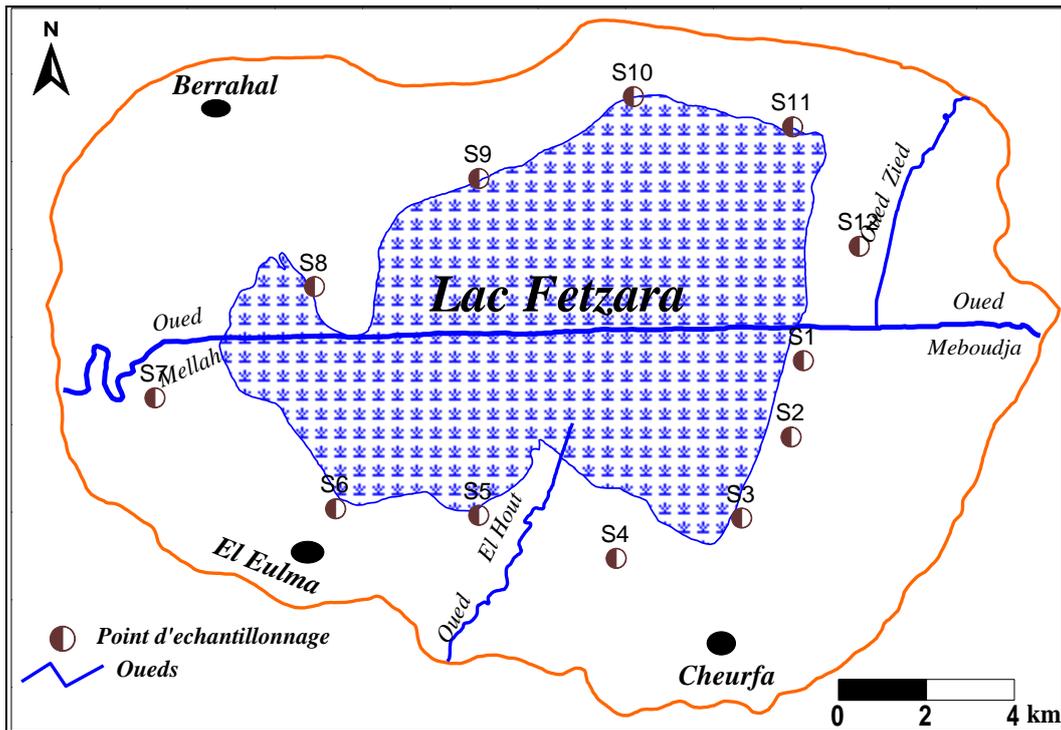
Le sol est un complexe dynamique qui prend naissance et évolue en constituant un profil. Le profil est l'ensemble des horizons qui sont des strates successives de texture, de structure et de couleur différentes (Duchaffour, 1970). La roche mère fournit les éléments minéraux et la végétation fournit la matière organique, les deux conduisent au développement du profil. L'étude pédologique correspond à une étude de terrain et une étude au laboratoire.

#### **1.1. Echantillonnage des sols**

C'est l'étape la plus importante car la qualité des résultats d'analyses obtenus au laboratoire dépendra de la représentativité des échantillons prélevés sur terrain.

Les prélèvements des échantillons de sols ont été effectués sur les deux premières couches superficielles (0-20cm et 20-50cm) car c'est à ce niveau que s'effectuent les échanges ioniques les plus importants.

Les prélèvements ont été effectués au niveau de 12 points aux alentours du lac Fetzara, soit d'un total de 24 échantillons (figure 17).



**Fig.17 : Carte d'inventaire des points d'échantillonnages des sols.**

## 1.2. Préparation des échantillons

Les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2 mm, pour obtenir de la terre fine qui va servir à toutes les analyses physiques, physico-chimiques, chimiques.



**Photo 08 : Le séchage des échantillons à l'air libre.**



**Photo 09 : Broyage des échantillons.**



**Photo 10 : Tamisage des échantillons.**

### **1.3. Méthodes d'analyses au laboratoire**

#### **1.4. Caractéristiques physico-chimiques :**

Sur la fraction fine nous avons effectué les analyses suivantes :

**1.4.1. Le pH :** Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un pH-mètre à l'électrode de verre sur une suspension de terre fine avec un rapport sol/eau.

**pH<sub>eau</sub> :** Le pH<sub>eau</sub> du sol est mesuré dans une suspension sol/eau (1/5), après un repos d'au moins une heure. La lecture se fait sur le pH mètre lorsque l'aiguille est stabilisée.

**H<sub>kcl</sub> :** se fait de la même manière que le pH<sub>eau</sub> mais après une nuit de contact entre le sol et la solution de Kcl une fois normale (kcl 1N).

#### **1.4.2. La conductivité électrique (CE) :**

S'effectue de la même manière que le pH<sub>eau</sub> (1/5), elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre (EC 215) selon un rapport sol/eau : 1/5. Elle est exprimée en (mS/cm à 25°C).

#### **1.4.3. Carbone organique (C) :**

Le carbone organique total dans les sols peut être déterminé par titrage par la méthode de Anne modifiée (Guy, 1978). Une solution de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) est ajoutée

à un échantillon en présence d'acide sulfurique. L'excès du bichromate n'ayant pas réagi avec le carbone est dosé par une solution de sel de Mohr (réductrice). La quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique.

#### **1.4.4. Calcaire total :**

Le dosage du calcaire total s'effectue par la méthode tétrimétrique.

#### **1.4.5. L'humidité hygroscopique (H) :**

Se fait par séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C.

#### **1.4.5. Matière organique (MO) :**

La teneur en matière organique dans le sol est estimée à partir du taux de carbone organique (C) en utilisant la relation empirique suivante:

$$\%MO = \%C * 1,72$$

#### **1.4.6. Densité apparente (Da) :**

C'est le rapport entre le poids d'un volume donné de sol sec et le poids d'un égal volume d'eau, elle est déterminée par la méthode de paraffine.

#### **1.4.7. Densité réelle (Dr) :**

C'est la densité des particules solides du sol ou bien c'est le poids spécifique du sol en place, elle est déterminée par la méthode du pycnomètre.

#### **1.4.8. La porosité (P%) :**

La porosité (P%) d'un échantillon est égale au rapport exprimé en pourcent, du volume des vides au volume total. Elle est calculée au laboratoire par la méthode de la détermination des densités selon la formule suivante:

$$P (\%) = (1 - Da/Dr) * 100$$

#### **1.4.9. La granulométrie :**

L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments du sol ou particules constitutives du sol par catégories de diamètre et déterminer le pourcentage de chaque fraction. Les éléments de la terre fine sont classés selon l'échelle internationale d'Atterberg 1926 :

**Sables grossiers** —————→ **200 à 2000 microns.**

**Sables fins** —————→ **50 à 200 microns.**

**Limons grossiers** —————→ **20 à 50 microns.**

**Limons fins** —————→ **2 à 20 microns.**

**Argiles** —————→ **0 à 2 microns.**

**Principe :** Sur un échantillon de terre fine, on assure la dispersion totale des particules élémentaires en détruisant la matière organique qui joue le rôle de ciment avec l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ), la dispersion est complétée en agitant l'échantillon dans une solution alcaline d' $NaOH$ , puis la solution est abandonnée au repos pour permettre la sédimentation des particules qui tombent à des vitesses constantes d'autant plus grandes qu'elles sont plus grosses (Loi de Stokes).

#### **1.5. Bilan de la salinité**

Il a été effectué par la méthode de la pâte saturée qui consiste à ajouter à l'échantillon de l'eau distillée tout en remuant jusqu'à l'obtention d'une pâte luisante qui glisse lentement lorsqu'on incline le mortier dans lequel elle a été préparée. L'extraction de la solution est obtenue par centrifugation. Les sels solubles déterminés dans cette solution sont:

##### ✓ **Dosage des cations**

- Le Calcium (Ca) et le Magnésium (Mg) dosés par complexométrie à l'EDTA.
- Le Sodium (Na) et le Potassium (K) par spectrométrie d'émission à flamme.

## ✓ Dosage des anions

- Les Chlorures (Cl) dosés par titrimétrie au l'AgNO<sub>3</sub>.
- Les Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) dosés par gravimétrie au BaCl<sub>2</sub>.
- Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) et les carbonates (CO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dosés par titrimétrie à l' (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- pH
- C E

## 2. Etude hydrochimique

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).

Dans la région du lac Fetzara, la chimie des eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, l'évaporation des eaux du lac Fetzara, les rejets industriels et l'activité agricole (Zahi, 2008).

Cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux, l'étude a été réalisée en deux grandes étapes : une étude sur terrain et une autre au laboratoire.

### 2.1. Etude sur terrain

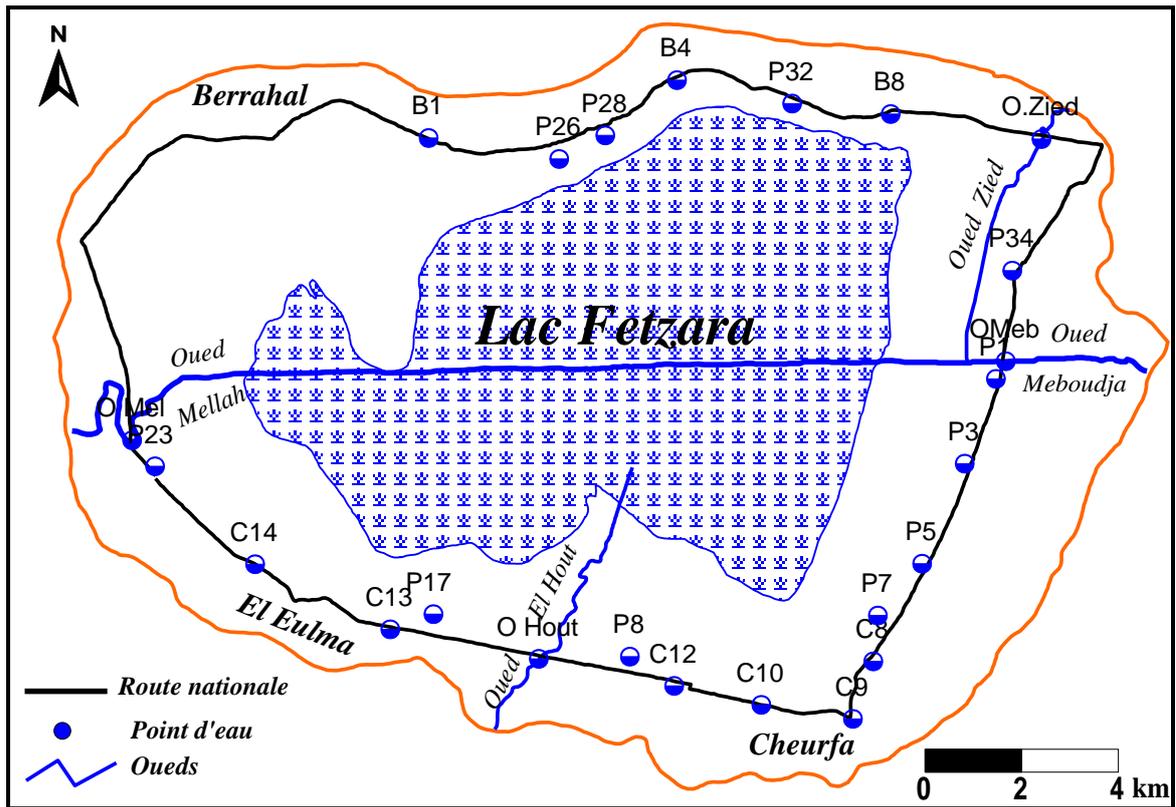
L'échantillonnage a été fait au début de la saison humide en deux campagnes :

- La première : 20/01/2009.
- La deuxième : 02/02/2009.

Les prélèvements ont été effectués au niveau de 24 points sur le pourtour du lac Fetzara (figure 18) :

**Les eaux de surface :** canal principal, canaux de drainage, oued El Hout, oued Zièd, oued El Mellah, oued Meboudja.

**Les eaux souterraines :** les eaux des puits.



*Fig.18 : Carte d'inventaire des points d'échantillonnages des eaux.*



**Photo 11: Quelques puits de la partie Sud du lac, le 02/02/2009.**

### **2.1.1. Prélèvement des échantillons d'eau**

Le prélèvement des échantillons d'eau a été effectué à l'aide d'unseau accroché à une corde et plongé dans l'eau à une profondeur d'environ 50 cm. Les volumes d'eau prélevés sont ensuite transvasés dans des bouteilles en plastique de 500 ml préalablement lavées puis rincées à l'eau de l'échantillon.

### **2.1.2. Mesure de certains paramètres sur terrain**

Un certain nombre de paramètres sont mesurés sur le terrain, ces paramètres risquent d'évoluer après leur transport pour que les mesures soient effectuées éventuellement au laboratoire et par conséquent le résultat sera erroné. Il faut donc les mesurer in situ immédiatement au moment du prélèvement, ces paramètres sont les suivants :

- ❖ **Température** : mesurée en °C à l'aide d'une sonde combinée au pH mètre de terrain.
- ❖ **pH** : mesuré à l'aide d'une électrode spécifique reliée à un pH mètre de terrain.
- ❖ **Conductivité électrique (CE)** : mesurée en mS/cm à 25 °C à l'aide d'une électrode spécifique reliée à un conductimètre de terrain.
- ❖ **Potentiel d'oxydoréduction (Eh)** : mesuré en mV à l'aide d'une électrode spécifique en platine reliée à un voltmètre.

## **2.2. Etude au laboratoire**

Les échantillons d'eau ramenés au laboratoire sont filtrés avant d'être analysés. La filtration a été faite en utilisant un papier filtre circulaire. Elle a été réalisée directement après le prélèvement et le transport au laboratoire, et ceci afin d'empêcher d'une part l'action des micro-organismes sur la solution et d'autre part pour retirer les éléments solides en suspension pouvant interagir ultérieurement avec les sels solubles de la solution.

### **2.2.1. Paramètres à déterminer**

Les analyses effectuées au laboratoire sur les échantillons d'eau prélevés ont fait l'objet de la détermination d'un certain nombre de paramètres chimiques qui sont :

✓ **Dosage des anions**

- Chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) : par titrimétrie à l' $\text{AgNO}_3$ .
- Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) : par gravimétrie au  $\text{BaCl}_2$ .
- Carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) : par titrimétrie à  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

✓ **Dosage des cations**

- Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) : par complexométrie à l'EDTA.
- Sodium ( $\text{Na}^+$ ) et Potassium ( $\text{K}^+$ ) : par spectrophotomètre à flamme.

## CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

L'évaluation des propriétés physico-chimiques des sols de la région du lac Fetzara a montré l'existence d'une très grande variabilité (tableau 21).

**Tab. 21 : Caractéristiques physico-chimiques des sols.**

N°Ech	profondeur (cm)	pH <sub>eau</sub>	pH <sub>kcl</sub>	C.E (mS/cm)	H%	C%	M.O%	CaCO <sub>3</sub> %
<b>1</b>	0-20cm	7.56	7.01	1.16	6.33	1.93	3.31	23.80
	20-50cm	7.71	7.16	1.76	5.20	1.44	2.47	24.60
<b>2</b>	0-20cm	7.63	7.08	1.39	6.26	1.36	2.34	24.13
	20-50cm	7.62	7.16	2.84	5.73	1.02	1.75	24.60
<b>3</b>	0-20cm	7.29	6.96	2.59	6.00	1.39	2.38	20.98
	20-50cm	7.29	7.01	3.71	6.30	0.39	0.67	18.85
<b>4</b>	0-20cm	7.40	6.63	0.35	1.46	0.24	0.40	16.88
	20-50 cm	7.79	7.33	1.28	0.86	0.97	1.66	16.78
<b>5</b>	0-20cm	7.59	6.95	0.94	3.85	1.11	1.90	18.74
	20-50cm	7.64	6.97	1.69	1.75	0.90	1.55	21.19
<b>6</b>	0-20cm	7.12	6.71	3.66	6.66	0.65	1.11	20.25
	20-50cm	7.25	6.74	3.33	4.61	0.62	1.07	18.88
<b>7</b>	0-20cm	7.67	6.16	0.05	2.90	0.71	1.79	17.35
	20-50cm	8.09	6.69	0.10	2.20	0.81	1.39	18.88
<b>8</b>	0-20cm	6.42	5.97	0.71	0.46	1.14	1.95	16.30
	20-50cm	7.01	6.31	1.17	1.66	1.00	1.71	14.88
<b>9</b>	0-20cm	7.03	6.72	3.25	6.53	1.85	3.19	21.10
	20-50cm	7.11	6.66	3.20	5.53	1.57	2.69	21.63
<b>10</b>	0-20cm	6.91	6.43	4.15	6.26	1.65	2.83	15.63
	20-50cm	7.12	6.49	4.05	6.93	1.51	2.59	19.38
<b>11</b>	0-20cm	7.16	6.62	2.22	4.20	2.02	3.47	17.00
	20-50cm	7.22	6.46	2.62	4.86	0.81	1.40	16.08
<b>12</b>	0-20cm	7.46	6.78	1.18	4.60	1.53	2.63	24.80
	20-50cm	7.40	6.89	1.86	5.06	0.85	1.46	24.80

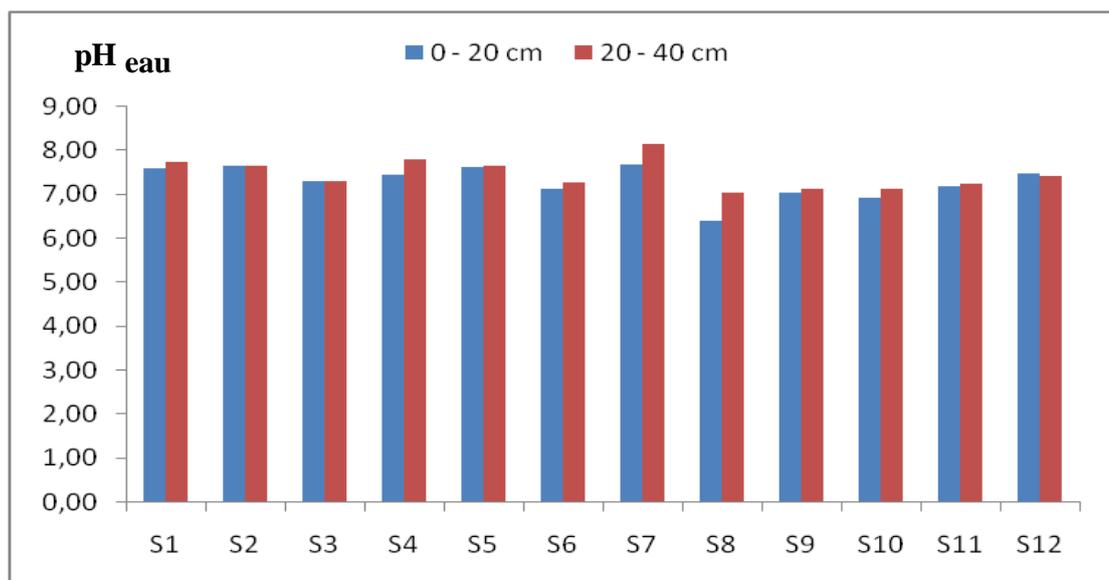
## 1. Les caractéristiques physico-chimiques des sols

L'acidité ou l'alcalinité d'une terre se mesure par un indice appelé pH (potentiel hydrogène). Il exprime la teneur en ions  $H^+$  libres dans une solution du sol, dans l'eau pure ou additionnée de chlorure de potassium (KCl 1 N).

**1.1.  $pH_{eau}$**  : indique la concentration en ions  $H^+$  présents dans l'eau (Permo, 1981). La lecture du tableau montre que les valeurs varient entre 6.42 et 7.67 pour la couche (0-20 cm) avec une moyenne de 7.27, par contre, elles oscillent entre 7.01 et 8.09 avec une moyenne de 7.43 pour la couche inférieure (20-50 cm).

