

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Biologique

Spécialité/Option: Santé, Eau et Environnement/ Hydro-écologie

Département: D'Ecologie et Génie de L'Environnement

Thème : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique de l'eau et du sol d'Ain Bergougaya (PNEK)

Présenté par :

- Haçainia Sassia
- Chouarfia Samiha
- Chaibe rassou Habiba

Devant le jury composé de :

Président: Ramdani.K	M.A.A	Université de Guelma
Examineur : Guettaf.M	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur : Ibn cherif.H	M.C.B	Université de Guelma
Membre : Rouibi.A	M.C.B	Université de Guelma
Membre : Zerguine.K	M.C.B	Université de Guelma
Membre : Derbel.N	M.C.B	Université de Guelma

Juin 2017

REMERCEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir modeste travail.

Nous remercions chaleureusement notre directrice de recherche Mme IBNCHERIF Hayette pour l'encadrement qu'elle a su nous apporter, pour sa sincérité et sa célérité. Son esprit d'analyse et sa curiosité intellectuelle nous ont beaucoup inspirée. Merci d'avoir accepté de nous accompagner dans cette recherche.

Je voudrais également remercier les membres du jury : Mr RAMDANI.K « M.A.A » à l'université de Guelma qui a bien voulu présider le jury et Mr GUETTAF.M « M.C. B » à l'université de Guelma pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions, Mr ROUIBLA « M.C.B » à l'université de Guelma, Mme ZERGUINE.K « M.C.B » à l'université de Guelma, Mme DERBEL.N « M.C.B » à l'université de Guelma pour avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail particulièrement : Mr BENSLAMA MOHAMED, Mme MERIEME, de l'université de Badji Mokhtar -Annaba.

DEDICACE

Je dédie ce mémoire en premier lieu à ceux qui m'ont donné la vie, qui m'ont été la source

De l'amour, de la tendresse, et du courage, qui m'ont soutenu durant 25 ans...A mes très

Chers parents :

Abderrahmane et Rahma...

En priant dieu jour et nuit qu'il les garde et les protège pour moi A ceux qui n'ont jamais cessé de me chérir et me soutenir : Mes frères fouade, hafid, abdelghani, hocine, abdenmour, ilyes, mohamed amine et seyf eddine.

A mes soeurs Zahra et souria pour leurs soutient moral, leurs affection et leurs encouragement.

A mes chères amies Habiba et Samiha.

A mon chère oncle M^{ed} taher pour le soutien moral.

Enfin à des personnes qui me sont très chères: Nour houda, Leyla, Nessrine, Asil, Nadjette, Nourssine, Safia, Hanene, Amina, Lamia, Hanine, Bochra, Selma, Nadia, Nabila, Nawel, Hayette, Warda, Hichem, Soufien, Abderrafaa et Abd elmouman.

Sassia

DEDICACE

Je dédie ce mémoire en premier lieu à ceux qui m'ont donné la vie, qui m'ont été la source

De l'amour, de la tendresse, et du courage, qui m'ont soutenu durant 23 ans...A mes très

Chers parents :

Abd El Madjid et Farida... et ma belle mère El ghalia et mon père Djamii.

En priant dieu jour et nuit qu'il les garde et les protège pour moi A ceux qui n'ont jamais cessé de me chérir et me soutenir : Mon frère Fouzi Ainsi qu'à mes sœurs Laila, Sonia, Najwa, Hayette, Sassia, Habiba, Meriem, a celui qui m'a offert le soutien moral, qui a été toujours présente pour moi.

A la lumière de ma vie, mon marié « Choukri».

A tous mes oncles, à toutes mes tantes et à tous mes cousins et toutes mes cousines

A toutes mes amies et collègues sans exception A tous ceux que j'aime, et à ceux qui m'aiment... de près ou de loin.

Samaha

DEDICACE

Je dédie ce mémoire en premier lieu à ceux qui m'ont donné la vie, qui m'ont été la source De l'amour, de la tendresse, et du courage, qui m'ont soutenu durant 25 ans...A mes très

Chers parents :

RACHID ET HAMIDA...et ma belle mère HOURIA et mon père LAKHEDAR.

Mon marié : AHMED

Ainsi qu'à mon seul sœur CHAIMA celui qui m'a offert le soutien moral, qui a été toujours présente pour moi, A mes chères amies ILHEM HADJER AMEL FATMA Wafa SASSIA SAMIHA KHADIDJA MERIEM SARA AMINE AKREM ET BILLEL.

A la lumière de ma vie, mon grand-mère MALIKA et mes tantes KARIMA HOUDA MERIEM ET FATMA ZOHRA.

A tous mes oncles, à toutes mes tantes et à tous mes cousins et toutes mes cousines.

A toutes mes amies et collègues sans exception A tous ceux que j'aime, et à ceux qui m'aiment... de près ou de loin.

Habiba

SOMMAIRE

Liste des tableaux

1. les principaux constituants du sol.....	03
2. Composition des couches du sol.....	05
3. Volume et pourcentage d'eau terrestre sous forme liquide, solide et gazeuse.....	11
4. Ressources hydriques en Algérie	14
5. besoins en eau des diverses cultures pendant la période de croissance	17
6. composition minérale de l'eau	18
7. Moyennes mensuelles des précipitations et des températures (1996-2007).....	25
8. Coordonnées GPS des Sites étudiés.....	27

Listes des figures

1. Schéma général du cycle de l'eau	10
2. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен pour la station d'El-Kala (1996-2007).....	26
3. photo représenter le site d'étude.....	26
4. Variation du pH selon les stations étudiées.....	32
5. Variation de la conductivité électrique selon les stations étudiées.....	33
6. Variation quantitative des matières en suspension selon les stations étudiées.....	34
7. Variation quantitative des résidus secs selon les stations étudiées.....	34
8. Variation de la concentration en ions chlorures selon les stations étudiées.....	35
9. Variation de la concentration en ions sulfates selon les stations étudiées.....	35
10. Variation de la concentration en ions Carbonates selon les stations étudiées.....	36
11. Variation de la concentration en ions bicarbonates selon les stations étudiées.....	37
12. Variation de la concentration en ions magnésium selon les stations étudiées.....	37
13. Variation de la concentration en ions calcium selon les stations étudiées.....	38
14. Variation du pH selon les stations étudiées.....	39
15. Variation de la conductivité électrique selon les stations étudiées.....	40
16. Variation de la concentration en ions chlorures selon les stations étudiées.....	40
17. Variation de la concentration en ions sulfates selon les stations étudiées.....	41
18. Variation de la concentration en ions Carbonates selon les stations étudiées.....	41
19. Variation de la concentration en ions bicarbonates selon les stations étudiées.....	42
20. Variation de la concentration en ions magnésium selon les stations étudiées.....	42
21. Variation de la concentration en ions calcium selon les stations étudiées.....	43
22. Variation de la concentration en ions carbone organique selon les stations étudiées.....	44

23. les résultats de l'analyse granulométrique du sol selon les stations étudiées.....44

Liste des cartes

1. carte de situation du bassin versant du Tonga..... 19

2. Carte de situation des sites d'études.....27

Liste des abréviations

A : Argile.

C° : degré Celsius.

Ca⁺²: Calcium.

C E : Conductivité électrique.

Cl : Chlorure.

cm : centimètre.

C org : Carbone organique.

E : Est.

F⁻ : Fluorure.

Fe⁺²: Fer ferreux.

GPS : Global Positioning System.

HCO₃⁻: Bicarbonate.

K⁺: Potassium.

l : litre.

LF : Limon fine.

LG : Limon grosse.

MES : Matière en suspension.

Mg⁺²: Magnesium.

mg : milligramme.

mm : millimètre.

Na⁺: Sodium.

N : Nord.

NE : Nord Est.

NH₄⁺ : Ammonium.

NO : Nord Ouest.

NO₃⁻ : Nitrate.

P : Précipitation.

PNEK : Le Park National d'El Kala.

PO₄⁻ : Phosphate.

S : Sable.

SO : Sud Ouest.

SO₄⁻² : Sulfate.

T : Température.

μS : micro Siemens.

SAU : surface agricole utilisé.

SOMMAIRE

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des cartes

Liste d'abréviations

INTRODUCTION

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE SOL

1.1. Définition et description.....	01
1.2. Les constituants du sol.....	01
1.2.1. La phase solide.....	01
1.2.2. La phase liquide.....	02
1.2.3. La phase gazeuse.....	02
1.3. Les caractéristiques du sol.....	04
1.3.1. Caractéristiques physique.....	04
1.3.1.1. La texture.....	04
1.3.1.2. La structure.....	04
1.3.1.3. La porosité.....	04
1.3.1.4. L'atmosphère du sol.....	04
1.3.1.5. L'aération du sol.....	05
1.3.2. Caractéristiques physicochimiques.....	05
1.3.2.1. Le pH.....	05
1.3.2.2. Le complexe absorbant.....	05
1.4. La solution du sol.....	06

1.5. La biodiversité du sol.....	06
1.5.1. Micro-organismes.....	06
1.5.2. Microfaune.....	06
1.5.3. Mésofaune.....	06
1.5.4. Macrofaune.....	06
1.5.5. Mégafaune.....	07
1.6. Dynamique du sol.....	07
1.7. Les fonctions naturelles du sol.....	07
1.8. Les sols forestiers.....	08

CHAPITRE II : GENERALITES SUR L'EAU

Introduction.....	09
2.1. Le cycle de l'eau.....	09
2.2. Etat et répartition de l'eau dans le monde.....	10
2.2.1. Les ressources hydriques.....	12
2.3. Situation actuelle des ressources en eau en Algérie.....	13
2.4. Utilisation des eaux.....	16
2.4.1. Usage agricole.....	16
2.4.2. Usage domestique.....	17
2.4.3. Usage Industriel.....	17
2.4.4. Usage municipal.....	17
2.5. La composition minérale de l'eau.....	18

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

3.1. Présentation de la zone d'étude.....	19
---	----

3.1.1. Localisation géographique.....	19
3.1.2. Géologie.....	20
3.1.3. La géomorphologie	20
3.1.4. Le réseau Hydrographique.....	21
3.1.5. La couverture pédologie.....	21
A. Sols zonaux.....	21
B. Sols azonaux.....	23
3.1.6. Végétation.....	24
3.1.7. Caractéristiques climatiques.....	25
3.2. Présentation des sites d'étude.....	26
3.3. Méthodes d'échantillonnage.....	28
3.3.1. L'eau.....	28
3.3.1.1. Méthodes de prélèvement.....	28
3.3.1.2. Méthodes d'analyses.....	28
3.3.1.2.1. Examens préliminaires.....	28
3.3.1.2.2. Mesures physico-chimiques.....	29
3.3.1.2.3. Mesures chimiques.....	29
3.3.2. Le sol.....	30
✓ pH eau.....	30
✓ pH kcl.....	30
✓ Conductivité électrique.....	30
✓ Les carbonates et les bicarbonates	30
✓ Les chlorures	30
✓ Les sulfates	30
✓ Le carbone organique.....	30
✓ Le Calcium et le Magnésium.....	31

✓ La granulométrie.....	31
-------------------------	----

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats des analyses physicochimiques de l'eau.....	32
3.1.1. Mesure du pH.....	32
3.1.2. Mesure de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	32
3.1.3. Mesure des matières en suspension (mg/l).....	33
3.1.4. Mesure des résidus secs (mg/l).....	34
3.1.5. Mesure des chlorures (Cl^-).....	35
3.1.6. Mesure des Sulfates (SO_4^{2-}).....	35
3.1.7. Mesure des carbonates (CO_3^{--}).....	36
3.1.8. Mesure Bicarbonates (HCO_3^-).....	36
3.1.9. Mesure du magnésium (Mg^{++}).....	37
3.1.10. Mesure du Calcium (Ca^{++}).....	38
3.2. Résultats des analyses physicochimiques (du sol).....	39
3.2.1. Mesure du pH.....	39
3.2.2. Mesure de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	39
3.2.3. Mesure des chlorures (Cl^-).....	40
3.2.4. Mesure des Sulfates (SO_4^{2-}).....	41
3.2.5. Mesure des carbonates (CO_3^{--}).....	41
3.2.6. Mesure Bicarbonates (HCO_3^-).....	42
3.2.7. Mesure du magnésium (Mg^{++}).....	42
3.2.8. Mesure du Calcium (Ca^{++}).....	43
3.2.9. Mesure du Carbone organique (C org).....	43

3.2.10. L'analyse granulométrique.....44

CONCLUSION GENERALE

Résumé

Abstract

الملخص

Références bibliographiques

**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

Introduction générale

L'Algérie du Nord possède un véritable potentiel forestier qu'il est possible de mettre en valeur aussi bien pour la production de ressources ligneuses destinées au développement industriel et économique du pays que pour la protection de l'environnement et mêmes à des fins sociales à proximité des centres densément peuplés.

La relation sol végétation est souvent complexe. Elle est basée sur l'existence des échanges mutuels, ou le sol joue un rôle d'un support de végétation et c'est à partir du sol que les plantes puisent les éléments minéraux indispensable pour l'accomplissement de leur cycle vital, à la fin de ce cycle la plante retourne au sol sous forme de matière organique fraîche appelé litière.

Au contact du sol, cette dernière va subir une décomposition plus ou moins rapide ou plusieurs intervenant vont prendre part notamment les microorganismes.

Bien que la matière organique soit un composant mineur des sols, elle est l'un des principaux composants du sol. Elle s'avère l'élément caractéristique pour un sol en terme de productivité et ceci dû aux multiples effets qu'elle génère.

Le but de notre recherche est de caractériser (l'eau et le sol forestier sous chêne zeen.

Cette étude a été conduite au niveau de la forêt d'Ain Bergougaya, dans la Wilaya d'El Taref au Nord-est de l'Algérie.

Quatre stations ont été prélevées selon un transect Sud Ouest-Nord est les résultats obtenus sont consignés dans le document qui s'organise en quatre chapitres.

Dans le premier chapitre nous avons présenté le sol, et dans le deuxième chapitre nous présentons l'eau, dans le troisième chapitre nous présentons le matériel et les méthodes d'études et dans le quatrième chapitre les résultats et discussion. Et nous terminons notre travail par une conclusion.

CHAPITRE I :
GÉNÉRALITÉ SUR
LE SOL

1.1. Définition et description

Le sol est une formation de la surface, il constitue l'élément essentiel des biotopes propres aux écosystèmes continentaux. Leur ensemble dénommé pédosphère, résulte de l'interaction de deux compartiments biosphérique : l'atmosphère et les couches superficielles de la lithosphère (Manneville *et al*, 1999).

La formation des sols présentent un processus complexe consistant la transformation des roches mères par l'effet conjugué des facteurs climatiques et des facteurs biotiques (flore et faune de sol). L'altération de ces derniers commence par un phénomène de désagrégation physique provoqué par l'action des facteurs climatiques, à laquelle s'ajoute ultérieurement la fracturation du substratum rocheux par les racines des végétaux.

Un processus de décomposition chimique lui fait suite, induit par lessivage qu'effectuent les eaux d'infiltration chargées de substances dissoutes conduites à l'élaboration d'un mélange intime de la matières minérales et organiques. C'est pour cela le sol est considéré comme un réacteur biogéochimique interactif et un constituant multiphasiques. Le sol est la couche supérieure de la croute terrestre de structure meuble et d'épaisseur variable, plus ou moins colorée par l'humus. Résultant de la transformation lente et progressive de la roche mère sous-jacente. Sous l'influence de facteurs physique, chimique et biologique (Manneville *et al*, 1999).

1.2. Les constituants du sol

Selon (Buttler, 1992), un volume de sol est constitué d'éléments solides, liquides et gazeux (Tableau n°1) :

1.2.1. La phase solide : Elle comporte des éléments minéraux et organiques :

Les éléments minéraux résultent directement de la désagrégation mécanique et de la décomposition chimique des roches du substratum ou des matériaux apportés, alluvions, colluvions et dépôt éoliens, en distingue ainsi : les sables (2mm-50µm), les limons (50µm-20µm) et les argiles (<2µm).

Les proportions de ces dernières définissent la texture du sol et les façons dont sont assemblées ces particules élémentaires représentent la structure.

Les éléments organiques du sol sont constitués par des débris organique : débris animaux (détrit, cire,...), débris végétaux (feuilles, rameaux, racines tronc d'arbres) qui constituent la plus grande masse.

1.2.2. La phase liquide

C'est le volume qui remplit partiellement ou totalement les espaces libres (pores) compris entre les particules solide du sol. Il est composé d'eau et de substances minérales ou organiques soluble dans l'eau. La présence de l'eau dans le sol est une importance fondamentale pour les raisons diverses à savoir : **(Roland, 1988)**.