Il est sous le contrôle de plusieurs facteurs qui sont surtout ; la position topographique, la nature de la roche mère et la nature du couvert végétal.

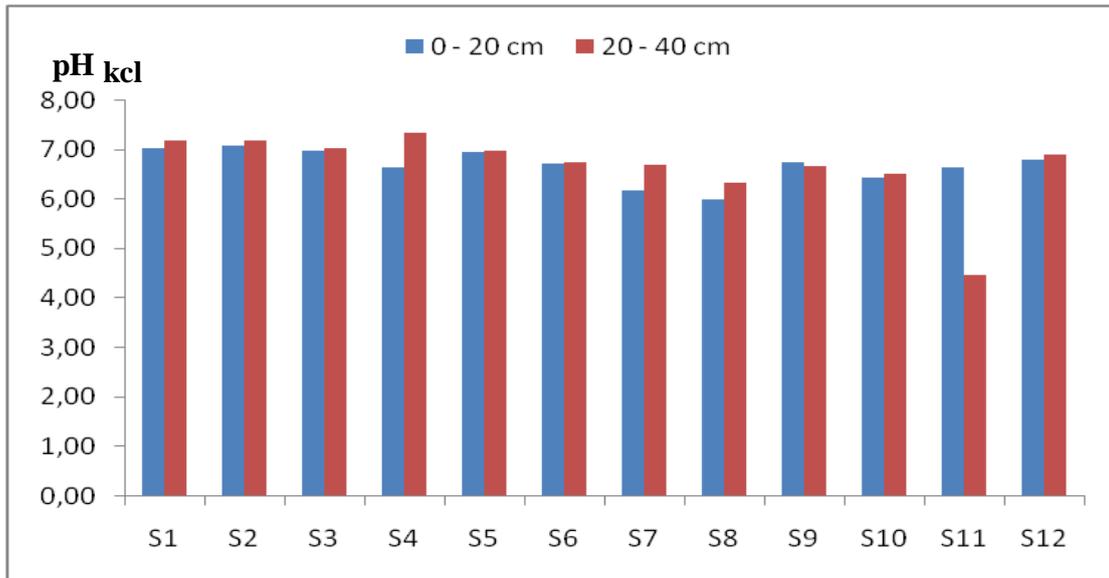
- ✚ Les sols ayant un pH compris entre : 6,5-7,5 : dans cette catégorie on trouve la majorité de nos échantillons (80% du total) ; ils couvrent la plus grande surface et ils se développent sous différents couverts végétaux. Ces sols sont localisés au Nord du lac Fetzara.
- ✚ Les sols basiques avec un  $pH > 7,5$  : ils se développent sous différents couverts végétaux. Ils sont des sols agricoles, on les trouve surtout au Sud du lac. La différence du  $pH_{eau}$  entre les deux couches est inférieure à 1.



**Fig. 19 : Variation du  $pH_{eau}$  au niveau des deux couches.**

$\text{pH}_{\text{kcl}}$  : exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expérience du degré de saturation du complexe absorbant.

Le  $\text{pH}_{\text{kcl}}$  est en effet toujours inférieur au  $\text{pH}_{\text{eau}}$ , les valeurs maximales du  $\text{pH}_{\text{kcl}}$  sont d'ordre de 7.08 et 7.33, par contre les valeurs minimales sont d'ordre de 5.97 et 6.31, successivement pour les couches : 0-20 cm et 20-50 cm, avec une moyenne d'ordre de 6.81 et 6.82 (figure 20).



**Fig. 20 : Variation du  $\text{pH}_{\text{kcl}}$  au niveau des deux couches.**

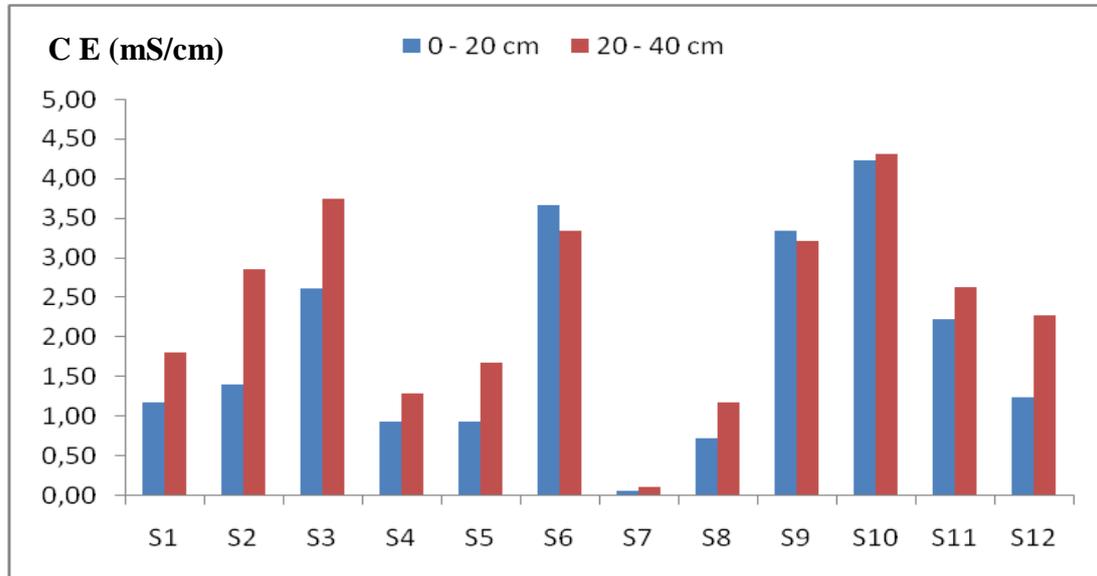
Cette situation nous permet de dire que le complexe absorbant est suffisamment saturé, et qu'il existe un certain équilibre entre l'acidité actuelle et l'acidité potentielle. La différence entre  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et  $\text{pH}_{\text{kcl}}$  ne dépasse guère l'unité, cela est liée à la présence d'une quantité de calcaire qui augmente le taux de saturation.

On constate que les valeurs du  $\text{pH}_{\text{eau}}$  ne sont pas très élevées et la différence entre  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et  $\text{pH}_{\text{kcl}}$  n'est pas importante. Même la différence dans les deux couches n'est pas également forte. Donc on est en présence des sols saturés qui présentent une certaine stabilité et résistent assez bien à toutes modifications brutales des réactions du sol.

## **1.2. La conductivité électrique C.E :**

Cette mesure physico-chimique nous donne une idée sur le degré de la salinité des sols. La conductivité électrique des sols étudiés de la région du lac Fetzara varie entre : 0.05 et

4.15 mS/cm avec une moyenne de 1.80 mS/cm pour la couche 0-20 cm, et 0.10 et 4.05 ms/cm avec une moyenne de 2.05 mS/cm pour la couche 20-50 cm, ce qui indique une variation très importante entre les deux couches avec une concentration en sels solubles plus forte en profondeur (figure 21).



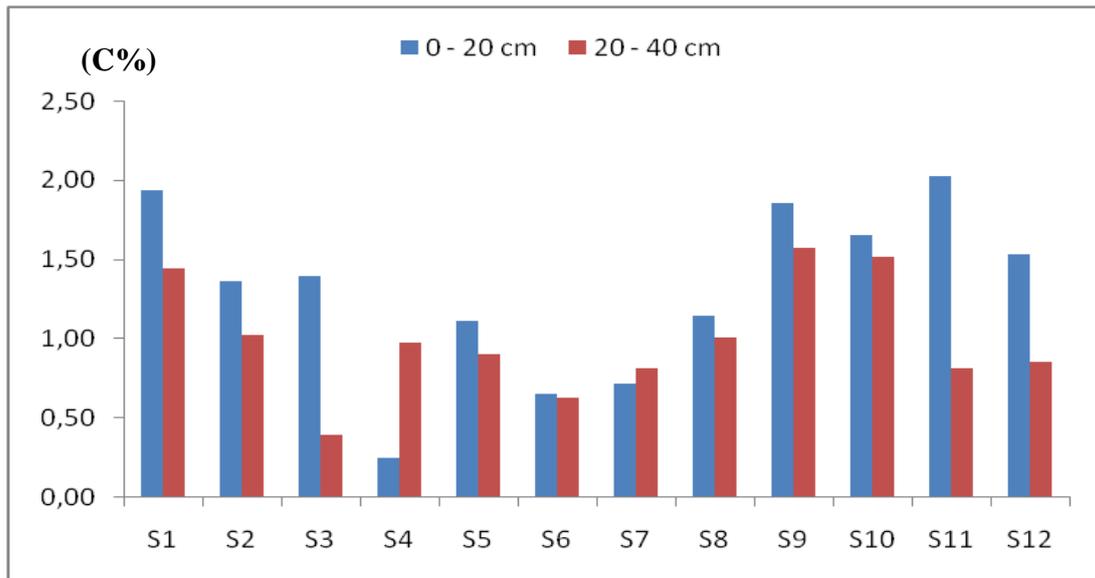
**Fig.21 : Variation de la conductivité électrique (C.E) des sols étudiés.**

Les salinités les plus importantes sont enregistrées au niveau des échantillons S<sub>3</sub> et S<sub>6</sub> qui se situent dans la partie Sud du lac et au niveau des échantillons S<sub>9</sub> et S<sub>10</sub> au Nord du lac Fetzara. On constate que la C.E est très élevée surtout au Nord et au Sud, elle augmente avec la profondeur ce qui explique les valeurs les plus élevées de la couche inférieure par rapport à la couche supérieure à cause de la concentration très élevée des sels solubles au niveau de cette couche qui est plus humide et moins imperméable que la couche supérieure.

### 1.3. Le carbone organique (C%)

La matière organique du sol peut être estimée à partir de l'évaluation du carbone organique. Les résultats d'analyse montrent que les teneurs en carbone varient entre 0.24 et 2.02% avec une moyenne de 1.29% pour la couche (0-20 cm), et entre 0.39 et 1.57% avec une moyenne de 0.99% pour la couche (20-50cm).

On constate que la majorité de nos sols ont une teneur en carbone inférieur à 2% ce sont donc des sols pauvres en carbone, l'évolution de la matière organique confirme ce résultat (fig. 22).

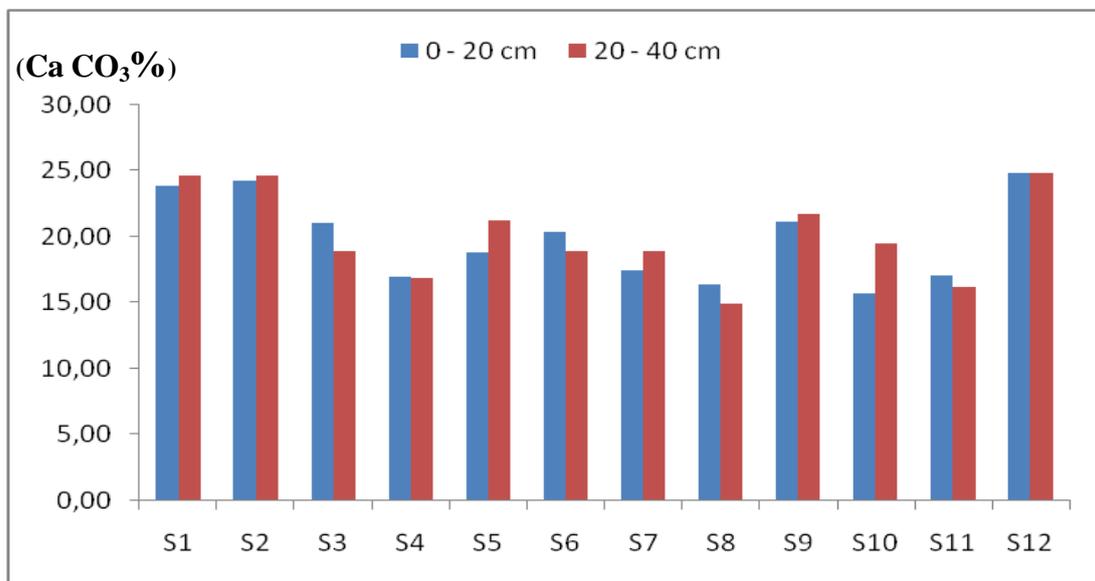


**Fig.22 : Evolution du carbone organique dans les sols.**

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des sites : S<sub>1</sub>, S<sub>9</sub>, S<sub>11</sub> qui sont localisés au Sud-Est et Nord-Est du lac Fetzara.

#### 1.4. Calcaire total (CaCO<sub>3</sub>%)

La teneur en calcaire est liée soit à la nature du substrat ou aux différents apports artificiels ou naturels. Les résultats d'analyse montrent que les teneurs en calcaire varient entre 15.63 et 24.8% avec une moyenne de 19.74% pour la couche (0-20 cm) et entre 14.88 et 24.8% avec une moyenne de 20.04% pour la couche (20-50 cm) (figure 23).



**Fig. 23 : Vaaition de la teneur en calcaire total dans les sols étudiés.**

Le dosage du calcaire total dans les sols étudiés montre que les valeurs sont relativement fortes , cette présence du calcaire a joué un grand role dans les équilibres ioniques notamment au niveau des valeurs du pH .

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au Sud-Est et Nord-Est du lac. On peut dire que le gradient de calcaire total intègre à la fois des facteurs climatiques (pluviosité, température,...etc) et des facteurs édaphiques (nature du substrat).

## 2. Les caractéristiques physiques des sols

### 2.1. L'humidité hygroscopique H% :

Représente la quantité d'eau que peut retenir un sol soumis aux conditions d'assèchement naturelles. C'est la quantité d'eau retenue à la surface externe des particules du sol et en équilibre avec la pression et l'humidité atmosphérique. L'évaluation de l'humidité hygroscopique passe par un séchage à l'air libre puis un séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C. Les résultats obtenus des sols étudiés varient entre 0.46 et 6.66 % avec une moyenne de 4.62% pour la couche de 0-20 cm, et entre 0.86 et 6.93% avec une moyenne de 4.22% pour la couche de 20-50 cm (figure 24).

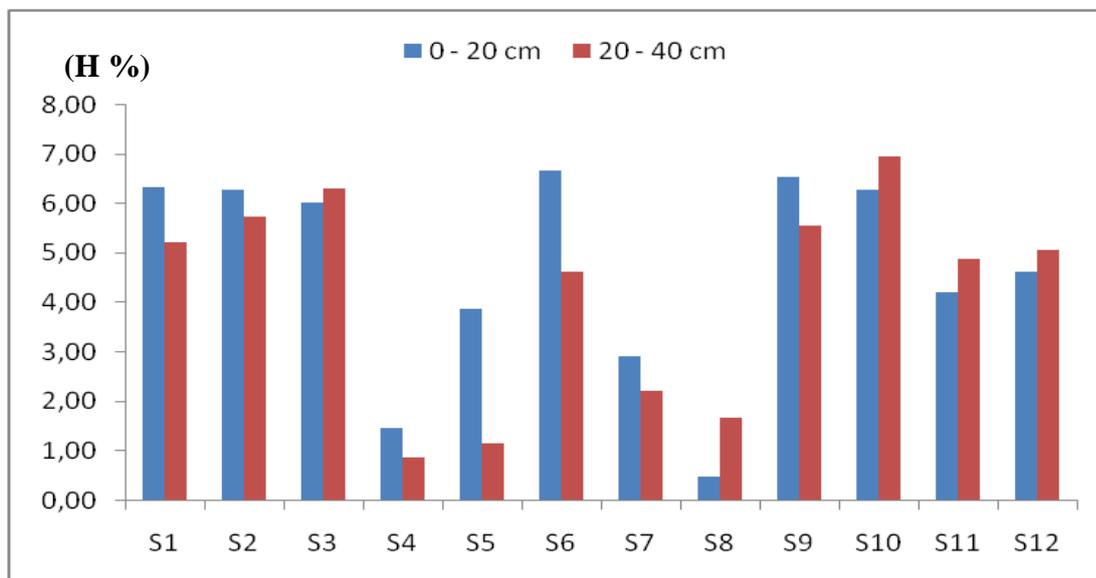


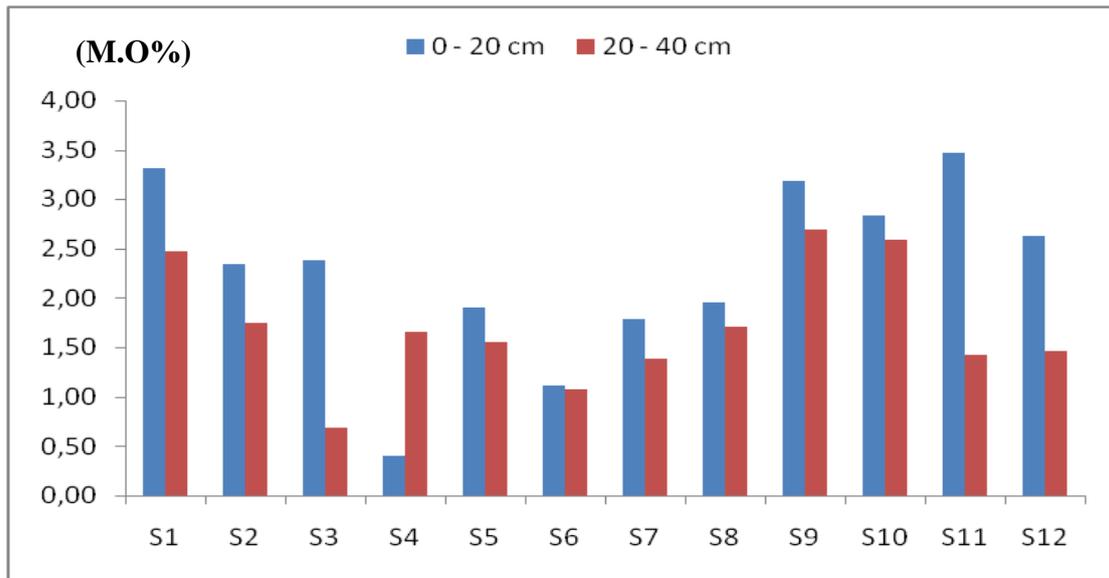
Fig. 24 : Variation de l'humidité des échantillons des sols étudiés.

L'humidité hygroscopique de nos sols est moyenne, ceci est lié aux caractéristiques physiques du sol. Les échantillons qui possèdent les valeurs les plus élevées sont localisés au Sud-Est et au Nod-Est du lac, ces valeurs sont relatives à la texture du sol, car les sols à texture argilo-limoneuse (texture fine) retiennent plus d'eau que les sols sableux à texture particulaire.

### 2.2. La matière organique (MO%) :

La matière organique du sol est résultante de la décomposition des débris animaux et végétaux se présentant à tous les stades d'évolution jusqu'à l'obtention de l'humus qui est généralement associé aux minéraux argileux pour former le complexe argilo-humique qui joue un rôle essentiel dans la structure du sol (Morel, 1996).

La teneur en matière organique dans les sols étudiés varie entre 0.4 et 3.47% avec une moyenne de 2.27% pour la couche de 0-20 cm, et entre 0.67 et 2.69% avec une moyenne de 1.70% pour la couche de 20-50 cm (figure 25). Les quantités sont faibles pour les deux couches, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au Nord du lac.



**Fig. 25 : Evolution de la matière organique dans les sols.**

Les résultats montrent que nos sols étudiés de la région du lac Fetzara ont une faible teneur en matière organique (MO%) à cause du faible apport de la litière de la végétation et la faible activité biologique. Les quantités sont faibles pour les deux couches, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au Nord du lac.

L'influence de la matière organique sur les propriétés physiques des sols (rétention en eau, stabilité structurale) devient maximum dans les milieux forestiers et les milieux moins dégradés et les plus favorisés par la pluviosité (milieux arides). A cette influence sur les propriétés physiques et donc sur l'alimentation en eau des plantes, s'ajoutent de meilleures conditions de nutrition (azote, éléments fertilisants). Avec la dégradation des conditions climatiques et le couvert végétal, le rôle de la matière organique diminue très rapidement aux dépens de la texture.

### **2.3. La porosité**

La porosité constitue un paramètre édaphique, c'est une notion synthétique très importante qui combine les critères propres à la texture et à la structure du sol considérée, la porosité dépend la circulation de l'eau et des gaz dans le sol dont le rôle est essentiel aussi bien pour favoriser la vie des racines et l'activité biologique en générale (Duchaufour, 1970 et Ramede, 1984).

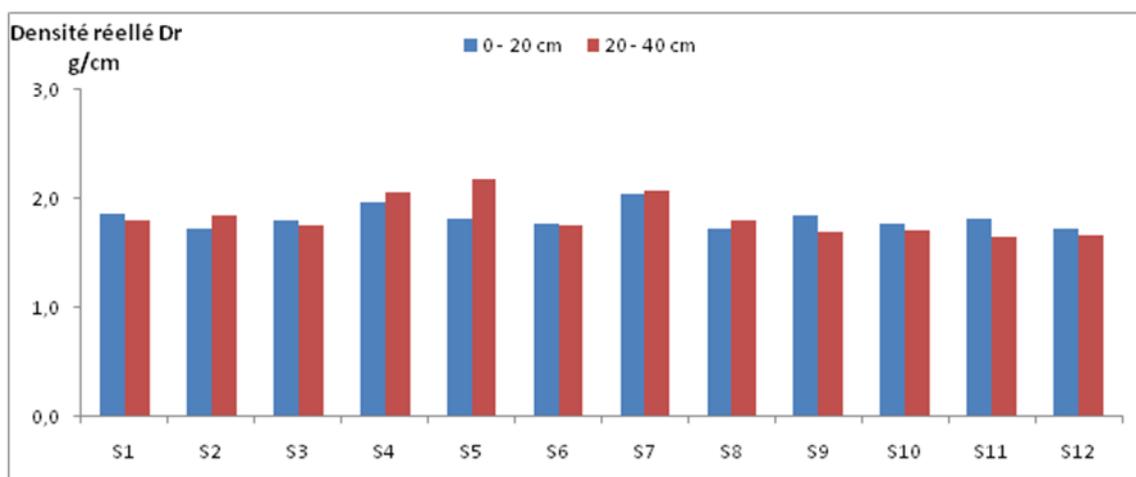
La détermination de la porosité totale de petits agrégats de terre secs conduit à l'évaluation de la porosité texturale ou l'estimation de la porosité minimale d'assemblage. La partie de l'espace poral qui est à l'origine de la diminution de la porosité totale des blocs de terre est due aux fissures et aux canalicules est appelée la porosité structurale.

**Tab. 22: Variation de la porosité des échantillons des sols étudiés.**

N° Ech	Profondeur (cm)	Dr (g/cm <sup>3</sup> )	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Porosité (P%)
1	0-20 cm	1.86	1.29	31%
	20-50 cm	1.80	1.61	11%
2	0-20 cm	1.73	1.58	09%
	20-50 cm	1.85	1.60	14%
3	0-20 cm	1.80	1.63	10%
	20-50 cm	1.76	1.47	17%
4	0-20 cm	1.97	1.92	03%
	20-50 cm	2.06	1.61	22%
5	0-20 cm	1.82	1.58	14%
	20-50 cm	1.18	1.93	12%
6	0-20 cm	1.78	1.68	06%
	20-50 cm	1.75	1.53	13%
7	0-20 cm	2.05	1.79	13%
	20-50 cm	2.08	1.93	08%
8	0-20 cm	1.72	//	//
	20-50 cm	1.80	1.7	06%
9	0-20 cm	1.85	1.6	14%
	20-50 cm	1.69	1.27	25%
10	0-20 cm	1.77	1.53	14%
	20-50 cm	1.71	1.42	17%
11	0-20 cm	1.82	1.49	19%
	20-50 cm	1.65	1.61	03%
12	0-20 cm	1.72	1.50	13%
	20-50 cm	1.66	1.56	07%

**2.3.1. La densité réelle (Dr) :** Elle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, la densité réelle représente la masse du solide / le volume du solide.

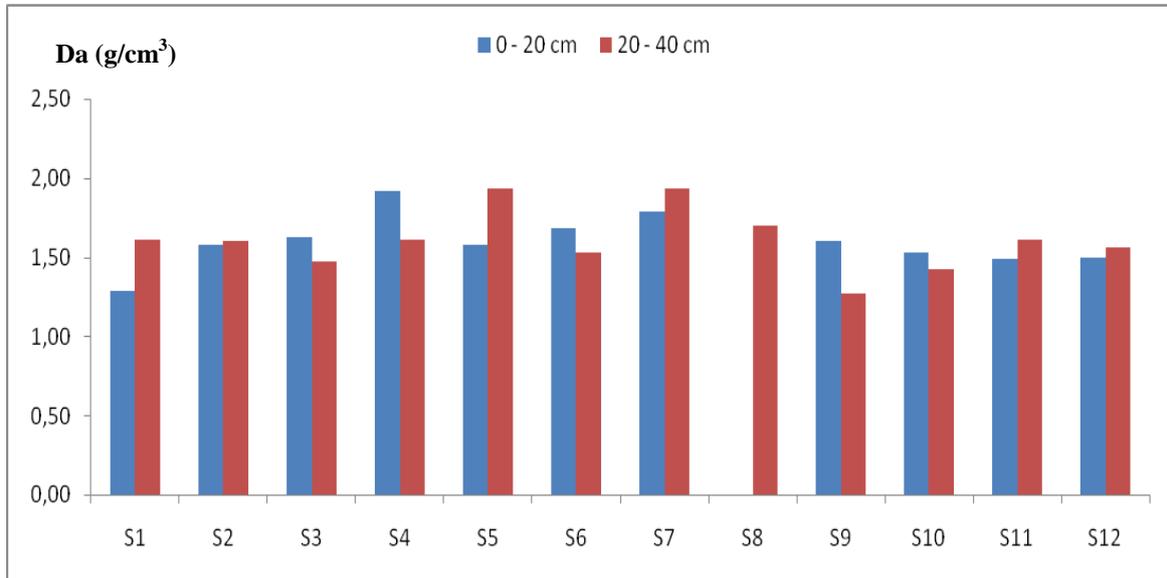
Les résultats montrent que la majorité des sols étudiés ont une densité réelle  $Dr < 2 \text{ g/cm}^3$ , ces sols contiennent beaucoup de MO (figure 26).



**Fig. 26 : Variation de la densité réelle dans les sols étudiés.**

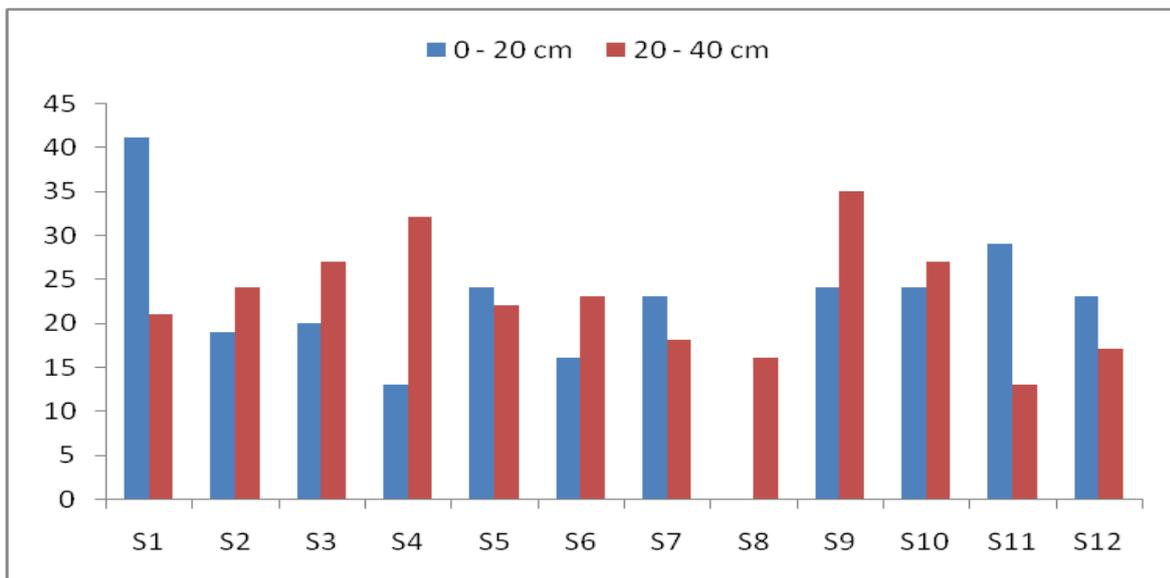
**2.3.2. La densité apparente (Da) :** Sachant que la densité apparente des sols varie entre  $1.00 \text{ g/cm}^3$  et  $1.80 \text{ g/cm}^3$  (Kaouritchev, 1980).

Elle représente la masse totale de l'agrégat / volume totale de l'agrégat ; la densité apparente indique l'état ou la condition du sol, elle diminue avec la teneur du sol en humus (Duthil, 1970).



**Fig. 27 : Variation de la densité apparente dans les sols étudiés.**

La majorité de nos sols étudiés ont une densité apparente comprise entre  $1-1.80 \text{ g/cm}^3$  (20 échantillons), alors que seuls 3 échantillons ont une  $Da > 1.80 \text{ g/cm}^3$  (figure 27).



**Fig. 28 : Variation de la porosité des sols étudiés.**

D'après les résultats (figure 28) la porosité totale des sols varie entre 03% et 31% avec une moyenne de 13.27% pour la couche supérieure (0-20 cm), par contre, elle varie entre 03% et 25% avec une moyenne de 12.91% pour la couche inférieure (20-50 cm).

La porosité doit être en relation avec la texture :

- Texture Sableuse : porosité forte >30%
- Texture Sablo-limoneuse : porosité assez forte 20-30%
- Texture Limono-argileuse : porosité assez faible 10-20%
- Texture Argileuse : porosité faible <10%

La majorité de nos sols ont une porosité assez faible entre 10-20% (13 échantillons) se sont donc de texture limono-argileuse. Ces sols sont au Nord et au Sud du lac Fetzara.

En générale, la porosité est moyenne en surface (31%, 25%, 19%, 17%) qui peut être liée à une agrégation entre les sables et les argiles ou sous l'effet de l'activité biologique. Elle est faible dans la couche inférieure (12%, 8%, 6%, 3%), elle peut être liée au colmatage des pores par les sables et les limons fins.

Cette faible porosité est en relation directe avec la texture qui est le facteur essentiel de la rétention en eau et avec la structure qui sont les principales propriétés physiques des sols en intervenant sur les phénomènes de ruissellement, d'infiltration et d'évaporation. Comme la texture de la majorité de nos sols est très fine intervient directement sur le profil hydrique : forte rétention en eau, dessèchement rapide du profil, ...etc.

La structure de ces sols est souvent instable en surface (battance), massive et en plaquettes obliques en profondeur à cause de la faible perméabilité et la compacité, ...etc. Toutes ces caractéristiques sont défavorables aux espèces végétales à enracinement profond (Epstein, 1966).

Les caractéristiques de ces sols conditionnent fortement le drainage externe et interne des sols, et influencent sur la durée des périodes de submersion. Une forte rétention en eau, la dégradation temporaire ou permanente des conditions d'aération du sol, entraînant l'asphyxie des racines et l'apparition des phénomènes d'hydromorphie (gley, pseudo-gley, sulfures). Cette faible porosité contribue à la salinité des profils en surface et en profondeur (Pouget, 1980).

#### **2.4. La granulométrie**

La granulométrie nous permet de connaître certaines caractéristiques du sol, la capacité du sol à retenir l'eau, sa vulnérabilité à la compaction, la capacité des racines à y pénétrer (Calvet, 2003). Elle est effectuée selon la méthode internationale et sur un échantillon de terre fine (< 2mm) séché à l'air libre, le prélèvement des argiles et des limons fins a été effectué à l'aide de la pipette Robinson, les sables fins et grossiers ont été récupérés par tamisage, les limons ont été déduits par différence (Bouharas et Oumerzouk, 1993).

La séparation des différentes fractions exprimées en % de sol :

**A** = Argile < 2  $\mu$ .

**LF** = Limons fins : 2-20  $\mu$ .

**LG** = Limons grossiers : 20-50  $\mu$ .

**SF** = Sables fins : 50-200  $\mu$ .

**SG** = Sables grossiers : 200-2000  $\mu$  (0.2 à 2 mm).

On a classé les sols selon le triangle des textures (d'après le Soil Survey Manual, 1951) d'après leur composition granulométrique.

**Mode d'emploi du triangle textural:** Porter sur chacun des trois axes les pourcentages d'argile, de limon et de sables.

Par chacun des points ainsi trouvés, mener une parallèle à l'axe précédent. L'intersection de ces trois parallèles désigne la classe du sol.

**Tab. 23: La composition granulométrique des sols étudiés.**

N°Ech	Profondeur (cm)	A%	LF%	LG%	SF%	SG%	Texture
<b>1</b>	0-20cm	0%	42%	0.92%	18.64%	38.44%	Limono-sableuse
	20-50cm	0%	40%	34.56%	7.88%	17.56%	Limoneuse fine
<b>2</b>	0-20cm	0%	42%	49.8%	5.72%	2.48%	Limoneuse très fine
	20-50cm	2%	46%	25.84%	23.52%	2.64%	Limoneuse fine
<b>3</b>	0-20cm	10%	36%	53.16%	0.08%	0.76%	Limoneuse très fine
	20-50cm	4%	44%	26.36%	24.68%	0.96%	Limoneuse fine
<b>4</b>	0-20cm	2%	26%	8.28%	52.12%	11.6%	Limono-sableuse
	20-50cm	16%	0%	1%	46.32%	36.68%	Sablo-limoneuse
<b>5</b>	0-20cm	0%	58%	15.52%	23.2%	3.28%	Limoneusefine
	20-50cm	0%	46%	18.88%	30.76%	4.36%	Limoneuse fine
<b>6</b>	0-20cm	2%	44%	33.24%	18.44%	2.32%	Limoneusefine
	20-50cm	2%	44%	18.8%	30.68%	4.52%	Limoneuse fine
<b>7</b>	0-20cm	16%	24%	26.84%	27.04%	6.12%	Limono-argileuse
	20-50cm	18%	26%	28.4%	23.88%	3.72%	Limono-argileuse
<b>8</b>	0-20cm	10%	54%	8.88%	15.8%	11.32%	Limoneusefine
	20-50cm	12%	8%	17.96%	17.56%	44.48%	Sablo-limoneuse
<b>9</b>	0-20cm	2%	68%	7.68%	21.16%	1.16%	Limoneuse
	20-50cm	8%	50%	30.37%	2.48%	9.15%	Limono-argileuse
<b>10</b>	0-20cm	0.4%	61.6%	26.84%	10.44%	0.72%	Limono-argileuse
	20-50cm	6%	52%	28%	12.64%	1.36%	Limoneuse très fine
<b>11</b>	0-20cm	6%	54%	3.7%	30.3%	6%	Limoneusefine
	20-50cm	4%	50%	12.92%	26.64%	6.44%	Limoneuse fine
<b>12</b>	0-20cm	2%	44%	43.6%	9.8%	0.6%	Limoneuse très fine
	20-50cm	0%	16%	32.92%	15.48%	35.6%	Limono-sableuse

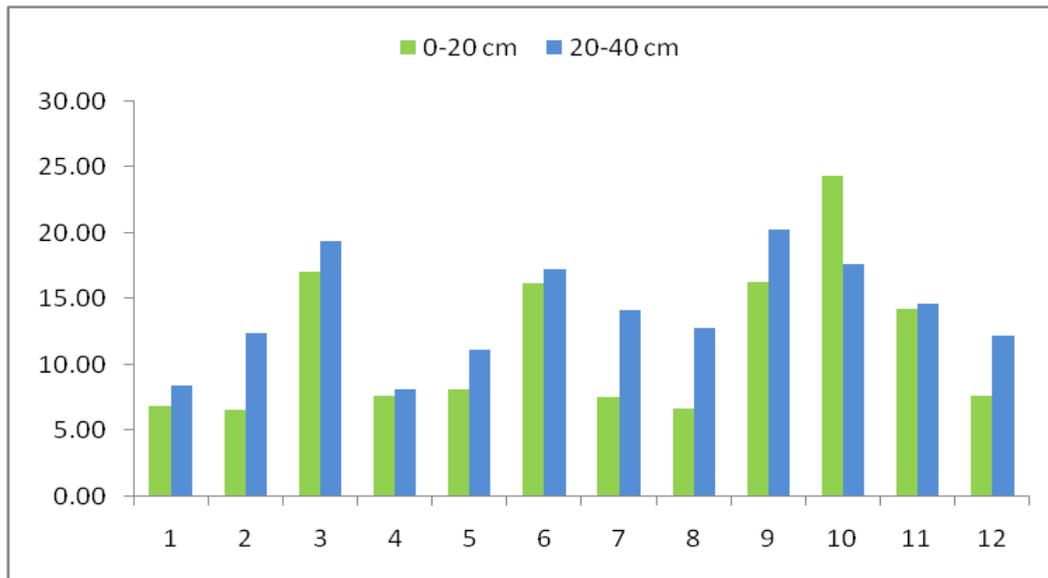
**3. Etude de la salinité des sols :** Le problème de l'accumulation des sels dans la zone d'étude est un des intérêts essentiels de cette étude. Ce problème a été traité dès les premières études effectuées sur la région. Ces études ont montré que la salinité est particulièrement importante au Nord, à l'Est et au Sud-Est du lac Fetzara, l'Ouest et le centre du lac semble être les zones les moins affectées par les sels à cause de déplacement des sels vers la périphérie avec désalinisation du lac (Joleud, 1936 ; Durand, 1950 et Djamai, 1993).

**Tab. 24: Résultats des analyses chimiques des solutions des sols étudiés.**

N°Ech	Profondeur (cm)	C.E (ms/cm)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>+2</sup> (meq/l)	Mg <sup>+2</sup> (meq/l)	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	pH
1	0-20 cm	6.79	08.09	0.64	06.00	04.00	40	02.00	6.96
	20-50 cm	8.36	10.59	1.09	06.00	05.00	60	02.00	6.58
2	0-20 cm	6.52	09.96	1.00	04.00	03.00	40	02.00	6.62
	20-50 cm	12.32	15.57	1.64	04.00	08.40	120	02.40	6.72
3	0-20 cm	17.00	14.33	2.38	14.40	20.60	180	02.00	6.53
	20-50 cm	19.30	14.95	2.10	16.50	15.10	200	01.60	6.54
4	0-20 cm	07.56	11.83	1.37	02.80	08.20	50	01.40	6.50
	20-50 cm	08.03	13.08	1.00	03.20	05.20	60	02.20	6.45
5	0-20 cm	08.06	11.21	1.55	03.60	04.40	60	02.00	6.45
	20-50 cm	11.10	13.70	1.37	03.60	07.40	90	02.00	6.62
6	0-20 cm	16.14	15.57	1.92	04.00	30.00	160	02.80	6.22
	20-50 cm	17.14	17.44	3.11	03.60	34.40	180	03.00	6.60
7	0-20 cm	07.46	01.24	3.66	04.80	00.60	50	01.60	6.98
	20-50 cm	14.09	02.49	7.32	05.20	01.40	140	02.40	7.48
8	0-20 cm	06.59	08.72	1.28	04.40	06.60	40	01.20	6.04
	20-50 cm	12.74	14.95	1.64	06.00	15.00	120	01.40	6.27
9	0-20 cm	16.19	16.19	2.38	13.00	24.00	160	02.60	6.68
	20-50 cm	20.20	23.36	3.11	12.00	33.60	220	03.60	6.28
10	0-20 cm	24.30	29.90	3.29	06.00	31.00	240	04.00	6.49
	20-50 cm	17.56	24.29	1.92	03.00	21.00	180	03.40	6.18
11	0-20 cm	14.22	23.36	2.19	06.00	20.00	160	02.40	6.53
	20-50 cm	14.53	24.29	2.10	04.40	15.60	160	02.40	6.49
12	0-20cm	07.61	15.88	0.91	05.20	06.80	80	01.60	6.66
	20-50 cm	12.17	21.49	1.64	05.60	12.40	140	00.60	6.28

### 3.1. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est importante à connaître, elle nous donne une idée sur la salinité d'un sol. La conductivité électrique de la solution du sol du lac varie entre 6.52 mS/cm et 24.3 mS/cm avec une moyenne de 11.53 mS/cm pour la couche 0-20 cm, et de 8.03 mS/cm et 20.2 mS/cm avec une moyenne de 13.96 mS/cm pour la couche 20-50 cm, ce qui indique une variation très importante entre les deux couches avec une concentration en sels solubles plus forte en profondeur à cause du lessivage (figure 29).