- L'eau est la condition obligatoire pour l'existence l'édaune pour le ravitaillement de la végétation.
- L'eau est l'élément essentiel pour la fertilité de sol, car leur présence rend possible des réactions chimique entre divers constituants du sol, et la naissance des néoformations des molécules soit minérales ou organiques.
- L'eau constitue l'unique solvant dans le sol et elle est l'unique transporteur de substance divers. Seul le mouvement de l'eau cause la translocation des substances tant dissoutes qu'en suspension.

1.2.3. La phase gazeuse

Elle occupe les espaces libres laissés entre les particules solide du sol et qui ne sont pas remplie par la phase liquide, la phase gazeuse est composée de gazes de même que l'air : vapeur d'eau et de O_2 , CO_2 , N . Ces gazes provenant de l'altération des roches, de la décomposition des matières organiques et des apports par l'homme.

Ces constituants du sol s'organisent, au fur et à mesure qu'on passe à des niveaux d'organisation supérieure en agrégats **(Roland, 1988)**.

Tableau n°1 : les principaux constituants du sol (Buttler, 1992).

origine	Constituants solides		Constituants liquide	Constituants gazeux
	Minéral	organique		
	-Dégradation physique et altération biochimique des roches.	Décomposition des êtres vivants.	-Précipitation nappes ruissellement.	-Air hors sol matière en décomposition respiration.
Critères de classement	-Taille granulométrie. -Qualité minéralogie.	-Etat (vivant, mort) -Qualité chimique (original,transformé)	-origine (météorique, phréatique) -état physique (potentiel hydrique) -qualité chimique	-Origine (air, organisme) -Qualité chimique
catégorie	Selon granulométrie -squelette supérieur à 2mm -terre fine <2mm Solon minéralogie -Quartz Minéraux silicaté -min, carbonatés.	-Organismes vivants -Organisme morts -Mo héritées : cellulose, lignine, résine -Mo humifère acide fulvique, humique et humine.	-Eau -Substance dissoutes glucides, alcools, acide organique et minéraux, cation et anion.	-Gaz de l'air : N ₂ , O ₂ , CO ₂ -Gaz issu de la respiration et de la décomposition des organismes : CO ₂ , H ₂ , NH ₃ , CH ₄

1.3. Les caractéristiques du sol

1.3.1. Caractéristiques physique

1.3.1.1. La texture

C'est la composition granulométrique du sol c'est-à-dire la proportion de chaque un de ses constituants solide qui ont des tailles différentes. Elle dépend de la nature des fragments de la roche mère ou des minéraux provenant de sa décomposition qui renferme la fraction minérale. L'analyse granulométrique permet de distinguer des éléments grossiers : caillou (supérieure à 2mm), gravier (2 à 20mm), des éléments fins : sable (2mm à 20 μ m), la limite inférieure des sables étant aussi 50 μ m dans certaines classifications de la granulométrie et limon (entre 20 μ m ou 50 μ m), argile (<2 μ m).

1.3.1.2. La structure

C'est le mode d'organisation de différentes particules du sol. Les particules isolées une fois assemblées apparaissent comme des particules plus grosses « grumeaux » il existe plusieurs types de structures : granuleuse, anguleuse, prismatique et lamellaire.

1.3.1.3. La porosité

La porosité d'un horizon est une notion essentielle pour tout ce qui concerne la réserve en eau, la circulation des fluides (eau et air) et les possibilités d'enracinement. Malheureusement ses composants (volume, dimension, organisation des vides) ne sont pas véritablement accessibles à la description macromorphologique sur le terrain, la porosité ne peut être approchée et quantifiée sérieusement que par des techniques physiques appropriées (mesure au laboratoire) ou par des observations et mesures sur lames minces (micro-morphologie et analyse d'image) en évitant les artefacts liés au dessèchement des échantillons (**Benslama et al, 1998**).

1.3.1.4. L'atmosphère du sol

Quand les pores ne sont pas pleins d'eau, l'air du sol est confiné, les parties solides gênent les échanges avec l'air extérieur. La porosité du sol et sa distribution conditionnent donc en grande partie, les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère (**Tableau n°2**).

Malgré les difficultés de sa mesure on constate que la composition de l'air du sol n'est pas la même que celle de l'air ambiant (**Benslama, 1996**).

Tableau n°2 : Composition des couches du sol (Benslama, 1996).

constituant	Air du sol %	Atmosphère extérieur
O ₂	18 à 20,5 en sol bien aéré. 10 après une pluie.	21
N ₂	78,5 à 80	78
Gaz carbonique	0,2 à 3,5 5 à 10 dans la zone autour des racines.	0,03

1.3.1.5. L'aération du sol

Est un phénomène plus complexe du fait de la nature de système poreux dont les cavités sont occupées en proportion fluctuants par de l'eau et de l'air. Tant qu'une aération suffisante assure une libre circulation de l'oxygène dans le sol, une asphyxie ni des micro-organismes ni des racines à craindre, l'activité respiratoire assurée moralement (**Duchaufour, 1977**).

1.3.2. Caractéristiques physicochimiques

1.3.2.1. Le pH

Le pH notion importante mesure l'acidité du sol dans une échelle de 1 à 14, un milieu est neutre quand son pH est de 7. En dessous, il est acide, au-dessus, il est basique ou alcalin. Les sols calcaires sont en général basiques, alors que les sols sableux ou très riches en matières organiques sont plutôt acides. La plupart des plantes s'accommodent d'un pH autour de la neutralité (de 6° à 7,5) certains exigent cependant une terre acide (plantes acidophiles) ou au contraire calcaire (**Duchaufour, 1977**).

1.3.2.2. Le complexe absorbant

On désigne par l'expression complexe absorbant, l'ensemble de colloïdes (au sens large du terme, compose humique et argileux), dotes de charges négatives susceptible de retenir les cations sous la forme dite échangeable, c'est-à-dire pouvant être remplacés par d'autre cations, dans certaines condition précises (**Duchaufour, 2001**).

1.4. La solution du sol

La réserve en eau du sol assure la quasi-totalité des besoins en eau de la plante : selon les espèces végétales, il faut de 250 à 800 litres d'eau pour un kilo de matière organique sèche. Par ailleurs l'eau dissout les éléments nutritifs pour constituer la solution du sol. L'alimentation des végétales s'effectue à partir de la solution du sol.

Elle assure la lixiviation des cations lors de la pédogénèse elle est le siège de nombreux processus de solubilisation, ou d'in solubilisation par apport aux constituants solides qui traduisent souvent une évolution à long terme.

1.5. La biodiversité du sol

L'activité biologique du sol est étroitement liée à la biomasse, c'est-à-dire la quantité de la matière organique vivante présente dans le sol.

1.5.1. Micro-organismes

Les micro-organismes du sol sont représentés par les Bactérie, les actinomycètes, les champignons et parfois aussi les protozoaires (organismes unicellulaires). Le rôle que jouent ces micro-organismes est déterminant dans le fonctionnement du sol notamment le recyclage des éléments biogènes.

1.5.2. Microfaune

Ce groupe est composé par des animaux pluricellulaires microscopiques tels que les nématodes intervenant dans les processus de décomposition de la matière organique du sol.

1.5.3. Mésofaune

Organismes dans la taille est comprise entre quelque centaines de microns et 2 millimètre comme les acariens et les collemboles. Ils jouent un rôle clé dans l'amélioration de la structure du sol.

1.5.4. Macrofaune

Animaux facilement visibles à l'œil nu comme les vers de terre. Connu sous le nom des ingénieurs du sol.

1.5.5 .Mégafaune

Ce groupe est représenté par des animaux de très grande taille telle que les rongeurs (Benslama *et al*, 1998).

1.6. Dynamique du sol

La raison de la fragilité des sols est leur dynamique. En effet, loin d'être stables et immuables, les sols changent rapidement et connaissent, comme les êtres vivants trois phases dans leur dynamique : une naissance, maturité et une mort. Du fait de cette dynamique, toute action entreprise sur un sol le modifiera soit en accélérant ou en bloquant une de ces étapes (Duchaufour, 1977).

1.7. Les fonctions naturelles du sol

Le sol a de nombreuses fonctions, il est un milieu biologique dans lequel se développent les êtres vivants. Ce développement va dépendre de la quantité de ce sol ou de la fertilité « quantité de carbone et azote, et capacité d'échange cationique, etc. ». Il est aussi un acteur déterminant du cycle de l'eau « stockage et régulation » et de la quantité de cette eau « source de pollution, capacité de rétention des polluants mais aussi biodégradation de ceux-ci ». Mais le sol joue un rôle prédominant dans le cycle biogéochimique (Duchaufour, 1977).

- Fonction de production : rendement de haute quantité adaptée au site.
- Fonction de transformation : transformation efficace des éléments nutritifs en rendements.
- Fonction de décomposition : décomposition et transformation sans entraves des résidus végétaux et animaux pour refermer le cycle des éléments nutritifs.
- Fonction d'habitat : lieu de vie pour une flore et une faune active et diversifiées.
- Fonction d'autorégulation : ne pas de tout ou ne pas durablement se laisser sortir d'eau équilibrée saine. Par exemple en « digérant » de manière efficace les organismes pathogènes présents dans le sol ou en éliminant ceux qui arrivent.
- Fonction de filtre, de tampon et de stockage : Retenir et dégrader la pollution, stocker les éléments nutritifs et le CO₂ dans le sol (Duchaufour, 1977).

1.8. Les sols forestiers

Sont occupés pendant des dizaines d'années par un peuplement permanent qui rend difficiles les interventions sur ce même sol. De plus, ce même peuplement gêne la circulation des engins, et donc les apports en engrais et en amendement. Aussi il est plus facile de choisir une espèce adaptée au sol à mettre en valeur que d'adapter le sol à l'essence.

Le sol doit :

- Permettre une alimentation en eau suffisante en tout temps.
- Permettre d'avoir toujours une partie des petites racines qui ne soient pas noyées dans l'eau pendant de longues périodes.
- Avoir suffisamment d'éléments nutritifs pour nourrir la plante.
- Ne pas contenir de substances toxiques.

Ceci implique un examen du sol avant toute plantation pour vérifier si l'alimentation en eau est satisfaisante, à l'aide d'une pelle ou une tarière, par contre l'analyse chimique des sols est complexe, il faut mieux utiliser un catalogue des stations forestières pour apprécier efficacement la richesse en éléments nutritifs d'un sol (**Duchaufour, 1977**).

CHAPITRE II :
GÉNÉRALITÉ SUR
L'EAU

Introduction

L'eau est un élément essentiel, indispensable à la vie des êtres vivants et surtout à celle de l'Homme. Elle est certainement la substance qui nous est la plus familière. La terre est une "planète bleue" qui, vue de l'espace, apparaît couverte par les océans et par les neiges. Même la biosphère, dont nous faisons partie, est composée principalement de l'eau, puisqu'elle représente 70% de la masse totale des organismes vivants **(Teixeira, 2006)**.

L'eau n'est pas seulement une source d'oxygène et d'hydrogène mais elle est le constituant le plus abondant des êtres : l'homme en contient 60% de son poids, un végétal jusqu'à 95%, les graminées des prairies en contiennent 79% **(Duvignaud, 1980)**.

Source et milieu de vie, solvant de lavage et de transport de minéraux, régulateur thermique, l'eau possède des propriétés remarquables et essentielles à tous les êtres vivants et au maintien des propriétés environnementales de la planète **(Ngo et Regent, 2004)**.

2.1. Le cycle de l'eau

La quantité totale d'eau existante dans le monde est de l'ordre de grandeur de 1350 millions de Km³, dont plus de 97% constituent la masse des océans. Toute eau vient des océans et y retrouve tôt ou tard, par un cycle hydrologique continu **(Duvignaud, 1980)**.

Le cycle de l'eau est la suite des procès autorisant le passage de l'eau d'un état à l'autre et d'un endroit à l'autre **(Touchart, 2003)**. Ce cycle naturel en perpétuel mouvement, impliquant toutes les composantes de la synthèse climatique globale, l'atmosphère, les océans, les terres immergées et la biosphère continentale **(Drissi, 2008)**.

L'eau sous ses différents états physiques (gazeux, liquide, solide) suit un vaste cycle dans la nature **(Figure n°1)**.

✓ Evapotranspiration

C'est la somme des pertes par transformation de l'eau en vapeur **(Boeglin, 2006)**. Sous l'action du soleil, l'eau de mers, des lacs et des rivières s'évaporent. Les végétaux transpirent et rejettent eux aussi de la vapeur d'eau **(Drissi, 2008)**.

✓ Précipitations

La vapeur d'eau atmosphérique se condense en nuages qui engendrent des précipitations sous forme de pluies, de neige ou de grêles. Les précipitations qui constituent l'origine de

presque toutes nos réserves en eau douce, sont variables d'une région à l'autre suivant le climat et le relief qui sont des facteurs essentiels (Boeglin, 2006).

✓ **Ruissellement**

Parvenue sur le sol, une partie des précipitations s'écoule à la surface vers le réseau hydrographique et les étendues d'eau libre (lacs, mers), c'est le ruissellement de surface (Boeglin, 2006).

✓ **Infiltration**

Une partie des précipitations pénètre dans le sol et le sous-sol (Boeglin, 2006). L'infiltration joue un rôle essentiel dans les écosystèmes terrestres puisqu'elle permet la réhydratation des sols. Elle assure aussi l'alimentation des nappes phréatiques et des rivières souterraines (Geny *et al*, 1992).

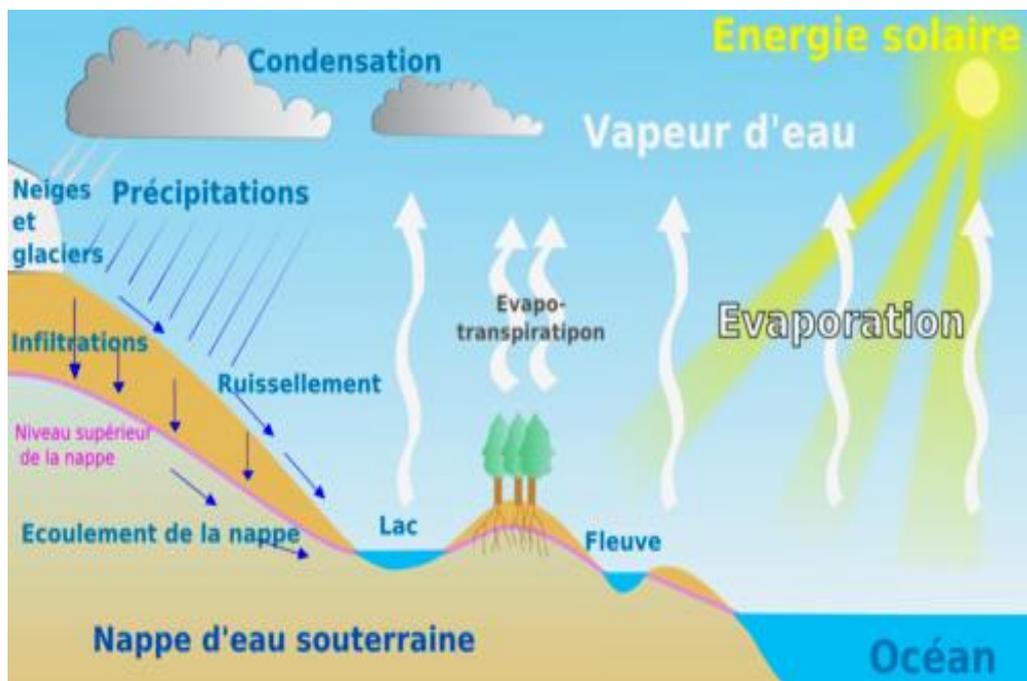


Figure n°1 : Schéma général du cycle de l'eau.

2.2. Etat et répartition de l'eau dans le monde

L'eau constitue une ressource très mal répartie à l'échelle de la planète, ces inégalités dépendent évidemment du climat, notamment des précipitations et des écoulements qu'elles engendrent, (Tableau n° 3) on peut ajouter également un déséquilibre lié au développement des populations humaines et de leurs activités (Rouyrre, 2003). Ainsi 9 pays

partagent 60% des ressources renouvelables d'eau douce dans monde : le Brésil, la Russie, les Etats Unies, le Canada, la Chine, l'Indonésie, l'Inde, la Colombie et le Pérou, tandis que certains ne disposent que de ressources extrêmement faibles.

Tableau n°3 : Volume et pourcentage d'eau terrestre sous forme liquide, solide et gazeuse.