**Fig. 29 : Variation de la conductivité électrique (CE en mS/cm).**

**Les sels solubles :** Les sols peuvent être affectés par le problème de la salinité à cause de la présence des concentrations excessives en sels solubles :  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , et  $\text{SO}_4^{-2}$  (tableau 25).

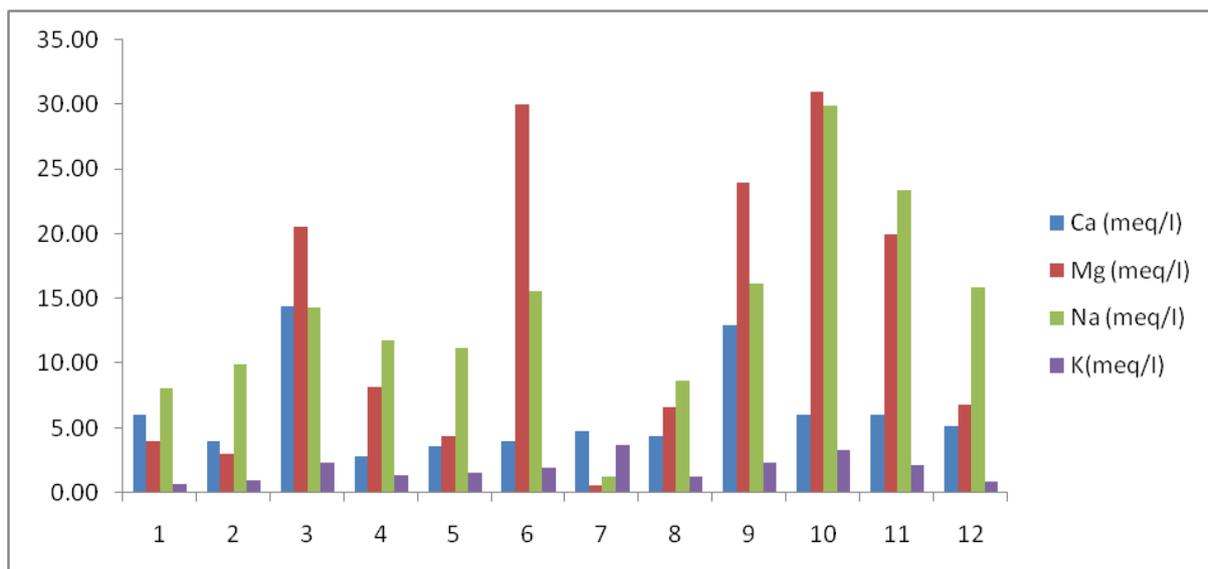
### 3.2. La concentration des cations

La concentration en Sodium ( $\text{Na}^+$ ) est la plus élevée par rapport aux autres cations, avec une concentration moyenne d'ordre de 13.85 et 16.35 meq/l respectivement pour la couche supérieure (0-20 cm) et la couche inférieure (20-50 cm) (figure 30). Les teneurs les plus élevées sont enregistrées au Nord ( $S_9$ ,  $S_{10}$  et  $S_{11}$ ).

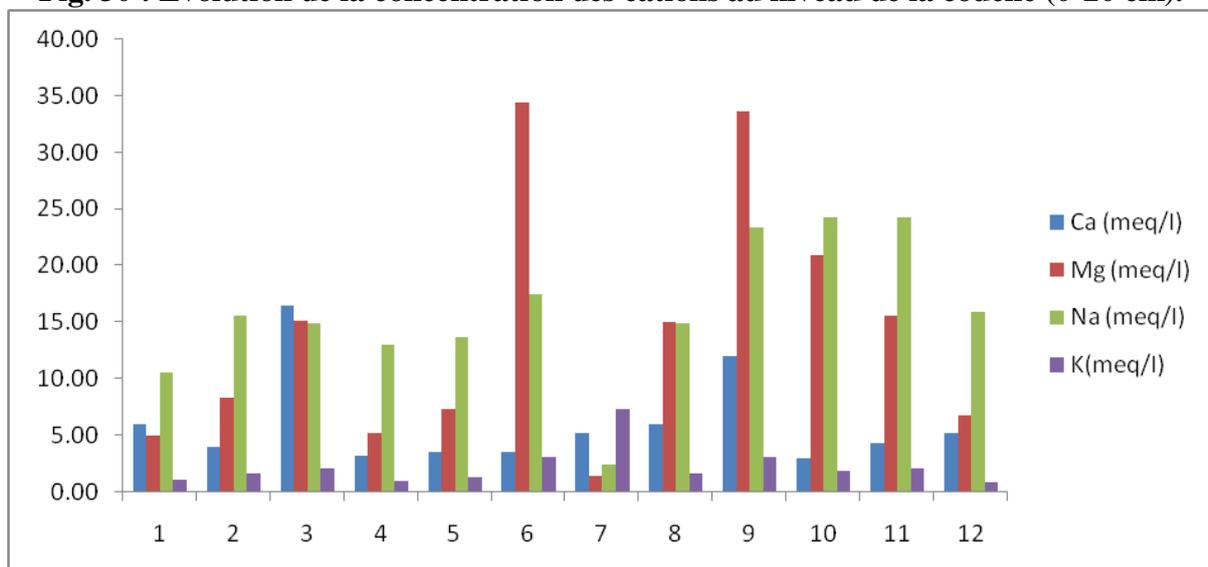
La concentration en ions Magnésium ( $\text{Mg}^{+2}$ ) est aussi élevée, avec une concentration moyenne d'ordre de 13.26 et 14.54 méq/l pour les deux couches : (0-20 cm) et (20-50 cm), Les teneurs maximales sont enregistrées au Sud-Ouest ( $S_6$ ) et au Nord ( $S_9$  et  $S_{10}$ ).

Le Calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ ) présente des concentrations moyennes d'ordre de 6.18 et 6.09 méq/l, et la valeur la plus élevée est enregistrée en  $S_3$  au Sud avec 16.5 méq/l.

L'ion Potassium ( $\text{K}^+$ ) se trouve en faible concentration avec des moyennes respectivement de 1.88 et 2.33 méq/l au niveau des couches : (0-20 cm) et (20-50 cm). La valeur la plus élevée est enregistrée en ( $S_7$ ) au Sud-Ouest avec 7.32 méq/l.



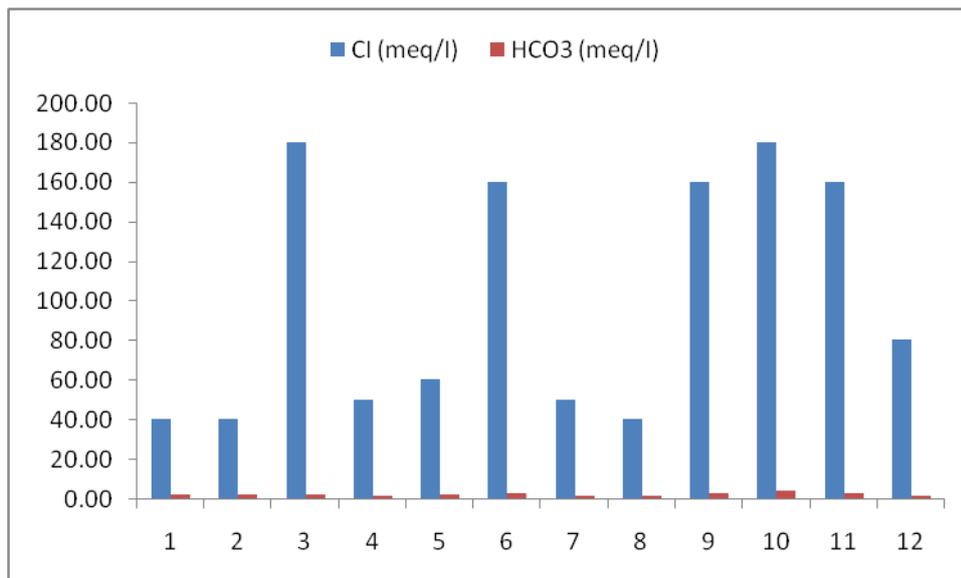
**Fig. 30 : Evolution de la concentration des cations au niveau de la couche (0-20 cm).**



**Fig. 31 : Evolution de la concentration des cations au niveau de la couche (20-50 cm).**

### 3.3. La concentration des anions

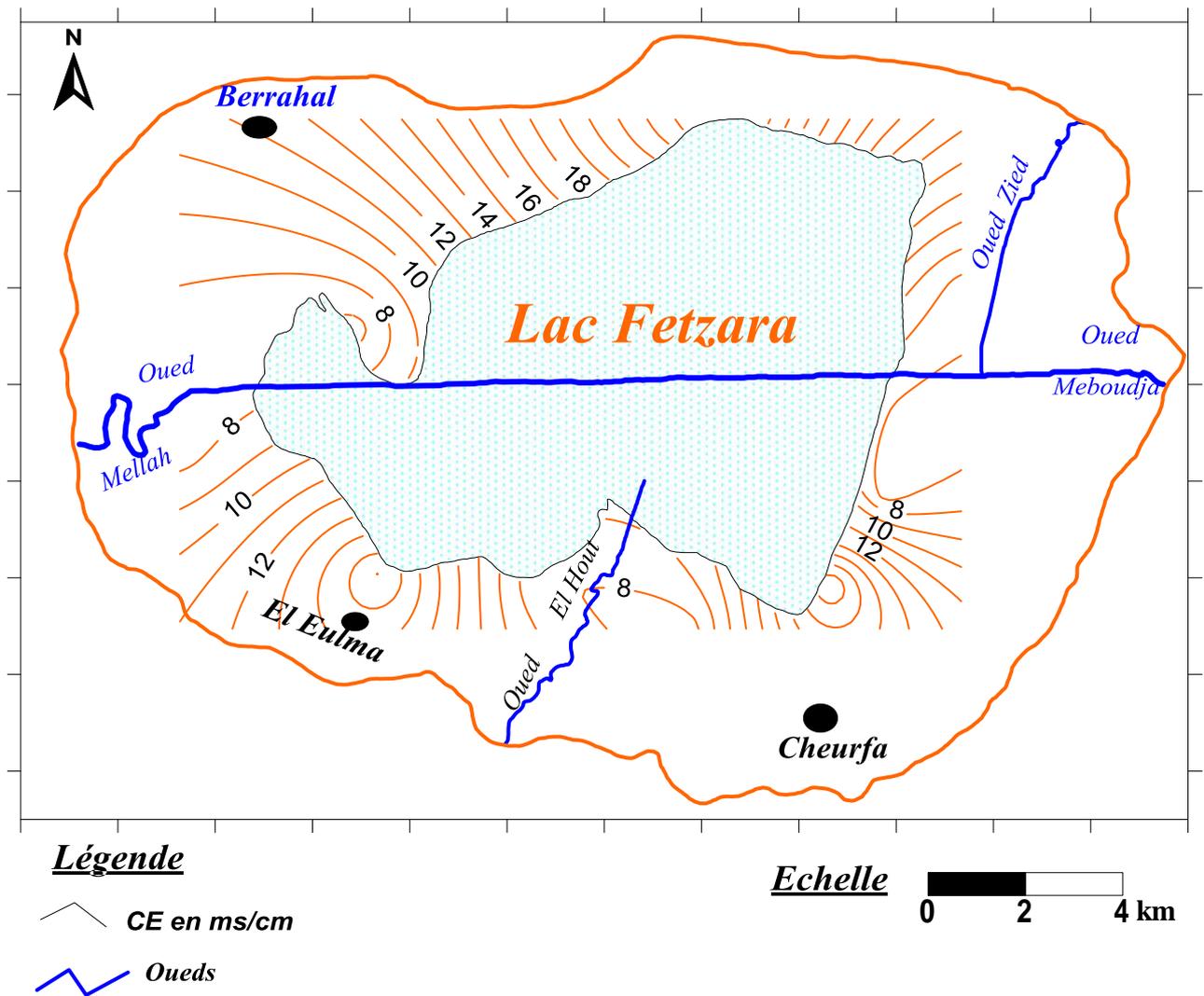
Les Chlorures (Cl<sup>-</sup>) représentent l'élément le plus important par rapport aux autres anions, avec des concentrations moyennes d'ordre de 100.00 et 144.16 méq/l respectivement pour les deux couches (0-20 cm et 20-50 cm) (fig. 29). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en (S<sub>3</sub>) et (S<sub>6</sub>) dans la partie Sud du lac Fetzara, et en (S<sub>9</sub>, S<sub>10</sub> et S<sub>11</sub>) au Nord du lac avec un maximum de 240 méq/l (figure 32).



**Fig. 33 : Evolution de la concentration des anions au niveau de la couche (20-50cm).**

Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) sont en petites quantités, avec des concentrations moyennes d'ordre de 2.13 et 2.25 méq/l respectivement pour la couche supérieure (0-20 cm) et la couche inférieure (20-50 cm) (figure 33).

A partir des résultats de la conductivité électrique CE (en ms /cm) de la pâte saturée de nos échantillons de sols, on a réalisé une carte de la salinité des sols du lac Fetzara.



*Carte de la salinité des sols en (CE en ms/cm)  
(BOUDJEMAA et DJAMAI ,2010).*

#### 4. L'étude hydrochimique

##### 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 d'autres usages (irrigation, industrie ...etc). Dans la région du lac Fetzara, la chimie des eaux (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations

géologiques, l'évaporation des eaux du lac Fetzara, les rejets industriels et l'activité agricole (Zahi, 2008).

Cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux, son évolution dans le temps, dans l'espace et en fonction de la variation des paramètres physico-chimiques de l'eau. Pour cet objectif, on a effectué deux campagnes d'échantillonnages (Janvier 2009, Février 2009) pour un total de 24 échantillons, les analyses effectuées se rapportent aux eaux de surface à savoir ; oued Mellah, oued El Hout, oued Zièd (les entrées du lac Fetzara) et oued Meboudja (vidange du lac Fetzara) et aux eaux souterraines des nappes entourant le lac. L'ensemble des points d'échantillonnages (puits, oueds) est matérialisé sur la carte d'inventaire (figure 18).

Deux paramètres physico-chimiques (pH, C.E) sont mesurés sur terrain, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un pH mètre et d'un conductimètre.

Une analyse complète des éléments chimiques a été effectuée pour cette étude ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ , et  $\text{HCO}_3^-$ ). Les résultats sont enregistrés dans le tableau 25.

#### 4.1. La conductivité électrique (C.E)

La conductivité électrique des eaux superficielles varie entre 315 et 2150  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau du site ( $\text{B}_8$ ) qui se situe au Nord-Est du lac Fetzara (figure 34).

La salinité des eaux souterraines est plus élevée, elle passe de 391 à 3850  $\mu\text{S}/\text{cm}$  cette valeur est enregistrée au niveau de ( $\text{P}_7$ ) qui est localisé au Sud-Est du lac Fetzara (Cheurfa) (figure35). Ces valeurs confirment la même évolution des éléments chimiques majeurs.

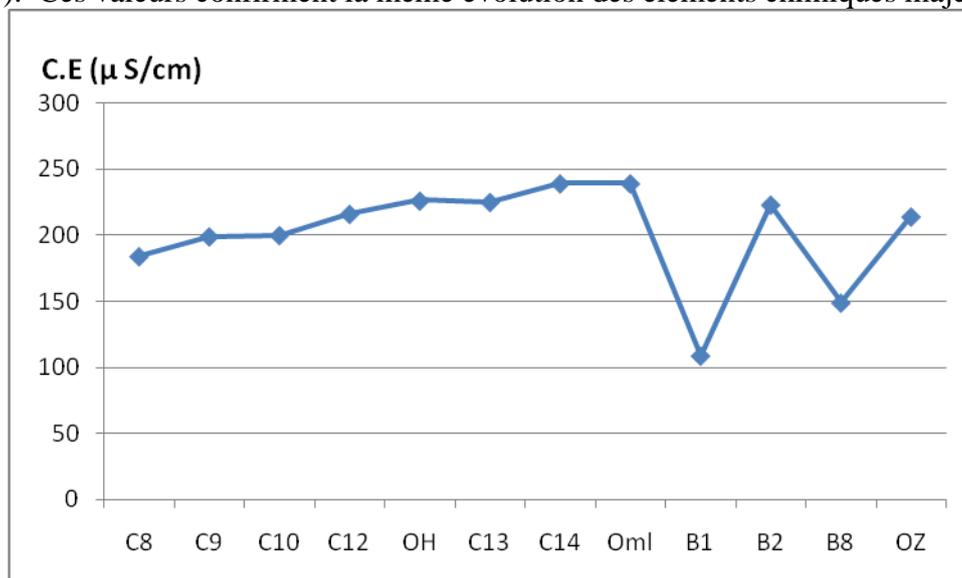
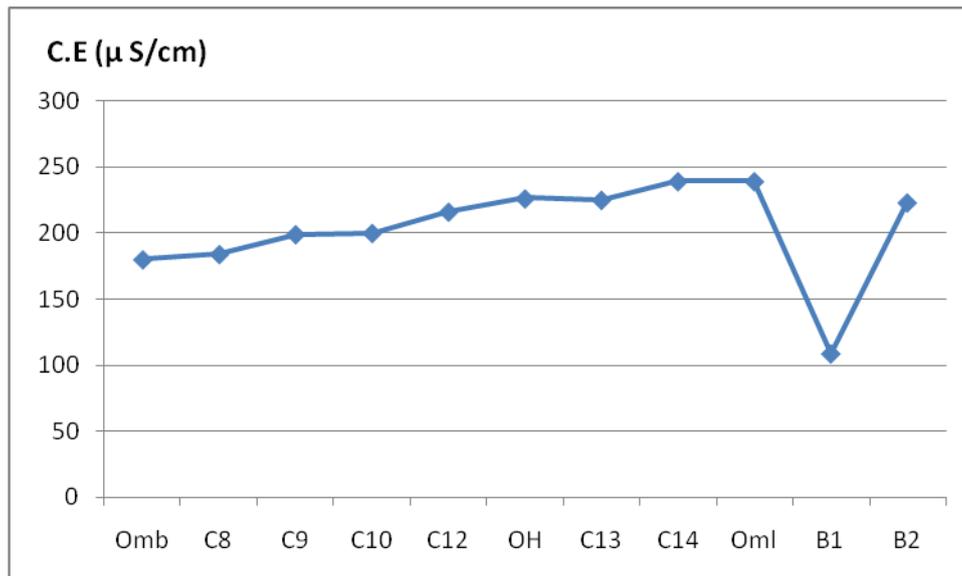


Fig. 34 : Evolution de la conductivité électrique (C.E) des eaux superficielles.