(kettab, 1992)

	Volume (Km3)	(%)
Océans	1 348 000 000	97,39
Icebergs, glaciers	27 820 000	2,01
Nappe, humidité du sol	8 062 000	0,58
Lacs, rivières	225 000	0,02
atmosphère	13 000	0,001
Total	1 384 120 000	100,00
Eau douce	36 020 000	2,60

L'eau recouvre près de 70 % de la surface de la terre (dont 97 % est salée), essentiellement sous forme d'océans, mais aussi trouvée dans toutes sortes d'étendues d'eau, telles que les mers, les lacs, et les cours d'eau comme les fleuves, les rivières, les torrents, les canaux ou les étangs. La majorité de l'eau sur terre est de l'eau de mer.

L'eau est également présente dans l'atmosphère en phase liquide et vapeur. Elle existe aussi sous forme d'eaux souterraines et aquifères (**Anonyme, 2**).

L'eau est indispensable pour la survie et pour le développement de la société moderne (**Kettab, 1992**). Son importance dans l'économie humaine ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient ainsi de plus en plus difficile, tant en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie, que du développement accéléré des techniques industrielles modernes, sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne (**Rodier, 1975**).

Les eaux douces et océaniques sont devenues un réceptacle de pollutions multiples – chimiques, organiques, radioactive, microbiologique – et d'origines variées: urbaines, industrielles, agricole (**Koller, 2004**).

Nous ne trouvons pas l'eau qui répond aux paramètres qualitatifs exigés pour l'eau potable, (**Kettab, 1981**). On est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes, à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface. Parallèlement des recherches des eaux souterraines se sont développées, les méthodes de recyclage, et maintenant on se préoccupe de plus en plus de dessalement de l'eau de mer. Simultanément, les causes de pollution se sont

étendues ; celle-ci est devenue plus massive, plus variée, plus insidieuse, ce qui a fait écrire que « le temps des rivières est finis, celui des égouts commence » (**Rodier, 1975**).

2.2.1. Les ressources hydriques

L'hydrosphère est l'enveloppe aqueuse de la terre, autrement dit la partie de l'enveloppe qui est avant tout constituée d'eau : les océans, les lacs, les cours d'eau, les nappes phréatiques, la glace polaire et les glaciers. Les 3 % de l'hydrosphère se trouvent sur les continents sous forme de glace, de neiges, des lacs, de fleuves ou de nappes phréatiques et plus de 95 % de l'eau se trouve dans les océans (**Bliefert et Parraud, 2001**).

❖ Les sources d'approvisionnement en eau

L'eau est également un problème crucial ce qui explique qu'historiquement beaucoup de villes ont été construites au bord d'une rivière. Il faut environ 1 litre d'eau par personne et par jour pour survivre mais, dans les pays développés, on utilise des volumes bien plus considérables pour aller jusqu'à plusieurs mètres cubes par habitant et par jour si on additionne tous les usages individuels, industriels et agricoles de l'eau (**Ngo et Regent, 2004**).

❖ Les eaux de pluies

Les eaux de pluies peuvent être collectées à partir des toitures des maisons dans des récipients ou dans des impluviums. A l'origine ces eaux sont pures sur le plan microbiologique, mais sur le plan chimique, il leur manque souvent certains éléments indispensables à la santé comme le sodium, le magnésium, le manganèse, le fer et l'iode (**Coulibaly, 2005**).

❖ Les eaux de surface

Les eaux de surface se répartissent en eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (**Boeglin, 2006**). Elles se forment à partir, soit de l'émergence de nappes profondes en source, soit du rassemblement des eaux de ruissellement (**Cardot, 1999**).

- Ces eaux se rassemblent en cours d'eau caractérisés par une surface de contact eau - atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (**Boeglin, 2006**).
- Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs, lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau atmosphère quasiment immobiles, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé (**Boeglin, 2006**).

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants (**Monod, 1989; Boeglin, 2006; Habila, 2008**). Elles sont généralement riches en gaz dissous (**Cardot, 1999**).

Ce qui caractérise les eaux superficielles sont :

✎ Les variations saisonnières et à un degré moindre, journalières des paramètres physiques : température, turbidité et coloration. Les concentrations en matières solides finement dispersées ou à l'état colloïdal peuvent être importantes.

✎ Le développement plus ou moins important du phytoplancton (algues), de zooplancton et dans certaines conditions d'une vie aquatique intense.

✎ La présence fréquente de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux après leur mort.

✎ La fragilité de la ressource, très vulnérable à la pollution urbaine, industrielle et agricole, on y rencontre par suite très souvent une micropollution minérale ou organique pouvant avoir un caractère toxique ainsi que des substances azotées et phosphatées à l'origine des phénomènes d'eutrophisation (**Boeglin, 2006**).

Elles sont généralement des eaux de moins bonne qualité microbiologique et chimique, elles sont contaminées et doivent être correctement traitées avant tout usage domestique (**Drissi, 2008**).

❖ **Les eaux souterraines**

Ce sont les eaux qui ne sont ni ré évaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans le sol et dans le sous-sol et s'y accumulées (**Boeglin, 2006**). Les eaux souterraines représentent 60% des eaux continentales, leur écoulement est estimé à 12000 milliards de m³/an, soit 30% du débit des fleuves. Leur renouvellement total est de 5000 ans en moyenne et de 300 ans pour les nappes superficielles les plus vives (**Roux, 1995**).

Elles représentent une part importante du cycle de l'eau et participent de ce fait aux équilibres naturels. Elles constituent également une formidable ressource renouvelable, exploitée pour l'approvisionnement en eau potable, l'usage industriel ou agricole (**Bensaoula et al, 2007**).

2.3. Situation actuelle des ressources en eau en Algérie

En Algérie, les ressources en eau douce sont rares et vulnérables et la disponibilité en eau potable par habitant est en décroissance inquiétante (**Tamrabet et al, 2002; Saghir et al ,2000 in Tamrabet, 2011; Bouziani, 2000**). Les ressources en eau

existantes sont menacées par une pollution du fait de concentration des rejets d'eaux urbaines et industrielles dans les milieux récepteurs (Mre, 2001; Kettab, 2001). Elles sont limitées et inégalement réparties, une pluviométrie totalise un volume annuel de 12,4 milliards de m³, essentiellement réservée à l'Algérie du Nord, les eaux de surface sont en outre inégalement réparties au niveau du Nord de l'Algérie, car elles diminuent de l'Ouest en Est et ne sont par ailleurs que très partiellement mobilisables (Mat, 2000).

Pour une population de 35 millions d'habitants, les ressources renouvelables en eau sont de 550 m³/an/habitant (Medkour, 2002), cette moyenne est très faible comparée à la moyenne des pays du Moyen Orient et de l'Afrique du Nord (MENA) qui est de 1 250 m³ ou à la moyenne mondiale qui est de 7 500 m³ (Faruqui, 2003). Le seuil de la rareté de l'eau est de 1000 m³/an/habitant, de ce fait, l'Algérie est un pays où l'eau est rare.

Dans ces conditions déficitaires en ressources en eau, le secteur de l'agriculture est le plus gros demandeur en eau.

Il est noté qu'en 2006, 900 000 ha soit 10.5% de la SAU sont irrigués, (Tableau n°4) 78% de cette superficie l'est avec des eaux souterraines et 13% avec des eaux superficielles (Baghdali, 2007).

Tableau n°4 : Ressources hydriques en Algérie. (Bouziyani, 2000)

	Eaux mobilisables (%)	Eaux mobilisées (%)
Eau de surface	5,7	1,8
Eau souterraine	6,5	2,1
Total	12,2	3,9

A la suite des sécheresses graves et prolongées, les ressources en eau ont fortement diminuées ces vingt dernières années. Il y a des pénuries d'eau chronique et saisonnières aiguës dans la plupart des pays d'Afrique. La demande en eau augmente rapidement du fait de l'accroissement de la population, de l'urbanisation, de l'industrialisation et des besoins pour l'irrigation (Bahmed *et al*, 2004).

En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré.

Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées et, compte tenu des problèmes démographiques et de l'occupation de l'espace (Boudjaja *et al*, 2002).

Les ressources en eau disponibles en Algérie sont évaluées à 19300 millions de m³ par an, dont 12400 millions de m³ constituent l'eau de surface et 6900 millions de m³ l'eau souterraine. Selon les normes mondiales (le seuil de rareté de l'eau se situant à 1000 m³/an/habitant), l'Algérie est un pays qui souffre de la rareté de l'eau. L'irrigation agricole est le principal secteur consommateur d'eau, suivi par les secteurs municipaux puis industriels (**Boudjaja et al, 2002**).

En termes de ressources mobilisables, l'Algérie dispose d'un plafond annuel de 11,5 milliards de m³ qui se répartissent comme suit :

➤ Mobilisation des eaux de surface (barrages) : 4,7 milliards de m³.

Exploitation des nappes souterraines : 1,8 milliards de m³ (pour le nord de l'Algérie) et 5 milliards de m³ (pour le sud de l'Algérie), soit un total de 11,5 milliards de m³ (**Bahmed et al, 2004**).

❖ L'eau de surface

Les eaux de surface sont assez variables du fait des périodes de sécheresse tant chroniques qu'occasionnelles et ont des incidences différentielles sur les différents bassins d'eau.

La moyenne de l'eau de surface est évaluée à 12400 millions de m³ pour la période allant de 1910 à 1993. Les ressources en eau de surface sont mal réparties dans l'espace. On estime qu'environ 95% des ressources en eau de surface se trouvent au Nord tandis que seulement 5% des ressources sont au Sud (**Boudjaja et al, 2002**).

En plus de la faible quantité d'eau reçue par nos barrages à cause de la sécheresse qui a touché le pays depuis une vingtaine d'année, cette quantité se trouve menacée par trois problèmes hydrauliques majeurs qui sont l'évaporation intense, l'envasement accéléré et les fuites d'eau surtout à travers les appuis (**Toumi et Remini, 2002**).

❖ Les eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent généralement une excellente source d'approvisionnement en eau potable (Rouleau et Rasmussen, 2006). L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile (**Abdelbaki et Boukli, 2007**).

Les 6900 millions de m³ des ressources estimées en eau souterraine (dont 4900 millions de m³ exploitable à partir de nappes faiblement renouvelables) sont divisées entre le Nord et le Sud.

Contrairement à l'eau de surface, la plus grande partie des eaux souterraines est concentrée au Sud. On rapporte que 73% environ (5000 millions de m³) du total des ressources disponibles en eau souterraine se trouve au Sud, alors que 27% (1900 millions de m³) seulement se trouvent au Nord du pays (**Abdelbaki et Boukli, 2007**).

2.4. Utilisation des eaux

On peut diviser l'utilisation de l'eau en 2 catégories: utilisation non consommatrice de l'eau, qui laisse l'eau sur place comme par exemple : la pêche, les habitats fauniques, la production d'énergie hydro-électrique et les loisirs (baignade)... Mais dans d'autres, elle est consommée et ne peut donc être retournée (prélèvements qui retirent l'eau de son milieu naturel), comme l'alimentation en eau potable et c'est le cas notamment de l'irrigation, des utilisations ménagères et municipales, la production d'énergie et des activités de transformation (**Anonyme 1**).

2.4.1. Usage agricole

Les agriculteurs se fient le plus souvent aux sources naturelles locales, plus qu'aux systèmes publics de distribution, (**Masschelein, 1996**). La majeure partie des prélèvements mondiaux est destinée à l'irrigation celle-ci est une pratique très ancienne connue depuis l'Antiquité. Aujourd'hui dans le monde environ 15% des terres arables sont irriguées et cette proportion est beaucoup plus élevée dans certains pays comme le Pakistan (plus de $\frac{3}{4}$) et l'Egypte (**Rouyrre, 2003**). L'irrigation aura pour effet de relever le niveau de production des terres et d'atténuer ou d'éliminer les aléas inhérents aux variations du climat et dans une certaine mesure aux autres particularités naturelles. L'inconvénient de l'eau d'irrigation est son incapacité à servir à d'autres usages (**Faby, 1997 ; Rouyrre, 2003**). Les plantes se servent de l'eau pour développer leurs tissus à l'aide du processus de la photosynthèse et pour régulariser leur température, elles agissent à la manière des pompes tirant l'eau du sol et l'acheminant vers les feuilles, (**Tableau n°5**) d'où elle s'évapore dans l'atmosphère, ainsi les variations de la quantité de l'eau du sol qu'utilisent les plantes se déterminent selon le type de la plante, la quantité de l'eau dans le sol pouvant être absorbée, ainsi que la quantité de l'eau que l'atmosphère peut tirer des plantes et du sol (**Anonyme 1**).

Tableau n°5 : besoins en eau des diverses cultures pendant la période de croissance

(Anonyme 1)

Culture	Utilisation moyenne d'eau (mm ³)	Période de croissance (jour)
Luzernes	635	155
Graminées	610	150
Betteraves sucrières	559	155
Pomme de terre	508	140
Avoine	406	95
Orge	406	90
Pin	381	100
Maïs cultivé	381	120
Tomate	356	105
Pois de conserverie	330	80
Blé de printemps	457	100

2.4.2. Usage domestique

L'utilisation domestique de l'eau recouvre principalement la consommation d'eau potable, les bains, la cuisine, les usages sanitaires et le jardinage, cette consommation représente 8 à 10 % de la consommation totale sur la planète (**Guerree et Gomella, 1978**).

2.4.3. Usage Industriel

Généralement les industries transformatrices sont les plus consommatrices en eau (**Guerree et Gomella, 1978**). La plus grande part de l'eau qui est utilisée par l'industrie est épuisée dans les réserves naturelles (rivières) et 80 à 90% de celle-ci sert comme eau de refroidissement qui est, elle-même, restituée à 90% au milieu. Les besoins spécifiques de l'industrie sont énumérés dans la littérature ; 6 à 10 m³ par tonne d'acier, 0,3 m³ par tonne de pétrole raffiné, 40 à 80 m³ par tonne de papier... Et dans l'industrie chimique ; 450 m³ par tonne d'acide acétique et 900 m³ par tonne de sulfate d'ammonium. L'importance relative des besoins industrielles par rapport à la consommation domestique est largement dépendante des conditions régionales. Aux abords des agglomérations développées, la consommation industrielle se situe entre 10 à 50% du total, les zones portuaires emploient souvent plus d'eau brute industrielle (**Masschelein, 1996**).

2.4.4. Usage municipal

En distribution urbaine, l'utilisation de l'eau est quantifiée entre 5 et 55% du total de la consommation, aux fins du nettoyage des rues, des fontaines publiques, de l'arrosage

des parcs de l'extinction des incendies et en certains lieux publics ou qui appartiennent à l'état, de l'usage non facturé de l'eau (Masschelein, 1996).

Ces usages sous entendent la construction d'un réseau de distribution qui double au moins en partie le réseau d'eau potable.

2.5. La composition minérale de l'eau.

Les principaux ions présents peuvent être classés selon leur fréquence décroissante, (Tableau n°6) cependant PO_4^- , NH_4^+ et NO_3^- , ne sont pas souvent présents et peuvent alors être l'indice d'une pollution (Berne, 1991).

Tableau n°6 : composition minérale de l'eau. (Berne, 1991)

Cations		Anions	
	Masse atomique		Masse atomique
Calcium Ca^{2+}	40	Hydrogénocarbonate Hco^{3-}	61
Magnesium Mg^{2+}	24	Chlorure Cl^-	35,5
Sodium Na^+	23	Sulfate So_4^-	96
Ammonium NH_4^+	18	Nitrate No_3^-	62
Potassium K^+	39	Fluorure F^-	19
Fer ferreux Fe^{2+}	56	Phosphate Po_4^-	95

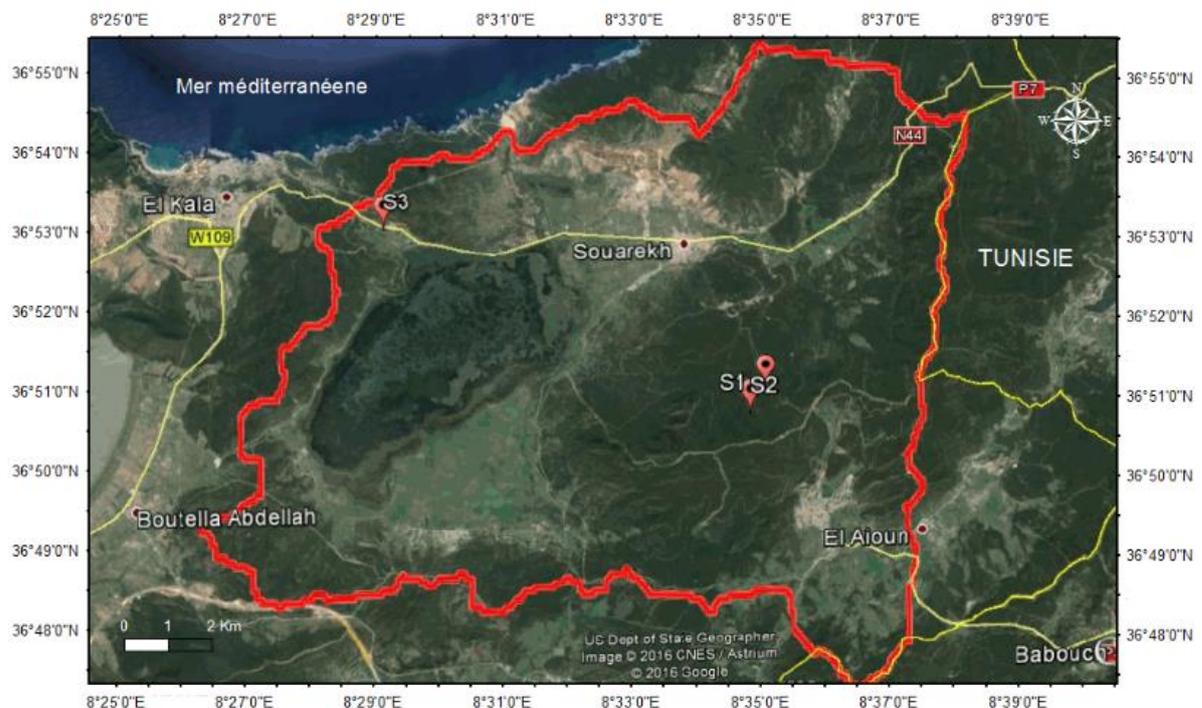
CHAPITRE III :
MATERIEL ET
METHODES

3.1. Présentation de la zone d'étude

3.1.1. Localisation géographique

Le bassin versant du lac Tonga est limité au Nord par des crêtes dunaires, variant entre 75 et 100 m et au NO par un mont, culminant à 167 m avec Argoub Ercheb.

Sa limite Est épouse pour une part la frontière algéro-tunisienne avec le Kef Segleb (327 m) au Nord de la chaâba Dridir, puis le djebel Haddeda (dont les barres de grés affleurantes culminent à une altitude variant entre 530 m (Kef Adjela), Kef Bab Abrik (573 m) et Kef Edmen (594 m), qui se poursuit à la hauteur d'El Aioun (274 m) avec le Djebel Kourima (Kef El Hammam :561 m, puis la route d'El Aioun-Oued El Hout (13 m); cette route emprunte la vallée séparant les deux bassins versants de l'Oued El Hout et de la vallée supérieure de l'Oued El Kebir(Carte n°1) (Benslama, 1993).



Carte n°1 : carte de situation du bassin versant du Tonga

Le bassin est en suite limité par une série de collines, dont les sommets ne dépassent pas 174 m pour descendre à 112 m au koudiat Medjdour. Notons enfin que les collines de l'Ouest n'excèdent jamais 171 m et la moyenne se situe entre 50 m (altitude la plus faible au SO) et 110 m (au NO) (Benslama, 1993).

3.1.2. Géologie

D'après la carte géologique de (Joleaud, 1936 ; Aouadi, 1989 ; Othmani, 2000), les différentes formations géologiques rencontrées dans le bassin du lac Tonga sont :

- Les alluvions lacustres couvertes d'eau l'hiver, formées d'argiles dont l'imperméabilité est liée aux argiles de Numidie.
- Les alluvions limoneuses au fond des vallées du Pléistocène, formées de sable et limon.
- Les grès à hélices qui par désagrégation ont donné les dunes;
- Les formations du Pontien qui présentent deux faciès argiles sableuses grises, jaunes ou rouges; conglomérats et sables rouges et des argiles marneuses, salifères et argiles rouges gypseuses; dans le bassin du lac Tonga c'est le premier faciès qui domine.
- Les grès de Numidie, quartzeux, souvent blanchâtres, parfois assez friables, transgressifs sur les argiles de Numidie et formant des reliefs abrupts. Ils recouvrent 33 % de la superficie du bassin versant.
- Les marnes argilo-schisteuses de couleurs variées avec intercalation de petits 15.
- Les argiles, grès et calcaires noirs à nummulites de l'éocène moyen.

Le bassin versant du lac Tonga de 150 km² est constitué de diverses formations géologiques : Sols de marécages, formés de limons de bas fonds, alluvions limoneuses formées de sable et limons récents, Des argiles, grès et calcaires noirs de l'Éocène moyen qui constituent les contreforts entourant le lac.

3.1.3. La géomorphologie

Les principaux éléments qui constituent le relief du bassin versant du lac Tonga sont :

- Un cordon dunaire qui s'étend de l'Est à l'Ouest au Nord du lac Tonga, formé essentiellement de sable quaternaire.
- Des petites éminences de relief gréseux de faibles altitudes (180 à 300 m) qui interrompent dans certains endroits le cordon dunaire (kef El Assa de 203 m, Kef Mechtob de 178 m), ainsi qu'un ensemble de collines ne dépassant pas 600 m.
- Deux plaines alluviales marécageuses, celle d'Oum Teboul délimitée topographiquement entre 10 et 30 m, et celle d'Oued El Hout qui monte en pente douce (2%) jusqu'à 40 m.
- Les versants Ouest des montagnes allant du Nord jusqu'au Sud, avec Kef Segleb de 327 m au Nord, kef Radjela de 530 m, Kef Bab Abrik de 573 m, et Kef Edmen de 594 m. Enfin, le versant Nord du Djebel Kourima avec Kef Hammam de 561 m.

- Le plan d'eau du Tonga se trouve à une altitude moyenne de 1 à 1,5 m. (**Othmani, 2000 ; Marre, 1992**).

3.1.4. Le réseau Hydrographique

Du point de vue hydrogéologique, deux formations sont observées dans la région les formations perméables (Grès) et les formations peu perméables (les argiles et les limons).

On peut distinguer trois sous-bassins versant dans la cuvette du Tonga -Le bassin versant d'oued El Eurg -Le bassin versant d'oued El Hout -La zone qui s'étend depuis la bordure Sud du massif dunaire de la rive gauche de la Messida jusqu'à la rive sud du lac.

Dans cette zone les talwegs, assez courts en raison du faible développement des versants, se déversent séparément dans le lac si ce n'était l'avancée en promontoire du massif dunaire à l'intérieur de la limite Ouest de la plaine d'Oum Teboul, cette zone pourrait constituer le prolongement du cône de déjection d'oued El Eurg (**Joleaud, 1936**).

À l'inverse d'Oued El Eurg ; Oued El Hout naît de la confluence de deux importantes branches en amont. Son alimentation s'effectue tout au long de son parcours par des talwegs sur ses rives Sud et Nord.

Les cônes de déjection des oueds El Eurg et Oued El Hout forment respectivement les plaines d'Oum Teboul et Oued El Hout. Cette dernière reçoit un dépôt d'alluvions important, et les deux oueds ont eu la capacité d'édifier des deltas grâce à un écoulement torrentiel en amont dû au développement de leurs sous bassins versants. Par ailleurs, le reste du pourtour du lac est raviné par un réseau non hiérarchisé (**Joleaud, 1936**).

3.1.5. La couverture pédologie

L'étude des sols du bassin versant du lac Tonga de permet de déterminer deux types de sol :

Sols zonaux, dépendants surtout du climat, Sols azonaux, indépendants du climat.

A. Sols zonaux

Ce groupe comprend tous les sols dont la tendance évolutive est le lessivage quelque soient les caractères du produit final.

- **Podzols ferrugineux**

Ces sols se forment sur les grés de Numidie, leurs éboulis et les bancs gréseux de la partie supérieure des argiles de Numidie. Ils présentent en général un horizon superficiel sableux ou léger, gris sombre, à structure granuleuse, riche en matières organiques; un horizon lessivé brun pâle, sableux sans structure, passant insensiblement à l'horizon d'accumulation du fer puis de l'argile et en fin à la roche mère inaltérée.

Ils sont couverts d'une belle forêt de chênes lièges de région méditerranéenne humide, ou d'une forêt de chêne zeen ou afarès. Dans tous les cas, ces forêts ont un sous-bois épais de plantes acidophiles.

- **Sols oxyhumiques**

Ces sols pourraient être considérés comme des podzols jeunes. En effet, leur évolution normale tend à les amener au stade podzol, mais pour une raison quelconque cette évolution est freinée, par exemple la mauvaise perméabilité de la roche mère, l'existence d'un plan d'eau plus ou moins temporaire, etc.... Leur caractère essentiel est que leur horizon superficiel est assez riche en matières organiques insaturées, ils ne contiennent jamais de calcaire.

Les sols oxyhumiques portent, en général, une végétation de chênes lièges sans sous-bois.

- **Sols insaturés acides**

Ces sols se forment sur les argiles, dont les cailloux sont enrobés d'argile. Ils présentent en général un horizon brun gris sombre, argileux à structure granuleuse, friable, dépourvu de calcaire. Ces sols présentent un complexe absorbant suffisamment insaturé (le pH peut descendre jusqu'à 6).

- **Sols insaturés**

Ce sont des sols à complexe absorbant insaturé, mais dont l'insaturation n'est pas suffisante pour abaisser le pH. Ils présentent en général un horizon supérieur argileux, légèrement enrichi en matières organiques à structure polyédrique, reposant sur la roche mère inaltérée ou très légèrement enrichie en fer qui se condense en taches rouges. Formés sur les argiles de Numidie,

ces sols passent souvent insensiblement aux sols oxyhumiques .

- **Sols décalcifiés**

Ce sont des sols formés sur roche mère marneuse du complexe de l'Éocène moyen ou sur les grés calcaires qui apparaissent au NO de l'aulnaie, ils présentent un horizon superficiel brun plus ou moins sombre, enrichi en matières organiques, plus ou moins décalcifiées.

Ces trois derniers types de sols ont des végétations identiques formées de plantes herbacées dans les terrains lourds (ce qui est le cas général), buissonnantes dans les terrains plus légers.

B. Sols azonaux

Ce groupe comprend les sols qui dépendent d'un autre facteur que le climat qui joue cependant un certain rôle.

- **Sols des marais**

Ces sols occupent la partie centrale de la cuvette inondée le plus longtemps. Les caractères essentiels de ces sols sont, leur teneur en matières organiques et en argile, leur forte acidité, leur complexe absorbant saturé, mais surtout leur humidité permanente qui ne permet qu'une vie microbienne anaérobie.

- **Sols de prairies marécageuses**

La différenciation de ces sols est en général récente et due aux travaux d'assèchement du lac, ce sont en réalité des sols de marais asséchés dont les horizons superficiels peuvent sécher jusqu'à 40 cm. Ils présentent toujours une forte teneur en argile, un pH très acide et surtout une teneur en matières organiques assez faible, le complexe absorbant est insaturé .

- **Sols tourbeux non inondés**

Ce sont des sols de marais, mais jamais inondés, les arbres peuvent s'y installer et prospérer, c'est ainsi que ces sols supportent une belle forêt d'aulnes (*Alnus glutinosa*) avec un sous-bois formé de plantes variées. L'horizon superficiel de ces sols est très riche en matières organiques et repose sur une argile fine gris-sombre bariolée de rouge. Si l'acidité de l'horizon superficiel est très franche, l'argile sous-jacente est presque neutre. Ils renferment un niveau d'eau à 60 cm alimenté par les dunes voisines et l'horizon qui le contient est légèrement calcaire.

- **Solods**

Ce sont des solods classiques à complexe absorbant insaturé à PH par 20 fois acide et relativement riche en silice soluble. La végétation qu'ils supportent est saine et surtout formée de graminées auxquelles viennent parfois s'ajouter des aulnes et des joncs.

- **Sols alluviaux**

Ces sols ne présentent aucun horizon différencié, ils peuvent être sableux ou argileux, acides ou non suivant l'origine de la roche mère qui les constitue. Leur végétation est toujours herbacée.

- **Sols dunaires**

À côté des sols alluviaux, ces sols sont formés de dunes non fixées ou fixées sporadiquement par des chênes kermès ou des lentisques. Les sables provenant des grès à hélices sont peu acides sauf sous les buissons de chêne kermès ou le lentisque ou le PH devient franchement acide (**Benslama, 1996 ; Benslama et al, 1997**).

3.1.6. Végétation

La formation forestière du bassin versant du lac Tonga est liée à la présence d'un substratum d'origine acide (**Benslama, 1993**).

Ainsi, les collines gréseuses sont pour la plupart recouvertes de chêne liège «*Quercus suber*», et exceptionnellement, en mélange avec le pin maritime «*Pinus pinaster*» au Nord- Est jusqu'au Djebel Segleb et qui, par endroit le supplante totalement. Nous pouvons également

observer au Nord, le long du Djebel Haddada et jusqu'au Djebel Kourima, du chêne zéen « *Quercus faginea* » formant des micro-peuplements purs, localisés dans les vallons frais (**De Belaire, 1990**). Les dunes, situées à l'Ouest de la Messida, sont occupées en totalité par les pins maritimes et de pins pignons « *Pinus pinea L.* ». Le chêne kermès « *Quercus coccifera* » se trouve en peuplements dispersés, jouant le rôle fixateur des amas dunaires. Au Nord du lac, se trouve une aulnaie à « *Alnus glutinosa* » qui s'étend sur environ 37 ha. Le climat quasi tropical de cette dernière, est particulièrement favorable au développement du Cyprès chauve « *Taxodium distichum* », au Peuplier de Virginie « *Populus virginiana* », à l'Orme champêtre « *Ulmus campestris* » et à l'Acacia (**De Belair, 1990**).

3.1.7. Caractéristiques climatiques

La région est soumise un climat méditerranéen caractérisé par une période humide et douce en hivers et une période sèche et chaude en été (**Tableau n°7**) (**De Belair, 1990**).

Cette dernière peut être longue de plus de quatre mois, qui s'étale du début mai à la fin septembre, selon les années (**Figure n°2**).

Tableau n°7 : Moyennes mensuelles des précipitations et des températures (1996-2007).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	sept	Oct	Nov	Dec
P (mm)	120.6	53.95	44.43	67.55	33.37	11.48	4.94	4.64	56.95	62.64	116.8	116.98
T moy C°	12.65	12.94	14.48	16.39	19.71	22.54	25.96	27.54	23.60	21.29	16.36	14.26

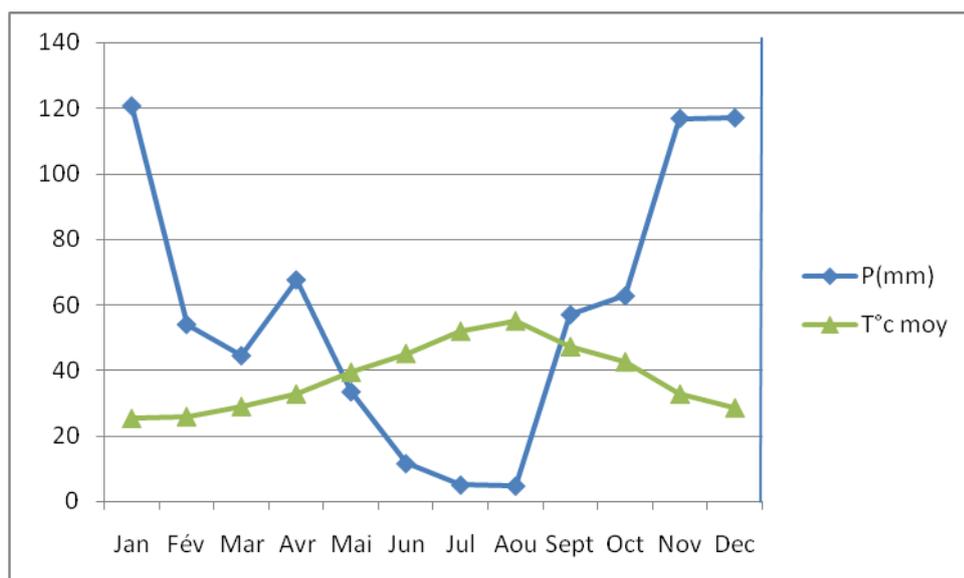


Figure n°2 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен pour la station D'El-Kala (1996-2007).

3.2. Présentation des sites d'étude

❖ Zeenaie d'Ain Bergougaya :

Sur la route d'El Aioun, dans une station formée de forêts mixtes de chêne liège et chêne zeen



Figure n°3: photo représenter le site d'étude

Ses coordonnées géographiques sont (**Carte n° 2**):

Longitudes : 8°35'43'' E

Latitude : 36°50'96'' N

L'altitude : 310 m

Géologie : Grès et argiles de Numidie.