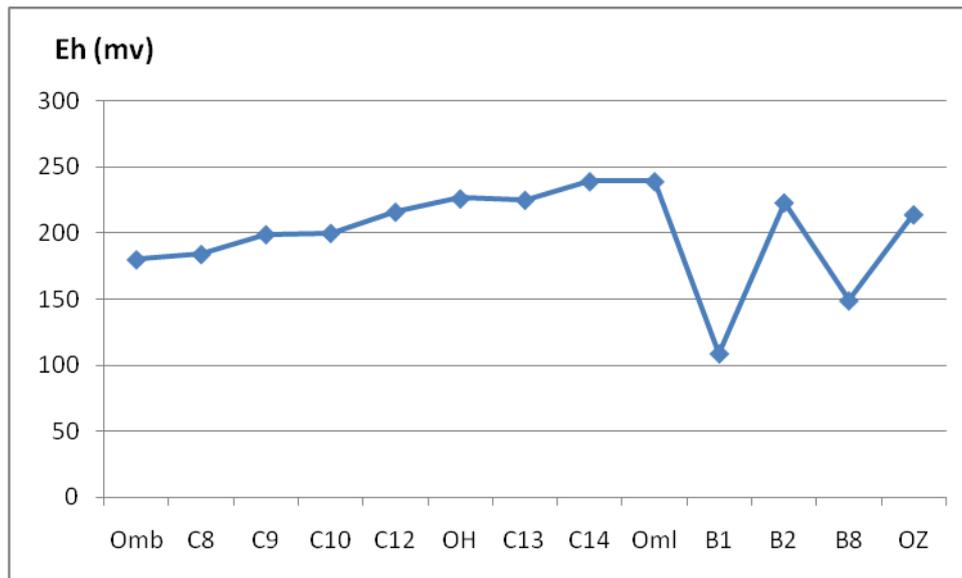


**Fig. 35 : Evolution de la conductivité électrique (C.E) des eaux souterraines.**

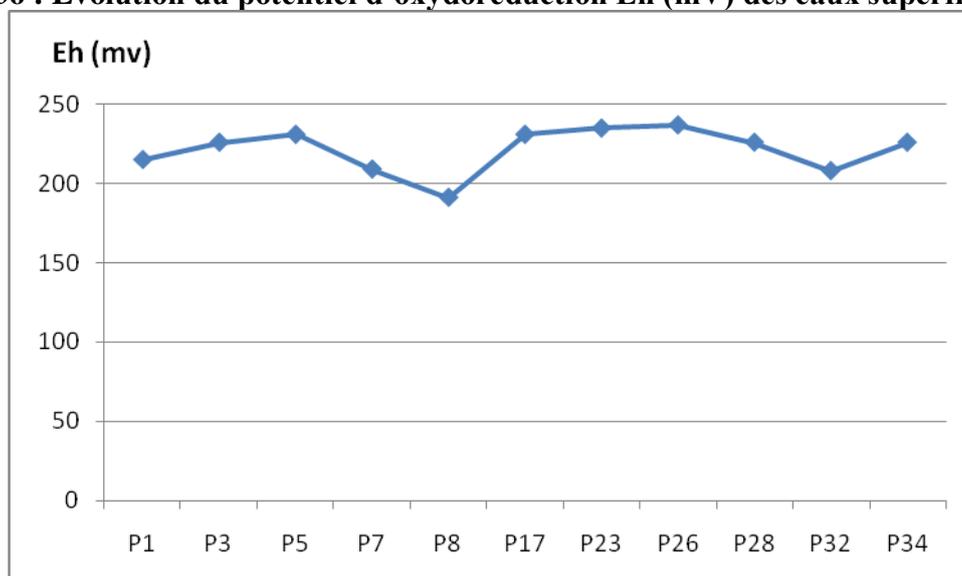
#### **4.2. Potentiel d'oxydoréduction (Eh)**

C'est un paramètre qui exprime globalement le degré d'aération, il est variable d'un point à un autre dans notre zone d'étude, il varie entre 109 et 239 mV pour les eaux superficielles dont la valeur la plus élevée est celle du site (C<sub>14</sub>, Oued Mellah) à l'Ouest du lac (figure 36). Il passe de 191 à 237 mV au niveau de (P<sub>26</sub>) au Nord du lac Fetzara (figure 37).

Dans un milieu, plus la quantité d'oxygène est importante plus il est oxydant, alors que l'inverse se traduit par un milieu réducteur. D'une manière générale Eh varie entre 900 mV (très oxydant) à 300 mV (très réducteur). Les eaux du lac Fetzara ont un Eh compris entre 109 et 237 mV, ce sont des eaux légèrement aérées.



**Fig. 36 : Evolution du potentiel d'oxydoréduction Eh (mV) des eaux superficielles.**



**Fig. 37 : Evolution du potentiel d'oxydoréduction Eh (mV) des eaux souterraines.**



En définitive, le faciès chimique de l'ensemble des échantillons est de type :  
Chloruré-Sodique.

#### **4.3.2. La composition des eaux souterraines**

##### **4.3.2.1. Anions**

La concentration en  $\text{Cl}^-$  est toujours la plus élevée avec une moyenne de 9.45 meq/l. Les ions  $\text{HCO}_3^-$  arrivent en deuxième position avec une moyenne de 6.08 meq/l et enfin les ions  $\text{SO}_4^{--}$  avec une moyenne de 0.0818 meq/l.

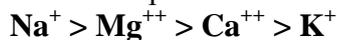
Le classement des anions selon leur importance s'effectue de l'ordre suivant :



##### **4.3.2.2. Cations**

L'ion  $\text{Na}^+$  est le plus important avec une moyenne de 5.14 meq/l. L'ion  $\text{Mg}^{++}$  représente une moyenne de 2.84 meq/l,  $\text{Ca}^{++}$  vient en suite avec une moyenne de 2.79 meq/l et enfin le  $\text{K}^+$  représentant une moyenne de 0.023 meq/l.

Le classement des cations selon leur importance s'effectue de l'ordre suivant :

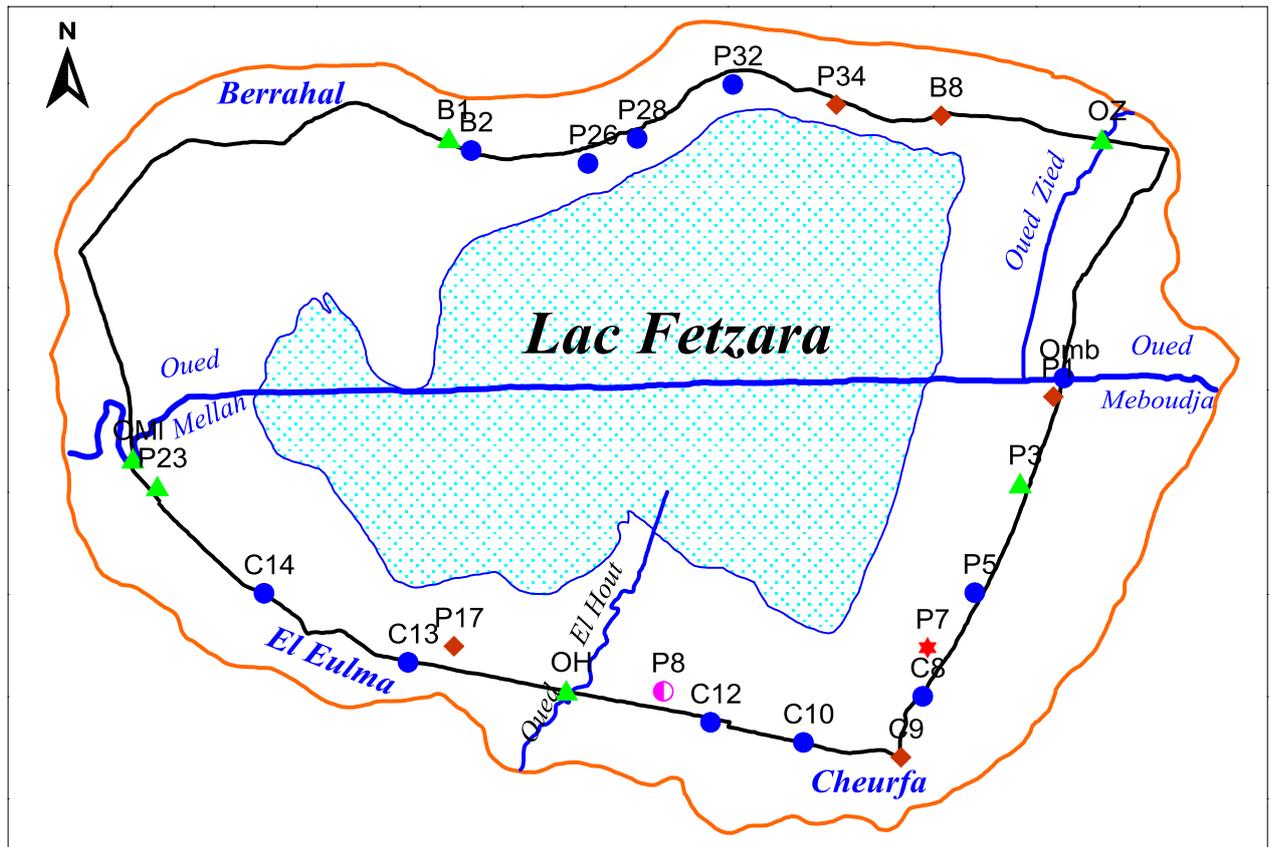


En définitive, le faciès chimique de l'ensemble des échantillons est de type :  
Chloruré-Sodique.

#### **Conclusion**

Les résultats obtenus sur le diagramme de Piper ont montré que dans l'ensemble, les eaux de surface et les eaux souterraines du lac Fetzara sont riches en chlorures et en sodium d'où la dominance d'un faciès chimique de type **chloruré-sodique**.

L'étude des relations ioniques a montré qu'elles sont plus importantes entre les chlorures et le sodium, l'association de ces deux éléments majeurs contribue à la formation d'un des sels les plus répandus dans la nature qui est le chlorure de sodium ( $\text{NaCl}$ ) qui est facilement soluble dans l'eau, ce qui explique les valeurs élevées de la conductivité électrique à partir de laquelle on a réalisé la carte de la salinité des eaux du lac Fetzara.



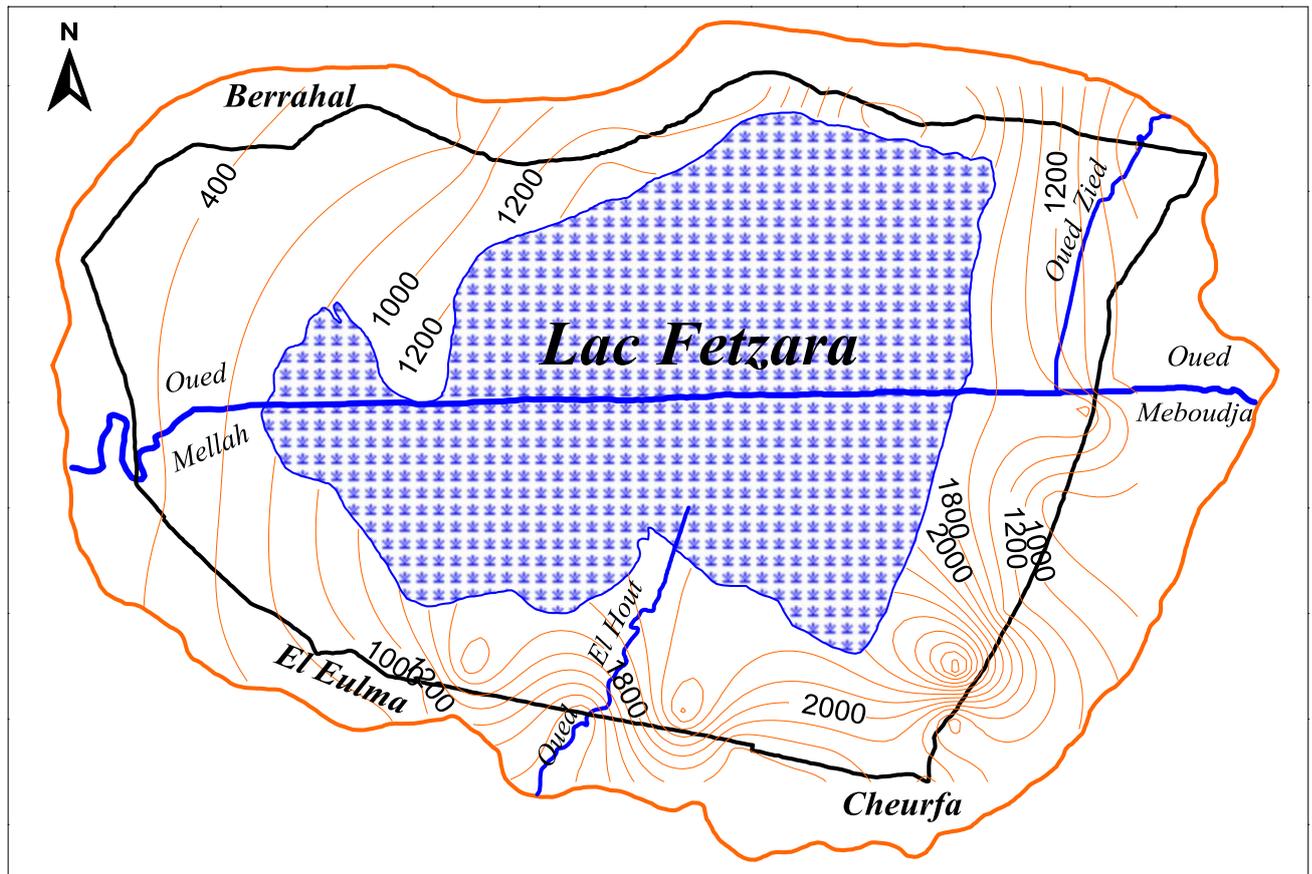
**Légende**

- ▲ 300 to 750
- 750 to 1500
- ◆ 1500 to 2250
- ◐ 2250 to 3000
- ★ 3000 to 4000

**Légende**



*Carte des conductivités électriques des eaux en ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )*



**Légende**

-  CE  $\mu\text{s}/\text{cm}$
-  Oueds

**Echelle**



*Carte de la salinité des eaux (CE en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ )  
(BOUDJEMAA et DJEMAI, 2010)*

**CHAPITRE V. RELATIONS SOL - VEGETATION**

**Introduction**

La relation sol-végétation dans la région du lac Fetzara peut être déterminée par l'analyse des propriétés des sols qui sont sous l'influence directe de la végétation, à savoir la teneur en matière organique et l'évolution de la réaction du sol.

La description morphologique et les résultats analytiques des différents profils font ressortir la relation : sol-végétation ; la différenciation des sols est liée aux facteurs de formation et d'évolution des facteurs de pédogenèse ou la roche mère, le climat, la qualité des eaux du lac et la nature du couvert végétale sont les facteurs déterminants.

L'influence du sol sur la végétation est déterminée par l'analyse des inventaires floristiques dans les différents groupements.

### **1. La végétation**

La physionomie et la structure de la végétation servent de base à la définition des principaux types de formations végétales en Afrique du Nord (Sauvage, 1962 ; Le Houerou, 1969). La végétation est organisée en groupements ou en associations.

Les groupements végétaux constituent « les unités élémentaires de la végétation définies floristiquement, écologiquement, statistiquement et ordonnées par l'interaction des facteurs du milieu et la concurrence vitale » (Emberger et Lemee, 1962).

Ozenda (1964) définit le groupement végétal comme « un ensemble de plantes réunies dans une même station, par suite d'exigences écologiques identiques ou voisines. La composition floristique en est relativement constante quand on compare entre-elles des stations semblables ».

L'inventaire et la cartographie des groupements végétaux ont fait l'objet de très nombreuses études en Afrique du Nord, l'apport de tous ces travaux permet d'ordonner les principaux groupements végétaux en fonction des caractéristiques majeures du milieu. Il permet en outre d'établir, dans ses grandes lignes, la dynamique de la végétation : succession dans le temps des groupements végétaux sur un même substrat (Pouget, 1980).

#### **1.1. Caractéristiques générales des espèces végétales**

Dans toutes les zones arides, la rigueur climatique oblige les espèces végétales à des adaptations nécessaires à leur survie ; Parmi ces adaptations, le développement considérable du système racinaire par rapport aux organes aériens apparaît spécifique. Il est important pour la formation et l'évolution des sols.

#### **1.2. Les adaptations**

Parmi les multiples adaptations, et sans entrer dans les détails, on rappellera les plus classiques (Ozenda, 1958 et 1964) :

- Modifications anatomiques : pour réduire la surface évaporante (réduction du système foliaire, épines, etc), pour réduire la vitesse d'évaporation (épaississement des cuticules) et pour constituer des réserves en accumulant l'eau dans les tissus (feuilles crassuléscentes).

- Modifications physiologiques : réduction du cycle végétatif avec de longues périodes de dormance hivernale ou estivale.

- Accroissement très important du système racinaire par rapport au système aérien pour aller puiser jusqu'au moindre recoin du sol un peu d'humidité (Kachaov et Korovine ,1942). Ce dernier point, essentiel pour l'étude des relations sol-végétation, intervient pour rendre compte de l'écologie des espèces ainsi que de l'action de la végétation sur les sols.

- A ces adaptations, classiques dans les régions sèches et destinées à pallier l'insuffisance du bilan hydrique, s'ajoutent des adaptations spécifiques liées à la présence de conditions stationnelles particulières.

Ainsi la présence en excès de sels solubles (chlorure de sodium et magnésium, sulfate de sodium et magnésium, etc), dans les solutions du sol, est toxique pour les plantes ; elle entraîne des troubles nutritionnels et nécessite des adaptations. Certaines espèces augmentent dans leurs tissus le taux de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Mg}^{++}$  aux dépens de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{K}^+$  (groupe biogéochimique des halophiles de Boukhris et Lossaint, 1972) : *Atriplex halimus*, *Suaeda mollis*, *Traganum nudatum* ; elles appartiennent pour la plupart à la famille des Chénopodiacées. D'autres espèces halophiles ;*Aeluropus littoralis* (Graminées) paraissent s'adapter en limitant au contraire les accumulations de sels minéraux (groupe biogéochimique des oligophores).

### 1.3. Les systèmes racinaires

En fonction de la distribution des racines dans le sol on distingue Lemme (1978) plusieurs types de systèmes racinaires (Lemme ,1978) :

-Le système à extension horizontale : telles les espèces psammophiles avec un réseau horizontal de racines et surtout radicules qui « court » juste au-dessus de la surface du sol pour bénéficier des moindres millimètres de pluie ou de rosée .Les psammophiles vivaces possèdent toutefois de solides racines verticales pour se maintenir en place, et puiser en profondeur une certaine humidité.

-Le système à extension verticale est constitué par une racine pivotante chez un assez grand nombre d'espèces vivaces parmi les Ombellifères, les Composées (*Scorzonera undulata*), les légumineuses, etc.

Cependant, même pour les espèces annuelles les plus modestes, il est vital de pouvoir puiser très rapidement en profondeur l'eau nécessaire à la croissance et au complet développement. Ainsi on a pu observer de jeunes plantules de Luzerne annuelle (*Medicago laciniata*) dont le

mince pivot, atteignant 1m de profondeur, s'implante directement dans un encroutement calcaire.

Certaines espèces vivaces peuvent présenter des racines capables d'explorer des horizons à plusieurs mètres de profondeur, souvent jusqu'à la nappe phréatique. Dans sa progression en profondeur à la recherche d'humidité, le système vertical rencontre très souvent les horizons d'accumulation calcaire (encroutements, croûtes) ; on constate que de nombreuses racines plus ou moins « tortillées » et laminées s'intercalent entre les feuilles et un réseau particulièrement dense de radicelles colonise les espèces interfeuilles. Il en est ainsi pour les principales espèces steppiques vivaces : *Helianthemum hirtum*, *Arthrophytum scoparium* (Negre, 1959).