Géomorphologie : Pente faible, exposition Nord.

Climat : climat méditerranéen, les précipitations sont de 1100 mm par an et 22°C de température moyenne. Par ailleurs, il neige souvent dans cette région.

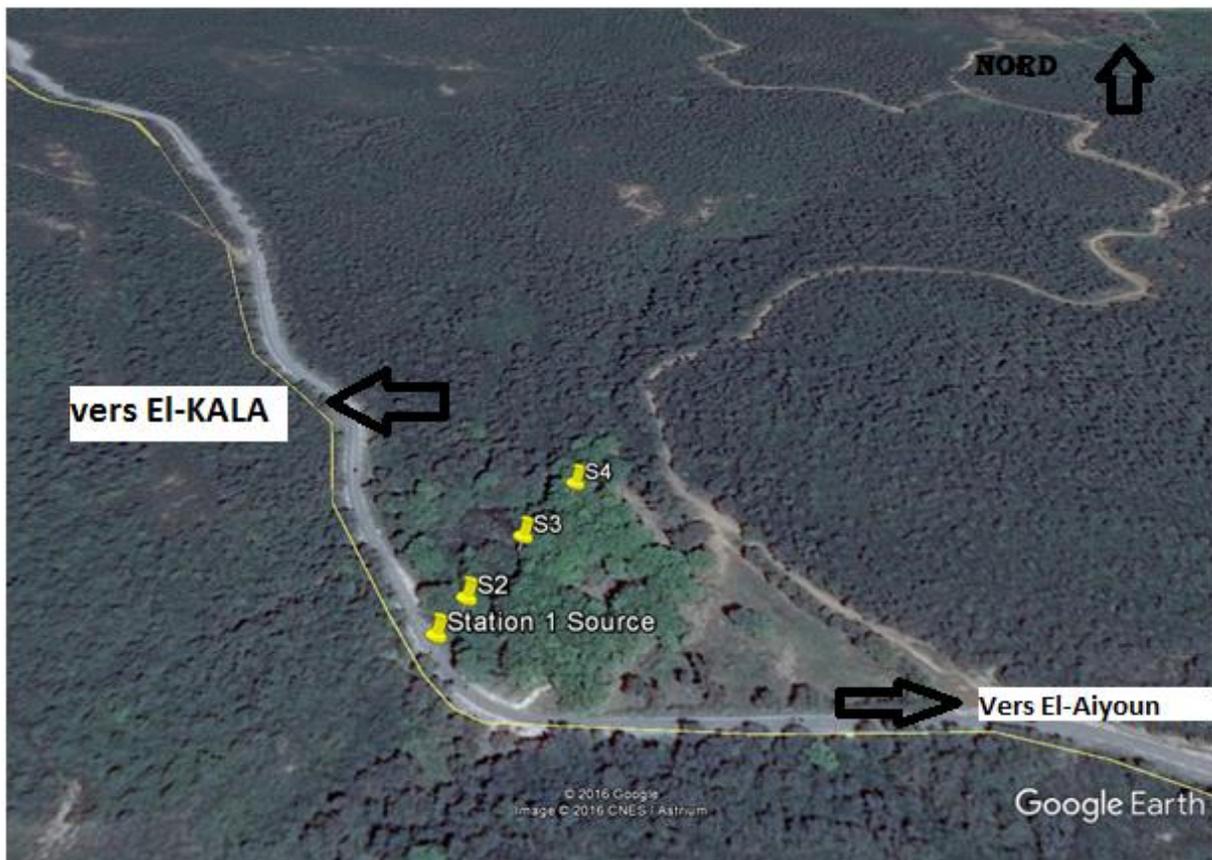
Végétations : Elles sont formées essentiellement de :

-strate arborescent : *Quercus fagenia*.

-strate arbustive : *Arbitus unédo*. *Hedera helix*. *Lavendula stoechas*. *Myrtus comminus*.

Tableau n°8 : Coordonnées GPS des Sites étudiés

	S1	S2	S3	S4
X	36°50'58''	36°50'58.5''	36°51'00''	36°51'01''
Y	8°35'24''	8°35'24.3''	8°35'25.2''	8°35'26.1''
Z	314	311	308	305



Carte n° 2 : situation des sites d'études

3.3. Méthodes d'échantillonnage (selon la méthode de Rodier)

3.3.1. L'eau

3.3.1.1 Méthodes de prélèvement

Les échantillons d'eau ont été prélevés le long d'un transect selon l'orientation de la pente en utilisant la **source d'Ain Bergougueya** comme point de départ (premier point), les autres points ont été prélevés dans la nappe. Ces échantillons ont été prélevés durant le mois de Mars de l'année 2017.

Les prélèvements ont été faits manuellement dans des bouteilles qui ont été rincée plusieurs fois avec de l'eau à prélever puis remplis jusqu'au bord. Le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'a aucune bulle d'air et qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.

- **Choix du contenant**

Les échantillons d'eau ont été prélevés dans des contenants en matière plastique pour trois raisons majeures :

- ✓ la facilité qu'ils présentent pour le transport.
- ✓ leur résistance par rapport au contenant en verre.
- ✓ la disponibilité (flacons de récupération).

- **Conservation des échantillons**

Entre les prélèvements et analyses les échantillons ont été conservés à basse température (4°C), la congélation à été également utilisée et ce à fin d'éviter les transformations chimiques, physiques ou biologiques qui peuvent avoir lieu.

- **Période d'échantillonnage**

Ces échantillons ont été prélevés durant le mois de Mars de l'année 2017.

3.3.1.2. Méthodes d'analyses

3.3.1.2.1. Examens préliminaires

- ✓ **Filtration**

La filtration doit avoir lieu avant tout dosage et dès l'arrivée de l'échantillon au laboratoire car elle conditionne souvent la validité des résultats en diminuant les risques d'évolution des eaux.

Les échantillons prélevés ont été filtrés sur papier filtre dont le diamètre des pores est de 0.45µm.

✓ **Détermination des matières en suspension (MES)**

Méthode par filtration : l'eau est filtrée et le poids de matière retenu par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

✓ **Détermination du résidu sec**

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

3.3.1.2.2. Mesures physico-chimiques

✓ **pH (mesure électrométrique)**

Le pH indique la concentration en ions H^+ présents dans l'eau. Pour mesurer le pH, nous avons utilisé un pH-mètre étalonné.

✓ **La conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau est liée à la présence des ions et augmente avec la température et la concentration en sels dissous. Elle est mesurée par un conductimètre étalonné.

3.3.1.2.3. Mesures chimiques

Les eaux naturelles contiennent toujours des sels minéraux, et une grande part de l'analyse chimique d'une eau consiste à doser les anions et les cations les plus abondants et qui forment ces sels minéraux.

✓ **Dosages des anions**

Les carbonates (CO_3^-) et les bicarbonates (HCO_3^-) : les carbonates alcalins, facilement solubles à l'eau ne se trouvent que dans les sols salés à alcalis. Les carbonates alcalino-terreux, solubles dans l'eau chargée en gaz carbonique constituent l'essentiel des sols calcimagnésiques.

Les chlorures (Cl⁻) : le chlore est dosé par la méthode de MOHR (argentométrie) : on précipite le chlore par des nitrates d'argent titré en présence de chromate. L'apparition du précipité rouge de chrome d'argent indique la fin de la réaction.

Les sulfates (SO_4^-) : le dosage des sulfates se fait par gravimétrie après précipitation à l'état de sulfate de baryum.

✓ **Dosages des cations**

Le calcium (Ca^{++}) et le magnésium (Mg^{+2}) : par titrimétrie.

3.3.2. Le sol

Le long de la pente et avec un pas de 100 m d'intervalle nous avons réalisés des coupes pédologiques dont la profondeur était conditionnée par la présence de la nappe sur les échantillons de sol, nous avons effectués les déterminations suivantes : pH eau, pH KCl, Conductivité électrique, Les carbonates et les bicarbonates, les chlorures, les sulfates, la granulométrie, le carbone organique et la teneur en Calcium et Magnésium. Selon les protocoles suivants : (**Benslama, 1996 ; Benslama *et al*, 1997**).

✓ **pH eau (norme AFNOR X 31- 103)**

Déterminé par mesure électrométrique dans la solution surnageant d'un mélange sol/liquide dans la proportion 1 / 2,5 ; avec un pH-mètre muni d'une électrode en verre.

✓ **pH KCl** : se fait de la même manière que le pH eau mais avec une solution de KCl.

✓ **Conductivité électrique (C.E mS/cm)**

Exprimée en (mS/cm), elle est déterminé par mesure électrométrique dans la solution surnageant d'un mélange sol/liquide dans la proportion 1 /2,5.

✓ **Les carbonates (CO_3^-) et les bicarbonates (HCO_3^-)**

Les carbonates alcalins, facilement solubles à l'eau ne se trouvent que dans les sols salés à alcalis. Les carbonates alcalino-terreux, solubles dans l'eau chargée en gaz carbonique constituent l'essentiel des sols calcimagnésiques.

✓ **Les chlorures (Cl)**

Le chlore est dosé par la méthode de MOHR (argentométrie).

✓ **Les sulfates (SO_4^-)**

Le dosage des sulfates se fait par gravimétrie après précipitation à l'état de sulfate de baryum.

✓ **Le carbone organique (C%)**

La méthode dite de "**Anne**" décrite dans la norme NF X31-109 est utilisée pour déterminer le Carbone organique dans les sols. Cette méthode permet le dosage direct du Carbone organique par colorimétrie après oxydation de la matière organique par du bichromate de potassium en excès, en milieu sulfurique et à 135°C.

✓ **Le Calcium et le Magnésium**

Ont été dosés par complexométrie avec l'EDTA (Éthylène diamine tétra-acide acétique).

✓ **La granulométrie**

Selon la méthode internationale à la pipette ROBENSON.

CHAPITRE IV :
RÉSULTATS ET
DISCUSSION

Résultats et Discussion

Les résultats de mesures des différents paramètres sont présentés ci-dessous. Leur présentation graphique pour chacun des paramètres permet de mieux montrer les éventuelles variations et peuvent faciliter les interprétations.

3.1. Résultats des analyses physicochimiques de l'eau

Sur les quatre échantillons d'eau prélevés le long du transect SO/NE dans la station d'Ain Bergougaya, nous avons obtenu les résultats suivants :

3.1.1. Mesure du pH

Les valeurs recueillies par le pH-mètre sont mentionnées dans la (Figure n°4).

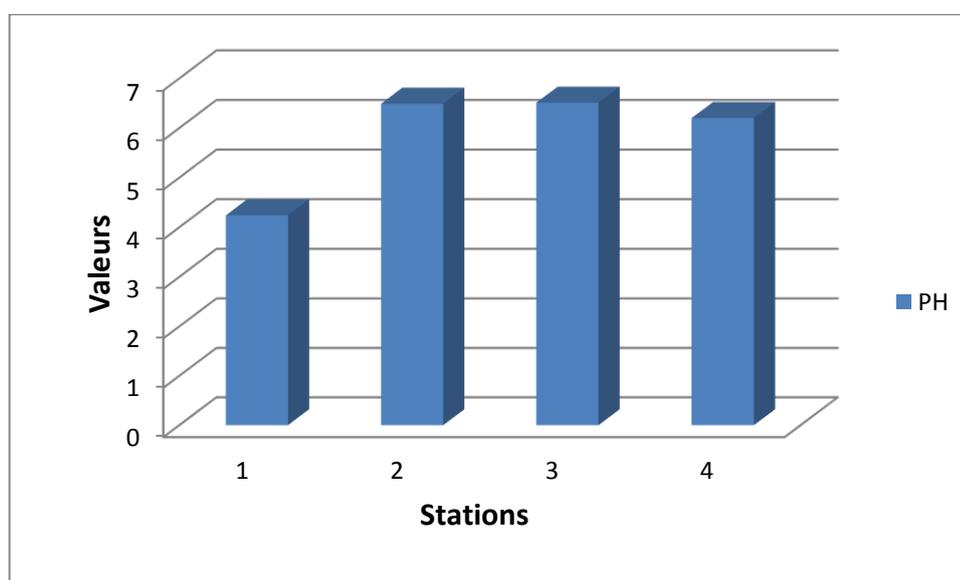


Figure n°4 : Variation du pH selon les stations étudiées.

La lecture des résultats montre que l'eau de source est plus acide que les trois autres prélevés dans la nappe ce qui montre que le sol malgré sa richesse en matière organique a alimenté l'eau par des éléments minéraux.

3.1.2. Mesure de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Les résultats des mesures effectuées sont reportés dans la (Figure n° 5).

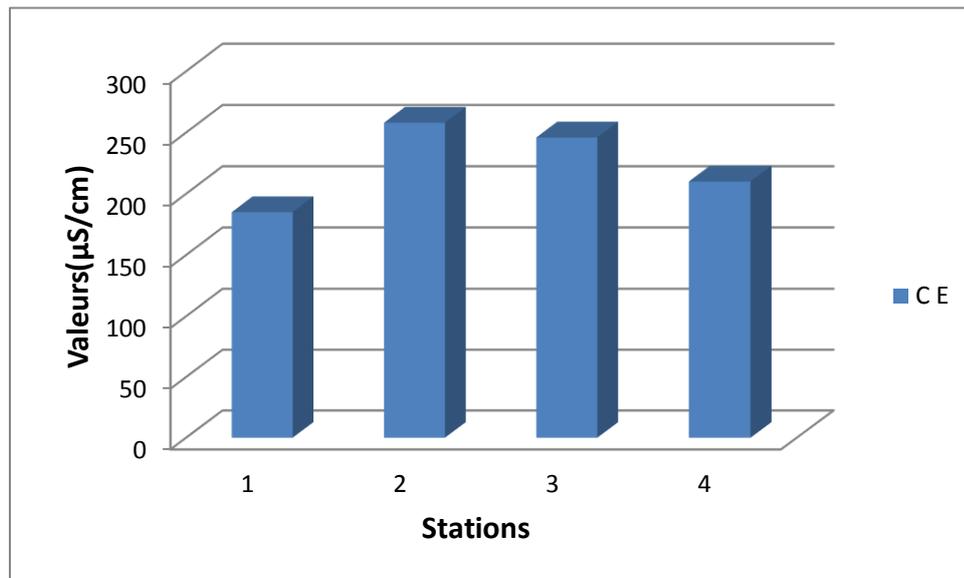


Figure n°5 : Variation de la conductivité électrique selon les stations étudiées.

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement la minéralisation globale de l'eau (**Rodier et al, 2005**). Sa mesure donne une estimation de la qualité de sels ionisables dissous (la salinité).

La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente.

L'effet de la matrice sol (enrichissement en éléments minéraux est visible) au niveau des échantillons 2,3et 4.

3.1.3. Mesure des matières en suspension (mg/l)

Les quantités de matières en suspension obtenues par cette analyse sont indiquées dans la (**Figure n°6**).

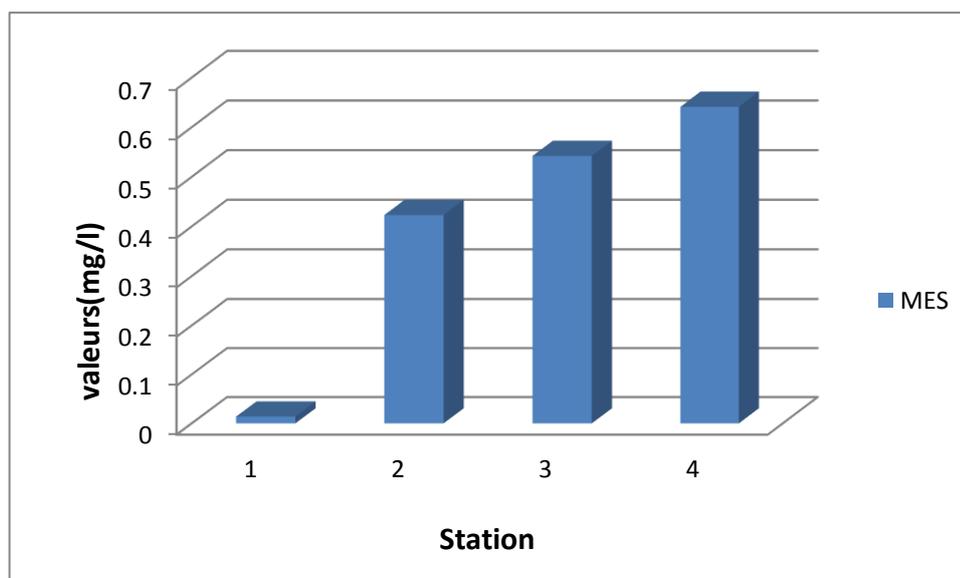


Figure n°6 : Variation quantitative des matières en suspension selon les stations étudiées.

La teneur, l'origine et la composition minérale des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau.

Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble de la matière non soluble qui reste en suspension ou se dépose dans le cours d'eau en absence de facteurs de turbulence.

3.1.4. Mesure des résidus secs (mg/l)

Les quantités des résidus secs présentes dans l'eau des sites étudiés sont mentionnées dans la (Figure n°7).

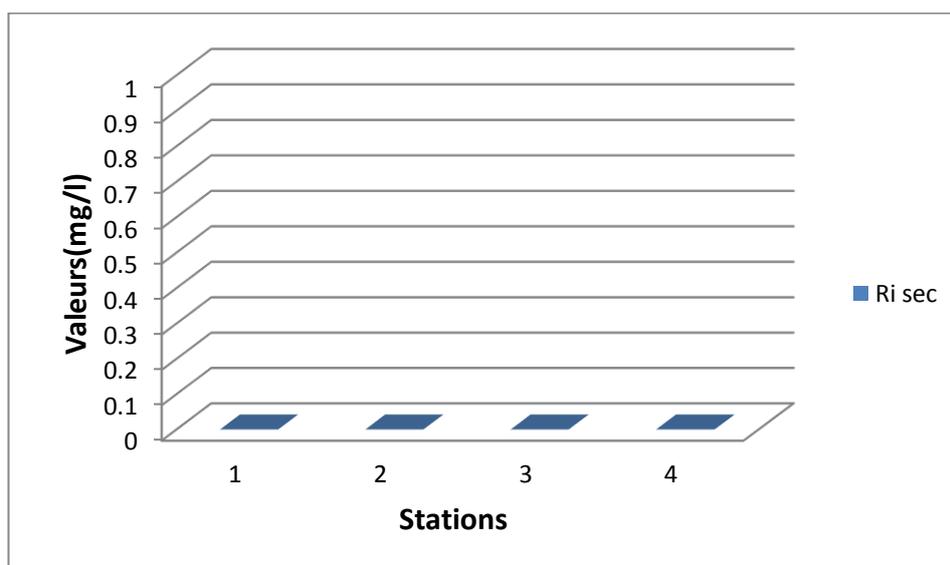


Figure n°7 : Variation quantitative des résidus secs selon les stations étudiées.

Ce résultat montre que la charge en sel est nulle dans ces solutions des sols ou dans les eaux de source.

3.1.5. Mesure des chlorures (Cl^-)

Les valeurs de mesure de ce paramètre sont consignés dans la (Figure n°8).

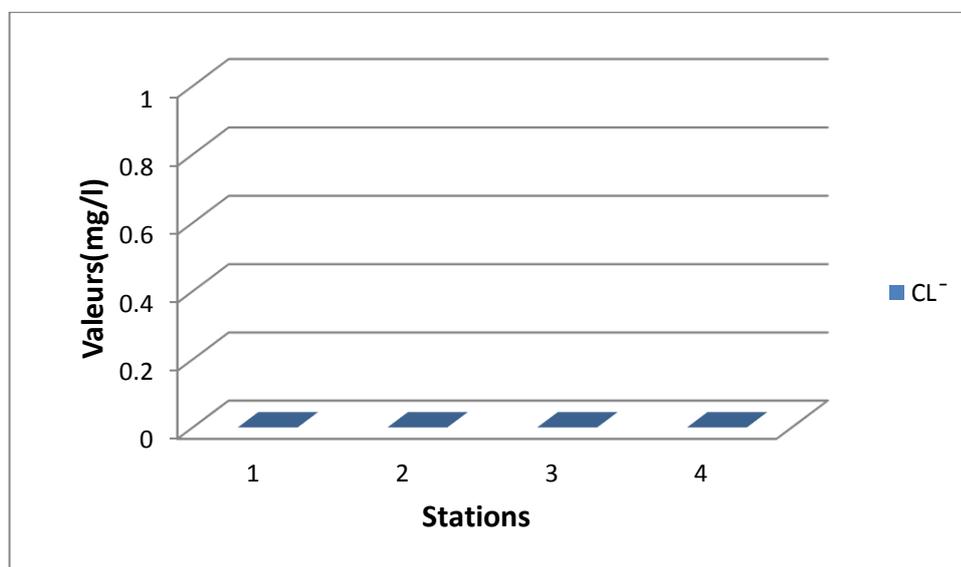


Figure n° 8: Variation de la concentration en ions chlorures selon les stations étudiées.

3.1.6. Mesure des Sulfates (SO_4^{2-})

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (Figure n°9).

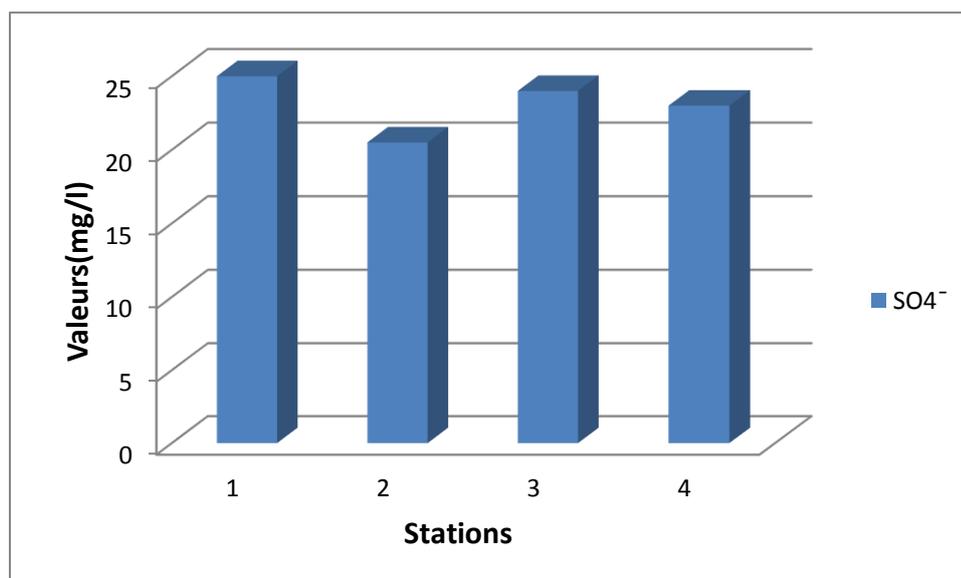


Figure n°9 : Variation de la concentration en ions sulfates selon les stations étudiées.

La détermination de la quantité des sulfates dans les eaux de cette station montre des teneurs presque identiques et une distribution homogène.

En ce qui concerne l'écotoxicité éventuelle des sulfates, les chercheurs **Nisbet** et **Verneaux** qualifient de « normales » les eaux présentant une concentration en sulfates inférieure ou égale à 20 mg/l et de « particulières, plus ou moins séléniteuses ou polluées » les eaux de concentration comprise entre 20 et 120 m/l (**Rodier et al, 2005**).

3.1.7. Mesure des carbonates (CO_3^{2-}).

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (**Figure n°10**).

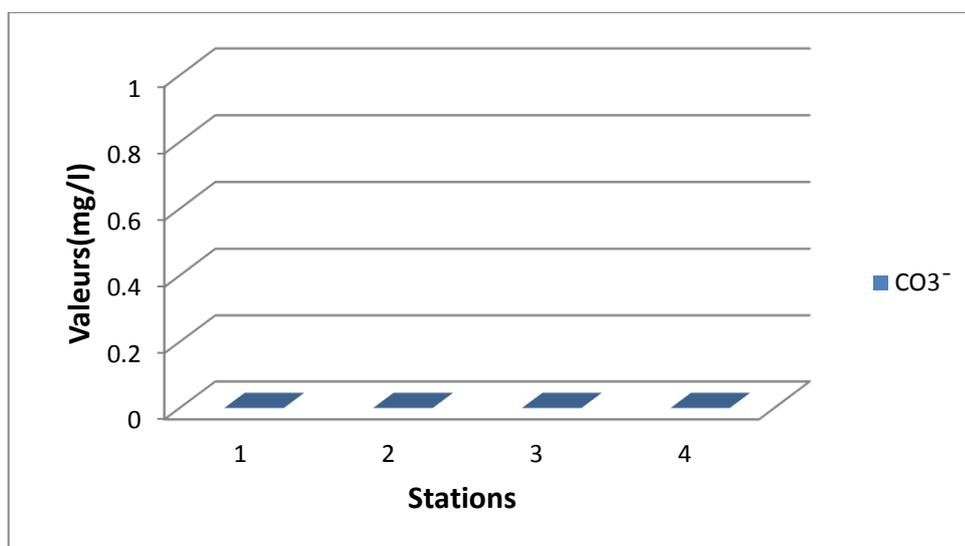


Figure n°10 : Variation de la concentration en ions Carbonates selon les stations étudiées.

Les résultats montrent l'absence de carbonates dans l'eau puisqu'il n'y a pas d'activité biologique.

3.1.8. Mesure Bicarbonates (HCO_3^-).

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (**Figure n°11**).

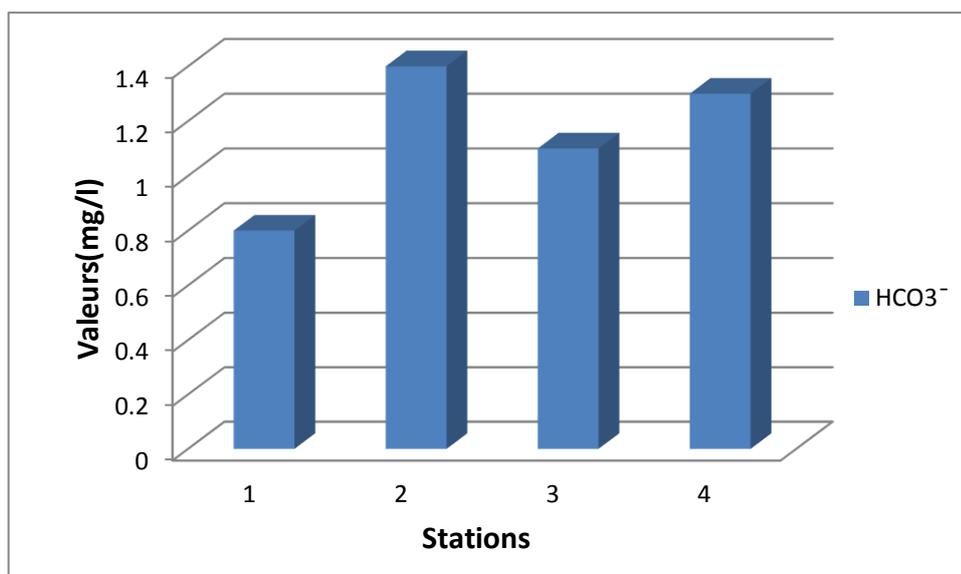


Figure n°11 : Variation de la concentration en ions bicarbonates selon les stations étudiées. La présence de bicarbonates est en relation avec l'activité biologique

3.1.9. Mesure du magnésium (Mg^{++})

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (**Figure n°12**).

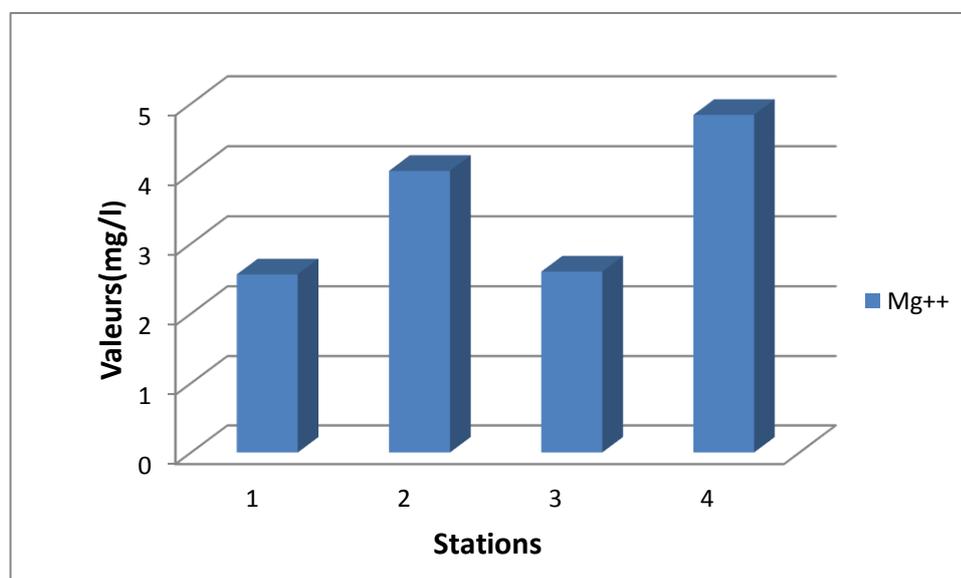


Figure n°12 : Variation de la concentration en ions magnésium selon les stations étudiées.

L'évaluation de la quantité du magnésium dans les eaux de la source et la solution du sol des trois autres stations montre des très faibles valeurs qui ne dépassent pas 5 mg/l ceci est lié à la pauvreté du substrat en cet élément.

3.1.10. Mesure du Calcium (Ca^{++})

Les résultats obtenus du calcium sont mentionnés dans la (**Figure n° 13**).

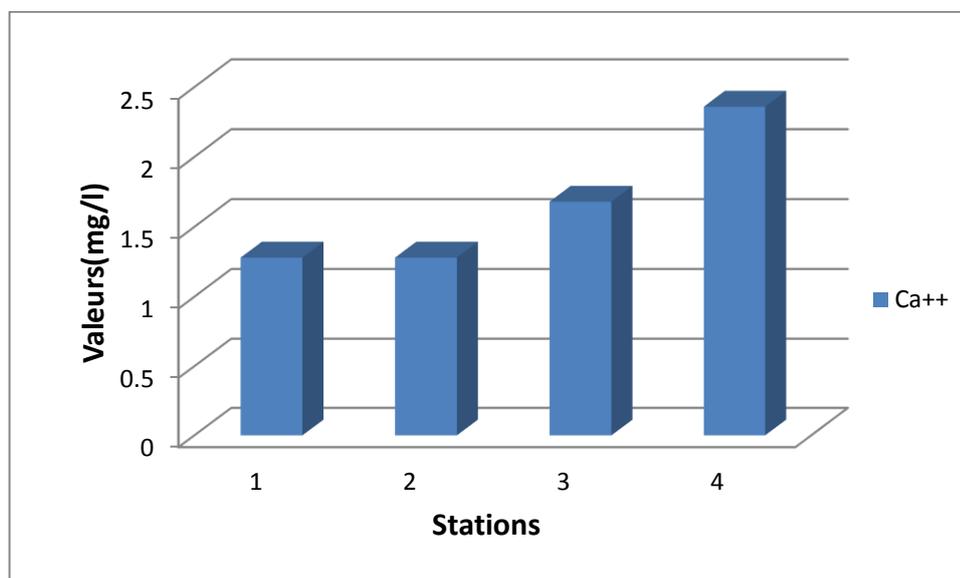


Figure n°13 : Variation de la concentration en ions calcium selon les stations étudiées.

L'évaluation des cations particulièrement le Ca^{++} montre que notre eau est très pauvre en minéraux. Tandis que nous n'avons pas pu réaliser les mesures du K^+ et Du Na^+ par manque de moyens.

Discussion

La caractérisation physico chimique des eau qui alimente cette station particulière de la région a montre le lien étroit entre les conditions climatiques (alternance de période sèche (forte concentration des eaux) et période humide (bonne dilution), la nature du substrat (Grès et Argile de Numidie souvent pauvre en éléments minéraux et un couvert végétal dense et diversifié qui assure un apport permanent en matière organique dont le **Tournover** rapide est la seule source d'éléments nutritif pour ce couvert végétale.

L'eau étudiée provient d'une source très connue par la pureté de son eau qui traverse les couches de grès et d'argile sans toute en restant pauvre en élément minéraux, mais dans le sol cette eau devient une solution et se charge en éléments minéraux provenant de la décomposition ou de la solubilisation des composés organique provenant de la litière végétale.

3.2. Résultats des analyses physicochimiques (du sol)

3.2.1. Mesure du pH

Les valeurs recueillies par le pH-mètre sont mentionnées dans la (Figure n°14).