L'étude des grands traits de la végétation, permet une meilleure approche des principaux facteurs écologiques mais aussi de l'action possible de cette végétation sur les sols, en particulier l'influence du système racinaire (matière organique, dynamique du calcaire et des sels).

#### **1.4. Les principaux facteurs écologiques**

- **Les facteurs climatiques** : jouent un rôle essentiel pour une très grande partie de la végétation puisqu'ils constituent les premiers critères de classement des groupements (étages bioclimatiques et variantes thermiques).

- **Les facteurs édaphiques** : dominants sinon exclusifs dans les groupements azonaux, apparaissent plus ou moins importants dans les autres milieux : type de substrats (grès, calcaires, croûtes, etc.), texture, gypse, etc.

- **Les facteurs anthropiques** : se manifestent par l'apparition des groupements de cultures et les transitions avec les différents groupements (jachère plus ou moins anciennes, etc.). Leur action apparait aussi par la succession des différents stades de dégradation de la végétation forestière.

- **Les facteurs de régression des forêts** : ces facteurs sont nombreux mais les plus importants sont : **Le pâturage, la coupe, le défrichage et l'incendie** qui est le plus dangereux pour la forêt, donc les causes sont aussi multiples ; mais le climat et les facteurs écologiques en général ont une grande influence sur le maintien de la forêt.

Parmi la végétation qui existe dans la région, on trouve quelques espèces hygrophiles qui ont besoin de grandes quantités d'eau tout au long de leur développement on peut citer comme exemple : La Menthe aquatique (*Mentha aquatica* , *Lemna minor*, *Nasturtium officinale*,

,*Fraxinus angustifolia*) qui sont des bonnes indicatrices des sols hydromorphes (milieux hygrophiles).

On a trouvé aussi dans la région du lac Fetzara des espèces qui aiment ces milieux humides et résistent à la salinité (supportent la quantité élevée des sels minéraux) par exemple : *Tamarix gallica*, *Nerium oleander*. Le plus souvent, ces espèces se rencontrent sur les terrains alluvionnaires ou sur les pentes au niveau des suintements. Elles sont de bonnes indicatrices de sols constamment engorgés, de nappe dont le niveau reste haut toute l'année ou encore de sols à gley.

On a classé la végétation de la région du lac Fetzara selon les trois strates : Arborescente, Arbustive et Herbacée dont les relevés floristiques sont représentés dans le tableau 26.

**Tab. 26 : Relevés floristiques de la région du lac Fetzara.**

Numéro de relevé	1	2	3	4	5	6	7	Fréquence	présence
Altitude (m)	18	17	18	17	19	20	200		
Roche mère	Quat	Quat	Quat	Quat	Quat	Quat	Grés		
Exposition	S.E	S.E	S	S	S.O	S.O	N.O		
Recouvrement %	60%	50%	50%	70%	65%	80%	80%		
<b>Strate arborescente</b>									
<i>Acacia horrida</i>	+	+	+			+		4	III
<i>Eucalyptus globulus</i>	+					+		2	II
<i>Ficus carica</i>			+	+		+		3	III
<i>Fraxinus angustifolia</i>		+	+	+		+		4	III
<i>Opuntia ficus- indica</i>		+	+	+		+		4	III
<i>Pinus pinaster</i>							1	1	I
<i>Quercus suber</i>							3	1	I
<b>Strate arbustive</b>									
<i>Calycotome villosa</i>	+			+			+	2	II
<i>Olea europeae</i>		+	+			+	+	2	IV
<i>Rubus ulmifolius</i>		+				1	+	5	III
<i>Tamarix gallica</i>	+	+	+			3		4	III
<i>Quercus coccifera</i>							1	1	I
<b>Strate herbacée</b>									
<i>Ammi visnaga</i>	+	+	3	2	2	1		6	V
<i>Anacyclus sp</i>	+	1	+	+	1		+	6	V
<i>Arisarum vulgare</i>		1		+			+	3	III
<i>Asphodelus microcarpus</i>		2			1	1	+	4	III
<i>Bellis annua</i>	3	2	+	+				4	III
<i>Borrago officinalis</i>	3	+	+				+	4	III
<i>Centaurium pulchellum</i>				+				1	I
<i>Cichorium intybus</i>			+	+		+	+	4	III
<i>Cirsium syriacum</i>						+		1	I
<i>Cynodon dactylon</i>	+	+		1	+	1		5	IV
<i>Daucus carota</i>		+	+			1	+	4	III
<i>Echium plantagineum</i>			+			1		2	II
<i>Galactites tomentosa</i>		2		+	+	2	+	5	IV
<i>Geranium sp</i>		+	+				+	3	III
<i>Gladiolus sp</i>		+					+	2	II
<i>Hordeum maritimum</i>				1		2		2	II
<i>Juncus acutus</i>	+				+	+		3	III
<i>Koeleria phleoides</i>		+	+	1				3	III
<i>Lathyrus ocrus</i>					+	+		2	II
<i>Lathyrus ongulum</i>	+				+	+		3	III
<i>Lemna minor</i>					1	+		2	II
<i>Linaria reflexa</i>		+		+			+	3	III
<i>Lolium rigidum</i>		1		+	+			2	II
<i>Lupinus angustifolius</i>				+				2	II
<i>Malva sylvestris</i>			+		+		+	2	II
<i>Medicago littoralis</i>		+	+					3	III
<i>Mentha aquatic</i>		2	+	+		+		3	III
<i>Nasturtium officinale</i>	+					1		2	II
<i>Oxalis cernua</i>		+	+			+		4	III
<i>Papaver rhoeas</i>				+		1		1	I
<i>Phalaris paradoxa</i>		+					+	3	III



**Photo 12: *Juncus acutus*. Le 20/05/2009.**



**Photo13: *Nasturtium officinale*. Le 20/ 05/2010.**



**Photo 14: *Lemna minor*. Le 20/05/2009.**



**Photo 15: *Tamarix gallica*. Le 20/05/2009.**



**Photo 16: *Urginea maritima*. Le 20/05/2009.**



**Photo 17: *Cichorium intybus*. Le 20/05/2009.**



**Photo 18: *Nerium oleander*. Le 20:05:2009 .**



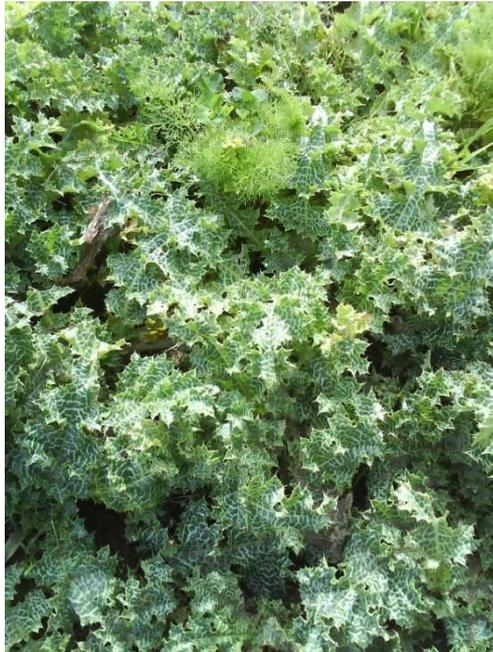
**Photo 19: *Ranunculus sardous*. Le 20:05:2009.**



**Photo 21: *Ammi visnaga*. Le 20/05/2009.**



**Photo 22: *Mentha aquatica*. Le 20/05/2009.**



**Photo 23: *Silybum marianum*. Le 20/05/2009.**



**Photo 24:** *Linaria reflexa*. Le 20/05/2009.



**Photo 25:** *Trifolium maritimum*. Le 20/05/2009.



**Photo 26:** *Malva sylvestris*. Le 20/05/2009.



**Photo 27: *Anacyclus sp.* Le 20/05/2009.**



**Photo 28: Lac Fetzaa inondé (partie sud). Le 02/02/2009.**



**Photo 29: Canal secondaire (partie sud du lac). Le 02/02/2009.**

## **2. Relation : sol-végétation**

La diversité de la flore est donc celle des groupements végétaux, est en fonction de la diversité du substrat. en effet, l'occupation des sols est liée aux conditions écologiques telles : le climat, la topographie, la nature des sols, l'influence anthropique. Le sol constitue en quelque sorte le support de la végétation.

La superposition de la carte de la végétation sur la carte des sols aurait facilité la lecture des relations qui peuvent exister entre le sol et la végétation.

- ✓ **Les sols hydromorphes** : moyennement profonds se caractérisent par la présence d'une nappe phréatique qui explique l'hydromorphie temporaire ou permanente ; ces sols portent les **espèces hygrophiles** ou semi-hygrophiles telles : *Mentha aquatica*, *Nerium oleander*, *Tamarix gallica*, *Nasturtium officinale*, *Ranunculus sardous*, *Bellis annua*, *Ammi visnaga*, *Fraxinus angustifolia*, *Lemna minor*, *Potamogeton*.
- ✓ **Les sols halomorphes** : sont des sols salins caractérisés par la présence des sels solubles et une perméabilité moyenne, ont une texture lourde et sont riches en minéraux argileux. Les espèces rencontrées ne sont pas spécialement **halophiles**, mais certaines d'entre-elles supportent le sel ; on a : *Tamarix gallica*, *Silybum*

*marianum*, *Medicago littoralis*, *Opuntia ficus-indica* , ils portent également des cultures qui sont tolérantes au sel telles : la Fève, la Tomate, le Pois chiche.

- ✓ **Les vertisols** : sont des sols bruns riches en argiles, difficile à travailler, sensibles à la teneur en eau ; ils portent les cultures sur zones inondables telles : Aubergines, Orge ; on y trouve *Olea europea* et *Pistacia lentiscus* et comme végétation naturelle : aire des broussailles.
- ✓ **Les sols peu évolués** : certainement le lac Fetzara porte une végétation semi-hygrophile ( *Juncus acutus*, *Phragmites communis*, *Fraxinus...*) et des cultures sur zones inondables : Pastèques, Melon, Courgettes et les reboisement à Eucalyptus.

### **3. Relation : sol-eau**

La salinisation peut affecter des milieux naturels sans qu'il y ait intervention directe de l'homme, il s'agit de la salinisation primaire. Elle peut aussi être une résultante de pratiques agricoles et d'irrigation sur des sols cultivés, il s'agit alors de salinisation secondaire (Boivin et *al.*, 1998 ; Hatira et *al.*, 2005). Les pratiques d'irrigation agissent comme catalyseur du phénomène naturel de concentration lorsque les quantités de sels apportées par l'eau d'irrigation dans un sol ou un périmètre sont supérieures à celles qui sont exportées. Indirectement, en provoquant la remontée de nappe, elles accentuent aussi les remontées de sels des horizons profonds (Cheverry et Robert, 1998 ; M'Hiri et *al.*, 1998 ; Djili et *al.*, 2003). La salinisation est une résultante globale de plusieurs processus géochimiques et hydrologiques qui se produisent dans les sols. Ces processus dépendent de l'environnement physique et bio-géo-chimique, et des pratiques hydro-agricoles (Aubert, 1983 ; Hamdi-Aissa, 2001).

L'interprétation des résultats des analyses effectués sur les sols et les eaux (souterraines et superficielles) de la région du lac Fetzara montre que les eaux sont menacées par le phénomène de la salinité et par le lessivage des sels solubles ; les sols sont aussi affectés.

La roche mère, dans l'ensemble des stations étudiées est la même, elle est formée par des quaternaire (sables, argile, limon). Les bandes d'argile constituent souvent une zone de blocage devant la progression des substances hydrosolubles et des matières en suspensions

transportées par l'eau dans les sols, ce qui limite les pertes de ces éléments, mais il permet leur déplacement dans le profil.

Le climat de la zone est caractérisé par une pluviométrie assez abondante qui joue un rôle non négligeable dans l'altération des roches d'une part, et dans la distribution des particules et les éléments minéraux et organiques dans le sol. D'autre part les inondations des sols par les eaux du lac pendant la période hivernale provoquent des problèmes d'asphyxie que se soit pour les végétaux ou les organismes vivants dans le sol. Tout ceci se répercute sur la nature et le développement de la végétation ainsi que sur l'évolution de la matière organique du sol et par conséquent sur la pédogenèse.

## **CHAPITRE VI : ETUDE STATISTIQUE DES PROPRIETES PHYSICO- CHIMIQUES DES EAUX ET DES SOLS.**

### **1. Introduction**

Les échantillons d'eaux et de sols prélevés sur le lac Fetzara ont fait l'objet de mesures de nombreux paramètres. L'objet de ce traitement des données est de déterminer les différentes sources de variabilités de la chimie des eaux et des sols et de hiérarchiser les différents processus géochimiques qui prédominent dans ces milieux.

Dans beaucoup de cas, il convient d'utiliser le traitement statistique le plus approprié, c'est la raison pour laquelle nous privilégierons une approche synthétique, plus globale grâce à l'Analyse en Composantes Principales (ACP). Cette méthode permet d'étudier les sources indépendantes de la variabilité de tous les paramètres confondus, au lieu d'étudier paramètre par paramètre.

C'est une méthode factorielle, c'est-à-dire qu'elle permet de déterminer des axes factoriels indépendants dans l'hyper-espace des « n » paramètres mesurés. Ces axes sont orthogonaux dans cet hyper-espace, ce qui induit une indépendance entre ceux-ci. L'ACP peut être calculé à partir de la matrice des covariances ou bien à partir de celle des corrélations. Dans le premier cas, la méthode favorise les paramètres dont les mesures donnent des valeurs élevées, au détriment des autres paramètres. Comme dans les analyses des solutions, il existe des mesures de nature diverses telles que le pH mesuré en unité pH, c'est-à-dire logarithmique ou les concentrations des ions (en méq/l) ; il est préférable d'effectuer les calculs à partir de la matrice des corrélations qui éliminent ces inconvénients.

### **2. Etude statistique des eaux**

Le but de ce travail est de caractériser la variabilité de la composition chimique des eaux du lac Fetzara.

Pour chaque échantillon, les données traitées portent sur les mesures du pH, de la conductivité électrique (CE en mS/cm), de la température (en °C), de Eh (en mVolts), de l'alcalinité (méq/l), des teneurs en  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Cl^-$  et  $SO_4^{--}$  dont les concentrations ioniques sont exprimées en méq/l. Ce sont donc au total 11 paramètres qui seront traités grâce à l'Analyse en Composantes Principales (tableau 27).

**Tab. 27 : Statistiques sommaires des variables continues**

Libellé de la variable	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
CE	24	1342,130	834,903	315,000	3850,000
Ph	24	7,761	0,538	6,630	8,800
Eh	24	209,917	29,929	109,000	239,000
T°C	24	14,775	2,828	10,400	19,400
Na <sup>+</sup>	24	3,977	2,300	0,826	10,331
K <sup>+</sup>	24	0,021	0,015	0,005	0,074
Ca <sup>++</sup>	24	2,846	0,831	1,200	4,400
Mg <sup>++</sup>	24	2,671	1,889	0,400	7,000
Cl <sup>-</sup>	24	7,792	5,488	2,000	26,000
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	4,988	2,116	1,200	9,900
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	24	0,848	1,390	0,000	5,436

### 2.1. La matrice des corrélations

Les résultats montrent que les corrélations sont positives et significatives entre Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> (tableau 28). Habituellement dans le contexte d'eaux salées, lorsque la concentration des solutions par évaporation est la principale source de variation de la qualité des solutions, il est fréquent d'obtenir des coefficients de corrélation plus élevés entre les éléments solubles tels que Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>.

Dans le cas du lac Fetzara, les plus fortes valeurs correspondent aux couples Na<sup>+</sup>/CE, Cl<sup>-</sup>/CE, Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup>. Certains coefficients peuvent être également considérés comme importants, c'est le cas des couples Mg<sup>++</sup>/CE, Mg<sup>++</sup>/Na<sup>+</sup> et Mg<sup>++</sup>/Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup>/Cl<sup>-</sup>. Les valeurs négatives impliquent particulièrement les couples en relation avec pH et Eh, mais elles ne sont pas significatives.

**Tab. 28 : Matrice des corrélations**

	CE	pH	Eh	T°C	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
CE	1,00										
Ph	-0,01	1,00									
Eh	-0,11	-0,31	1,00								
T°C	0,10	-0,47	-0,25	1,00							
Na <sup>+</sup>	0,95	-0,07	-0,04	0,12	1,00						
K <sup>+</sup>	0,33	-0,08	-0,35	0,28	0,21	1,00					
Ca <sup>++</sup>	0,53	-0,17	-0,27	0,00	0,49	0,40	1,00				
Mg <sup>++</sup>	0,75	-0,02	-0,23	0,01	0,77	0,29	0,67	1,00			
Cl <sup>-</sup>	0,94	0,15	-0,07	-0,10	0,92	0,14	0,44	0,69	1,00		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,48	-0,59	0,19	0,30	0,54	0,25	0,53	0,55	0,26	1,00	
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,49	-0,26	-0,13	0,12	0,46	0,26	0,15	0,43	0,50	0,04	1,00

## 2.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Les résultats suivants ont été obtenus par une ACP effectuée sur la matrice des corrélations. En effet, les unités des différents paramètres ne sont pas homogènes notamment entre pH, Eh, CE et les concentrations des éléments chimiques, ce qui induit une hétérogénéité des ordres de grandeur des valeurs. Ainsi trois sources de variabilités importantes apparaissent. L'ACP montre un premier axe factoriel représentant à lui seul 42% de la variabilité totale, tout paramètre confondu ; c'est un processus important qui devrait être facilement identifié. Il est suivi ensuite par trois autres axes avec respectivement des inerties de 17%, 14% et 10% (tableau 29). Les autres axes, avec des pourcentages de variance inférieurs à 7%, sont négligeables et portent probablement sur des imprécisions analytiques. Ainsi, pour le lac Fetzara, un mécanisme semble prédominant pour la chimie des eaux, puis viennent ensuite trois processus ou sources de variation d'importance secondaire. Il convient donc maintenant de tenter de déterminer quels sont ces processus ou sources de variation de la composition chimique des eaux. Pour cela, le plan factoriel sera examiné (tableau 29 et tableau 30).