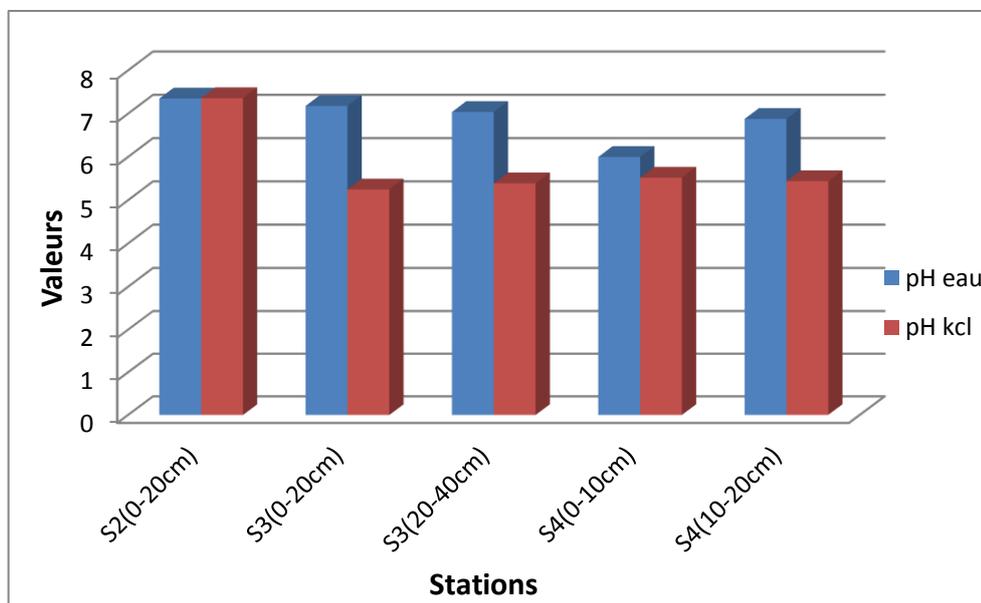


Figure n°14 : Variation du pH selon les stations étudiées.

Les sols de cette station ont une acidité actuelle (acidité de la solution du sol) neutre, ceci se traduit par une forte relation entre la qualité de l'eau et la présence d'éléments minéraux issues de la décomposition de la matière organique. Tandis que l'acidité potentiel est très basse ce qui se traduit par un degré de saturation du complexe adsorbant faible à très faible.

3.2.2. Mesure de la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Les résultats des mesures effectuées sont reportés dans t la (Figure n° 15).

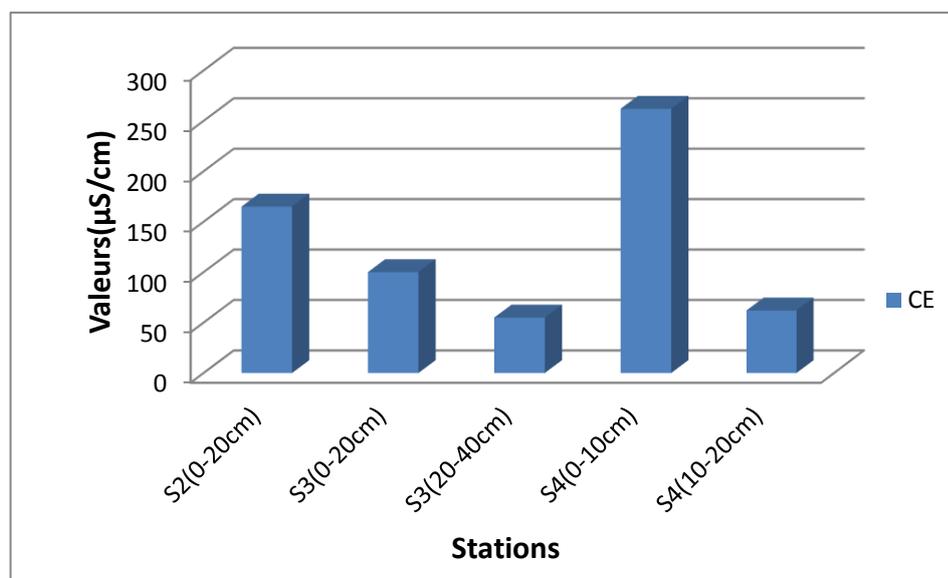


Figure n°15 : Variation de la conductivité électrique selon les stations étudiées.

Selon les résultats obtenus ces sol font partie de la classe des sols non salin.

3.2.3. Mesure des chlorures (Cl⁻)

Les valeurs de mesure de ce paramètre sont consignés dans la (**Figure n°16**)

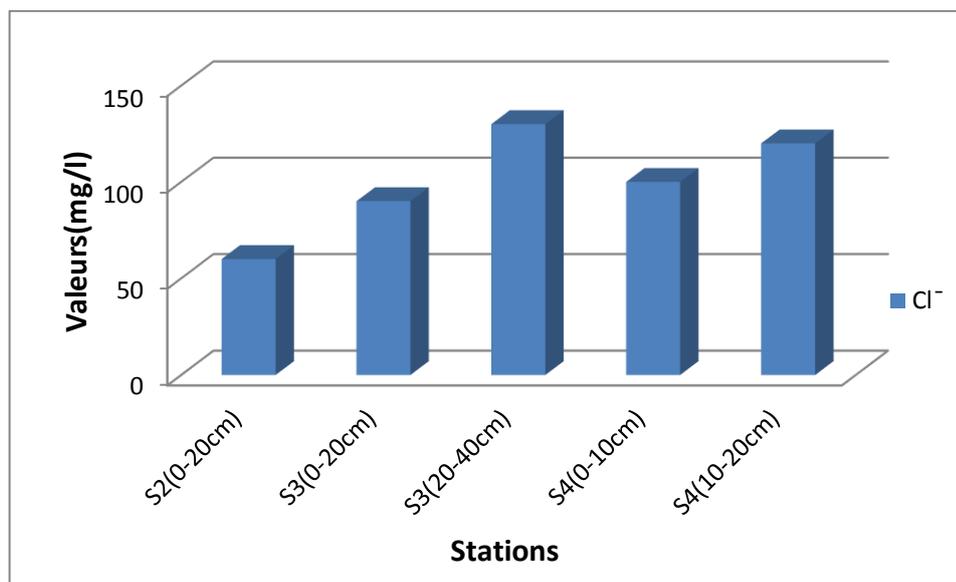


Figure n°16 : Variation de la concentration en ions chlorures selon les stations étudiées.

Les valeurs des chlorures restent très faibles dans ce milieu et ne dépasse pas les 120 mg/l.

3.2.4. Mesure des Sulfates (SO_4^{2-})

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (Figure n°17).

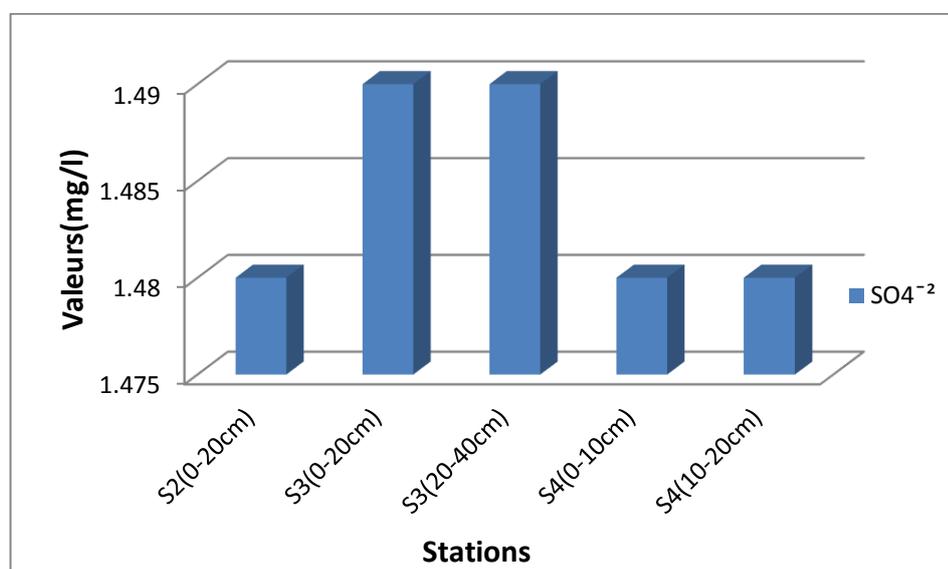


Figure n°17 : Variation de la concentration en ions sulfates selon les stations étudiées.

La présence des sulfates en quantité plus au moins importante et du phénomène d'hydromorphie qui règnent dans les sols en période de saturation.

3.2.5. Mesure des carbonates (CO_3^{--}).

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (Figure n°18).

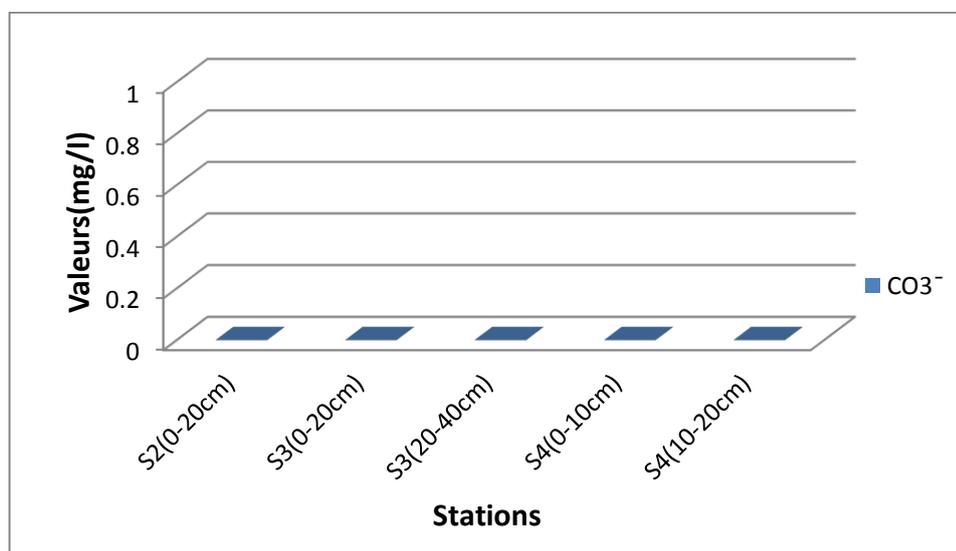


Figure n°18 : Variation de la concentration en ions Carbonates selon les stations étudiées.

Les résultats montrent l'absence totale des carbonates.

3.2.6. Mesure Bicarbonates (HCO_3^-).

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (Figure n°19).

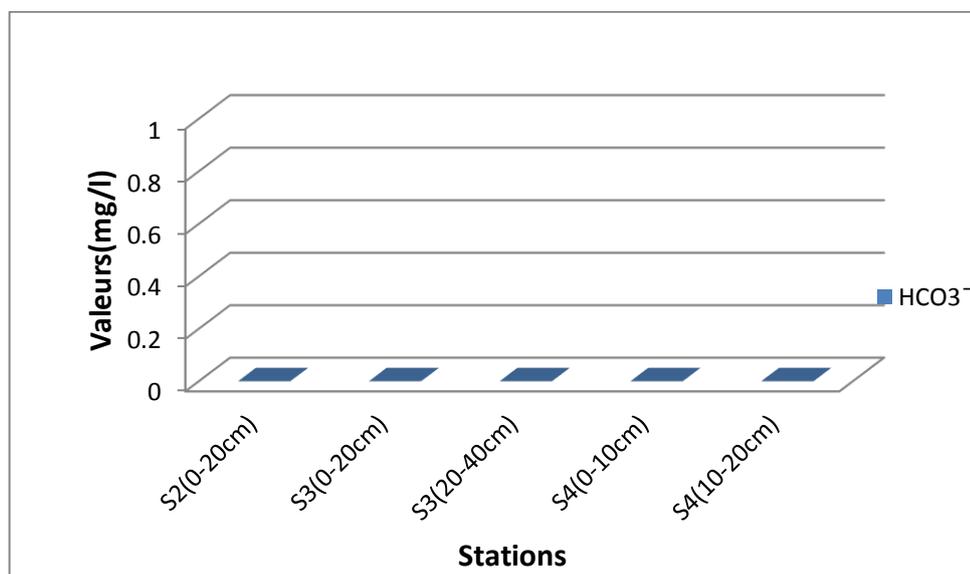


Figure n°19 : Variation de la concentration en ions bicarbonates selon les stations étudiées.

L'absence des bicarbonates et des carbonates dans ces sols peuvent être attribué à la condition anaérobie que domine dans ces milieux durant presque toute l'année.

3.2.7. Mesure du magnésium (Mg^{++})

Les résultats des mesures qu'on a effectuées sont indiqués dans la (Figure n°20).

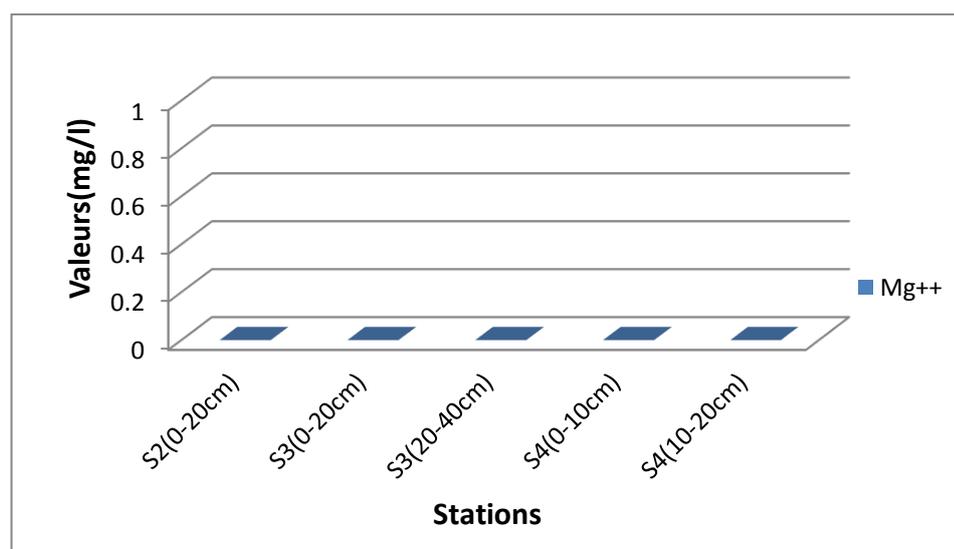


Figure n°20 : Variation de la concentration en ions magnésium selon les stations étudiées.

L'absence totale du Mg^{++} ceci est en par faite coordination avec les teneurs trouvé dans l'eau et qui sont en relation avec le substrat.

3.2.8. Mesure du Calcium (Ca^{++})

Les résultats obtenus du calcium sont mentionnés dans la (**Figure n°21**).

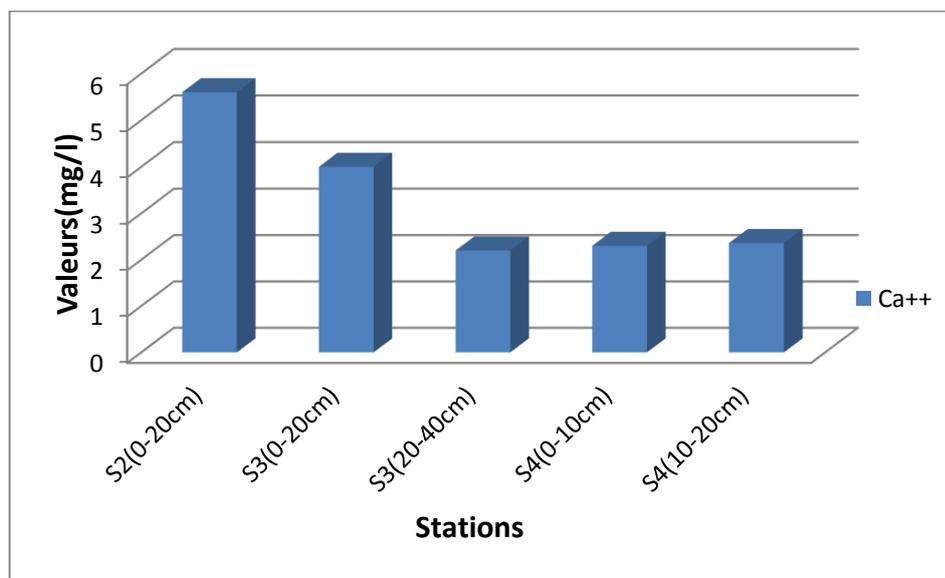


Figure n°21 : Variation de la concentration en ions calcium selon les stations étudiées.

L'évaluation du taux de calcium montre une diminution puis une stabilité.