**Tab. 29 : Distribution de la variance selon les différents axes factoriels**

Paramètres	Valeurs propres	Pourcentage	Pourcentage cumulé
CE	4,6713	42,47	42,47
pH	1,9012	17,28	59,75
Eh	1,5218	13,83	73,58
T°C	1,0828	9,84	83,43
Na <sup>+</sup>	0,7071	6,43	89,86
K <sup>+</sup>	0,5664	5,15	95,01
Ca <sup>++</sup>	0,2843	2,58	97,59
Mg <sup>++</sup>	0,1599	1,45	99,04
Cl <sup>-</sup>	0,0569	0,52	99,56
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,0343	0,31	99,87
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,0141	0,13	100,00

**Tab. 30 : Corrélations des variables actives avec les facteurs**

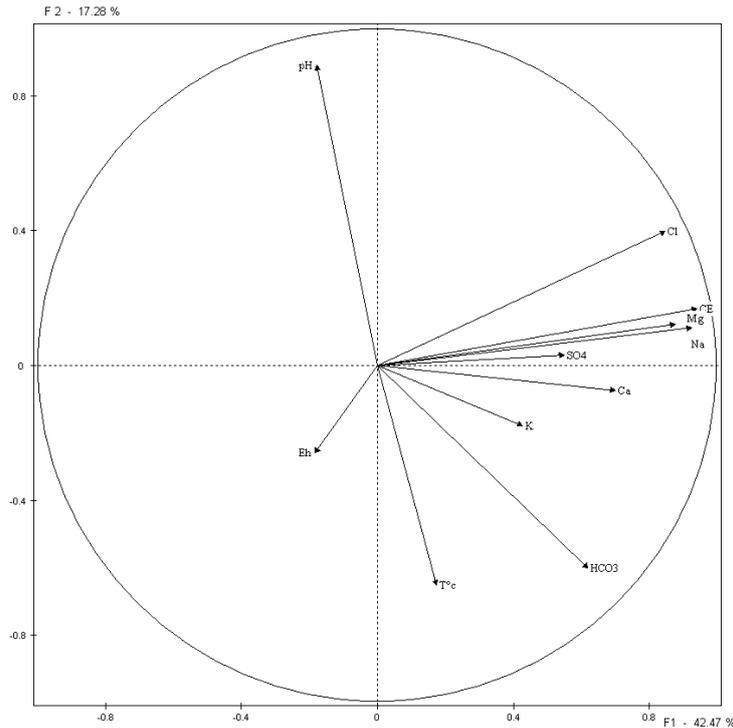
Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
CE	0,94	0,17	-0,11	0,09	0,13
pH	-0,18	0,89	0,18	-0,17	0,19
Eh	-0,18	-0,26	-0,86	0,03	-0,17
T°C	0,17	-0,65	0,43	0,30	0,48
Na <sup>+</sup>	0,93	0,11	-0,21	0,09	0,21
K <sup>+</sup>	0,43	-0,18	0,62	-0,09	-0,36
Ca <sup>++</sup>	0,70	-0,07	0,16	-0,52	-0,21
Mg <sup>++</sup>	0,88	0,12	0,00	-0,17	-0,03
Cl <sup>-</sup>	0,85	0,40	-0,21	0,16	0,11
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,62	-0,60	-0,23	-0,35	0,08
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,55	0,03	0,07	0,70	-0,40

### 2.2.1. Plan factoriel

Le plan factoriel est constitué par le croisement du premier et du second axe factoriel. Ce plan de l'hyper-espace permet de visualiser d'un seul regard sur un graphique la position des différents paramètres. Lorsque la distance d'un paramètre au centre (0,0) du repère est importante, cela veut dire que le paramètre joue un rôle important dans ce plan factoriel, mais lorsqu'il est proche du centre du repère, son rôle est faible. Pour déterminer la source de variabilité représentée par le premier axe, on oppose les éléments situés à droite contre ceux qui sont situés à gauche.

Ainsi, on remarque que le premier axe factoriel, oppose les éléments solubles dont la concentration augmente fortement avec la salinité, à savoir Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mg<sup>++</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> et accessoirement HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et T (température) avec le potentiel redox (Eh) et le pH (figure 39). Ce cas de figure est habituel pour les eaux salées en Afrique du Nord. Ce premier axe traduit la concentration globale des solutions sous l'effet de l'évaporation, et donc du climat. Habituellement cet axe porte 65 à 75% de la variance. Sa relativement faible inertie (42%) traduit la complexité de notre système.

Pour déterminer la source de variabilité représentée par le second axe, on oppose les éléments situés en bas contre ceux qui sont situés en haut. Partant de ceci, on constate que le second axe factoriel oppose l'alcalinité, Eh, K<sup>+</sup> et T au pH et Cl<sup>-</sup>. Cet axe doit être associé à des processus salinisation des eaux par évaporation et de fixation ou de rétrogradation de K<sup>+</sup> par les minéraux argileux (figure 39).



**Fig. 39 : Contribution des différentes variables des eaux dans le plan factoriel**

### 3. Etude statistique des sols

Pour chaque échantillon de sol, les données traitées portent sur les mesures du pH, de la conductivité électrique (CE en mS/cm), de l'alcalinité (még/l), des teneurs en  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  et  $Cl^-$  dont les concentrations ioniques sont exprimées en még/l. Ce sont au total 8 paramètres qui seront traités grâce à l'Analyse en Composantes Principales (tableau 30).

**Tab. 31 : Statistiques sommaires des variables continues**

Libellé de la variable	Effectif	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
<b>pH</b>	24	6,548	0,292	6,040	7,480
<b>CE</b>	24	12,749	4,929	6,520	24,300
<b>Ca<sup>++</sup></b>	24	6,138	3,707	2,800	16,500
<b>Mg<sup>++</sup></b>	24	13,904	10,421	0,600	34,400
<b>Cl<sup>-</sup></b>	24	122,083	61,575	40,000	240,000
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	24	2,213	0,779	0,600	4,000
<b>Na<sup>+</sup></b>	24	15,103	6,749	1,240	29,900
<b>K<sup>+</sup></b>	24	2,107	1,340	0,640	7,320

#### 3.1. La matrice des corrélations

La matrice des corrélations révèle un nombre très restreint de très forts coefficients, c'est le cas entre les couples  $Cl^-/Mg^{++}$  et  $CE/Cl^-$  (tableau 31).

**Tab. 32 : Matrice des corrélations**

	pH	CE	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
pH	1,00							
CE	-0,16	1,00						
Ca <sup>++</sup>	0,01	0,49	1,00					
Mg <sup>++</sup>	-0,42	0,84	0,33	1,00				
Cl <sup>-</sup>	-0,17	0,98	0,50	0,84	1,00			
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,01	0,67	0,03	0,64	0,61	1,00		
Na <sup>+</sup>	-0,54	0,68	0,12	0,73	0,72	0,51	1,00	
K <sup>+</sup>	0,56	0,44	0,14	0,16	0,43	0,33	-0,14	1,00

### 3.2. Analyse en Composantes Principales (ACP)

La distribution de la variance selon les axes factoriels de l'ACP montre un premier axe portant 53% de l'inertie. Deux autres processus ou sources de variation suivent avec 23% et 12% de la variance. Ces deux derniers sont des processus de second ordre par rapport au premier qui paraît très important et qui devrait être facilement identifiable (tableau 33 et tableau 34).

**Tab. 33 : Valeurs de la distribution de la variance selon les différents axes factoriels**

Paramètres	Valeurs propres	Pourcentage	Pourcentage cumulé
pH	4,2477	53,10	53,10
CE	1,8682	23,35	76,45
Ca <sup>++</sup>	1,0221	12,78	89,22
Mg <sup>++</sup>	0,3908	4,89	94,11
Cl <sup>-</sup>	0,2794	3,49	97,60
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,1321	1,65	99,25
Na <sup>+</sup>	0,0513	0,64	99,89
K <sup>+</sup>	0,0084	0,11	100,00

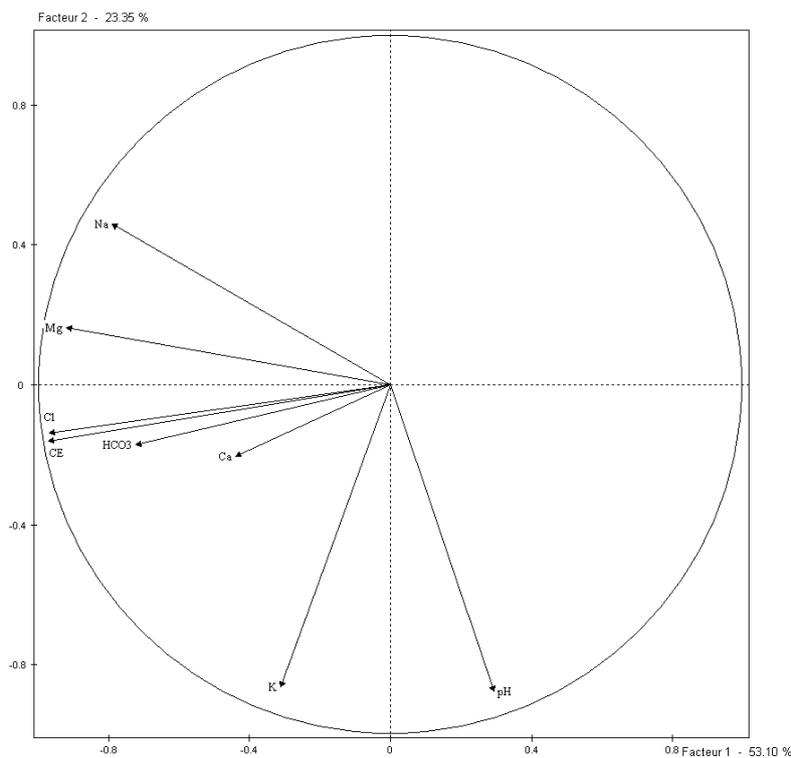
**Tab. 34 : Corrélations des variables actives avec les facteurs**

Libellé de la variable	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5
pH	0,29	-0,88	-0,08	-0,23	-0,24
CE	-0,97	-0,16	0,07	0,06	-0,03
Ca <sup>++</sup>	-0,44	-0,20	0,84	-0,22	0,04
Mg <sup>++</sup>	-0,92	0,16	-0,03	0,03	0,22
Cl <sup>-</sup>	-0,97	-0,14	0,10	0,11	-0,11
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,72	-0,17	-0,50	-0,39	0,15
Na <sup>+</sup>	-0,79	0,46	-0,15	0,02	-0,36
K <sup>+</sup>	-0,31	-0,86	-0,13	0,35	0,08

### 3.2.1. Le plan factoriel

Ce premier axe oppose tous les éléments solubles (Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CE) au pH. Il s'agit d'un axe de concentration globale des eaux ou axe de salinité. Ainsi, l'augmentation de la concentration des eaux avec la salinité totale représente le processus le plus important (figure 40).

Le second axe oppose K<sup>+</sup> et pH au Na<sup>+</sup> et Mg<sup>++</sup>. Cet axe doit être associé à des processus salinisation des eaux par évaporation et de fixation ou de rétrogradation de K<sup>+</sup> par les minéraux argileux. Les échanges ioniques affectant le Mg<sup>++</sup> sur le complexe adsorbant ne sont pas à écarter (figure 40).



**Fig.40 : Contribution des différentes variables des sols dans le plan factoriel**

## Conclusion

L'étude statistique montre que les eaux et les sols du lac Fetzara présentent une composition très variable. La concentration globale des solutions par évaporation serait la principale source de variabilité, c'est-à-dire le premier processus par ordre d'importance. Il représente à lui seul 42 % de la variance pour les eaux. Trois autres processus ou sources de variation de

second ordre suivent avec à peu près avec la même importance, mais à cause du faible pourcentage d'inertie qu'ils représentent (variation entre 10 et 17%) leur identification est délicate, mais il semble que le processus salinisation des eaux par évaporation est à considérer en premier. Le deuxième processus pourrait être un phénomène d'échange ionique entre les eaux et le complexe adsorbant avec intervention du gypse et de la calcite, dans lequel le  $Mg^{++}$  et surtout  $Ca^{++}$  seraient très sollicités. Quant au troisième processus, il pourrait s'agir d'un phénomène de fixation et la rétrogradation du  $K^+$  sur les minéraux argileux.

Concernant les sols, la principale source de variabilité représente 53%, le processus de salinisation des sols par évaporation serait le plus important, pour les autres axes à cause de leur faible inertie ils sont difficilement identifiables mais il s'agirait probablement d'un processus d'échange ionique entre la solution du sol et le complexe adsorbant affectant le  $Mg^{++}$  d'une part et d'autre part un phénomène de fixation irréversible (rétrogradation) du  $K^+$  par les minéraux argileux.

## **Conclusion générale**

Le but de cette étude est de connaître l'état actuel de la salinité des eaux et des sols de la région du lac Fetzara, et réaliser des cartes de la salinité de ce site qui est l'un des plus importants lacs de l'extrême Nord-Est Algérien. Il est situé à 18 km au Sud-Ouest de la ville d'Annaba, il s'allonge sur 17 km d'Est en Ouest et sur 13 km du Nord au Sud avec une superficie d'environ 18600 ha.

L'analyse des données climatiques de quatre stations (Les Salines, Pont Bouchet, Ain Berda et Berrahal), montre que le climat de la région est de type méditerranéen caractérisé par deux saisons bien distinctes ; l'une chaude et sèche s'étend du début du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre et l'autre froide et humide s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai.

La zone d'étude reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 600 mm, la température moyenne annuelle de l'ordre de 17.7°C, le taux d'évapotranspiration est très élevé pendant la saison sèche ce qui explique la concentration de la composition chimique des solutions des sols et des eaux sous l'effet du climat.

L'étude hydrochimique des eaux souterraines et les eaux superficielles (Oued Meboudja, Oued Mellah, Oued El Hout et Oued Zièd), nous a permis d'avoir l'évolution de la salinité dans l'espace et dans le temps. Les études statistiques par l'analyse en composante principale (ACP) ont montré des valeurs élevées de la conductivité, sont dues à l'existence de certains éléments chimiques à des concentrations élevées (les chlorures et le sodium). Cet excès est dû à une contamination naturelle par la dissolution des terrains traversés (roches carbonatées, formations salifères et argiles).

Les eaux à forte minéralisation sont enregistrées dans la région de Cheurfa (Sud-Est du lac Fetzara) et de Oued Zièd pour les eaux souterraines, les eaux de Oued Meboudja sont les plus minéralisées dans le cas des eaux de surface, cette variation des concentrations est liée d'une part à la matrice argileuse qui favorise les échanges de bases et d'autre part par l'évaporation des eaux du lac Fetzara. D'une manière générale, les eaux sont caractérisées par la dominance de trois faciès chimiques : chloruré sodique,

Les études antérieures réalisées sur les sols de la région du lac Fetzara (Durand, 1950 ; Ifagraria, 1967 ; A.J.C.I, 1985 ; B.N.E.D.E.R, 2004 ; Djamai, 2007 ; Zahi, 2008), ont permis de faire ressortir quatre classes de sols : les sols peu évolués, les vertisols, les sols

hydromorphes et les sols halomorphes. Les résultats analytiques révèlent que les sols sont caractérisés par une teneur en carbone inférieure à 2%, et des faibles quantités de matière organique (1.70 à 2.27%) avec une porosité faible de l'ordre de (12.91 à 13.27%) avec une

texture argilo-sableuse et argilo-limoneuse, un pH faiblement acide à alcalin (5.97 à 7.33). La salinité des sols est d'ordre de (11.53 à 13.96 m S/cm), elle atteint son maximum dans les parties Nord-Est (Oued Zièd) et au Sud-Est du lac (commune de Cheurfa). Les concentrations des sels solubles caractérisées par un faciès chloruré sodique.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- ACILA I. ; 2004** - Influence de la salinité sur les mécanismes morphologiques, physiologiques, biochimiques et la balance ionique chez le blé dur. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba., 150 p.
- A.J.C.I ; 1985** – Etude de la faisabilité du projet d'aménagement agricole de la région périphériques du lac Fetzara, volume 3. « Agence Japonaise de Coopération Internationale, 150 p.
- AOUADI H. ; 1989** - La végétation de l'Algérie Nord Orientale. Histoire des relations anthropiques et cartographie à 1/200000e. Thèse Doctorat en Sciences, Technologie, Médecine ; Université Joseph Fourier, Grenoble1, 108 p.
- AUBERT G. ; 1947** – Les sols à croutes calcaires. Conférence pédologique méditerranéen. , Montpellier-Alger : p 330-332.
- AUBERT G. ; 1960** – Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leur caractères, de leur utilisation et de leur conservation. Actes Coll. UNESCO de Paris sur les problèmes de la zone aride : p 127-150.
- AUBERT G. ; 1965** – Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes de sols utilisés par la section de pédologie de l'ORSTOM. p 269-288.
- BADRAOUI M. ; 1988** – Variation de la qualité des sols : une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Université Hassan 2, Rabat, 233 p.
- BAGNOULS F. et GAUSSEN H. ; 1957** – Les climats biologiques et leur classification. Ann. Géogr. Fr., 355 : p 193-220.
- BAUDOIN R. ; BISCHLER H. et JOVET-AST S. ; 1979** – Exemple d'exploitation informatique des données sur la végétation hépatocologique méditerranéenne. Colloque Informatique et Biosphère, Paris, Mars 1979.
- BAUDOIN R. et POUGET M. ; 1979** – L'utilisation du Taux de Fréquence Relative (TFR) dans l'analyse des correspondances appliquée aux données phytoécologiques.
- BELDJAZIA A. ; 2009** – Etude écologique et cartographique de la végétation du massif de la Mahouna (Guelma). Mémoire de Magister, Département de Biologie, Université Badji Mokhta, Annaba. 96 p.
- BELHAMRA A. ; 2001** - Contrôle de la salinité des eaux du lac Fetzara jusqu'à la mer. Mémoire de Magister, Département de science de la mer, Université Badji Mokhtar, Annaba, 110 p.
- BELKHODJA K. ; 1972** – Origine, évolution et caractères de la salinité dans les sols de la plaine de Kairouan (Tunisie centrale). Contribution à l'étude de leur mise en valeur. Sols de Tunisie n°4, 105 p.
- BELOUMA N. ; 1971** – Contribution à la connaissance des sols de la région de Souk Ouled Nadja (Hodna, Algérie). Université de Gand, Belgique, 221 p.
- BELOUMA N. ; BERAUD F. et CLAUDIN J. ; 1974** – Etude écologique et propositions de mise en valeur. Etude D.E.M.R.H., Alger, 22 p.
- BISSONNAIS Y. et SOUDER C. ; 1995** – Stabilité structurale, étude et gestion des sols T1, 2. Ed Masson, Paris.
- BISSONNAIS Y. ; 1996** – Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility, European journal of soil science, 437 p.
- BNEDER ; 2000** – Etude d'aménagement et d'assainissement des terres agricoles dans la région périphériques du lac Fetzara.
- BNEDER ; 2002** – Etude pédologique et mesures hydrodynamiques.

- BONIN G. ; 1978** – Contribution à la connaissance de la végétation des montagnes de l'Apennin centro-méridional. Thèse de Docteur d'Etat, Marseille, 318 p.
- BONNEAU M. et SOUCHIER B. ; 1979** – Pédologie 2, constituants et propriétés du sol. Ed Masson, Paris.
- BORTOLI L. ; GOUNOT M. et JACQUINET J.C. ; 1969** – Climatologie et bioclimatologie de la Tunisie septentrionale. Institut national de recherche agronomique. Tunisie, 42,1 :235 p.
- BOTTNER P. ; 1970** – La matière organique des principaux types de sols sous l'étage bioclimatique dans le Midi de la France. Science du sol 1 : p 3-18.
- BOTTNER P. ; 1972** – Evolution des sols en milieu carbonaté. La pédogénèse sur roches calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du Sud de la France. Science géologiques, Institut de Géologie, Strasbourg, Mémoire n°37 ,156 p.
- BOUDJEMAA S. ; 2007** – Contribution à l'étude des propriétés des sols de la région de Annaba. Mémoire d'ingénieur d'Etat en Ecologie et Environnement, Département de Biologie, Université Badji Mokhtar, Annaba. ,65 p.
- BOULAIN J. ; 1957** – Etude des sols des Plaines du Chélif. Thèse de Doctorat, Alger., 582 p.
- BOULAIN J. ; 1961** – Sur le rôle de la végétation dans la formation des carapaces calcaires méditerranéennes. C.R. Académie de science. ,253 p.
- CALVET R. ; 2003** – Les propriétés du sol. T1, 2e Ed Dunod , Paris, 593 p.
- CENAP ; 1988** - Guide de terrain, Neuvième réunion du sous-comité Ouest et centre africain de corrélation des sols. Cotonou, Bénin ,14-23 Nov. 1988.
- CHEVERRY C. et ROBERT M. ; 1993** – Salure des sols Maghrébins. Influence sur les propriétés physiques et physico-chimiques des sols. Rapport Projet CEE ; 41p.
- CHEVERRY C. ; 1995** – Comportement des plantes et milieu salé. C. R. Acad. Agric. France, 81 (2) : 42-46.
- COUTURE I. ; 2006** - Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro irrigation. Colloque sur l'irrigation (Québec),p1-6.
- C.P.C.S., 1967** – Commission de Pédologie et de Cartographie des sols. Laboratoire de Géologie-Pédologie de l'E .N.S.A. Paris-Grignon, 87 p.
- DAOUD Y. ; 1993** - Contribution à l'étude des sols des plaines du Chélif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux .Thèse de doctorat, INA Alger.
- DAOUD Y. et HALITIM A. ; 1994** - Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse, 5, 151,160.
- DEMOLON A. ; 1952** – Dynamique du sol. Ed Dunod, Paris, 520 p.
- DESPOIS J. ; 1964** – L'Afrique du Nord. P.U.F. Paris. 622 p.
- DGF ; 2003** – Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar. Lac Fetzara, wilaya d'Annaba ; Direction générale des forêts.
- DJEBAILI S. ; 1978** – Recherches phytosociologiques et écologiques sur la végétation des Hautes-Plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse de doctorat, Montpellier.
- DJAMAI R. ; 1980** – Etude du phénomène d'échange cationique dans les principaux types de sols de la Mitidja (Alger). Mémoire d'Ing. d'Etat Agro., INA Alger ; 84 p.
- DJAMAI R. ; 1993** - Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du lac Fetzara (Annaba) .Mémoire de Magister, INA Alger.
- DJAMAI R. ; 2000** – Etude spatio-temporelle de la salinité des sols du lac Fetzara (Annaba). Doc. Inédit ;Univ. Annaba ; 61 p.
- DJAMAI R. ; 2007** – Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du système endoréique du lac Fetzara (Nord-Est algérien) Approche géochimique et évolution spatio-

temporelle des phénomènes. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques ; INA Alger ; 112 p.