Le calcium marque sa présence dans les différentes couches de sol mais avec des valeurs très faible < 6 mg/l). Cette teneur peut être liée à la minéralisation de la matière organique.

3.2.9. Mesure du Carbone organique (C org)

Les résultats obtenus du carbone organique sont mentionnés dans la (**Figure n°22**).

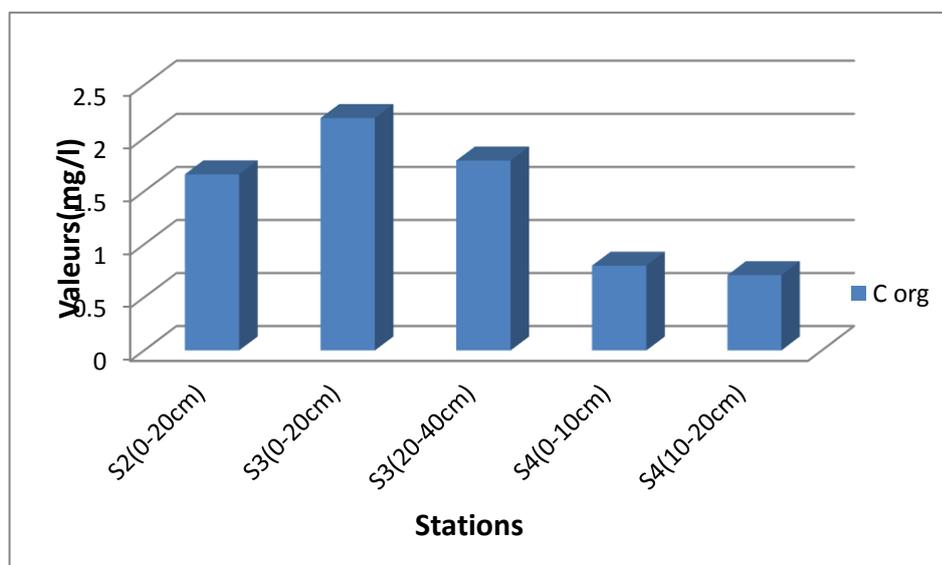


Figure n°22 : Variation de la concentration en ions carbone organique selon les stations étudiées.

L'évaluation du taux de carbone organique montre que la majorité des sols sont très riches et les valeurs dépassent 2% dans les horizons de surface par contre dans les horizons sous-jacents ce taux chute brutalement indiquant une forte minéralisation en surface et une faible humification.

3.2.10. L'analyse granulométrique du sol

Les résultats de l'analyse granulométrique sont mentionnés dans la (**Figure n°23**).

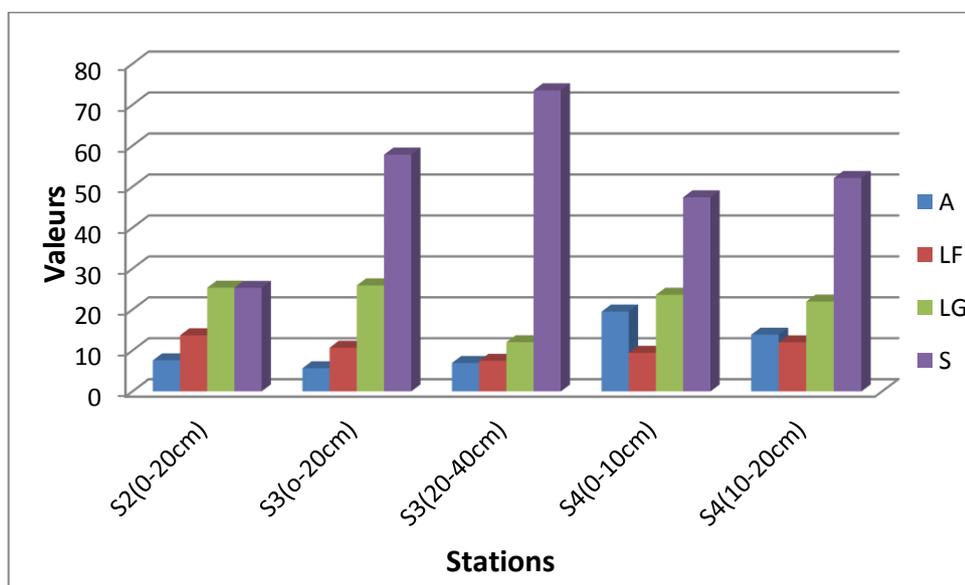


Figure n°23 : les résultats de l'analyse granulométrique du sol selon les stations étudiées.

La texture est limono sableuse reflète la nature de la roche mère sous-jacente d'une part et la pauvreté en argile d'autre part.

Ces types de sol sont favorable à une végétation à en racinement profond tel que les milieux forestiers.

Discussion (sol)

La caractérisation physicochimique des sols de la station d'Ain Bergougaya fait ressortir que nous somme en présence de sol à texture sableuse traduisant parfaitement la nature du substrat (Grés et Argile de Numidie). Cette texture sableuse se caractérisé par sa forte capacité de circulation de l'eau (texture filtrante) et d'air (texture aéré).

Cet état favorise l'activité biologique, la dégradation de le la matière organique avec un maintien de la réaction du sol a son état de neutralité. L'absence d'électrolité élimine le risque de salinisation des sols (CE faible).

D'une manière générale, les caractéristique physico-chimique des sols de cette station son en équilibre dynamique avec les conditions climatiques, géologiques et floristiques.

**CONCLUSION
GENERALE**

Conclusion générale

La caractérisation physico-chimique des eaux et des sols de la Zeenaie d'Ain Bergougaya a révélée que les eaux de la source sont pauvres en éléments minéraux. Elle reflète la nature du substrat traversé (Grès et Argile de Numidie). La pauvreté en base se traduit par une forte acidité de ces eaux.

Le chimisme de ces eaux change au contact du sol de la Zeenaie, il devient neutre, plus au moins riche en base et en ions tel que les sulfates.

La caractérisation des sols montre que la texture limono-sableuse est très légère moyennement filtrante bien aérée. La présence d'un important apport de litière favorise une diversité des organismes vivant sur et dans le sol capable de recycler toute la matière organique. Ce turnover enrichit le sol en élément indispensable au développement d'un couvert végétal dense et diversifié.

La présence d'une source d'eau permanente et d'un sol favorable au développement racinaire font de cette station l'une des plus belles Zeenaies de la région qui mérite d'être connue pour être protégée.

Résumé

Dans le cadre de mettre en évidence la relation sol eau dans le fonctionnement des sols forestier de la région d'El-Kala, Nous avons entrepris cette étude dans la Zeenaie d'Ain Bergougaya. la caractérisation des eaux montre que nous somme en présence d'une eau oligotrophe qui traduit parfaitement la relation avec le substrat traversé quand au sol et malgré le lien étroit avec la roche mère, leurs fonctionnement semble être contrôlé par la dynamique de la matière organique.

L'évolution de cette matière organique est liée à l'activité biologique, elle-même dépendante des degrés de saturation du sol en eau.

Cette relation complexe mérite d'être suivie sur une longue période afin de comprendre la fonction du sol et de la forêt en générale.

Mots clés : Eau, sol, chimisme, forêt, Ain Bergougaya, El-Kala.

Abstract

In order to demonstrate the relationship between soil and water in the forest soils of the El-Kala region, we have undertaken this study in the Zeenaie of Ain Bergougaya. The characterization of the waters shows that we are in the presence of An oligotrous water which perfectly reflects the relationship with the substrate traversed when on the ground and despite the close connection with the parent rock, their functioning seems to be controlled by the dynamics of the organic matter.

The evolution of this organic matter is linked to the biological activity, which is itself dependent on the degree of saturation of the soil in water.

These complex relationships deserve to be followed over a long period in order to understand the function of the soil and the forest in general.

Key words: Water, soil, chemistry, forest, Ain Bergougaya, El-Kala.

من أجل إبراز العلاقة بين التربة والمياه في سير الأتربة الغابية في منطقة القالة، أجرينا هذه الدراسة في غابة عين بيرغوغية. يبين تصنيف المياه بأننا أمام مياه فقيرة من العناصر المغذية الذي يترجم بوضوح العلاقة مع الطبقة العميقة وعلى الرغم من الارتباط الوطيد مع الصخرة الأم، يبدو أن سيرها يخضع لدينامكية المواد العضوية. يرتبط تطور هذه المادة العضوية بالنشاط البيولوجي الذي يعتمد في حد ذاته على درجة تشبع التربة بالماء. ينبغي تتبع هذه العلاقات المعقدة على مدى فترة طويلة من أجل فهم وظيفة التربة والغابات بشكل عام. **الكلمات المفتاحية:** الماء، التربة، كيمياء، الغابة، عين برغوغية، القالة.

Références bibliographiques

1. Abdelbaki C. Et Boukli Hacène F. (2007). Etude Du Phénomène De Dégradation Des Eaux Souterraines Du Groupement Urbain De Tlemcen ; *Revue Des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007) 257 – 263.*
 2. Anonyme 1 : Université De Saskatchewan, 1984.Centre Du Développement De L'irrigation
 3. Anonyme2 : [Www.Wikipedia.Com](http://www.Wikipedia.Com).
 4. Aouadi, H., 1989. La végétation de l'Algérie Nord-Orientale : histoire des influences anthropique et cartographie à 1/200000. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier- Grenoble. 108p.
 5. Bahmed L., Djebabra M. Et Abibsi A. (2004). Démarche D'intégration Du Concept Qualité – Sécurité - Environnement Aux Systèmes D'alimentation En Eau Potable. *Larhyss Journal, N° 03. 115-128.*
 6. Belair (de) G., 1990. Structure, fonctionnement et perspective de gestion de quatre éco-complexes lacustres et marécageux (El-Kala, Est algérien). Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II. 193p.
 7. Bensaoula F., Adjim M. Et Bensalah M. (2007). L'importance Des Eaux Karstiques Dans L'approvisionnement En Eau De La Population De Tlemcen. *Larhyss Journal, N° 06, Pp. 57-64.*
 8. Benslama M., 1993. Contribution à l'étude de la couverture Eco-pédologique et de la matière organique dans la différenciation des sols en milieu humide sous couvert forestier (Bassin version du lac Tonga P.N.E.K) extrême Est Algérien Th. Mag Agro INA 152p.
 9. Benslama M. 1996. Dégradation des sols du complexe humide d'EL KALA (cas de Nechaa Rigiha), 1^{er} coll Eco dev Adrar Algérie.
 10. Benslama- Zanache, H. 1998. Contribution à l'étude de la diversité des micro-organisme (champignons Saprophytes) des sols du complexe humide d'El-Kala (Nord algérien). Cas des stations d'El-koubssi, Righia et du Lac Noir. Thèse de Magistère. Université d'Annaba.66p.
-

11. Bliefert C. Et Perraud R. (2001). *Chimie De L'environnement : Air, Eau, Sol, Déchets. 1^{ère} Edition. De Boeck & Larciensa, Bruxelles. 477 P.*
 12. Boeglin J.C. (2006). *Contrôle Des Eaux Douces Et De Consommation Humaine. Dans: Techniques De L'ingénieur W1: Technologie Des Eaux. Techniques De L'ingénieur. Chap.P4 210, Pp : 1-24.*
 13. Boudjadja A., Messahel M. Et Pauc K. (2003). *Les Ressources Hydriques En Algérie Du Nord. Revue Des Sciences De L'eau, 16/3. 285-304.*
 14. Butler, A., 1992. *Hydrochimie de nappes des prairies humides de la rive sud de lac de Neuchâtel. Bull.Ecol., t.23 (3-4) pp 415-421.*
 15. Cardot C. (1999). *Les Traitements Des Eaux (Procédés Physicochimiques; Cours Et Problèmes Résolus), Ellipses. 247p.*
 16. Coulibaly K. (2005). *Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique De L'eau Des Puits De Certains Quartiers Du District De Bamako. Thèse De Doctorat. Université De Bamako, 55 P.*
 17. Drissi S. (2008). *Qualité Ds Eaux De Quelques Sources Dans La Région De Souk-Ahras. Mémoire De Magister. Centre Universitaire De Souk Ahras. 69 P.*
 18. Duchaufeur Ph., 2001. *Introduction à la science du sol, végétation, environnement, 6^{ème} édition l'abrégé de pédologie Ed. Masson. 331p.*
 19. Duchaufeur Ph., 1977. *Pédologie : Pédogénèse et classification Ed Masson. 477 p.*
 20. Duvigneaud P. (1980). *La Synthèse Ecologique, 2^{ème} édition, Doin Editeurs, Paris. 380 P.*
 21. Faby.J.A., 1997. *Utilisation Des Eaux Usées Epurées En Irrigation, Edit Fnad.*
 22. Guerree H., Gomella C., 1978. *Les Eaux Usées Dans Les Agglomérations Urbaines Ou Rurales : La Collecte. Edition Eyrolles, Paris.*
 23. Habila S. (2008). *Etude De L'impact Du Barrage Beni Haroun Sur L'environnement : Effets Eco- Toxicologique. Mémoire De Magister. Université De Jijel., 176 P.*
 24. Joleaud, L. 1936. *Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Ed. bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie. 199p.*
 25. Kettab A., 1981. *Traitement Des Eaux Potables. Edition Opu. Algérie.*
-

26. Kettab A., 1992. **Traitement Des Eaux : Les Eaux Potables ; Office Des Publications Universitaires, Ben Aknoun, Alger.**
 27. Koller E., 2004. **Traitement Des Pollutions Industrielles ; Eau, Air, Déchets, Sols, Boues, Edition Dunod, Par**
 28. Manneville, O., VERGNE, V. et VILLEPOUX, O. 1999. **Le monde des tourbières et des marais .Delachaux et Niestlé. 320p.**
 29. Marre, A. 1992. **Le tell Orientale algérien de Collo à la frontière tunisienne. Etude géomorphologique. OPU Alger Vol 1et 2, 624p. ,153p**
 30. Masschelein W.J., 1996. **Processus Unitaire Du Traitement De L'eau Potable, Edition Cebedoc, Sprl Liège.**
 31. Medkour M., 2002. **Réutilisation Des Eaux Usées Epurées. Forum De La Gestion De La Demande En Eau : Réutilisation Des Eaux Usées. Rabat, 26 Et 27 Mars 2002. 11 P.**
 32. Monod J. (1989). *Mémento Technique De L'eau. 9^{ème} Edition. T1. Dégrémont. France. 591 Pages.*
 33. Ngô C. Et Regent A. (2004). *Déchets Et Pollution, Impact Sur L'environnement Et La Santé. Dunod, Paris. 134p.*
 34. Othmani -Sendid, A., 2000. **Typologie et cartographie des zones humides de la Numidie Orientale. Thèse de Magister Uni. Annaba.68p**
 35. Ramade F. (2002). *Dictionnaire Encyclopédique De L'écologie Et Des Sciences De L'environnement. 2^{ème} Edition, Dunod, Paris. 1075 P.*
 36. Ramade, F. 1981. **Elément d'écologie (Ecologie Appliquée), Ed. Mc Graw Hill. 322p.**
 37. Rodier J., 1975. **L'analyse De L'eau : Eaux Naturelles, Eaux Résiduares, Eau De Mer. Tome 1, 5^{ème} Edition.**
 38. Rolland, p., 1988. **Le système des grandes tourbières équatoriales. Ann. Géographie N°97 (544).pp942-666.**
-

39. Rouleau A. Et Rasmussen H. 2006. Introduction Dans *La Détermination D'aires D'alimentation Et De Protection De Captages D'eau Souterraine*. Rasmussen, H., Rouleau, A. Et Chevalier, S. (Editeurs Scientifiques). 6 Pages. Document Diffusé Par Le Ministère Roux J. C. (1990). *Les Secrets De La Terre : L'eau Source De Vie*. Eéditions De Brgm, Orléans Et La Compagnie Du Lierne, Paris. 64 P.
40. Rouyrre C., 2003. Guide De L'eau,
41. Tamrabet L., 2011. Contribution A L'étude De Valorisation Des Eaux Usées En Maraichage.Thèse De Doctorat, Option Hydraulique. Université Hadj Lakhdar – Batna.
42. Teixeira J. (2006). *Les Mystères De L'eau*. Dans : *Techniques De L'ingénieur W1 : Technologie Des Eaux. Techniques De L'ingénieur*. Chap. Re 53, Pp : 1-8.
43. Touchart L. (2003). *Hydrologie : Mers, Fleuves Et Lacs*. Armand Colin. Vuef. 190 P.
44. Toumi A., Remini B. (2004). Barrage De Foum El Gherza Face Au Problème De Fuites D'eau, *Larhyss Journal*, N° 03. 25-38
-