**DJAMAI R., BENSLAMA M., LAIFA A., FADEL D., OUADI J., VALLES V. ; 2004** Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols du lac Fetzara (Annaba). Colloque international, « Terre et eau », p 317-320.

**DREGNE H.E. ; 1976** – Soils of Arids regions. Elseviers scientific publishing compagny, Amsterdam., 237 p.

**DRESCH H. ; 1954** – Formes et limites climatiques et paléoclimats en Afrique du Nord. Annales géographiques n°335, p 56-59.

**DUCHAUFOR P. ; 1968** – L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. Ed Masson, Paris .93 p.

**DUCHAUFOR P. ; 1970** – Précis de pédologie, Ed Masson et Cie, Paris, 481 p.

**DUCHAUFOR P. ; 1976** – Principes d'une classification écologique des sols. Agrochimica, 4-5 : p 313-323.

**DUCHAUFOR P. ; 1977** – Pédologie. Tome 1 : pédogénèse et classification. Ed Masson, Paris., 477 p.

**DUCHAUFOR P. ; 1988** – Notes sur la dégradation de la végétation forestière et des sols en climat méditerranéen, Techno Sobre, Paris, 7 p.

**DUCHAUFOR P. ; 1995** – Pédologie : sol, végétation, environnement, Ed Masson. 388p.

**DURAND J.H. ; 1953** – Etude hydrogéologique et pédologique des croutes en Algérie. Publ. Couv. Gén. Algérie ; S.E.S.A., Alger., 209 p.

**DURAND J.H. ; 1954** – Les sols d'Algérie. S.E.S, Alger., 243 p.

**DURAND J.H. ; 1959** – Les sols rouges et les croutes en Algérie. S.E.S. Alger., 188 p.

**DURAND J.H. ; 1959** – Premiers résultats de l'étude des sols du lac Fetzara. Doc inédit ; SES. Alger, 112 p.

**EMBERGER L. ; 1930** – La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Revue gén. Bot. 42 : p 641-662 et 705-721.

**EMBERGER L. ; 1951** – Rapport sur les régions arides et semi-arides de l'Afrique du Nord. Bases écologiques de la régénération de la végétation des zones arides. U.I. Science Biologique., Stockholm.

**EMBERGER L. ; 1955** – Une classification biogéochimique des climats. Institut de Botanique. Montpellier., 7 : p 3-43.

**EMBEGER L. ; 1957** – Les études phyto-sociologique entreprises en Afrique du Nord sous le contrôle scientifique et technique du Service de la carte des groupements végétaux de la France. Bull. Serv. Carte phytogéographique B, II, 2 : p 25-36.

**EMBEGE L. ; 1971** – Travaux de botanique et d'écologie. Ed Masson et Cie, Paris., 520 p.

**EPSTEIN E. ; GRANT W.J. et STRUCHTEMEYER R.A. ; 1966** – Effects of stones on runoff, erosion and soil moisture. Soil Sci. Amer. Proc. Madison, 30,5 : p 638-640.

**FAO/AISS/ISRIC -1999-** Base de référence mondiale pour les ressources en sols .Rapport sur les ressources en sol du monde N=°84 FAO, Rome, 160 p.

**FLANDRIN J. ; 1952** – Les chaines atlasiques et la Bordure Nord du Sahara. XIX Congés Géologique international, Alger., monographie n°14.

**FLORET C.H. et FLOCH E. ; 1973** – Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie présaharienne. Doc. C. E. P. E. n°71, Montpellier, 45 p.

**FLORET C.H. et PONTANIER R. ; 1978** – Relations climat-sol-végétation dans quelques formation végétales spontanées du Sud-Tunisien (Production végétale et bilan hydrique des sols). Doc. Tech. N°1, Tunisie, 96 p.

- FOLK R.L. ; 1974** – The natural history of cristalline calcium carbonate. Effect of magnesium content and salinity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 1 : p 40-53.
- FOURNIER F. ; 1969** – L'érosion hydrique et le climat. *Bull. Tech. Inf.*, 237 : p 111-115.
- FRANK P. ; 2004** - Modélisation de l'effet des pratiques agricoles sur la diversité végétale et la valeur agronomique des prairies permanentes en vue de l'élaboration d'indicateurs agro-environnementaux. Thèse de doctorat, Institut polytechnique de Lorraine., 383 p.
- GAUSSEN H. ; 1949** – Cartographie de la végétation et développement économique. Gouv. Général de l'Algérie, Doc. Et Rens. Agri. N°12, 7 p.
- GAUSSEN H. et BAGNOULS M.F. ; 1958** – Carte des précipitations de l'Algérie, échelle 1 /500.000. I.G.N., Paris.
- GAUSSEN H. et VERNET A. ; 1958** – Carte internationale du tapis végétal : Tunis-Sfax au 1/1.000.000. I.G.N., Paris.
- GHIT Y. et GUERFI N. ; 2001** – Contribution à l'étude de la ressource en eau et perspectives d'aménagements dans la dépression lacustre de Fetzara. Mémoire d'ingénieur. Département de chimie. Université Badji Mokhtar , Annaba. ; 49 p.
- GILE L.H. ; PETERSON F.F. and GROSSMAN R.B. ; 1965** – The k horizon. A master soil horizon of carbonate accumulation. *Soil Science (Baltimore)*, 99,2 : p 74-82.
- GODRON M. ; 1968** – Quelques applications de la notice de fréquence en écologie végétale. *Oecol. Plant*, III, 3 : p 185-212.
- GOUNOT M. ; 1969** – Méthode d'étude quantitative de la végétation. Ed Masson et Cie, Paris., 314 p.
- GRAS F. ; 1975** – Les sols très calcaires du Liban. Evolution et mise en valeur. Mémoire d'ingénieur, Strasbourg., 191 p.
- GUERASSIMOV I.P. ; 1956** – Sols des régions méditerranéennes de l'Afrique (Tell). VI Congrès de la science du sol, Paris., 30 : p 189-193.
- GUILLEMOT J. ; 1952** – La bordure Sud-tellienne dans le Titteri. XIX Congrès Géologique international, Alger., 1, 9,61 p.
- GUINOCHET M. ; 1973** – Phytosociologie. Ed Masson et Cie, Paris., 228 p.
- GUYOT G. ; 1969** – L'érosion éolienne. *Bull. Tech. Inf.*, 237 : p 116-124.
- HABES S. ; 2006** - Pollution saline d'un lac, cas du lac Fetzara, Est algérien (Annaba).Mémoire de Magister, Département de Géologie .Université Badji Mokhtar, Annaba. ; 130 p.
- HAMID A. ; 1970** – Effects of soil texture on evaporative loss and available water in semi-arid climates. *Soil Science*, 110,5 : p 328-332.
- HENIN S. ; 1945** – Relation entre le drainage, la température et l'évolution des sols. *C. R. Ac. Sc.* 220 : p 330-334.
- HILLY J ; .1962** – Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est constantinois). *Bull. n°19*, Carte géologique d'Algérie, 339 p.
- IFAGRARIA ; 1967** – Etude générale de la mise en valeur agricole des plaines côtières d'Annaba. *Soc Ifagraria*, Rome ; Partiel, 169 p.
- IONESCO T.H. ; 1960** – La valeur indicatrice des espèces psammophiles en pays semi-aride des Doukkala. In *apport du sol et la végétation*. Ed Masson et Cie, Paris. , p 177-179.
- IONESCO T.H. et SAUVAGE C.H. ; 1962** – Les types de végétation du Maroc : essai de nomenclature et de définition. *Revue géologique. Maroc*, 1-2 : p 75-86.
- LAURENT A. ; 1999** – Etude de l'impact de quelques essences forestières sur le fonctionnement biogéochimiques et la végétation du sol acide. Thèse de doctorat en science de la terre, Université Henri Poincaré, Nancy 1. , 154 p.

**MARE A. ; 1992** – Le Tell oriental algérien de Collo à la frontière tunisienne, Etude géomorphologique, volume 1 et 2, O.P.U, Alger.

**MERABTI N. ; 2008** – Etude géochimique des eaux de la partie Sud du lac Fetzara (Annaba). Mémoire d'ingénieur d'Etat en Ecologie et Environnement. Université Badji Mokhtar, Annaba., Institut de Biologie, 84 p.

**MONJAUZE A. ; 1965** – Répartition et écologie de **Pistacia atlantica** Desf. En Algérie. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, Alger, 56 : 5-128.

**NEGRE R. ; 1959** – Recherches phytogéographiques sur l'étage de végétation méditerranéen aride (sous-étage chaud) au Maoc occidental. Trav. de l'Inst. Sci. Cherifien, série Bota. N°13, 385 p.

**OZENDA P. ; 1954** – Observation sur la végétation d'une région semi-aride : les Hauts Plateaux du Sud-algérien. Bull. Soc. Hist. Nat. d'Afrique du Nord, Alger, 45, 3-4 : p 189-223.

**OZENDA P. ; 1958** – Flore du Sahara Septentrional et central. C.N.R.S., Paris. 490 p.

**OZENDA P. ; 1964** – Biogéographie végétale. Doin, Paris., 374 p.

**PEDRO G. ; 1972** – Les sols développés sur roches calcaires : Nature, originalité et cadre général de leur évolution à la surface du globe. Suppl. au Bull. de l'ass. Fr. pour l'Etude du sol, 1 : p 5-19.

**POUGET M., 1968** – Contribution à l'étude des croûtes et encroutements gypseux de nappe dans le Sud-Tunisien. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie, VI, 3-4 : p 309-365.

**POUGET M. ; 1969** – Etude agro-pédologique de la région de Si Lakdar (Berrouaghia), échelle à 1 /50.000. Etude 6/14, S.E.S., Alger, 51 p.

**POUGET M. ; 1972** – Etude agro-pédologique du Plateau du Sersou, échelle 1/100.000. Etude D.E.M.R.H. Alger., 71 p.

**POUGET M. ; 1973** – Une manifestation particulière et méconnue de la salure dans les steppes du Sud-algérois : les plages de salure sur les glacis quaternaires à croûte calcaire. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. du Nord, Alger., 64, 1-2 : p 15-24.

**POUGET M. ; 1976** – Les plages de salure sur les glacis quaternaires à croûte calcaire (steppes algériennes). 4e Réunion Sc. de la Terre, Paris. 340 p.

**POUGET M. ; 1977** – Cartographie des zones arides : géomorphologie, pédologie, groupements végétaux et aptitudes du milieu à la mise en valeur. Echelle 1 /100.000. Région de Messaad-Ain El Ibel (Algérie). Notice ORSTOM n°67, 89 p.

**POUGET M. et AUBERT G. ; 1978** – La matière organique dans les steppes algériennes. Comm. au XIe Congrès de l'I.S.S.S. Edmonton. 386 p.

**POUGET M. ; 1980** – Les relations : sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Thèse de Doctorat d'Etat en science du sol. Université d'Aix-Marseille III, Ed ORSTOM, Paris., 477 p.

**QUEZEL P. ; 1951** – De l'application de méthode statistiques à l'étude des groupements d'animaux. Essai sur les groupements de Tenebrionides et Carabiques dans la région de Sidi Bou Zid, Tunisie Centrale. Leurs rapports avec le sol et sa couverture végétale. Ann. du Serv. Bot. et Agro. de Tunisie, 23 : p 125-138.

**QUEZEL P. et SANTA S. ; 1962** – Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed CNRS, Paris, 2 tomes : 565 p et 605 p.

**QUEZEL P ; SIMONNEAU P. ; DUTIL P. et KILIAN J. ; 1969** – Contribution à l'étude phytosociologique du Sahara oriental Sud-constantinois. Louis Jean, Gap, 55 p.

**QUEZEL P. ; 1975** – Le peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Le Chevalier, Paris., 463 p.

- RAYNAL R. ; 1966** – Place de la géomorphologie dans l'inventaire des vocations régionales du sol en Afrique du Nord. Bull. Fac. Lettres, Strasbourg., 7 : p 703-712.
- RODIER J. ; 1996** – L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition, Dunod, Paris, France.366 p.
- SAMAI I. ; 2007** – Evaluation et caractérisation de la matière organique dans les sols de Annaba. Mémoire d'ingénieur en Ecologie et Environnement. Département de Biologie. Université Badji Mokhtar Annaba., 60 p.
- SAUVAGE Ch. ; 1963** – Etages bioclimatiques. Atlas du Maroc, Notice explicative de la carte établie par BRIGNON C. et SAUVAGE Ch. ; 44 p.
- SERVANT J. ; 1975** – Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. Thèse de Doctorat, Montpellier, 2 tomes, I : 194 p.
- SOLAGES S. et REY E. ; 1971** – Etude hydrogéologique en vue de l'implantation de 2 forages de reconnaissance dans les régions d'Ain El Ibel et Ain El Hadjel. Etude N° 20/11, D.E.M.R.H. Alger., 13 p.
- STEWART P. ; 1968** – Quotient pluvio-thermique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. Bull. de la Soc. Hist. Nat. d'Afr. du Nord, Alger., 59 : p 23-36.
- TOUBAL O.; 1986** – Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough . Cartographie à 1/25000. Thèse de Docteur d'Etat , 3<sup>e</sup> cycle Joseph F. De Grenoble.
- TOUBAL A. et TOUBAL O.;1998** - Roche -mère, sol et végétation dans le massif de l'Edough, figure de la chaîne alpine de l'Algérie orientale. Revue Ecologie, p 207-214.
- YAKUBOV T.F.; 1969** – Some results of studies of the wind erosion of soils. Soviet Soil Science, 6: p 729-741.
- YOUSSOUF S. et AZONHOUME A. ; 1981** – Etude des sols du périmètre de la ferme de Massi-Lonmey, CENAP, Etude N° 242, 182 p.
- ZAHY F. ; 2008.-** La qualité des eaux et des sols de la région du lac Fetzara (Nord-Est d'Algérie).Mémoire de Magister, option:Géosciences.Université de Annaba, Institut de Géologie.122 p.
- ZENATI N. ; 1999** – Relation Nappes-Lac Fetzara ; Confirmation par l'hydrochimie cas de la plaine Ouest d'El Hadjar Lac Fetzara N-E Algérien. Mémoire de Magister, option : Chimie et Environnement. Université Badji Mokhtar Annaba, Institut de Chimie. ,151 p.
- ZID E. et BOUKHRIS M. ; 1977** – Quelques aspects de la tolérance de l'Atriplex halimus L. au chlorure de sodium. Multiplication, croissance, composition minérale. Oecol. Plant. 12 ,4 : p 351-362.

تعتبر بحيرة فذزارة منطقة محمية ضمن إتفاقية (رامسار) حيث تقع في الشمال الشرقي الجزائري على مسافة 18 كم جنوب شرق مدينة عنابة، تمتد على طول 17 كم من الشرق إلى الغرب و 13 كم من الشمال إلى الجنوب و تحدد مساحتها بـ 18600 هكتار.

أجريت العديد من البحوث و الدراسات على مياه و تربة هذه البحيرة منذ عام 1950 الوكالة اليابانية للتعاون الدولي، زناتي سنة 1999 ، بلحمره سنة 2001 حابس سنة 2006 جمعي سنتي 1993 و 2007 ، زاهي سنة 2008 بالإضافة إلى غيرها من الأعمال و البحوث التي كان لها عموما الهدف نفسه وهو: رصد درجة ملوحة المياه و معرفة مصدرها و العوامل المؤثرة فيها.

نهذف من خلال هذا العمل إلى معاينة درجة ملوحة المياه السطحية و الجوفية للبحيرة بالإضافة إلى الإطلاع على الخصائص الفيزيائية و الفيزيو كيميائية للتربة المهدهة بظاهرة الملوحة ولهذا الغرض قمنا بأخذ عينات من المياه السطحية و الجوفية للبحيرة و المناطق التي تحيط بها بالإضافة إلى الأودية الثلاثة التي تغذي البحيرة و هي: واد الحوت، واد المالح، واد زياد كذلك مياه واد مبعوجة (مخرج البحيرة) كما تم أخذ عينات للتربة و أجريت لها التحاليل مخبريا.

كما أن الهدف من خلال هذه الدراسة هو معرفة مختلف فصائل النباتات الطبيعية الموجودة بالمنطقة و دراسة العلاقة الموجودة بين التربة و الماء و النباتات. من خلال دراسة نتائج التحاليل المتوصل إليها و التي أجريت على المياه الجوفية و التربة فقد بينت وجود درجة ملوحة عالية خاصة في الجنوب الشرقي (بلدية الشرفة) و كذلك الشمال الشرقي لبحيرة فذزارة (بلدية واد زياد) .

#### **الكلمات المفاتيح:**

بحيرة فذزارة ، الملوحة ، المياه الجوفية و السطحية ، التربة ، النباتات.

## CARTOGRAPHIE DES RELATIONS SOL-EAU-VEGETATION

### **Résumé :**

Au Nord-Est de l'Algérie, se trouve le lac Fetzara à 18 km au Sud-Est de la ville d'Annaba. Il s'allonge sur 17 km d'Est en Ouest et sur 13 km du Nord au Sud avec une superficie d'environ 18600 ha, il a été officiellement classé comme une zone humide à protéger par la convention « Ramsar ». Le lac est affecté par le phénomène de salinisation, plusieurs études ont été effectuées sur les eaux et les sols de la région afin de suivre l'évolution de la salinité, et de mettre en évidence ses origines.

L'objectif de ce travail est de cartographier la salinité des eaux du lac Fetzara et de faire ressortir les relations : eau-sol-végétation dans cette région. Pour contrôler l'état actuel de la chimie des eaux superficielles et souterraines de la région du lac Fetzara et son évolution dans le temps et dans l'espace et pour évaluer les propriétés physico-chimiques des sols affectés par le phénomène de salinisation et d'étudier leur influence sur la localisation de la végétation. Un suivi de cinq mois a été réalisé (Janvier au Mai 2009).

On a effectué deux campagnes d'échantillonnage des eaux (Janvier et Février 2009), les analyses effectuées se rapportent aux eaux de surface à savoir : Oued Mellah, Oued El Hout et Oued Zièd (les entrées du lac Fetzara) et Oued Meboudja (vidange du lac) et aux eaux souterraines des nappes entourant le lac. Les deux campagnes d'échantillonnage de sol ont été réalisées durant le mois de Mai.

L'interprétation des résultats obtenus à partir des analyses effectuées sur les eaux et les sols, montre que la salinité est élevée, elle est plus importante au niveau de la région Sud-Est (commune de Cheurfa) et celle de la région Nord-Est du lac (commune de Oued Zièd).

**Mots clés :** Lac Fetzara, Cartographie, Salinisation, Eaux superficielles, Eaux souterraines, Sol, Végétation.